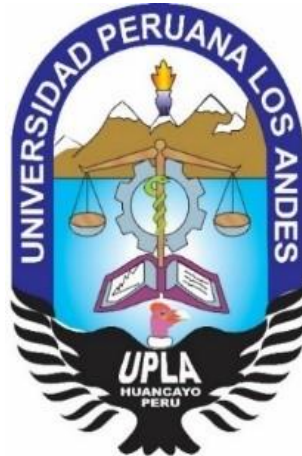


UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**CONTROL DE LA ENERGÍA ESPECIFICA PARA LA
OPTIMIZACIÓN DE LA RESISTENCIA DEL PROCESO DE
COMPACTACIÓN DE BASES GRANULARES DE PAVIMENTOS
URBANOS EN LA LOCALIDAD DE HUANCAYO**

Para Optar : El Grado Académico de Maestro en
Ingeniería Civil, Mencion en
Ingeniería de Transportes.

Autor : Bach. Martin Renzo Alcoser Porrás.

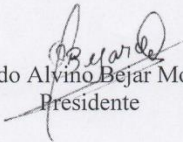
Asesor : Dr. Juan José Bullón Rosas.

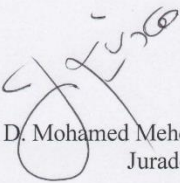
**Línea de investigación
Institucional** : Transporte y Urbanismo

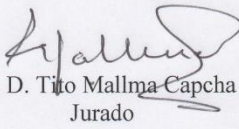
Fecha de inicio / término : 20/05/2019-29/11/2020

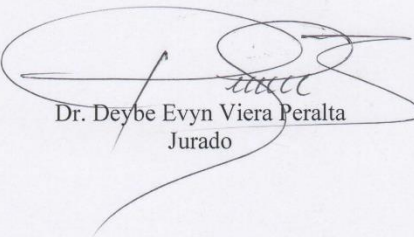
**Huancayo – Perú
2021**

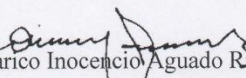
JURADOS DE SUSTENTACIÓN DE TESIS


Dr. Aguedo Alvino Bejar Mormontoy
Presidente


Ph. D. Mohamed Mehdi Hadi Mohamed
Jurado


Ph. D. Tito Mallma Capcha
Jurado


Dr. Deybe Eryn Viera Peralta
Jurado


Dr. Uldarico Inocencio Aguado Riveros
Secretario Académico

ASESOR.

DR. JUAN JOSÉ BULLÓN ROSAS.

DEDICATORIA

A Dios por brindarme la sabiduría necesaria en todo momento.

A mis Padres Lucy y Carlos, por el apoyo continuo Durante todo el Proceso de mi Formación Académica Profesional y a Mi Abuelito Eliseo, que desde el Cielo me Bendice Siempre.

AGRADECIMIENTO

A mi Asesor Dr. Juan José Bullón Rosas, por el apoyo y Orientación Incondicional para la elaboración de la Presente Tesis, al Ing. Miriam Villafuerte Pacheco por permitirme realizar los trabajos de investigación en su Obra para la estructuración experimental de la Presente Tesis.

CONTENIDO

DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO	V
CONTENIDO	VI
CONTENIDO DE TABLAS	XVI
CONTENIDO DE FIGURAS	XXXII
CONTENIDO DE ECUACIONES	XL
CONTENIDO DE FOTOGRAFÍAS	XLI
RESUMEN	XLIII
ABSTRACT	XLV
INTRODUCCIÓN	XLVII
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	50
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	50
1.2. Delimitación del problema.....	52
1.3. Formulación del Problema.	53
1.3.1. Problema General.....	53
1.3.2. Problemas Específicos.....	53
1.4. Justificación.	54
1.4.1. Justificación Social.....	54
1.4.2. Justificación Teórica	54
1.4.3. Justificación Metodológica	55
1.4.4. Justificación Practica.....	55
1.4.5. Justificación Económica.....	55
1.5. Objetivos	56

1.5.1. Objetivo General	56
1.5.2. Objetivo Específicos	56
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	57
2.1. Antecedentes	57
2.1.1. Nacionales	57
2.1.2. Internacionales	59
2.2. Bases teóricas	62
2.2.1. Resistencia de Bases Granulares	62
2.2.2. Causas de degradación del pavimento relacionadas a espesores de Bases Granulares	68
2.2.3. Tipos de Resistencia de Bases Granulares	69
2.2.3.1. La resistencia al esfuerzo cortante	71
2.2.3.2. La Resistencia a compresión simple	75
2.2.3.3. La resistencia a la deformación	78
2.2.3.4. Resistencia Mecánica	79
2.2.3.5. Capacidad de soporte del suelo compactado	81
2.2.4. Factores de la Resistencia de Bases Granulares	83
2.2.4.1. Variable interna directas:	83
2.2.4.2. Variable interna indirectas:	83
2.2.4.3. Variables externas indirectas:	84
2.2.4.4. Variables externas directas:	84
2.2.4.5. Granulometría	84
2.2.5. Medición de la Resistencia de Bases Granulares en base al Proceso de compactación	85
2.2.5.1. Medición del Proceso de compactación	87

2.2.5.2. Medida del porcentaje de compactación	88
2.2.5.3. Prueba Proctor (AASHO) Modificado	89
2.2.5.4. Curva de compactación de Proctor	94
2.2.5.5. El proceso de densificación	99
2.2.5.6. Densidad de Suelo	100
2.2.5.7. Ensayo para determinar la densidad y peso unitario del Suelo Insitu mediante el cono de arena.	101
2.2.5.8. Grado de Compactación	106
2.2.5.9. La Normativa De Medición.....	107
2.2.5.10. Control de la compactación en el campo.....	111
2.2.6. Control de la Energía Especifica en el Proceso de compactación de Campo	112
2.2.6.1. Energía Especifica de compactación	114
2.2.6.2. Efecto de la energía de compactación	116
2.2.6.3. Métodos del Proceso de Compactación.....	118
2.2.6.4. Métodos empleados para brindar la energía de compactación. ...	121
2.2.6.4.1. Métodos por amasado.	121
2.2.6.4.2. Métodos por presión.....	126
2.2.6.4.3. Métodos por impacto.....	131
2.2.6.4.4. Métodos por Vibración.	132
2.2.6.5. Factores del Proceso de compactación en campo.....	138
2.2.6.5.1. La Naturaleza del Suelo	139
2.2.6.5.2. El Método de Compactación.....	141
2.2.6.5.3. La Energía Especifica	142
2.2.6.5.4. El contenido de Agua del Suelo	144

2.2.6.5.5. El sentido en que se recorra la escala humedades al efectuar la compactación.	146
2.2.6.5.6. El contenido de Agua original del Suelo.....	148
2.2.6.5.7. La Recompactación.....	149
2.2.6.5.8. La Temperatura	151
2.2.6.5.9. Otras Variables.....	152
2.2.6.6. Factores que influyentes en el control de la Energía Especifica.	153
2.2.6.7. Factores analizados en función a la Energía Especifica de compactación En campo en Pavimentos Urbanos.....	154
2.2.6.7.1. Suelo Granular de Base.	154
2.2.6.7.2. Elección del Equipo Compactador.....	155
2.2.6.7.3. Humedad de Compactación en Función al Número de Pasadas del Equipo Compactador.	162
2.2.6.7.4. Determinación del Contenido de agua en base a la curva de Proctor.	164
2.2.6.7.5. Ensayo de Carburo de Calcio.....	165
2.2.6.7.6. Rendimiento de los Rodillos de Compactación.	168
2.2.6.7.7. Criterio del Ingeniero Responsable.....	168
2.2.6.8. Medición de la Energía Especifica en el Proceso de Compactación	169
2.2.6.8.1. Proceso de compactación y las Pruebas de Laboratorio.	170
2.2.6.8.2. Control de compactación en campo.	172
2.2.6.8.3. Tramos de Prueba.....	173
2.2.6.8.4. Medición de la Energía Especifica.....	174
2.2.6.8.5. Variación de la energía de compactación en laboratorio.	179

2.2.6.8.6. Medición de la Energía Especifica de Compactación en Campo.	180
2.2.6.8.7. Densidad de Campo	181
2.3. Marco Conceptual.....	182
2.3.1. Factores que influyen el Control de la Energía Especifica en el Proceso de compactación de campo para la optimización de la Resistencia de Bases Granulares	182
2.3.1.1. Definición	182
2.3.1.2. Control del producto terminado.....	184
2.3.1.3. Control del “proceso”	185
2.3.1.4. Sistema mixto de control	187
2.3.1.5. La Presión de Equipo de Compactación.....	189
2.3.1.5.1. Esfuerzo de compactación.....	189
2.3.1.5.2. Velocidad de operación.....	189
2.3.1.5.3. Esfuerzo vibratorio.....	190
2.3.1.5.4. Compactadores vibratorios.....	191
2.3.1.5.5. Rodillos Vibratorios.....	197
2.3.1.5.6. Rodillo Liso Vibratorio	209
2.3.1.5.7. El Área de Contacto de Rodillo y Suelo de Base.....	210
2.3.1.5.8. El Espesor de la Capa de Base	212
2.3.1.5.9. Numero de Pasadas del equipo de Compactación.....	218
2.3.1.6. Rendimiento de un compactador	220
2.3.1.7. Factores involucrados en el Rendimiento de un compactador	223
2.3.1.7.1. Velocidad de Operación.....	224
2.3.1.7.2. Numero de Pasadas	224

2.3.1.7.3. Espesor de capa compactado.....	225
2.3.1.7.4. Factor de Altura.....	226
2.4. Contexto y Dinámica de la Localidad.....	226
2.4.1.1. Descripción de la Localidad	226
2.4.1.2. Política y Desarrollo de Vías Urbanas.....	227
2.4.1.3. Dinámica esperada en la gestión de Vías Urbanas	227
2.5. Definición de términos.....	227
CAPÍTULO III HIPÓTESIS	230
3.1. Hipótesis General.....	230
3.2. Hipótesis Específicas.	230
3.3. Variables	230
3.3.1. Definición conceptual.	230
3.3.2. Definición operacional.	231
CAPÍTULO IV METODOLOGÍA.....	232
4.1. Método de Investigación.....	232
4.2. Tipo de Investigación.....	233
4.3. Nivel de Investigación	233
4.4. Diseño de la Investigación	234
4.5. Población y Muestra	235
4.5.1. Población.....	235
4.5.2. Muestra.....	236
4.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	239
4.6.1. Técnicas.....	239
4.6.1.1. Recopilación de Información bibliográfica	240

4.6.2. Instrumentos de Recolección de datos.	241
4.6.3. Validación de los instrumentos y recolección de datos.....	241
4.7. Técnicas de procesamiento y análisis de Datos.	241
4.7.1. Fase Pre campo.....	241
4.7.1.1. Recopilación de Información bibliográfica	242
4.7.1.2. Estudio del Expediente Técnico	244
4.7.1.3. Elaboración de los instrumentos de recolección de datos	246
4.7.2. Fase Campo.....	246
4.7.2.1. Reconocimiento de la vía en estudio	246
4.7.2.2. Asignación de Tramos de Estudio	246
4.7.2.3. Cantera.....	247
4.7.2.4. Trabajos realizados en el laboratorio.....	247
4.7.2.4.1. Presentación de Resultados de laboratorio.....	248
4.7.2.5. Verificación de la Densidad de Material para mejoramiento de la Sub Rasante (tiene que cumplir con la normativa).....	251
4.7.2.6. Reconocimiento del Equipo Compactador (Ficha Técnica).....	252
4.7.2.7. Verificación del Tendido del Material y composición del espesor de Base. 252	
4.7.2.8. Verificación de Pasadas de Cisterna.....	253
4.7.2.9. Verificación del Proceso de Compactación.....	254
4.7.2.10. Fase de Ejecución de Ensayos en campo.....	262
4.7.2.10.1. Ejecución del Ensayo de Carburo de Calcio para determinar el contenido de humedad en cada muestra.	262
4.7.2.10.2. Ejecución del Ensayo de Densidad de Campo (Cono de Arena) 263	

4.7.3. Análisis Estadístico	264
4.8. Aspectos Éticos de la Investigación.....	264
CAPÍTULO V RESULTADOS.....	265
5.1. Descripción de Resultados	265
5.1.1. Presentación de Resultados de laboratorio.....	265
5.1.2. Presentación de Resultados de campo.....	266
5.1.2.1. Efectos significativos del control del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg en el Contenido de Humedad en Campo.	266
5.1.2.1.1. Resultados del Porcentaje de Humedad por Pasadas Estáticas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg.	267
5.1.2.1.2. Resultados del Porcentaje de Humedad por Pasadas Vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg.	285
5.1.2.1.3. Resultados de Porcentaje de Humedad por Pasadas Estáticas y Vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg.....	300
5.1.2.2. Efectos significativos del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg en el Grado de Compactación de Campo.	317
5.1.2.2.1. Resultados del Grado de Compactación por Pasadas Estáticas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg.	319
5.1.2.2.2. Resultados de Porcentaje del Grado de Compactación por Pasadas Vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg.....	336
5.1.2.2.3. Resultados de Porcentaje del Grado de Compactación por Pasadas Estáticas y Vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg.	
349	
5.1.2.3. Efectos significativos del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg en el Contenido de Humedad en Campo.....	365

5.1.2.3.1. Resultados del Porcentaje de Humedad por Pasadas Estáticas del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg	367
5.1.2.3.2. Resultados del Porcentaje de Humedad por Pasadas Vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg	383
5.1.2.3.3. Resultados del Porcentaje de Humedad por Pasadas Estáticas y Vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg.....	398
5.1.2.4. Efectos significativos del control del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg en el Grado de Compactación de Campo.	414
5.1.2.4.1. Resultados del Grado de Compactación por Pasadas Estáticas del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg	416
5.1.2.4.2. Resultados del Grado de Compactación por Pasadas Vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg	432
5.1.2.4.3. Resultados del Grado de Compactación por Pasadas Estáticas y Vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg.....	446
5.2. Contrastación de Hipótesis	463
5.2.1. Resumen del Contenido de Humedad en base a las Pasadas Estáticas de los Equipos compactadores 01 y 02 en los Sectores 01 y 02.....	463
5.2.2. Resumen del grado de compactación en base a las Pasadas Estáticas de los Equipos compactadores 01 y 02 en los Sectores 01 y 02.....	465
5.2.3. Resumen del Contenido de Humedad en base a las Pasadas Vibradas de los Equipos compactadores 01 y 02 en los Sectores 03 y 04.....	467
5.2.4. Resumen del grado de compactación en base a las Pasadas Vibradas de los Equipos compactadores 01 y 02 en los Sectores 03 y 04.....	468
5.2.5. Resumen del Contenido de Humedad en base a las Pasadas Estáticas y vibradas de los Equipos compactadores 01 y 02 en los Sectores 05 y 06.	468
5.2.6. Resumen del grado de compactación en base a las Pasadas Estáticas y vibradas de los Equipos compactadores 01 y 02 en los Sectores 05 y 06.	470

5.2.7. Resultados de Rendimientos de Equipos de Compactación 01 y 02 en el Proceso de compactación.....	471
5.2.8. Resumen de Resultados de Rendimientos de Equipos de Compactación 01 y 02 en el Proceso de compactación.....	478
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	480
CONCLUSIONES.....	511
RECOMENDACIONES.....	513
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	515
ANEXOS	518
Matriz de Consistencia.....	518
Matriz de Operacionalización de las Variables.....	521
Matriz de operacionalización del instrumento.....	524
Instrumento de investigación y constancia de su aplicación.....	528
Confiabilidad y validez del instrumento.....	532
La Data de Procesamiento de Datos	539
Consentimiento informado	568
PANEL FOTOGRÁFICO.....	570

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de Suelos: US Army Corps of Engineers.....	62
Tabla 2 Causas de Falla de un Pavimento.....	68
Tabla 3 Proctor Modificado - ASTM D 1557	92
Tabla 4 Ensayo Proctor Modificado, ASTM D1557-91	94
Tabla 5 Volúmenes Mínimos del Hoyo de Ensayo.....	105
Tabla 6 Valores tentativos de grados de compactación	110
Tabla 7 Rodillos Neumáticos, Especificaciones comunes	131
Tabla 8 Compactadores Vibratorios de Placa Específicos Comunes.....	137
Tabla 9 Compactadores lisos vibratorios Especificaciones comunes	138
Tabla 10 Características de utilización de los suelos, agrupados según SUCS	157
Tabla 11 Campos de Aplicaciones para Equipos Mecánicos de Compactación.....	160
Tabla 12 Distancia de Vibración en mm.....	207
Tabla 13 Velocidad de Operación de Compactadores	224
Tabla 14 Ancho Efectivo de Compactación.....	224
Tabla 15 Numero de Pasadas	225
Tabla 16 Factor de Eficiencia de Trabajo	226
Tabla 17 Análisis Granulométrico del Material de Base.	248
Tabla 18 Clasificación de Suelos de Material de Base.	249
Tabla 19 Análisis del Ensayo de Proctor del Material de Base.	250
Tabla 20 Datos Obtenidos de la Curva de Proctor.	251
Tabla 21 Especificaciones Técnicas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 Kg	252
Tabla 22 Especificaciones Técnicas de Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg	252
Tabla 23 Ficha Técnica del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg.....	255
Tabla 24 Resumen de Características Técnicas - Estáticas del Equipo de Compactación 01.....	257
Tabla 25 Resumen de Características Técnicas Vibradas del Equipo de Compactación 01.....	257
Tabla 26 Ficha Técnica del Rodillo Liso Vibratorio de 12, 002 kg.....	259

Tabla 27 Resumen de Características Técnicas - Estáticas del Equipo de Compactación 02.....	260
Tabla 28 Resumen de Características Técnicas Vibradas del Equipo de Compactación 02.....	261
Tabla 29 Información de la Muestra	265
Tabla 30 Clasificación de Suelos de Material de Base.	265
Tabla 31 Datos Obtenidos de la Curva de Proctor.....	265
Tabla 32 Características Principales de la Vía en estudio para la evaluación.....	266
Tabla 33 Características de Operación del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg. .	267
Tabla 34 Especificaciones Técnicas de campo del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg. Tramo 01	268
Tabla 35 Porcentaje de Humedad el Sector 1-Area 1 con Pasadas Estáticas del E1.	269
Tabla 36 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 1-Area 1.....	270
Tabla 37 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 1-Area 1.....	271
Tabla 38 Porcentaje de Humedad el Sector 1-Area 2 con Pasadas Estáticas del E1.	272
Tabla 39 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 1-Area 2.....	273
Tabla 40 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 1-Area 2.....	274
Tabla 41 Porcentaje de Humedad el Sector 1-Area 3 con Pasadas Estáticas del E1.	275
Tabla 42 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 1-Area 3.....	276
Tabla 43 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 1-Area 3.....	277

Tabla 44 Porcentaje de Humedad el Sector 1-Area 4 con Pasadas Estáticas del E1.	278
Tabla 45 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 1-Area 4.....	279
Tabla 46 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 1-Area 4.....	280
Tabla 47 Porcentaje de Humedad el Sector 1-Area 5 con Pasadas Estáticas del E1.	281
Tabla 48 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 1-Área 5.....	282
Tabla 49 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 1-Area 5.....	283
Tabla 50 Resumen de Contenido de Humedades en el Sector 01	284
Tabla 51 Especificaciones Técnicas de campo del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg. Tramo 02.	286
Tabla 52 Porcentaje de Humedad el Sector 3-Area 6 con Pasadas Vibradas del E1.	287
Tabla 53 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 3-Area 6.....	288
Tabla 54 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 3-Area 6.....	288
Tabla 55 Porcentaje de Humedad el Sector 3-Area 7 con Pasadas Vibradas del E1.	289
Tabla 56 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 3-Area 7.....	290
Tabla 57 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 3-Area 7.....	290
Tabla 58 Porcentaje de Humedad el Sector 3-Area 8 con Pasadas Vibradas del E1.	291

Tabla 59 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 3-Area 8.....	292
Tabla 60 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 3-Area 8.....	293
Tabla 61 Porcentaje de Humedad el Sector 3-Area 9 con Pasadas Vibradas del E1..	294
Tabla 62 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 3-Área 9.....	295
Tabla 63 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 3-Area 9.....	296
Tabla 64 Porcentaje de Humedad el Sector 3-Area 10 con Pasadas Vibradas del E1.	297
Tabla 65 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 3-Área 10.....	298
Tabla 66 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 3-Area 10.....	298
Tabla 67 Resumen de Contenido de Humedades en el Sector 03	299
Tabla 68 Especificaciones Técnicas de campo del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg. Tramo 03.	301
Tabla 69 Porcentaje de Humedad del Sector 5-Area 11 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E1.	302
Tabla 70 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 5-Area 11.....	303
Tabla 71 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 5-Area 11.....	304
Tabla 72 Porcentaje de Humedad del Sector 5-Area 12 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E1.	305
Tabla 73 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 5-Area 12.....	306

Tabla 74 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 5-Area 12.....	307
Tabla 75 Porcentaje de Humedad del Sector 5-Area 13 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E1.....	308
Tabla 76 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 5-Area 13.....	309
Tabla 77 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 5-Area 13.....	310
Tabla 78 Porcentaje de Humedad del Sector 5-Area 14 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E1.....	311
Tabla 79 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 5-Area 14.....	312
Tabla 80 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 5-Area 14.....	313
Tabla 81 Porcentaje de Humedad del Sector 5-Area 15 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E1.....	314
Tabla 82 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 5-Area 15.....	315
Tabla 83 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 5-Area 15.....	316
Tabla 84 Resumen de Contenido de Humedades en el Sector 05.....	316
Tabla 85 Características Principales de la Vía en estudio para la evaluación.....	318
Tabla 86 Características de Operación del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg. .	318
Tabla 87 Especificaciones Técnicas de campo del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg. Tramo 01.....	319
Tabla 88 Grado de Compactación en el Sector 1-Area 1 con Pasadas Estáticas del E1.....	320
Tabla 89 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 1-Área 1.....	321

Tabla 90 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 1-Área 1.....	322
Tabla 91 Grado de Compactación en el Sector 1-Area 2 con Pasadas Estáticas del E1.	323
Tabla 92 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 1-Área 2.....	324
Tabla 93 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 1-Área 2.....	325
Tabla 94 Grado de Compactación en el Sector 1-Area 3 con Pasadas Estáticas del E1.	326
Tabla 95 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 1-Área 3.....	327
Tabla 96 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 1-Área 3.....	328
Tabla 97 Grado de Compactación en el Sector 1-Area 4 con Pasadas Estáticas del E1.	329
Tabla 98 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 1-Área 4.....	330
Tabla 99 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 1-Área 4.....	331
Tabla 100 Grado de Compactación en el Sector 1-Area 5 con Pasadas Estáticas del E1.	332
Tabla 101 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 1-Área 5.....	333
Tabla 102 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 1-Área 5.	334
Tabla 103 Resumen del Grado de Compactación en el Sector 01	335
Tabla 104 Especificaciones Técnicas de campo del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg. Tramo 02	336

Tabla 105 Grado de Compactación en el Sector 3-Area 6 con Pasadas Vibradas del E1.	337
Tabla 106 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 3-Área 6.....	338
Tabla 107 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 3-Área 6.	339
Tabla 108 Grado de Compactación en el Sector 3-Area 7 con Pasadas Vibradas del E1.	340
Tabla 109 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 3-Área 7.....	341
Tabla 110 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 3-Área 7.	341
Tabla 111 Grado de Compactación en el Sector 3-Area 8 con Pasadas Vibradas del E1.	342
Tabla 112 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 3-Área 8.....	343
Tabla 113 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 3-Área 8.	343
Tabla 114 Grado de Compactación en el Sector 3-Area 9 con Pasadas Vibradas del E1.	344
Tabla 115 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 3-Área 9.....	345
Tabla 116 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 3-Área 9.	345
Tabla 117 Grado de Compactación en el Sector 3-Area 10 con Pasadas Vibradas del E1.	346
Tabla 118 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 3-Área 10.....	347
Tabla 119 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 3-Área 10.	347

Tabla 120 Resumen del Grado de Compactación en el Sector 03	348
Tabla 121 Especificaciones Técnicas de campo del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg. Tramo 03.	349
Tabla 122 Grado de Compactación del Sector 5-Area 11 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E1.	350
Tabla 123 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 5-Área 11.....	351
Tabla 124 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 5-Área 11.	352
Tabla 125 Grado de Compactación del Sector 5-Area 12 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E1.	353
Tabla 126 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 5-Área 12.....	354
Tabla 127 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 5-Área 12.	355
Tabla 128 Grado de Compactación del Sector 5-Area 13 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E1.	356
Tabla 129 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 5-Área 13.....	357
Tabla 130 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 5-Área 13.	358
Tabla 131 Grado de Compactación del Sector 5-Area 14 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E1.	359
Tabla 132 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 5-Área 14.....	360
Tabla 133 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 5-Área 14.	361
Tabla 134 Grado de Compactación del Sector 5-Area 15 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E1.	362

Tabla 135 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 5-Área 15.....	363
Tabla 136 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 5-Área 15.	364
Tabla 137 Resumen del Grado de Compactación en el Sector 05	364
Tabla 138 Características Principales de la Vía en estudio para la evaluación.....	366
Tabla 139 Características de Operación del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg.	366
Tabla 140 Especificaciones Técnicas de campo del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg. Tramo 01	367
Tabla 141 Porcentaje de Humedad el Sector 2-Area 1 con Pasadas Estáticas del E2.	368
Tabla 142 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 2-Area 1.....	369
Tabla 143 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 2-Area 1.	370
Tabla 144 Porcentaje de Humedad el Sector 2-Area 2 con Pasadas Estáticas del E2.	371
Tabla 145 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 2-Area 2.....	372
Tabla 146 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 2-Area 2.	373
Tabla 147 Porcentaje de Humedad el Sector 2-Area 3 con Pasadas Estáticas del E2.	374
Tabla 148 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 2-Area 3.....	375
Tabla 149 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 2-Area 3.	376
Tabla 150 Porcentaje de Humedad el Sector 2-Area 4 con Pasadas Estáticas del E2.	377

Tabla 151 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 2-Area 4.	378
Tabla 152 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 2-Area 4.	379
Tabla 153 Porcentaje de Humedad el Sector 2-Area 5 con Pasadas Estáticas del E2.	380
Tabla 154 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 2-Area 5.	381
Tabla 155 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 2-Area 5.	382
Tabla 156 Resumen de Contenido de Humedades en el Sector 02.....	382
Tabla 157 Especificaciones Técnicas de campo del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg. Tramo 02.	384
Tabla 158 Porcentaje de Humedad el Sector 4-Area 6 con Pasadas vibradas del E2.	385
Tabla 159 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 4-Area 6.....	386
Tabla 160 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 4-Area 6.	386
Tabla 161 Porcentaje de Humedad el Sector 4-Area 7 con Pasadas vibradas del E2.	387
Tabla 162 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 4-Area 7.....	388
Tabla 163 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 4-Area 7.	389
Tabla 164 Porcentaje de Humedad el Sector 4-Area 8 con Pasadas vibradas del E2.	390
Tabla 165 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 4-Área 8.....	391

Tabla 166 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 4-Área 8.	391
Tabla 167 Porcentaje de Humedad el Sector 4-Area 9 con Pasadas vibradas del E2.	392
Tabla 168 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 4-Área 9.....	393
Tabla 169 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 4-Área 9.	394
Tabla 170 Porcentaje de Humedad el Sector 4-Area 10 con Pasadas vibradas del E2.	395
Tabla 171 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 4-Área 10.....	396
Tabla 172 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 4-Área 10.	396
Tabla 173 Resumen de Contenido de Humedad en el Sector 04	397
Tabla 174 Especificaciones Técnicas de campo del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg. Tramo 03.	398
Tabla 175 Porcentaje de Humedad el Sector 6-Area 11 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E2.	399
Tabla 176 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 6-Área 11.....	400
Tabla 177 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 6-Área 11.	401
Tabla 178 Porcentaje de Humedad el Sector 6-Area 12 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E2.	402
Tabla 179 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 6-Área 12.....	403
Tabla 180 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 6-Área 12.	404

Tabla 181 Porcentaje de Humedad el Sector 6-Area 13 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E2.....	405
Tabla 182 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 6-Área 13.....	406
Tabla 183 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 6-Área 13.	407
Tabla 184 Porcentaje de Humedad del Sector 6-Area 14 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E2.	408
Tabla 185 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 6-Área 14.....	409
Tabla 186 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 6-Área 14.	410
Tabla 187 Porcentaje de Humedad el Sector 6-Area 15 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E2.....	411
Tabla 188 Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 6-Área 15.....	412
Tabla 189 Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 6-Área 15.	413
Tabla 190 Resumen de Contenido de Humedades en el Sector 06.....	413
Tabla 191 Características Principales de la Vía en estudio para la evaluación.....	415
Tabla 192 Características de Operación del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg.	415
Tabla 193 Especificaciones Técnicas de campo del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg.....	416
Tabla 194 Grado de Compactación del Sector 2-Area 1 con Pasadas Estáticas del E2.	417
Tabla 195 Estadísticas de la Regresión del Contenido al Grado de Compactación del Sector 2-Área 1.	418
Tabla 196 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 2-Área 1.	419

Tabla 197 Grado de Compactación del Sector 2-Area 2 con Pasadas Estáticas del E2.	420
Tabla 198 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 2- Área 2.	421
Tabla 199 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 2-Área 2.	422
Tabla 200 Grado de Compactación del Sector 2-Area 3 con Pasadas Estáticas del E2.	423
Tabla 201 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 2-Área 3.	424
Tabla 202 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 2-Área 3.	425
Tabla 203 Grado de Compactación del Sector 2-Area 4 con Pasadas Estáticas del E2.	426
Tabla 204 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 2-Área 4.	427
Tabla 205 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 2-Área 4.	428
Tabla 206 Grado de Compactación del Sector 2-Area 5 con Pasadas Estáticas del E2.	429
Tabla 207 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 2-Área 5.	430
Tabla 208 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 2-Área 5.	431
Tabla 209 Resumen del Grado de Compactación en el Sector 02	431
Tabla 210 Especificaciones Técnicas de campo del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg.	433
Tabla 211 Grado de Compactación del Sector 4-Area 6 con Pasadas Vibradas del E2.	434

Tabla 212 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 4-Área 6.....	435
Tabla 213 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 4-Área 6.	435
Tabla 214 Grado de Compactación del Sector 4-Area 7 con Pasadas Vibradas del E2.	436
Tabla 215 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 4-Área 7.....	437
Tabla 216 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 4-Área 7.	438
Tabla 217 Grado de Compactación del Sector 4-Area 8 con Pasadas Vibradas del E2.	439
Tabla 218 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 4-Área 8.....	440
Tabla 219 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 4-Área 8.	440
Tabla 220 Grado de Compactación del Sector 4-Area 9 con Pasadas Vibradas del E2.	441
Tabla 221 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 4-Área 9.....	442
Tabla 222 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 4-Área 9.	442
Tabla 223 Grado de Compactación del Sector 4-Area 10 con Pasadas Vibradas del E2.	443
Tabla 224 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 4-Área 10.....	444
Tabla 225 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 4-Área 10.	444
Tabla 226 Resumen del Grado de Compactación en el Sector 04	445

Tabla 227 Especificaciones Técnicas de campo del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg.....	446
Tabla 228 Grado de Compactación del Sector 6-Area 11 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E2.....	447
Tabla 229 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 6-Área 11.....	448
Tabla 230 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 6-Área 11.....	449
Tabla 231 Grado de Compactación del Sector 6-Area 12 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E2.....	450
Tabla 232 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 6-Área 12.....	451
Tabla 233 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 6-Área 12.....	452
Tabla 234 Grado de Compactación del Sector 6-Area 13 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E2.....	453
Tabla 235 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 6-Área 13.....	454
Tabla 236 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 6-Área 13.....	455
Tabla 237 Grado de Compactación del Sector 6-Area 14 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E2.....	456
Tabla 238 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 6-Área 14.....	457
Tabla 239 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 6-Área 14.....	458
Tabla 240 Grado de Compactación del Sector 6-Area 15 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E2.....	459
Tabla 241 Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 6-Área 15.....	460

Tabla 242 Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 6-Área 15.	461
Tabla 243 Resumen del Grado de Compactación en el Sector 06	461
Tabla 244 Cuadro comparativo de la Medición del Contenido de Humedad de Pasadas Estáticas entre el Equipo 01 y Equipo 02.....	463
Tabla 245 Cuadro comparativo de la Medición del Grado de Compactación de Pasadas Estáticas entre el Equipo 01 y Equipo 02.....	465
Tabla 246 Cuadro comparativo de la Medición del Contenido de Humedad de Pasadas Vibradas entre el Equipo 01 y Equipo 02.....	467
Tabla 247 Cuadro comparativo de la Medición del Grado de Compactación de Pasadas Vibradas entre el Equipo 01 y Equipo 02.....	468
Tabla 248 Cuadro comparativo de la Medición del Contenido de Humedad de Pasadas Estáticas y Vibradas entre el Equipo 01 y Equipo 02.	469
Tabla 249 Cuadro comparativo de la Medición del Grado de Compactación de Pasadas Estáticas y Vibradas entre el Equipo 01 y Equipo 02.	470
Tabla 250 Rendimiento de Rodillo Liso Vibratorio de 11,273.00 kg, con Pasadas Estáticas.....	471
Tabla 251 Rendimiento de Rodillo Liso Vibratorio de 11,273.00 kg, con Pasadas Vibradas.	472
Tabla 252 Rendimiento de Rodillo Liso Vibratorio de 11,273.00 kg, con Pasadas Estáticas y Vibradas.	473
Tabla 253 Rendimiento de Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg, con Pasadas Estáticas.....	474
Tabla 254 Rendimiento de Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg, con Pasadas Vibradas.	475
Tabla 255 Rendimiento de Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg, con Pasadas Estáticas y Vibradas.	476
Tabla 256 Resumen de Rendimientos del Rodillo Liso vibratorio de 11,247 kg	478
Tabla 257 Resumen de Rendimientos del Rodillo Liso vibratorio de 12,002 kg	479

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1	Clasificación de Pavimentos Urbanos	65
Figura 2	Diagrama de Resistencia de un Suelo.....	70
Figura 3	Diagrama Tensiones VS Deformaciones.....	71
Figura 4	Relación entre el esfuerzo normal y cortante sobre el plano de la falla	72
Figura 5	Relación de la resistencia a compresión sin confinar ni drenar.....	73
Figura 6	Resistencia a corte del suelo	74
Figura 7	Aparato conocido como “Harvard miniatura”	76
Figura 8	Diagrama de Resistencia a compresión simple VS Porcentaje de humedad	77
Figura 9	Diagrama Tensiones vs Deformaciones	79
Figura 10	Resistencia Mecánica de Compactación en función a la Densidad Seca ..	81
Figura 11	Esquema del Ensayo de Proctor Modificado en Laboratorio	91
Figura 12	Curva de Compactación Típica	96
Figura 13	Curva de compactación obtenida en prueba dinámica en arenas limpias y gravas arenosas.....	98
Figura 14	Relación Densidad Seca-Contenido de Humedad	99
Figura 15	Curvas de Compactación a 25 y 26 golpes.....	100
Figura 16	Equipo del Ensayo de Cono de Arena.	103
Figura 17	Densidad Seca Vs Humedad.....	118
Figura 18	Métodos de Compactación en Obras Viales.....	119
Figura 19	Tipos usuales de patas de rodillo de cabra	122
Figura 20	Influencia de la forma de la punta del vástago en los rodillos “Pata de cabra”	123
Figura 21	Influencia del tamaño y del área de la sección recta de los vástagos de los rodillos “Pata de Cabra”	123
Figura 22	Diagrama Cualitativo de Yd, Vs, w para diversas energías de compactación.....	124

Figura 23 Compactación Con Rodillo Pata de Cabra	125
Figura 24 Disipación de la presión de contacto de un rodillo liso con la profundidad	127
Figura 25 Relación entre el rendimiento de un rodillo liso, la velocidad de operación y el número de pasadas de las ruedas por el mismo punto.....	128
Figura 26 Compactación con rodillo neumático	129
Figura 27 Compactación con rodillo neumático	130
Figura 28 Ilustración de la eficacia de la compactación por vibración.....	135
Figura 29 Influencia de la frecuencia del vibrador en un proceso de compactación	136
Figura 30 indicación sobre elección de equipos de compactación	156
Figura 31 Relación de curvas de Densidades Especificas VS. Numero de pasadas de Compactador	163
Figura 32 Elección y cálculo de numero de pasadas para compactar un suelo de manera efectiva	174_Toc64292713
Figura 33 Curva Proctor o Curva de Relaciones entre humedad y densidad.....	176
Figura 34 Comparación de la variación de la Densidad Máxima Seca en función al aumento de energía de compactación	179
Figura 35 Aparato conocido como “Harvard miniatura”	192
Figura 36 Diagrama de la Fuerza Centrífuga F_c	194
Figura 37 Diagrama de Amplitud VS Frecuencia de Vibración	195
Figura 38 Diagrama de Amplitud VS Frecuencia de Resonancia	196
Figura 39 Compactación por peso propio (estática)	198
Figura 40 Compactación por vibración (dinámica).	199
Figura 41 Generación de la Fuerza Centrífuga	200
Figura 42 Frecuencia del excitador.....	202
Figura 43 Amplitud y oscilación total.....	203
Figura 44 Presión Lineal Estática.	204
Figura 45 Influencia de la Presión Lineal Estática.	205
Figura 46 Frecuencia y Distancia de Vibración.....	208
Figura 47 Modelo de Rodillo Liso Vibratorio	209

Figura 48 Determinación del espesor conveniente de capa	213
Nota. Tomado de “La Ingeniería de suelos en las vías terrestres”, (Rico, 2005, p. 188).	213
Figura 49 Influencia del espesor de la capa y el contenido de agua en la compactación. Rodillos neumáticos.....	214
Figura 50 Diagrama Densidad Media VS Espesor de Suelo	217
Figura 51 Diagrama Rendimiento de Compactador VS Espesor de Base	221
Figura 52 Diagrama Rendimiento de Compactador VS Velocidad de Equipo Compactador	223
Figura 53 Croquis de la Ubicación del Proyecto de Pavimentación Rígida en la Avenida Orión.....	236
Figura 54 Ubicación de la Obra: “Mejoramiento de Pistas y Veredas de la Av. Orión, Tramo (Circunvalación-Jr. Boreal) Junta Vecinal Cooperativa Santa Isabel, Huancayo, Provincia de Huancayo-Junín”	243
Figura 55 Zonificación de la Av. Orión.....	243
Figura 56 Sección Tipo I.....	244
Figura 57 Sección Tipo II	245
Figura 58 Ubicación de la Cantera Miraflores, Sapallanga-Huancayo.....	247
Figura 59	249
Figura 60 Curva Proctor del Material de Base.....	251
Figura 61 Esquema del Tramo Jr. Medusa-Jr. Géminis que comprende desde la progresiva 000+000-000+100.	268
Figura 62 Punto de Medición (Sector 1-Area 1): Progresiva: 000+018 km.	268
Figura 63 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 1-Area 1).....	270
Figura 64 Punto de Medición (Sector 1-Area 2): Progresiva: 000+025 km.	271
Figura 65 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 1-Area 2).....	273
Figura 66 Punto de Medición (Sector 1-Area 3): Progresiva: 000+055 km.	274
Figura 67 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 1-Area 3).....	276
Figura 68 Punto de Medición (Sector 1-Area 4): Progresiva: 000+062 km.	277
Figura 69 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 1-Area 4).....	279

Figura 70 Punto de Medición (Sector 1-Area 5): Progresiva: 000+090 km.	280
Figura 71 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 1-Area 5).....	282
Figura 72 Resumen del Contenido de Humedad en el Sector 01 (E1).	285
Figura 73 Esquema del Tramo Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde que comprende desde la progresiva 000+100-000+200.	286
Figura 74 Punto de Medición (Sector 3-Area 6): Progresiva: 000+118 km.	286
Figura 75 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 3-Area 6).....	287
Figura 76 Punto de Medición (Sector 3-Area 7): Progresiva: 000+125 km.	288
Figura 77 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 3-Area 7).....	289
Figura 78 Punto de Medición (Sector 3-Area 8): Progresiva: 000+155 km.	290
Figura 79 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 3-Area 8).....	292
Figura 80 Punto de Medición (Sector 3-Area 9): Progresiva: 000+162 km.	293
Figura 81 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 3-Area 9).....	295
Figura 82 Punto de Medición (Sector 3-Area 10): Progresiva: 000+190 km.	296
Figura 83 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 3-Area 10).....	297
Figura 84 Resumen del Contenido de Humedad en el Sector 03 (E1).	300
Figura 85 Esquema del Tramo Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde que comprende desde la progresiva 000+200-000+300.	301
Figura 86 Punto de Medición (Sector 5-Area 11): Progresiva: 000+218 km.	301
Figura 87 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 5-Area 11).....	303
Figura 88 Punto de Medición (Sector 5-Area 12): Progresiva: 000+225 km.	304
Figura 89 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 5-Area 12).....	306
Figura 90 Punto de Medición (Sector 5-Area 13): Progresiva: 000+255 km.	307
Figura 91 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 5-Area 13).....	309
Figura 92 Punto de Medición (Sector 5-Area 14): Progresiva: 000+262 km.	310
Figura 93 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 5-Area 14).....	312
Figura 94 Punto de Medición (Sector 5-Area 15): Progresiva: 000+290 km.	313
Figura 95 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 5-Area 15).....	315
Figura 96 Resumen del Contenido de Humedad en el Sector 05 (E1).	317

Figura 97 Esquema del Tramo Jr. Medusa-Jr. Géminis que comprende desde la progresiva 000+000-000+100.	319
Figura 98 Punto de Medición (Sector 1-Area 1): Progresiva: 000+018 km.	319
Figura 99 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 1-Area 1)	320
Figura 100 Punto de Medición (Sector 1-Area 2): Progresiva: 000+025 km.	322
Figura 101 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 1-Area 2)	324
Figura 102 Punto de Medición (Sector 1-Area 3): Progresiva: 000+055 km.	325
Figura 103 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 1-Area 3)	327
Figura 104 Punto de Medición (Sector 1-Area 4): Progresiva: 000+062 km.	328
Figura 105 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 1-Area 4)	330
Figura 106 Punto de Medición (Sector 1-Area 5): Progresiva: 000+090 km.	331
Figura 107 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 1-Area 5)	333
Figura 108 Resumen del Grado de Compactación en el Sector 01 (E1).	336
Figura 109 Esquema del Tramo Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde que comprende desde la progresiva 000+100-000+200.	337
Figura 110 Punto de Medición (Sector 3-Area 6): Progresiva: 000+118 km.	337
Figura 111 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 3-Area 6)	338
Figura 112 Punto de Medición (Sector 3-Area 7): Progresiva: 000+125 km.	339
Figura 113 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 3-Area 7)	340
Figura 114 Punto de Medición (Sector 3-Area 8): Progresiva: 000+155 km.	341
Figura 115 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 3-Area 8)	342
Figura 116 Punto de Medición (Sector 3-Area 9): Progresiva: 000+162 km.	343
Figura 117 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 3-Area 9)	344
Figura 118 Punto de Medición (Sector 3-Area 10): Progresiva: 000+190 km.	345
Figura 119 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 3-Area 10)	346
Figura 120 Resumen del Contenido de Humedad en el Sector 03 (E1).	348
Figura 121 Esquema del Tramo Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde que comprende desde la progresiva 000+200-000+300.	349
Figura 122 Punto de Medición (Sector 5-Area 11): Progresiva: 000+218 km.	349
Figura 123 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 5-Area 11)	351

Figura 124 Punto de Medición (Sector 5-Area 12): Progresiva: 000+225 km.	352
Figura 125 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 5-Area 12).....	354
Figura 126 Punto de Medición (Sector 5-Area 13): Progresiva: 000+255 km.	355
Figura 127 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 5-Area 13).....	357
Figura 128 Punto de Medición (Sector 5-Area 14): Progresiva: 000+262 km.	358
Figura 129 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 5-Area 14).....	360
Figura 130 Punto de Medición (Sector 5-Area 15): Progresiva: 000+290 km.	361
Figura 131 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 5-Area 15).....	363
Figura 132 Resumen del Grado de Compactación en el Sector 05 (E1).....	365
Figura 133 Esquema del Tramo Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde que comprende desde la progresiva 000+000-000+100.	367
Figura 134 Punto de Medición (Sector 2-Area 1): Progresiva: 000+002 km.	368
Figura 135 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 2-Area 1).....	369
Figura 136 Punto de Medición (Sector 2-Area 2): Progresiva: 000+035 km.	370
Figura 137 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 2-Area 2).....	372
Figura 138 Punto de Medición (Sector 2-Area 3): Progresiva: 000+045 km.	373
Figura 139 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 2-Area 3).....	375
Figura 140 Punto de Medición (Sector 2-Area 4): Progresiva: 000+078 km.	376
Figura 141 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 2-Area 4).....	377
Figura 142 Punto de Medición (Sector 2-Area 5): Progresiva: 000+090 km.	379
Figura 143 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 2-Area 5).....	381
Figura 144 Resumen del Contenido de Humedad en el Sector 02 (E2).	383
Figura 145 Esquema del Tramo Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde que comprende desde la progresiva 000+100-000+200.	384
Figura 146 Punto de Medición (Sector 4-Area 6): Progresiva: 000+102 km.	384
Figura 147 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 4-Area 6).....	385
Figura 148 Punto de Medición (Sector 4-Area 7): Progresiva: 000+135 km.	387
Figura 149 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 4-Area 7).....	388
Figura 150 Punto de Medición (Sector 4-Area 8): Progresiva: 000+145 km.	389
Figura 151 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 4-Area 8).....	390

Figura 152 Punto de Medición (Sector 4-Area 9): Progresiva: 000+178 km.	392
Figura 153 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 4-Area 9).....	393
Figura 154 Punto de Medición (Sector 4-Area 10): Progresiva: 000+190 km.	394
Figura 155 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 4-Area 10).....	395
Figura 156 Resumen del Contenido de Humedad en el Sector 04 (E2).	397
Figura 157 Esquema del Tramo Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde que comprende desde la progresiva 000+200-000+300.	398
Figura 158 Punto de Medición (Sector 6-Area 11): Progresiva: 000+202 km.	399
Figura 159 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 6-Area 11).....	400
Figura 160 Punto de Medición (Sector 6-Area 12): Progresiva: 000+235 km.	401
Figura 161 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 6-Area 12).....	403
Figura 162 Punto de Medición (Sector 6-Area 13): Progresiva: 000+245 km.	404
Figura 163 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 6-Area 13).....	406
Figura 164 Punto de Medición (Sector 6-Area 14): Progresiva: 000+278 km.	407
Figura 165 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 6-Area 14).....	409
Figura 166 Punto de Medición (Sector 6-Area 15): Progresiva: 000+290 km.	410
Figura 167 Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 6-Area 15).....	412
Figura 168 Resumen del Contenido de Humedad en el Sector 06 (E2).	414
Figura 169 Esquema del Tramo Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde que comprende desde la progresiva 000+000-000+100.	416
Figura 170 Punto de Medición (Sector 2-Area 1): Progresiva: 000+002 km.	417
Figura 171 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 2-Area 1).....	418
Figura 172 Punto de Medición (Sector 2-Area 2): Progresiva: 000+035 km.	419
Figura 173 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 2-Area 2).....	420
Figura 174 Punto de Medición (Sector 2-Area 3): Progresiva: 000+045 km.	422
Figura 175 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 2-Area 3).....	424
Figura 176 Punto de Medición (Sector 2-Area 4): Progresiva: 000+078 km.	425
Figura 177 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 2-Area 4).....	427
Figura 178 Punto de Medición (Sector 2-Area 5): Progresiva: 000+090 km.	428
Figura 179 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 2-Area 4).....	429

Figura 181 Esquema del Tramo Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde que comprende desde la progresiva 000+100-000+200.	433
Figura 182 Punto de Medición (Sector 4-Area 6): Progresiva: 000+102 km.	433
Figura 183 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 4-Area 6)	434
Figura 184 Punto de Medición (Sector 4-Area 7): Progresiva: 000+135 km.	436
Figura 185 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 4-Area 7)	437
Figura 186 Punto de Medición (Sector 4-Area 8): Progresiva: 000+145 km.	438
Figura 187 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 4-Area 8)	439
Figura 188 Punto de Medición (Sector 4-Area 9): Progresiva: 000+178 km.	440
Figura 189 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 4-Area 9)	441
Figura 190 Punto de Medición (Sector 4-Area 10): Progresiva: 000+190 km.	442
Figura 191 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 4-Area 10)	443
Figura 192 Resumen del Grado de Compactación en el Sector 04 (E2).....	445
Figura 193 Esquema del Tramo Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde que comprende desde la progresiva 000+200-000+300.	446
Figura 194 Punto de Medición (Sector 6-Area 11): Progresiva: 000+202 km.	446
Figura 195 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 6-Area 11)	448
Figura 196 Punto de Medición (Sector 6-Area 12): Progresiva: 000+235 km.	449
Figura 197 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 6-Area 12)	451
Figura 198 Punto de Medición (Sector 6-Area 13): Progresiva: 000+245 km.	452
Figura 199 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 6-Area 13)	454
Figura 200 Punto de Medición (Sector 6-Area 14): Progresiva: 000+278 km.	455
Figura 201 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 6-Area 14)	457
Figura 202 Punto de Medición (Sector 6-Area 15): Progresiva: 000+290 km.	458
Figura 203 Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 6-Area 15)	460
Figura 204 Resumen del Grado de Compactación en el Sector 06 (E2).....	462
Figura 205 Rendimiento del E1 Vs Pasadas de Rodillo E1.....	478
Figura 206 Rendimiento del E1 Vs Pasadas de Rodillo E2.....	479

CONTENIDO DE ECUACIONES

Ecuación N° 01: Ecuación de Curva de Compactación.	97
Ecuación N° 02: Ecuación de Curva de Saturación.	97
Ecuación N° 03: Ecuación de Grado de Compactación.....	107
Ecuación N°04: Ecuación de la energía de Compactación.	115
Ecuación N°05: Calculo de la Energía Especifica en el Laboratorio.....	143
Ecuación N°06: Ecuación de la energía de Compactación.	177
Ecuación N°07: Calculo de la Densidad.	181
Ecuación N°08: Calculo del Contenido de Humedad.....	182
Ecuación N°09: Calculo de Densidad Seca.	182
Ecuación N°10: Ecuación de la masa Excéntrica	192
Ecuación N°11: Ecuación de Fuerza Centrífuga.	201
Ecuación N°12: Ecuación de Amplitud Nominal.	203
Ecuación N°13: Ecuación de Presión Lineal Estática.....	205
Ecuación N°14: Ecuación de Presión Lineal Dinámica.....	206
Ecuación N°15: Ecuación del Numero Estructural.....	218
Ecuación N°16: Ecuación del Rendimiento del Compactador.	220
Ecuación N°17: Ecuación del Productividad de Equipo Compactador.	225

CONTENIDO DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1	Se puede visualizar el Cartel de Obra de la Vía en Estudio.....	571
Fotografía 2	Primer Tramo: Jr. Medusa-Jr. Géminis (000+000-000+100)	571
Fotografía 3	Segundo Tramo: Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde (000+100-000+200)	572
Fotografía 4	Tercer Tramo: Jr. Castillo Verde-Jr. Galaxia (000+200-000+300) ...	572
Fotografía 5	Se visualiza la Cantera Sapallanga, Miraflores-Huancayo.	573
Fotografía 6	Se aprecia la conformación de la Base Granular, la cual presenta material de liga y el porcentaje de grava adecuada.	¡Error! Marcador no definido.
Fotografía 7	Se aprecia las instalaciones del laboratorio GICA para la realización de los ensayos de Granulométrica y Proctor Modificado del material asignado como Base.	¡Error! Marcador no definido.
Fotografía 8	Se aprecia la elaboración del Ensayo Granulométrico.....	573
Fotografía 9	Se aprecia el equipamiento para la realización del Ensayo de Proctor Modificado y la propia ejecución del ensayo.....	574
Fotografía 10	Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg Marca Ingersoll Rand. ...	¡Error! Marcador no definido.
Fotografía 11	Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg Marca Ingersoll Rand. ...	¡Error! Marcador no definido.
Fotografía 12	Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg Marca Ingersoll Rand. ...	¡Error! Marcador no definido.
Fotografía 13	Presenciando el esparcido de Material de Base.	574
Fotografía 14	Tendido de Material de Base al 100%.	575
Fotografía 15	Verificación de la conformación de base de 20 cm.	575
Fotografía 16	Cisterna Azul capacidad de 2,000.00 Litros.	576
Fotografía 17	Riego en el Primer Tramo.....	¡Error! Marcador no definido.
Fotografía 18	Se controló la temperatura y el horario de riego de la cisterna en el primer tramo.....	576

Fotografía 19 Se puede apreciar el control de los Pasadas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg con pasadas estáticas sobre la base de 20 cm de material seleccionado en el Primer Tramo de Estudio.**¡Error! Marcador no definido.**

Fotografía 20 Se puede apreciar el control de los Pasadas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg con pasadas vibradas sobre la base de 20 cm de material seleccionado en el Segundo Tramo de Estudio.**¡Error! Marcador no definido.**

Fotografía 21 Se puede apreciar el control de los Pasadas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg con pasadas Estáticas y vibradas sobre la base de 20 cm de material seleccionado en el Tercer Tramo de Estudio. 577

Fotografía 22 Se puede apreciar el control de los Pasadas del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg con pasadas Estáticas sobre la base de 20 cm de material seleccionado en el Primer Tramo de Estudio. 577

Fotografía 23 Se puede apreciar el control de los Pasadas del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg con pasadas Vibradas sobre la base de 20 cm de material seleccionado en el Segundo Tramo de Estudio. 578

Fotografía 24 Se puede apreciar el control de los Pasadas del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg con pasadas Estáticas y Vibradas sobre la base de 20 cm de material seleccionado en el Segundo Tramo de Estudio..... 578

RESUMEN

La Investigación se enfocó en explicar el efecto produce el control de la energía específica en la optimización de la resistencia del proceso de compactación de bases granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo, teniendo como objetivo determinar el efecto que produce el Control de la Energía Específica en la optimización de la resistencia del proceso de compactación de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo. Al momento de evaluar los resultados finales se pudo comprobar la hipótesis general el cual afirma que el control de la Energía Específica produce efectos significativos en la optimización de la resistencia del Proceso de compactación de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo. El Método de investigación fue el científico-Experimental, el tipo de investigación fue Aplicada, el nivel de investigación fue Explicativo, el diseño de la presente investigación fue Experimental-Cuasi Experimental, la población fue la capa granular de 09 Cuadras de la Av. Orión compuesta por el Tramo: Jr. Boreal-Av. Circunvalación, la muestra fue la capa Granular de 03 Cuadras de la Av. Orión compuesta por el tramo: Jr. Medusa-Jr. Galaxia y se tuvo un tipo de muestreo no probabilístico. En primer lugar se optimizo la resistencia de la Base Granular de 0.20 m del sector 03 correspondiente al Tramo: Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde con en el Rodillo Liso Vibratorio de 11,247.00 kg con solo 08 pasadas vibratorias, alcanzando un rendimiento de 96.08 m³/h y en segundo lugar se optimizo la resistencia de la Base Granular de 0.20 m del sector 03 correspondiente al del Tramo: Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde con en el Rodillo Liso Vibratorio de 12,002.00 kg con solo en 06 pasadas vibratorias alcanzando un rendimiento de 128.10 m³/h, en ambos casos se cumplió con los requerimientos de la Norma CE.010 satisfactoriamente, evitando sobrecompactación y asentamientos en la Base. El empleo del Análisis de Varianza permitió establecer el comportamiento de los Datos estadísticos como Contenido de Humedades y el Grado de Compactación en Campo, además de contrastar la Hipótesis nula. Por lo expuesto se concluyó que el control de la energía específica utilizando Rodillos Lisos Vibratorios de Suelos de 11,247 kg y

12,002 kg produce efectos significativos en la optimización de la Resistencia de Bases granulares en Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo en función a las Dimensiones Contenido de Humedad y Grado de compactación.

Palabras claves: Energía, compactación, resistencia, granular, ensayo, humedad.

ABSTRACT

The Research focused on explaining the effect produced by the control of the specific energy in the optimization of the resistance of the compaction process of granular bases of Urban Pavements in the Locality of Huancayo, aiming to determine the effect that Specific Energy Control produces on the optimization of the resistance of the compaction process of Granular Bases of Urban Pavements in the Locality of Huancayo. At the time of evaluating the final results, the general hypothesis was checked which states that the control of The Specific Energy produces significant effects on the optimization of the resistance of the Process of compaction of Granular Bases of Urban Pavements in the Locality of Huancayo. The Research Method was scientific-experimental, the type of research was Applied, the level of research was Explanatory, the design of this research was Experimental-Quasi Experimental, the population was the granular layer of 09 Blocks of Av. Orion composed by the Tramo: Jr. Boreal-Av. Circumvalation, the sample was the Granular layer of 03 Blocks of Av. Orion composed of the stretch: Jr. Medusa-Jr. Galaxy and you had a non-probabilistic type of sampling. First, the resistance of the Granular Base of 0.20 m of sector 03 corresponding to the Stretch was optimised: Jr. Gemini-Jr. Green Castle with on the Vibratory Smooth Roller of 11,247.00 kg with only 08 vibrating passes, reaching a performance of 96.08 m³/h and secondly the resistance of the Granular Base of 0.20 m of sector 03 corresponding to that of the Tramo: Jr. Gemini-Jr. was optimized. Green Castle with in the Vibratory Smooth Roller of 12,002.00 kg with only 06 vibrating passes reaching a yield of 128.10 m³/h, in both cases met the requirements of THE CE.010 standard satisfactorily, avoiding overcompaction and settlements at the Base. The use of variance analysis allowed the behavior of statistical data to be established as Moisture Content and the Degree of Compaction in the Field, in addition to contrasting the Null Hypothesis. It was therefore concluded that the control of the specified energy using Vibratory Soil Smooth Rollers of 11,247 kg and 12,002 kg produces significant effects in the optimization of the Resistance of granular bases in

Urban Pavements in the Locality of Huancayo depending on the Dimensions Content of Humidity and Degree of Compaction.

Keywords: Energy, compaction, resistance, granular, testing, humidity.

INTRODUCCIÓN

Por lo general se ha considerado los procesos de compactación en la ejecución de los proyectos, esto debido a la parte sustancial que le otorga para la ejecución de los mismos, ya que generalmente permite mejorar las características del suelo mejorando ciertas propiedades que ésta posee. Desde esa perspectiva fundamental es crucial realizar el correcto proceso de compactación, ya que la omisión del mismo podría ocasionar daños y pérdidas tan pronto como se presente, dada la importancia se han implementado normas técnicas aplicables al proceso de compactación en cuanto a los materiales a usarse en cada zona (Sánchez, 1996).

En el Proceso de compactación están involucrados diversos factores como: la Naturaleza del Suelo, El método de Compactación, La Energía específica, El Contenido de agua del Suelo, El sentido que se recorra la escala de humedades al efectuar la compactación, El contenido de agua original del Suelo, La recompactación, La temperatura y otras variables. Al respecto Rico y Del Castillo (1992), concluyen que “En la ejecución del proceso de compactación existe una virtud con la que la energía específica se aplica; su papel es primordial, pero su cuantificación muy difícil” (p.158).

El concepto de energía específica conserva su pleno valor fundamental cuando se relaciona con procedimientos de compactación de campo. “En el caso de uso de rodillos depende principalmente de la presión y el área de contacto entre el rodillo y el suelo, del espesor de la capa que se compacte y del número de pasadas del equipo” (Rico y Del Castillo, 1992, p. 156).

En nuestro país generalmente no se tienen datos de estudios realizados anteriormente sobre el control de la energía específica en los procesos de compactación, los profesionales involucrados en obras viales en su mayoría toman decisiones empíricas, según la experiencia adquirida para resolver problemas en

procesos constructivos relacionados a la compactación de campo. La mayoría de ingenieros con mayor experiencia logran resolver con éxito los problemas presentados en este rubro por otra parte los ingenieros que recién inician en la labor profesional exponen al proceso constructivo a fallas que pueden ser cruciales, teniendo como resultado obras viales con deficiencias estructurales en muy poco periodo de vida, haciendo de los mantenimientos una actividad cotidiana para la mejora en un periodo corto de tiempo los cuales a su vez crean costos no sustentables.

En nuestro medio se encuentra diferentes problemas relacionados al control de la energía específica en los procesos de compactación de campo ya que no se conoce en profundidad los factores involucrados en esta, es por ello que la Presente tesis Titulada “Control de la Energía Específica para la Optimización de la Resistencia del Proceso de Compactación de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo”, tiene como objetivo “Determinar el efecto que produce el control de la Energía Específica en la optimización de la resistencia del Proceso de Compactación de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo”, se tomó como muestra la capa granular de Base de 03 Cuadras de la Av. Orión Tramo: Jr. Medusa-Jr. Galaxia, el cual fue controlado en base a la energía específica aplicada en el proceso de compactación de campo, para ello se Utilizó Equipos de Compactación de Suelos Vibratorios de 11,247 kg y 12,002 kg de los cuales se evaluaron indicadores como La Presión de Compactación del Equipo, Área de Contacto del Equipo de Compactación y el Suelo de Base, Espesor de la capa de Base y Numero de Pasadas del Equipo Compactador. Mediante dicho control se logró determinar la optimización de la resistencia de las bases granulares de los pavimentos urbanos de la localidad de Huancayo en base a los indicadores como El contenido de humedad en campo medido por el Ensayo de Carburo de Calcio y el Grado de Compactación medido por el Ensayo del Cono de Arena, cumpliendo con lo requerido en la Normativa CE.010 de Pavimentos Urbanos.

El Capítulo I corresponde al Planteamiento del problema de investigación, donde se desarrolló la Descripción de la realidad problemática, delimitación del problema, formulación del problema, justificación, y objetivos.

El Capítulo II corresponde al marco teórico, donde se desarrolló los antecedentes, bases teóricas, marco conceptual y definición de términos.

El Capítulo III corresponde a la formulación de Hipótesis General e Hipótesis Específicas mediante la definición conceptual y operacional de Variables.

En el Capítulo IV corresponde a la metodología, donde se identificó el método de investigación, tipo de investigación, nivel de investigación, diseño de investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos, Técnicas de procesamiento y análisis de datos y Aspectos éticos de la investigación.

En el Capítulo V de detallan la Descripción de resultados y la Contrastación de hipótesis.

Luego se presenta el Análisis y Discusión de Resultados bajo el respaldo de otras investigaciones mencionadas en los antecedentes de la presente investigación.

Y finalmente se da a conocer las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos de la presente investigación.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática.

El mayor problema del profesional, observado para el desempeño en la mecánica de suelos, es el desconocimiento del comportamiento del suelo frente a obras civiles. En situaciones adversas de resistencia del suelo, terminan confirmando su decisión. La asociación de la ingeniería civil y la infraestructura responde inmediatamente a las edificaciones, habiendo muchas otras especialidades. Por ello, en primer lugar, se debe encontrar la analogía existente entre una edificación, que bien se entiende, con la estructura de un pavimento, que trata de mostrar su importancia. Existen múltiples causas de degradación prematura de los pavimentos flexibles. La idea principal radica en comprender el porqué de la degradación de los pavimentos, contrastando gráficamente resultados de las evaluaciones que miden su deterioro a lo largo de los años. En algunos casos, las obras presentan serias deficiencias por emplear procesos constructivos con el indebido control de calidad. En otras, las labores de la supervisión apoyan en la logística del contratista haciéndose dependiente y como ejecutar. Sin lugar a dudas los procesos constructivos deficientes generan estructuras débiles que no alcancen el tiempo de servicio proyectado.

En los últimos años, la mayoría de las carreteras mantenidas o rehabilitadas (M&R) se han deteriorado prematuramente disminuyendo la condición de servicio de la vía, demandando trabajos correctivos y complementarios antes de lo previsto. Estas situaciones se observan especialmente en las carreteras de penetración, al no haberse tomado en cuenta variables que modifican los diseños de los pavimentos, demandando mayor inversión que la inicial. Finalmente, los trabajos de mantenimiento de las vías son limitados e inadecuados, generando trabajos correctivos prematuros o la pronta rehabilitación.

Uno de los Principales problemas en el Proceso constructivo de Pavimentos Urbanos es el desconocimiento de partidas que involucran múltiples factores los cuales sino se controlan debidamente pueden perjudicar sustancialmente a la ejecución de la Obra. Una de las Partidas Criticas en la Construcción de Pavimentos Urbanos viene a ser el Proceso de compactación de Bases por ser una de las más influyentes y a la vez una de las más difíciles de controlar por los diferentes factores que interactúan en la misma, perjudicando directamente en la calidad final del Pavimento. “En primer lugar, la compactación es un proceso de múltiples objetivos y ello propicia la dificultad, pero, en segundo lugar, es evidente que muchos de esos objetivos serán contradictorios en muchos casos específicos, en el sentido que las acciones que se emprendan con un objetivo en común pudieran perjudicar a algún otro”. Dentro del Proceso de compactación están involucrados varios factores como, la Naturaleza del Suelo, El método de Compactación, La Energía específica, El Contenido de agua del Suelo, El sentido que se recorra la escala de humedades al efectuar la compactación, El contenido de agua original del Suelo, La recompactación, La temperatura y otras variables. Al respecto Rico y Del Castillo (1992), concluyen que “En la ejecución del proceso de compactación existe una virtud con la que la energía específica se aplica; su papel es primordial, pero su cuantificación muy difícil” (p.158).

Desde esa perspectiva Peñalosa (2020), afirma que en el Perú cada año se llega a invertir sumas importantes en lo que refiere mantenimiento, rehabilitación y construcción de pavimentos, esto ocasionado por el alto desgaste de los mismos, teniendo por causa principal el incremento exponencial de la carga del parque automotor, asimismo, diseños deficientes, mal proceso constructivo, factores climáticos, mantenimiento inadecuado y el mal drenaje.

Según Gutierrez (2016), en los últimos años, se ha ejecutado diversos trabajos sustanciales relacionados con la ingeniería vial y a pesar de que se han desarrollado cientos de kilómetros, no se cuenta con metodologías acorde a la variedad de condiciones que presenta el territorio Nacional. Por lo general, los

trabajos en geotecnia vial se orientan a determinar una secuencia lógica para afrontar problemas que se encierra al largo de las vías, estableciendo planeamientos estratégicos que culmina en la solución.

En algunos casos, las obras presentan importantes deficiencias por emplear procedimientos constructivos sin el debido control de calidad. En otras, las labores de la supervisión se apoyan en la logística del contratista haciéndose dependiente y cómoda de ejecutar. Sin lugar a dudas los procesos constructivos deficientes generan estructuras débiles que no alcanzan el tiempo de servicio proyectado. Por otro lado, los proyectistas subcontratan la participación de profesionales, generando heterogeneidad en los trabajos realizados y como consecuencia un proyecto antieconómico, ya que tendrá solución inadecuada el problema real. En la mayoría de los expedientes técnicos no se integran las informaciones obtenidas del estudio de tráfico como de la evaluación de los suelos, de una manera coherente que permita la toma de decisiones. La respuesta de los suelos frente a estas cargas se refleja en la etapa de diseño. Sin embargo, se asocian solo como insumos de diseño, mas no como interacción de ambas variables.

1.2. Delimitación del problema.

En la Localidad de Huancayo el sistema de Pavimentación Urbana presenta problemas de importancia en su estructuración, no cumpliendo con su periodo de diseño y en la mayoría de casos el empleo de conocimiento empírico por parte de los técnicos y profesionales hacen que la obra culmine inadecuadamente.

Se ha podido constatar En Obras de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo que el control de factores involucrados en el Proceso de Compactación de bases se realiza primordialmente basándose en la Experiencia de los Residentes y Técnicos. Por otra parte, cuando los Profesionales son muy jóvenes y carecen de experiencias se basan en conocimientos empíricos de operadores y técnicos en la construcción que están directamente relacionados con la obra. No existiendo un conocimiento científico ni estudios previos que puedan determinar características

fiables. Si se controlara uno de los factores esenciales como viene a ser la Energía Especifica en el proceso de compactación de campo, y tratada responsablemente se lograría optimizar la resistencia de bases granulares en los pavimentos urbanos de la localidad de Huancayo, ya que es uno de los objetivos que se busca siempre y esto conllevaría a la buena toma de decisiones ingenieriles en beneficio de la Obra. Existen diversos problemas que encuentra un Ingeniero residente en campo al momento de enfrentar procedimientos que son pulidos con la experiencia.

1.3. Formulación del Problema.

1.3.1. Problema General

¿Qué efecto produce el Control de la Energía Especifica en la optimización de la resistencia del Proceso de Compactación de bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo?

1.3.2. Problemas Específicos

- a. ¿Qué efecto produce el Control del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg en el Contenido de Humedad de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo?
- b. ¿Qué efecto produce el Control del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg en el Grado de Compactación de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo?
- c. ¿Qué efecto produce el Control del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg en el Contenido de Humedad de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo?
- d. ¿Qué efecto produce el Control del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg en el Grado de Compactación de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo?

1.4. Justificación.

1.4.1. Justificación Social

El presente estudio aliviara la preocupación para la sociedad es obtener obras de pavimentos urbanos en la Localidad de Huancayo que cumplan con el su periodo de diseño, evitando tempranos mantenimientos los cuales son costos en adicionales e imprevistos para las entidades públicas y por ende costosos para la población. Así mismo se beneficiará al círculo social profesional de Obras viales ya que mediante el presente estudio se facilitará la toma de decisiones en casos puntuales al momento de controlar la Energía específica en el proceso de compactación de campo para optimizar la Resistencia de Bases granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo.

1.4.2. Justificación Teórica

La presente investigación consiste en una nueva forma de entender el problema del control de la energía Especifica en el Proceso de compactación (priorizando el objetivo fundamental y la medición directa del parámetro geotécnico), ampliando los conceptos de los factores que se involucran en mencionado proceso como: La Presión de Compactación del Equipo, Área de Contacto del Equipo de Compactación y el Suelo de Base, Espesor de la capa de Base y Numero de Pasadas del Equipo Compactador, con el objetivo de optimizar la resistencia de bases granulares de pavimentos urbanos en la Localidad de Huancayo. Los resultados obtenidos servirán de aporte para el desarrollo de futuras investigaciones en el área de geotécnica vial, en mecánica de suelos granulares, y en la extensión del presente tema con procedimientos aplicativos en obra.

1.4.3. Justificación Metodológica

El alcance o proyección educativa que tiene la presente investigación es plasmar en tablas los resultados y brindar de una manera práctica a los profesionales que se inician como Residentes de Obra, un apoyo técnico al momento de tomar decisiones en casos puntuales y prácticos en el Control de la Energía Específica para lograr la resistencia adecuada de Bases en el proceso de compactación de Obras de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo.

1.4.4. Justificación Práctica

El control de la Energía Específica en el proceso de compactación de campo nos permitirá tener importantes ahorros de tiempo y recursos, garantizando la resistencia de bases granulares en los pavimentos urbanos de la localidad de Huancayo, puesto que la relación de densidad y resistencia es muy particular para suelos granulares y se puede obtener a través del control de variables que condicionan la Energía Específica de compactación en campo como: La Presión de Compactación del Equipo, Área de Contacto del Equipo de Compactación y el Suelo de Base, Espesor de la capa de Base y Numero de Pasadas del Equipo Compactador, garantizando la calidad correspondiente en el proceso constructivo.

1.4.5. Justificación Económica

La reducción de Horas máquina de Equipo Compactador y la disminución del número de pasadas del compactador en Bases granulares, es uno de los principales enfoques que se pretende destacar en el aprovechamiento de los recursos en las obras viales. Es por ello que en la presente tesis se analizó el modo adecuado de trabajo de dos tipos de Rodillos lisos vibratorios en campo al momento de la aplicación de la energía

específica, las óptimas pasadas por cada rodillo trabajado cumplieron en todo momento con los controles de calidad establecidos en la Normativa CE.010 de Pavimentos Urbanos. Como aporte del estudio el constructor tendrá datos claros y precisos para la toma de decisiones al momento de manipular uno de los principales factores de la compactación de campo como viene a ser el control de la energía específica.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

Determinar el efecto que produce el control de la Energía Específica en la optimización de la resistencia del Proceso de compactación de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo.

1.5.2. Objetivo Específicos

- a. Determinar el efecto que produce el control Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg en el Contenido de Humedad de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la localidad de Huancayo.
- b. Determinar el efecto que produce el control del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg en el Grado de Compactación de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la localidad de Huancayo.
- c. Determinar el efecto que produce el control del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg en el Contenido de Humedad de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la localidad de Huancayo.
- d. Determinar el efecto que produce el control del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg en el Grado de Compactación de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la localidad de Huancayo.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes

3.1.1. Nacionales

Castañeda (2017), por su parte en su investigación de tesis para obtener el grado de Magister en Ingeniería Civil con mención en Estructura, sustentado en la Universidad Cesar Vallejo, denominada como “Incorporación de suelos gravosos a la clasificación SUCCS planteados por Braja Das en la Teoría de compactación de suelos: Ensayos en Suelos Andinos-Perú”, trabajó con una muestra de 996 ensayos de compactación en laboratorio (relación densidad con respecto al contenido de humedad) realizados principalmente en el “Laboratorio de Mecánica de Suelos” de la Empresa G&S Servicios SRL. Siendo el objetivo de investigación Incorporar las curvas de Compactación de Suelos Gravosos a la clasificación SUCS planteados por Braja Das en la teoría de compactación de suelos: ensayos en suelos Andinos-Perú. Tras el proceso de investigación se incorporó las “curvas de compactación” de suelos “gravosos” (G), categoría que para el ámbito donde se llevó a cabo la investigación tienen un rango de “máxima densidad seca” sin corregir entre 1,445 gr/cm³ hasta 2,282 gr/cm³, alcanzando hasta un valor de 2,362 gr/cm³ cuando se realiza la corrección por grava. Por lo que recomienda que se realicen investigaciones complementarias relacionadas a los parámetros de resistencia de los suelos peruanos, de tal manera que dicha información permita verificar los resultados que se hayan obtenido en otros estudios, mismos resultados que vienen siendo utilizados en la actualidad, de tal manera que los nuevos valores sean significativos.

Gutierrez (2007), para optar el Grado de Magister en Ciencias con Mención en Ingeniería Geotécnica, sustento en la Universidad Nacional de Ingeniería; La Tesis: “Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles con Fines de Análisis y Diseño en el Perú”, hizo uso de los métodos tradicionales

para el diseño de pavimentos flexibles. El objetivo de la tesis fue: Proponer la metodología de análisis y diseño de pavimentos flexibles basados en la articulación entre métodos tradicionales que permiten el modelamiento geotécnico acorde con la realidad regional peruana. Llegando entre otras a la siguiente conclusión: El pavimento es una estructura que no es solicitada por su carga de diseño, sino hasta el final del tiempo de servicio; luego se puede concluir que la estructura siempre estará sobredimensionada y por lo tanto las fallas prematuras (primer tercio de servicio) que pudieran presentarse en las estructuras, corresponderán exclusivamente al proceso constructivo. En la tesis se recomienda, Si bien no ha sido parte del presente trabajo, se debe evaluar, que efectos produce los factores de influencia en la estructura de pavimentos, en los materiales constituyentes o en la carpeta asfáltica sensible al intemperismo.

Blas (2013), estudió la influencia de la temperatura ambiental en la resistencia de la sub-base y base granular de pavimentos en el distrito de El tambo en la provincia de Huancayo. Con el objetivo de definir la causalidad influyente de la temperatura ambiental sobre la resistencia de la sub-base y base granular en las obras de pavimentación. La investigación parte de la medición del efecto de la temperatura en el contenido de humedad durante diversas horas del día, a partir del cual determinó la resistencia que muestra durante cada medición de tal efecto. Tras el mencionado análisis Blas A. observa que la temperatura ambiental ejerce un nivel significativo de influencia sobre la humedad contenida en el material colocado para las capas de base y sub-base granular, ya que obtuvo que ante una variación de 8.8 °C produce una reducción del 15% aproximadamente del valor CBR. De lo investigado recomienda que se debería realizar un manejo adecuado en cuanto al contenido de humedad ya que dicha variable permitirá utilizar de manera más óptima la energía de compactación que se ejerce.

Atala (2011), quien realizo la tesis denominada “Estudio experimental sobre correlaciones en suelos granulares finos (arenas) compactados, usando equipos de penetración” para obtener el grado de Maestro en Ciencias y habiendo obtenido el resultado de la prueba de proctor modificado en arenas finas no cohesivas llevada a cabo en la investigación describe “en el caso de la presente investigación, considerando el caso de la densidad alcanzada al 100% de la Máxima Densidad Seca del Proctor Modificado ($D_r=69.3\%$) con una densidad seca promedio de 1.643 gr/cm^3 y optimo contenido de humedad de 6% .

Establece el autor en este caso en particular, en un suelo con un contenido predominante de arenas, el valor de su Máxima Densidad Seca Compactada con respecto a su optimo contenido de humedad, donde se puede ir ya verificando los valores alcanzados tanto de la densidad seca compactada y del contenido de humedad requerido para los suelos con predominancia en arenas.

El valor de la Máxima Densidad Seca obtenida sin la corrección del proctor por grava, nos da una idea del valor a obtener de la Máxima Densidad Seca Corregida por el contenido de la fracción gravosa presente en la muestra en caso esta supere el 5% del peso total de la muestra y nos va descubriendo el rango en que se ajustaría este valor y por ende el rango de la densidad para esta categoría de suelo.

3.1.2. Internacionales

(Sagüés, 2007), publicó el artículo Científico titulado “Propiedades de los suelos compactados”, donde indica que la compactación de suelos es un procedimiento por el cual se mejoran algunas propiedades mecánicas de los suelos. Mediante la aplicación de energía mecánica se reducen los vacíos que se encuentran con aire en la masa de suelo para aumentar su peso unitario. De esta forma se logra un aumento en la resistencia, en la rigidez, una mejora en

la estabilidad volumétrica y una disminución de la permeabilidad del suelo. El mejoramiento mediante compactación es utilizado en rellenos artificiales para la construcción de caminos, presas, terraplenes, entre otros. También puede ser requerido en casos de cimentaciones sobre terreno natural, por ejemplo, en arenas sueltas.

Armas y González (2008), publicaron el artículo científico titulado “Criterios sobre la compactación de suelos y el control de calidad de terraplenes”, donde se explica la teoría de compactación de los suelos finos y los objetivos por los cuales se compactan los diferentes tipos de terraplenes, que no es otro que mejorar las propiedades mecánicas del suelo con que se construyen. Se señala la diferencia en los objetivos por los que compacta un “carretero” (constructor de terraplenes para vías de comunicación y explanaciones en general) y un “presero” (constructor de presas de tierra y diques de contención de aguas) y se define, en función de los materiales que se seleccionan y la humedad de estos en la naturaleza, la energía de compactación que se justifica utilizar por cada uno de ellos. Por último, como parte del control de calidad de los terraplenes construidos, se demuestra la necesidad de que los “carreteros, al igual que los “preseros”, exija que, durante el control de compactación, se cumplan los requisitos del grado de compactación y rango de humedades con las que se debe compactar, con el fin de alcanzar la calidad requerida de la forma más económica.

Pérez, Montejano y Espinosa (2017), publicaron el artículo científico titulado “Desarrollos urbanísticos en los cinturones de las ciudades. Caso Practico del Sector APD21 en la ciudad de Alicante”, donde expone la recuperación y tratamiento por medio de la técnica de Compactación Dinámica de rellenos antrópicos como terrenos de cimentación de los futuros viales y redes, describiendo los resultados y el procedimiento de ejecución llevado a cabo en el caso de la recuperación de un espacio como suelo industrial en el alfoz de la ciudad de Alicante; donde se acumulan importantes

extensiones de rellenos antrópicos sin clasificar, de naturaleza totalmente heterogénea y muy cambiante de unas zonas a otras, con espesores muy variables con zonas puntuales de hasta 16 cm y concluye que la compactación dinámica es una técnica de tratamiento del terreno eminentemente empírica y difícil de acotar pero la más eficiente y eficaz en fase de compactaciones de proyectos. Debido a ello, es recomendable siempre realizar una zona de ensayos al comienzo de la actuación con el fin de acotar los parámetros del tratamiento. Asimismo, es imprescindible un correcto seguimiento de los trabajos con el fin de adaptarlo a los requerimientos del terreno.

Osorio (2008), para optar el Grado de Magister en Ciencias de la Ingeniería, sustento en la Universidad Católica de Chile; la Tesis “Metodología de Evaluación In-Situ de la Capacidad de Soporte de Bases y Sub Bases Granulares de Pavimentos Flexibles con el deflectómetro de Impacto Liviano”, cuya muestra se ubica en un terreno destinado a acopio de materiales en la localidad de Chacay y un lugar destinado para la ejecución de un proyecto de pavimentación de un tramo de camino forestal consistente en un paquete estructural compuesto por una sub base estabilizada con asfalto espumado. El objetivo de la investigación fue otorgar una propuesta de metodología para el uso del deflectómetro de impacto liviano en la evaluación en el propio lugar de la capacidad de soporte de capas granulares de pavimentos flexibles. Del cual concluye que el indicador de la capacidad estructural de las capas granulares que se suele usar tanto en los métodos actuales de diseño estructural de pavimentos flexibles como en la nueva Guía de Diseño AASHTO del año 2008 es el Módulo resiliente (Mr) que se puede ubicar en las mismas, aunque durante la construcción de dichas capas los materiales granulares son especificados considerando el valor CBR, los cuales son controlados ya en terreno de acuerdo a los valores de densidad que alcancen.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Resistencia de Bases Granulares.

Durante las últimas décadas, se fueron llevando a cabo diversos métodos que permitan realizar la clasificación de suelos. De las cuales destaca el método de clasificación AASTHO (American Association Of State Highway And Transportation Officials, por sus siglas en inglés) y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). La clasificación de los suelos es como se detalla en la Tabla N° 01, donde se puede observar la correlación de los sistemas mencionados. La clasificación en cuestión posibilita la predicción de la estructura aproximada de los suelos (Quiñonez, 2015).

Tabla 1.

Clasificación de Suelos: US Army Corps of Engineers

Clasificación General	Usos	Sistema de Clasificación	
		AASTHO M-145	Unificado (SUCS) ASTM-D-2487
Muy Pobre	Sub Rasante	A-5, A-6, A-7	OH, CH, MH, OL
Pobre a Regular	Sub Rasante	A-4, A-5, A-6, A-7	OH, CH, MH, OL
Regular	Sub-Base	A-2, A-4, A-6, A-7	OL, CL, ML, SC, SM, SP
Bueno	Base, Sub-Base	A-1B, A-2-5, A-2-6	GM, GC, SW, SM, SP, GP
Excelente	Base	A-1a, A-2-4, A-3	GW, GM

Nota: Tomado de Quiñonez, 2015, p. 15.

Las normas en las que se basan ambos métodos de clasificación son: M-145 y ASTM D-2487.

Bañón (2000), describe acerca de los suelos granulares lo siguiente:

...suelos Granulares, este tipo de suelos está formado por partículas agregadas y sin cohesión entre ellas dado el gran tamaño de las mismas, su origen obedece fundamentalmente a procesos de meteorización física; lajamiento, termoclastia, hialoclastia o fenómenos de hidratación física, el tipo de transporte condiciona en buena medida sus características granulométricas, así, un suelo de origen eólico presentara un tamaño uniforme de sus partículas; si el transporte es fluvial, presentara una granulometría progresiva en función de la energía del medio; por el contrario, las características principales de este tipo de suelo con su buena capacidad portante y su elevada permeabilidad (p. 3).

Donde describe que entre las principales características del suelo granulado es que consta de partículas agregadas y que no se encuentran cohesionadas entre las mismas debido a que presentan gran tamaño; asimismo, Bañón detalla [14] que el origen de este tipo de suelo se debe principalmente a los procesos de meteorización o hidratación física. Otro punto importante que resalta es que el tipo de transporte también se vuelve un condicionante de las medidas granulométricas. Acerca de este tipo de suelos añade que posee ventajas en la capacidad portante y su amplia permeabilidad.

El suelo que se utiliza en las labores de ingeniería ya sean en terraplenes, bases para caminos, entre otros, se tiende a realizar el proceso de compactación para llevarlo a un estado sólido, de esta forma las propiedades que adquiere el suelo son más efectivas como resistencia al esfuerzo corte, compresibilidad o permeabilidad. Asimismo, los suelos destinados a cimentaciones tienden a ser compactados para lograr mayor efectividad en sus propiedades de ingeniería. Al respecto Escario [14] afirma que los procesos que involucran la realización de ensayos de compactación en laboratorio

proporcionan los fundamentos que permitirán definir la proporción de compactación y contenido de humedad que requiere el suelo para adquirir las propiedades necesarias de ingeniería, de tal manera que se lleve a cabo el control, acción que aseguraría la adecuada compactación y contenido de humedad en el mismo.

El proceso que se sigue para definir las propiedades que posee las bases granulares que se pretende analizar, es primero realizando las calicatas que permitirán obtener muestras representativas, de forma seguida se determina las propiedades que posee en laboratorio como granulometría, límites de Atterberg (líquido e índice plástico), valor de soporte (CBR), densidad de Proctor y humedad. La información que proporcionan los ensayos permite elaborar un perfil estratigráfico, que permite evaluar y analizar los tipos de suelos que se ubican en cada estrato. De lo mencionado se reconoce que antes de determinar las propiedades de los suelos es importante realizar de forma preliminar los ensayos físicos y mecánicos (Quiñonez, 2015).

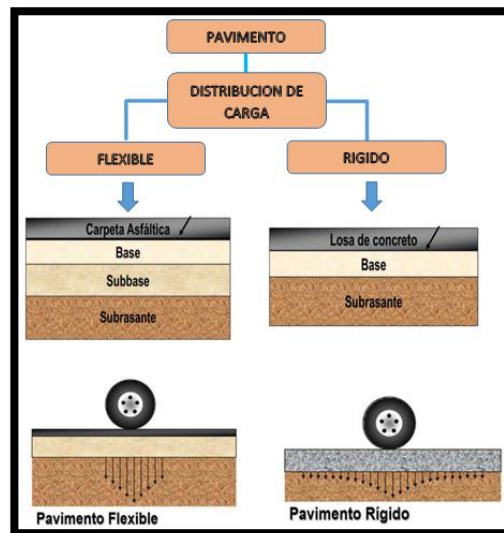
Una de las ventajas que tiene la capa base conformada por material granular selecto y procesado, compuesto por triturados, arena y material fino es que posee una amplia resistencia a presiones altas; es decir, a la deformación, por ende este tipo de capa suele ser usado en la conformación de estructuras de pavimento, generalmente conforman la parte superior de la sub base o de la sub rasante y la capa de rodadura; la cual puede ser modificada en función a la naturaleza que posea la sub rasante que se ubique en campo.

Respecto a la optimización de las propiedades físicas de Bases Granulares, la teoría evidencia que no sufren variación alguna cuando son tratadas a través de procesos de homogenización, compactación, entre otros de la misma naturaleza. Sin embargo, dichas propiedades si mostraría cambios al ser sometidas a procesos de estabilización, haciendo uso de otros materiales o productos químicos como cemento, cal puzolana entre otros relacionados.

En la Figura 1 se muestra una comparación de la estructura de dos pavimentos que generalmente son usados en proyectos viales, donde se observa que el pavimento rígido a diferencia del flexible puede no constar de la capa base, mientras que el flexible si mantiene todas las capas que se requiere. Gutierrez (2016), afirma que “El pavimento rígido a pesar de obviar una capa muestra una buena resistencia para la transitabilidad, a pesar de que tenga soporte en sólo tres capas, lo cual hace que ni siquiera se perciba los problemas de subrasante.” (p. 28).

Figura 1

Clasificación de Pavimentos Urbanos



Nota. Tomado de Gutierrez, 2016.

Acerca del espesor de las bases granular Bernaola (2014), indica que las mismas son producto de un estudio preliminar, que se encuentra en función a diversos factores tales como ESAL, de demanda, índice de incremento de tráfico, entre otros; de dichos factores, el factor que se identificó como fundamental es el factor CBR de la capa sub rasante, debido que en algunos estudios realizados (Bernaola, 2014) se evidencia que ante una buena capa de sub rasante la densidad de la capa base tiende a decrecer significativamente; sin embargo, si se tiene un suelo con poco espesor en CBR en la capa sub

rasante la densidad de base tiende a aumentar, lo cual incrementa el costo de ejecución del proyecto.

La capa denominada base forma parte de la estructura del pavimento rígido, la cual se ubica entre las capas: sub rasante y losa rígida. Esta capa en mención consta de varias capas compactadas; con la finalidad de que se prevenga la disolución de los suelos con características finas. En ese sentido, la base es de suma importancia cuando las mezclas de suelo, agua y tráfico podrían generar el bombeo de la misma (Bernaola, 2014). Dicho estado es más usual en vías principales y en el que se ejercerá tránsito pesado. Otra de las funciones que la capa base puede ejercer son (Bernaola, 2014): (i) Dota de uniformidad, efectiviza la estabilidad y proporciona un soporte de mayor uniformidad; (ii) Aumentar el módulo (k) de reacción de la sub rasante; (iii) Disminuir los efectos adversos que ocasionan los fenómenos climáticos como las heladas; (iv) Dotar el drenaje que necesita; y (v) Permite contar con un espacio de labor para los equipos destinados a la obra.

Para determinar la densidad de estructura que se necesita es necesario conocer la calidad del material a usar en la construcción; sin embargo, dicho tipo de estudio es casi nulo, por lo que en muchos casos se determina solo en el aspecto teórico no considerando el aspecto práctico. Por lo cual se afirma que:

Esto trae como consecuencia que se tenga cierta incertidumbre en los valores; y, por ende, no se elabora un adecuado diseño de ingeniería, en estos casos es recomendable se realice por fases; de esa forma no se generan altos costos de inversión, es más, este tipo de trabajo permitirá que se ejerzan trabajos correctivos en el diseño a medida que avance la obra en el tiempo (Gutierrez, 2016, p. 158).

Un punto clave acerca de la resistencia de las diferentes capas de estructura es que no solo depende del material que lo conforma, sino también, depende del

proceso de construcción y el tratamiento al cual se le someta para obtener esta propiedad física; para lo cual existen dos variables importantes:

...la compactación y el contenido de humedad (o agua), por lo que el inadecuado valor que se otorgue a estos puede traer como efecto que el material no está acomodado de forma adecuada; de tal manera que al ser sometida a intensas cargas se evidencien deformaciones permanentes (Bernaola, 2014, p. 33).

Acercas de la densidad del suelo Sánchez (1996), aclara que es importante ejecutar el proceso de compactación ya que este proceso permitirá obtener suelos aptos para obra, con características homogéneas, con firmeza y alta resistencia que cubra los estándares de calidad al tener soporte suficiente a altas cargas que podrían ser sometidos. Por lo cual existen diversas técnicas que permiten cumplir con el mencionado criterio.

Dada la importancia del proceso de compactación y de su adecuada ejecución, es importante que se tenga el diagnóstico y exploración efectiva del suelo que se pretende compactar; por lo que es crucial se ejecute una exploración general a lo largo de la vía que permitirá contar con el análisis geotécnico necesario; mientras que con la exploración específica se analizarán los bancos de donde serán extraídos los materiales. Para lo cual será necesario captar muestras lo suficientemente representativas y completas que muestren la naturaleza del material que se pretende utilizar.

Otro punto a considerar acerca de la resistencia es que si se obtiene una resistencia alta tras someterla al proceso de compactación bastante enérgica de Bases Granulares, puede no ser así por mucho tiempo, debido a que un suelo bastante compacto, por lo general tiende a absorber grandes cantidades de agua bajo ciertas condiciones, lo que ocasionaría que la resistencia se reduzca ampliamente; asimismo, si ese mismo suelo es compactado con

menor energía, produciendo así un suelo con menos resistencia inicialmente; sin embargo ante las filtraciones de agua se mostrará más resistente, por ende Rico (2005), manifiesta que “..ésta manera de compactación si bien mostrará una resistencia inicial menor que el mencionado inicialmente, pero, tiene una probabilidad de que sea la suficiente” (p. 153).

Si se tiene poca resistencia, por lo general es mayor el paquete estructura que componen los pavimentos y, de forma contraria, con mayor resistencia de los materiales que se encuentran en las capas de sub rasante, tiende a ser menor el paquete estructural que lo compone. Normalmente la capa de rodadura se sobrepone a dos capas similares; la primera, la base granular compuesta por piedra chancada y; la segunda, la sub base compuesta por material como mínimo zarandeado.

3.2.2. Causas de degradación del pavimento relacionadas a espesores de Bases Granulares.

Existen diversas causas que puedan originar la degradación de los pavimentos, a pesar de ello, existen unos que resaltan debido a que afectan la estructura desde el inicio de servicio de dicha construcción. Estas causas son como se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2

Causas de Falla de un Pavimento

Causa	Efecto	Comentario
Trafico	Infradiseño	Cargas reales diferentes a las previstas en el diseño.
Proceso Constructivo	Estructura débil	Inadecuados: espesores, mezcla y estabilización, deficiencia en distribución y compactación.
Deficiencias de Proyecto	Antieconómica	Diseños inadecuados, mala valoración de subrasante, inadecuada dosificación

Causa	Efecto	Comentario
		de la mezcla y no consideración del factor ambiental.
Factores ambientales	Vida Útil	Elevación de napa freática, inundaciones, lluvias prolongadas, insuficiencia en drenaje superficial o profundo, variación térmica, congelamiento, sales nocivas.
Deficiente Mantenimiento	Pronta rehabilitación	Técnicas inadecuadas, falta de conservación.

Nota. Tomado de Gutierrez, 2007, p. 47).

Dichas causas no permitirían que el pavimento tenga su real función; asimismo, no cubriría el tiempo de servicio para el cual fue diseñado (Gutierrez, 2007).

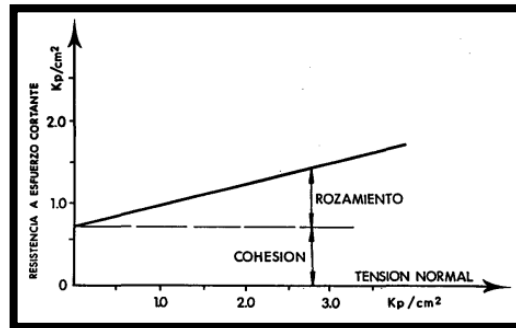
3.2.3. Tipos de Resistencia de Bases Granulares.

Existen dos cualidades de resistencia importantes en el suelo las cuales son:

La primera define la capacidad del suelo para soportar cargas que actúan sobre su superficie y mantener la estabilidad de los taludes, y la segunda para no deformarse en exceso ante las tensiones, considerablemente inferiores a la de rotura, a las que estará sometido en servicio (Abecasis, y Rocci, 1987, p. 35).

Figura 2

Diagrama de Resistencia de un Suelo



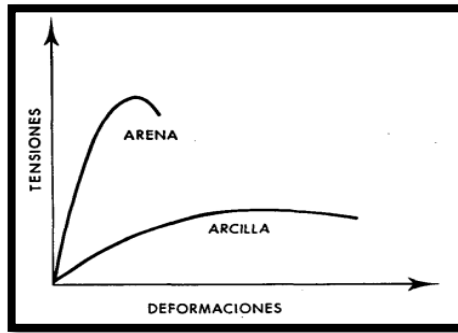
Nota. Tomado de Abecasis, y Rocci, 1987, p. 35.

La resistencia a esfuerzo cortante es producida en el suelo por la adición de los que conforman (ver Figura 2) primero, la cohesión, que se produce tras la mínima fricción del suelo, la cual produce sus propiedades plásticas; así como la fricción interna producida entre las pequeñas partículas granulares. La importancia de uno u otro nomina al suelo como relativamente cohesivo.

Respecto a la resistencia a la deformación, Abecasis y Rocci (1987), señalan que en el momento que el suelo se ve expuesto a tensiones verticales que son incrementadas de forma progresiva, es donde se origina una relación entre la tensión y deformación, ver Figura N° 03, el cual, al inicio muestra una forma aproximadamente recta en forma de línea, determinándose cierto módulo de deformación, equivalente al diagrama de materiales como por ejemplo el acero y el hormigón. El suelo suele mostrar también elasticidades ante diminutas tensiones, relacionados a otros (Abecasis y Rocci, 1987).

Figura 3

Diagrama Tensiones VS Deformaciones



Nota. Tomado de Abecasis, y Rocci, 1987, p. 36

En términos generales acerca de la resistencia de los suelos de Mijan Abecasis, y Rocci (1987) afirman que:

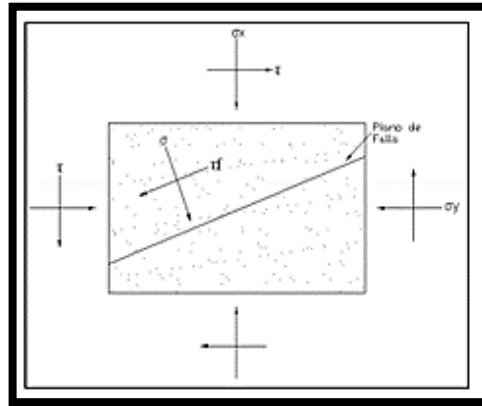
...la resistencia se reduce al disminuir el tamaño de las partículas que la componen, asimismo, la resistencia se incrementa a medida que la densidad seca y disminuye el contenido de humedad; y, por último, podría también reducirse por la sensibilidad, en cuyo suelo tenga la característica de ser extendido y se encuentre compactado, en relación al mismo suelo que no sufrió alteración alguna, que surge a partir de un poco de contenido de arcilla (p. 36).

3.2.3.1. La resistencia al esfuerzo cortante.

La resistencia al corte de una masa de suelo, es la resistencia interna por cada unidad de área que posee para soportar la falla y los deslizamientos que puedan transcurrir a lo largo de cualquier plano de ella. Lo usual es que la resistencia del suelo se ve incrementada al ser compactada afirma Mohr (1990), a través de su teoría acerca de la ruptura de los materiales, del cual señalaba que un suelo tiene fallas cuando existe una combinación crítica de esfuerzo normal y esfuerzo cortante.

Figura 4

Relación entre el esfuerzo normal y cortante sobre el plano de la falla



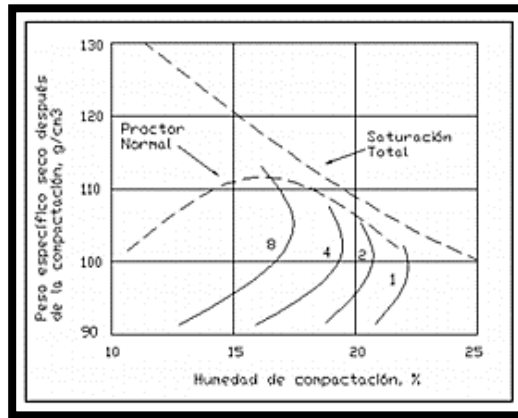
Nota. Tomado de Badillo y Rico, 1987, p. 166.

La Figura 4, permite observar el esfuerzo cortante en el plano de falla, donde σ es el esfuerzo normal en el plano de falla, "...el cual tras la combinación produce la falla por corte en la muestra considerada." (Revolorio, 2013, p. 21).

De lo observado se induce que la resistencia al corte de un suelo, se ve influida por la densidad y el contenido de humedad al momento que sucede el corte. La figura 5 muestra la resistencia a esfuerzo constante sin drenaje de un suelo cohesivo compactado. La Figura permite apreciar que este tipo de resistencia, considerando un peso específico constante tiende a disminuir a medida que se incrementa la humedad.

Figura 5

Relación de la resistencia a compresión sin confinar ni drenar



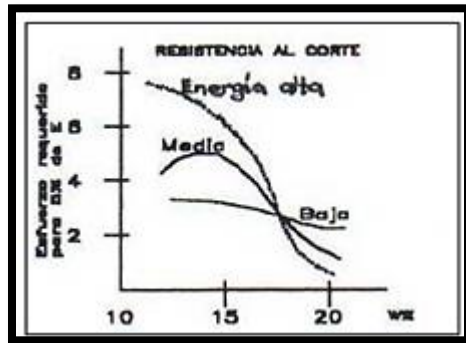
Nota. Tomado de “Introducción a la mecánica de suelos y cimentaciones” (Sowers y otros, 1972, p. 270).

Cuando existe una humedad constante, en cambio, la resistencia al corte se incrementa al aumentar el peso específico; sin embargo, existe una excepción, el cual es cuando la curva de cero vacíos se acerca, al ser que esta decrece.

La resistencia de un suelo, se ve influenciada también con la presión de agua en los poros al momento del efectuarse el corte. El cual denota que, ante menores cantidades de contenido de humedad, la presión en los poros denominada también como presión capilar, es mayor, lo que ocasiona que el suelo tenga una mejor resistencia; sin embargo, ante el incremento del agua, trae como consecuencia la reducción de la presión lo cual reduce la resistencia (Revolorio, 2013, p. 23).

Figura 6

Resistencia a corte del suelo



Nota. Tomado de “Manual de laboratorio de suelos en ingeniería Civil”, (Bowles, 1981, p. 193).

La Figura 6 muestra que, ante el incremento del agua, la resistencia disminuye; de donde se obtiene que, para la aplicación de una energía de compactación considerablemente alta, se requiere de un mayor esfuerzo en comparación de una energía de compactación menor, del cual su curva es menos sensible al incremento del contenido de humedad; pero, la resistencia al corte se ve disminuida al incrementarse.

Revolorio (2013), afirma que, al aplicar una energía de compactado promedio, se observa que la resistencia al corte se ve incrementada inicialmente con el aumento del agua, lo cual le permite alcanzar un valor máximo, pero posterior a ello disminuye ampliamente del punto máximo alcanzado.

El hecho de utilizar los ensayos de compactación, comprende entregar un trabajo con el siguiente contenido: número de golpes, altura de caída, peso del pisón y número de capas. A ello se le agrega la manera en cómo se entrega dicha energía conformada por: el amasado, presión estática e impacto. El presentar la sola unidad de trabajo, debería

mostrar de forma suficiente para derrotar la resistencia al corte de suelo, de tal manera que facilite la deformación de manera que sea irreversible (Bañon, 2000).

La combinación de agua y aire en el suelo trae como consecuencia que existe un debilitamiento en el mismo y por tanto se reduzca la capacidad portante. A ello cabe agregar que el proceso de compactado de forma artificial incrementa la densidad, lo que permite se reduzcan los vacíos denominados como volumen de los poros. Esto permite que se distribuya mejor las fuerzas de los granos de la estructura interna y esto mejora la resistencia a la carga del suelo (Ruiz, 2002, p. 4).

3.2.3.2. La Resistencia a compresión simple

Este proceso consiste en una simplificación del ensayo triaxial, que suprime la presión ejercida en los laterales de la muestra del suelo. Sin embargo, los valores del ensayo frente a la realidad con valores relativamente conservadores, puesto que en la realidad existen condiciones de confinamiento.

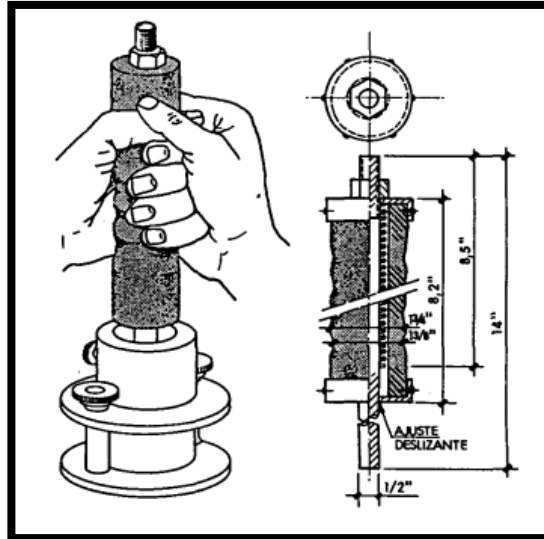
Para llevar a cabo el muestreo de los suelos, se utiliza el equipo denominado como “Harvard miniatura” (Ver en Figura 7), instrumento elaborado durante los últimos años.

El cual se regula ejerciendo presión sobre un vástago, el cual derrota la resistencia de un muelle tarado, esto puede resultar de la muestra cilíndrica de 50 mm de diámetro y aproximadamente unos 100 mm de alto, densidades equivalentes a las del P.N., P.M. u otro nivel que se desee, junto a las acciones impacto en el que se combinen con el amasado de suelo. Cabe recalcar que antes de que la muestra de ensayo sea sometida a la prensa, debería ser sumergida en agua para

determinar el nivel de saturación y la absorción del agua (Abecasis, y otros, 1987, p. 41).

Figura 7

Aparato conocido como “Harvard miniatura”



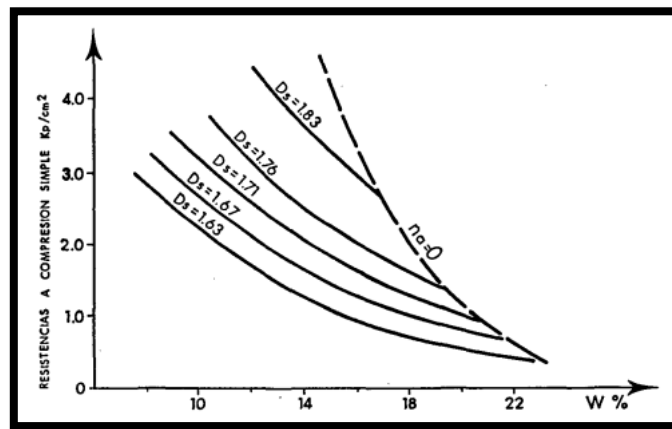
Nota. Tomado de “Sintonización de los Medios de Compactación y su Control” (Abecasis, y otros, 1987, p. 41).

En la ejecución del ensayo, es importante mantener un registro automático del gráfico carga-deformación. Si se evidencia una rotura frágil, es un indicio de que se llegó al punto máximo de la carga, la cual se muestra en un rompimiento de la muestra como muestra en los planos inclinados. Si se observa una rotura artificial, no se evidenciará una carga máxima, por lo que el proceso de ensayo se sigue ejecutando hasta lograr una deformación aproximada del 20% del total. En suelos cohesivos lo más usual es que se considere la resistencia a esfuerzo cortante como la mitad de la rotura a compresión simple, ya que en este tipo de suelos el valor es aproximado, mientras que en suelos granulares la aproximación es conservadora. Respecto a la influencia de la compactación y humedad es de forma similar como se describe

en el Índice CBR. Donde, la resistencia se incrementa junto a la densidad seca; sin embargo, decrece ante incrementos de la humedad (Ver en Figura N 8)

Figura 8

Diagrama de Resistencia a compresión simple VS Porcentaje de humedad



Nota. Tomado de “Sintonización de los Medios de Compactación y su Control” (Abecasis, y otros, 1987, p. 42).

Las curvas que representan la resistencia a la rotura por compresión según la variación de la energía de compactación son análogas a las obtenidas para el CBR y las conclusiones lógicamente iguales en varios contextos, al tratarse de dos formas distintas de medir la misma resistencia al corte del material.

Las normas no establecen, relativamente pequeños, que tienen en las diferentes calidades de suelos. “Cuando se emplea ensayos en suelos estabilizados con cal o cemento, se someten directamente a rotura las muestras extraídas de los moldes de compactación Proctor.” (Abecasis, y otros, 1987, p. 42).

3.2.3.3. La resistencia a la deformación

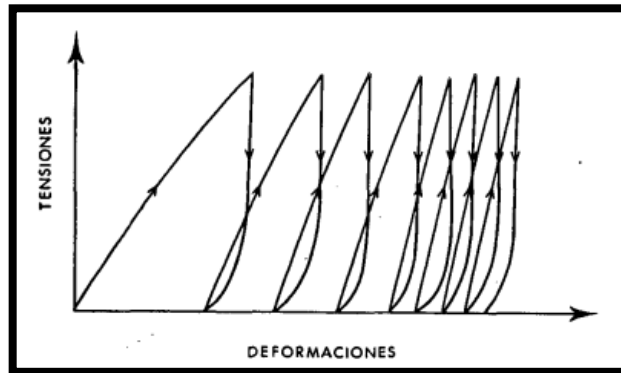
Como se ha notado tras la ejecución de los ensayos en los ámbitos de penetración y compactación simple, aplicados sólo en un área diminuta, genera un estado de deformación y rompimiento particularmente por esfuerzo cortante. En ese sentido la resistencia a la deformación por fuerzas de compresión, tanto elástica como remanente, debe ser medido a través de ensayos de campo, la cual consiste básicamente en sobreponer una superficie más amplia que en los ensayos mencionados anteriormente, haciendo uso de una placa rígida circular que muestre la suficiente presión del terreno.

La pendiente de la cargas-asientos obtenida en cada ciclo de carga, según el procedimiento operatorio, nos permite calcular el módulo de deformación del suelo. La forma típica de la curva en sucesivos ciclos de carga y descarga, (ver Figura 9), nos muestra como el módulo de deformación aumenta progresivamente en cada lazo de histéresis, hasta llegar a un equilibrado valor.

La deformación remanente principalmente a la densificación del suelo bajo la acción de la placa. Cuando llegue a anularse, el comportamiento del suelo es elástico en el rango de presiones ejercidas en el ensayo, siempre inferiores a unos 7 kp/cm². En la práctica, no es necesario llegar a más de dos ciclos de carga, como se verá al describir el ensayo en la Sección tercera. (Abecasis, y otros, 1987, p. 43).

Figura 9

Diagrama Tensiones vs Deformaciones



Nota. Tomado de “Sistematización de los Medios de Compactación y su Control” (Abecasis, y otros, 1987, p. 43).

Cuanto mayor sea la densidad seca de un suelo, más elevado es el módulo de deformación y la deformación remanente en el primer ciclo baja considerablemente. En cuanto a la humedad, su influencia es muy notoria en el caso de un suelo cohesivo, y el valor del módulo resultante es significativo solo en las condiciones de humedad del ensayo (Abecasis, y otros, 1987).

3.2.3.4. Resistencia Mecánica

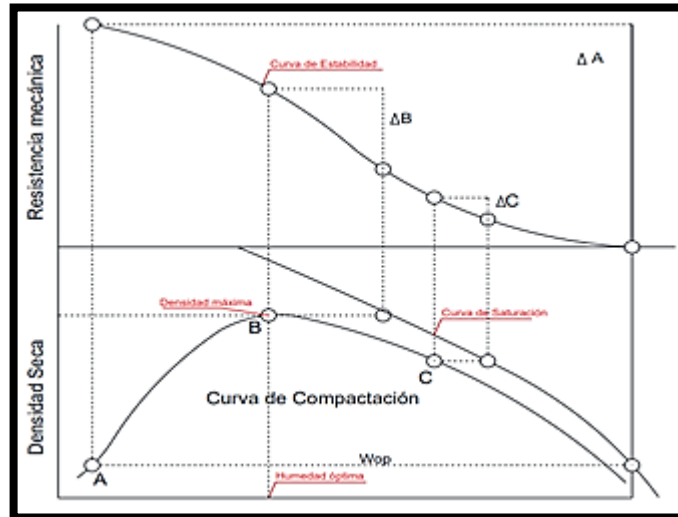
Una de las variables que influyen en la resistencia mecánica es la energía de compactación aplicada, ya que ésta se ve incrementada ante aumentos en la energía de compactación, del cual se obtiene como resultado el nivel de densidad máximo. Donde los suelos granulares mostrara niveles de resistencia mucho más altos, debido a que posee menor sensibilidad a la humedad. Por ello es que los suelos granulares necesiten de valores de energía de compactación más altos (Sánchez, 1996).

El proceso de compactación de suelos y los materiales densos permiten que ambas partículas se pongan en contacto las unas con las otras. Este proceso puede realizarse a través de medios mecánicos que aplican la energía que necesita, esto permite expulsar el aire de los poros. Esto permite medir de manera cuantitativa la compactación con los niveles de densidad seca del suelo; es decir, peso de las partículas sólidas del suelo por unidad de volumen (Bañon, 2000).

En la Figura 10 se puede observar que, en caso de la rama seca, como se grafica en el Punto "A", denotaría que el suelo alcanza una amplia resistencia mecánica. Aspecto que puede traspasar a una situación de baja resistencia si el suelo presenta saturación, lo que resulta en una variación de resistencia, que se denota como " ΔA ". Si se ubica en el punto "B", que corresponde a la densidad seca máxima y humedad óptima, sucede casi lo mismo. Sin embargo, la resistencia mecánica muestra valores menores a los que proporciona el punto anterior, siendo la variación " ΔB " mucho menor (Ruiz, 2002).

Figura 10

Resistencia Mecánica de Compactación en función a la Densidad Seca



Nota. Tomado de “Rendimiento y Costos en la Maquinaria de Compactación”, (Ruiz, 2002).

3.2.3.5. Capacidad de soporte del suelo compactado

La capacidad de soporte del suelo que ha sido sujeto a procesos de compactación se muestra en la resistencia a deformaciones ocasionadas por el tráfico. Siendo los factores que forman parte de esta capacidad son: (i) La resistencia a las fuerzas cortantes que forman parte del mismo, esto depende del nivel de densidad y el contenido de humedad; (ii) El contenido de humedad en cada fase; siendo el orden que a mayor contenido de humedad menor es la capacidad de soporte, por lo que casi de forma generalizada los suelos saturados tienden a tener menor capacidad de soporte a diferencia de los suelos que no se encuentran saturados.

Esto evidencia que el soporte de determinado espacio de la vía, varía según el espacio y tiempo debido a las condiciones

variables que presenta el suelo, respecto al nivel de compactación y la cantidad de agua que posee (humedad). Para obtener un diseño óptimo, es importante considerar un valor fundamentalmente reducido que muestre un límite inferior del soporte existente en cada tiempo que puedan suscitar aspectos considerablemente desfavorables. La identificación y clasificación del suelo que formará parte de la estructura permite formarse una visión cualitativa de su capacidad de soporte una vez introducido. Sin embargo, una evaluación cuantitativa es absolutamente necesaria y requiere pruebas (Pariona, 2014, p. 26).

Crespo señala que, como suele suceder, la principal causa de las fallas de los pavimentos flexibles es la falla a cortante de los materiales que componen la estructura del pavimento, el diseño de estos pavimentos en base a ensayos de cortante debe realizarse. Esta determinación se puede hacer midiendo la resistencia a la penetración, es decir, determinando el valor CBR, que es un índice de la resistencia del suelo al cizallamiento.

Pariona (2014), afirma que la forma perfecta de caracterizar el suelo es con la ayuda de leyes que, si permiten describir su comportamiento, como su posición elástica y su capa de fatiga (carga repetida). Hay que tener en cuenta que tanto la solicitud como la respuesta de los materiales son dinámicas y generalmente no lineales.

El módulo de resiliencia es la prueba que mejor describe el comportamiento de la Tierra por debajo de lo que se indica. En nuestro país, sin embargo, no existe experiencia ni equipo para determinar este valor. En vista de esta deficiencia, se utilizan

las relaciones entre la fuerza de resistencia y el valor CBR (Pariona, 2014, p. 26).

3.2.4. Factores de la Resistencia de Bases Granulares.

La resistencia del suelo compactado depende de diversos agentes o factores intervinientes externos e internos, ya sean directos o indirectos, como se detalla (Pariona, 2014, p. 30-31):

3.2.4.1. Variable interna directas:

- Número de contactos entre las partículas (entrelazados), esto se relaciona con la densidad de los suelos granulares, a más densificación, más contactos y más resistencia y viceversa.
- Fuerza de succión (fuerzas capilares), cuanto mayor es la fuerza de succión, más seco está el suelo y mayor es la resistencia. A medida que disminuye la succión, el piso disminuye su resistencia. Esto está relacionado con el grado de saturación.
- La presión de los poros es la fuerza opuesta a la succión, cuanto más húmedo está el suelo, mayor es la presión de los poros y la resistencia será menor.
- Grado de saturación.

3.2.4.2. Variable interna indirectas:

- La forma de las partículas, las formas en ángulo aumentan el entrelazado y esto es la resistencia al corte; lo contrario de formas redondeadas; en consecuencia, la unidad triturada produce materiales más resistentes debido a los ángulos que presenta.

- La competencia de granos se relaciona con la dureza del agregado y esto está relacionado con su origen geológico. Puede medirse con una prueba de desgaste ángel.

3.2.4.3. Variables externas indirectas:

- Velocidad de carga, mientras mayor es la velocidad de carga, mayor es la resistencia y viceversa.
- Confinamiento, a mayor confinamiento, mayor resistencia; sobre todo en suelos gruesos donde importa mucho el contacto entre partículas.
- Contenido de humedad
- Energía de compactación
- Temperatura

3.2.4.4. Variables externas directas:

- Equipo, mientras más nuevo y calibrado estén los aparatos, los datos que se midan serán más confiables.
- Método de compactación
- Espesor de la capa a compactar
- Procedimiento de la preparación de la muestra
- Laboratorista.

3.2.4.5. Granulometría

La distribución granulométrica en el comportamiento de las bases granulares también ejerce una notable influencia en los resultados de resistencia a la compactación de estos materiales y para la misma energía de compactación, el material bien graduado adquiere una mayor compacidad que el uniforme. Sin embargo, no siempre es fácil

obtener una buena composición granulométrica, especialmente en el caso de que la roca provenga de la explotación de macizos con explosivos, a menos que la fractura natural de la roca induzca la obtención de un material bien calibrado. Las mezclas de grava y arena de río generalmente tienen un buen tamaño de grano y granos saludables, por lo que son excelentes materiales, calificando siempre su limpieza.

Otro hecho que favorece la instalación de un material de tamaño de partícula adecuado es evitar la segregación de los fragmentos durante las maniobras de transporte e instalación en el pedraplen; La limitación de la altura de caída al mínimo posible y el uso de precauciones especiales de instalación contribuyen a ello. La segregación no es muy significativa en materiales de tamaño de partícula uniforme (Rico, 2005, p. 191).

3.2.5. Medición de la Resistencia de Bases Granulares en base al Proceso de compactación.

Crespo Carlos (1978-1980, p.99) mencionado en (Castañeda, 2017), afirma que, la ejecución del proceso de compactación del suelo como un medio para subir la resistencia y disminuir la compresibilidad no fue ampliamente reconocida hasta la aparición del rodillo denominado como pata de cabra en el año 1906; Sin embargo, no fue hasta 1933, cuando el Proctor publicó su investigación sobre este tema, que se conocieron los factores involucrados en la compactación; Encontraron que al aplicar una determinada energía a un suelo para compactarlo, el peso volumétrico obtenido varía con el contenido de humedad según una curva, en la que se puede observar la existencia de un grado de humedad con el que el peso volumétrico máximo para este suelo se obtiene y esta energía de compactación.

El proceso de compactación de suelos y materiales estabilizados es el suceso a través del cual las partículas se ven obligadas a entrar en mayor contacto entre sí. Suele realizarse por medios mecánicos, provocando la expulsión del aire por los poros. La compactación se mide cuantitativamente por la densidad seca del suelo (peso de las partículas sólidas del suelo por unidad de volumen) (Bañon, 2000).

El método Proctor es muy popular en todo Estados Unidos porque es más fácil de realizar y más rentable en comparación con otros métodos, también porque se basa en la energía de compactación medible aplicada a la masa del suelo.

Se utiliza para determinar el porcentaje de humedad óptimo y la densidad seca máxima. La prueba estándar de Proctor y la prueba modificada se realizan mediante un procedimiento similar. La diferencia está en las dimensiones de los moldes y en la energía de compresión, la energía modificada de 4,4 veces el estándar (Pariona, 2014, p. 10).

Los suelos no cohesivos no se ablandan en el agua, generalmente son "resistentes a las heladas", en su mayor parte son permeables y se secan rápidamente. Por las razones que acabamos de mencionar, se considera que no son muy sensibles a la intemperie cuando se colocan y cuando se compactan en movimientos de tierra.

La capacidad de carga o la capacidad de carga de los suelos no cohesivos depende de la resistencia a la fricción entre las partículas individuales del suelo, con un aumento en la cantidad de grano por unidad de volumen (compactación), la resistencia a la fricción aumenta el grano y, simultáneamente, mejora la transmisión de fuerzas entre ellos (Ruiz, 2002, p. 7-8).

3.2.5.1. Medición del Proceso de compactación

La compactación es el proceso o proceso de estabilización mecánica, cuyo objetivo principal es aumentar la densidad del suelo acercando sus partículas, lo que se logra reduciendo los vacíos. Los siguientes objetivos son perseguidos por el proceso de compactación del suelo:

- Incrementar la resistencia a la compresibilidad y al corte
- Mejorar el orden en la uniformidad y homogeneidad
- Lograr que el suelo sea menos susceptible a los cambios de humedad
- Con el objetivo de que coadyuve en la construcción de caminos y aeropuertos, construcción de represas de tierra, fundación de presas de tierra, así como la fundación de estructuras.

Las compactaciones de laboratorio tienen dos objetivos principales las cuales son:

- Expresar las condiciones bajo muestras compactadas representativas con las que se conocen a priori las propiedades mecánicas o hidráulicas de los suelos compactados de una obra futura.
- Verificar la calidad del trabajo de compactación en campo comparando la compactación lograda con la compactación lograda con el patrón de compactación o estándar establecido para el caso.

Los objetivos antes mencionados solo se logran en la medida en que se presenta el principio de representatividad, es decir, la compresión y el mecanismo asociado deben reproducirse in situ en muestras de laboratorio. (Pariona, 2014, p. 8).

Independientemente del procedimiento de control adoptado, es necesario medir la compactación de una forma u otra, ya sea como prueba de aceptación de una capa de suelo terminada o en una sección de prueba, para establecer las condiciones del proceso de ejecución. En esencia, se pueden distinguir dos clases de medidas:

Medición de porcentaje de compactación. Se establece una densidad de referencia en el laboratorio, y la densidad se mide in situ, ya sea en una muestra tomada de un orificio hecho en la capa o mediante una sonda nuclear (Abecasis, y otros, 1987).

La compactación correcta y adecuada de estos suelos durante el movimiento de tierras o trabajos de cimentación, ya sea en su estado natural o alterado, depende principalmente del tipo de material a compactar y su capacidad de compactación, así como del tipo de equipo. compresión que se utilizará (Ruiz, 2002).

3.2.5.2. Medida del porcentaje de compactación

Este tipo de medición requiere describir, “...primero, cómo se establece la densidad estándar en el laboratorio, y luego qué métodos se utilizarán para medir la densidad seca del suelo in situ” (Abecasis, y otros, 1987, p. 92).

Por ende, los estudios de los procesos de compactación en laboratorio con muestras de ensayo logran desempeñar un papel trascendental en el control de calidad de los trabajos (Rico, 2005).

3.2.5.3. Prueba Proctor (AASHO) Modificado

En los años 1928 y 1929, O. J. Porter en el Departamento de Carreteras de California desarrolló los estudios básicos de laboratorio que permitieron la aplicación bien fundada de las técnicas de compactación para ser utilizadas en la construcción de carreteras. Sus métodos fueron ampliamente popularizados por Purcell. En 1933, Proctor comenzó a producir las obras importantes que hicieron posibles muchas de las técnicas (Rico, 2005).

La prueba de Proctor consiste en comprimir un poco de suelo en un cilindro de volumen conocido, variando la humedad para obtener el punto máximo de compactación en el que se obtiene la humedad de compactación óptima. La prueba se puede realizar en tres niveles de energía de compresión, de acuerdo con las especificaciones de la obra: normal, intermedia y modificada (Lambe, y otros, 2004).

Sagües (2007) puntualiza, que con el desarrollo de la tecnología se desarrolló un mejor equipo de compactación, se tuvo que adecuar la reproducción de las condiciones del terreno en el laboratorio, para lo cual se creó la prueba Proctor Modificado.

Proctor modificado que varía en relación a la prueba estándar en energía entregada, en la prueba proctor modificada se utilizan 05 capas de suelo, un martillo de 45.4 kN, una altura de caída de 45.7 cm y 25 blancos por cada capa, con la misma forma que en la prueba Proctor estándar, Las pruebas se pueden hacer con diferentes energías específicas combinando diferentes cantidades de capas, el número de golpes por capa o el tamaño del martillo.

La prueba es similar en todos los aspectos descriptivos al estándar Proctor (AASHO).

Están representados en 4 modos (A, B, C y D), cuya descripción es idéntica a las correspondientes en el estándar AASHO. La energía más alta de la prueba modificada se obtiene con base en el peso del martillo, que ahora es de 4.530 kg (10 + -0.02 lb), y la altura de caída, que es de 45.72 cm (18 "+ - 1/16") está especificado. En el método a, el suelo se coloca en 5 capas y se dan 25 golpes por capa. En B el suelo también se coloca en 5 capas y se indican 56 líneas por capa. En C el número de capas es 5 y el número de líneas por capa 25. Finalmente, en D se utilizan 5 capas con 56 líneas por capa (Rico, 2005, p. 122-123).

Equipo para la prueba

Para esta prueba se necesita el siguiente equipo:

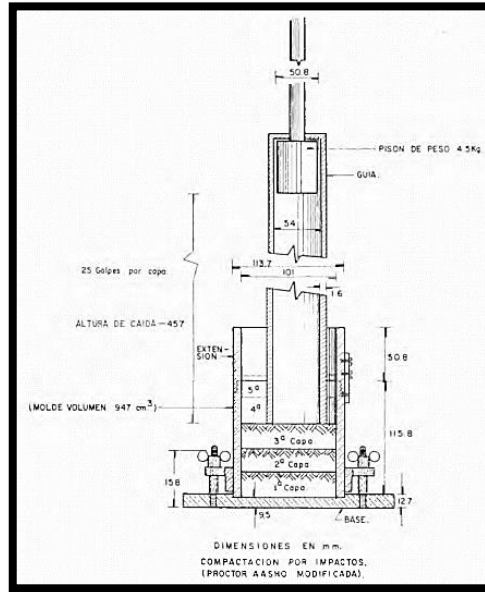
- Un molde estándar de compactación con extensión. Al molde de 4" se le fija un volumen de 1/30 de pie cubico, con una tolerancia de +- 0.0003 de pie cubico, y al de 6" un volumen de 1/13.33 de pie cubico, con +- 0.00075 de pie cubico de admisión.
- Un pisón estándar, de operación manual, de sección circular, de 5.08 cm de diámetro (2.0 +- 0.005 plg) y con un peso de 2.49 kg (5.5+- 0.02 lb). Existen martillos que se operan mecánicamente (opcional).
- Guía metálica para el pisón.
- Balanza de 15 kg con capacidad y sensibilidad de 5g.
- Una balanza de laboratorio con sensibilidad de 0.1 g.
- Horno Secador.
- Regla recta metálica.

- Mallas de 2", 3/4" y N°4.

Equipo diverso, como espátulas, vidrios de reloj, etc.

Figura 11

Esquema del Ensayo de Proctor Modificado en Laboratorio



Nota. Tomado de “La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres”, (Rico, 2005, p. 222).

Aproximadamente en el año 1970, la misma institución AASHO ha puesto en marcha una prueba intermedia, también dinámica, con energía entre la estándar y la modificada (del orden de 17 kg-cm³). La prueba también se realiza en cuatro variantes, A y C con una forma de 10,16 cm (4 ") y B y D con una forma de 15,24 cm de diámetro (6"). Las variantes A y C utilizan tres capas, con 25 golpes por capa de un martillo de 4,54 kg (10 lb), con una altura de caída de 45,7 cm (18"). En las variantes B y D, solo varía el número de trazos por capa, que es 56.

La razón para especificar este nuevo tipo de prueba, por supuesto, radica en un intento de representar las condiciones actuales de compresión de campo en el laboratorio de una manera más realista (Rico, 2005).

Tabla 3

Proctor Modificado - ASTM D 1557

Proctor Modificado	
Ec: Energía de Compactación	= 56,250 Lb.ft/ft ³
W: Peso del martillo	= 10 lb
H: Altura de caída del martillo	= 18 pulgadas
N: Numero de golpes por capas	= depende del molde
N: Numero de Capas	= 5
V: Volumen de molde cm ³	= depende del método de prueba

Nota. Tomado de CISMID, 2010, mencionado en (Chang, 2010).

Objeto de la Prueba

Esta prueba tiene como objeto

- Determinar el peso volumétrico seco máximo que puede alcanzar un material, así como la humedad óptima a la que se va a realizar la compactación.
- Determinar el grado de compactación alcanzado por el material durante la construcción o cuando las carreteras, aeropuertos y calles ya están construidas y relacionar el peso volumétrico obtenido en el sitio con el peso volumétrico máximo Proctor. (ASTM).

Especificaciones del ensayo Proctor Modificado (ASTM D1557)

Método “A”

Este método consiste en un molde de 4 pulgadas de diámetro (101.6 mm), el material a utilizar es el que pasa por el tamiz No. 4 (4.75 mm)

en 5 capas y con 25 pasadas por capa. Se usa cuando el 20% o menos del peso del material se retiene en el tamiz No. 4 (4.75 mm), también se usan otros métodos, cuando el método no está especificado; Los materiales que cumplen con estos requisitos de gradación se pueden probar utilizando el Método B o C. (ASTM).

Método “B”

Este método consiste en un molde de 101,6 mm (4 pulgadas) de diámetro. El material que se utilizará es el que pasará a través del tamiz de 3/5 de pulgada (9,5 mm) a través de 5 capas y a 25 líneas por capa. Se utiliza cuando se retiene el 20% o menos del peso del material en el tamiz de 9,5 mm. También se utilizan otros métodos si no se especifica el método. Los materiales que cumplen con estos requisitos de clasificación pueden probarse utilizando el Método C (ASTM).

Método “C”

Este método consiste en un molde de 152,4 mm (6 pulgadas), el material a utilizar es el que pasa por la pantalla de ¾ de pulgada (19,0 mm) a través de 5 capas y con 50 golpes por capa. Se utiliza cuando más del 20% en peso del material se retiene en la pantalla de 3/8 pulgadas (9,53 mm) y menos del 30% en peso se retiene en la pantalla de ¾ pulgadas (19,0 mm). El molde de 6 pulgadas (152,4 mm) no se utilizará con el Método A o B. (ASTM).

Tabla 4*Ensayo Proctor Modificado, ASTM D1557-91*

Concepto	Procedimiento A	Procedimiento B	Procedimiento C
Molde	101.60 mm (4 in)	101.60 mm (4 in)	152.40 mm (6 in)
Volumen del molde	944 cm ³ (1/30 ft ³)	944 cm ³ (1/30 ft ³)	2124 cm ³ (1/30 ft ³)
Peso del martillo	4.54 kg (10 lb)	4.54 kg (10 lb)	4.54 kg (10 lb)
Altura de caída del martillo	457, 20 mm (18 in)	457, 20 mm (18 in)	457, 20 mm (18 in)
Numero de golpes	25	25	56
Numero de capas	5	5	5
Energía de Compactación	2700 kNm/m ³ (56000 ft-lb/ft ³)	2700 kNm/m ³ (56000 ft-lb/ft ³)	2700 kNm/m ³ (56000 ft-lb/ft ³)
Material a ser usado	Porción que pasa por el tamiz No. 4, se usa si 20% o menos por peso es retenido en el Tamiz No. 4.	Porción que pasa por el tamiz 3/8, se usa si el suelo retenido en el tamiz No. 4 es más del 20% y 20% o menos por peso es retenido en el tamiz 3/8	Porción que pasa por el tamiz 3/4 se usa si más de 20% por peso del material es retenido en el tamiz 3/8 y menos del 30% por peso es retenido en el tamiz 3/4

Nota. Tomado de ASTM D-1557. (ASTM, 2012)

3.2.5.4. Curva de compactación de Proctor

En 1993 Proctor comenzó a realizar importantes trabajos que posibilitaron muchas de las técnicas en uso, para la correcta medición del proceso de compactación tanto en laboratorio como en campo.

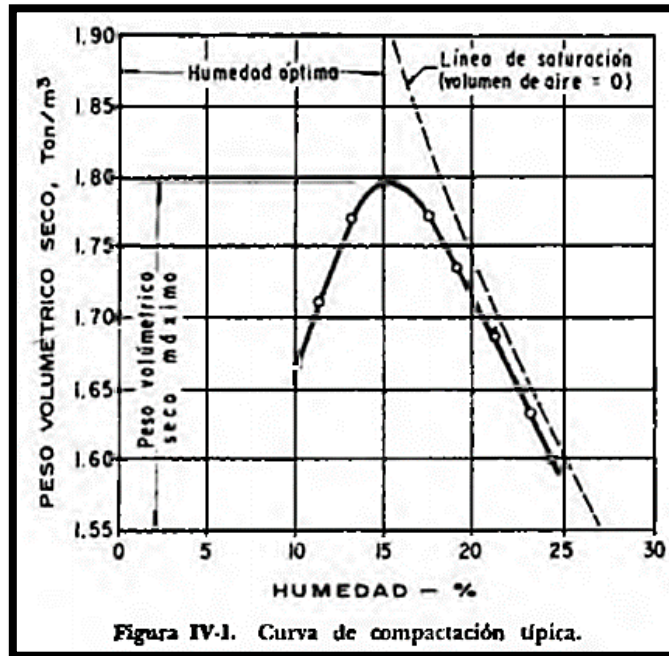
En la Teoría de Proctor se obtuvo la correlación entre los resultados de un proceso de compactación y el aumento del peso volumétrico seco del material compactado, y los resultados se obtuvieron en base a la variación del peso volumétrico seco que se logró, también fue posible definir el Papel indispensable que juega el contenido de agua del suelo en el proceso de compactación. Para capturar los resultados, Proctor propuso un gráfico en el que se muestra la variación del peso volumétrico seco al compactar el suelo con diferentes contenidos de agua, utilizando varias muestras del mismo suelo, este gráfico se define como una Curva de Compactación. Esta metodología no es la única que brinda este tipo de información, es solo la más utilizada y más frecuente en su uso en campo para evaluar pruebas de calidad en campo.

Se trazó una curva de Proctor y la resistencia mecánica del suelo para diferentes condiciones de densidad y humedad. Se consideró que el suelo se puede saturar manteniendo la densidad seca, hipótesis bastante diferente a la realidad, especialmente en presencia de suelos cohesivos (Pariona, 2014).

Este trabajo determina la orientación de las partículas con modificación de las propiedades mecánicas del suelo y materiales estabilizados. La Figura 12, relación densidad-humedad seca, da lugar a lo que comúnmente se denomina "curva de compresión" o "curva Proctor". La primera parte ascendente se llama "rama seca". El punto máximo superior es un único punto, a partir del cual se obtiene el valor de la densidad seca máxima y la humedad óptima (Pariona, 2014).

Figura 12

Curva de Compactación Típica



Nota. Tomado de “La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres”, (Rico, 2005, p. 158).

Independientemente del método de compactación seguido, la forma de la curva de compactación será similar a la que se muestra en la Figura 12.

La figura nos muestra un par ordenado máximo absoluto.

El peso volumétrico seco correspondiente al máximo absoluto se denomina peso volumétrico seco máximo; La humedad con la que se alcanza dicho máximo se denomina humedad óptima y representa el contenido de agua con el que el procedimiento de compactación utilizado produce la eficiencia mecánica óptima, al menos si se juzga por el peso volumétrico seco utilizado. he terminado (Rico, 2005, p. 158).

La curva de compactación se puede establecer en laboratorio o en obra a partir de pares de valores Y_m-w que, como ya se ha mencionado, se pueden obtener cuando se aplica el método de compactación en cuestión a diferentes muestras del mismo. Suelo con diferente contenido de agua. La curva Y_d-w se puede dibujar a partir de los valores anteriores aplicando la fórmula:

$$Y_d = \frac{Y_m}{1 + w}$$

Ecuación N° 01: Ecuación de Curva de Compactación.

La cual se obtiene inmediatamente cuando se aplican las definiciones y_d y w .

La figura también muestra la curva que corresponde a una saturación del suelo del 100%. Como ya se mencionó, en circunstancias normales la condición del suelo compactado es la del suelo no saturado, por lo que la curva de compactación se desarrolla por debajo de la curva de saturación.

Cuando se comparan los dos, es posible saber cuál debería ser el contenido de agua para saturar una muestra que se ha densificado a un peso volumétrico dado. La curva de saturación se puede obtener calculando los pesos de volumen seco que corresponderían al mismo suelo supuesto saturado con el contenido de agua correspondiente a una determinada abscisa de la curva utilizando la fórmula (Rico, 2005, p. 159).

$$Y_d = \frac{S_s}{1 + w S_s} Y_w$$

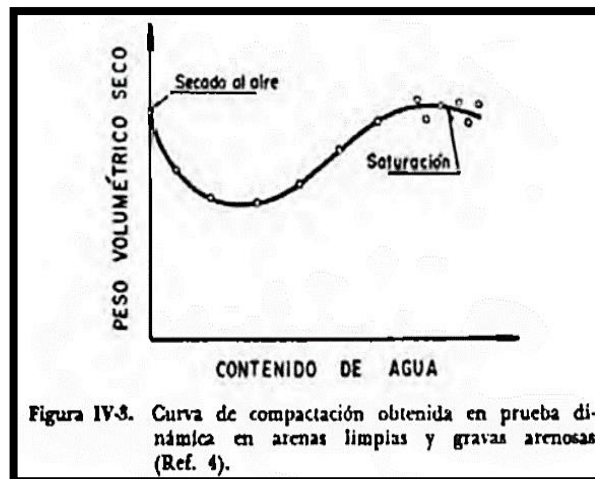
Ecuación N° 02: Ecuación de Curva de Saturación.

Corresponde a suelos saturados y cuya obtención es fácil a partir del diagrama que se muestra en la figura.

Como puede verse, muchas de las curvas de compactación obtenidas en laboratorio se realizan en ensayos donde la muestra se comprime en diferentes capas en el molde y con golpes aplicados con una manipulación estándar, con una energía preestablecida (Rico, 2005).

Figura 13

Curva de compactación obtenida en prueba dinámica en arenas limpias y gravas arenosas



Nota. Tomado de “La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres “, (Rico, 2005, p. 159).

Una curva como la que muestra la Figura 13 no define claramente el volumen de volumen seco máximo o la humedad óptima. Por otro lado, y desde un punto de vista práctico, que es el único en el que son válidos los conceptos anteriores, el asunto no es muy importante ya que existen otros ensayos de laboratorio aplicables para arenas limpias o mezclas de arenas y gravas sin finos, en el que estos materiales tienen curvas de la forma habitual; Además, dicha visión de la representatividad de

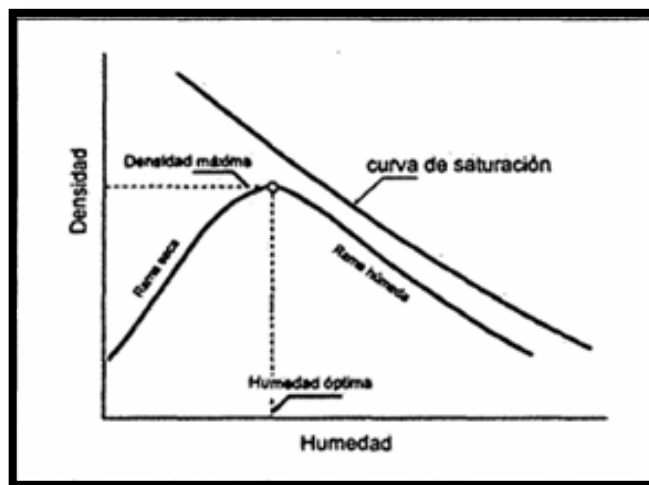
los procesos de campo utilizados con dichos materiales (ensayos de compactación con vibración) (Rico, 2005).

3.2.5.5. El proceso de densificación

La realización de las pruebas de compactación implica la energía mecánica específica que incluye: el número de golpes, la altura de caída, el peso del gato, el número de capas. Además, interviene la forma de entrega de esta energía: amasado, presión estática, impacto. En este proceso, la orientación de las partículas se determina modificando las características mecánicas de suelos y materiales estabilizados. La representación gráfica (ver Figura 14) de la relación de densidad de humedad seca da lugar a lo que se suele llamar curva de compactación. La primera parte ascendente se llama rama seca. El punto máximo superior es un punto singular, a partir del cual se obtiene el valor de "densidad seca máxima" y humedad óptima. La parte descendente se conoce como rama húmeda (Alcocer, 2013).

Figura 14

Relación Densidad Seca-Contenido de Humedad



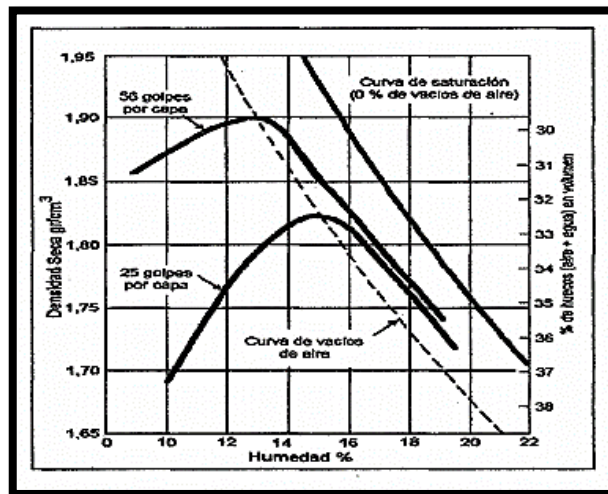
Nota. Tomado de (Páramo, 2002).

Para un mismo suelo comprimido con diferentes energías de compactación, los puntos correspondientes a las densidades máximas se disponen en una línea marcadamente paralela a la curva de saturación.

Además, sus respectivas ramas de humedad muestran una coincidencia y un paralelismo significativos con la curva de saturación. En la Figura 15, muestra las curvas de compactación para dos energías específicas diferentes. Cuanto mayor sea el trabajo de compactación mecánica, mayor será la densidad máxima en seco y menor la humedad óptima.

Figura 15

Curvas de Compactación a 25 y 26 golpes



Nota. Tomado de “Estudio de parámetros físicos de compactación de suelos y su efecto en valoración de la calidad de los mismos en prueba de laboratorio”, (Alcocer, 2013).

3.2.5.6. Densidad de Suelo

Sin embargo, el peso volumétrico en el campo se fija sobre la base de una prueba de laboratorio. Debido a la diferencia esencial que existe

entre los dos procesos de compactación y también como consecuencia de todos los problemas que pudieran surgir en el campo, casi siempre ocurre que el peso volumétrico finalmente obtenido en obra no es similar al peso volumétrico seco máximo. la prueba de laboratorio que sirvió de base para el estudio.

Algunas investigaciones indican que, para la misma compactación, la resistencia a la humedad aumenta con el peso dimensional; cuanto mayor es el peso volumétrico en la compactación, mayor es este concepto después de la consolidación, cuando se inicia la aplicación de la fuerza de deflexión, resultando en menores presiones neutras y mayor resistencia.

Con el mismo peso de compactación volumétrica en seco, la resistencia aumenta con la humedad de compactación; cuanto más aumenta la humedad de compactación, más compresible es el suelo y mayor es el peso volumétrico obtenido después de la consolidación, inmediatamente antes de la aplicación del esfuerzo de deflexión, lo que conduce a una mayor resistencia.

3.2.5.7. Ensayo para determinar la densidad y peso unitario del Suelo Insitu mediante el cono de arena.

Finalidad y Alcance

Este método se utiliza para determinar la densidad de suelos compactados que se encuentran en el lugar durante la construcción de terraplenes de tierra, cursos de carreteras, terraplenes de carreteras y estructuras de contención. Se usa comúnmente como base de aceptación para suelos compactados a una densidad específica o porcentaje de densidad máxima determinado por un método de prueba estándar. (MTC, 2000).

Referencias Normativas

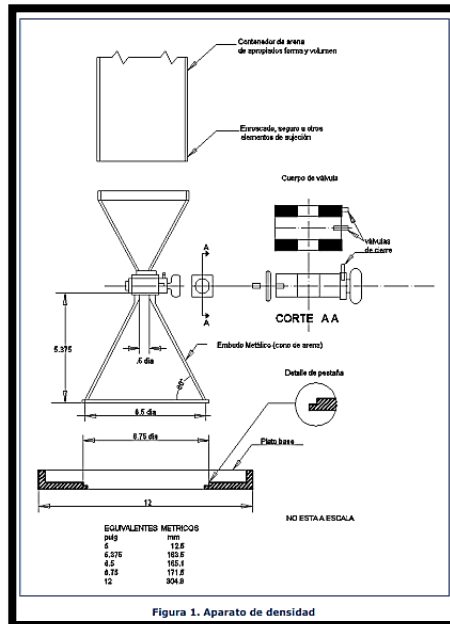
NTP 339.143: Suelos. Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo insitu a través del método del cono de arena.

Equipos y Materiales

- El aparato de densidad de conos de arena incluye lo siguiente:
- Una olla rompible u otro recipiente de arena cuya capacidad de volumen exceda el volumen requerido.
- Un dispositivo extraíble que consta de una válvula cilíndrica
- Una placa de metal cuadrada o rectangular.
- Los detalles del aparato descrito se muestran en la Fig. 16 y representan las dimensiones mínimas aceptables y apropiadas para probar suelos que tienen un tamaño máximo de 2" (50 mm) y un volumen de orificio de prueba de aproximadamente 0.1 pies (2830 cm³).
- Básculas: Una báscula de capacidad mínima de 20 kg con una sensibilidad de lectura de 5.0 g es aceptable para determinar la masa de arena y tierra excavada cuando se usa el dispositivo con las dimensiones en la Fig. 16.
- Equipo de secado: Control termostático, capaz de mantener una temperatura de 110 ± 5 ° C, para determinar el contenido de humedad de la muestra extraída del pozo.
- Equipo diverso: cuchillo, pico pequeño, cincel, espátula pequeña, destornillador o cucharas para cavar el agujero de prueba, baldes con tapa, latas de hojalata sin costuras laterales o aluminio con tapa, bolsas de plástico u otro recipiente adecuado para sostener la densidad y humedad de la muestra y la densidad de la arena; termómetro para determinar la temperatura del agua, cepillo pequeño, calculadora, cuaderno, etc.

Figura 16

Equipo del Ensayo de Cono de Arena.



Nota. Fuente: NTP 339.150:1999 (SUELOS. Método de Ensayo para la determinación en campo del contenido de humedad, por el método de presión del gas carburo de calcio).

Materiales

Arena: debe estar limpia, uniforme, seca, sin cementar, duradera y fluida. Tener un coeficiente de uniformidad ($C_u = D_{60} / D_{10}$) inferior a 2 y un tamaño máximo de partícula inferior a 2,00 mm (malla N° 10) y menos del 3% en peso que pasa por la malla de 250 μm (malla N 60).

Procedimiento

Elija una ubicación / altura que sea representativa del área a analizar y determine la densidad del suelo in situ de la siguiente manera:

Inspeccione el cono en busca de daños, rotación libre de la válvula y asegúrese de que la placa base funcione correctamente. Llene el recipiente de cono con la arena acondicionada para la que ya se ha

determinado la densidad de acuerdo con el Anexo A2 y determine la masa total.

Prepare la superficie en el sitio a probar para que sea un plano. La placa base debe usarse como herramienta para quitar la superficie a una superficie nivelada.

Coloque la placa base sobre la superficie plana y asegúrese de que esté en contacto con la superficie del suelo alrededor del borde del orificio central. Marque el contorno de la placa inferior para verificar el movimiento durante la prueba y, si es necesario, asegure la placa central para el movimiento del canal con clavos clavados en el suelo junto al borde de la placa o, en otras palabras, sin perturbar el suelo a probar.

El hoyo de prueba se cava a través del hoyo central en la placa base, teniendo cuidado de evitar perturbaciones o deformaciones del terreno que delimita el hoyo. Los volúmenes de los orificios de prueba deben ser lo suficientemente grandes para ser prácticos y minimizar los errores, y bajo ninguna circunstancia serán más pequeños que los volúmenes enumerados en la Tabla 5 para el tamaño máximo de las partículas de suelo extraídas del orificio de prueba. Los lados del agujero deben estar ligeramente inclinados hacia adentro y el medio debe ser bastante plano o cóncavo. La apertura debe mantenerse lo más libre posible de cavidades, protuberancias y barreras de fluidos, ya que esto afecta la precisión de la prueba. Los suelos que son principalmente granulares requieren un cuidado extremo y también requieren la instalación de un orificio de prueba cónico. Coloque todo el suelo excavado y otro suelo que hay.

Tabla 5*Volúmenes Mínimos del Hoyo de Ensayo*

Tamaño Máximo de la Partícula		Volumen Mínimo del Orificio de Ensayo	
Pulgada	mm	cm ³	pies ³
1/2	12.50	1420.00	0.05
1	25.00	2120.00	0.08
2	50.00	2830.00	0.10

Nota. Tomado de (MTC, 2000).

Limpie el borde del orificio de la placa base, gire el aparato de cono de arena boca abajo y coloque el embudo del cono de arena en un orificio con bridas en la misma posición que se muestra durante la calibración (consulte el apéndice A1). Elimine o minimice las vibraciones en el área de prueba que puedan ser causadas por el personal de prueba o el equipo que utilizan. Abra la válvula y deje que la arena llene el orificio, el embudo y la placa base. Intente evitar que el dispositivo se mueva o vibre mientras la arena se hunde. Cuando la arena deje de fluir, cierre la válvula.

Determine la masa del dispositivo con la arena restante, regístrela y calcule la masa de arena utilizada.

Determine y registre la masa de material húmedo que se ha eliminado del orificio de prueba cuando se necesitan correcciones de material más grandes, determine la masa de este material en la pantalla adecuada y regístrelo, teniendo cuidado de evitar Pérdida de humedad. Si es necesario, haga las correcciones apropiadas para materiales más grandes usando la práctica ASTM D 4718.

Mezclar bien el material y obtener una muestra representativa para determinar el contenido de humedad o, en todos los casos, utilizar una muestra completa.

Determine el contenido de humedad de acuerdo con el método de prueba MTC E 108. Se establecerán correlaciones para MTC E 108 cuando otros métodos de prueba así lo requieran.

Las muestras para determinar el contenido de humedad deben ser lo suficientemente grandes y seleccionadas de modo que se represente todo el material obtenido del orificio de prueba. La masa mínima de la muestra para la determinación del contenido de agua es la requerida para dar valores de contenido de humedad exactos al 1%.

En el caso de suelos sin cohesión (gravas y arenas), los cuales, por lo general no permiten obtener muestras inalteradas, la densidad se determina con métodos indirectos, entre ellos el cono de arena, el cual consiste en realizar un orificio en el suelo, determinar el peso del material y el volumen que dicho material ocupada (Sagüés, 2007).

3.2.5.8. Grado de Compactación

Sin embargo, el peso dimensional en el campo se determina mediante una prueba de laboratorio. Como resultado de la diferencia esencial entre los dos procesos de compresión y como resultado de todos los problemas que pueden ocurrir en el sitio, casi siempre sucede que el peso volumétrico se determina finalmente en el sitio y no es idéntico al peso volumétrico. Máximo seco de la prueba de laboratorio que sirvió de base para el estudio. La diferencia entre los dos valores se mide tradicionalmente mediante el concepto de GRADO DE COMPACTACIÓN. El grado de compactación del suelo compactado

in situ se define como la relación porcentual entre el volumen seco obtenido por el equipo en campo y el máximo correspondiente a la prueba de laboratorio en la que se basa el estudio. El grado de compactación de un suelo se calcula de la siguiente manera:

$$G_c (\%) = 100 + \frac{Y_d}{Y_{dmax}}$$

Ecuación N° 03: Ecuación de Grado de Compactación (Rico, 2005).

El concepto de grado de compactación sigue siendo hoy en día el método más utilizado para definir los requisitos de compactación que deben alcanzarse en el campo. Por lo tanto, generalmente se expresa con una frase como esta: "Compacte este material al menos al 95% del peso volumétrico seco máximo obtenido en dicha prueba de laboratorio" (Rico, 2005, p. 185).

El grado de compactación fijado para un determinado proyecto debe ser realista en el sentido de no imponer requisitos excesivos, ya sea en relación con las propiedades a obtener o con los equipos disponibles y la importancia del trabajo a realizar; lo contrario conduce a continuos inconvenientes de ajuste en el campo, lo que dificulta el avance del trabajo.

No se puede especificar el grado de compactación que se requerirá en cada caso; Es una cuestión en la que el ingeniero debe utilizar sus criterios, adaptándolos a cada proyecto.

3.2.5.9. La Normativa De Medición

A nivel global, la compactación generalmente siempre se ha tenido en cuenta en los proyectos, ya que es parte integral de su desarrollo y, en

general, ayuda a mejorar la capacidad del suelo al eliminar los vacíos que se crean en él. Si se tiene en cuenta que esta fase tiene que realizarse correctamente por no estar funcionando correctamente, se pueden producir daños que a largo plazo provocarían déficits en el resto de proyectos en general. Por ello, hoy en día se aplican normas técnicas para el proceso de compactación de los materiales a utilizar en cada zona (Sánchez, 1996).

Al preparar una muestra para una prueba de compactación, el método utilizado afectará los resultados. Puede comenzar con un suelo relativamente seco y agregar la cantidad de agua necesaria para obtener las muestras necesarias para la prueba o, a la inversa, puede comenzar con un suelo húmedo que se seque. (ASTM, 2012)

El primer método proporciona una mayor gravedad específica en seco. Esto se debe a que cuando se agrega agua, hay un exceso, lo que hace que la tensión capilar entre los grupos sea menor que la de los grupos de un suelo en el que el agua se ha evaporado. Por la misma razón, la energía de compresión es más eficiente en el primer caso. Para reducir esta diferencia de resultados entre los dos métodos, al comenzar con una muestra seca, debe tomar algún tiempo después de agregar el agua para que el suelo se adapte al suelo húmedo en condiciones de carga capilar (González, 2013).

Por otro lado, no es aconsejable el uso repetido de las muestras porque ya no son representativas de las condiciones de los suelos compactados en campo, ya que no se vuelven a compactar. (ASTM, 2012)

Por supuesto, hay casos, mucho más comunes de lo que suele indicar el desempeño de los ingenieros, cuando tales pendientes de prueba pueden y deben usarse (esto está claro, especialmente cuando se

construyen vías respiratorias), pero está claro que los constructores de carreteras y los ferrocarriles establecer los detalles del trabajo en el sitio de construcción, a menudo sin contar con los beneficios de la información de una presa de prueba;

El ingeniero debe entonces ejercer su juicio y su máxima experiencia. La única regla general que se puede dar es que esté listo en cualquier momento para cambiar las reglas implementadas y que en todo momento esté al tanto de todo el conjunto de variables que pueden afectar el resultado esperado (Rico, 2005, p. 187).

Tabla 6*Valores tentativos de grados de compactación*

Tipo de Suelo	Grado de Compactación, Referido a la Prueba Proctor Estándar, Según La Importancia y el Tipo de Obra por Ejecutar		
	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
GW	97	94	90
GP	97	94	90
GM	98	94	90
GG	98	94	90
SW	97	95	91
SP	98	95	91
SM	98	95	91
SC	99	96	92
ML	100	96	92
CL	100	96	92
OL	---	96	93
MH	---	97	93
CH	---	---	93
OH	---	97	93

Nota. Tomado de Rico, 2005, p. 187.

*Obras tipo 1. Terraplenes de más de 30 m de altura. Sótano bajo pavimento permanente, con espesor no superior a 30 cm. Los 2 m superiores por debajo de los cimientos de edificios de dos o más plantas o puentes y viaductos.

*Obra tipo 2. Partes inferiores de empastes debajo de edificios. Capa superior de terraplenes comunes, debajo del sótano al menos 30 cm. Terraplenes de menos de 30 m de altura.

*Trabajos tipo 3. Otros suelos que requieran compactación, sin grandes requisitos de resistencia e incompresibilidad.

La tabla 6 da soporte a los grados de compresión habituales en la obra, es decir, a números fijos que se pueden utilizar a voluntad.

El grado de compactación de la base y la sub base es al menos el 100% de la densidad seca máxima obtenida en la prueba Proctor modificada (método C). En cada caso individual, se toleran hasta dos puntos porcentuales menos, siempre que la media aritmética de 6 puntos de la misma compresión sea igual o mayor que la especificada. Las secciones a aprobar se definen con base en al menos seis (6) determinaciones de densidad. (Norma CE-010, 2010).

3.2.5.10. Control de la compactación en el campo

La evaluación consiste en verificar la calidad del trabajo de compactación en campo. Cuando se trata de densidad, los métodos más comunes y simples son la prueba del cono de arena y el densímetro nuclear. Para determinar la humedad de forma inmediata, puede utilizar el método Speedy (Carburo de Calcio) o el procedimiento propuesto por Hilf (Rico, 2005).

El control de compactación en campo, como parte del control de calidad de los proyectos en general, consiste en lograr un grado de compactación en un rango de humedad fijo, para garantizar las propiedades mecánicas por las que se compacta, en la mayoría de los casos. económico (Pariona, 2014).

La energía de compactación a utilizar está definida por el tipo de propiedad mecánica a mejorar, el grado de compactación se establece en función de la importancia económica de la compactación y en relación al modelo de compactación a utilizar en el laboratorio. Así, por ejemplo, se coloca en carreteras para llegar a $G_c = 95\%$ de la energía Proctor Modificada (Georges, 2004).

Aunque en muchos proyectos se refiere únicamente al control de la compactación alcanzando el grado de compactación deseado, sin determinar en qué rango de humedad se debe lograr, esto resulta ser un grave error, económica y técnicamente (Bañon, 2000).

Por ello, para controlar la compactación en campo se utiliza un parámetro que relaciona el peso específico seco alcanzado en el relleno con el peso específico seco máximo obtenido en laboratorio con el Proctor correspondiente, utilizando como estándar (Sánchez, 1996).

3.2.6. Control de la Energía Especifica en el Proceso de compactación de Campo.

La compactación del suelo se denomina proceso mecánico mediante el cual se busca mejorar las características de resistencia, compresibilidad y deformación bajo estrés de éste; En general, el proceso implica una reducción más o menos rápida de los huecos, como resultado de lo cual se producen grandes cambios de volumen en el suelo, básicamente relacionados con la pérdida de volumen de aire (Rico, 2005).

La compresión es la densificación de la tierra mediante la eliminación del aire, ya que requiere energía mecánica. También es un proceso mediante el cual las partículas se fuerzan a entrar en contacto entre sí. Suele realizarse de forma mecánica, lo que provoca que el aire se libere de los poros. La compresión se mide cuantitativamente por la densidad seca del suelo, (gr / cm^3); (kg / dm^3). La humedad del suelo es el peso del agua que contiene, expresado con respecto al peso del suelo seco. Luego se determina la densidad seca, a partir del cálculo de la humedad del suelo y su porcentaje de humedad. (Páramo, 2002)

Badillo (1990), mencionado en (Revolorio, 2013) la compactación del suelo es la mejora artificial de sus propiedades mecánicas por medios mecánicos.

Das (1963), mencionado en (Revolorio, 2013) define la compresión como "densificación de la tierra mediante la eliminación del aire, que requiere energía mecánica".

Winterkoma y Ynag (1959), mencionado en (Revolorio, 2013) afirman que la compactación es "el proceso en el que el volumen de una masa de suelo constituida por partículas sólidas, aire y agua, se reduce mediante la aplicación temporal de cargas aplicadas con rodillos, golpes o vibraciones".

Algunas definiciones coinciden con Das, que la compactación corresponde a la densificación del suelo mediante la eliminación del aire, esto aumenta las características de resistencia del suelo y ayuda a prevenir posibles asentamientos. Para lograr esta densificación, a menudo se requiere energía mecánica.

El propósito principal de la compactación es obtener un suelo de forma estructurada que tenga y mantenga un comportamiento mecánico ideal durante toda la vida de la obra.

Las propiedades requeridas pueden variar de un caso a otro, pero la resistencia, la compresibilidad y una relación tensión-deformación adecuada se encuentran entre aquellas cuya mejora siempre se busca (Rico, 2005, p. 153).

En el caso de las rutas terrestres, este es el siguiente, cuya mejora se busca en prácticamente todos los casos.

Deformabilidad, que implica la intención de reducir la compresibilidad de los suelos y aumentar su estabilidad volumétrica, especialmente ante la absorción o pérdida de agua; Resistencia, en particular a los esfuerzos cortantes, en términos de los valores más altos posibles y una relación tensión-deformación adecuada, que garantizan un equilibrio de comportamiento adecuado (Rico, 2005, p. 1).

Los procesos de compactación necesitan ser estudiados con referencia a técnicas de campo y todo un abanico de técnicas de laboratorio, pero además de las consideraciones anteriores, existe una tercera que ha sido relativamente descuidada hasta hace poco y que se relaciona con el estudio de las propiedades obtenidas en suelos compactados. Este tercer aspecto, convenientemente relacionado con los otros dos, completa el cuadro en la forma que el ingeniero necesita para establecer un criterio adecuado (Rico, 2005).

El problema de la compactación del suelo se ha vinculado al control de calidad del trabajo de campo desde el principio; De hecho, después de realizar un proceso de compresión, siempre es necesario verificar si se han logrado los propósitos propuestos (Rico, 2005).

La compactación de bases adquiere importancia por el desequilibrio al que nos enfrentamos al realizar el juego en el suelo, por ejemplo, si utilizamos baja energía de compactación específica, el suelo tiende a ser muy frágil con huecos en el interior que no estaba atenuado en ese momento. lo que resultará en fallas en la liquidación. Por otro lado, si la energía de compactación específica es demasiado alta, se producirá una sobre compactación provocando el agrietamiento al destruir los granos básicos y, con el tiempo, presentando defectos como piel de cocodrilo y material susceptible a la generación de grietas.

3.2.6.1. Energía Especifica de compactación

Por energía de compactación específica se entiende la que se entrega al suelo por unidad de volumen, durante el proceso mecánico en cuestión.

“Es muy fácil evaluar la energía específica en una prueba de laboratorio en la que el suelo se compacta por impactos dados con un pisón; de hecho, está claro que para tal caso viene dado por la expresión” (Rico, 2005, p. 156):

$$\epsilon = N\eta W h$$

Ecuación N°04: Ecuación de la energía de Compactación.

Ee= Energía Especifica

N= número de golpes del pisón compactador por cada una de las capas en que se acomoda el suelo en el molde de compactación

n= número de capas que se disponen hasta llenar el molde

W= peso del pisón compactador.

h= altura de caída del pisón al aplicar los impactos al suelo

V= volumen total del molde de compactación igual al volumen total del suelo compactado.

La energía de compresión no se puede cuantificar de forma sencilla, sino que se puede variar a voluntad introduciendo cambios en la presión de impresión, en el número de capas, en el número de aplicaciones del pistón por capa, en la zona del pistón o en el tamaño del molde.

El concepto de energía específica conserva su valor central completo cuando se relaciona con los procedimientos de compresión de campo. Cuando se utilizan rodillos, depende principalmente de la presión y la superficie de contacto entre el rodillo y el suelo, el espesor de la capa que se comprime y el número de pasadas del equipo compactador (Rico, 2005, p. 156).

La energía específica de campo podría definirse como la transmisión de energía que le da el equipo de compactación a la base granular, donde se ubica el área, intensidad, tipo de máquina y los pasajes de los rodillos que se aplicarán al trabajo. están involucrados, esto obedece principalmente a estudios previos establecidos en el laboratorio, considerando ya datos previos como la humedad óptima y el peso específico máximo en función de la naturaleza de la base granular trabajada.

Se requieren altas energías de compactación para lograr el peso volumétrico establecido en contenidos de agua bajos.

La energía de compactación es seguramente la variable específica que más influye en la humedad óptima de un proceso de compactación (ya se ha dicho que aumentar la energía específica disminuye invariablemente la humedad óptima).

3.2.6.2. Efecto de la energía de compactación

Para todos los suelos compactados, ya sea en el campo o en el laboratorio, el incremento de la energía utilizada con un método de compactación particular aumenta el DSM y disminuye el OCH. Los suelos con contenido de agua decreciente se pueden trabajar suficientemente con energías de compactación crecientes (Mendoza, 1992, p. 20).

Toda la energía aplicada a un suelo durante la compactación se utiliza para:

...reducir su volumen, crear deformaciones angulares (desplazamiento lateral de las partículas) y, en ciertos casos, romper las partículas. Cualquier aumento de energía aplicado a

un suelo con alto contenido de agua se utilizará para la deformación angular, pero no disminuirá el volumen del suelo. Esto se debe a que el suelo es más maleable y menos compresible debido a su bajo contenido de aire (Montejo, 2013, p. 477).

Los movimientos causados por el aumento de la energía de compresión se condensan en general, creando estructuras más cerradas con más partículas atrapadas, lo que resulta en un mayor arrastre. Sin embargo, si el aumento de energía continúa, el entrelazamiento de las partículas que las fuerza para girar y moverse, rodar unos sobre otros. “Cuando se producen estos efectos, la resistencia disminuye muy rápidamente, pero incluso si las partículas son aplastadas por el efecto de compactación, dificulta la existencia de partículas desmenuzables. El aumento de energía es bueno, pero hasta cierto límite” (Rico, 2005, p. 70).

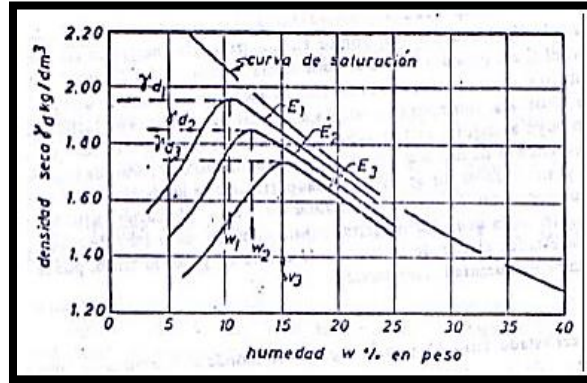
Si se utilizan presiones de compactación que superan los esfuerzos cortantes de las superficies de contacto, las partículas se deslizan unas sobre otras y pierden su capacidad de carga (Mendoza, 1992).

Para investigar la influencia del esfuerzo de compactación, se desarrollaron las relaciones humedad-densidad para diferentes esfuerzos de compactación, por lo que se obtuvo la familia de curvas que se da en la figura 17.

Puede verse que una energía de compresión más alta aplicada logra una densidad máxima más alta y una humedad óptima correspondientemente más baja. Una conclusión práctica importante es el hecho de que un suelo con exceso de agua no puede alcanzar una cierta densidad, incluso si se aumenta la energía de compactación aplicada, ya que siempre está limitada por la línea de saturación (Ruiz, 2002, p. 13).

Figura 17

Densidad Seca Vs Humedad



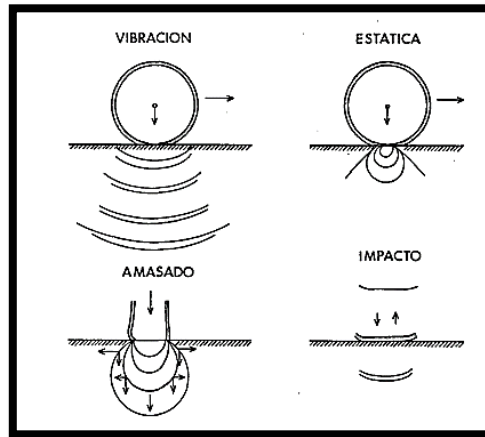
Nota. Tomado de “La Ingeniería de suelos en las vías terrestres”, (Rico, 2005).

3.2.6.3. Métodos del Proceso de Compactación.

Los métodos de compactación para obras viales se basan principalmente en la circulación de cargas elevadas sobre un espesor de suelo previamente transportado, esparcido y nivelado con tanta frecuencia hasta conseguir la densidad requerida en cada caso. Los medios mecánicos de aplicación de las presiones son de diferente naturaleza y generalmente operan mediante una combinación de alguno de los cuatro tipos de esfuerzo que podríamos llamar elementales: estática vertical, amasado, impacto y vibración (ver en Figura 18).

Figura 18

Métodos de Compactación en Obras Viales



Nota. Tomado de “Sintonización de los Medios de Compactación y su Control”, (Abecasis, y otros, 1987).

Independientemente del tipo de esfuerzo, se observa un principio general: las presiones que se transmiten a una determinada altura están al máximo por debajo de la carga vertical de la carga y disminuyen con la profundidad. La diferencia radica en el sistema de tensiones que se introducen en la estabilidad del suelo (Abecasis, y otros, 1987).

Esfuerzo estático vertical.

Bajo carga circulante, genera principalmente tensiones de componentes verticales que comprimen el suelo.

Esfuerzo de amasado

Las tensiones ocurren en ciclos consecutivos en al menos dos direcciones diferentes, lo que obliga al piso a deformarse en más de una dirección.

Esfuerzo de impacto

Crea una onda de presión que se extiende hacia abajo, transmitiendo un cierto movimiento a las partículas del suelo y alcanzando una profundidad mayor que la simple carga estática.

Esfuerzo vibratorio

Crea una rápida sucesión de choques y por tanto ondas de presión que se propagan en profundidad, con una frecuencia que varía entre límites amplios, pero siempre muy altos de 10 a más de 80 vibraciones por segundo. El movimiento que ejercen las ondas de presión sobre las partículas del suelo reduce inmediatamente la fricción interna en su masa y así facilita el llenado de cavidades y por tanto la compactación.

Obviamente, debido al peso de la máquina, siempre hay tensión estática en cualquier máquina compactadora. Sin embargo, la participación en el resultado final del trabajo tiene diferentes significados según el tipo de máquina.

Por otro lado, aplicar un cierto esfuerzo de compactación no siempre conduce a los mismos efectos, sino que estos dependen del tipo y humedad del suelo y del espesor del material a compactar.

En consecuencia, el análisis de los métodos y equipos de compactación del suelo debe cubrir necesariamente dos aspectos (Abecasis, y otros, 1987, p. 49-50):

- a) Propiedades y clasificación de las máquinas comúnmente utilizadas para este fin en la excavación de carreteras.
- b) La compactación se realiza según el método más adecuado en función del tipo, humedad y espesor del material.

3.2.6.4. Métodos empleados para brindar la energía de compactación.

La energía requerida para compactar suelos de campo en vías urbanas puede ser de cualquiera de las cuatro formas o tipos que se enumeran a continuación, que tienen características diferentes con el esfuerzo y la duración del esfuerzo.

Estas formas son:

- a) Por Amasado
- b) Por Presión
- c) Por impacto
- d) Por Vibración
- e) Métodos Mixtos

Los métodos de proporcionar energía de compactación para la superficie de la carretera dependen del material a compactar y ocupan un lugar de soluciones comerciales e industriales que hasta ahora se han desarrollado para resolver el problema (Rico, 2005).

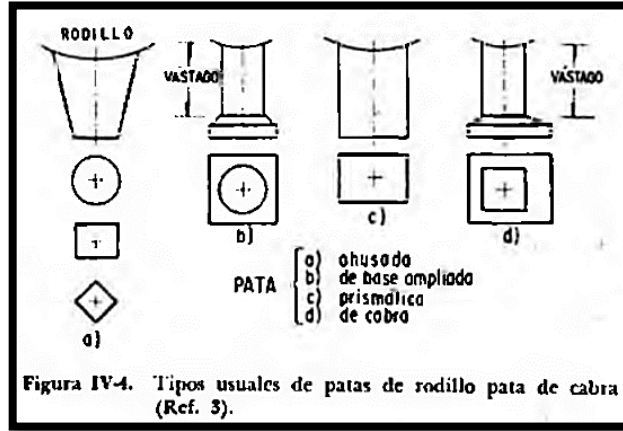
3.2.6.4.1. Métodos por amasado.

Rodillos pata de cabra

Estos compactadores equilibran su peso sobre la superficie relativamente pequeña de un conjunto completo de puntas de varias formas (ver Figura 19) y ejercen presiones estáticas muy importantes en los puntos donde dichos salientes penetran el suelo. A medida que se hacen las pasadas y el material se compacta, las patas se hunden cada vez menos en el suelo, y llega un momento en que no hay más compactación; A una profundidad de 6 cm, la superficie siempre está distorsionada, pero la siguiente capa que se coloca se compacta.

Figura 19

Tipos usuales de patas de rodillo de cabra

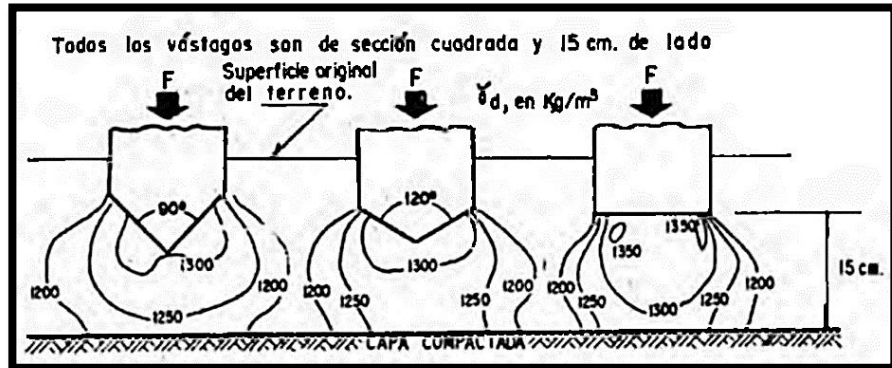


Nota. Tomado de “La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres”, (Rico, 2005, p. 160).

En la Figura 20 se muestra la influencia que sobre la compactación obtenida ejerce la forma geométrica de la punta del vástago, que constituye la “pata de cabra” propiamente dicha; en forma esquemática se presentan los pesos volumétricos que resultaron en un caso dado con el empleo de tres tipos de vástago, todos de sección cuadrada de 15 cm de lado (Rico, 2005).

Figura 20

Influencia de la forma de la punta del vástago en los rodillos “Pata de cabra”

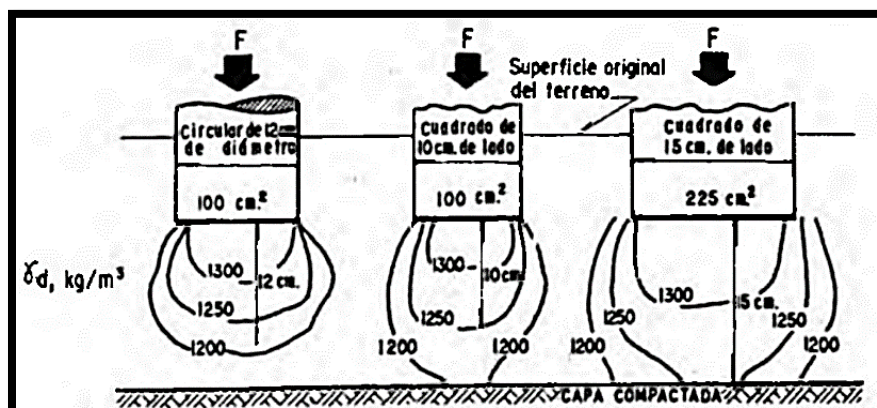


Nota. Tomado de “Consideraciones sobre compactación de suelos en obras de infraestructura de transporte” (Rico, y otros, 1992, p. 160).

La mayor eficiencia es la del mango plano, así como la del mango ligeramente ahusado, que se muestra en la forma más regular de la zona más compactada y el mayor volumen de esta zona (Rico, 2005).

Figura 21

Influencia del tamaño y del área de la sección recta de los vástagos de los rodillos “Pata de Cabra”



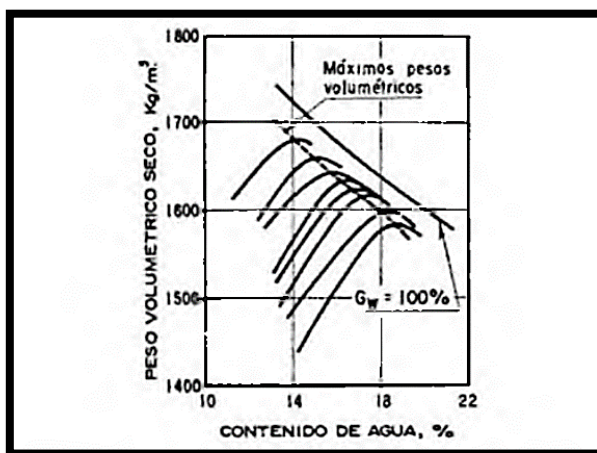
Nota. Tomado de “Consideraciones sobre compactación de suelos en obras de infraestructura de transporte” (Rico, y otros, 1992, p. 160).

La Figura 21 muestra de forma esquemática el resultado de un estudio específico realizado para estudiar la influencia de la forma de la sección recta del vástago y su área de sección transversal. Es de destacar la mayor eficiencia del vástago más grande, así como la superioridad de la sección cuadrada sobre la redonda.

El rodillo de ranúnculo produce dos resultados extremadamente deseables en terraplenes finos compactados que son una distribución uniforme de la energía de compactación en cada capa y una buena unión entre capas sucesivas (Rico, 2005).

Figura 22

Diagrama Cualitativo de Y_d , V_s , w para diversas energías de compactación



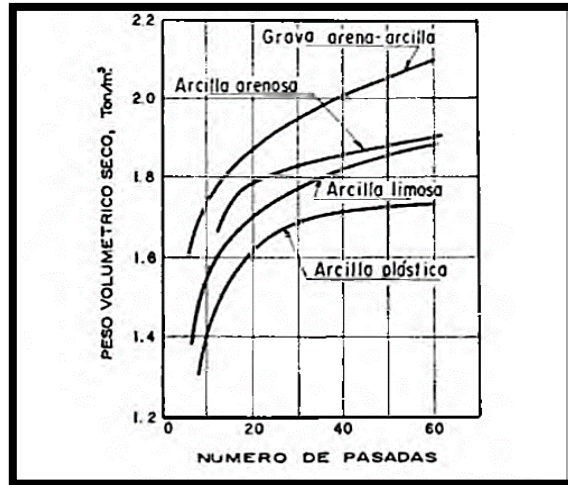
Nota. Tomado de “Consideraciones sobre compactación de suelos en obras de infraestructura de transporte” (Rico, y otros, 1992, p. 162).

La Figura 22 muestra cualitativamente la influencia de la energía de compactación y el contenido de agua del suelo en un proceso de compactación de campo con un rodillo de cabra. Con el mismo equipo, cualquier aumento en la energía de compactación aumentará el

volumen seco máximo y disminuirá el contenido óptimo de agua (Rico, 2005).

Figura 23

Compactación Con Rodillo Pata de Cabra



Nota. Tomado de “Consideraciones sobre compactación de suelos en obras de infraestructura de transporte” (Rico, y otros, 1992, p. 162).

*Efecto del número de pasadas en el grado de compactación de diversos suelos.

En la Figura 23 se analiza otro aspecto relevante de la compactación con ranúnculos.

El objetivo es mostrar el efecto del número de pasadas de un rodillo de tipo medio sobre diferentes tipos de materiales. Puede verse que, en general, el aumento del peso volumétrico seco por pasada disminuye al aumentar la plasticidad y que el número apropiado de pasadas depende del tipo de material presente (Rico, 2005, p. 162).

Los rodillos pata de cabra muestran su mejor rendimiento en suelos finos. Se ha encontrado que la concentración de presión creada por las varillas es muy útil para romper y romper los grumos que

se forman en arcillas homogéneas por la acción de fuerzas capilares entre sus partículas. En suelos finos y homogéneos de diferentes rangos de tamaño, la acción de las patas de cabra también es muy beneficiosa para romper y descomponer las diversas partículas y unir las diferentes capas de material compactado, ya que, si la superficie de la capa se deforma, se compacta junto con la siguiente eliminando así la tendencia a la laminación (Rico, 2005, p. 165).

3.2.6.4.2. Métodos por presión.

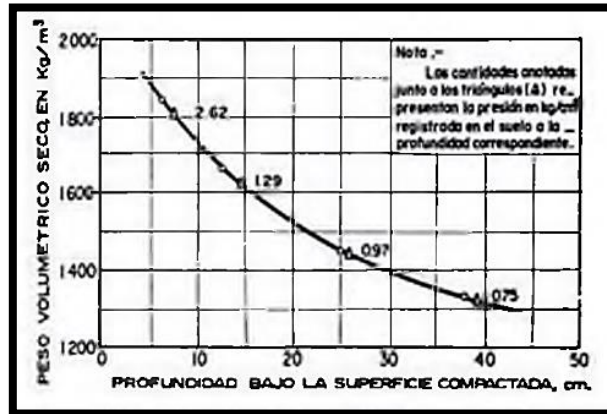
Rodillos Lisos.

Rollos lisos. Se dividen en dos grupos: remolcados y autopropulsados. Los rodillos lisos tienen su aplicación limitada a materiales que no requieren concentraciones de presión importantes, porque no forman grumos o porque no necesitan romperse: generalmente son arena y gravas relativamente limpias. También se utilizan ampliamente para el tratamiento superficial de capas compactadas (sustratos, sustratos y esteras asfálticas).

El efecto de compactación de los rodillos lisos se reduce en gran medida cuando la capa que se comprime se profundiza y el efecto de compactación es de arriba a abajo.

Figura 24

Disipación de la presión de contacto de un rodillo liso con la profundidad

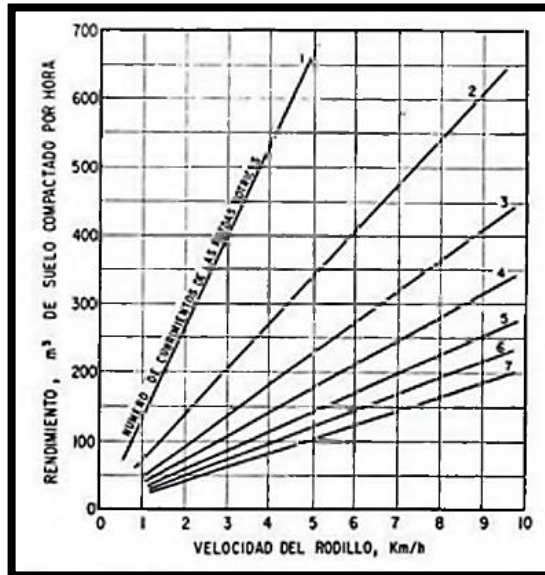


Nota. Tomado de “La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres”, (Rico, 2005).

La Figura 24 muestra el efecto de la disipación de presión con la profundidad y la eficiencia de compactación de un rodillo liso de tres ruedas con un peso total de 9,5 toneladas, que actúa sobre un material arcilloso-arenoso con un contenido de agua del 13,5% (Rico, 2005, p. 167).

Figura 25

Relación entre el rendimiento de un rodillo liso, la velocidad de operación y el número de pasadas de las ruedas por el mismo punto



Nota. Tomado de “La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres”, (Rico, 2005, 167).

La Figura 25 muestra el rendimiento de un rodillo liso de tres ruedas de 10 toneladas, cuyas ruedas motrices tienen 51 cm de ancho y una distancia de 91,5 cm entre ellas. La potencia solo se ha calculado teniendo en cuenta el efecto de las ruedas motrices cuando actúan sobre una capa de 15 cm (Rico, 2005, 166).

Rodillos Neumáticos

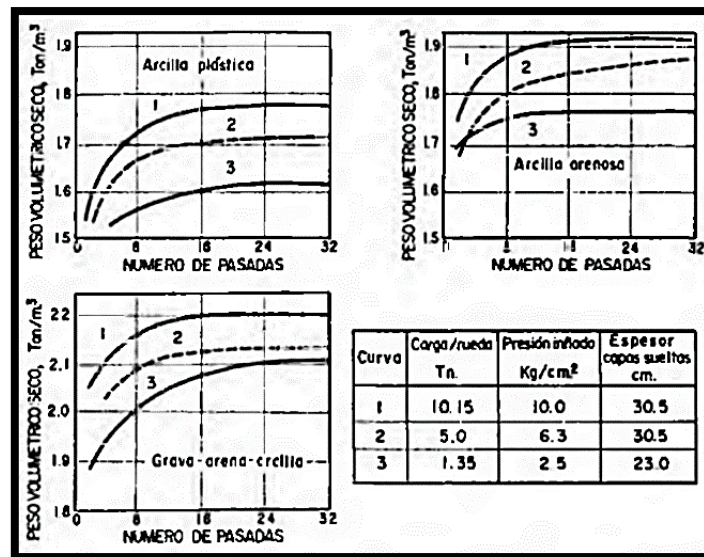
El efecto de compactación del rodillo neumático (con neumáticos llenos de aire) se debe principalmente a la presión que se transfiere a la capa de suelo colocada. Sin embargo, estos rodillos también producen un cierto efecto de amasado provocado por grandes deformaciones angulares del suelo debido a irregularidades. Los neumáticos; Este efecto ocurre en una escala mucho menor que la de los ranúnculos, pero es motivo de preocupación, particularmente en la

parte más superficial de la capa que se está compactando. Desde la primera pasada, el rodillo ejerce prácticamente la misma presión sobre la superficie de la capa; esta presión es casi la misma que la presión de los neumáticos menos los efectos menores de la rigidez del neumático.

El acabado superficial de las capas compactadas con rodillos neumáticos suele ser lo suficientemente rugoso como para asegurar una buena unión con la capa superior (Rico, 2005).

Figura 26

Compactación con rodillo neumático



Nota. Tomado de “La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres”, (Rico, 2005).

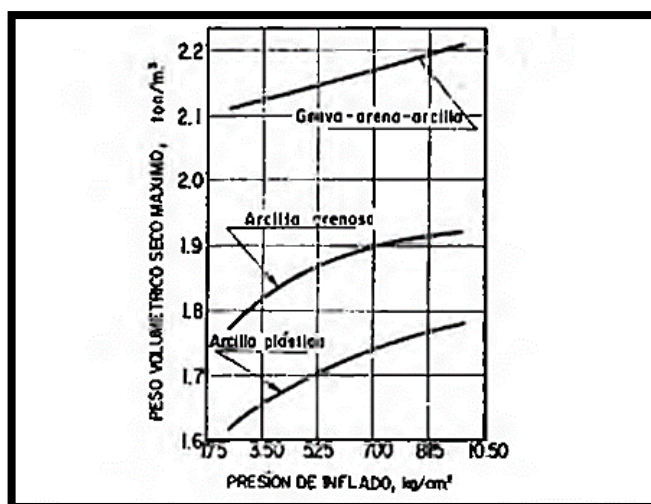
*Efecto del número de pasadas y de la presión de inflado en el peso volumétrico seco de diversos suelos.

La Figura 26 muestra el efecto del número de pasadas y la presión de inflado sobre el volumen de volumen seco obtenido para diferentes suelos.

Tenga en cuenta que la forma de las curvas es la misma para las tres bandejas y que en todos los casos el aumento de peso volumétrico seco en 16 pasadas es insignificante. Esto no ocurriría si el contenido de agua no fuera óptimo, ya que se ha observado que en este caso el peso aparente seco aumenta incluso si el número de pasadas aumenta mucho. Al observar el número también se deduce la gran influencia de las presiones inflacionarias en el proceso de densificación (Rico, y otros, 1992).

Figura 27

Compactación con rodillo neumático



Nota. Tomado de “La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres”, (Rico, 2005, p. 168).

*Relación entre presión de inflado y peso volumétrico seco máximo.

En cualquier tipo de suelo, un aumento de la carga de la rueda o de la presión de inflado produce un aumento del peso volumétrico seco máximo, como se puede observar en la Figura 27.

Este aumento va acompañado de una disminución del contenido óptimo de agua. Sin embargo, no es recomendable aumentar la presión de inflado sin aumentar la carga por rueda en la misma

proporción, ya que esto reduciría la superficie de contacto, no presentaría las presiones de confinamiento horizontales ya mencionadas y tendería a producir más variaciones en el grado de compactación con la profundidad (Rico, 2005, p. 169).

Tabla 7

Rodillos Neumáticos, Especificaciones comunes

Ancho Total del Equipo	152 a 303 cm
Tamaño de la llanta	7.50 x 15 a 30 x 40 plg
Espaciamiento entre ruedas, centro a centro	45.6 a 76.2 cm
Peso total del Rodillo	6 a 110 ton
Carga por rueda	0.6 a 27 ton
Presión de inflado	1.76 a 10.6 kg/cm ²
Presión de contacto	1.5 a 8.5 kg/cm ²
Área de contacto	480 a 3,730 cm ²

Nota. Tomado de “La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres”, (Rico, 2005, p. 171).

*Se muestra las propiedades más comunes de los rodillos neumáticos. Los rodillos neumáticos se utilizan principalmente en suelos arenosos con bajos finos plásticos, en los que no existen grumos, cuya desintegración requiere altas concentraciones de presión, como las que generan los rodillos tipo ranúnculo, en estos suelos se aplican presiones uniformes en áreas más extensas, lo que incluso previene el material densificado, se producen zonas sobrecargadas (Rico, 2005).

3.2.6.4.3. Métodos por impacto.

Con los procesos de compactación por impacto, el tiempo de transferencia de esfuerzos es muy corto. Los equipos que pueden

clasificarse en este grupo son los diversos tipos de apisonadores, cuyo uso está reservado para áreas pequeñas, y ciertas clases de rodillos compactadores, que son similares en varios aspectos a los botones de oro pero que pueden operar a velocidades muy altas. más grande que este último, lo que crea un efecto de impacto en la capa de material compactado.

Los apisonadores pueden variar desde los más básicos, de caída libre y accionados manualmente, hasta dispositivos mucho más complejos que se mueven por compresión neumática o combustión interna. Principalmente por razones de coste, su uso se limita a determinadas partes de la estructura vial en todos los casos, como B. Zanjas, fallas en cimentaciones, áreas adyacentes a alcantarillas, etc. Y donde no se puedan utilizar otros equipos de compactación con mayor rendimiento por razones de espacio o por temor a los efectos del exceso de peso.

Los apisonadores neumáticos o explosivos se levantan del suelo por la reacción que generan al operar contra el suelo mismo, que es suficiente para levantarlos 15 o 20 cm. Se consideran adecuados para compactar suelos contiguos, pero también pueden ser adecuados para otros tipos de suelo (Rico, 2005).

3.2.6.4.4. Métodos por Vibración.

Para la compactación por vibración se emplean un mecanismo, bien sea del tipo de masas desbalanceadas o del tipo hidráulico pulsativo, que proporciona un efecto vibratorio al elemento compactador propiamente dicho. La frecuencia de vibración influye de una manera muy importante en el proceso de compactación y se ha visualizado que su intervalo de variación óptimo puede estar comprendido entre 0.5 y 1.5 veces la frecuencia natural del suelo, lo que lleva al aparato a frecuencias prácticas del orden de 1,500 a 2,000 ciclos por minuto, si

bien existen en el mercado equipos comerciales que pueden alcanzar hasta 5,000 ciclos por minuto. El elemento compactador propiamente dicho lo constituyen reglas, placas y rodillo. En la zona Urbana de la Localidad de Huancayo los más empleados son los Rodillos Vibratorios.

Existen varios factores inherentes a la naturaleza de la vibración que influyen de manera substancial en resultados que rinde el equipo y los principales son (Rico, 2005):

- Frecuencia, este factor implica el número de revoluciones por minuto del oscilador.
- Amplitud, este factor se mide normalmente por la distancia vertical en casi todos los equipos comerciales.
- El empuje dinámico, este factor se genera en cada pulso del oscilador.
- Carga muerta, este factor se refiere al peso del equipo de compactación, sin tener en cuenta el propio oscilador.
- La forma y el tamaño del área de contacto del vibrador con el suelo.
- La estabilidad de la máquina.

Vale la pena señalar que, en el proceso de compactación vibratoria, para lograr una eficiencia de compactación óptima, el contenido óptimo de agua del suelo suele ser mucho más bajo de lo que se requeriría para compactarlo con otro método.

La ventaja más importante de usar un proceso de compactación vibratoria es la capacidad de trabajar con capas que son más gruesas que las que se usan comúnmente en otros compactadores. Esto aumenta el rendimiento del proceso y reduce los costos operativos. Por ejemplo, en suelos GW o GP, la compactación por vibración en capas de 60 cm

puede lograr fácilmente el mismo resultado que utilizando rodillos neumáticos muy pesados en capas de 20 o 30 cm.

Es muy importante recordar que en los procesos de densificación de campo siempre se asocia la vibración con la presión. La vibración usada sola no es muy eficiente. Se requiere presión para superar las juntas que ocurren tanto en suelos gruesos como delgados.

En suelos gruesos, las vibraciones son útiles ya que reducen temporalmente considerablemente la fricción interna de los granos.

La presión estática tiene que superar esta fricción a su valor total mediante un mecanismo en el que la resistencia al deslizamiento de los granos aumenta bruscamente precisamente debido al aumento de la presión normal. Durante el movimiento vibratorio que experimenta un piso de fricción debajo del compactador de vibración, las partículas más finas se orientan en la dirección de los espacios entre las partículas más grandes (Rico, 2005. p. 174).

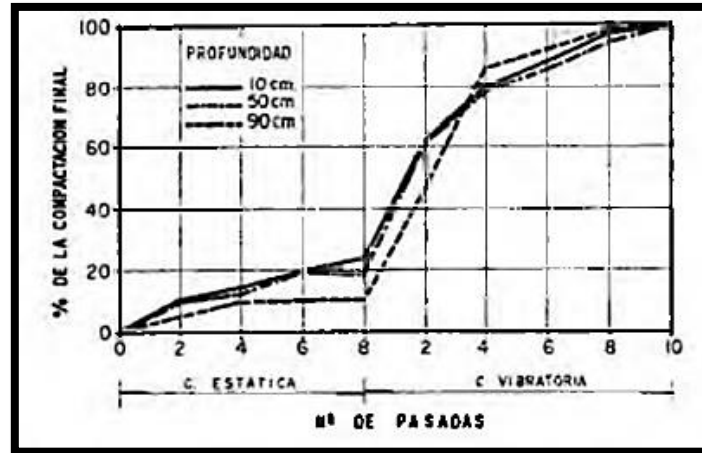
Debe valorarse que en un suelo grueso (arena y grava), que contiene una cantidad importante de finos y cuyo contenido de agua es elevado, la compactación por vibración puede resultar particularmente difícil. Por tanto, se sugiere que el contenido de finos no supere el 10% (Rico, 2005).

La reducción de la fricción interna lograda por un proceso de vibración se reconoce en varias pruebas; Esto ha sucedido 15 veces en arena y 40 veces en suelo granular. A este efecto reductor del rozamiento se suma la presión del compresor con sus cargas de presión y esfuerzos cortantes, que además de mejorar el acoplamiento entre las partículas y aumentar la posibilidad de rellenar cavidades, contrarresta las

posibles fuerzas de tensión capilar que existen entre los granos de arena.

Figura 28

Ilustración de la eficacia de la compactación por vibración

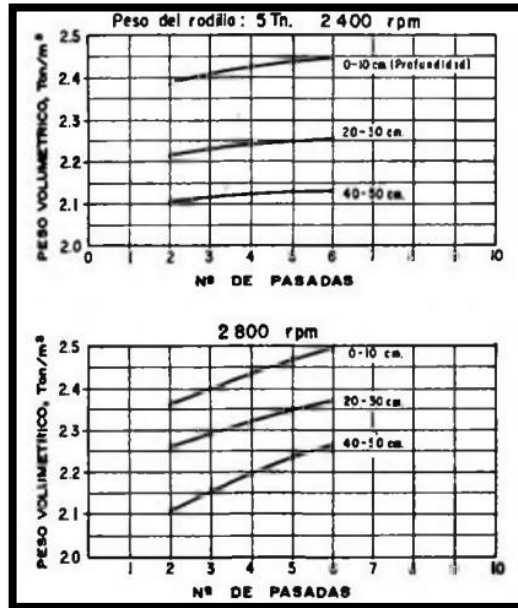


Nota. Tomado de “La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres”, (Rico, 2005, p. 175).

*La figura 28 se refiere a un proceso de compactación que se realizó en Inglaterra para la autopista Lancashire-Yorkshire, en el que se compactaron pedraplenes con tamaño máximo de 60 cm, con 90 cm de espesor de capa, con el empleo de rodillos neumáticos de 50 ton y rodillos de rejilla de 13.4 ton, como representativos de los métodos estáticos de compactación, así como rodillos vibratorios de 8 y 5 ton para aplicar vibración a los pedraplenes. Es de notar la gran ventaja de la vibración en este proceso (Rico, 2005).

Figura 29

Influencia de la frecuencia del vibrador en un proceso de compactación



Nota. Tomado de “La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres”, (Rico, 2005, p. 175).

La figura 29 muestra qué influye en la frecuencia de vibración en los procesos de compactación. Los datos se presentan para un rodillo vibratorio de 5 toneladas que compacta una capa de 60 cm de suelo de grava y arena. La misma figura muestra el efecto de disipación de la compactación con profundidad para el mismo caso especial (Rico, y otros, 1992).

Se espera que, al compactar un suelo muy espeso con vibración, se favorezca el rápido escape de agua durante el proceso si está presente en cantidades significativas, lo que lleva a la conclusión práctica de que la grava y los fragmentos de roca se pueden compactar con éxito a niveles muy inferiores. Contenido de agua.

Tabla 8*Compactadores Vibratorios de Placa Específicos Comunes*

Peso Total del Compactador	70 a 6,000 Kg
Peso de cada unidad vibratoria	70 a 204 kg
Área de contacto de la placa	1,540 a 13,900 cm ²
Presión de contacto de la placa	0.04 a 0.43 Kg/cm ²
Amplitud de la vibración	2.03 a 12.7 mm
Frecuencia	420 a 2,800 ciclos minuto
Ancho de la faja de compactada	38 a 580 cm
Velocidad de Operación	0.05 a 26.0 km/hora

Nota. Tomado de “La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres”, (Rico, 2005, p. 176).

Muchos de los conceptos que se han utilizado para otros tipos de compactadores son aplicables a los métodos de vibración en el campo. Por ejemplo, la información básica contenida en la Figura 8 es la validez, así como las relacionadas con el efecto del número de pasadas, que son muy relevantes al inicio y mucho menos eficientes después.

Rodillo Liso Vibratorio

En el compactador vibratorio de rodillos lisos, la unidad vibratoria se acopla con un equipo liso convencional. Son remolcados y autopropulsados. Son más eficientes en suelos granulares y pueden combinar los efectos de vibración y presión mencionados anteriormente, incluso en capas mucho más gruesas de lo que el rodillo liso solo podría compactar. Son muy eficientes para compactar hormigón asfáltico (Rico, 2005).

Tabla 9*Compactadores lisos vibratorios Especificaciones comunes*

Diámetro del Rodillo	53 a 122 cm
Ancho del Rodillo	61 a 183 cm
Peso total del Rodillo	0.2 a 13 ton
Velocidad de avance	0.5 a 6 km/h
Frecuencia de Vibración	1,050 a 5,000 rpm
Amplitud de Vibración	Del orden de 1mm

Nota. Tomado de “La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres”, (Rico, 2005, p. 179).

*Entre estos datos tienen especial importancia la velocidad de avance del rodillo, pues influye mucho en la energía de compactación, por ser independiente de la frecuencia (Rico, 2005).

3.2.6.5. Factores del Proceso de compactación en campo.

Por lo tanto, la compactación del suelo es principalmente un problema de campo constructivo. El uso adecuado de un proceso de densificación depende de varios factores. Para analizar la influencia respectiva de cada individuo, se requieren procedimientos estandarizados que reproduzcan los procesos de densificación de campo en el laboratorio (en la medida de lo posible) de manera representativa (Rico, 2005).

Entre todos los factores que influyen en la compactación lograda en un caso determinado, se puede decir que dos son los más importantes: el contenido de agua del suelo antes del inicio del proceso de compactación y la energía específica utilizada en este proceso. La energía específica se refiere a la energía de compactación agregada al suelo por unidad de volumen (Rico, 2005, p. 576).

Los factores que influyen en un proceso de compresión ya se han comentado con relativamente detalle. Por supuesto, todo debe tenerse en cuenta al crear una prueba de laboratorio. Además, dado que hay tantas formas de compactar suelos en el campo, es razonable creer que no será posible realizar una sola prueba con una sola técnica estandarizada que pueda representarlas todas. Por tanto, es lógico pensar que existen ensayos de compactación de diferentes tipos. La energía de compresión también tiene un gran impacto en los resultados del proceso y, hoy en día, los equipos de campo la aplican de diversas formas, por lo que también habría desviaciones al probar este concepto.

Para cualquier experto en la técnica familiarizado con las dificultades que conlleva el proceso de compactación de superficies granulares de pavimentos urbanos, es positivo que los resultados de un proceso de compactación dependan de varios factores, algunos de los cuales se ven afectados por el tipo de suelo. otros involucrados en el método de densificación que se pueden utilizar en campo, y finalmente algunos otros que se relacionan con circunstancias específicas que pudieran existir en el momento. Estos factores a menudo se denominan "variables" que controlan el proceso de compactación. Los principales se muestran a continuación.

3.2.6.5.1. La Naturaleza del Suelo

Es evidente que el tipo de suelo es un factor decisivo a la hora de realizar el proceso de compactación de base granular, cada tipo de suelo considera diferencias en las técnicas empleadas y los resultados obtenidos a lo largo de su tratamiento.

Es importante diferenciar las técnicas de compactación empleadas y los resultados obtenidos precisamente según el tipo de suelo.

El tipo de suelo o base granular siempre presenta diferencias importantes con respecto a los suelos finos, como es el caso de los suelos arcillosos y de fricción. Además, existen estándares estandarizados con requisitos mínimos que deben tenerse en cuenta a la hora de realizar obras viales (Rico, 2005).

La muestra de suelo es evaluada en el laboratorio, donde será sometida a diversas pruebas con el fin de obtener conocimiento del posible comportamiento mecánico que tendrá al inicio del proceso de compactación de la base.

Efecto de la degradación estructural

Un efecto que merece más atención que antes es el deterioro estructural que sufren muchos suelos gruesos debido al proceso de compactación, que se refleja en cambios importantes en su granulometría, por lo que el obtenido en campo no es el mismo que en laboratorio. Aparte de los cambios de resistencia y compresibilidad que esto puede ocasionar (que en la mayoría de casos prácticos pueden no ser de gran importancia excepto posiblemente en los sustratos de pavimentos flexibles), esto puede tener un impacto en los materiales base tratados. con este material o carpetas. Está claro que el efecto se hace más notorio cuando las partículas del material compactado son más friables.

"Eso" describe que un factor a considerar en la "compactación de un suelo" es el tipo de suelo obtenido, con la categoría de suelo en primer lugar y el tipo de partículas predominantes que pueden facilitar o dificultar el proceso. Esto se traduce

literalmente en el área donde es necesario fabricar diferentes tipos de equipos con diferentes métodos de compactación cuando es necesario compactar diferentes tipos de suelos uno a uno. En general, los suelos finos requieren rodillos de cabra para amasar las partículas finas, mientras que los suelos granulares requieren energía vibratoria para obtener mejores resultados.

3.2.6.5.2. El Método de Compactación

En el laboratorio, los métodos de compactación utilizados se pueden dividir fácilmente en tres tipos diferentes: compactación por impacto, amasado y aplicación de cargas estáticas. Los métodos mencionados conducen a resultados diferentes tanto en la estructuración del suelo como en las propiedades del material compactado seleccionado. Dado que están comenzando a utilizar algunos equipos de laboratorio para compactar por vibración, su uso es menos común que el de los otros métodos.

De manera similar, es mucho más difícil diferenciar entre métodos de compresión de campo.

Es habitual describirlos en términos del equipo mecánico utilizado en el proceso, por lo que hablamos de compactación con rodillo liso, rodillo neumático, equipo vibratorio, etc. Los métodos de laboratorio están destinados a reproducir las condiciones del proceso de campo, pero en muchos casos es tarea complicada entre el trabajo de campo y las pruebas de laboratorio para reflejar los resultados en el sentido de que se puede confiar en que estos últimos se reproducirán de manera

suficientemente representativa de todas las condiciones del suelo compactado (Rico, 2005, p. 156).

Se puede decir que la diferencia entre un método de densificación y otro radica en la cantidad de deformaciones angulares que provoca cada uno de ellos. La compactación por amasado es la aplicación de una determinada presión, un determinado número de veces, y simula la estructura obtenida en suelos finos con compactadores. En la compactación estática, se aplica presión a una cierta densidad, se crea una compactación o compresión unidimensional y se crean suelos finos con una estructura con partículas orientadas (Gonzales, 2013).

3.2.6.5.3. La Energía Específica

La energía de compresión específica tiene un efecto sobre la estructura de los suelos, ya que los medios pueden reducir el número de cavidades y provocar deformaciones angulares. Cuanto mayor es la energía de compresión, acompañada también de un aumento del contenido de humedad, mayor es la eliminación de los poros del aire (disminución de volumen) y mayores son las deformaciones angulares. Esto se logra, excepto a valores de contenido de agua superiores a los óptimos. Si al aumentar la energía de compactación para el mismo suelo aumenta el volumen máximo de volumen seco y disminuye la humedad óptima (Crespo, 2004).

Similarmente Juárez Badillo menciona que la energía específica de compactación viene dada por la siguiente fórmula:

$$E_c = \frac{N \cdot n \cdot W \cdot h}{V}$$

Ecuación N°05: Cálculo de la Energía Específica en el Laboratorio.

Donde:

E_c =Energía específica (kg.cm/cm³)

N =Número de golpes por capa.

n = Número de capas de suelo.

W = peso del pisón (kg).

H = Altura de caída libre del pisón (cm)

V = volumen total del suelo compactado (cm³)

Proctor determinó originalmente que los datos que determinan la energía específica en la prueba eran suficientes para reproducir los pesos secos específicos que podrían lograrse económicamente con los dispositivos disponibles comercialmente en ese momento.

Proctor mostró que para un suelo en particular y utilizando el método descrito, existe una humedad inicial que se denomina "óptima" y da el peso seco específico máximo que se puede lograr con el método de compactación (Juarez, y otros, 2005).

En el caso de cargas estáticas, la E_e (energía específica) es difícil de evaluar y está influenciada por el tiempo de aplicación y la deformabilidad del suelo.

En el amasado, evaluar el E_e (energía específica) es más difícil y complejo, pero se puede cuantificar variando el número de

espesores de capa, así como la presión de apisonamiento y el número de usos.

La energía de compresión aplicada afecta la estructura del suelo, ya que puede reducir el volumen y provocar deformaciones. La energía de compresión, acompañada también de un aumento del contenido de humedad, es mayor cuantos menos poros de aire se eliminan (disminución de volumen) y mayores son las deformaciones angulares. Esto se logra, excepto a valores de contenido de agua superiores a los óptimos. Cuando, al aumentar la energía de compactación para un mismo suelo, aumenta el volumen de volumen seco máximo y disminuye la humedad óptima del aire (Crespo, 2007).

3.2.6.5.4. El contenido de Agua del Suelo

Proctor mostró que el contenido de agua del suelo compactado es otra variable fundamental en el proceso. Proctor observó que, a contenidos de agua más altos de los valores mínimos, se obtuvo una gravedad específica seca más alta para el material compactado cuando se utilizó la misma energía de compactación; Pero también observó que esta tendencia no se mantiene indefinidamente, ya que los pesos específicos logrados disminuyen cuando la humedad supera un cierto valor.

En otras palabras, Proctor demostró que para un suelo dado y usando un método de compactación dado, existe un contenido de agua de compactación llamado óptimo que crea el volumen de volumen seco máximo que probablemente se obtendrá con ese método de compactación (Rico, 2005).

En el campo, la humedad óptima depende del tipo y tipo de uso del equipo de compactación y varía. De esta forma, el concepto de humedad óptima, como ya se ha señalado en relación al concepto de peso seco específico máximo (o grado de compactación), carece de significado cuando se coloca fuera de todas las condiciones y circunstancias en las que se compacta. Suelo.

La humedad con la que se va a compactar el suelo y con el equipo utilizado solo se puede determinar con precisión si las pendientes de prueba (secciones de prueba) se crean exactamente después de la secuencia de trabajo del trabajo futuro, lo que significa que se mantienen las mismas propiedades de trabajo durante todo el proceso de compactación es necesario definir el contenido de agua en sí, el grosor del equipo y cualquier otra variación que pueda afectar el resultado esperado.

El contenido óptimo de agua, que corresponde a la prueba de laboratorio que sirvió de base para el proyecto, no corresponde a la humedad de campo óptima, como ya se indicó con ojalá suficiente persistencia, pero puede servir como guía o punto de referencia. Luego para sugerir la zona para empezar a probar la humedad en el campo.

El contenido de agua del suelo w está relacionado con la permeabilidad. Existen tensiones capilares en las arcillas que favorecen la formación de grumos que dificultan la compactación. El resultado en Y_d no es lo mismo de incrementar el agua que esperar a que el suelo la pierda; es decir, compactación por la rama húmeda o por la rama seca, ya

que en el primer caso el suelo necesita tiempo para absorber el agua agregada.

El contenido de humedad es un factor que tiene un impacto directo en la compactación de los suelos, ya que estos ocurren naturalmente parcialmente saturados, saturados o sumergidos.

3.2.6.5.5. El sentido en que se recorra la escala humedades al efectuar la compactación.

Este aspecto concierne principalmente a las pruebas de compactación realizadas en laboratorio, donde es común presentar resultados basados en diagramas Y_d-w (volumen seco vs. humedad). Estas curvas difieren cuando las pruebas se realizan desde un suelo relativamente seco al que se agrega agua, o cuando el punto de partida es un suelo húmedo que se seca a medida que avanza la prueba. Los estudios experimentales muestran que en el primer caso se obtienen pesos específicos secos más altos para el mismo suelo con el mismo contenido de agua que en el segundo; Este efecto parece ser particularmente notable en suelos sintéticos finos con un contenido de agua sub óptimo. La explicación del fenómeno podría ser que, cuando el suelo está seco y se le agrega agua, tiende a quedarse en la periferia de los macizos, con tendencia a penetrarlos solo después de algún tiempo; Por otro lado, si el agua se evapora mientras se seca un suelo húmedo, la humedad superficial de los terrones se vuelve menor que la interna. Entonces, hay diferentes condiciones en los grupos de suelo con el mismo contenido de humedad; En el primer caso, donde se ha añadido agua, la presión capilar entre los grumos es menor debido al exceso de agua que en el segundo caso, donde

los meniscos están más desarrollados por evaporación. Por tanto, en el primer caso, la unión entre los macizos es menor y la misma energía de compactación es más eficiente para compactar el suelo que en el segundo caso.

Por supuesto, la consideración anterior está influenciada por el tiempo que se deja transcurrir entre la instalación del agua y el momento en que se aplica la energía de compresión, porque si el período es largo, el agua se instala uniformemente en los grumos de agua del suelo, con la consiguiente disminución de su humedad superficial y el aumento de la presión capilar. El contenido de sal también influye.

En los laboratorios se acostumbra suponer que el suelo está relativamente seco; El agua se incorpora durante el transcurso de la prueba y, una vez incorporada, puede pasar el tiempo suficiente (24 horas o más) para permitir que el agua se distribuya uniformemente (Rico, 2005, 157).

En los laboratorios se acostumbra suponer que el suelo está relativamente seco; El agua se incorpora durante el transcurso de la prueba y, una vez incorporada, puede pasar el tiempo suficiente (24 horas o más) para permitir que el agua se distribuya uniformemente (Braja, 2001).

Es un hecho empírico que la eficiencia de un proceso de compactación depende del contenido de agua del suelo. Con los métodos clásicos, la compactación es eficiente siempre que el volumen seco sea lo más alto posible. El contenido de agua debe ser casi óptimo para esto (Montejo, 2013).

Con un bajo contenido de humedad, las partículas del suelo no están lubricadas, hay un enclavamiento entre las partículas vecinas, esta es la fricción que evita el movimiento y el reordenamiento. A medida que aumenta el contenido de humedad, se desarrolla una película más grande de agua sobre las partículas, lo que hace que el suelo sea más plástico y facilita que las partículas se muevan y reorganicen. Se pierde el entrelazamiento de las partículas. Cuando la fricción entre las partículas es mayor, la resistencia de la estructura es mayor (Nicholas, y otros, 2005).

La baja gravedad específica obtenida para baja humedad se debe a las fuerzas capilares (succión), que contrarrestan la reorganización de los granos, ya que al aumentar la humedad tienden a incrementar las fuerzas repulsivas entre partículas y con ello disminuir el esfuerzo capilar y reducir la resistencia del suelo contra la deformación y así permite una reubicación (Lambe, 1968).

Cuando el suelo se compacta con un mayor contenido de agua, se generan mayores presiones en el agua, reduciendo así las fuerzas efectivas, por tanto, se reduce la resistencia constante de los contactos entre las partículas y permite que los granos se deslicen fuera de ellas encima del otro sobre otro (Mendoza, 1992).

3.2.6.5.6. El contenido de Agua original del Suelo

La humedad óptima corresponde al contenido de humedad del material con el que se puede alcanzar el peso específico máximo. En general, este nivel de humedad se encuentra entre

un 15 y un 20% por debajo del límite líquido del suelo (Rico, 2005).

Es común en obras Viales medirlas mediante la Prueba en Campo denominada Speedy, la cual arroja mediciones inmediatas y pueden ayudar a la toma de decisiones del profesional encargado.

3.2.6.5.7. La Recompactación

Es una práctica común en muchos laboratorios utilizar la misma muestra de suelo para obtener pruebas de compactación consecutivas. Esto implica la reconsolidación continua del mismo suelo. Esta práctica ha demostrado ser poco práctica, ya que los experimentos han demostrado sin duda que cuando se trabaja con suelos compactados, los pesos volumétricos obtenidos son mayores que con las mismas muestras vírgenes. Circunstancias tales que la prueba ya no sea representativa en el caso de suelos recompactados. Evidentemente, una explicación sencilla de este efecto radica en la deformación volumétrica del tipo plástico, que provoca densificaciones sucesivas (Osorio, 2008) y (Rico, 2005).

Uno de los principales problemas de la reconfiguración es la alta sensibilidad de la planta baja que, debido al exceso de energía específica, crea fisuras en su conformación.

En suelos recompactados, el resultado es diferente al de los suelos vírgenes. Los pesos unitarios son más altos.

Problemas derivados de la sobrecompactación

El supuesto generalizado de que un aumento del peso volumétrico seco de un suelo debido a la compactación va acompañado de una mejora general de sus condiciones se niega drásticamente en algunos casos que ocurren con frecuencia en la práctica, en los que, por el contrario, francamente, condiciones desfavorables debido a la compactación de los suelos por encima de un Límite. No es posible enumerar todos los casos de sobre compactación dañina, pero algunos de los más comunes son los siguientes.

Suelos en los que la sobre compactación provoca un cambio estructural que los hace inadecuados. Quizás el caso más típico sea el de Tezontles (espuma de basalto), utilizado como pendientes ligeras en suelos blandos y comprimibles. La sobre compactación rompe los fragmentos porosos, creando una granulometría mucho más variada y una gran cantidad de finos. Todo esto puede resultar en que el material altamente compactado alcance pesos de volumen incluso más altos que cualquier material de suelo convencional que se utilice, lo que da como resultado una pérdida total de los beneficios de su uso.

El segundo material expansivo es una fuente de problemas muy serios, especialmente cuando las condiciones climáticas en diferentes épocas del año provocan cambios significativos en el contenido de agua. Este también es el caso cuando la construcción se lleva a cabo durante la estación seca y el suelo absorbe humedad en la estación lluviosa subsiguiente. Si estos suelos están excesivamente compactados, se expanden mucho y crean presiones de expansión muy altas cuando se humedecen después de la compactación. Por el contrario, si se compactan

con un contenido de agua adecuado y solo hasta un límite razonable, se puede minimizar la expansión; Para este propósito, el requisito de compactación general no tiene nada que ver con el volumen de volumen seco máximo o la humedad óptima de una prueba de laboratorio utilizada como prueba de control. Ahora se debe determinar la humedad y el peso aparente apropiados para la compactación en un estudio de expansión. El control de la humedad de la compactación durante el proceso es fundamental.

Ahora se debe determinar la humedad adecuada y la densidad aparente adecuada para la compactación en un estudio de expansión. Controlar la compactación de la compactación durante el proceso es fundamental (Rico, 2005, p. 190).

3.2.6.5.8. La Temperatura

La temperatura tiene una influencia importante en los procesos de compactación de campo, principalmente por la evaporación del agua contenida en el suelo o la condensación de la humedad ambiental. Además, puede afectar la consistencia y manejabilidad de los pisos con los que está trabajando (Rico, 2005).

Entre los factores ambientales, tenemos la humedad y la temperatura, que es un factor que incide en la medida de la deflexión, pues a bajas temperaturas provoca que las capas de granulado del pavimento se congelen, lo que da una evidente rigidez en la estructura.

Y como resultado, el equipo detecta deflexiones bajas y módulos altos a lo largo del día; la temperatura de la mañana es baja y aumenta gradualmente hasta alcanzar un máximo y luego desciende drásticamente hasta llegar a la tarde, que es comparable a las de la mañana. También hay que recordar la temporada en la que estamos en invierno, verano.

Con estos factores en mente, el ingeniero a cargo puede percibir que las mediciones en un mismo tramo pueden variar dependiendo del momento de la prueba, por lo que el ingeniero debe realizar las mediciones con criterios que garanticen los mejores resultados de la prueba. estructura; Según las condiciones de bombeo y drenaje, tampoco es comparable hacer una prueba durante la temporada de invierno que en la de verano, ya que se conseguirán resultados diferentes en un mismo tramo y no por ello, que se cometan errores en el manejo del equipo (Quiñonez, 2015).

La temperatura crea evaporación o condensación, lo que afecta la humedad del suelo. Esto obliga a que la compactación comience con una humedad del aire distinta a la óptima.

3.2.6.5.9. Otras Variables

La velocidad de circulación del equipo de compactación es importante, pero su efecto no ha sido suficientemente estudiado; Por otro lado, dentro de la escala de velocidades recomendada por los distintos fabricantes, no parece haber diferencias fundamentales en el funcionamiento de los equipos, aunque, se repite, una falta de investigación al respecto. Se ha dicho que cuando el equipo de compactación se mueve

rápidamente, lo que es económicamente deseable, existe una tendencia a que la superficie superior de la capa se corrugue ligeramente. Suponiendo que exista, este defecto suele tener poca importancia en la construcción de movimiento de tierras y no es difícil tenerlo en cuenta en la compactación de la subrasante.

El equipo puede acondicionar la humedad de trabajo, forzándose a una humedad diferente a la óptima.

Experiencia de los operadores al operar maquinaria.

3.2.6.6. Factores que influyentes en el control de la Energía Especifica.

En el Laboratorio específicamente la Energía especifica depende de los siguientes factores:

Ensayo de Proctor Modificado para Energías Vibratorias y Suelos granulares (Rico, 2005):

N = número de golpes del pisón compactador por cada una de las capas en que se acomoda el suelo en el molde de compactación

n = número de capas que se disponen hasta llenar el molde

W = peso del pisón compactador.

h = altura de caída del pisón al aplicar los impactos al suelo

V = volumen total del molde de compactación igual al volumen total del suelo compactado.

De todos los factores que influyen e influyen en la compactación del suelo, los más importantes son el contenido de humedad y la energía de compactación utilizada en las pruebas. También hay otros diversos factores que se describen a continuación que afectan la forma en que estos afectan la compactación del suelo.

3.2.6.7. Factores analizados en función a la Energía Especifica de compactación En campo en Pavimentos Urbanos.

El proceso de compactación es uno de los diversos medios disponibles en la actualidad para mejorar la condición o la naturaleza de un suelo que se utilizará en las construcciones de pavimentos urbanos, también es uno de los más eficientes y de aplicación universal e inmediata, uno de sus principales factores es la energía de compactación específica que vendrá determinada por los siguientes factores en el campo para mejorar las características mecánicas de un suelo que forma parte de la construcción de pavimentos urbanos.

Según lo estudiado, para controlar el comportamiento de una energía específica en el campo, se deben tener en cuenta los siguientes factores:

3.2.6.7.1. Suelo Granular de Base.

Si el responsable de las obras de pavimentación urbana quiere iniciar un buen trabajo de compactación de bases como primer objetivo, necesita conocer bastante bien los suelos que se van a compactar. Esto se debe lograr a través de la exploración general que se realiza en todo momento, a fin de producir un levantamiento geotécnico del proyecto y para la exploración que se realice en los bancos de donde se extraerán los materiales para tales fines, las muestras deben ser representativas y completas para su fin (40 o 50 kg) para realizar las pruebas de laboratorio necesarias con ellos.

La humedad natural del suelo en el campo es un elemento importante de datos. La información obtenida en la obtención de curvas de compactación también es importante cuando se siguen procedimientos

de laboratorio que tienen como objetivo reproducir mejor las condiciones de campo.

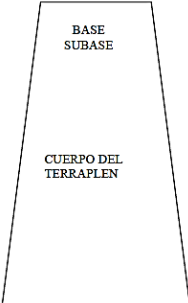
3.2.6.7.2. Elección del Equipo Compactador.

La elección del equipo de compactación es de suma importancia, por supuesto. Antes de elegir, además de las características de los suelos a compactar, se deben considerar cuidadosamente las condiciones estructurales a obtener, de acuerdo con las condiciones del camino del terreno a construir y la ubicación del área a construir, compactando dentro de la sección transversal del mismo, por otro lado, la selección de un equipo compactador es fundamentalmente una cuestión de economía del trabajo. Las consideraciones más importantes que se deben sopesar antes de elegir el equipo adecuado en un caso dado son las siguientes (Rico, 2005, p. 182):

- Tipo de Suelo
 - Variación del Suelo dentro de la obra
 - Tamaño e importancia de la obra que se vaya a ejecutar
 - Especificaciones de compactación fijadas por el proyecto
 - Tiempo disponible para ejecutar el trabajo
- Equipo que ya se posea antes de comenzar los trabajos

Figura 30

indicación sobre elección de equipos de compactación



SÍMBOLO SUCS	MATERIAL	TRAMPER AUTOPROPULSADO	TRAMPER REMOLCADO	PATA DE CABRA, AUTOPROPULSADO	PATA DE CABRA REMOLCADO	LISO VIBRATORIO PEQUEÑO	LISO VIBRATORIO PESADO	PATA DE CABRA VIBRATORIO, PEQUEÑO	PATA DE CABRA VIBRATORIO, PESADO	NEUMÁTICO LIGERO	NEUMÁTICO PESADO
	GRANULAR LIMPIO					1	1			3	2
	GRANULAR CON POCOS FINOS	1	1			1	1	2	2		2
	ROCA	2	2				1		2		
GW, GP, SW	ARENA, GRAVA					1	1	2	2		2
SP	ARENA UNIFORMA					1	1	2	2		3
SM, GM	ARENAS O GRAVAS LIMOSAS	1	1	4	4	3	3	2	2		2
ML, MH	LIMOS	1	1	2	2			3	3		2
GC, SC	ARENAS O GRAVAS ARCILLOSAS	1	1	2	2			3	3		2
CH, CL	ARCILLAS	1	1	2	2					3	3

Nota. Tomado de “La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres”, (Rico, 2005, p. 182).

*La Figura 30 contiene un resumen de los criterios allí enumerados, que resulta de la opinión de profesionales capacitados y se basa en su propia experiencia. Las conclusiones pueden ser compartidas por todos los profesionales.

Los autores del libro Soil Engineering in Land Roads de Rico y Del Castillo, en base a su experiencia, sugieren considerar la tabla anterior de selección de máquinas en función del suelo que se encuentra en sitio como la opción óptima para la operación y ejecución de un proceso de compactación más eficiente.

Tabla 10

Características de utilización de los suelos, agrupados según SUCS

Símbolo	Características De compactabilidad	Peso vo Lumetrico seco máx. típico (proctor estandar ton/m3.	Compresi-Bilidad y Expansión	Permeabili-Dad y características de drenaje	Características como material de terraplén	Características como subrasante	Características como base	Características como Pavimento provisional	
								C/revestimient o ligero	C/tratamiento asfáltico
GW	Buenas. Rodillos lisos vibratorios. Rodillo neumático. Respuesta perceptible al bandeo con tractor.	1.9 a 2.1	Práctica-Mente nula	Permeable Muy buenas	Muy estable	Excelente	Muy buena	Regular a mala	Excelente
GP	Buenas. Rodillos lisos vibratorios. Rodillo neumático perceptible al bandeo con tractor	1.8 a 2.0	Práctica-Mente nula	Permeable Muy buenas	Estable	Buena a excelente	Regular	Pobre	Regular
GM	Buenas. Rodillos neumáticos o pata de cabra ligeros	1.9 a 2.2	Ligera	Semipermeable Drenaje pobre	Estable	Buena a excelente	Regular a mala	Pobre	Regular a pobre
GC	Buenas o regulares rodillos neumáticos o pata de cabra	1.8 a 2.1	Ligera	Impermeable Mal drenaje	Estable	Buena	Regular a buena	Excelente	Excelente
SW	Buenas rodillos neumáticos o vibratorios	1.7 a 2.0	Práctica-Mente nula	Permeable Buen drenaje	Muy estable	Buena	Regular a mala	Regular a mala	Buena
SP	Buenas rodillos neumáticos o vibratorios	1.6 a 1.9	Práctica-Mente nula	Impermeable buen drenaje	Razonablemente Estable en estado compacto	Regular a buena	Mala	Mala	Regular a mala
SM	Buenas rodillos neumáticos o pata de cabra	1.7 a 2.0	Ligera	Impermeable Mal drenaje	Razonablemente En estado compacto	Regular a buena	Mala	Mala	Regular a mala
SC	Buenas o regulares rodillos neumáticos o	1.6 a 2.0	Ligera a media	Impermeable Mal drenaje	Razonablemente estable	Regular a buena	Regular a mala	Excelente	Excelente

Símbolo	Características De compactabilidad	Peso vo Lumétrico seco máx. típico (proctor estandar ton/m3.	Compresi-Bilidad y Expansión	Permeabili-Dad y características de drenaje	Características como material de terraplén	Características como subrasante	Características como base	Características como Pavimento provisional	
								C/revestimient o ligero	C/tratamiento asfáltico
ML	Buenas a malas. Rodillos neumáticos o pata de cabra	1.5 a 1.9	Ligera a media	impermeable mal drenaje	Mala estabilidad Si no esta muy compacto	Regular a mala	No debe usarse	Mala	Mala
CL	Regulares a buenas. Rodillos pata de cabra o neumáticos	1.5 a 1.9	Media	impermeable no drena	Buena	Regular a mala	No debe usarse	Mala	Mala
OL	Regulares a malas. Rodillos pata de cabra o neumáticos	1.3 a 1.6	Media a alta	impermeable mal drenaje	Inestable debe Evitarse su uso	Mala	No debe usarse	No debe usarse	No debe usarse
MH	Regulares a malas. Rodillos pata de cabra o neumáticos	1.1 a 1.6	Alta	Impermeable Mal drenaje	Inestable debe de Evitarse su uso	Mala	No debe usarse	Muy mala	Muy mala
CH	Regulares a malas. Rodillos pata de cabra	1.3 a 1.7	Muy alta	impermeable no drena	Regular Vigílese la expansión	Mala o muy mala	No debe usarse	Muy mala	No debe usarse
OH	Regulares a malas. Rodillos pata de cabra	1.0 a 1.6	Alta	Impermeable No drena	Inestable Debe evitarse Su uso	Muy mala	No debe usarse	No debe usarse	No debe usarse
Pt	No debe usarse		Mal alta	Regular o mal drenaje	No debe usarse	No debe usarse	No debe usarse	No debe usarse	No debe usarse

Nota. Tomado de “La Ingeniería de Suelos en las Vías Terrestres”, (Rico, 2005, p. 183-184).

*Se brinda las características de uso del suelo, agrupadas según SUCS. Como sabemos, la tabla presentada puede resultar muy práctica, pero eso no quiere decir que sea el único criterio a retener. El ingeniero residente debe realizar las pruebas de campo necesarias para determinar exactamente las características del suelo a compactar y anticipar los problemas que surgirán posteriormente en un proceso de compactación óptimo.

El proceso de compactación ocupa el primer lugar en los procesos de construcción con impacto económico que pueden resultar de una mano de obra deficiente. Una ligera disminución de los niveles de compactación puede provocar una reducción drástica de la vida útil de las bases granulares.

Los suelos granulares se pueden compactar de la mejor y más económica forma posible mediante vibraciones (compactación dinámica).

Las vibraciones reducen la fricción entre las partículas individuales del suelo y, al mismo tiempo, permiten que se redistribuyan las mismas partículas. Gracias a la vibración, es posible reducir el volumen de poros y mover las inclusiones de agua y aire hacia la superficie, con lo que se consigue una mayor compacidad (densidad seca) del material del suelo en paralelo. Dado que las vibraciones aumentan el efecto de compactación en profundidad, se pueden especificar capas más profundas, lo que contribuye a una compactación más efectiva y económica.

En general, y gracias a su intenso efecto de compactación, las placas vibratorias se utilizan para conseguir resultados óptimos a la hora de compactar suelos no cohesivos.

Además, deben tenerse en cuenta los excelentes resultados de compactación, el alto rendimiento (producción), el alto nivel de fiabilidad y los costes relativamente bajos resultantes de esta clase de equipos. “Los rodillos vibratorios se utilizan generalmente para compactar grandes superficies con suelos granulosos” (Ruiz, 2002, p. 91).

Tabla 11*Campos de Aplicaciones para Equipos Mecánicos de Compactación*

Zona y tipos de equipos para la compactación			Tipos de suelos								
			I			II			III		
			Suelos granulares (no cohesivos)			Suelos mixtos			Suelos arcillosos		
Peso de servicio (kg)	Aptitud	Capa (cm)	Nº de pasadas	Aptitud	Capa (cm)	Nº de pasadas	Aptitud	Capa (cm)	Nº de pasadas		
1.- Equipos livianos de compactación											
Vibro apisonadores	Liviano	Hasta 25	+	Hasta 15	2-4	+	Hasta 15	2-4	+	Hasta 10	2-4
	Mediano	25-60	+	20-40	2-4	+	15-30	3-4	+	10-30	2-4
		Hasta									
Planchas vibratoras	Liviano	100	+	Hasta 20	3-5	●	Hasta 15	4-6	-	-	-
	Mediano	100-300	+	20-30	3-5	●	15-25	4-6	-	-	-
		Hasta									
Rodillos vibrantes	Liviano	600	+	20-30	4-6	●	15-25	5-6	-	-	-
2.- Equipos semipesados y pesados de compactación											
Vibro apisonadores	Mediano	25-60	+	20-40	2-4	+	15-30	2-4	+	10-30	2-4
	Pesado	60-200	+	40-50	2-4	+	20-40	2-4	+	20-30	2-4
	Mediano	300-750	+	30-50	3-5	●	20-40	3-5	-	-	-

Planchas		más de									
vibradoras	Pesado	750	+	40-70	3-5	●	30-50	3-5	-	-	-
Rodillos		600-									
vibratorios		8000	+	20-50	4-6	+	20-40	5-6	-	-	-

Nota. Tomado de (Ruiz, 2002).

*Satisfactorio + apropiado - no apto

* Las alturas de las capas incluidas en esta tabla son empíricas y además variables según la distribución granulométrica y el grado de humedad del suelo a compactar.

3.2.6.7.3. Humedad de Compactación en Función al Número de Pasadas del Equipo Compactador.

En los diagramas de densidad-humedad realizados en laboratorio, la energía de compactación se definió por el número de golpes de un martillo estándar sobre la muestra de suelo contenida en un molde, también con dimensiones normalizadas.

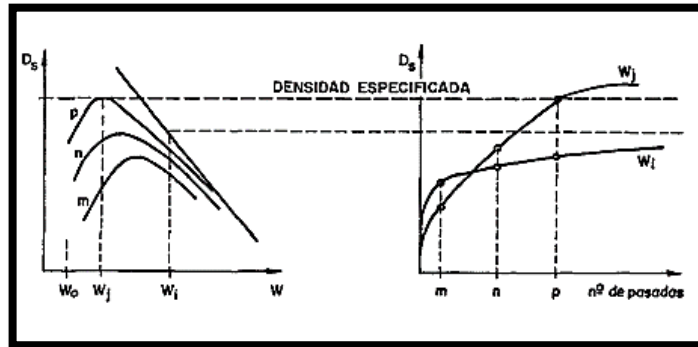
Pasando ahora a la compactación in situ, la energía aplicada a la capa de suelo tiene una definición mucho más complicada y es específica de cada tipo de máquina utilizada, estática o vibrante, con rodillo liso o con pies., etc. Sin embargo, para estudiar el papel del contenido de humedad en la compactación, es útil graficar la energía aplicada por una máquina en particular por el número de pasadas que hace sobre la capa de suelo.

La Figura 30 muestra las curvas de compactación de la izquierda, que corresponden a tres valores crecientes de las pasadas de compactación, junto con la curva de saturación del suelo.

Para una determinada humedad de la capa de suelo W_j vemos a la derecha una curva de densidad n° de los pasajes derivados de lo anterior, que se aproxima asintóticamente a la densidad límite marcada por la curva de saturación del suelo. Si la especificación es superior a este límite, como en la figura, no hay otra solución que reducir la humedad de la capa a un determinado W_j (Abecasis, y otros, 1987).

Figura 31

Relación de curvas de Densidades Especificas VS. Numero de pasadas de Compactador



Nota. Tomado de “Sistemización de los Medios de Compactación y su Control”, (Abecasis, y otros, 1987, p. 192).

Si la humedad inicial del suelo es como W_0 en la figura, entonces, teóricamente, la densidad especificada podría lograrse con un número muy alto de pasadas. Sin embargo, es posible que lo rompamos antes por falta de "lubricación" en el suelo. Nuevamente, la única solución es corregir la humedad y ahora aumentarla a un valor cercano a W_j .

La corrección de la humedad del suelo es a menudo un proceso delicado y costoso. Si se requiere la adición de agua, es necesario lo siguiente: a) Determinación de la cantidad a agregar en litros por metro cuadrado mediante pruebas adecuadas para medir la humedad natural del aire, b) Distribución de esta cantidad uniformemente sobre toda la superficie de la capa, la cual está regulada por el Evite la formación de charcos. C) Deje que transcurra el tiempo necesario para que el agua penetre en todo el espesor de la capa de esparcimiento, especialmente cuanto más cohesivo sea el suelo.

Si por el contrario existe la necesidad de reducir la humedad, entonces se recurre a escarificar, arar el suelo con rastra de discos o similar, e

incluso sucesivas rotaciones de capa con motoniveladora, para facilitar la evaporación. Tal proceso puede llevar varios días, lo que, si existe riesgo de lluvia, significa que la superficie se cierra al final del día con algunas pasadas del rodillo, de modo que queda una inclinación suficiente de al menos un 4% (Abecasis, y otros, 1987).

El contenido de agua de un suelo es de suma importancia y factor decisivo para su compactación. El agua tiende a extenderse en forma de una película muy fina entre las partículas. En otras palabras, el agua actúa como lubricante y facilita la distribución previa de partículas individuales durante la compactación. El contenido natural de agua de los suelos es muy diferente y muy diferente según el tipo de suelo a considerar. El contenido de agua natural de una muestra de suelo se expresa como la relación (en%) entre la masa de agua natural presente en el suelo y la masa de suelo seco (Ruiz, 2002, p. 14).

3.2.6.7.4. Determinación del Contenido de agua en base a la curva de Proctor.

La curva Proctor no solo es adecuada para determinar la densidad Proctor de un cierto tipo de suelo. Si las condiciones especiales del contrato requieren, por ejemplo, una densidad en seco del 95% de Proctor, es fácil de determinar mediante la curva de Proctor dentro de los límites de los cuales se puede cambiar el contenido de humedad (en%).

En áreas extremadamente secas o tropicales, esta información puede ser importante, ya que es posible definir si: El contenido de agua natural o la humedad natural del suelo es suficiente, o si es necesario agregar agua; es decir, aumentar el contenido de humedad del suelo para lograr la compactación requerida. Por otro lado, y en diferentes

condiciones, la curva de relación entre densidad y contenido de agua, nos informa si es necesario secar el material, por ejemplo, mediante trabajos de arado, debido a su contenido de agua excesivo (Ruiz, 2002, p. 19).

3.2.6.7.5. Ensayo de Carburo de Calcio

La prueba de carburo de calcio, también conocida como prueba Speedy, se utiliza principalmente para calcular el contenido de humedad básica en el campo.

Este modo de funcionamiento está basado en las normas ASTM D 4944 y AASHTO T 217, las cuales han sido adaptadas al grado de implementación y las condiciones de nuestra realidad. Cabe señalar que este modo de funcionamiento está sujeto a revisión y actualización constantes. Este modo de funcionamiento no contiene ningún requisito de seguridad. Es responsabilidad del usuario establecer las cláusulas de seguridad y salud adecuadas y también establecer las obligaciones para su uso e interpretación.

Cálculos

Se utiliza para determinar la humedad del suelo utilizando un medidor de presión de gas de carburo de calcio.

Este método no debe utilizarse en materiales granulares que tengan partículas tan grandes que afecten la precisión de la prueba; En general, cualquier cantidad apreciable retenida en la pantalla de 4,75 mm (N° 4) es perjudicial.

Aparatos

- Probador o cápsula de carburo de calcio de gas a presión.
- Balanza, con capacidad de 2 kg y sensibilidad de 0.1 g.

- Dos esferas de acero de 31.75 mm (1 1/4"), de diámetro.
- Cepillo y trapo para limpieza.
- Cuchara para medir el reactivo de carburo de calcio.

Materiales

Reactivo de carburo de calcio. El carburo de calcio debe estar finamente pulverizado y de una calidad que pueda producir acetileno gaseoso con al menos 0,14 m³ / kg de carburo.

La vida útil de este reactivo es limitada, por lo que debe usarse según lo recomendado por el fabricante.

Procedimiento

Depende del tipo de probador, la marca y las instrucciones del fabricante.

Se debe tener mucho cuidado para evitar que el carburo de calcio entre en contacto directo con el agua.

Pese una muestra del peso exacto especificado por el fabricante del instrumento en la balanza proporcionada y coloque la muestra en la tapa del probador. Cuando utilice el probador de 26 g, coloque dos bolas de acero de 3 1,75 mm (1 1/4 ") de diámetro en el cuerpo del probador con carburo de calcio. Si la humedad de la muestra excede límite del manómetro (12% de humedad para el probador de agregados o 20% para el probador de suelos), se debe usar una muestra de la mitad del tamaño y la lectura del cuadrante se debe multiplicar por 2. Este método proporcional no es directamente aplicable al porcentaje de contrapeso, en el probador súper 200 D.

Con el recipiente a presión en una posición aproximadamente horizontal, inserte la tapa en el recipiente a presión y selle la unidad, apretando el collar, asegurándose de que el carburo no entre en contacto con el suelo hasta que no se obtuvo un sellado completo.

Levante el probador a una posición vertical para que la tierra en la tapa caiga en el recipiente de presión.

Agite el dispositivo vigorosamente para que se rompan los grumos hasta que el carburo de calcio pueda reaccionar con toda la humedad libre disponible. Cuando se utilizan bolas de acero en el probador y cuando se usa el probador de mayor tamaño para los agregados, el instrumento debe agitarse con un movimiento giratorio para que las bolas de acero o los agregados no se dañen. instrumento, o enrolle las partículas de suelo en el agujero que conduce al diafragma de presión. Se debe continuar la agitación durante al menos 1 minuto con suelos granulares y hasta 3 minutos con el resto de suelos, para que se obtenga la reacción completa entre el carburo de calcio y la humedad libre. Se debe dejar tiempo para permitir que se disipe el calor generado por la reacción química.

Cuando la aguja deja de moverse, lea el dial que sostiene el instrumento en posición horizontal al nivel de los ojos.

Analice el peso de la muestra y la lectura del dial.

Con la cubierta del instrumento de espaldas al operador (para evitar la aspiración de vapores), libere lentamente la presión del gas. Vacíe el recipiente a presión y examine el material en busca de grumos. Si la muestra no se pulveriza completamente, la prueba debe repetirse con una nueva muestra. Limpie a fondo la tapa de carburo y la suciedad antes de realizar otra prueba.

La lectura del cuadrante es el porcentaje de humedad en relación con el peso húmedo y debe convertirse en peso seco. Con el probador Súper 200 D, la lectura del cuadrante es el porcentaje de humedad en relación con el peso seco y no se necesitan más cálculos.

3.2.6.7.6. Rendimiento de los Rodillos de Compactación.

Incluso con rodillos y apisonadores, la base para evaluar el rendimiento de la compactación no debería ser un criterio obvio, como en el caso de las placas vibratorias. Las variables o parámetros reales que inciden en el rendimiento de la compactación son el número de pasadas, el ancho de trabajo o compactación, la velocidad de marcha y el espesor de la capa de material. El ancho de trabajo es un valor conocido desde el principio, mientras que la velocidad de funcionamiento, el número de pasadas y el espesor de la capa dependen en gran medida del efecto de compactación del equipo y de la capacidad del material a compactar. Todos estos parámetros deben ser estimados previamente para poder realizar los estudios adecuados (la tabla 6 es de gran ayuda en esta materia).

La formulación que se utilizará para calcular el rendimiento de compactación de un rodillo y un pisón es la misma que se utiliza para las placas vibratorias. También en este caso, las empresas aseguran que los dispositivos con el mayor rendimiento de compactación son también los dispositivos más eficientes y económicos y, por lo tanto, deben preferirse en consecuencia (Ruiz, 2002).

3.2.6.7.7. Criterio del Ingeniero Responsable.

El ingeniero residente o el encargado de la obra, debe ejercitar su criterio y máxima experiencia, y la única regla general que se puede dar es que esté dispuesto en cualquier momento a cambiar las normas implantadas y que en todo momento está atento a todo el grupo de variables que pueden afectar el resultado que espera obtener. El laboratorio instalado en el campo debe utilizarse de manera intensiva para verificar continuamente las condiciones finales y como indicador de experiencia y estándar de criterios para implementar cambios para la adecuación del proceso de compactación.

El mayor problema del profesional, observado para las actuaciones en mecánica de suelos, es el desconocimiento del comportamiento del suelo frente a las obras de ingeniería civil. En situaciones de resistencia adversa del suelo, acaban confirmando su decisión (Gutierrez, 2016).

Muchos tienen el conocimiento y se convierten en teóricos, después de graduarse de la universidad y continuar sus estudios de doctorado continuamente. Por otro lado, están los que se graduaron y se fueron a trabajar en obras de construcción, quizás en la provincia con falta de tiempo para completar estudios avanzados y otros. Pero por separado, no hay mucho que se pueda avanzar; Ambas habilidades logran un equilibrio que se integra a través del ingenio y el sentido común (Gutierrez, 2016).

3.2.6.8. Medición de la Energía Específica en el Proceso de Compactación

El control de compactación in situ, como parte del control de calidad de los proyectos en general, consiste en lograr un nivel de compactación dentro de un rango de humedad especificado con el fin de asegurar las propiedades mecánicas con las que se compacta de la forma más económica (Pariona, 2014).

Dado que la energía de compactación a utilizar se define por el tipo de propiedades mecánicas a mejorar, el grado de compactación se determina de acuerdo con la importancia económica de la compactación y en relación con el patrón de compactación que se utilizará en el laboratorio. Por ejemplo, se establece en las autopistas para lograr $G_c = 95\%$ de la energía Proctor modificada.

Aunque en muchos proyectos se lo denomina simplemente un control de compactación que logra el nivel de compactación deseado sin determinar en qué rango de humedad se mantendrá, se demuestra que es un error fatal económica y técnicamente.

Por ello, se utiliza un parámetro para el control de la compactación en campo, que relaciona el peso específico de sequedad específico alcanzado en la presa con el peso específico de sequedad específico máximo obtenido en el laboratorio con el Proctor correspondiente de serie (Sánchez, 1996).

El método Proctor se usa ampliamente en Estados Unidos porque es más fácil de realizar y más económico en comparación con otros métodos, también porque se basa en la energía de compactación medible que se aplica a la masa del suelo. Se utiliza para determinar el porcentaje de humedad óptimo y la densidad seca máxima. La prueba estándar de Proctor y la prueba modificada se realizan mediante un procedimiento similar. La diferencia está en las dimensiones de los moldes y en la energía de compresión, la energía modificada de 4,4 veces el estándar (Pariona, 2014).

El problema de la compactación del suelo se ha vinculado al control de calidad del trabajo de campo desde el principio; De hecho, después de que se ha realizado un proceso de compresión, siempre se debe verificar si se han logrado los objetivos propuestos (Rico, 2005, p. 54).

3.2.6.8.1. Proceso de compactación y las Pruebas de Laboratorio.

En un proyecto dado, los requisitos de compactación generalmente se determinan estableciendo un volumen específico que debe lograrse

con el equipo utilizado. El valor de este peso, a su vez, suele provenir de un estudio de laboratorio en el que se realizan pruebas de compactación del suelo a labrar. De todas las pruebas disponibles, se selecciona la que mejor representa el proceso de compactación de campo y garantiza un grado de compactación suficiente para asegurar el comportamiento deseado del material en el campo. Por cierto, cabe señalar que los ingenieros responsables de la construcción a menudo olvidan el aspecto de representatividad de la prueba de laboratorio que están utilizando y es suficiente confiar en una prueba suficientemente enérgica para asegurarse de que se determina un nivel de compresión suficientemente alto. para obtener un material con buen desempeño en campo independientemente de que las propiedades finales de ese material sean raras o casi nunca estudiadas. Este es quizás el error más común o la deficiencia más grave relacionada con el uso práctico de las técnicas de compactación. Hay casos que se han abordado en pruebas de laboratorio. La prueba no es representativa del modo de compactación utilizado en campo, por lo que incluso si los suelos compactados en el laboratorio con este método tuvieran las propiedades adecuadas (y pocos expertos investigan a fondo cuáles son las propiedades de interés real para los suelos que se compactan y comprobar la resistencia, por ejemplo, el equipo de campo podría haber recibido un suelo con diferentes propiedades y posiblemente no muy adecuado para el mismo peso dimensional.

Como ya se mencionó en un proyecto específico, los requisitos de compactación se suelen establecer estableciendo un determinado peso volumétrico seco que se debe alcanzar con el equipo utilizado. A su vez, el valor de este peso suele provenir de un estudio de laboratorio en el que se realizan pruebas de compactación del suelo a manipular; De todas las pruebas disponibles, se elige la que mejor representa el proceso de compactación en campo y que garantiza un nivel de

compactación suficiente para asegurar el comportamiento deseado del material en campo. Cabe señalar, por cierto, que los ingenieros a menudo olvidan el aspecto de representatividad de la prueba de laboratorio que están utilizando y simplemente confían en una prueba lo suficientemente enérgica como para asegurarse de que los niveles de compactación se establezcan lo suficientemente altos como para lograr un nuevo resultado. Campo un material con buen comportamiento, independientemente de si las características finales del material son raras o casi nunca estudiadas (Rico, 2005).

Debe tenerse en cuenta que la afirmación anterior no es 100% creíble más adelante en estudios más recientes. Por tanto, se puede afirmar que el aumento de peso volumétrico es simplemente un medio, no un fin en sí mismo. Donde la mejora de las propiedades básicas está directamente relacionada con el comportamiento del peso específico seco. El uso de la correlación simple mencionada anteriormente da excelentes resultados. Sin embargo, en algunos casos la correlación se vuelve muy errática o incluso invertida, mientras que en otros casos algunas otras variables juegan un papel fundamental.

3.2.6.8.2. Control de compactación en campo.

El control no es más que la verificación del cumplimiento de los diseños de laboratorio establecidos, en este estudio se consideran los siguientes elementos:

El método del cono de arena es el recomendado por muchos ingenieros porque da la certeza de obtener resultados muy secos en comparación con la realidad. El mapa de resistencia requiere el peso específico del campo y se puede obtener con el cono de arena (Pariona, 2014, p. 109).

El control y verificación de la compactación del material del suelo obtenido en la obra es de suma importancia. Las pruebas, que generalmente son realizadas solo por personal capacitado y cuyos resultados son analizados por técnicos e ingenieros, son cruciales para la evaluación del trabajo de compactación (Ruiz, 2002).

Es importante señalar que se deben realizar una o más pasadas con el equipo de compactación si el valor del grado de compactación obtenido en el sitio es menor que el valor especificado según las especificaciones del sitio. Si, por el contrario, el valor obtenido es mayor al especificado, entonces se debe considerar la posibilidad de reducir el número de pasadas con el equipo de compactación (Ruiz, 2002).

3.2.6.8.3. Tramos de Prueba.

La humedad con la que se debe compactar el suelo en cada caso individual y con el equipo a utilizar solo se puede determinar con exactitud si se realizan diques de prueba, donde el suelo en una escala de 1: 1 se compacta, en cualquier caso. alternativas necesarias, después de trenes de trabajo precisos para el trabajo futuro, para definir el contenido real de agua, el espesor de las capas comprimidas, el número de pasadas del equipo y todas las demás variantes que puedan afectar el resultado que se espera (Rico, 2005).

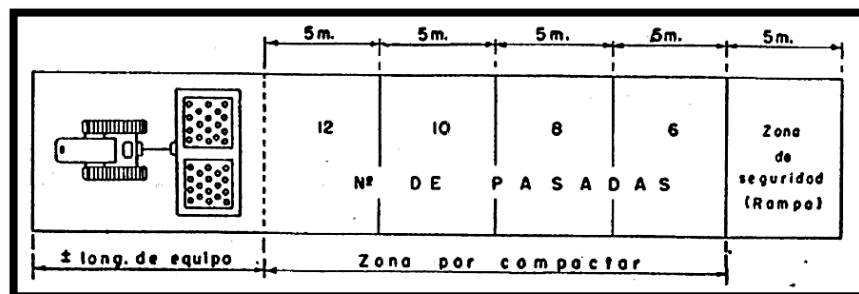
En realidad, la continuación práctica suele ser la siguiente: cuando se va a realizar un trabajo en el que se va a compactar el suelo, se recogen muestras de los suelos a utilizar; En el laboratorio, estos suelos están expuestos a diferentes condiciones de compactación hasta que se encuentran aquellas que garantizan un proyecto seguro y se pueden

lograr económicamente con los dispositivos de campo existentes. El equipo de campo a utilizar reproducirá las condiciones de laboratorio asumidas para el proyecto (esto generalmente se hace mediante la construcción y compactación de una presa de prueba con el suelo a utilizar en el campo, indicando la frecuencia de paso del equipo, el espesor de las capas de suelo a agregar condensar para condensar, etc.). Tan pronto como haya comenzado la construcción y se haya verificado la compactación lograda en el sitio utilizando muestras aleatorias del material compactado en el sitio, se puede verificar si se han cumplido los requisitos del proyecto (Juarez, y otros, 2005).

Se recomienda la compactación de prueba para trabajos de cierta importancia. Permite determinar el número de pasadas y la humedad más adecuada a las exigencias del trabajo y la economía de la empresa.

Figura 32

Elección y cálculo de número de pasadas para compactar un suelo de manera efectiva



Nota. Tomado de “Ilustración elección y cálculo de número de pasadas para compactar un suelo de manera efectiva”, (Satuarde, 2007, p. 23).

3.2.6.8.4. Medición de la Energía Específica.

La medición de la energía de compresión específica se puede manifestar en dos pasos, el primero determinando los intervalos

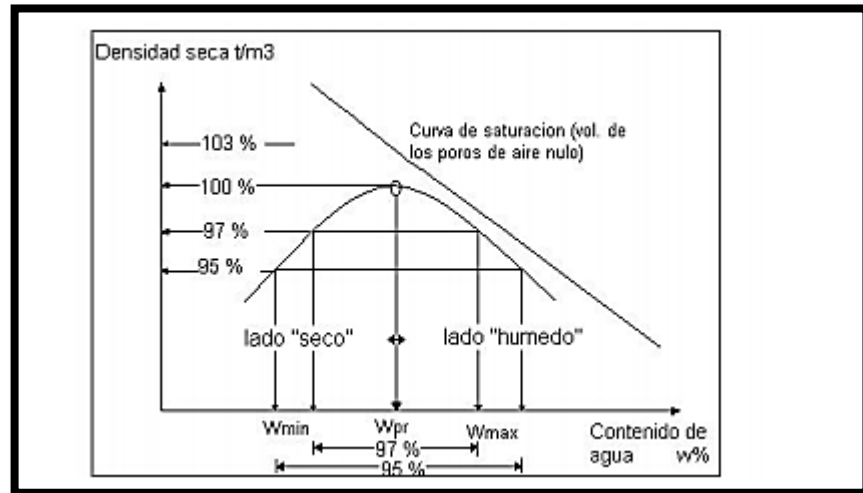
estándar en el laboratorio y el segundo datos obtenidos en el proceso de compresión de campo. Estos datos obtenidos en las diferentes etapas serán contrastados y nos darán cierta compresión de obras.

Dependiendo de la energía de compactación a utilizar, teniendo en cuenta el tipo de proceso de compactación del suelo se realizará mediante métodos establecidos por las normas, se considerará el tipo de material a ensayar ya que cada muestra de suelo dependiendo de su composición, necesitará más energía dependiendo por su resistencia mecánica, como es el caso de suelos que no contienen material granular, estos cumplirán con lo dispuesto en las normas ASTM, siempre en lo que respecta a la granulometría del material a utilizar en función de las propiedades del suelo como suelos granulares o suelos finos.

A partir de ese momento, el método Proctor fue ampliamente aceptado en el mundo de la construcción, denominado método "Proctor Standard Test". Debido a la creciente tendencia hacia estructuras aún más pesadas y requisitos cada vez más estrictos para las especificaciones de compresión, el "método Proctor modificado" se desarrolló a lo largo de los años. En general, hoy en día este último método se incluye en la mayoría de licitaciones internacionales, ya que forma parte de las condiciones especiales del contrato. Indican valores de compactación del suelo que generalmente pueden variar entre el 95% y el 103% de la densidad de Proctor (Ruiz, 2002).

Figura 33

Curva Proctor o Curva de Relaciones entre humedad y densidad.



Nota. Tomado de “Rendimiento y costos en la maquinaria de compactación”, (Ruiz, 2002).

Y antes de que se puedan realizar las comprobaciones de compactación, se debe determinar un valor comparativo en condiciones de prueba en un laboratorio de suelos. Hacer lo siguiente: en el laboratorio de tierra, las pruebas del material a probar se colocan en forma de cojinetes dentro de un cilindro comprimido mediante un pisón estandarizado, que puede caer y afectar el material una cierta cantidad de veces desde una altura perfectamente especificada (Ruiz, 2002).

En laboratorio

En mecánica de suelos, la prueba de compactación Proctor es uno de los procedimientos de estudio y control de calidad más importantes para la compactación de suelos. Esto permite determinar la densidad seca máxima de un suelo en relación con su grado de humedad a una determinada energía de compactación.

Hay dos tipos de ensayos Proctor estándar. el "Ensayo estándar de Proctor" y el "Ensayo Proctor modificado". La diferencia entre los dos radica en la energía utilizada, que se modifica según el caso variando el número de golpes, el punzón (cambia de tamaño y peso), la forma y el número de capas. La razón por la que hay dos intentos diferentes no es otro que modernizar uno en relación con el otro. El origen de la prueba Proctor modificada se remonta a la Segunda Guerra Mundial cuando los estadounidenses y británicos tuvieron que realizar pruebas sobre la calidad de las aceras de las obras aeroportuarias que debían adaptarse a los aviones de la época con una carga muy superior a la de los vehículos terrestres. Por este motivo, se ha actualizado la prueba de Proctor, que requiere una mayor cantidad de energía, con la llamada prueba de Proctor estándar que se lleva a la original y la prueba de Proctor modificada se actualiza.

Ambas pruebas se deben al ingeniero que les da el nombre Ralph R, Proctor (1933) y determina la densidad máxima que es posible para los suelos, en determinadas condiciones de humedad y energía.

La prueba consiste en compactar una porción de suelo en un cilindro de volumen conocido, variando la humedad para obtener la curva que relaciona la humedad y la densidad seca máxima con una energía de compactación determinada. El punto máximo de esta curva corresponde a la máxima densidad seca en ordenadas y la humedad óptima en abscisas.

La energía de compactación es como la ecuación siguiente:

$$Y = \frac{n \cdot N \cdot P \cdot H}{V}$$

Ecuación N°06: Ecuación de la energía de Compactación.

Donde:

Y: Energía a aplicar en la muestra de suelo;

n: Número de capas a ser compactadas en el cilindro de moldeado

N: Número de golpes aplicados por capa

P: Peso del pisón.

H: altura de caída del pisón; y

V: volumen del Cilindro.

El grado de compactación de un suelo se expresa como un porcentaje relativo a la prueba de Proctor; es decir, una compactación del 85% de Proctor Standard significa que se alcanza el 85% de la densidad máxima de Proctor Standard. El porcentaje puede ser superior al 100%, por ejemplo, en los casos en que la energía de compactación en campo sea superior a la del Proctor Standard.

Las principales normas que definen estas pruebas son las normas estadounidenses ASTM D-698 (ASTM es la Sociedad Estadounidense de Pruebas de Materiales) para la prueba Proctor estándar y ASTM D-1557 para la prueba Proctor modificada.

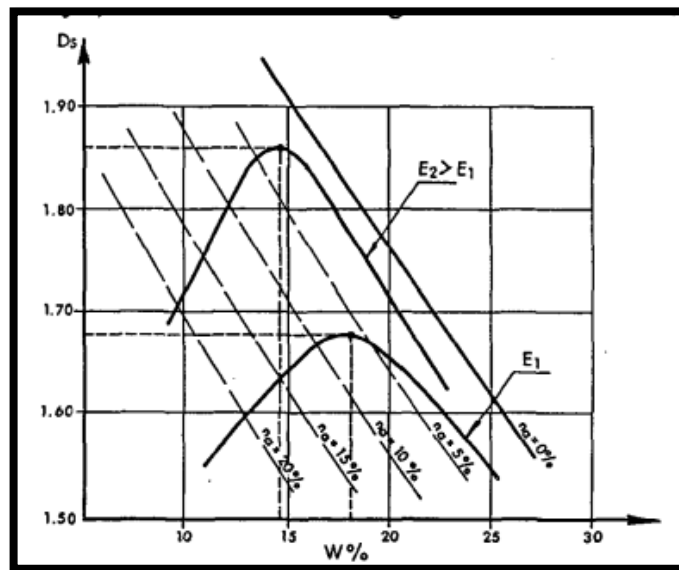
Al mismo tiempo, Proctor descubre que el agua en un suelo es de suma importancia para la compactación ya que el suelo comienza a vibrar, debido a la acción del equipo de compactación, las partículas más pequeñas comienzan a migrar bajo el trabajo introducido con alta frecuencia en el suelo - hacia espacios vacíos llenos de aire o agua. Durante este proceso, el agua del material del suelo actúa, por así decirlo, en forma de medio resbaladizo o lubricante (Ruiz, 2002, p. 15).

3.2.6.8.5. Variación de la energía de compactación en laboratorio.

Si se repite el experimento de compactación expuesto anteriormente con otra muestra del mismo suelo, pero aplicando mayor energía, por ejemplo, aumentando el número de golpes por capa o el peso de la masa, y se compara la nueva curva de variación de D_s . Con la que se obtuvo durante la primera prueba, se deducen las siguientes diferencias (Abecasis, y otros, 1987).

Figura 34

Comparación de la variación de la Densidad Máxima Seca en función al aumento de energía de compactación



Nota. Tomado de “Sistemización de los Medios de Compactación y su Control”, (Abecasis, y otros, 1987).

*En la rama en crecimiento, las densidades son particularmente mayores en la segunda curva, que generalmente aumenta el margen entre las dos a medida que aumenta la humedad.

La densidad máxima se produce para una humedad inferior a la correspondiente al máximo de la primera curva. Ambos máximos son significativos, en la misma línea con los espacios de aire, generalmente

alrededor de $w = 5\%$. Esto significa que la compactación en cualquier caso puede hacer que el suelo se acerque a su saturación, la energía requerida para esto es cuanto mayor es la humedad.

Las ramas decrecientes de ambas curvas se acercan gradualmente hasta confundirse con humedades suficientemente altas. Esto se explica por el hecho mencionado anteriormente de que en ambos casos se ha alcanzado un contenido mínimo de aire que no se puede expulsar. El aumento de energía es absorbido por el exceso de agua añadida y provoca el desplazamiento de las partículas del suelo (Abecasis, y otros, 1987).

3.2.6.8.6. Medición de la Energía Especifica de Compactación en Campo.

Una vez establecidos los datos estándar de laboratorio, para el cálculo de las medidas energéticas específicas en campo se deben realizar ensayos de densidad de campo, que proporcionarán datos que serán comparados con los obtenidos en el laboratorio para determinar la medida de dicha energía de compactación.

La compactación en el campo, como la compactación en el laboratorio, es función de la humedad, la densidad seca y la energía de compactación.

La energía de compactación en el campo depende de:

- Tipo, peso y número de pases del equipo de compactación
- Tipo de Suelo
- Espesor de capa

Sin embargo, esta energía de compresión de campo no se puede cuantificar con energía dinámica de tipo Proctor como en el laboratorio, entre otras cosas porque la energía aplicada en campo es de tipo estático, por vibración y amasado o una combinación de las mismas en la mayoría de los casos (Georges, 2004).

3.2.6.8.7. Densidad de Campo

Es la medida de la relación de peso por cada unidad de volumen en situación de naturalidad y la densidad seca es el peso de material sólido por metro cúbico o por centímetro cúbico. La metodología utilizada para realizar las pruebas es la regulada por ASTM-D1556 y MTC E 117-2000. Para la obtención de la densidad natural, la prueba se realizó mediante el método del cono de arena.

El método del cono de arena consiste en una botella plástica con un volumen de 1 galón y otra pieza formada por una válvula cilíndrica con orificio, que termina con un pequeño embudo en un extremo y un cono de 6" de diámetro. al contrario. La arena debe estar limpia, seca, fluida, la arena utilizada (Otawa) suele ser el material que pasa por el tamiz # 10 y se retiene en el tamiz N° 20. El cálculo de densidad se da a continuación:

$$Y_{nn} = \frac{W_m}{V_m}$$

Ecuación N°07: Calculo de la Densidad.

Donde:

Y_m: Densidad Natural

W_m: Peso de la muestra

V_m: Volumen de la muestra

Tomando en cuenta la muestra, se pesa para obtener el W_m , el peso de la muestra, luego se lleva al horno, luego de secarse se pesa nuevamente para obtener el W_s , peso sólido. Finalmente se calcula :

$$W\% = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

Ecuación N°08: Calculo del Contenido de Humedad.

Con el que se determina la humedad. El método utilizado para realizar la prueba es el regulado por ASTM-D2216.

La prueba de contenido de humedad puede determinar la densidad seca (Quiñonez, 2015, p. 21):

$$Y_d = \frac{Y_n}{(1 + w\%)}$$

Ecuación N°09: Calculo de Densidad Seca.

Y_d = Densidad Seca

Y_w = Densidad humedad

$W\%$ = Contenido de humedad

3.3. Marco Conceptual.

3.3.1. Factores que influyen el Control de la Energía Especifica en el Proceso de compactación de campo para la optimización de la Resistencia de Bases Granulares.

3.3.1.1. Definición.

Como se mencionó anteriormente en hojas anteriores, en principio existirán factores que incidan en el control de la energía específica en

el proceso de compresión para optimizar la resistencia de las bases granulares, tanto en el laboratorio como en el campo.

En el laboratorio se debe definir el suelo a trabajar y mejorar la prueba de granulometría y proctor, luego se deben verificar los factores en campo para evaluarlos a través del campo de Prueba de Densidad, todo con el fin de optimizar la resistencia de las bases granulares verificando la energía específica en el proceso de compactación. Lo realmente complicado viene en controlar los factores en el campo para seguir las normas de la normativa peruana.

El control de la compactación de las obras de pavimentación urbana tiene como finalidad verificar que el producto final, es decir el material comprimido, cumple las condiciones especificadas en el pliego de condiciones. Con la excepción de casos específicos en los que estas condiciones se expresan en forma de deformación o asiento máximo bajo carga, se suele prescribir un valor mínimo del denominado porcentaje de compresión, es decir, la relación entre la densidad seca del material comprimido y una densidad seca de referencia, obtenido en el laboratorio, en condiciones estándar.

En todo tipo de control de calidad, incluido el que nos concierne, se aplican de forma vaga o conjunta dos sistemas básicos: control de "producto terminado" y control de "proceso". Ambos tienen sus ventajas y desventajas para el control de la compresión, que veremos a continuación. Dependiendo del caso, hay especificaciones que los ingleses, que están completamente inclinados hacia el segundo sistema, otros, como la mayoría de los norteamericanos, hacen para el "producto terminado", y finalmente algunos, como los franceses y, en cierta medida, el

nuestro, de una combinación de ambos tipos de control (Abecasis, y otros, 1987, p. 87).

3.3.1.2. Control del producto terminado

Es lo que podríamos llamar el clásico sistema contrato, según el cual solo se comprueba la densidad final conseguida en un número de puntos de cada capa compactada y se compara con la especificación.

En la versión tradicional y extendida, los puntos de control se seleccionan de antemano mediante inspección a intervalos más o menos regulares. El número de acciones se incrementa o disminuye en función de la confianza que merezca la ejecución, pero siempre atendiendo a un número mínimo de ensayos por unidad de volumen, que se establecen en el pliego de condiciones. Con este sistema, la evaluación de los resultados difícilmente puede tener la fiabilidad necesaria, ya sea en base al valor mínimo obtenido o al valor medio. En el primer caso porque el valor elegido como decisivo puede corresponder a una frecuencia insignificante dentro de la distribución real de las densidades de capa, y en el segundo caso porque no se evalúa la uniformidad de la compactación.

Se ha intentado extender esta orientación a un control de compactación puramente estadístico basado en tarjetas de control. El punto de partida es una desviación estándar global asumida del procedimiento de prueba y el número de mediciones por muestra se determina para lograr el riesgo deseado, suposición incorrecta (administración) o rechazo incorrecto (contratista). Sin embargo, esta aplicación solo puede justificarse en casos muy especiales de homogeneidad y continuidad, ya que la dispersión inherente a los métodos de ensayo es a menudo comparable con la del producto a controlar y, además, con

la normalidad del producto. La ley de distribución de densidad necesaria para la validez de los gráficos de control es definitivamente cuestionable.

Es importante señalar que el control de un lote por muestreo aleatorio requiere que su aplicación sea válida y que las fluctuaciones de densidad que presenta el lote sean independientes de causas específicas y localizables. De lo contrario, deben ser descubiertos antes de realizar la operación y las zonas afectadas, corregidas hasta su homogenización con el resto de la capa (Abecasis, y otros, 1987).

3.3.1.3. Control del “proceso”

Las diversas variantes del sistema de control descritas en el apartado anterior delimitan claramente las responsabilidades del constructor al dejar las modalidades del proceso de compresión a su árbitro. Este hecho es una ventaja más obvia que real, ya que el eventual rechazo de unidades defectuosas y su corrección repercute en última instancia en los plazos y costes de la obra.

Por otro lado, incrementar la confiabilidad de un control que se basa exclusivamente en mediciones del “producto terminado” puede conducir a un incremento en el número de intentos dada una cierta heterogeneidad, lo cual es prohibitivo por razones de costo y rapidez. Esto ha llevado a unas especificaciones para establecer el control sobre el “proceso”, es decir, los parámetros de ejecución, tanto en cuanto a los materiales como a las máquinas que determinan la calidad final. Se pretende, por tanto, crear condiciones objetivas, cuyo cumplimiento puede esperarse con alguna garantía para obtenerlas.

Una primera forma de hacerlo es definir en el pliego de condiciones unas tablas según los diferentes tipos de suelos que se pueden representar, tablas en las que se indique el tipo y parámetros de las máquinas a utilizar, el espesor máximo de trabajo y finalmente un número mínimo de pasadas en cada caso. pasado; Por ejemplo, los estándares británicos. En lugar de establecer un número mínimo de pasadas difíciles de controlar en campo, se puede utilizar un parámetro equivalente, así como los estándares franceses, que son la relación Q / S entre el volumen comprimido y el de la máquina por unidad. el área barrida es. Tiempo que se puede medir con la ayuda de un odómetro incorporado. Como puede verse fácilmente, esta relación es igual a e / n , espesor dividido por el número de pasadas. Por tanto, si queremos tener en cuenta los pasos mínimos del compresor para un espesor predeterminado, basta con solicitar el valor de la relación Q / S correspondiente en obra (Abecasis, y otros, 1987).

Este método solo es aplicable cuando se tiene un conocimiento suficiente de las clases de suelo que constituirán la labranza, ya sea por estudios previos o por similitud con otro de similares propiedades.

Un segundo método consiste en realizar tramos de prueba con los suelos más importantes que se utilizarán en el trabajo al inicio del trabajo de compactación. En definitiva, se trata de construir, sobre un soporte estable, una capa superficial, de 300 a 400 metros cuadrados por tipo de suelo, que permita ensayar dos o tres valores de espesor y humedad. La capa se compacta en pasadas sucesivas con medio de compresión o agentes preseleccionados según la naturaleza del suelo y registra los parámetros de funcionamiento del mismo que se utiliza en los ensayos.

Finalmente, las mediciones de densidad se realizan después de cada sesión y los resultados se grafican en un número de densidad de diagramas de transición (ver Fig. 51). Si desea probar espesores superiores a 30 cm, también se debe medir la densidad en la parte inferior de la capa para verificar el gradiente de densidad para cada humedad de prueba.

El número de variables ensayadas debe reducirse al máximo posible en vista de la acumulación de acciones que dan lugar y el tiempo necesario para implementarlas. Del estudio de los resultados se extraen las condiciones requeridas para el control del "proceso", en relación al espesor, la humedad y los parámetros de la máquina (Abecasis, y otros, 1987).

3.3.1.4. Sistema mixto de control

En definitiva, se trata de complementar los dos métodos anteriores actuando de la siguiente manera (Abecasis, y otros, 1987):

- a) Condiciones del proceso de ejecución. Se obtienen mediante secciones de prueba, al probar diferentes valores de espesor, humedad y parámetros de la máquina, o mediante las especificaciones de láminas particulares. Se realiza un número suficientemente elevado de mediciones de la compactación obtenida, tanto en las pruebas como en los primeros días de ejecución. Este conjunto de datos constituirá la población de referencia para el control. Durante la ejecución, el control asegura que se mantengan las condiciones que sirvieron de base para las pruebas o para las especificaciones particulares. Este aspecto del control debe estar preferiblemente en manos

del constructor (autocontrol), quien así permanece involucrado en las responsabilidades del resultado final.

- b) Verificación de la calidad final. Se realizan series de medidas de compactación esporádicamente, al azar, para compararlas con la población de referencia. Como el número de mediciones, en general, no será lo suficientemente grande como para depender de la media y la desviación estándar, se puede usar una prueba basada en todos los valores obtenidos para comparar (ver Prueba de Wilcoxon en anexo).

Al final, cada uno de los tres métodos de control de la compactación puede estar más o menos indicado en función de las circunstancias particulares de cada caso, que se pueden resumir de la siguiente manera:

Control por "producto terminado". Dudosa homogeneidad de materiales y métodos de ejecución. Tasas de mano de obra medidas bajas. Posibilidad de realizar un gran número de medidas de densidad (ensayos nucleares, por ejemplo).

Control de procesos ". Materiales y mano de obra consistentes. Altas tasas de producción. Dificultad para realizar muchas pruebas con un tiempo de respuesta rápido.

Control mixto. De aplicación general, con más énfasis en el "proceso" o "producto terminado", dependiendo de si prevalece alguna de las circunstancias anteriores indicados.

El concepto de energía específica mantiene todo su valor fundamental cuando se vincula a los procedimientos de compactación en el campo.

En el caso del uso de rodillos, depende principalmente de la presión y la superficie de contacto entre el rodillo y el suelo, el espesor de la capa que se compacta y el número de pasadas del equipo (Rico, 2005, p. 156).

Aunque parezca simple, la compactación del suelo puede ser una de las partes más difíciles de los proyectos de pavimentación urbana. En la actualidad, los fabricantes ofrecen opciones en sus equipos de compactación que permiten al operador ajustar la vibración, la frecuencia y la amplitud de la máquina para cumplir con las especificaciones del trabajo.

3.3.1.5. La Presión de Equipo de Compactación

La fuerza de tensión en compresión de la maquina está compuesta de los siguientes factores para su correcta ejecución y evaluación.

3.3.1.5.1. Esfuerzo de compactación

El estrés de compactación es la cantidad de energía aplicada al suelo para reorganizar y compactar sus partículas. Cambiar los parámetros de la máquina, como el peso, el ancho, la presión de los neumáticos, la amplitud y frecuencia de la vibración, puede cambiar el esfuerzo de compactación. Algunos de estos parámetros se pueden ajustar en una máquina. Los demás parámetros, como el ancho, por ejemplo, pueden requerir que otras máquinas puedan modificar esta fuerza. Cada proyecto requiere que se conozcan las dimensiones de estos parámetros.

3.3.1.5.2. Velocidad de operación

Por lo general, la velocidad de desplazamiento tiene un papel crucial en la productividad de la construcción. Cuanto mayor sea la velocidad, más rápido se realiza el trabajo. Sin embargo, con todos los compactadores vibratorios, a diferencia de otros

tipos de compactadores, la productividad generalmente aumenta a medida que se reduce la velocidad de desplazamiento. Existe una tasa óptima y económica a la que un compactador puede lograr los resultados de compactación requeridos.

3.3.1.5.3. Esfuerzo vibratorio

Genera una rápida sucesión de choques y por tanto de ondas de presión que se propagan en profundidad, a una frecuencia que varía entre amplios límites, pero siempre elevados, de 10 a más de 80 vibraciones por segundo. El movimiento de las ondas de presión sobre las partículas del suelo reduce instantáneamente la fricción interna dentro de su masa, lo que facilita el llenado de huecos y por lo tanto la densificación.

Como es de esperarse, una tensión estática siempre está presente en cada máquina compactadora, debido a su propio peso. Sin embargo, su participación en el resultado final de la obra tiene un significado diferente según el tipo de máquina de que se trate.

Por otro lado, la aplicación de una determinada fuerza de compactación no siempre producirá los mismos efectos, sino que estos dependerán de la naturaleza y humedad del suelo en cada caso, así como del espesor de la capa a compactar.

Por tanto, el análisis de los métodos y equipos de compactación de suelos debe cubrir necesariamente dos aspectos:

Características y clasificación de las máquinas que se utilizan habitualmente en las obras de pavimentación urbana con este fin.

Realizando la compactación por el procedimiento más adecuado en función de la naturaleza, humedad y espesor del material en cada caso.

3.3.1.5.4. Compactadores vibratorios

Este grupo de máquinas se caracteriza por la transmisión de la fuerza de compactación al suelo por la vibración de un cilindro, provocada por la rotación excéntrica de una masa en su interior. El cilindro, o masa vibrante, se fija al bastidor de la máquina o a la masa aislada mediante acoplamientos elásticos reforzados, que amortiguan la transmisión de vibraciones.

Estas máquinas se utilizan desde la década de 1930, luego definiremos cuáles son los parámetros que definen el movimiento vibratorio del cilindro considerado libre primero, luego descansando en el suelo (Abecasis, y otros, 1987, p. 60).

3.3.1.5.4.1. Cilindro vibrante libre

La masa rotatoria m , excéntricamente conectada al eje del rodillo, hace que el centro instantáneo de rotación del rodillo (ver Figura 35) se mueva a un punto I y comunique un movimiento oscilante o vibratorio (Abecasis, y otros, 1987).

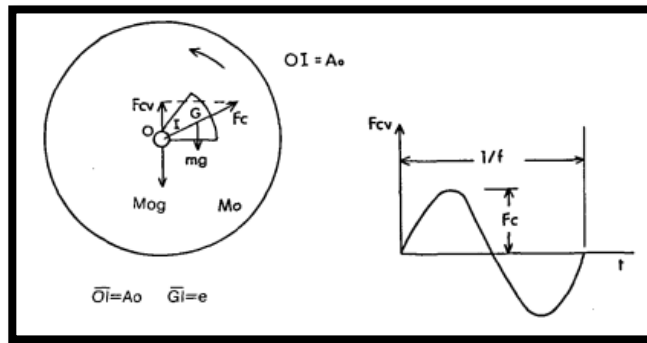
Amplitud nominal y frecuencia

Suponiendo que el cilindro está suspendido en el aire, el movimiento oscilatorio tendría una frecuencia f igual a la

velocidad de rotación de la masa m , en ciclos por minuto, y una amplitud nominal A_o , llamada así para distinguirla de la amplitud real de la masa m . trabajo, igual a OI distancia (Abecasis, y otros, 1987).

Figura 35

Aparato conocido como “Harvard miniatura”



Nota. Tomado de “Sistematización de los medios de compactación y su control”, (Abecasis, y otros, 1987, p. 60).

Las fuerzas que intervienen sobre el cilindro, además de su peso propio $M_o \cdot g$, son el peso $m \cdot g$ de la excéntrica, aplicado es su centro de gravedad G a la distancia e del centro de rotación del cilindro, y la fuerza centrífuga F_c producida por la masa m al girar. Al tomar momentos en referencia al centro resulta:

$$M_o \cdot g \cdot OI = m \cdot g \cdot e \text{ ó sea } OI = A_o = m \cdot e / M_o$$

Ecuación N°10: Ecuación de la masa Excéntrica

Por tanto, se deduce que la amplitud nominal del rodillo es independiente de su frecuencia de vibración, varía inversamente con la masa del rodillo y directamente con el momento estático de la masa excéntrica.

3.3.1.5.4.2. Cilindro vibrante, apoyado sobre el suelo.

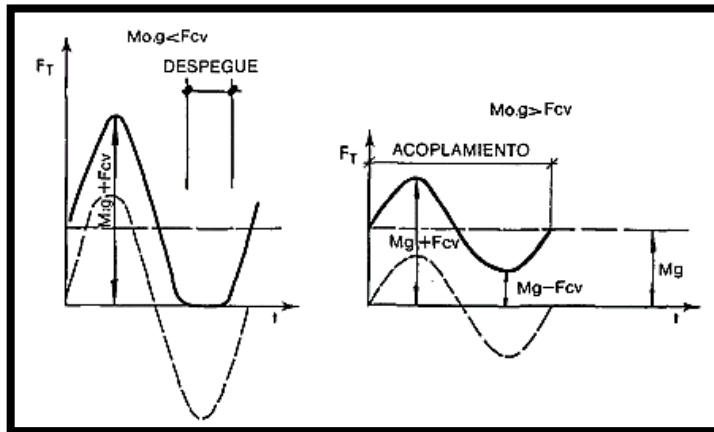
Fuerza aplicada total. La fuerza centrífuga F_c tiene dos componentes: la horizontal, que ejerce una determinada acción sobre el suelo solo en la superficie, y la vertical F_{cv} , que es la que actúa predominantemente en la compactación.

La magnitud de F_{cv} varía sinusoidalmente (fig.32) en cada ciclo de rotación de m , desde cero hasta un valor máximo, el cual se suma o resta, según su señal, al peso del cilindro de m_0g , para dar lugar a la fuerza total aplicada al cobre. la tierra. Su valor, dependiendo de $w = 2\pi m.f$, velocidad de rotación angular de m , es; $F_{cv} = m.e. w^2$, es decir, proporcional al momento estático y al cuadrado de la frecuencia de vibración.

Si la diferencia $M_0.g - F_{cv}$ es positiva, la fuerza total aplicada siempre es hacia abajo y el rodillo no pierde contacto con el suelo; se dice que funciona en "acoplamiento". Si es negativo, al aumentar F_{cv} con la frecuencia o con el momento estático del cilindro, se produce un "desprendimiento" del suelo, durante una fracción de cada ciclo, y el consiguiente impacto en la caída del rodillo (ver Figura 35) (Abecasis, y otros, 1987).

Figura 36

Diagrama de la Fuerza Centrífuga F_c



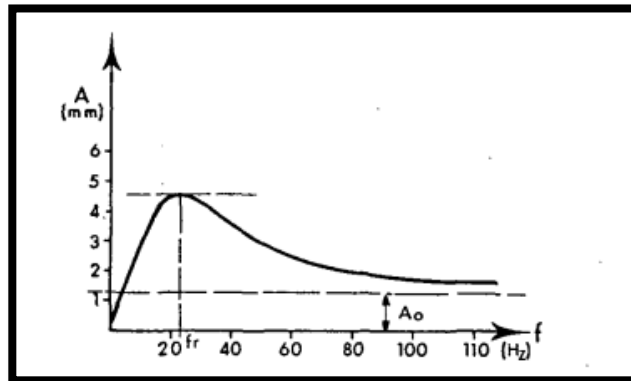
Nota. Tomado de “Sistematización de los medios de compactación y su control”, (Abecasis, y otros, 1987, p. 61).

Amplitud y frecuencia de trabajo

La energía que el rodillo transmite al suelo durante la compactación depende, no solo de la fuerza total aplicada, sino también de la amplitud alcanzada en la oscilación. El valor de esta amplitud está ligado a la frecuencia de vibración, según una ley de variación del tipo representado en la figura 37 (Abecasis, y otros, 1987).

Figura 37

Diagrama de Amplitud VS Frecuencia de Vibración



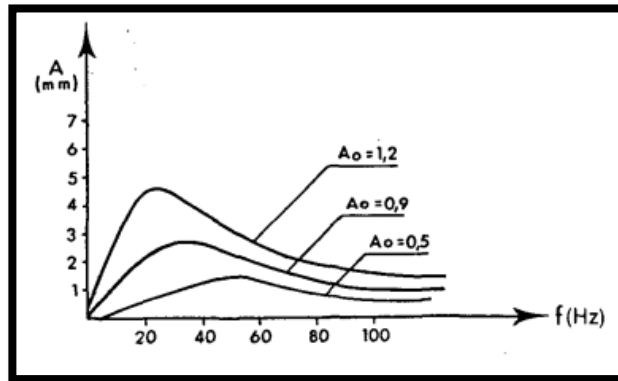
Nota. Tomado de “Sistematización de los medios de compactación y su control”, (Abecasis, y otros, 1987, p. 62).

La amplitud de vibración aumenta con la frecuencia hasta alcanzar un máximo de la frecuencia resonante f_r en el sistema de balanceo del piso y luego disminuye, acercándose asintóticamente, para frecuencias muy altas, al valor de la amplitud nominal A_o del balanceo.

La frecuencia de resonancia, que es mayor cuanto menor es el valor A_o (ver Figura 38) depende, entre otras cosas, de la rigidez de la tierra, que varía a lo largo del empaque. En la práctica, la regulación de la energía aplicada durante el proceso se consigue actuando simultáneamente sobre los dos parámetros, frecuencia de vibración y amplitud nominal. Este último puede, como ya se mencionó, modificarse variando proporcionalmente la excentricidad de la masa giratoria y por lo tanto su momento estático.

Figura 38

Diagrama de Amplitud VS Frecuencia de Resonancia



Nota. Tomado de “Sistematización de los medios de compactación y su control”, (Abecasis, y otros, 1987, p. 62).

En general, los compactadores vibratorios suelen tener dos o tres posiciones seleccionables de masa excéntrica y, por tanto, valores de A_o . De esta manera, la compactación por vibración de una capa extensa de suelo puede tener lugar de acuerdo con el siguiente patrón:

En la etapa inicial, es suficiente usar el rango de baja frecuencia y la menor amplitud A_o para obtener energía moderada sin ningún impacto.

En la fase intermedia, para obtener la máxima energía, podemos utilizar un valor superior de A_o y la frecuencia más conveniente según las características de la máquina. Por ejemplo, si fuera un rodillo con una carga lineal alta, elegiríamos una frecuencia más moderada que otro con un peso más ligero.

En la fase final podemos volver al valor más bajo de A_o manteniendo una alta frecuencia y por lo tanto un valor alto de la fuerza total ejercida. Así, las amplitudes son relativamente

bajas y obtenemos un nivel de energía suficiente, pero tienen un efecto que evita una posible descompresión de la superficie. Morfología La gran flexibilidad de funcionamiento, que permiten los compactadores vibratorios variando su energía de trabajo con y sin efectos, ha ampliado su campo de aplicación en los últimos años para incluir una amplia variedad de materiales, desde suelos plásticos hasta bloques de piedra y mezclas asfálticas, que, por otro lado, dan lugar a una amplia gama de modelos y tipos de compactadores (Abecasis, y otros, 1987).

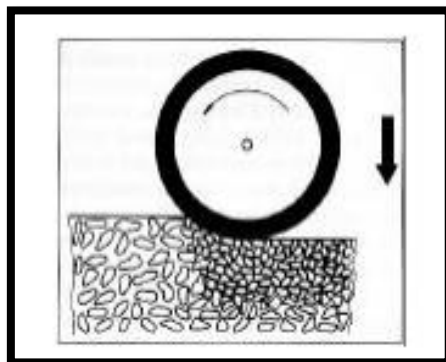
3.3.1.5.5. Rodillos Vibratorios.

Los rodillos estáticos, o sea, rodillos que compactan el material por el único efecto de su propio peso elevado (presión estática) y por la superficie de contacto de los tambores con el suelo (ver Figura 39). Este tipo de máquina se ha equipado generalmente con uno o dos tambores generalmente lisos o, alternativamente, con varios neumáticos lisos (sin banda de rodadura) y en ocasiones con una combinación de tambores neumáticos (rodillos combinados). Los rodillos vibratorios también se clasifican como rodillos estáticos cuando se utilizan sin el sistema vibratorio en funcionamiento.

El campo de aplicación principal de los rodillos estáticos es su efecto de prensado y alisado en subestructuras o en superficies asfálticas (Ruiz, 2002).

Figura 39

Compactación por peso propio (estática)



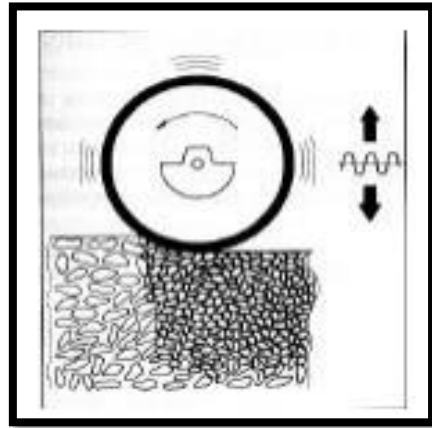
Nota. Tomado de “Rendimiento y Costos en la maquinaria de compactación”, (Ruiz, 2002).

Los rodillos vibratorios (ver Figura 40), que no solo compactan por su elevado peso estático, sino que al mismo tiempo y por vibraciones que también dirigen fuerzas dinámicas dentro del material a compactar, lo que conduce a una compactación más eficaz del material del suelo y una mayor penetración.

Los rodillos vibratorios se fabrican en diferentes diseños: rodillos accionados manualmente, rodillos autopropulsados y rodillos extraíbles. Se diferencian no solo por el tipo de construcción, sino también por su tamaño y la cantidad de tambores. Encuentran su aplicación en una amplia variedad de campos y con diferentes resultados según el tipo de material que se compacta (Ruiz, 2002).

Figura 40

Compactación por vibración (dinámica).



Nota. Tomado de “Rendimiento y Costos en la Maquinaria de Compactación”, (Ruiz, 2002).

Efecto de compactación y propiedades técnicas de las máquinas a operar.

La potencia o el porcentaje de compactación (junto con la capacidad del suelo a compactar) depende fundamentalmente de las características técnicas del rodillo vibratorio. Algunas de estas características, de las que varían, están estrechamente relacionadas (Ruiz, 2002), son:

- La fuerza centrífuga dirigida hacia el material suelo por cada uno de los tambores.
- La presión lineal dinámica del tambor o de los tambores vibrantes
- La frecuencia del excitador (r.p.m. del eje excitador)
- La amplitud nominal (un medio del camino de oscilación del tambor)
- El peso de servicio del rodillo, distribuido en los tambores individuales

- La presión lineal (carga) estática de los tambres individuales
- La velocidad de trabajo del rodillo.

3.3.1.5.5.1. Fuerza Centrifuga

La compresión vibratoria se basa en el hecho de que el material a comprimir se ve obligado a oscilar mediante una rápida secuencia de fuerzas que actúan sobre él. Como en el caso de las planchas vibrantes, las vibraciones y las fuerzas centrífugas se generan mediante la rotación de masas excéntricas.

El excitador con la masa giratoria se colocará en función del tipo de rodillo vibrador.

En algunos casos de forma centralizada, fuera de los tambores y generalmente unidos al chasis inferior o más a menudo dentro del tambor o tambores vibrantes, en cuyo caso las fuerzas centrífugas se transmiten directamente al material a comprimir (ver figura 41).

Figura 41

Generación de la Fuerza Centrifuga



Nota. Tomado de “Rendimiento y Costos en la Maquinaria de Compactación”, (Ruiz, 2002).

La fuerza centrífuga C (en kn) se define por la geometría (forma), peso y velocidad angular de la masa excéntrica y se obtiene de la siguiente forma:

$$C = m \times r \times w^2 = m \times r \times \frac{2 \times \pi \times n^2}{60}$$

Ecuación N°11: Ecuación de Fuerza Centrífuga.

Donde el significado de los términos individuales es:

m= peso de la masa excéntrica (kg).

r= distancia del centro de gravedad al centro de giro de la masa excéntrica.

W²= velocidad angular al cuadro (1/sec²).

Π= Constante (3.14).

n= r.p.m. del eje del excitador (min⁻¹).

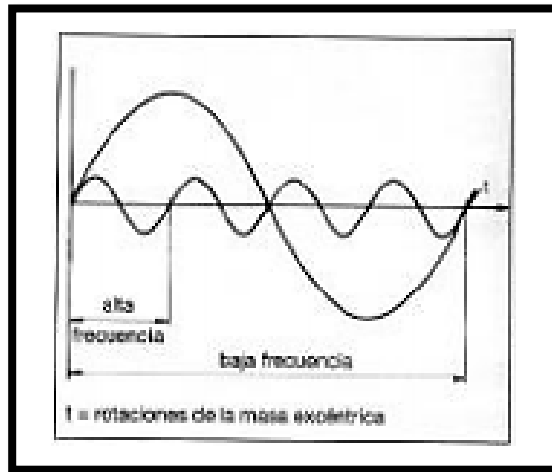
3.3.1.5.2. Frecuencia del excitador

La frecuencia (en hz), o sea, el número de oscilaciones por segundo de las masas excéntricas en rotación (Ver Figura 42); se define por el número de revoluciones del eje excitador:

Frecuencia (Hz)=n (min⁻¹) /60 (seg)

Figura 42

Frecuencia del excitador.



Nota. Tomado de “Rendimiento y Costos en la Maquinaria de Compactación”, (Ruiz, 2002).

Del mismo modo, en el caso de las placas vibratorias, se aplican las mismas reglas: para materiales de relleno con granulometría predominantemente fina, se obtiene una mejor compactación al aplicar equipos de alta frecuencia, mientras que, para materiales con alto contenido de grava gruesa, es necesario una frecuencia más baja.

Cuando se trata de rodillos, uno debe comprometerse con respecto a la frecuencia para lograr buenos resultados de compresión tanto en aplicaciones como en aplicaciones. Las frecuencias de los rodillos generalmente oscilan entre 40 y 85 Hz. En este sentido y dentro de la gama de equipos considerados en este manual, cabe agregar que los fabricantes de rodillos en la actualidad muestran una tendencia hacia frecuencias más elevadas.

3.3.1.5.3. Amplitud nominal

La masa oscilante de la máquina en operación se separa del resto del cilindro vibrante mediante elementos de caucho-metal (topes). El rango o amplitud teórico (en mm) está definido por la geometría y el peso de las masas excéntricas (Ver Figura 43), así como el peso de la masa oscilante de la máquina:

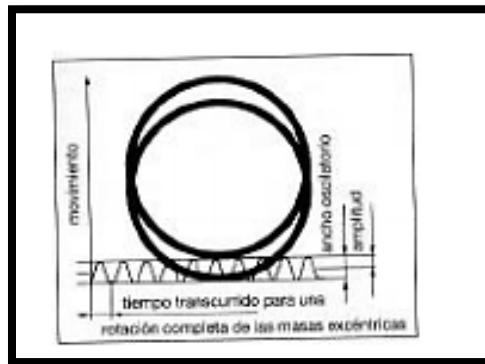
$$A = \frac{m \times r}{M}$$

Ecuación N°12: Ecuación de Amplitud Nominal.

Donde M representa la masa de los elementos vibrantes de la máquina.

Figura 43

Amplitud y oscilación total.



Nota. Tomado de “Rendimiento y Costos en la Maquinaria de Compactación”, (Ruiz, 2002).

La amplitud real (1/2 de la oscilación total del tambor) del rodillo vibratorio, medida durante las aplicaciones diarias, puede desviarse en mayor o menor grado de la amplitud

calculada teórica. Es oportuno recordar la magnitud de la amplitud real del tambor.

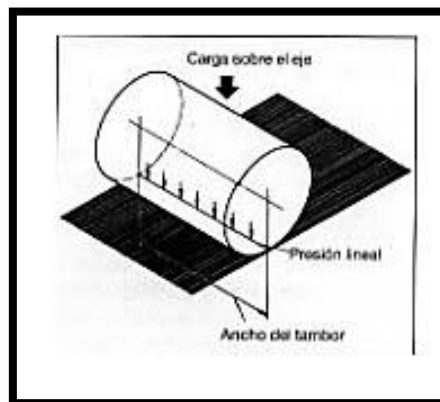
Durante la compactación del suelo, depende, entre otras cosas, de; de la influencia de las propiedades del suelo, su capacidad para comprimir y su contenido de agua (humedad)

3.3.1.5.4. Presión lineal estática

El efecto de compactación en el trabajo de un rodillo vibratorio está determinado en parte por su peso. El peso se transmite al material del suelo o la mezcla a compactar, por contacto directo, mediante ejes y tambores. El tambor se hunde profundamente en el material durante la primera pasada del proceso de compactación; un amplio arco (superficie de contacto) del cuerpo rodante está en contacto directo con el suelo. El área de contacto disminuye y la presión superficial específica aumenta a medida que aumenta el grado de compactación del material. Entonces, la presión específica ejercida a través de las áreas de contacto varía con el grado creciente de compactación del material. (Ver Figura 44)

Figura 44

Presión Lineal Estática.



Nota. Tomado de “Rendimiento y Costos en la Maquinaria de Compactación”, (Ruiz, 2002).

A causa de la variación continua en el área de contracción, se decidió utilizar presión lineal estática para obtener un estándar de comparación. Para calcular este parámetro en kg / cm, la carga en cada eje se divide por el ancho del tambor correspondiente.

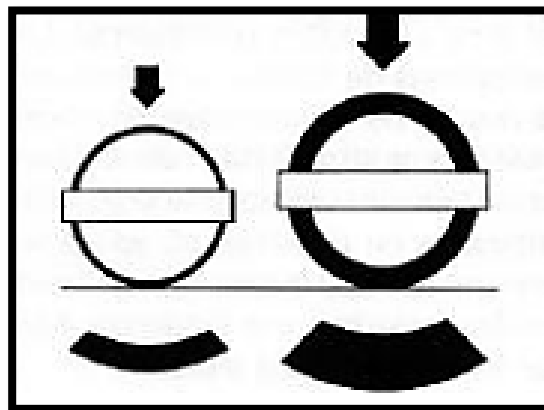
$$\text{Presión lineal estática} = \frac{\text{Carga sobre el eje (kg)}}{\text{Ancho del Tambor (cm)}}$$

Ecuación N°13: Ecuación de Presión Lineal Estática.

El ejercicio de una presión lineal estática más alta del rodillo conduce a un efecto de mayor profundidad. Con una presión de línea estática más alta, es posible compactar suelos con una capacidad de compactación baja y / o capas de relleno más altas. (ver figura 45)

Figura 45

Influencia de la Presión Lineal Estática.



Nota. Tomado de “Rendimiento y Costos en la Maquinaria de Compactación”, (Ruiz, 2002).

3.3.1.5.5. Presión lineal dinámica

La presión lineal dinámica es más que otro parámetro importante para los trabajos a efectuarse en compactación con rodillos vibratorios, ya que en este caso se tiene en cuenta la fuerza centrífuga generada en el excitador de la máquina.

$$\text{Presión lineal dinámica} = \frac{\text{Fuerza centrífuga (kn)}}{\text{Ancho del tambor (cm)}}$$

Ecuación N°14: Ecuación de Presión Lineal Dinámica.

En general, la presión lineal dinámica se expresa en kn / cm. Al comparar dos o más rodillos dentro de una determinada clase de peso, debe tenerse en cuenta que el rodillo con la presión lineal dinámica más alta logra un efecto de profundidad mayor.

3.3.1.5.6. Velocidad de trabajo

Se considera que la velocidad de trabajo del rodillo vibratorio es un factor de gran importancia durante los trabajos de compactación.

La distancia entre dos movimientos verticales de los tambores (la distancia de vibración o la distancia entre golpes) aumenta directamente en proporción a la frecuencia de vibración de la propia máquina a medida que aumenta la velocidad de funcionamiento.

Tabla 12*Distancia de Vibración en mm.*

Velocidad de Trabajo (km/hr)	Frecuencia Hz			
	40	50	60	80
1	6.9	5.6	4.6	3.5
2	11.9	11.1	9.3	6.9
3	20.8	16.7	13.9	10.4
4	27.8	22.2	18.5	13.9
5	34.7	27.8	23.1	17.4
6	41.7	33.3	27.8	20.8

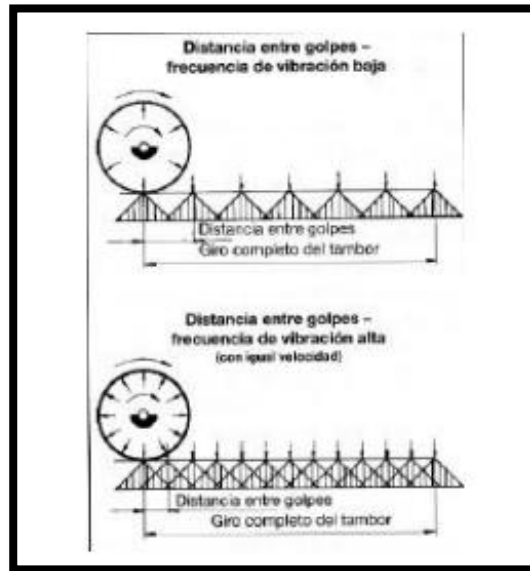
Nota. Tomado de (Lloret, 2009)

Al aumentar la velocidad de trabajo y considerando una frecuencia constante del excitador, la distancia entre las oscilaciones de vibración aumenta junto con una disminución en el rendimiento de compactación por unidad de área, durante la compactación de capas de asfalto y cuando se trabaja con equipos de baja frecuencia. (ver figura 46).

Esto puede provocar ondas transversales (deformaciones) en la superficie del asfalto

Figura 46

Frecuencia y Distancia de Vibración



Nota. Tomado de “Rendimiento y Costos en la Maquinaria de Compactación”, (Ruiz, 2002).

Cuando se trata de llenado con material de suelo y el uso de equipos de compactación de baja frecuencia, se requiere un mayor número de pasadas para poder alcanzar el grado de compactación requerido y correcto.

En general, se pueden recomendar las siguientes velocidades de trabajo:

Velocidades comprendidas entre 1 y 4 km / h para compactación de suelo, y de 2 a 6 km / h para compactación de materiales bituminosos, al estudiar la tabla 5 se hace evidente que las intensidades de compactación están directamente relacionadas con la velocidad de trabajo.

Así mismo, La intensidad de la compresión también está directamente relacionada con el convertidor de frecuencia.

A una distancia de vibración, el rodillo con la frecuencia de vibración más alta puede funcionar a una velocidad de trabajo

más alta, lo que a su vez conduce a un aumento definitivo de la productividad.

3.3.1.5.6. Rodillo Liso Vibratorio

Es el medio de compactación más adaptable utilizado en la actualidad en trabajos de pavimentación urbana. Tener cargas en el cilindro, en general, inferiores a las remolcadas, por el contrario, elimina la rigidez de maniobra y desplazamiento de estas últimas (ver Figura 47) (Abecasis, y otros, 1987).

Figura 47

Modelo de Rodillo Liso Vibratorio



Nota. Tomado de “Sistematización de los medios de compactación y su control”, (Abecasis, y otros, 1987).

La estructura cilíndrica está montada en el eje delantero y el bastidor que lo enmarca es único debido a una circulación central, también oscilante verticalmente hacia la parte trasera de la máquina, que permite una rotación relativa de hasta 40-45 ° con la dirección de avance y 12-15 °, verticalmente en las dos direcciones. El motor, las estructuras de dirección y la

cabina del conductor descansan sobre el eje trasero, que está equipado con dos ruedas con neumáticos moldeados de alto agarre.

3.3.1.5.7. El Área de Contacto de Rodillo y Suelo de Base

El trabajo estandarizado en la construcción de carreteras admite que la base del relleno de piedras o pedraplen se forma rellenando el fondo del barranco, sin tratamiento previo del mismo, con piedra giratoria, hasta obtener una superficie de trabajo suficientemente amplia para la operación adecuada de equipos de trabajos en construcción. Sin duda, la práctica de dismantelar y desplazar el terreno natural es mejor, eliminando cualquier formación de suelo de baja resistencia que pueda romper la homogeneidad del sustrato, esto no se puede lograr en la construcción submarina (Rico, 2005).

En muchos casos, la masa de piedra en la base no se somete a ningún tratamiento mecánico especial, que se reserva como máximo para una capa de mejora de material más fino y por supuesto la capa de suelo, sub rasante y carretera. Este procedimiento no debe emplearse en relación con el cuerpo de la piedra para asegurar el buen desempeño de la estructura, o partículas determinadas.

Así, para una cantidad determinada de pasadas, el aumento de la superficie de contacto conduce a un aumento del peso seco volumétrico obtenido; en tal sentido, el aumento de la superficie de contacto permite disminuir la cantidad de pasadas necesarias para conseguir un determinado resultado. De esta manera, se destaca la conveniencia de los rodillos modernos de

hacer que el área de la sección transversal de las varillas sea lo más grande posible para lograr la máxima productividad siempre que se supere la presión mínima necesaria.

Los estudios hechos en laboratorio también han demostrado que cuanto mayor es la presión ejercida sobre el suelo compactado, más útil es el uso de frecuencias resonantes para el sistema vibrador del suelo. En la práctica, esto ha llevado al uso de frecuencias más altas en equipos de compactación más livianos (Rico, 2005, p. 203).

La estructura de la superficie de la partícula determina el coeficiente fraccionario entre ellas y por tanto el efecto de un esfuerzo externo destinado a lograr la densificación. (Sagüés, 2007)

La compactación mecánica en sí, es aquella en la que el suelo sometido a una fuerza aplastante, donde se le aplica la carga, provoca la formación de bulbos de tensión en la zona donde fue compactado, que como resultado hace que las partículas se alejen (López, 2011).

Es importante saber que si se incrementa la doble carga, es decir, $2P$, sin cambiar las dimensiones del área, se duplicarán los esfuerzos que pueden causar fracturas en las partículas del suelo, por lo que su granulometría variará mucho, además de la distribución de las mismas por semicírculos, lo que lleva a la conclusión que no es conveniente sobrecargar los dispositivos más allá de las especificaciones del fabricante, ya que también pueden dañarse aplicando cargas más allá del diseño original.

No obstante, si se incrementa la carga y el área, el esfuerzo es el mismo que el primero, pero la profundidad de las distribuciones aumenta, lo que lleva a la conclusión de que, si se desean capas de mucho mayor espesor, se deben utilizar equipos más pesados, para ser utilizado con mayores superficies de contacto.

3.3.1.5.8. El Espesor de la Capa de Base

La ciencia de la compactación está en constante evolución y ofrece mayores alternativas y variaciones en el proceso de compresión. Pero incluso con el compactador más avanzado y los mejores esfuerzos de compactación, las capas gruesas de material serán menos densas que las capas más delgadas. Hay excepciones a esta regla, pero siempre debe intentar lograr un espesor que optimice la tasa de producción en función de la densidad requerida y el número mínimo de pasadas del compactador.

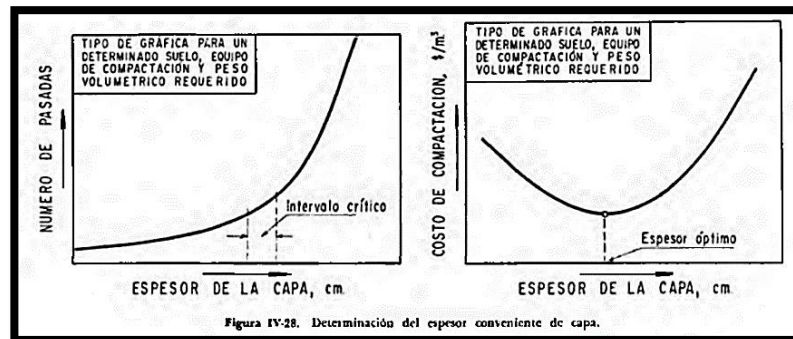
La condición de la capa anterior o base subyacente también afecta la compresión. Un sustrato que no está debidamente compactado tiene superficies relativamente blandas y, en consecuencia, variará la compactación de la siguiente capa. La compresión de todas las capas debe ser uniforme y precisa para garantizar que las capas sucesivas se comprimen correctamente.

En lo que concierne a todo el proceso de compactación, el espesor de la capa compactada es de gran importancia, como ya se estableció en las páginas anteriores. Para un suelo dado,

equipo de compactación y su necesidad, a medida que aumenta el espesor de la capa, aumenta el número de pasadas requeridas; sin embargo, como regla general, es más económico satisfacer los requisitos de compactación cuando la capa compactada es más gruesa, por lo que, en principio, se debe utilizar el mayor espesor posible. Esta regla limita la disipación del efecto de compactación con el espesor de la capa, como, por ejemplo, se indica en la Figura IV-18; de hecho, cuanto mayor sea el grado de compactación necesario, más delgadas deben ser las capas implicadas en el trabajo. La Figura IV-28 nos ilustra cómo varían los conceptos principales, a partir de los cuales se determina el espesor de la capa, el cual atiende a nuestras dudas (Rico, 2005).

Figura 48

Determinación del espesor conveniente de capa



Nota. Tomado de “La Ingeniería de suelos en las vías terrestres”, (Rico, 2005, p. 188).

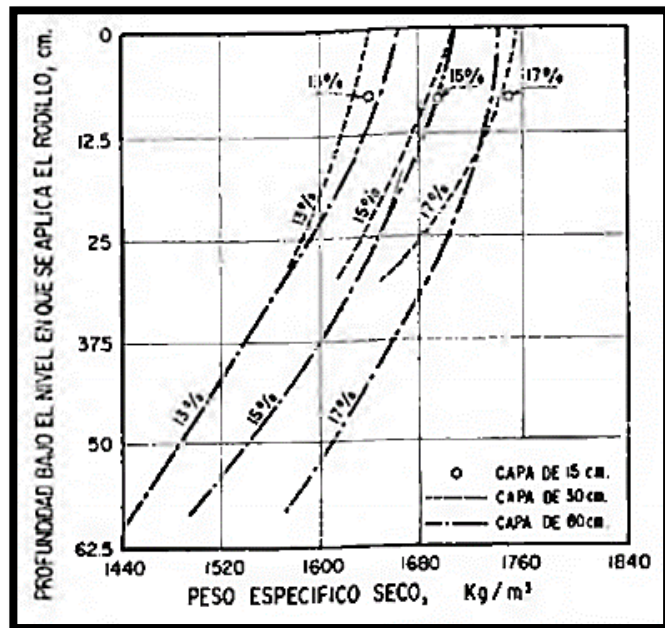
La zona izquierda de la figura 48, nos indica cómo el número de pasadas necesarias aumenta desproporcionadamente cuando el espesor de la capa aumenta a un cierto valor, de modo que es imposible lograr el requisito de compactación con una capa más poderosa. Cerca de este valor, que en cada caso real se

puede estimar si se trabaja en un relleno de prueba, se debe considerar el espesor de capa óptimo, ya que está claro que una capa más delgada requeriría casi la misma cantidad de pasadas, con un mayor costo por unidad de volumen de suelo compactado; por otro lado, si el espesor de la capa se estableciera por encima de los valores correspondientes al rango crítico, se requeriría un número desproporcionadamente grande.

Por tanto, si el costo de compactación se representa en relación al espesor de la capa, es lógico pensar que se obtendrá una gráfica del tipo que se muestra en la Figura 49, que define claramente el grosor óptimo (Rico, 2005).

Figura 49

Influencia del espesor de la capa y el contenido de agua en la compactación. Rodillos neumáticos



Nota. Tomado de “La Ingeniería de suelos en las vías terrestres”, (Rico, 2005, p. 170).

La explicación práctica que surge del diagrama es la siguiente: cuando se trabaja en el campo, el constructor siempre debe tener un cierto volumen volumétrico pero mínimo en todo el espesor de la capa; Se puede observar que para lograr esto y no tener problemas de control de calidad, el constructor posiblemente tendría que utilizar equipos con pesos volumétricos superiores a los requeridos en los niveles superiores de una capa potente, a fin de garantizar lo requerido en los niveles bajos. El diagrama también muestra la influencia del espesor de capa en la elección del equipo de compactación y en la eficiencia y el costo de la operación. Se puede observar que la elección del espesor de capa no es arbitraria, sino que está íntimamente relacionada con el equipo disponible, la humedad de compactación, etc. Para un equilibrio efectivo, todos estos factores a menudo requieren el uso de terraplenes de prueba en los que se llevan a cabo las investigaciones preliminares requeridas (Rico, 2005).

A un mismo volumen sólido y forma de partícula dada, una granulometría bien graduada proporciona un mayor número de contactos que en una granulometría uniforme. Cuanto mayor sea la homogeneidad en las partículas, menor influencia tiene el contenido de humedad en la compactación, lo que se evidencia en curvas con formas más planas en comparación con suelos similares con mejor clasificación de granulometría (Sagüés, 2007).

Es importante llevar un control exhaustivo en el grosor de las capas con el fin de entregar mejor la energía necesaria para obtener la compactación requerida en el trabajo, vale reiterar

que es de vital importancia contar con un estricto control de calidad para asegurar que esta compactación sea acorde con la duración de vida útil de la obra en cuestión.

Se tendrá en cuenta que el espesor de la capa se puede incrementar en gran medida aplicando una carga excesiva al equipo de compactación provocando su falla (Badillo, 2014).

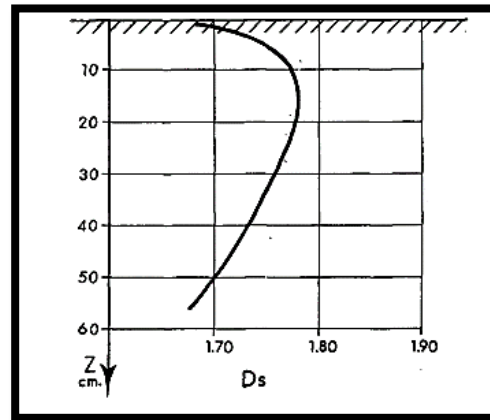
Espesor de tongada

Cuando el porcentaje de humedad del suelo, ya sea natural o corregida, está dentro de los límites deseados, aún tenemos que determinar el espesor de capa ideal para lograr la densidad requerida con el equipo de compactación útil. Debe tenerse en cuenta que la energía efectivamente aplicada por unidad de volumen de suelo es una función decreciente del espesor de la capa utilizada, para el mismo número de pasadas.

Como compactación de capa, se refiere a la densidad media en todo su espesor, ya que necesariamente existe una distribución del tipo representado en la Figura N 50, según la cual la densidad aumenta desde la superficie hasta unos 10 o 15 cm por debajo de ella, para luego disminuir, con un cierto gradiente, hasta la parte inferior de la capa (Abecasis, y otros, 1987, p. 76).

Figura 50

Diagrama Densidad Media VS Espesor de Suelo



Nota. Tomado de “Sistematización de los medios de compactación y su control”, (Abecasis, y otros, 1987).

Por lo general, no hay un control estricto del espesor de la capa, excepto quizás para la capa base debajo de la superficie del pavimento. Cuando todos los demás factores como el contenido de humedad y el tipo de material son consistentes, el espesor uniforme de las capas creará una densidad uniforme en todo el trabajo. Si se descuida el grosor de las capas, puede provocar el incumplimiento de las especificaciones de trabajo.

El boceto estructural de la Sub-base consiste en determinar el espesor y las características físico-mecánicas que deben tener los materiales que componen la estructura para poder soportar las condiciones del de alto tráfico y las cargas ambientales a las que se verá expuesta durante un determinado ciclo de vida. Respetando los parámetros de mantenimiento y construcción.

La metodología de diseño más frecuente es AASHTO, el cual se basa en la firmeza del suelo a la penetración de CBR

(Stanton & Portes-Opto. Carreteras California-1929). Reside en determinar un número estructural SN suficiente para soportar las cargas de tráfico dadas en la siguiente ecuación.

$$SN = a_1D_1 + a_2D_2m_2 + a_3D_3m_3$$

Ecuación N°15: Ecuación del Numero Estructural.

Donde:

SN: Numero estructural requerido.

A1.2.3: Coeficiente de equivalencia de espesor de las capas.

M2,3: coeficiente de drenaje.

D1.2,3: Espesores de capas del pavimento.

Los coeficientes de equivalencia de espesores para las capas están directamente relacionados con su resistencia al soporte CBR.

En base a las secciones elegidas para el control de compactación se obtendrá el espesor promedio de la capa compactada, que no puede ser menor que el del diseño. Así mismo, las cifras obtenidas en cada determinación de manera individual deben ser al menos igual al 95% del espesor de diseño, de lo contrario se no se aceptará la sección controlada (Pariona, 2014, p. 38).

3.3.1.5.9. Numero de Pasadas del equipo de Compactación

La energía de compactación específica se representa en última instancia para un equipo dado por el número de pasadas de ese equipo a través de la misma ubicación (Rico, 2005).

Se observa que el incremento de peso volumétrico que se obtiene a raíz del número de pasadas no es una función creciente monótona, sino que, como se puede apreciar en las Figuras IV-8 a-IV-14 por ejemplo, hay una serie de pasadas, además, el beneficio del resultado es muy pequeño, aunque el número aumenta considerablemente a un gran costo. Cuando se alcanza el número crítico de pasadas sin alcanzar el requisito establecido para el campo, se debe estudiar el problema, con el fin de verificar cuáles o cuáles son los factores de influencia que se deben modificar.

Se resalta que la velocidad de circulación del equipo de compactación es muy importante, sin embargo, su efecto no ha sido debidamente estudiado; Por otro lado, dentro del rango de velocidades recomendada por los distintos fabricantes, pareciera no haber disparidades fundamentales en la operatividad de los equipos, aunque, se repite, una falta de investigación al respecto. Se ha dicho que cuando el equipo de compactación circula rápidamente, lo cual es económicamente práctico, existe una tendencia a que la superficie superior de la capa se corrugue ligeramente (Rico, 2005).

Actualmente, las rocas sueltas se compactan con rodillos vibradores de 10 a 15 toneladas, cuando están relativamente limpias y no presentan rocas grandes mayores a 30 cm. Las rocas sueltas más gruesas o los de poca altura, formados por un material muy bien graduado, se pueden compactar con un tractor de alto peso, con al menos 4 pasadas los bordes de enrocamientos contaminados con más del 15% de material fino, se han compactado de manera conveniente con rodillos

neumáticos con alto peso de hasta 50 toneladas o más (Rico, 2005).

3.3.1.6. Rendimiento de un compactador

Este indica el volumen de suelo que la máquina puede comprimir o compactar a la densidad requerida, determinada en metros cúbicos por hora. Cuando el compactador viaja a una velocidad de v metros por hora, cubre una distancia de a metros de ancho en una pasada y requiere n pasadas para comprimir el espesor e , determinado en metros, se precisa que el rendimiento se puede calcular con la fórmula (Abecasis, y otros, 1987).

$$Q_{m^3/h} = C_u \cdot \frac{a \cdot v \cdot e}{n}$$

Ecuación N°16: Ecuación del Rendimiento del Compactador.

Donde C_u es un coeficiente de uso del compactador en sí, y que considera los tiempos muertos por maniobras, cambios de dirección, etc. Y esta propenso a variar de 0,6 a 0,8 de acuerdo a las condiciones de trabajo.

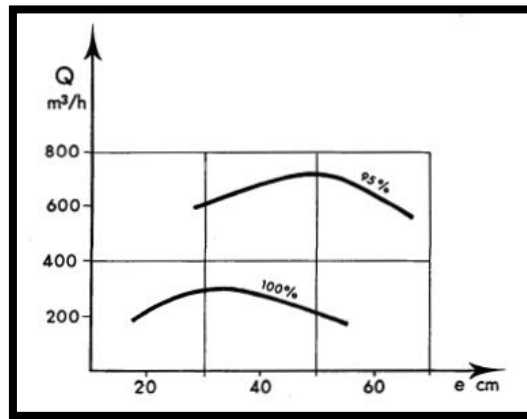
Cabe recordar que el rendimiento obtenido por la fórmula supone que al final de las enésimas pasadas se obtendrá la densidad dada sobre todo el espesor de la capa. Es dicha condición la que afecta el tipo y la humedad del suelo, por un lado, y la influencia de los parámetros de funcionamiento de la máquina, por otro.

Para un requisito de compactación solicitada, el rendimiento incrementa en proporción al espesor de cada una de las capas. En todos los casos (ver Figura 51) se alcanza un cierto espesor, del que se reduce el rendimiento por la necesidad de un número excesivo de pasadas. Para espesores aún mayores, puede que no sea posible lograr la

densidad. Cuanto mayor sea la densidad requerida, mayor será el espesor óptimo, como se refleja en las curvas de las figuras (Abecasis, y otros, 1987).

Figura 51

Diagrama Rendimiento de Compactador VS Espesor de Base



Nota. Tomado de “Sistematización de los medios de compactación y su control”, (Abecasis, y otros, 1987, p. 78).

En lo que respecta a la velocidad variable del compactador, su efecto sobre la densidad es muy diferente, depende mucho de que si la máquina tiene efecto estático o vibratorio. En la primera situación, la velocidad de traslación aumentada repercute a una pequeña disminución en la densidad media, con su distribución de profundidad dando un gradiente que es ligeramente más pronunciado que con velocidades más bajas.

En máquinas vibratorias, por el contrario, la incidencia de la velocidad sobre la densidad de compactación es determinante, porque el número de aplicaciones de esfuerzo dinámico, en cada pasada, es inversamente proporcional a dicha velocidad. Por ejemplo, un rodillo con una

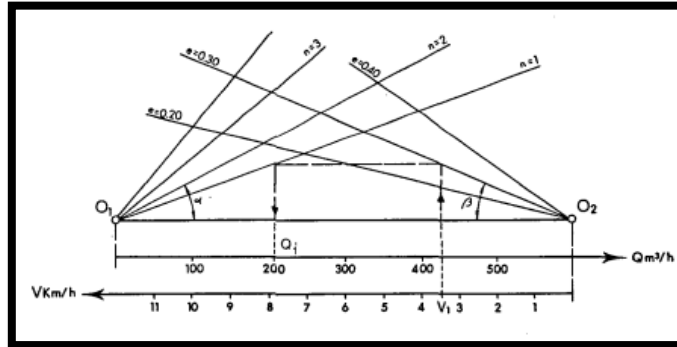
frecuencia de 30 Hz genera 36 impactos en cada metro lineal de avance, si se mueve a una velocidad de 3 km / h, mientras que, si se hace circular a 4,5 km / h, cada metro lineal solo recibirá 24 impactos en cada una de las pasadas.

Por tanto, y específicamente con máquinas vibratoras, existe una velocidad óptima, que genera el máximo rendimiento, alcanzando la densidad requerida con el mínimo número de pasadas, a espesores constantes. En general, se acepta que la velocidad óptima para compactadores de neumáticos está entre 3,5 y 5 km / h, y para vibradores, entre 2 y 3 km / h. para compactadores de mortero autopropulsados, se puede tomar como un promedio de 1 y 2 km / h, siempre que actúe solo como compactador, sin la hoja de distribución.

El cálculo del rendimiento máximo de un compactador es una propiedad compleja y requiere la implementación de secciones de prueba con valores variables de humedad, espesor, velocidad y número de pasadas de la máquina. Para cualquier combinación de estos tres últimos parámetros, el cálculo y comparación de los rendimientos obtenidos se puede facilitar construyendo un ábaco simple como el que se muestra en la figura 52 (Abecasis, y otros, 1987).

Figura 52

Diagrama Rendimiento de Compactador VS Velocidad de Equipo Compactador



Nota. Tomado de “Sistematización de los medios de compactación y su control”, (Abecasis, y otros, 1987, p. 79).

Consiste en el trazo dos haces de rectas, a partir de dos puntos O1 y O2, origen de rendimientos y velocidades, respectivamente. El primer haz, tomando $\text{tg}(\alpha)=n$, número de pasadas, y el segundo $\text{tg}(\beta)=a$, e, ancho de compactador por espesor de capa. De esta manera para una determinada velocidad V. basta levantar la vertical hasta el espesor deseado, después en horizontal hasta el número de pasadas y, desde dicho punto, en vertical puede verse el rendimiento correspondiente Q1 (Abecasis, y otros, 1987).

3.3.1.7. Factores involucrados en el Rendimiento de un compactador

Para dicha fórmula, se deben tener en cuenta factores de eficiencia del trabajo y altura. Los valores de velocidad, anchos de compactación, número de pasadas y espesor de capa dependen del tipo de compactador. Los valores referidos que se muestran en las tablas se proporcionarán a continuación de acuerdo con. (Lloret, 2009)

3.3.1.7.1. Velocidad de Operación.

En condiciones promedio se han de utilizar los Valores siguientes.

Tabla 13

Velocidad de Operación de Compactadores

Tipo de Compactador	Velocidad (km/hora)
Compactador Neumático	2.0 a 4.0 km/h
Rodillo Vibratorio (liso o pata de cabra)	2.5 a 4.5 km/h

Nota. Tomado de (Lloret, 2009).

Tabla 14

Ancho Efectivo de Compactación

Tipo de Compactador	Ancho Efectivo "W" (m)
Compactador Neumático	0.30 m
Rodillo Vibratorio (liso o pata de cabra)	0.20 m
Rodillo Vibratorio Pequeño	0.10 m

Nota. Tomado de (Lloret, 2009).

*Ancho de Rodillo menos ancho de traslape o "W".

3.3.1.7.2. Numero de Pasadas

Es el número de pasadas del compactador sobre la superficie, para la obtención de la densidad esperada, según precisa las especificaciones de obra. Si no contempla este valor, puede utilizarse los siguientes:

Tabla 15

Numero de Pasadas

Tipo de Compactador	Numero de Pasadas
Compactador Neumático	6 a 10 pasadas
Rodillo Vibratorio (liso o pata de cabra)	8 a 12 pasadas

Nota. Tomado de (Lloret, 2009)

3.3.1.7.3. Espesor de capa compactado.

El espesor es hallado de acuerdo a las especificaciones de obra, debido a estudios previos. Como valores generales, el espesor vario entre 0.15 a 0.5 m.

Para hallar la productividad se deben utilizar los valores antes mencionados en la siguiente formula:

$$P = \frac{WxVxExH}{N_{\text{corregido}}} = \frac{m^3}{\text{hora}}$$

Ecuación N°17: Ecuación del Productividad de Equipo Compactador.

Donde:

P= Productividad

W= Ancho de Efectivo de compactación

N corregido= N x (1+h)

N= Numero de pasadas

H= Espesor de capa

E= Factor de eficiencia de trabajo.

*Factor de Eficiencia de Trabajo Corresponde al valor de evaluación sobre los factores de uso del tiempo y habilidad del operador.

Tabla 16*Factor de Eficiencia de Trabajo*

Condiciones de Trabajo	"t"	"o"	"E"
Excelentes	60/60	1.0	1.0
Buenas	50/60	0.9	0.75
Regulares	45/60	0.8	0.60
Deficientes	40/60	0.7	0.47

Nota. Tomado de (Lloret, 2009)

3.3.1.7.4. Factor de Altura

Operar una máquina a grandes alturas puede provocar un descenso en la productividad debido a la pérdida de potencia en el motor. Esto significa que, debido a la altitud sobre el nivel del mar, el aumento del tiempo de ciclo es proporcional a la disminución de la potencia del motor de la máquina.

$$H = (\text{altura sobre el nivel del mar} - 1000 \text{ metros}) / 10000$$

3.4. Contexto y Dinámica de la Localidad

3.4.1.1. Descripción de la Localidad

Huancayo, una de las ciudades más importantes del Perú, se ubica en el centro del país y se ha considerado como una zona urbana con significativo crecimiento en la región, debido al incremento de condominios y áreas residenciales, nace la necesidad de tener ocupaciones urbanas, es decir, calles pavimentadas que faciliten el transporte de personas a sus centros de trabajo y hogar.

3.4.1.2. Política y Desarrollo de Vías Urbanas

La expansión de las vías urbanas está a cargo de los municipios distritales y provinciales. Actualmente hay una variedad de trabajos de pavimentación flexibles y rígidos disponibles dentro de la jurisdicción. La política de gestión actual tiene como objetivo intervenir de lleno en la construcción de las calles de la ciudad en el lugar. Paralelamente, se han desarrollado proyectos de inversión y documentación técnica para las calles de la ciudad, los cuales se elaboran bajo el régimen de normativa que regula el Ministerio de Transporte del Perú.

3.4.1.3. Dinámica esperada en la gestión de Vías Urbanas

Se cree que dentro de la gestión de las calles de la ciudad se pueda diseñar la organización del tránsito a futuro, de tal manera que las calles se utilicen de manera inteligente y no terminen en situaciones como Lima, la capital, que tiene un tránsito intolerable que aún no ha sido mitigado. espera que la administración intervenga de manera acorde con el mantenimiento necesario para satisfacer la necesidad de proporcionar vías urbanas óptimas a los residentes de la ciudad de Huancayo.

3.5. Definición de términos

Compactación de Suelos: El proceso mediante el cual las partículas se ven obligadas a entrar en mayor contacto entre sí, es el resultado de la compactación de suelo y materiales estabilizados.

La generalidad de este proceso es la vía Mecánica, el cual provoca la salida de aire de los poros. Todo el proceso en sí, se mide de manera cuantitativa de acuerdo a la

densidad seca del suelo (peso de las partículas sólidas del suelo por unidad de volumen).

Bases Granulares: El “Manual de Carreteras-Tomo II”, indica que los “suelos Granulares, está formado por partículas agregadas y sin cohesión entre sí, dado el considerable tamaño de las mismas, su origen radica principalmente en los procesos de meteorización física. ; lajamiento, termoclastia, hialoclastia o fenómenos de hidratación física, las características granulométricas están condicionados en su mayoría por el tipo de transporte, por consiguiente, un suelo de origen eólico tendrá uniformidad en el tamaño de partículas; si el transporte es fluvial, presentará un tamaño de partícula progresivo según la energía del ambiente; por el contrario, las principales características de este tipo de suelo es su buena capacidad portante y alta permeabilidad (Bañon, 2000).

Resistencia de Bases Granulares: Las propiedades básicas de resistencia de un suelo, como elemento en movimiento de tierras, y donde la compactación juega un papel muy importante, son la resistencia a los errores de esfuerzo cortante y la resistencia a la deformación bajo carga. El primero indica la capacidad del suelo para soportar cargas que actúan sobre su superficie y mantener las pendientes o la estabilidad de taludes, y el segundo para no deformarse excesivamente ante tensiones, muy inferiores a las fallas o roturas a las que estará sometido durante el servicio (Abecasis, y otros, 1987)

Energía específica de Compactación: La energía de compresión se define como una energía mecánica suministrada a la tierra por unidad de volumen, también conocida comúnmente como energía específica. De todos los factores que inciden en la compactación, destacan dos importantes: el contenido de agua del suelo antes de que se inicie el proceso de compactación y la energía específica utilizada en dicho proceso (López, 2009).

Control de la Energía Específica en los procesos de compactación de campo: La **noción** de energía específica conserva su valor fundamental completo cuando se relaciona con los procedimientos de compresión de campo. Cuando se utilizan rodillos, depende principalmente de la presión y la superficie de contacto entre el rodillo y el suelo, el grosor del rodamiento que se comprime y el número de pasadas del equipo (Rico, y otros, 1992).

CAPÍTULO III

HIPÓTESIS

5.1. Hipótesis General.

El control de la Energía Especifica produce efectos significativos en la optimización de la resistencia del proceso de compactación de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo.

5.2. Hipótesis Especificas.

- a) El control del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg produce efectos significativos en el Contenido de Humedad de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo.
- b) El control del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg produce efectos significativos en el Grado de Compactación de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo.
- c) El control del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg produce efectos significativos en el Contenido de Humedad de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo.
- d) El control del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg produce efectos significativos en el Grado de Compactación de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo.

5.3. Variables

5.3.1. Definición conceptual.

Variable independiente (X): Control de la Energía Especifica

“Se entiende por energía especifica de compactación la que se entrega al suelo por unidad de volumen durante un proceso mecánico de que se trate.”
(Rico, y otros, 1992, p. 156).

El concepto de energía específica conserva su pleno valor fundamental cuando se relaciona con procedimientos de compactación de campo. En el caso de uso de rodillos depende principalmente de la presión y el área de contacto entre el rodillo y el suelo, del espesor de la capa que se compacte y del número de pasadas del equipo (Rico, y otros, 1992).

Variable Dependiente (Y): Resistencia de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo.

El suelo utilizado como relleno en ingeniería (terraplenes, rellenos de cimentación, bases para caminos), se compacta a un estado denso para obtener propiedades indispensables de ingeniería tales como: resistencia al esfuerzo corte, compresibilidad o permeabilidad. También los suelos de cimentaciones son a menudo compactados para mejorar sus propiedades de ingeniería. Los ensayos de compactación en laboratorio proporcionan datos patrones para determinar el porcentaje de compactación y contenido de humedad que se necesitan para obtener las propiedades de ingeniería requeridas y para el control de la construcción para asegurar la obtención de la compactación requerida y los contenidos de agua.

5.3.2. Definición operacional.

Variable Independiente (X): Control de la Energía Específica en el Proceso de compactación de campo.

- Rodillo Liso Vibratorio de 11,247.00 kg.
- Rodillo Liso Vibratorio de 12,002.00 kg.

Variable dependiente (Y): Resistencia de Bases Granulares en Pavimentos Urbanos.

- Contenido de Humedad.
- Grado de Compactación.

CAPÍTULO IV

METODOLOGÍA

6.1. Método de Investigación

El método Usado en la presente investigación fue el Método Científico, El método científico es un procedimiento tentativo, verificable, de razonamiento riguroso y observación empírica, utilizado para descubrir nuevos conocimientos a partir de nuestras impresiones, opiniones o conjeturas examinando las mejores evidencias disponibles a favor y en contra de ellas (Veliz, 2001).

El método científico utilizado en función a la dependencia de los procedimientos durante el desarrollo del Estudio fue el Método Inductivo ya que se usó un razonamiento que analiza una parte de un todo y va desde lo particular a lo general, o de lo individual a lo universal. Es un método de investigación empírico que parte de la observación casuística de un fenómeno, hecho, evento o circunstancia para analizarlo, lo que permite formular conclusiones de carácter general que suelen convertirse en leyes, teorías y postulados. De esta forma sus conclusiones son de carácter general.

El método de Inducción – Deducción fue aplicado al analizar el proceso desde lo más particular que fue el control de uno de los factores más importantes en el Proceso de Compactación de campo que viene a ser la Energía Especifica a lo general que vino a ser la optimización de la Resistencia de la Base Granular del Pavimento Urbano de la Av. Orión.

El método específico utilizado fue el Método Experimental ya que se organizó deliberadamente condiciones de acuerdo a un plan previo, con el fin de investigar las posibles relaciones de causa efecto exponiendo al grupo experimental a la acción de una variable experimental y contrastando resultados con grupos de control.

6.2. Tipo de Investigación

La Presente investigación fue de Tipo Aplicada, Según el Ing. Manual Borja Suarez la Investigación aplicada, busca conocer, actuar, construir y modificar una realidad problemática. Está más interesada en la aplicación inmediata sobre una problemática antes que el desarrollo de un conocimiento de valor universal. Los proyectos de ingeniería civil están ubicados dentro de este tipo de clasificación, siempre y cuando solucionen alguna problemática. Por Ejemplo: “Diseño de una cimentación para suelos arenosos”, “Propuesta para el relleno sanitario de Chiclayo”, “Análisis Estructural para la ampliación del Puente Reque”, etc.

De acuerdo a los tipos de datos analizados el presente estudio es una investigación Cuantitativa ya que para plantear una forma confiable para conocer la realidad se opta por la recolección y análisis de datos, con lo que se podría contestar las preguntas de la investigación y probar las hipótesis. Este tipo de investigación confía en la medición numérica, el conteo y frecuentemente en el uso de la estadística para establecer con exactitud patrones de comportamiento en una población.

6.3. Nivel de Investigación

El nivel de investigación fue Explicativo, ya que de acuerdo a Hernández (2014), una investigación de nivel explicativa va más allá de la descripción de un fenómeno, ya que está dirigido a responder las causales de dichos fenómenos y explicar porque y en qué condiciones se manifiestan dicho fenómeno.

El objetivo de nuestro estudio fue explicar la influencia que tuvo el control de la energía específica en la optimización de la resistencia del proceso de compactación en bases granulares en la localidad de Huancayo.

6.4. Diseño de la Investigación

El diseño establecido fue el Experimental siguiendo a Hernández y otros (2010), La esencia del diseño experimental se refiere a la elección o realización de una acción para después observar las consecuencias o analizar sus posibles resultados, el cual se da cuando se mezcla sustancias químicas y se observa reacción o efecto provocado, los experimentos de laboratorio se realizan en condiciones controladas.

El presente estudio cumple con los Tres requisitos principales para que una investigación sea de tipo experimental (Borja, 2012):

- Manipulación intencional de las variables dependientes
- Presencia-ausencia
- Intensidad
- Modalidad.

El Diseño establecido para la presente investigación fue Cuasi-Experimental. Se llaman así a los experimentos en los cuales los grupos de estudio no han sido escogidos al azar porque ya estaban formados de esa manera antes de la investigación.

La Modalidad empleada fue del Estudio series cronológicas con repetición del estímulo (varias post-pruebas en el tiempo): En este caso el estímulo se aplica varias veces en el tiempo para poder apreciar el efecto sobre la variable dependiente. (Borja, 2012).

$$\begin{aligned} O_1 &\rightarrow M_1 \rightarrow X_1 \rightarrow M_2 \rightarrow X_2 \rightarrow M_3 \dots \rightarrow X_n \dots \rightarrow \dots M_n \\ O_2 &\rightarrow M_1 \rightarrow -X_1 \rightarrow M_2 \rightarrow -X_2 \rightarrow M_3 \dots \rightarrow -X_n \dots \rightarrow \dots M_n \end{aligned}$$

Esquema de Modalidad Post-Prueba

Se optó por este modelo experimental ya que se tuvo dos Objetos de estudio que fueron el control del Rodillo Liso vibratorio de 11,247.00 kg y 12,002.00 kg en cada caso el estímulo determinado por el número de pasadas estáticas, vibradas y mixtas fueron aplicadas varias veces hasta llegar al parámetro de resistencia de bases granulares requeridas en la Norma CE.010.

En conclusión, El diseño de la investigación según la metodología de investigación fue experimental del tipo cuasi experimental; experimental porque se realizaron ensayos en laboratorio y en campo, donde se pudo avaluar los resultados de Proctor, Densidad de Campo y Grado de Compactación, manipulando los factores como el Rodillo Vibratorio para la compactación de campo en la Avenida Orión, fue cuasi experimental por que los grupos no fueron escogidos al azar.

6.5. Población y Muestra

6.5.1. Población

La población estuvo conformada por la Base granular de 09 Cuadras de la Avenida Orión, compuesta por el tramo: Jr. Boreal-Av. Circunvalación, ubicada en el Distrito de Huancayo, de la Provincia de Huancayo, Región Junín.

Ubicación Política

Departamento/Región: Junín

Provincia : Huancayo

Distrito : Huancayo

Zona : R3-A

Sector : Ce

Ubicación : Avenida Orión

Lugar : Cooperativa Santa Isabel

Código Ubigeo : 120101

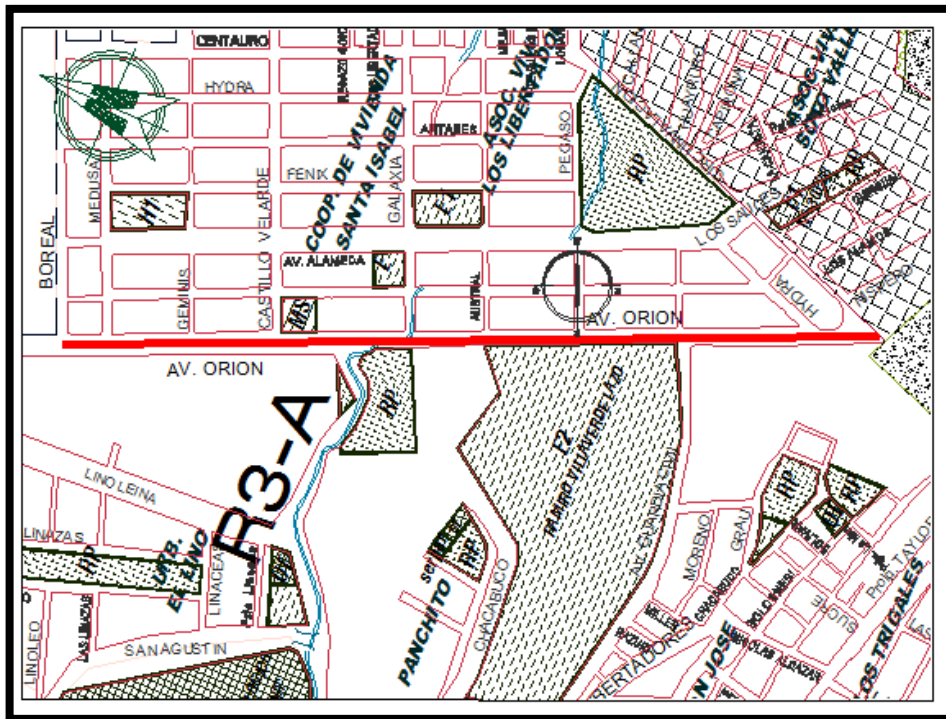
Ubicación Geográfica

Coordenadas UTM : E: 479,434.97, N: 8'667,110.07.

Altitud : 3326.44 msnm.

Figura 53

Croquis de la Ubicación del Proyecto de Pavimentación Rígida en la Avenida Orión



Nota. Fuente: Expediente técnico de la obra: “Mejoramiento de Pistas y Veredas de la Av. Orión, Tramo (Circunvalación-Jr. Boreal) Junta Vecinal Cooperativa Santa Isabel, Huancayo, Provincia de Huancayo-Junín”

6.5.2. Muestra

Al momento de elegir nuestra muestra tomamos en cuenta los objetivos de la investigación y de la contribución que se pensó en hacer con ella.

Muestreo

El muestreo fue no probabilístico, ya que todo integrante de la población no tuvo una probabilidad determinada conocida, de conformar la muestra. Los criterios para seleccionar la muestra no son estadísticos, son racionales, por eso no se tiene idea del error que se están introduciendo en la muestra. Estas muestras son las menos confiables, pero las más frecuentes, por ser más económicas y, algunas veces, más convenientes.

El tipo de muestreo fue por juicio, intencional o llamado por conveniencia, considerado como el mejor tipo de muestreo no probabilístico, se realizó en base al conocimiento y criterio del investigador. Se basó, primordialmente en la experiencia con la población de estudio.

Muestra

El Tamaño de la Muestra muchas veces se limita por el costo que involucra, o por el tiempo disponible para la investigación.

Se optó por el cálculo de población finita (menos de 100,000 elementos) para nuestra investigación:

Para ello se utilizó de la siguiente formula:

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot q \cdot N}{e^2(N - 1) + Z^2 \cdot p \cdot q}$$

Donde:

Z: Coeficiente de confiabilidad

n: Tamaño de la muestra

p= Probabilidad que la hipótesis sea verdadera

q= (1-p) Probabilidad de No ocurrencia de la hipótesis

e = Error estimado por estudiar una muestra en lugar de toda la población

N: Tamaño de la Población o Universo

Datos de Nivel de Confianza

Nivel de confianza (%)	Coeficiente de confiabilidad (Z)
99	2.58
98	2.33
97	2.17
96	2.05
95	1.96
90	1.65
80	1.28
50	0.67

Nota. Tomado de (Borja, 2012).

Para el cálculo se utilizó un nivel de confianza de 95, para una probabilidad de ocurrencia y no ocurrencia de la hipótesis de 0.5, un error estimado de 0.05. Como resultado se tiene un Numero de Muestra de 3 Cuadras con las cuales se trabajó.

Por lo que el tamaño de la Muestra corresponde a tres Cuadras Compuesta por Base Granular de 0.20 centímetros de espesor de pavimentación Urbana en la Av. Orión, Localidad de Huancayo.

Nuestra muestra fue representativa ya que se consideró los siguientes aspectos:

- Representatividad: Nuestra muestra tuvo las mismas características o propiedades que el material en estudio. El grado de semejanza entre las muestras y el material en estudio se determinaron por las características a estudiar y por las técnicas analíticas usadas.

- **Tamaño de la Muestra:** se seleccionó cuidadosamente con base en las propiedades físicas de la matriz y los requerimientos y/o limitaciones del muestreo y las técnicas de análisis.
- **Número y/o frecuencias del sub muestreo:** estas consideraciones se basaron en el tipo de información estadística que se deseó y en la naturaleza del material recolectado.
- **Mantenimiento de la integridad de las muestras:** la muestra conservo las propiedades de las condiciones originales en el sitio (al tiempo del muestreo). Durante la colección, transporte y entrega del analista.

Dentro de los aspectos de inclusión y exclusión de la Muestra se consideró lo siguiente:

Inclusión: Se eligió un subgrupo (Tres Cuadras) de todas las cuadras de la Av. Orión como pavimento Urbano en la que la elección de los elementos no dependió de la probabilidad sino de las características de la investigación.

Exclusión: Se Excluyeron aquellos subgrupos (Cuadras) que no tuvieron la variable de estudio en este caso material granular de otra cantera.

En conclusión, la muestra brindada para la presente investigación fue dirigida e intencionada de acuerdo a los propósitos de la investigación, se tomó como muestra la base granular de 03 Cuadras de la Avenida Orión compuesta por el tramo: Jr. Medusa-Jr. Galaxia.

6.6. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

6.6.1. Técnicas

Las técnicas en general que se emplearon estuvieron comprendidas por la revisión de la información referida a obra, inspección de campo, toma de

muestreos, ejecución de ensayos de laboratorio, análisis de los resultados de laboratorio y la obtención de los resultados con su respectiva discusión.

6.6.1.1. Recopilación de Información bibliográfica

Para lograr el objetivo de la investigación se usó la técnica de La Observación la Cual se describe en las siguientes actividades realizadas:

- Ejecución del Ensayo Proctor Modificado en Laboratorio. Se realizó el ensayo al inicio del proceso de experimentación con el objetivo de tener datos patrones (Contenido Optimo de Humedad y Máxima Densidad Seca) de resistencia al momento de ejecutar la manipulación de las variables. (Medición Preprueba)
- Recolección de Datos en el Formato del Anexo denominado Data de Procesamiento de datos (Ver Página 445). Mediante el Formato elaborado se pudo tomar los datos iniciales y finales en el Proceso de ejecución de la Experimentación. (Aplicación de Estimulo).
- Ejecución del Ensayo de Carburo de Calcio y Cono de Arena para el Cálculo del Contenido de Humedad y grado de Compactación de Base en Campo. Se realizó el ensayo en la parte final del proceso de experimentación con el objetivo de obtener datos finales (Contenido Optimo de Humedad y Máxima Densidad Seca) los cuales fueron comparados con los datos patrones y evaluar las variables manipuladas en el control de la energía específica y así lograr la optimización de la resistencia de bases granulares. (Medición Post-prueba).
- Comparación de datos finales del Grado de Compactación con los Controles Estipulados en la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos, con el objetivo de analizar el logro del objetivo en la optimización de la resistencia de bases de pavimentos urbanos en la Localidad de Huancayo.

6.6.2. Instrumentos de Recolección de datos.

Para lograr el objetivo de la investigación se usaron los siguientes instrumentos de recolección de datos.

- NTP 339.141:1999 (SUELOS. Método de Ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 KN-m/m³, 56000pie.lbf/pie³).
- Formato de Recolección de Datos. (Elaboración Propia), Hoja de cálculo de Excel.
- NTP 339.143:1999 (SUELOS. Método de Ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in situ mediante el método del cono de arena).
- NTP 339.150:1999 (SUELOS. Método de Ensayo para la determinación en campo del contenido de humedad, por el método de presión del gas carburo de calcio).
- Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma CE.010 Pavimentos Urbanos.

6.6.3. Validación de los instrumentos y recolección de datos.

- Para la realización de los Ensayos se contrató los servicios de la Empresa GICA (SERVICE CONSTRUCTION AND GEOTECHNICAL ENGINEERING E.I.R.L.).
- Se pudo verificar la validación de resultados mediante certificados de calibración de equipos de ensayos.
- Validación con Antecedentes de datos similares.

6.7. Técnicas de procesamiento y análisis de Datos.

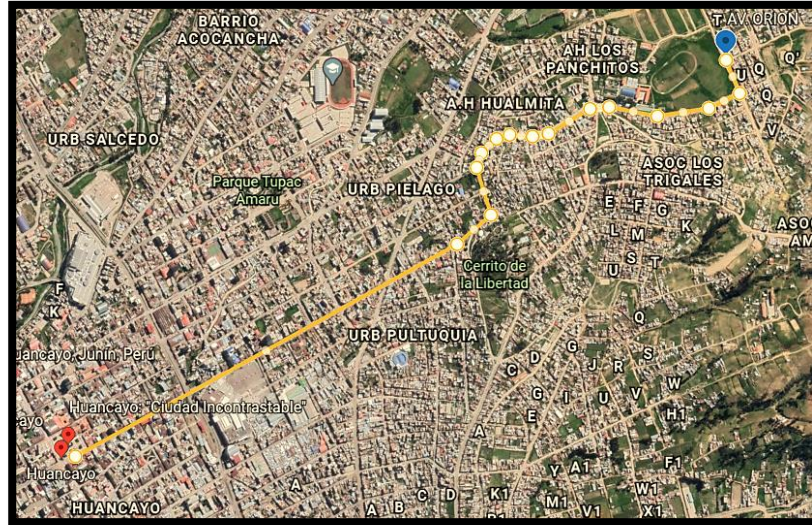
6.7.1. Fase Pre campo

6.7.1.1. Recopilación de Información bibliográfica

Antes de realizar los trabajos de campo se procedió a identificar una obra de Infraestructura Vial que estuviera en pleno Proceso de ejecución, para ello tuvimos que buscar información en las redes sociales de Municipalidades de la Localidad de Huancayo sobre proyectos viales que serían programados para su reinicio ante la paralización por la Pandemia del COVID-2019. El día Primero de Agosto del 2020 se pudo encontrar la Obra que cumplía lo descrito en el presente estudio. Solicitamos el permiso necesario sustentando los trabajos que se realizarían en la obra como parte de la experimentación de la presente Tesis, el Residente de Obra Ing. Miriam Villafuerte Pacheco, Accedió amablemente para poder desarrollar la investigación. La obra denominada “Mejoramiento de Pistas y Veredas de la Av. Orión, Tramo (Circunvalación-Jr. Boreal) Junta Vecinal Cooperativa Santa Isabel, Huancayo, Provincia de Huancayo-Junín”, se encuentra ubicada a 2.94 km desde el Parque Constitución, conformando la zonificación R3, donde la Av. Orión se denomina como Vía Urbana de la Localidad de Huancayo.

Figura 54

Ubicación de la Obra: “Mejoramiento de Pistas y Veredas de la Av. Orión, Tramo (Circunvalación-Jr. Boreal) Junta Vecinal Cooperativa Santa Isabel, Huancayo, Provincia de Huancayo-Junín”

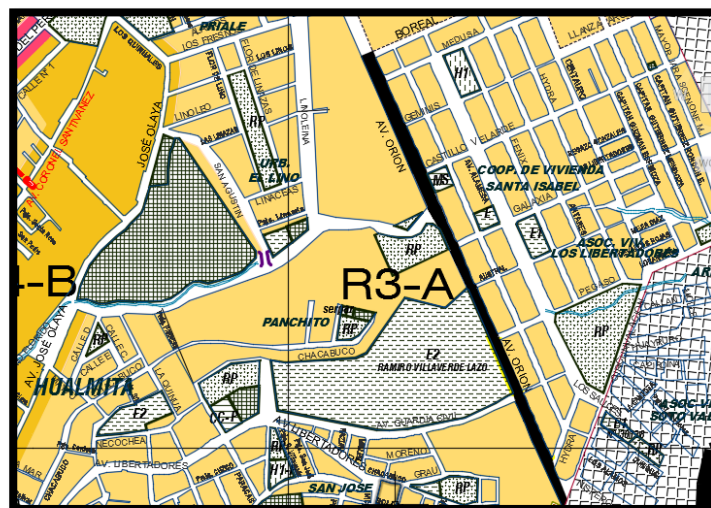


Nota. Fuente: Google Earth.

La Ubicación de la Avenida Orión se encuentra en la Zonificación denominada R3-A (Residencial Media Baja) según el PDHU 2006-2011-II MODIFICADA.

Figura 55

Zonificación de la Av. Orión



Nota. Fuente: PDHU 2006-2011-II MODIFICADA

6.7.1.2. Estudio del Expediente Técnico

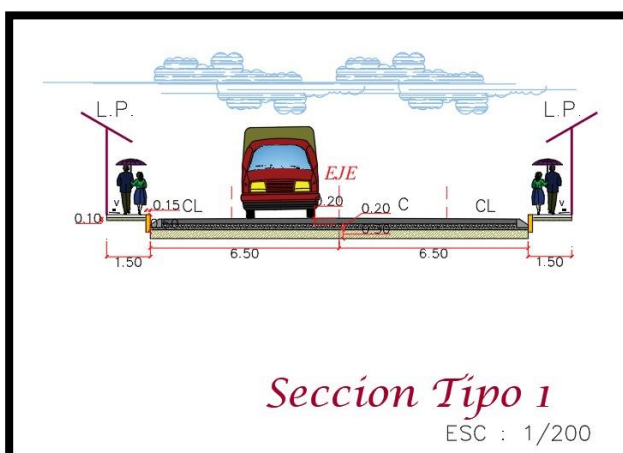
Dentro del Análisis del Expediente Técnico se pudo evaluar la siguiente Información:

El trabajo constructivo se basa esencialmente en el Mejoramiento de Pistas y Veredas de la Av. Orión, Tramo: Circunvalación-Jr. Boreal, Junta Vecinal Cooperativa Santa Isabel, en el Distrito y Provincia de Huancayo.

En la Revisión de la Memoria descriptiva se pudo analizar la conformación del Pavimento que a continuación se presenta.

Figura 56

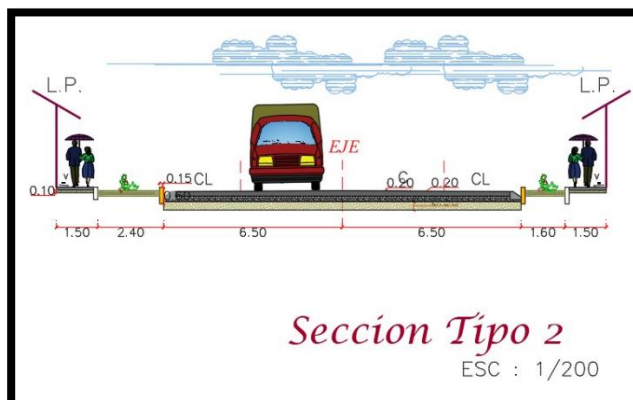
Sección Tipo I



Nota. Fuente: Expediente técnico de la obra: “Mejoramiento de Pistas y Veredas de la Av. Orión, Tramo (Circunvalación-Jr. Boreal) Junta Vecinal Cooperativa Santa Isabel, Huancayo, Provincia de Huancayo-Junín”

Figura 57

Sección Tipo II



Nota. Fuente: Expediente técnico de la obra: “Mejoramiento de Pistas y Veredas de la Av. Orión, Tramo (Circunvalación-Jr. Boreal) Junta Vecinal Cooperativa Santa Isabel, Huancayo, Provincia de Huancayo-Junín”

La sección de pavimento está conformada por 30 cm de material para mejoramiento, 20 cm compuesta de material seleccionado para base y 20 cm de Pavimento Rígido 280 kg/cm².

Sobre la Información de las Canteras seleccionadas como centros de aportes de material para base se informa que Actualmente la Municipalidad Provincial de Huancayo no cuenta con cantera propia, por lo que se viene comprando material granular para las obras. El costo del material granular en obra se calcula considerando la extracción, selección, carguío, transporte y además del precio del material en cantera.

6.7.1.3. Elaboración de los instrumentos de recolección de datos

- Se elaboró formatos en la cual se tomó el control de datos específicos en cada ciclo de trabajo como peso, velocidad, tipo de pasadas (Estático o Vibrado), Numero de revoluciones, Numero de Pasadas de Rodillo.
- Se elaboró Instrumentos para la evaluación de la Humedad en del Material en Campo y el cálculo del Grado de Compactación en cada Punto.
- Se elaboró instrumentos para la evaluación de las Pasadas de Rodillo Liso Vibratorio y el cálculo de las Densidades en campo.

6.7.2. Fase Campo

6.7.2.1. Reconocimiento de la vía en estudio

Se realizó la visita a la vía de estudio para realizar el recorrido correspondiente, con la finalidad de observar las características técnicas que presenta, como el número de carriles y sentidos, presencia de trabajos iniciados y procesos constructivos.

6.7.2.2. Asignación de Tramos de Estudio

El Estudio se Realizó en la Av. Orión Tramo: Jr. Medusa-Jr. Galaxia (Tres cuadras). Correspondiente a las progresivas 00+000 km – 00+300 km, asignadas para nuestra investigación.

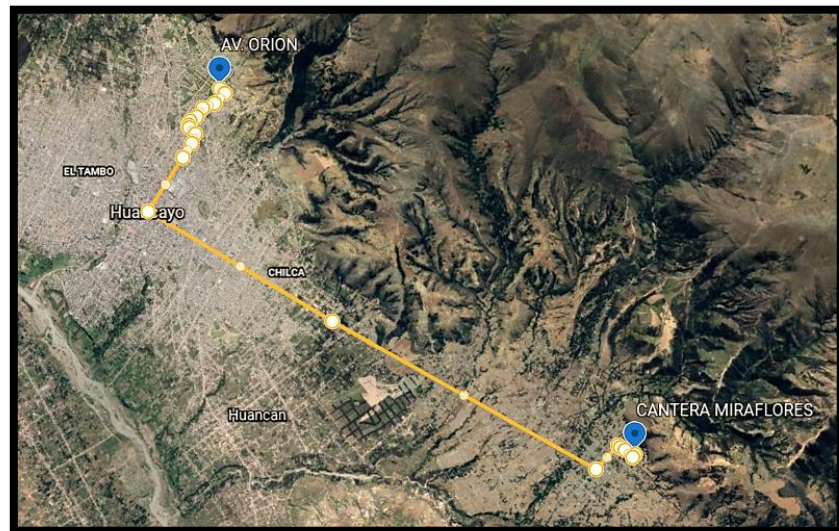
- *Primer Tramo: Jr. Medusa-Jr. Géminis (000+000-000+100)*
- *Segundo Tramo: Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde (000+100-000+200)*
- *Tercer Tramo: Jr. Castillo Verde-Jr. Galaxia (000+200-000+300)*

6.7.2.3. **Cantera**

Se realizó la Visita a la Cantera donde se extrajo el material de base seleccionado. La cantera se Ubica en la Localidad de Sapallanga, Miraflores-Huancayo. La cantera seleccionada por la Residencia de Obra se ubica a 13.73 km de la Av. Orión.

Figura 58

Ubicación de la Cantera Miraflores, Sapallanga-Huancayo.



Nota. Fuente: Google Earth.

6.7.2.4. **Trabajos realizados en el laboratorio**

Con el permiso de la Residencia de Obra se pudo obtener la cantidad necesaria de material de base seleccionado de la cantera para la elaboración de los ensayos de Laboratorio como: ensayos de análisis granulométrico por tamizado (NTP 400.012 - 400.018 - 400.010,

Sección 305 de las EG-2000 del MTC) y ensayos de compactación (MTC E115)

6.7.2.4.1. Presentación de Resultados de laboratorio.

Ensayo Granulométrico

El procedimiento aplicado para hacer realidad el presente ensayo estuvo de acuerdo al Manual de Ensayos de Materiales-2016 (E 204) “ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE MATERIAL DE BASE”, del cual en la tabla N° 17 se muestra el resultado del análisis granulométrico del Material de Base que produce la Cantera Miraflores, donde se observa que los agregados pasan por los tamices indicados cumpliendo satisfactoriamente con las especificaciones que establece la Sección 305 de las EG-2000 del MTC.

Tabla 17

Análisis Granulométrico del Material de Base.

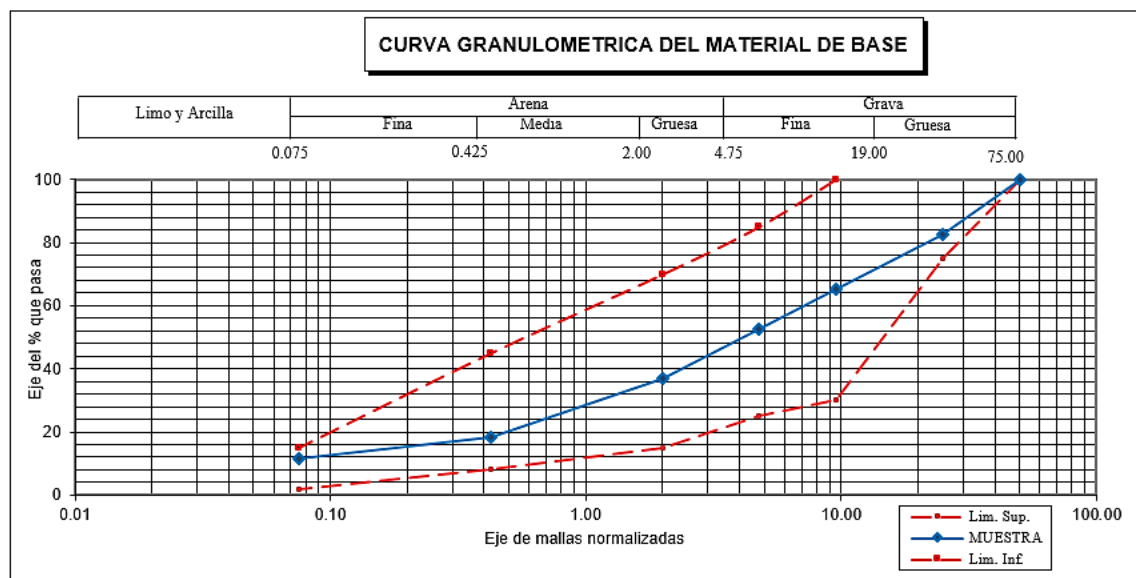
Tamiz	Abertura del Tamiz	% Que Pasa	Sección 305 de las EG-2000 del MTC	
			Requerimientos Granulométricos para Base Granular	
			Mínimo	Máximo
(2")	50 mm	100	100	100
(1")	25 mm	82.5	75	100
(3/8)	9.5 mm	65.1	30	100
(N°4)	4.75 mm	52.6	25	85
(N°10)	2.0 mm	36.8	15	70
(N° 40)	425 um	18.2	8	45
(N° 200)	75 um	11.4	2	15
Fondo		0		

Nota: Fuente: Elaboración propia – resultados de laboratorio.

*Granulometría del Material de Base de la Cantera Miraflores.

Figura 59

Curva Granulométrica del Material de Base



Nota. Fuente: Elaboración propia – resultados de laboratorio.

Tabla 18

Clasificación de Suelos de Material de Base.

Clasificación de Material de Base	
Clasificación SUCS:	Grava mal gradada con limo y arena (GP-GM)
Clasificación AASHTO:	A-1-a (0)

Nota. Fuente: Elaboración propia – resultados de laboratorio.

Ensayo de Compactación - Proctor Modificado

El procedimiento aplicado para hacer realidad el presente ensayo estuvo de acuerdo a la NTP 339.141:1999 Método de Ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada, del cual en la tabla N° 29 se muestra el resultado del ensayo Proctor Modificado del Material de Base que produce la

Cantera Miraflores, donde se observa que los agregados pasan por los tamices cumplen satisfactoriamente con las especificaciones que establece la Sección 305 de las EG-2000 del MTC.

Tabla 19

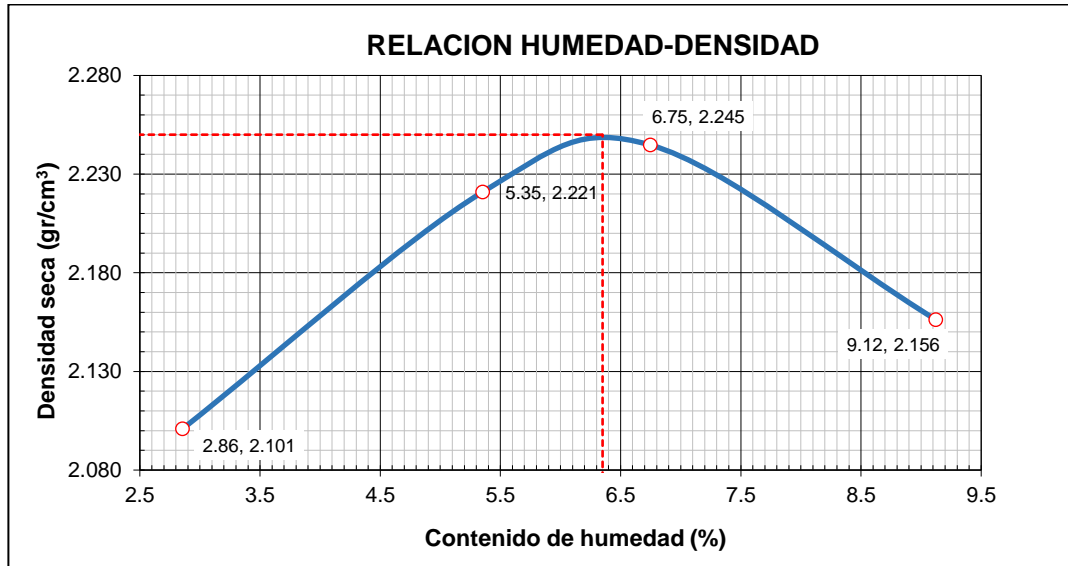
Análisis del Ensayo de Proctor del Material de Base.

Volumen del Molde (cm ³): 2125		Peso del Molde (gr.): 3200			Método
		"C"			
Numero de ensayos	gr	1	2	3	4
Peso suelo compactado + molde	gr	7792.00	8172.00	8292.00	8200.00
Peso suelo húmedo compactado	gr	4592.00	4972.00	5092.00	5000.00
Peso volumétrico húmedo	cm ³	2.161	2.340	2.396	2.353
Contenido de Humedad					
Recipiente Nro.		1	2	3	4
Peso suelo húmedo + tara	gr	443.20	416.50	529.40	461.70
Peso suelo seco + tara	gr	434.00	400.90	502.70	432.53
Peso de la tara	gr	111.90	109.40	107.00	112.80
Peso de agua	gr	9.20	15.60	26.70	29.17
Peso de suelo seco	gr	322.10	291.50	395.70	319.73
Contenido de agua	%	2.86	5.35	6.75	9.12
Peso volumétrico seco	gr/cm ³	2.101	2.221	2.245	2.156

Nota. Fuente: Elaboración Propia - resultados de laboratorio.

Figura 60

Curva Proctor del Material de Base



Nota. Fuente: Elaboración Propia - resultados de laboratorio.

Tabla 20

Datos Obtenidos de la Curva de Proctor.

Densidad Máxima seca:	2.255
	gr/cm ³
Humedad Óptima:	6.35%

Nota. Fuente: Elaboración Propia - resultados de laboratorio.

6.7.2.5. Verificación de la Densidad de Material para mejoramiento de la Sub Rasante (tiene que cumplir con la normativa)

Ensayo de Proctor (95%). Se verifico la compactación del Material Seleccionado para el mejoramiento de la Sub Rasante.

El material de préstamo utilizado como material de mejoramiento de sub rasante logro cumplir con los parámetros de la normativa en los requerimientos de Densidad de Campo.

6.7.2.6. Reconocimiento del Equipo Compactador (Ficha Técnica)

Se tuvo en campo dos compactadores para el Proceso de experimentación del control de la energía específica, cabe mencionar que uno de ellos fue el que se utilizó en obra y el otro fue el que se alquiló por parte del tesista para los objetivos de la tesis.

Tabla 21

Especificaciones Técnicas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 Kg

Rodillo Liso Vibratorio	
Marca	Ingersoll Rand
Peso	11,247 kg.
Ancho de tambor	2.13 m
Año de fabricación	2010

Nota. Fuente: Elaboración propia

Tabla 22

Especificaciones Técnicas de Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg

Rodillo Liso Vibratorio	
Marca	Ingersoll Rand
Peso	12,002 kg
Ancho de tambor	2.13 m
Año de fabricación	2015

Nota. Fuente: Elaboración propia

6.7.2.7. Verificación del Tendido del Material y composición del espesor de Base.

Para el transporte del material granular seleccionado a obra se tuvo en consideración las siguientes actividades:

- Carguío del material seleccionado

- Transporte del material seleccionado
- Vaciado del material seleccionado

Cabe Precisar que se tuvo el mayor cuidado al trasportar el material ya que se cubrió para que el material no fuera alterado.

Para la verificación del tenido y conformación del espesor de la base de estudio se tuvo en consideración las siguientes actividades:

- Material de Base vaciado en el ancho de las calles de estudio.
- Material de Base dejado en toda la longitud de la Vía de Estudio.
- Extendido de Material de Base dejado en toda la longitud de la Vía de Estudio.
- Batido del Material de Base dejado en toda la longitud de la Vía de Estudio.
- Tendido de Material de Base al 100%.
- Verificación de la conformación de base de 20 cm.

6.7.2.8. Verificación de Pasadas de Cisterna.

Verificación de Pasadas de Cisterna (Criterio y evaluación de la humedad del agregado). Para el riego del material seleccionado se usaron dos tipos de cisterna en Obra.

- Cisterna Azul capacidad de 2,000.00 Litros.
- Cisterna Blanca capacidad de 1,200.00 Litros.

Para el primer tramo se realizó 02 ciclos, un total de 04 pasadas de Cisterna en total. Se controló la temperatura y el horario de riego de la cisterna en el primer tramo.

Para el segundo tramo se realizó 02 ciclos, un total de 04 pasadas de Cisterna en total. Se controló la temperatura y el horario de riego de la cisterna en el segundo tramo.

Para el Tercer tramo se realizó 02 ciclos, un total de 04 pasadas de Cisterna en total. Se controló la temperatura y el horario de riego de la cisterna en el Tercer tramo

6.7.2.9. Verificación del Proceso de Compactación.

Antes de Iniciar el Proceso de Compactación se determinó las características de trabajo de cada rodillo liso vibratorio para tener parámetros estándar de medición.

Se elaboró el formato establecido para el cálculo de características técnicas de la compactación del rodillo liso vibratorio. A continuación, se da a conocer los datos del formato establecido

Equipo 01: rodillo liso vibratorio de 11,247 kg.

MARCA: INGERSOLL RAND

PESO: 11,247 KG.

ANCHO DE TAMBOR: 2.135 m

Compactación estática

la presión lineal:

Carga sobre el eje (kg): 11,247 kg.

Ancho del tambor (cm): 213.5 cm.

Presión Lineal Estática: 52.68 kg/cm.

La velocidad de trabajo de rodillo:

Para realizar el correspondiente análisis en condiciones similares con la compactación dinámica se asume una velocidad de 3 km/hr por cada pasada de rodillo liso vibratorio.

Compactación dinámica:
fuerza centrífuga

Tabla 23

Ficha Técnica del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg.

Rodillo	
Ancho del rodillo	2135 mm
Diámetro del rodillo	1400 mm
Frecuencia de vibraciones 1	31 Hz
Amplitud baja nominal	0.41 mm
Fuerza centrífuga baja	39 kN
Frecuencia de vibraciones 2	42 Hz
Amplitud alta nominal	0.89 mm
Fuerza centrífuga alta	160 kN

Nota. Fuente: Elaboración propia - especificaciones técnicas de la maquinaria.

*Se considerará la fuerza centrífuga alta de: 160 kN. Según las especificaciones de la maquinaria

La frecuencia del excitador:

La frecuencia del excitador se toma en función a la siguiente Cita: En el caso de los rodillos, para alcanzar buenos resultados en la compactación tanto de materiales finos como también gruesos y para ofrecer una gama lo más amplia en las aplicaciones y usos, se deberá hacer un compromiso en lo que respecta a la frecuencia. Las frecuencias de rodillos se mueven por lo general dentro del orden de aproximadamente 40 a 85 Hz. (Ruiz A. Rendimiento y

Costos en la Maquinaria de Compactación [Postgrado]. Universidad Austral de Chile; Pág. 71, 2002.)

En Consideración a lo expuesto, se consideró una frecuencia de excitador de 40 Hz.

La amplitud nominal:

La amplitud nominal se asigna de acuerdo a la Tabla N° 20 Ficha Técnica del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg. Teniendo en consideración una amplitud alta nominal de: 0.89 mm.

La Presión Lineal Dinámica:

Fuerza Centrífuga: 160 kn

Ancho de tambor: 213.5 cm

Presión Lineal Dinámica: 0.75 kn/cm

La velocidad de trabajo de rodillo:

La velocidad de trabajo de Rodillo se toma en función a la siguiente Cita: En general se pueden recomendar las siguientes velocidades de trabajo: Velocidades entre 1 y 4 km/h para la compactación de suelos. (Ruiz A. Rendimiento y Costos en la Maquinaria de Compactación [Postgrado]. Universidad Austral de Chile; Pág. 74, 2002.).

La velocidad de trabajo de rodillo será de 3 km/h.

Tabla 24

Resumen de Características Técnicas - Estáticas del Equipo de Compactación 01.

Compactacion Estatica	
Equipo 01:	Rodillo liso vibratorio
Marca:	Ingersoll Rand
Año de fabricacion:	2010
Peso	11,247 kg
Ancho de tambor	2.135 m
Presion lineal:	52.68 kg/cm
Velocidad de trabajo:	3 km/h

Nota. Fuente: Elaboración propia - especificaciones técnicas de la maquinaria.

Tabla 25

Resumen de Características Técnicas Vibradas del Equipo de Compactación 01.

Compactacion Dinamica	
Equipo 01:	Rodillo liso vibratorio
Marca:	Ingersoll Rand
Año de fabricacion:	2010
Peso util:	11,247 kg
Ancho de tambor	2.135 m
Fuerza centrifuga:	160 kn
Frecuencia del excitador	40 Hz
Amplitud nominal	0.89 mm
Presion lineal dinamica:	0.75 kn/cm
Velocidad de trabajo:	3 km/h

Nota. Fuente: Elaboración propia - especificaciones técnicas de la maquinaria.

Equipo 02: rodillo liso vibratorio de 12,002 kg.

MARCA: INGERSOLL RAND

PESO ÚTIL: 12,002 KG.

ANCHO DE TAMBOR: 2.135 m

Compactación estática

La presión lineal:

Carga sobre el eje (kg): 12,002 kg.

Ancho del tambor (cm): 213.5 cm.

Presión Lineal Estática: 56.22 kg/cm.

La velocidad de trabajo de rodillo:

Para realizar el correspondiente análisis en condiciones similares con la compactación dinámica se asume una velocidad de 3 km/hr por cada pasada de rodillo liso vibratorio.

Compactación dinámica:

Fuerza centrífuga

Tabla 26

Ficha Técnica del Rodillo Liso Vibratorio de 12, 002 kg.

Rodillo	
Ancho del rodillo	2135 mm
Diámetro del rodillo	1400 mm
Frecuencia de vibraciones 1	30.9 Hz
Amplitud alta nominal	1.9 mm
Fuerza centrífuga alta	281 kN
Frecuencia de vibraciones 2	33.8 Hz
Amplitud baja nominal	1.2 mm
Fuerza centrífuga baja	206 kN

Nota. Fuente: Elaboración propia - especificaciones técnicas de la maquinaria

*Se considerará la fuerza centrífuga alta de: 206 kN. Según las especificaciones de la maquinaria

La frecuencia del excitador:

La frecuencia del excitador se toma en función a la siguiente Cita: En el caso de los rodillos, para alcanzar buenos resultados en la compactación tanto de materiales finos como también gruesos y para ofrecer una gama lo más amplia en las aplicaciones y usos, se deberá hacer un compromiso en lo que respecta a la frecuencia. Las frecuencias de rodillos se mueven por lo general dentro del orden de aproximadamente 40 a 85 Hz. (Ruiz A. Rendimiento y Costos en la Maquinaria de Compactación [Postgrado]. Universidad Austral de Chile; Pág. 71, 2002.)

En Consideración a lo expuesto, se considera una frecuencia de excitador de 40 Hz.

La amplitud nominal:

La amplitud nominal se asigna de acuerdo a la Tabla N° 23 Ficha Técnica del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg. Teniendo en consideración una amplitud alta nominal de: 0.89 mm.

Teniendo en consideración una amplitud alta nominal de: 1.2 mm

La presión lineal dinámica:

Fuerza Centrífuga: 206 kn

Ancho de tambor: 213.5 cm

Presión Lineal Dinámica: 0.96 kn/cm

La Velocidad De Trabajo De Rodillo

La velocidad de trabajo de Rodillo se toma en función a la siguiente Cita: En general se pueden recomendar las siguientes velocidades de trabajo: Velocidades entre 1 y 4 km/h para la compactación de suelos. (Ruiz A. Rendimiento y Costos en la Maquinaria de Compactación [Postgrado]. Universidad Austral de Chile; Pág. 74, 2002.).

La velocidad de trabajo de rodillo se realizará con 3 km/h.

Tabla 27

Resumen de Características Técnicas - Estáticas del Equipo de Compactación 02.

Compactacion Estatica	
Equipo 02:	Rodillo liso vibratorio
Marca:	Ingersoll Rand
Año de fabricacion:	2015
Peso util:	12,002 kg
Ancho de tambor:	2.135 m
Presion lineal:	56.22 kg/cm
Velocidad de trabajo:	3 km/h

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28

Resumen de Características Técnicas Vibradas del Equipo de Compactación 02.

Compactacion Dinamica	
Equipo 02:	Rodillo liso vibratorio
Marca:	Ingersoll Rand
Año de fabricacion:	2015
Peso util:	12,002 kg
Ancho de tambor:	2.135 m
Fuerza centrifuga:	206 kn
Frecuencia del excitador	40 Hz
Amplitud nominal	1.2 mm
Presion lineal dinamica:	0.96 kn/cm
Velocidad de trabajo:	3 km/h

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Proceso de compactación con Rodillos Lisos Vibratorios.

En el proceso de compactación se determinaron los siguientes parámetros de control:

- Control de Pasadas Estáticas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg sobre la base de 20 cm de material seleccionado en el Primer Tramo de Estudio.
- Control de Pasadas Vibratorias del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg sobre la base de 20 cm de material seleccionado en el Segundo Tramo de Estudio.
- Control de pasadas Estáticas y Vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg sobre la base de 20 cm de material seleccionado en el Tercer Tramo de Estudio.

- Control de pasadas estáticas del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg sobre la base de 20 cm de material seleccionado en el Primer Tramo de Estudio.
- Control de pasadas vibratorias del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg con sobre la base de 20 cm de material seleccionado en el Segundo Tramo de Estudio.
- Control de pasadas Estáticas y Vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg sobre la base de 20 cm de material seleccionado en el Segundo Tramo de Estudio.

6.7.2.10. Fase de Ejecución de Ensayos en campo

Para la ejecución de los ensayos de campo se contó con los técnicos del Laboratorio Especialista en Ensayos de Suelos GICA.

6.7.2.10.1. Ejecución del Ensayo de Carburo de Calcio para determinar el contenido de humedad en cada muestra.

Se realizaron las siguientes actividades:

Ejecución del Ensayo Speedy en campo por cada ciclo de trabajo del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg con pasadas Estáticas del material de base seleccionado de cantera en el Primer Tramo de Estudio.

Ejecución del Ensayo Speedy en campo por cada ciclo de trabajo del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg con pasadas Vibradas del material de base seleccionado de cantera en el Segundo Tramo de Estudio.

Ejecución del Ensayo Speedy en campo por cada ciclo de trabajo del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg con pasadas Estáticas y Vibradas del material de base seleccionado de cantera en el Tercer Tramo de Estudio.

Ejecución del Ensayo Speedy en campo por cada ciclo de trabajo del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg con pasadas Estáticas del material de base seleccionado de cantera en el Primer Tramo de Estudio.

Ejecución del Ensayo Speedy en campo por cada ciclo de trabajo del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg con pasadas Vibradas del material de base seleccionado de cantera en el Segundo Tramo de Estudio.

Ejecución del Ensayo Speedy en campo por cada ciclo de trabajo del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg con pasadas Estáticas y Vibradas del material de base seleccionado de cantera en el Tercer Tramo de Estudio.

6.7.2.10.2. Ejecución del Ensayo de Densidad de Campo (Cono de Arena)

Se realizaron las siguientes actividades:

Ejecución del Ensayo del Cono de Arena para el cálculo del grado de Compactación en campo por cada ciclo de trabajo del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg con pasadas Estáticas del material de base seleccionado de cantera en el Primer Tramo de Estudio.

Ejecución del Ensayo del Cono de Arena para el cálculo del grado de Compactación en campo por cada ciclo de trabajo del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg con pasadas Vibradas del material de base seleccionado de cantera en el Segundo Tramo de Estudio.

Ejecución del Ensayo del Cono de Arena para el cálculo del grado de Compactación en campo por cada ciclo de trabajo del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg con pasadas Estáticas y

Vibradas del material de base seleccionado de cantera en el Tercer Tramo de Estudio.

Ejecución del Ensayo del Cono de Arena para el cálculo del grado de Compactación en campo por cada ciclo de trabajo del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg con pasadas Estáticas del material de base seleccionado de cantera en el Primer Tramo de Estudio.

Ejecución del Ensayo del Cono de Arena para el cálculo del grado de Compactación en campo por cada ciclo de trabajo del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg con pasadas Vibradas del material de base seleccionado de cantera en el Segundo Tramo de Estudio.

Ejecución del Ensayo del Cono de Arena para el cálculo del grado de Compactación en campo por cada ciclo de trabajo del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg con pasadas Estáticas y Vibradas del material de base seleccionado de cantera en el Tercer Tramo de Estudio.

6.7.3. Análisis Estadístico

- El trabajo se realizó con el estadístico Excel, donde se usó el análisis de varianza para demostrar lo explicado en la metodología.
- También se realizó el análisis de variancia y Prueba de Tukey para demostrar las hipótesis planteadas.

6.8. Aspectos Éticos de la Investigación.

En todo momento se tuvo presente la Ética profesional y personal en la realización de la presente investigación.

CAPÍTULO V RESULTADOS

7.1. Descripción de Resultados

7.1.1. Presentación de Resultados de laboratorio.

En la tabla 29 se muestran la información de la muestra, en la tabla 30 y 31 se muestran resultados de los ensayos realizados al material clasificado de Base.

Tabla 29

Información de la Muestra

Cantera	Miraflores
Muestra	M1
Tipo de Muestra	Material Seleccionado para Base Granular
Procedencia	Miraflores, Sapallanga-Huancayo

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30

Clasificación de Suelos de Material de Base.

Clasificación de Material de Base	
Clasificación SUCS:	Grava mal gradada con limo y arena (GP-GM)
Clasificación AASHTO:	A-1-a (0)

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 31

Datos Obtenidos de la Curva de Proctor.

Densidad Máxima seca:	2.255 gr/cm ³
Humedad Optima:	6.35%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

7.1.2. Presentación de Resultados de campo.

7.1.2.1. Efectos significativos del control del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg en el Contenido de Humedad en Campo.

Se da a conocer los resultados del porcentaje de Humedad por Pasadas Estáticas, Vibradas y estáticas y vibradas del rodillo liso vibratorio de 11,247 kg para la determinación de su influencia en el Contenido de Humedad en Campo.

Ensayo de Carburo de Calcio (contenido de humedad)

El procedimiento aplicado para la ejecución del presente ensayo estuvo de acuerdo a la NTP 339.150:1999 Método de Ensayo para la determinación en campo del contenido de humedad, por el método de presión del gas carburo de calcio.

Tabla 32

Características Principales de la Vía en estudio para la evaluación

N°	Características de la Vía	Descripción
1	Ubicación	Av. Orión Tramo: Jr. Medusa-Jr. Galaxia
2	Punto de Inicio de la Evaluación	Intersección entre la Av. Orión y el Jr. Medusa con una progresiva inicial de 0+000 km.
3	Punto Final para la Evaluación	Intersección entre la Av. Orión y el Jr. Galaxia con una progresiva final de 0+300 km.
4	Longitud de Vía	300.00 m
5	Ancho de Calzada	13.00 m

Nota: Características de la vía en estudio. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33

Características de Operación del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg.

Compactación Estática	
Equipo 01:	Rodillo liso vibratorio
Marca:	Ingersoll Rand
Año de fabricación:	2010
Peso	11,247 kg
Ancho de tambor	2.135 m
Fuerza centrífuga:	160 kn
Frecuencia del excitador	40 Hz
Amplitud nominal	0.89 mm
Presión lineal:	52.68 kg/cm
Presión lineal dinámica:	0.75 kn/cm
Velocidad de trabajo:	3 km/h

Nota. Fuente: Elaboración propia.

*Características de Operaciones de Equipo.

7.1.2.1.1. Resultados del Porcentaje de Humedad por Pasadas Estáticas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg.

Tabla 34

Especificaciones Técnicas de campo del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg.

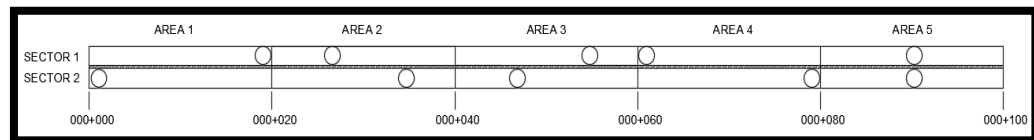
Tramo 01

Tramo 01:	Jr. Medusa-Jr. Géminis. (000+000-000+100)
Carril 01 (lado izquierdo):	Sector 01
Pasadas de Cisterna:	02 ciclos
Tiempo de espera después de Riego:	18 min
Optimo Contenido de Humedad según Proctor:	6.35%
Horario de Compactado:	11:00 a. m.
Temperatura:	24°C
Clima:	Soleado sin Lluvias
Fecha:	10/09/2020
Tipo de Compactación:	Estática

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 61

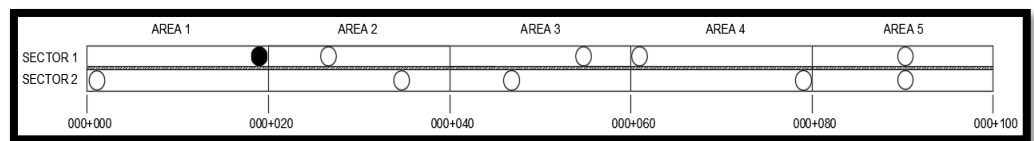
Esquema del Tramo Jr. Medusa-Jr. Géminis que comprende desde la progresiva 000+000-000+100.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 62

Punto de Medición (Sector 1-Área 1): Progresiva: 000+018 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 35

Porcentaje de Humedad el Sector 1-Área 1 con Pasadas Estáticas del E1.

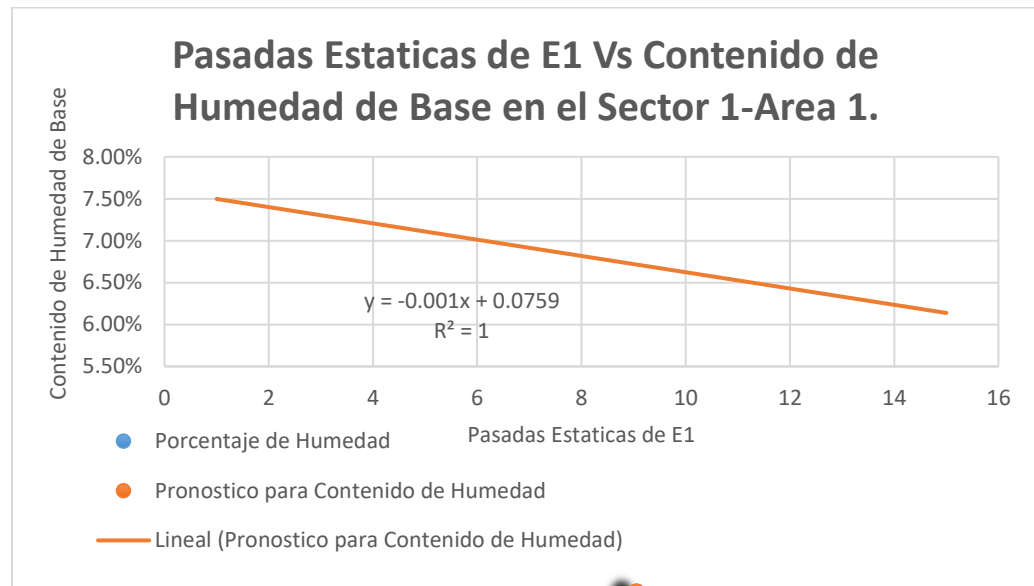
E1-(Sector 1-Área 1)	
Numero de Pasadas Estáticas de E1.	Porcentaje de Humedad
1	7.50%
2	7.42%
3	7.30%
4	7.10%
5	7.10%
6	7.08%
7	6.90%
8	6.82%
9	6.75%
10	6.68%
11	6.55%
12	6.40%
13	6.32%
14	6.22%
15	6.12%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas estáticas con el Equipo Compactador de 11,247 kg, en el Sector 1-Área 1.

Figura 63

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 1-Área 1)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 36

Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 1-Área 1.

Estadísticas de la Regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.99572944
Coefficiente de determinación R^2	0.99147711
R^2 ajustado	0.99082151
Error típico	0.00041784
Observaciones	15

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 37

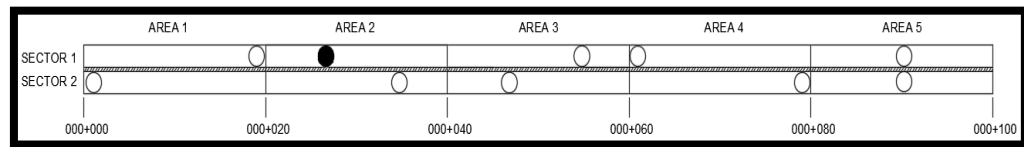
Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 1-Área 1.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.00026403	0.00026403	1512.30497	7.7099E-15
Residuos	13	2.2697E-06	1.7459E-07		
Total	14	0.0002663			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 64

Punto de Medición (Sector 1-Área 2): Progresiva: 000+025 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38

Porcentaje de Humedad el Sector 1-Área 2 con Pasadas Estáticas del E1.

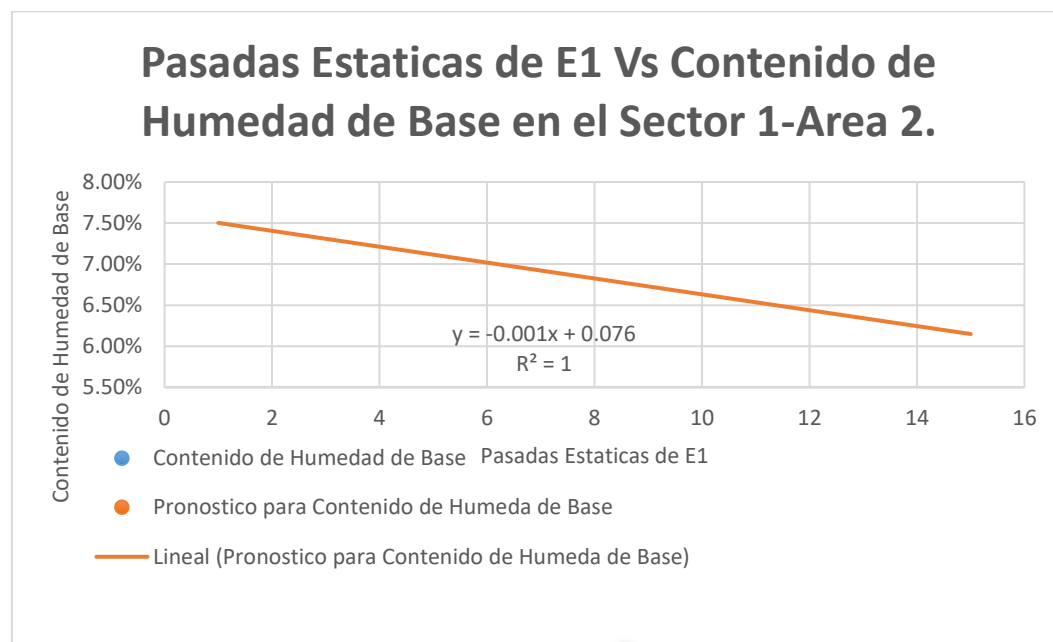
E1-(Sector 1-Área 2)	
Numero de Pasadas Estáticas de E1.	Porcentaje de Humedad
1	7.45%
2	7.40%
3	7.35%
4	7.12%
5	7.12%
6	7.10%
7	6.92%
8	6.85%
9	6.72%
10	6.65%
11	6.56%
12	6.41%
13	6.35%
14	6.25%
15	6.10%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas estáticas con el Equipo Compactador de 11,247 kg, en el Sector 1-Área 2.

Figura 65

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 1-Área 2)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39

Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 1-Área 2.

<i>Estadísticas de la Regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.99513778
Coefficiente de determinación R^2	0.9902992
R^2 ajustado	0.98955298
Error típico	0.00044391
Observaciones	15

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 40

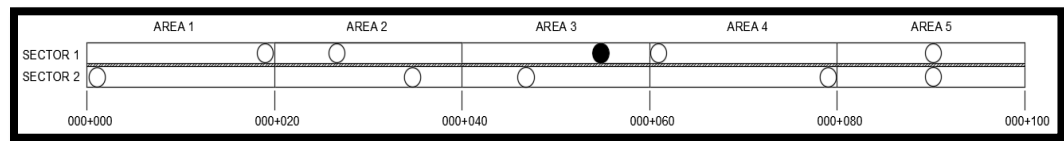
Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 1-Área 2.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor Crítico de F
Regresión	1	0.00026152	0.00026152	1327.0954	1.7894E-14
Residuos	13	2.5618E-06	1.9706E-07		
Total	14	0.00026408			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 66

Punto de Medición (Sector 1-Área 3): Progresiva: 000+055 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41

Porcentaje de Humedad el Sector 1-Área 3 con Pasadas Estáticas del E1.

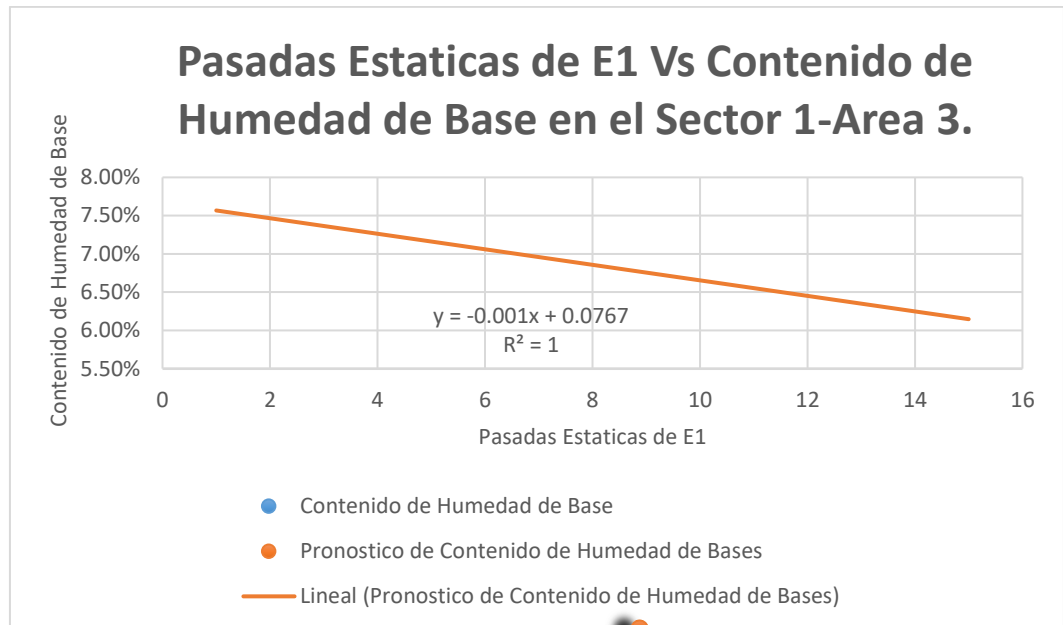
E1-(Sector 1-Área 3)	
Numero de Pasadas Estáticas de E1.	Porcentaje de Humedad
1	7.55%
2	7.46%
3	7.36%
4	7.25%
5	7.18%
6	7.15%
7	6.95%
8	6.84%
9	6.74%
10	6.62%
11	6.54%
12	6.43%
13	6.38%
14	6.30%
15	6.11%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas estáticas con el Equipo Compactador de 11,247 kg, en el Sector 1-Área 3.

Figura 67

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 1-Área 3)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42

Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 1-Área 3.

<i>Estadísticas de la Regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.99718583
Coefficiente de determinación R^2	0.99437959
R^2 ajustado	0.99394725
Error típico	0.00035402
Observaciones	15

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 43

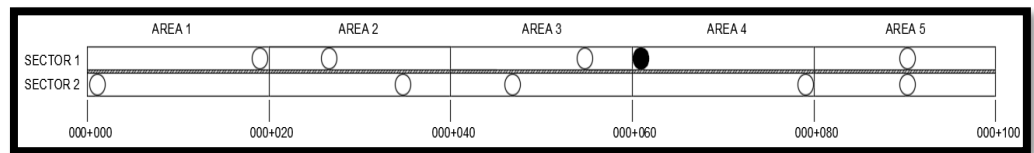
Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 1-Área 3.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor Crítico de F
Regresión	1	0.00028826	0.00028826	2299.99751	5.1425E-16
Residuos	13	1.6293E-06	1.2533E-07		
Total	14	0.00028989			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 68

Punto de Medición (Sector 1-Área 4): Progresiva: 000+062 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44

Porcentaje de Humedad el Sector 1-Área 4 con Pasadas Estáticas del E1.

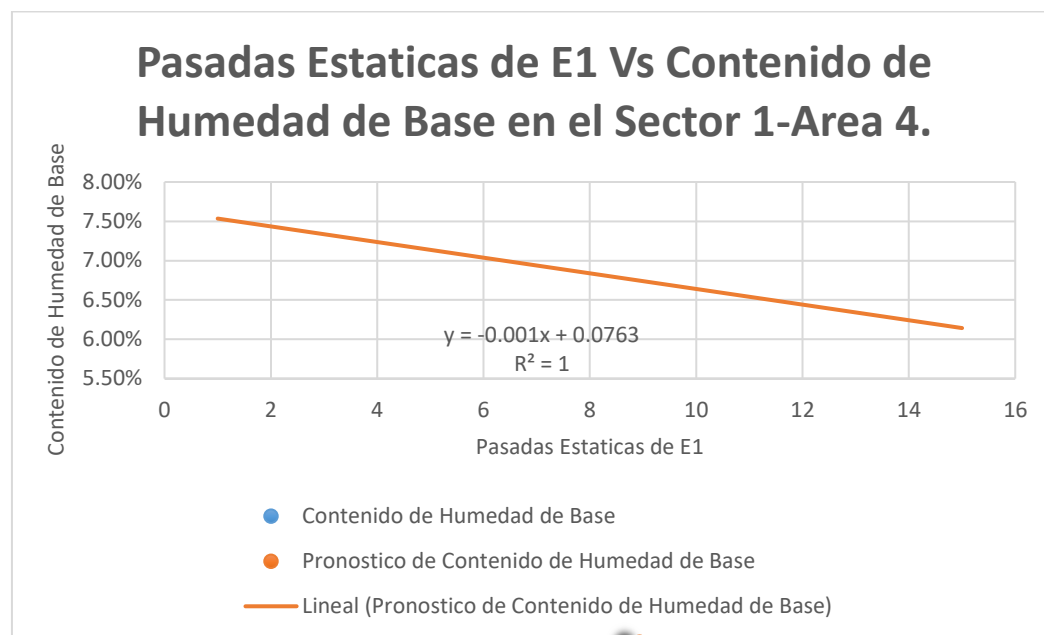
E1-(Sector 1-Área 4)	
Numero de Pasadas Estáticas de E1.	Porcentaje de Humedad
1	7.52%
2	7.40%
3	7.35%
4	7.21%
5	7.10%
6	7.10%
7	6.95%
8	6.80%
9	6.71%
10	6.65%
11	6.57%
12	6.45%
13	6.35%
14	6.25%
15	6.09%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas estáticas con el Equipo Compactador de 11,247 kg, en el Sector 1-Área 4.

Figura 69

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 1-Área 4)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45

Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 1-Área 4.

<i>Estadísticas de la Regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.99453912
Coefficiente de determinación R^2	0.98910806
R^2 ajustado	0.98827021
Error típico	0.00048423
Observaciones	15

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 46

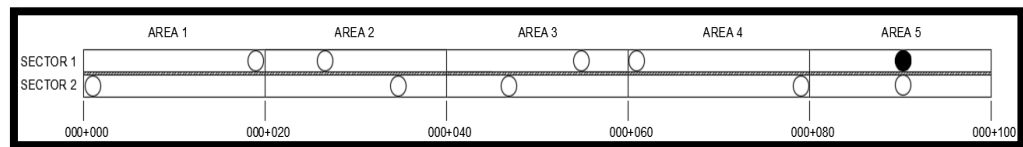
Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 1-Área 4.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor Crítico de F
Regresión	1	0.00027681	0.00027681	1180.54265	3.8008E-14
Residuos	13	3.0482E-06	2.3448E-07		
Total	14	0.00027986			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 70

Punto de Medición (Sector 1-Área 5): Progresiva: 000+090 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47*Porcentaje de Humedad el Sector 1-Área 5 con Pasadas Estáticas del E1.*

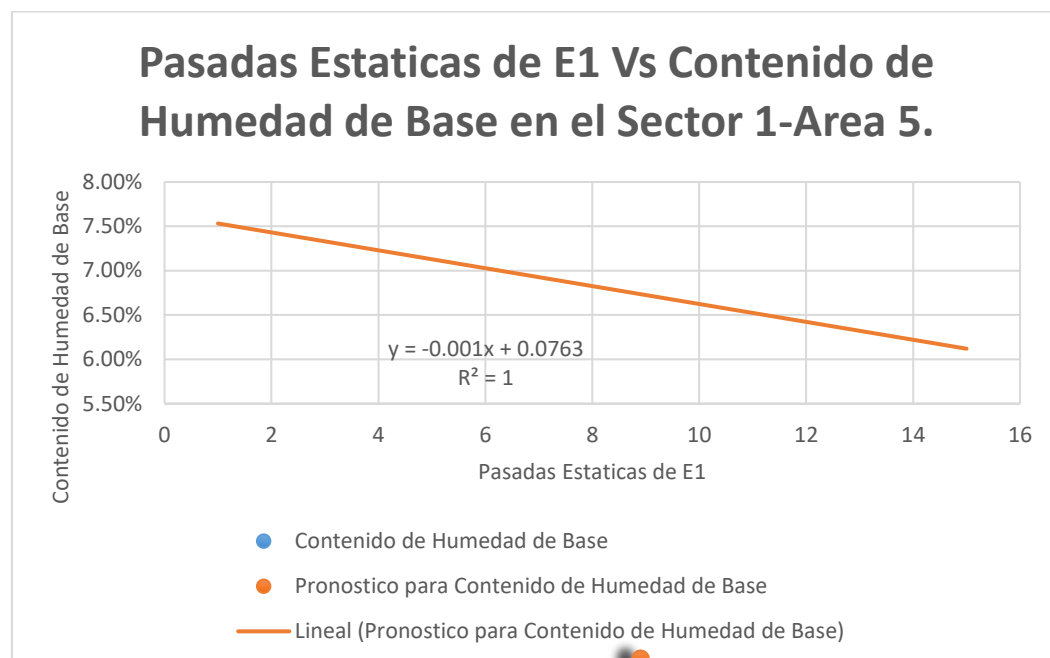
E1-(Sector 1-Área 5)	
Numero de Pasadas Estáticas de E1.	Porcentaje de Humedad
1	7.49%
2	7.42%
3	7.30%
4	7.20%
5	7.13%
6	7.13%
7	6.94%
8	6.84%
9	6.73%
10	6.63%
11	6.54%
12	6.41%
13	6.32%
14	6.24%
15	6.05%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas estáticas con el Equipo Compactador de 11,247 kg, en el Sector 1-Área 5.

Figura 71

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 1-Área 5)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 48

Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 1-Área 5.

<i>Estadísticas de la Regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.99568253
Coefficiente de determinación R ²	0.9913837
R ² ajustado	0.99072091
Error típico	0.00043637
Observaciones	15

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 49

Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 1-Área 5.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor Crítico de F
Regresión	1	0.00028482	0.00028482	1495.76824	8.2763E-15
Residuos	13	2.4754E-06	1.9042E-07		
Total	14	0.0002873			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

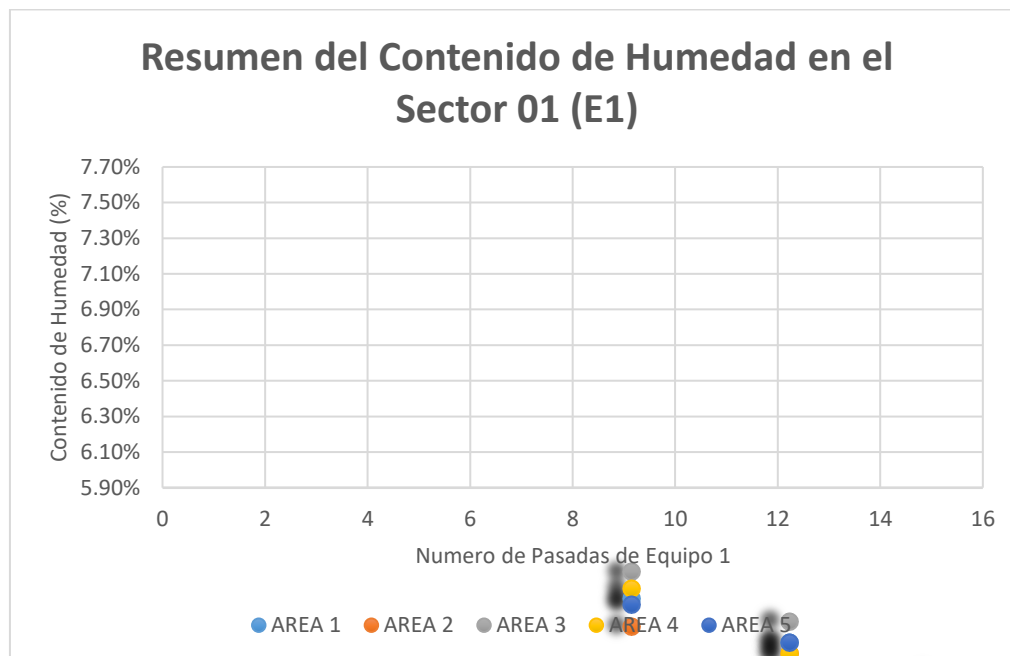
Tabla 50*Resumen de Contenido de Humedades en el Sector 01*

Numero de Pasadas de Equipo (Estático)	E1				
	Sector 1				
	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5
01	7.50%	7.45%	7.55%	7.52%	7.49%
02	7.42%	7.40%	7.46%	7.40%	7.42%
03	7.30%	7.35%	7.36%	7.35%	7.30%
04	7.10%	7.12%	7.25%	7.21%	7.20%
05	7.10%	7.12%	7.18%	7.10%	7.13%
06	7.08%	7.10%	7.15%	7.10%	7.13%
07	6.90%	6.92%	6.95%	6.95%	6.94%
08	6.82%	6.85%	6.84%	6.80%	6.84%
09	6.75%	6.72%	6.74%	6.71%	6.73%
10	6.68%	6.65%	6.62%	6.65%	6.63%
11	6.55%	6.56%	6.54%	6.57%	6.54%
12	6.40%	6.41%	6.43%	6.45%	6.41%
13	6.32%	6.35%	6.38%	6.35%	6.32%
14	6.22%	6.25%	6.30%	6.25%	6.24%
15	6.12%	6.10%	6.11%	6.09%	6.05%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 72

Resumen del Contenido de Humedad en el Sector 01 (E1).



Nota. Fuente: Elaboración propia.

7.1.2.1.2. Resultados del Porcentaje de Humedad por Pasadas Vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg.

Tabla 51

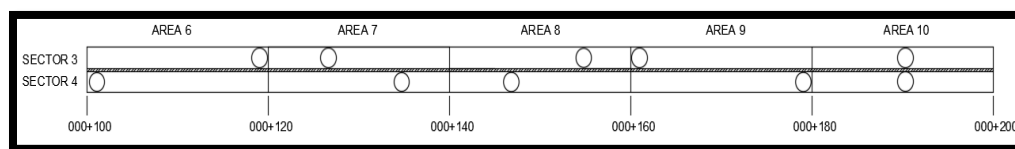
*Especificaciones Técnicas de campo del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg.
Tramo 02.*

Tramo 02:	JR. Géminis-Jr. Castillo Verde (000+100-000+200)
Carril 01 (lado izquierdo):	Sector 03
Pasadas de Cisterna:	02 ciclos
Tiempo de espera después de Riego:	25 min
Optimo Contenido de Humedad según Proctor:	6.35%
Horario de Compactado:	12:35 p. m.
Temperatura:	22°C
Clima:	Soleado sin Lluvias
Fecha:	10/09/2020
Tipo de Compactación:	Vibrado

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 73

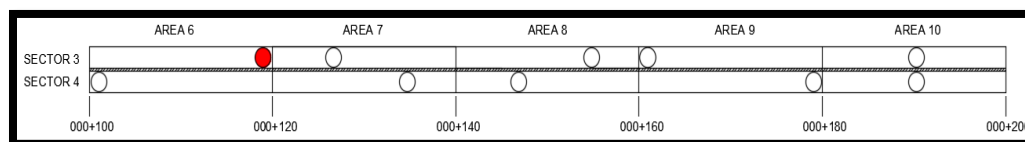
Esquema del Tramo Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde que comprende desde la progresiva 000+100-000+200.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 74

Punto de Medición (Sector 3-Área 6): Progresiva: 000+118 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 52

Porcentaje de Humedad el Sector 3-Área 6 con Pasadas Vibradas del E1.

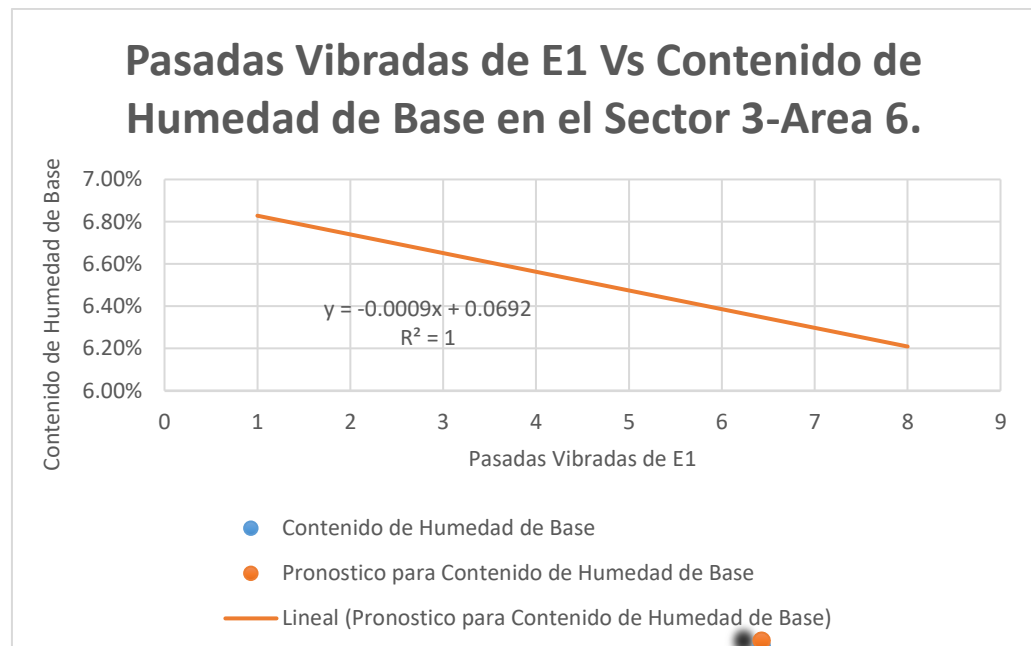
E1-(Sector 3-Área 6)	
Numero de Pasadas Vibradas de E1.	Porcentaje de Humedad
1	6.82%
2	6.75%
3	6.66%
4	6.58%
5	6.44%
6	6.38%
7	6.30%
8	6.22%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas vibradas con el Equipo Compactador de 11,247 kg, en el Sector 3-Área 6.

Figura 75

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 3-Área 6)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 53*Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 3-Área 6.*

<i>Estadísticas de la Regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.997141184
Coefficiente de determinación R ²	0.994290541
R ² ajustado	0.993338965
Error típico	0.000177337
Observaciones	8

Nota. Fuente: Elaboración Propia.**Tabla 54***Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 3-Área 6.*

<i>Análisis de Varianza</i>					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor Crítico de F
Regresión	1	3.286E-05	3.286E-05	1044.8877	5.82864E-08
Residuos	6	1.8869E-07	3.1448E-08		
Total	7	3.3049E-05			

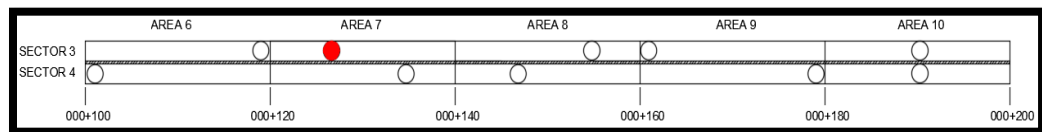
Nota. Fuente: Elaboración Propia.**Figura 76***Punto de Medición (Sector 3-Área 7): Progresiva: 000+125 km.***Nota.** Fuente: Elaboración propia.

Tabla 55

Porcentaje de Humedad el Sector 3-Área 7 con Pasadas Vibradas del E1.

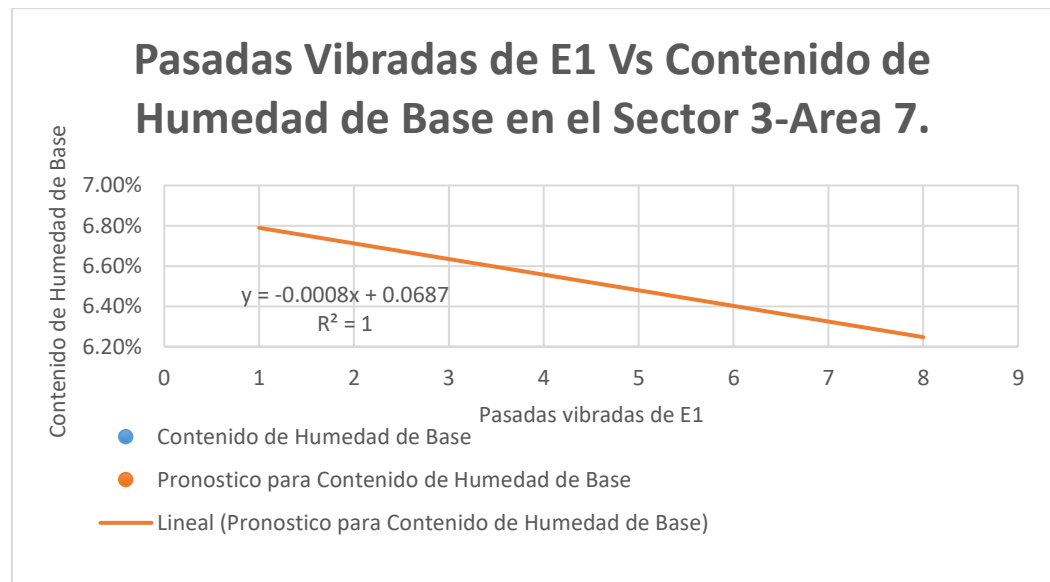
E1-(Sector 3-Área 7)	
Numero de Pasadas Vibradas de E1.	Porcentaje de Humedad
1	6.80%
2	6.72%
3	6.65%
4	6.54%
5	6.45%
6	6.39%
7	6.32%
8	6.28%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas vibradas con el Equipo Compactador de 11,247 kg, en el Sector 3-Área 7.

Figura 77

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 3-Área 7)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 56*Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 3-Área 7.*

<i>Estadísticas de la Regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.994447268
Coefficiente de determinación R ²	0.988925369
R ² ajustado	0.987079597
Error típico	0.000216987
Observaciones	8

Nota. Fuente: Elaboración Propia.**Tabla 57***Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 3-Área 7.*

<i>Análisis de Varianza</i>					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor Crítico de F
Regresión	1	2.5226E-05	2.5226E-05	535.778761	4.26236E-07
Residuos	6	2.825E-07	4.7083E-08		
Total	7	2.5509E-05			

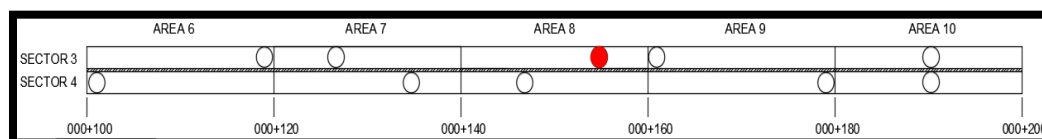
Nota. Fuente: Elaboración Propia.**Figura 78***Punto de Medición (Sector 3-Área 8): Progresiva: 000+155 km.***Nota.** Fuente: Elaboración propia.

Tabla 58

Porcentaje de Humedad el Sector 3-Área 8 con Pasadas Vibradas del E1.

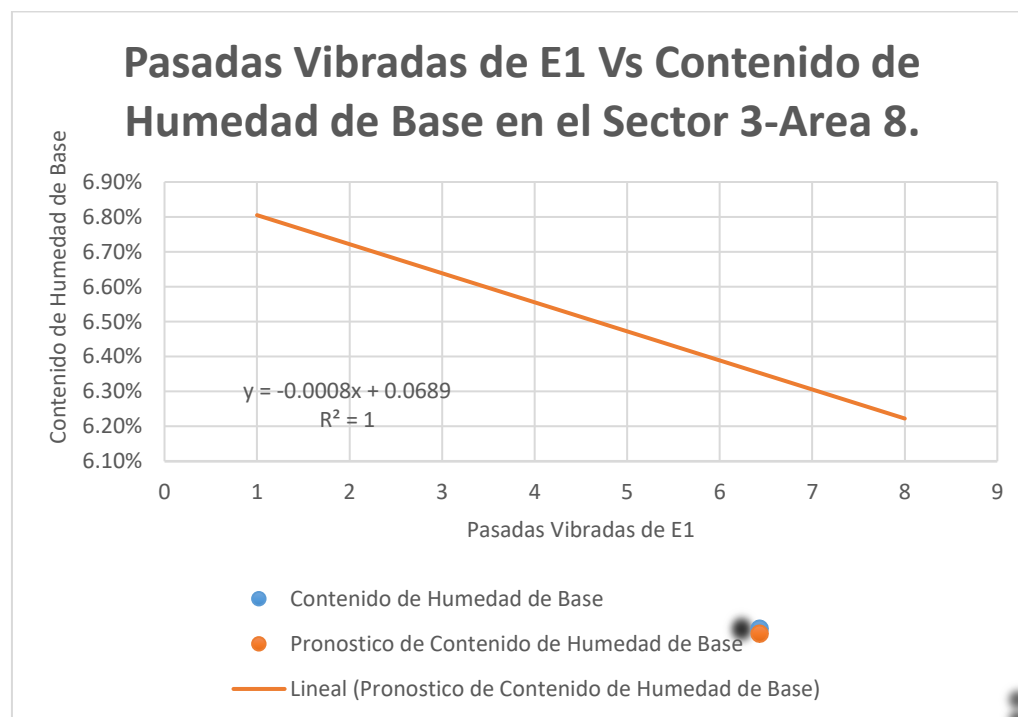
E1-(Sector 3-Área 8)	
Numero de Pasadas Vibradas de E1.	Porcentaje de Humedad
1	6.81%
2	6.74%
3	6.64%
4	6.55%
5	6.44%
6	6.37%
7	6.31%
8	6.25%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas vibradas con el Equipo Compactador de 11,247 kg, en el Sector 3-Área 8.

Figura 79

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 3-Área 8)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 59

Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 3-Área 8.

<i>Estadísticas de la Regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.995638614
Coefficiente de determinación R^2	0.99129625
R^2 ajustado	0.989845625
Error típico	0.0002063
Observaciones	8

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 60

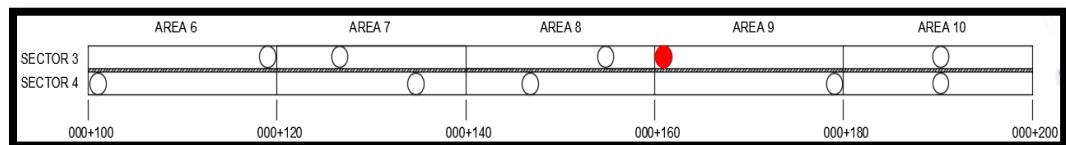
Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 3-Área 8.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor Crítico de F
Regresión	1	2.9083E-05	2.9083E-05	683.358042	2.06724E-07
Residuos	6	2.5536E-07	4.256E-08		
Total	7	2.9339E-05			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 80

Punto de Medición (Sector 3-Área 9): Progresiva: 000+162 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 61

Porcentaje de Humedad el Sector 3-Área 9 con Pasadas Vibradas del E1.

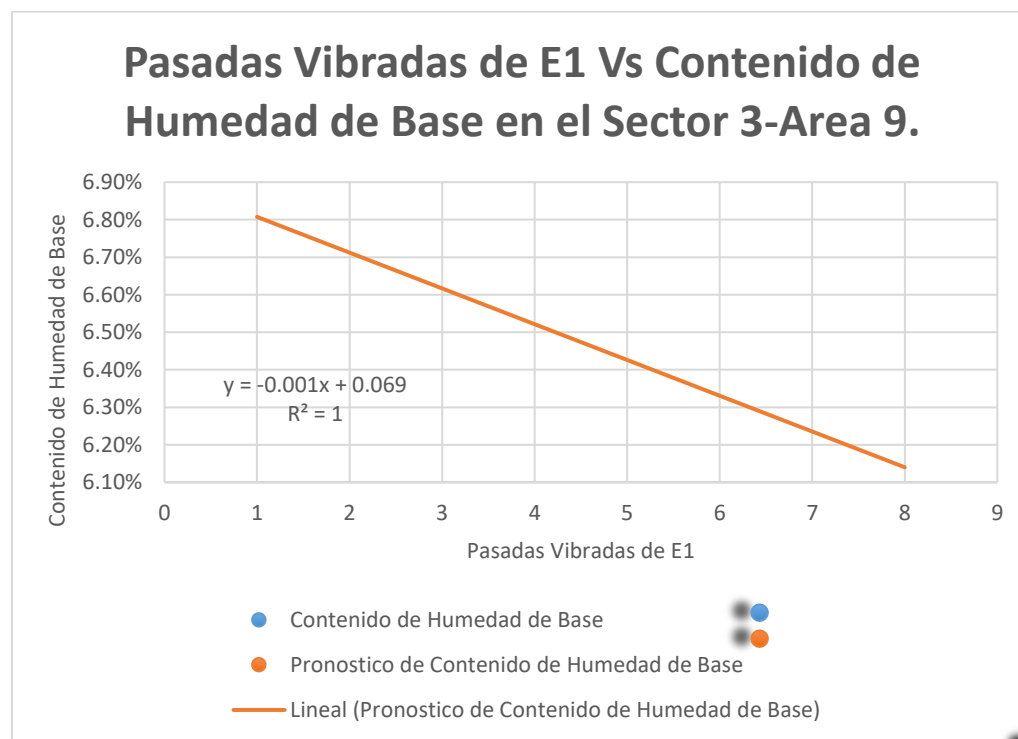
E1-(Sector 3-Área 9)	
Numero de Pasadas Vibradas de E1.	Porcentaje de Humedad
1	6.83%
2	6.71%
3	6.60%
4	6.51%
5	6.42%
6	6.33%
7	6.24%
8	6.15%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas vibradas con el Equipo Compactador de 11,247 kg, en el Sector 3-Área 9.

Figura 81

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 3-Área 9)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 62

Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 3-Área 9.

<i>Estadísticas de la Regresión</i>	
Coeficiente de correlación	
múltiple	0.998586235
Coeficiente de determinación	
R ²	0.99717447
R ² ajustado	0.996703548
Error típico	0.000134297
Observaciones	8

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 63

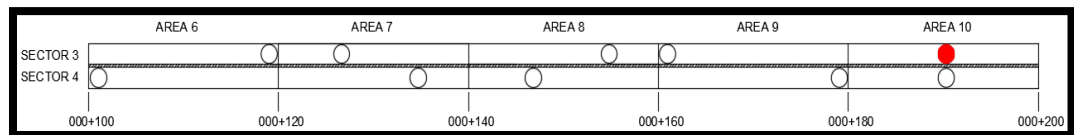
Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 3-Área 9.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor Crítico de F
Regresión	1	3.8191E-05	3.8191E-05	2117.49505	7.05685E-09
Residuos	6	1.0821E-07	1.8036E-08		
Total	7	3.8299E-05			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 82

Punto de Medición (Sector 3-Área 10): Progresiva: 000+190 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 64

Porcentaje de Humedad el Sector 3-Área 10 con Pasadas Vibradas del E1.

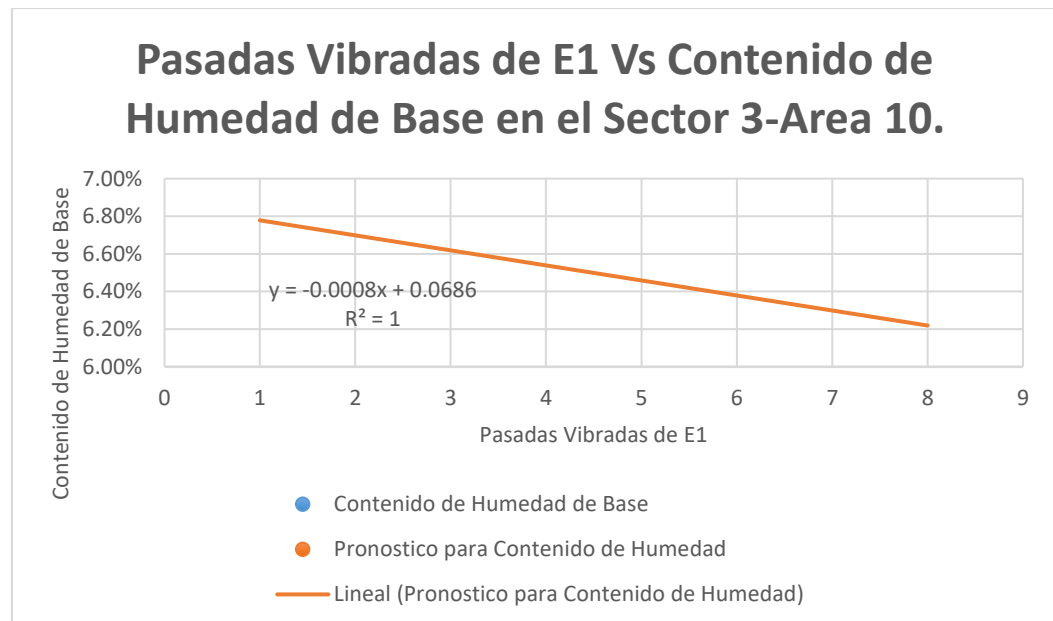
E1-(Sector 3-Área 10)	
Numero de Pasadas Estáticas de E1.	Porcentaje de Humedad
1	6.80%
2	6.70%
3	6.61%
4	6.55%
5	6.40%
6	6.38%
7	6.31%
8	6.24%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas vibradas con el Equipo Compactador de 11,247 kg, en el Sector 3-Área 10.

Figura 83

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 3-Área 10)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 65*Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 3-Área 10.*

<i>Estadísticas de la Regresión</i>	
Coeficiente de correlación	
múltiple	0.99136884
Coeficiente de determinación	
R ²	0.982812176
R ² ajustado	0.979947539
Error típico	0.000279491
Observaciones	8

Nota. Fuente: Elaboración Propia.**Tabla 66***Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 3-Área 10*

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor Crítico de F
Regresión	1	2.68E-05	2.68E-05	343.084328	1.5971E-06
Residuos	6	4.6869E-07	7.8115E-08		
Total	7	2.7269E-05			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

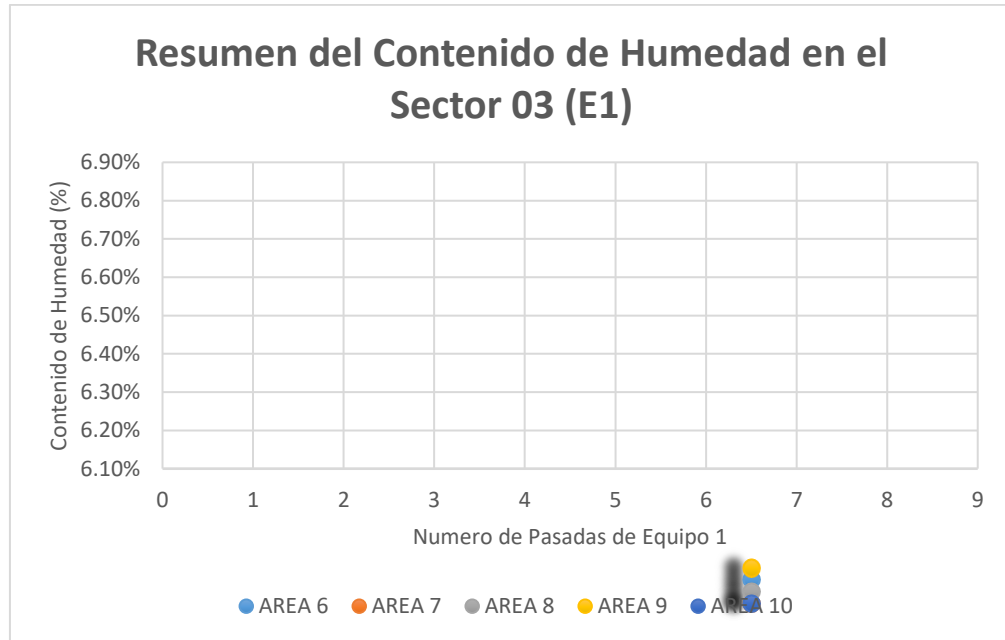
Tabla 67*Resumen de Contenido de Humedades en el Sector 03*

Numero de Pasadas de Equipo (Vibratorio)	E1				
	Sector 3				
	Área 6	Área 7	Área 8	Área 9	Área 10
01	6.82%	6.80%	6.81%	6.83%	6.80%
02	6.75%	6.72%	6.74%	6.71%	6.70%
03	6.66%	6.65%	6.64%	6.60%	6.61%
04	6.58%	6.54%	6.55%	6.51%	6.55%
05	6.44%	6.45%	6.44%	6.42%	6.40%
06	6.38%	6.39%	6.37%	6.33%	6.38%
07	6.30%	6.32%	6.31%	6.24%	6.31%
08	6.22%	6.28%	6.25%	6.15%	6.24%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 84

Resumen del Contenido de Humedad en el Sector 03 (E1).



Nota. Fuente: Elaboración propia.

7.1.2.1.3. Resultados de Porcentaje de Humedad por Pasadas Estáticas y Vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg.

Tabla 68

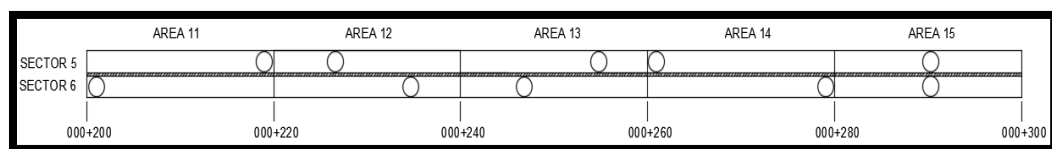
*Especificaciones Técnicas de campo del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg.
Tramo 03.*

Tramo 03:	Jr. Castillo Verde-Jr. Galaxia (000+200-000+300)
Carril 01 (lado izquierdo):	Sector 05
Pasadas de Cisterna:	02 ciclos
Tiempo de espera después de Riego:	20 min
Optimo Contenido de Humedad según	
Proctor:	6.35%
Horario de Compactado:	01:35 p. m.
Temperatura:	25°C
Clima:	Soleado sin Lluvias
Fecha:	10/09/2020
Tipo de Compactación:	Estático y Vibrado

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 85

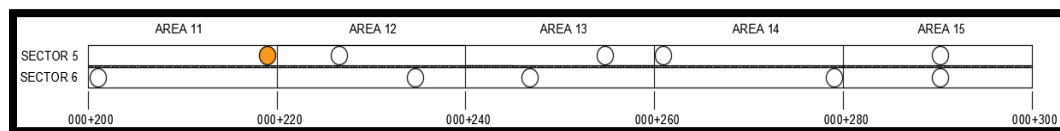
Esquema del Tramo Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde que comprende desde la progresiva 000+200-000+300.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 86

Punto de Medición (Sector 5-Área 11): Progresiva: 000+218 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 69

Porcentaje de Humedad del Sector 5-Área 11 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E1.

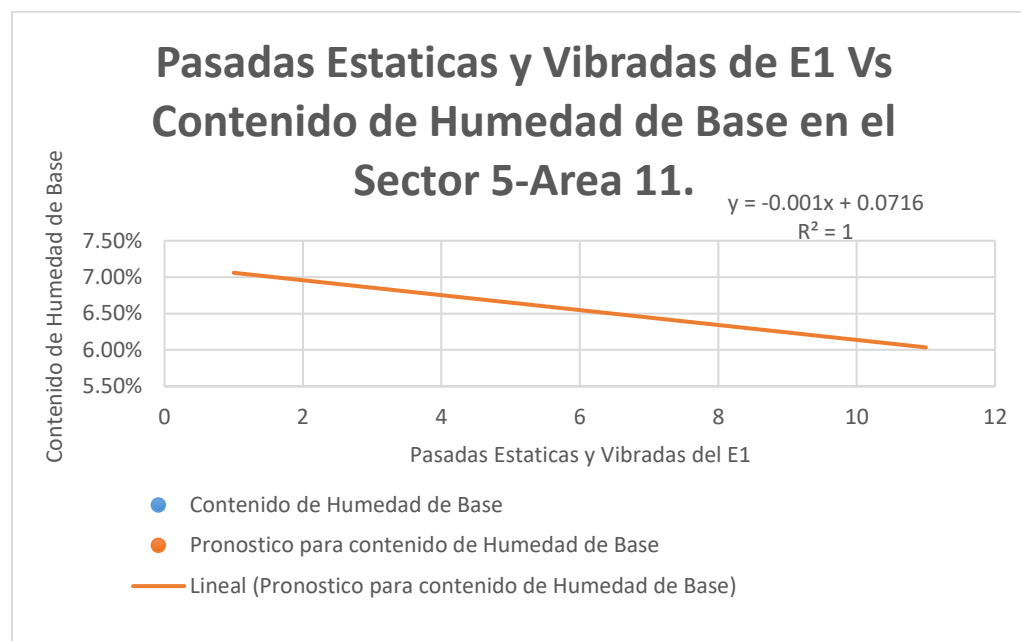
E1-(Sector 5-Área 11)		
Numero de Pasadas Estáticas y Vibradas del E1		Porcentaje de Humedad
Estático	1	7.12%
Vibrado	2	6.90%
Estático	3	6.82%
Vibrado	4	6.75%
Estático	5	6.66%
Vibrado	6	6.55%
Estático	7	6.48%
Vibrado	8	6.35%
Estático	9	6.22%
Vibrado	10	6.15%
Estático	11	6.02%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas estáticas y vibradas con el equipo compactador de 11,247 kg, en el sector 5-área 11.

Figura 87

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 5-Área 11)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 70

Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 5-Área 11.

<i>Estadísticas de la Regresión</i>	
Coeficiente de correlación	
múltiple	0.99557492
Coeficiente de determinación	
R ²	0.99116941
R ² ajustado	0.99018824
Error típico	0.00033839
Observaciones	11

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 71

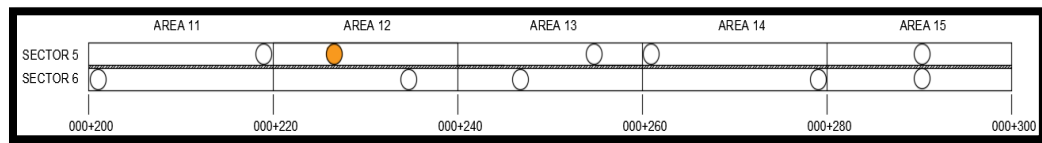
Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 5-Área 11.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor Crítico de F
Regresión	1	0.00011567	0.00011567	1010.1849	1.4836E-10
Residuos	9	1.0305E-06	1.1451E-07		
Total	10	0.0001167			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 88

Punto de Medición (Sector 5-Área 12): Progresiva: 000+225 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 72

Porcentaje de Humedad del Sector 5-Área 12 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E1.

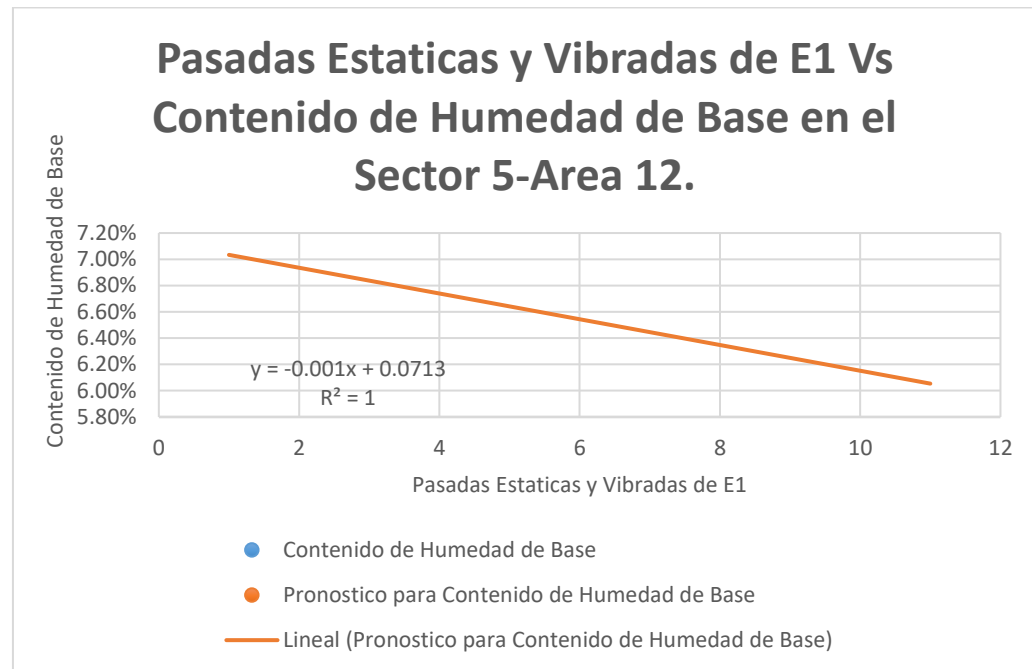
E1-(Sector 5-Área 12)		
Numero de Pasadas Estáticas y Vibradas del E1		Porcentaje de Humedad
Estático	1	7.10%
Vibrado	2	6.91%
Estático	3	6.80%
Vibrado	4	6.73%
Estático	5	6.62%
Vibrado	6	6.54%
Estático	7	6.45%
Vibrado	8	6.36%
Estático	9	6.25%
Vibrado	10	6.18%
Estático	11	6.04%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas estáticas y vibradas con el equipo compactador de 11,247 kg, en el sector 5-área 12.

Figura 89

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 5-Área 12)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 73

Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 5-Área 12.

<i>Estadísticas de la Regresión</i>	
Coeficiente de correlación	
múltiple	0.99613468
Coeficiente de determinación	
R ²	0.99228431
R ² ajustado	0.99142701
Error típico	0.00030211
Observaciones	11

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 74

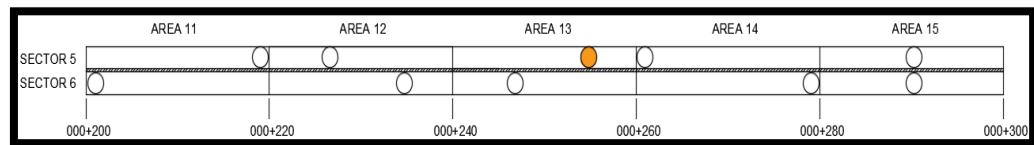
Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 5-Área 12.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor Crítico de F
Regresión	1	0.00010564	0.00010564	1157.45418	8.0787E-11
Residuos	9	8.2145E-07	9.1273E-08		
Total	10	0.00010647			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 90

Punto de Medición (Sector 5-Área 13): Progresiva: 000+255 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 75

Porcentaje de Humedad del Sector 5-Área 13 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E1.

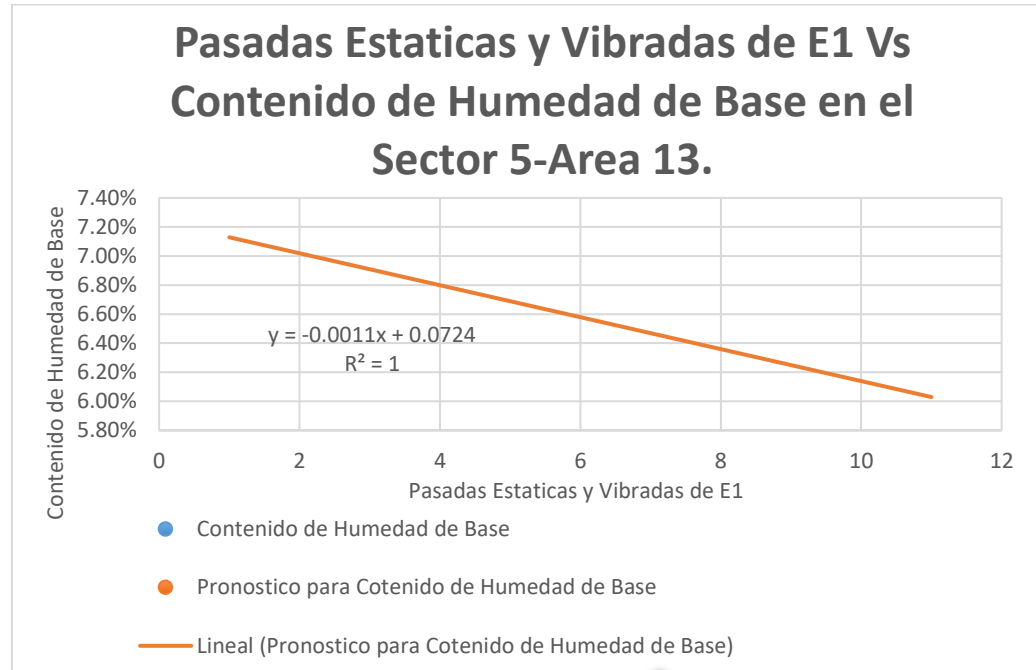
E1-(Sector 5-Área 13)		
Numero de Pasadas Estáticas y Vibradas del E1		Porcentaje de Humedad
Estático	1	7.20%
Vibrado	2	7.10%
Estático	3	6.85%
Vibrado	4	6.72%
Estático	5	6.63%
Vibrado	6	6.55%
Estático	7	6.48%
Vibrado	8	6.38%
Estático	9	6.21%
Vibrado	10	6.19%
Estático	11	6.06%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas estáticas y vibradas con el equipo compactador de 11,247 kg, en el sector 5-área 13.

Figura 91

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 5-Área 13)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 76

Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 5-Área 13.

<i>Estadísticas de la Regresión</i>	
Coeficiente de correlación	
múltiple	0.98843016
Coeficiente de determinación	
R ²	0.97699418
R ² ajustado	0.97443798
Error típico	0.00058963
Observaciones	11

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 77

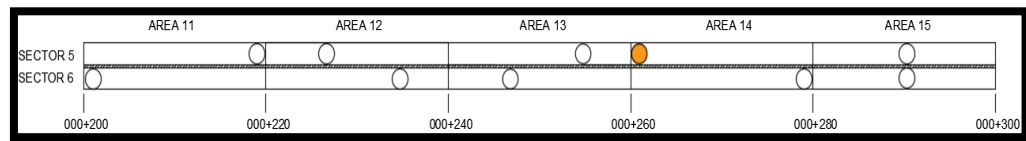
Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 5-Área 13.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor Crítico de F
Regresión	1	0.00013288	0.00013288	382.205439	1.1096E-08
Residuos	9	3.129E-06	3.4767E-07		
Total	10	0.00013601			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 92

Punto de Medición (Sector 5-Área 14): Progresiva: 000+262 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 78

Porcentaje de Humedad del Sector 5-Área 14 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E1.

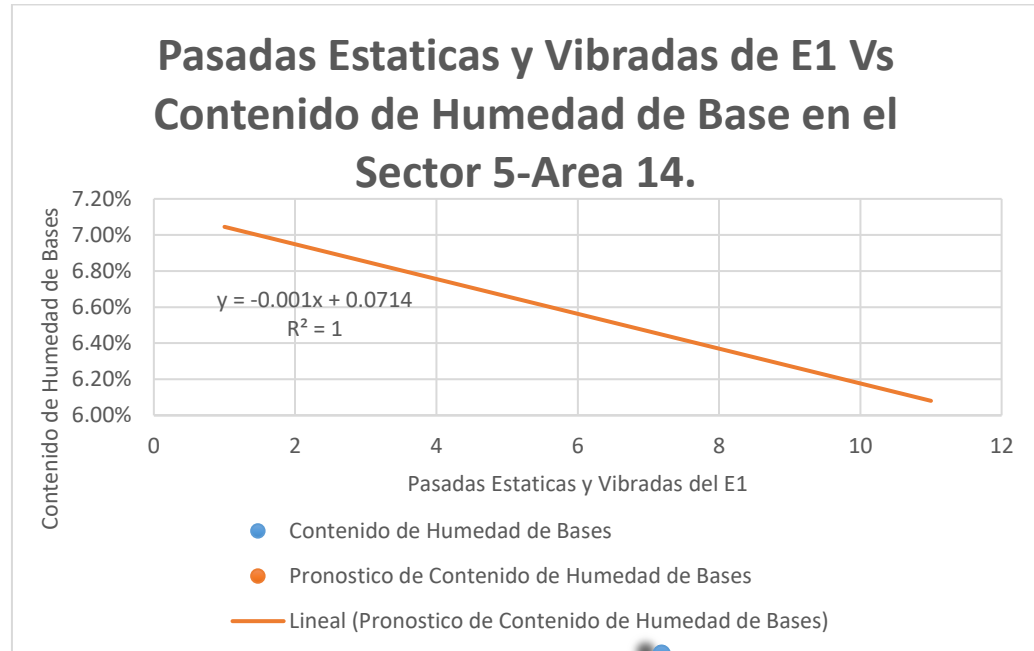
E1-(Sector 5-Área 14)		
Numero de Pasadas Estáticas y Vibradas del E1		Porcentaje de Humedad
Estático	1	7.10%
Vibrado	2	6.92%
Estático	3	6.84%
Vibrado	4	6.75%
Estático	5	6.65%
Vibrado	6	6.54%
Estático	7	6.46%
Vibrado	8	6.39%
Estático	9	6.25%
Vibrado	10	6.20%
Estático	11	6.09%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas estáticas y vibradas con el equipo compactador de 11,247 kg, en el sector 5-área 14.

Figura 93

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 5-Área 14)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 79

Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 5-Área 14.

<i>Estadísticas de la Regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	
	0.99696736
Coeficiente de determinación	
R ²	0.99394392
R ² ajustado	0.99327102
Error típico	0.00026322
Observaciones	11

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 80

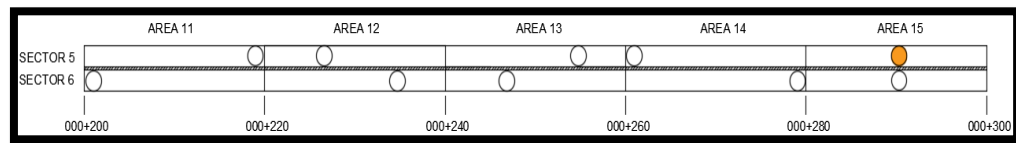
Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 5-Área 14.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor Crítico de F
Regresión	1	0.00010234	0.00010234	1477.10876	2.7147E-11
Residuos	9	6.2355E-07	6.9283E-08		
Total	10	0.00010296			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 94

Punto de Medición (Sector 5-Área 15): Progresiva: 000+290 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 81

Porcentaje de Humedad del Sector 5-Área 15 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E1.

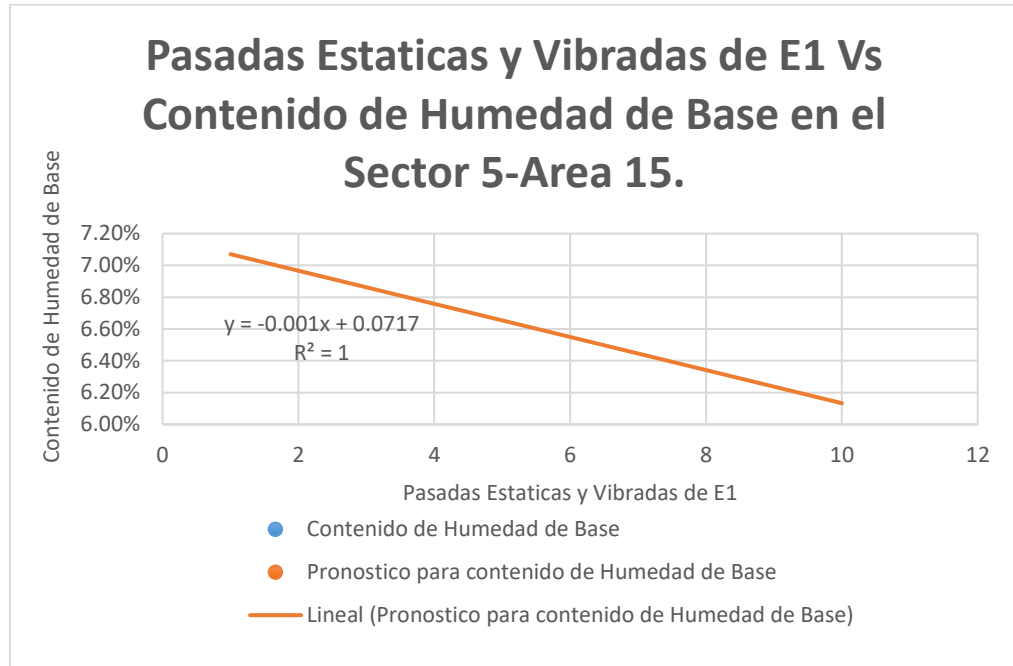
E1-(Sector 5-Área 15)		
Numero de Pasadas Estáticas y Vibradas del E1		Porcentaje de Humedad
Estático	1	7.12%
Vibrado	2	6.94%
Estático	3	6.85%
Vibrado	4	6.74%
Estático	5	6.66%
Vibrado	6	6.55%
Estático	7	6.44%
Vibrado	8	6.33%
Estático	9	6.21%
Vibrado	10	6.18%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas estáticas y vibradas con el equipo compactador de 11,247 kg, en el sector 5-área 15.

Figura 95

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 5-Área 15)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 82

Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 5-Área 15.

<i>Estadísticas de la Regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0.99624289
Coeficiente de determinación R^2	0.9924999
R^2 ajustado	0.99156239
Error típico	0.00029066
Observaciones	10

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 83

Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 5-Área 15.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor Crítico de F
Regresión	1	8.944E-05	8.944E-05	1058.6528	8.6783E-10
Residuos	8	6.7588E-07	8.4485E-08		
Total	9	9.0116E-05			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 84

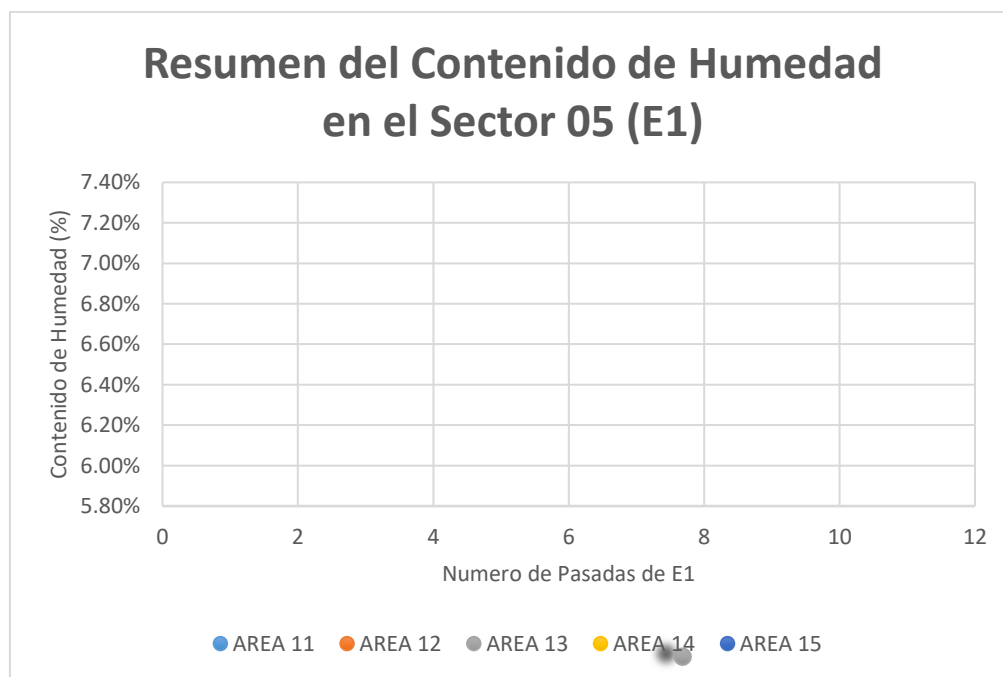
Resumen de Contenido de Humedades en el Sector 05

Numero de pasadas de Equipo (Estático y Vibratorio)	E1				
	Sector 5				
	Área 11	Área 12	Área 13	Área 14	Área 15
1 (Estática)	7.12%	7.10%	7.20%	7.10%	7.12%
2 (vibrada)	6.90%	6.91%	7.10%	6.92%	6.94%
3 (estática)	6.82%	6.80%	6.85%	6.84%	6.85%
4 (vibrada)	6.75%	6.73%	6.72%	6.75%	6.74%
5 (estática)	6.66%	6.62%	6.63%	6.65%	6.66%
6 (vibrada)	6.55%	6.54%	6.55%	6.54%	6.55%
7 (estática)	6.48%	6.45%	6.48%	6.46%	6.44%
8 (vibrada)	6.35%	6.36%	6.38%	6.39%	6.33%
9 (Estática)	6.22%	6.25%	6.21%	6.25%	6.21%
10 (vibrada)	6.15%	6.18%	6.19%	6.20%	6.18%
11 (estática)	6.02%	6.04%	6.06%	6.09%	

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 96

Resumen del Contenido de Humedad en el Sector 05 (E1).



Nota. Fuente: Elaboración propia.

7.1.2.2. Efectos significativos del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg en el Grado de Compactación de Campo.

Se da a conocer los resultados del grado de compactación por Pasadas Estáticas, Vibradas y estáticas y vibradas del rodillo liso vibratorio de 11,247 kg para la determinación de su influencia en el Contenido de Humedad en Campo.

Ensayo de Densidad de Campo

El procedimiento aplicado para la ejecución del Presente ensayo estuvo de acuerdo a la NTP 339.143:1999 SUELOS. Método de Ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in situ mediante el método del cono de arena del Material de Base.

Tabla 85*Características Principales de la Vía en estudio para la evaluación*

N°	Características de la Vía	Descripción
1	Ubicación	Av. Orión Tramo: Jr. Medusa-Jr. Galaxia
2	Punto de Inicio de la Evaluación	Intersección entre la Av. Orión y el Jr. Medusa con una progresiva inicial de 0+000 km.
3	Punto Final para la Evaluación	Intersección entre la Av. Orión y el Jr. Galaxia con una progresiva final de 0+300 km.
4	Longitud de Vía	300.00 m
5	Ancho de Calzada	13.00 m

Nota. Fuente: Elaboración Propia.**Tabla 86***Características de Operación del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg.*

Compactación Estática	
Equipo 01:	Rodillo liso vibratorio
Marca:	Ingersoll Rand
Año de fabricación:	2010
Peso	11,247 kg
Ancho de tambor	2.135 m
Fuerza centrífuga:	160 kn
Frecuencia del excitador	40 Hz
Amplitud nominal	0.89 mm
Presión lineal:	52.68 kg/cm
Presión lineal dinámica:	0.75 kn/cm
Velocidad de trabajo:	3 km/h

Nota. Fuente: Elaboración propia.

*Características de Operaciones de Equipo.

7.1.2.2.1. Resultados del Grado de Compactación por Pasadas Estáticas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg.

Tabla 87

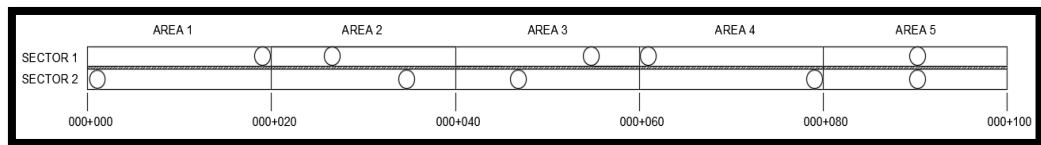
Especificaciones Técnicas de campo del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg. Tramo 01

Tramo 01:	Jr. Medusa-Jr. GÉMINIS-(000+000-000+100)
Carril 01 (lado izquierdo):	Sector 01
Máxima Densidad Seca:	2.255 gr/cm ³
Horario de Compactado:	11:00 a. m.
Temperatura:	24°C
Fecha:	10/09/2020
Clima:	Soleado sin Lluvias
Tipo de Compactación:	Estática

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 97

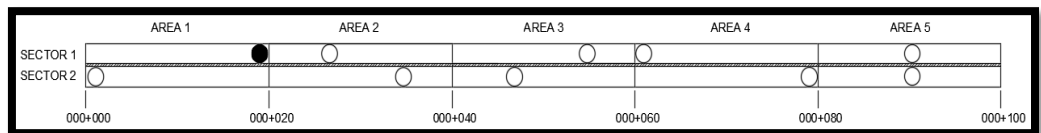
Esquema del Tramo Jr. Medusa-Jr. Géminis que comprende desde la progresiva 000+000-000+100.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 98

Punto de Medición (Sector 1-Área 1): Progresiva: 000+018 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 88

Grado de Compactación en el Sector 1-Área 1 con Pasadas Estáticas del E1.

E1-(Sector 1-Área 1)	
Numero de Pasadas Estáticas del Equipo E1.	Grado de Compactación
1	10%
2	17%
3	23%
4	31%
5	36%
6	43%
7	50%
8	55%
9	62%
10	69%
11	75%
12	82%
13	87%
14	95%
15	100%

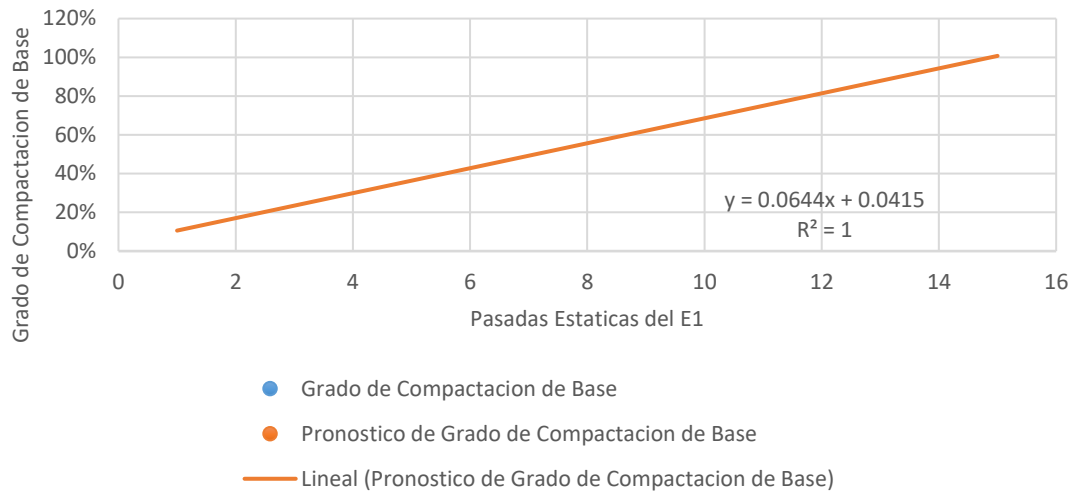
Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas estáticas con el Equipo Compactador de 11,247 kg, en el Sector 1-Área 1.

Figura 99

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 1-Área 1)

Pasadas Estáticas E1 Vs Grado de Compactación de Base en el Sector 1-Area 1.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 89

Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 1-Área 1.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	
	0.99977178
Coeficiente de determinación	
R ²	0.9995436
R ² ajustado	0.9995085
Error típico	0.0063858
Observaciones	15

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 90

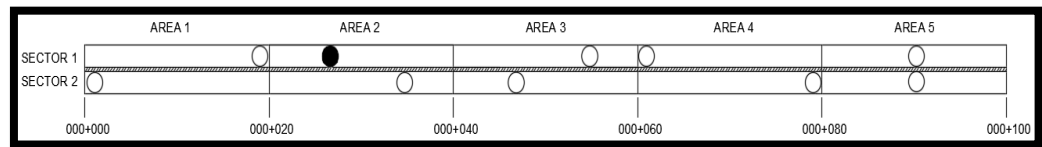
Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 1-Área 1.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	1.16100321	1.16100321	28471.0422	4.1921E-23
Residuos	13	0.00053012	4.0778E-05		
Total	14	1.16153333			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 100

Punto de Medición (Sector 1-Área 2): Progresiva: 000+025 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 91*Grado de Compactación en el Sector 1-Area 2 con Pasadas Estáticas del E1.*

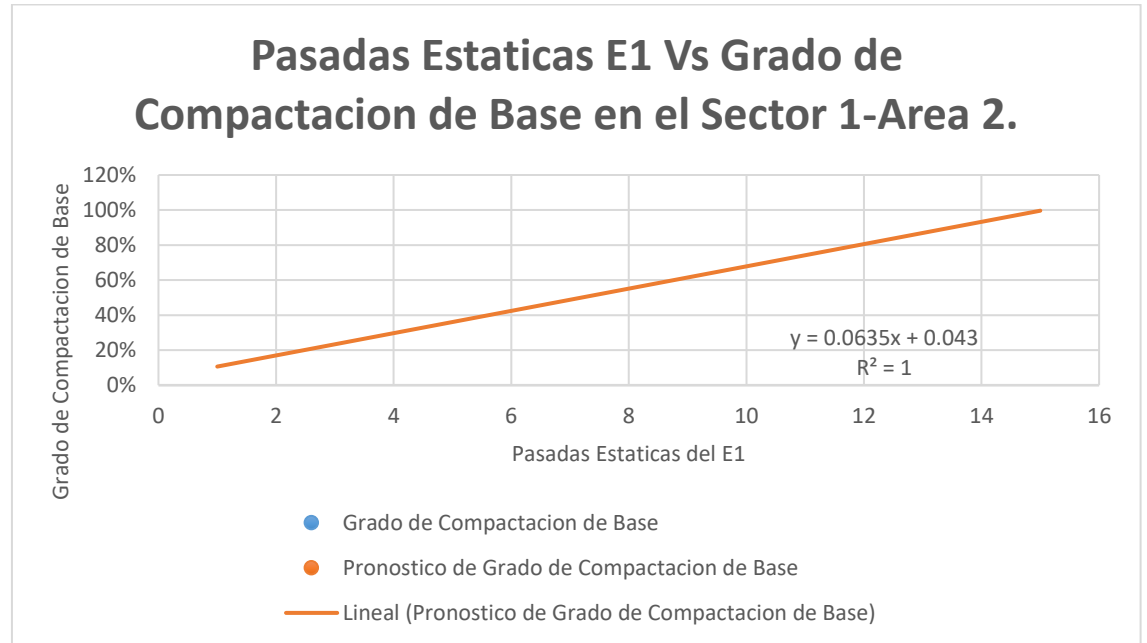
E1-(Sector 1-Área 2)	
Numero de Pasadas Estáticas del Equipo E1.	Grado de Compactación
1	11%
2	16%
3	23%
4	30%
5	35%
6	43%
7	51%
8	56%
9	60%
10	68%
11	74%
12	81%
13	86%
14	94%
15	99%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas estáticas con el Equipo Compactador de 11,247 kg, en el Sector 1-Area 2.

Figura 101

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 1-Area 2)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 92

Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 1-Área 2.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	
	0.99943736
Coeficiente de determinación	
R ²	0.99887504
R ² ajustado	0.9987885
Error típico	0.00989552
Observaciones	15

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 93

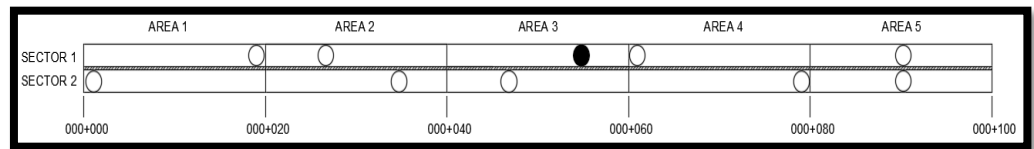
Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 1-Área 2.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	1.13030036	1.13030036	11542.9532	1.4765E-20
Residuos	13	0.00127298	9.7921E-05		
Total	14	1.13157333			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 102

Punto de Medición (Sector 1-Area 3): Progresiva: 000+055 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 94*Grado de Compactación en el Sector 1-Area 3 con Pasadas Estáticas del E1.*

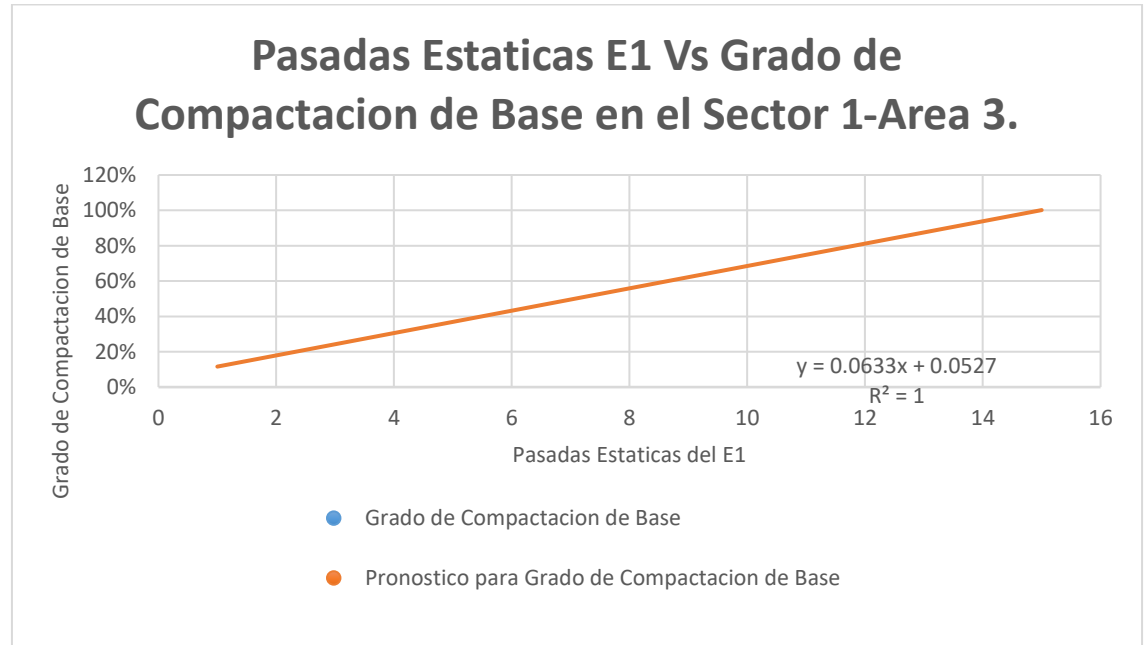
E1-(Sector 1-Área 3)	
Numero de Pasadas Estáticas del Equipo E1.	Grado de Compactación
1	12%
2	17%
3	24%
4	31%
5	37%
6	43%
7	51%
8	56%
9	61%
10	68%
11	75%
12	82%
13	87%
14	94%
15	100%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas estáticas con el Equipo Compactador de 11,247 kg, en el Sector 1-Area 3.

Figura 103

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 1-Area 3)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 95

Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 1-Área 3.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	
	0.99972523
Coeficiente de determinación	
R ²	0.99945053
R ² ajustado	0.99940826
Error típico	0.00688272
Observaciones	15

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 96

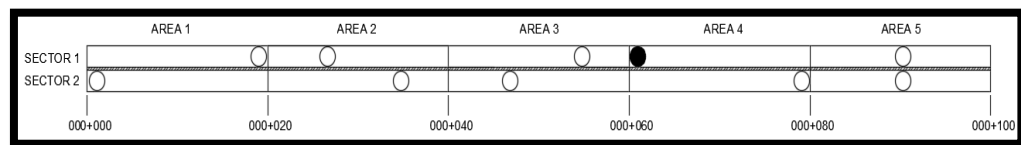
Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 1-Área 3.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	1.1201575	1.1201575	23646.0853	1.4008E-22
Residuos	13	0.00061583	4.7372E-05		
Total	14	1.12077333			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 104

Punto de Medición (Sector 1-Area 4): Progresiva: 000+062 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 97*Grado de Compactación en el Sector 1-Area 4 con Pasadas Estáticas del E1.*

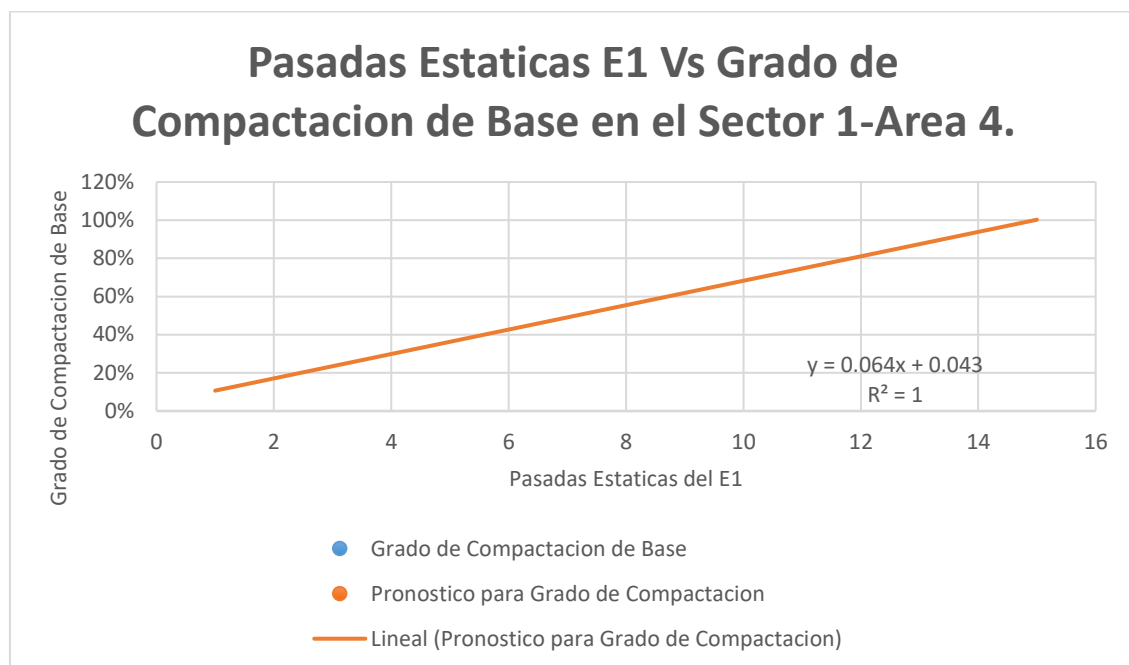
E1-(Sector 1-Área 4)	
Numero de Pasadas Estáticas del Equipo E1.	Grado de Compactación
1	11%
2	16%
3	24%
4	30%
5	36%
6	44%
7	49%
8	55%
9	61%
10	69%
11	74%
12	81%
13	88%
14	94%
15	100%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas estáticas con el Equipo Compactador de 11,247 kg, en el Sector 1-Area 4.

Figura 105

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 1-Area 4)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 98

Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 1-Área 4.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación	
múltiple	0.99975002
Coeficiente de determinación	
R ²	0.9995001
R ² ajustado	0.99946164
Error típico	0.00663891
Observaciones	15

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 99

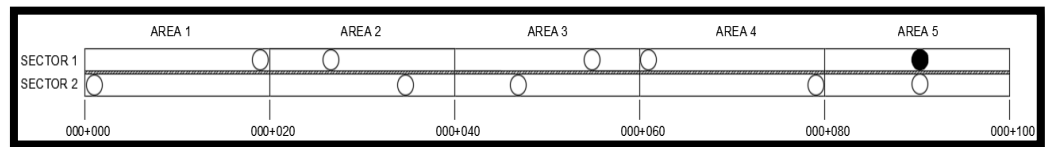
Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 1-Área 4.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	1.14560036	1.14560036	25992.0131	7.5767E-23
Residuos	13	0.00057298	4.4075E-05		
Total	14	1.14617333			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 106

Punto de Medición (Sector 1-Area 5): Progresiva: 000+090 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 100*Grado de Compactación en el Sector 1-Area 5 con Pasadas Estáticas del E1.*

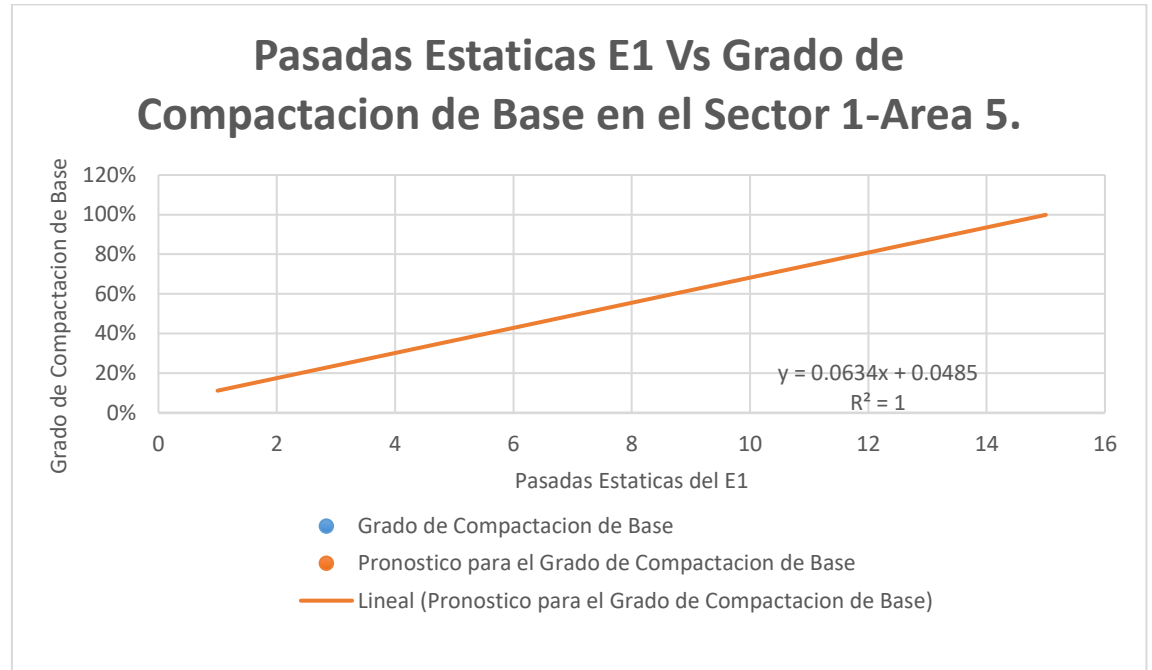
E1-(Sector 1-Área 5)	
Numero de Pasadas Estáticas del Equipo E1.	Grado de Compactación
1	12%
2	17%
3	25%
4	30%
5	35%
6	42%
7	50%
8	55%
9	62%
10	68%
11	75%
12	81%
13	88%
14	94%
15	99%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas estáticas con el Equipo Compactador de 11,247 kg, en el Sector 1-Area 5.

Figura 107

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 1-Area 5)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 101

Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 1-Área 5.

Estadísticas de la Regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.99963647
Coefficiente de determinación R ²	0.99927308
R ² ajustado	0.99921716
Error típico	0.00793056
Observaciones	15

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 102

Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector I-Área 5.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	1.12395571	1.12395571	17870.6995	8.6381E-22
Residuos	13	0.00081762	6.2894E-05		
Total	14	1.12477333			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

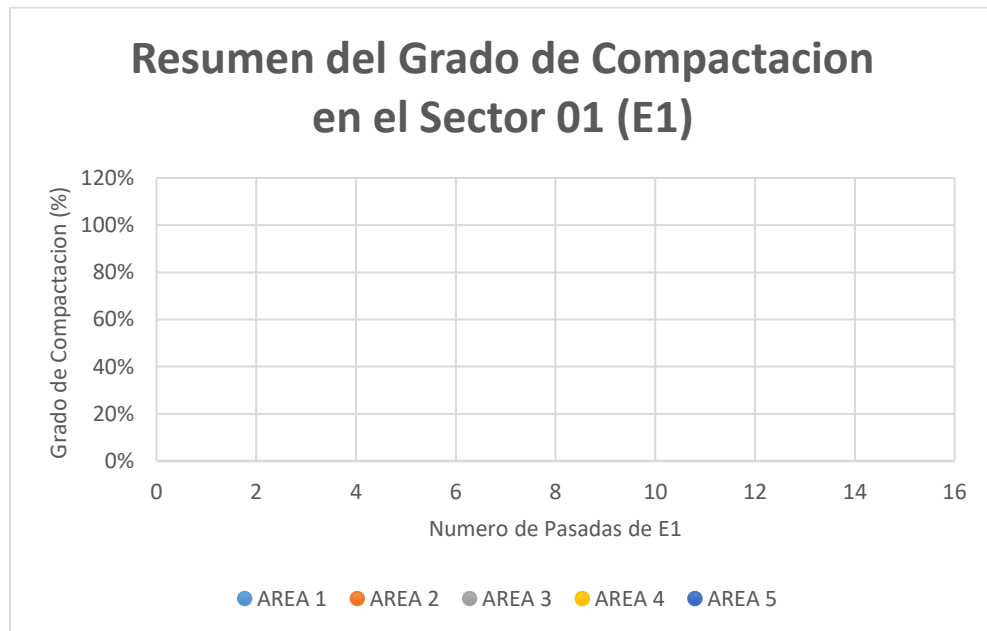
Tabla 103*Resumen del Grado de Compactación en el Sector 01*

Numero de pasadas de Equipo (Estático)	E1				
	Sector 1				
	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5
01	10%	11%	12%	11%	12%
02	17%	16%	17%	16%	17%
03	23%	23%	24%	24%	25%
04	31%	30%	31%	30%	30%
05	36%	35%	37%	36%	35%
06	43%	43%	43%	44%	42%
07	50%	51%	51%	49%	50%
08	55%	56%	56%	55%	55%
09	62%	60%	61%	61%	62%
10	69%	68%	68%	69%	68%
11	75%	74%	75%	74%	75%
12	82%	81%	82%	81%	81%
13	87%	86%	87%	88%	88%
14	95%	94%	94%	94%	94%
15	100%	99%	100%	100%	99%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 108

Resumen del Grado de Compactación en el Sector 01 (E1).



Nota. Fuente: Elaboración propia.

7.1.2.2.2. Resultados de Porcentaje del Grado de Compactación por Pasadas Vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg.

Tabla 104

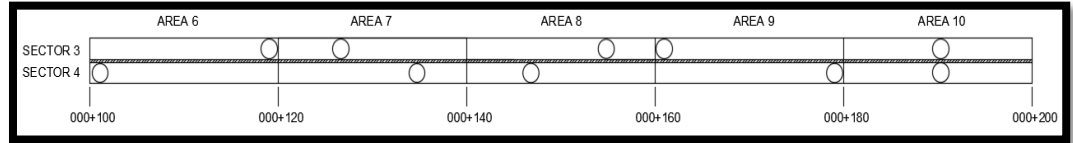
Especificaciones Técnicas de campo del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg. Tramo 02

Tramo 02:	Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde (000+100-000+200)
Carril 01 (lado izquierdo):	Sector 03
Máxima Densidad Seca:	2.255
Horario de Compactado:	12:35 p. m.
Temperatura:	22°C
Fecha:	10/09/2020
Clima:	Soleado sin Lluvias
Tipo de Compactación:	vibrado

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 109

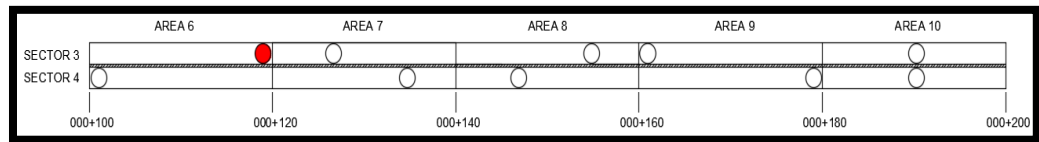
Esquema del Tramo Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde que comprende desde la progresiva 000+100-000+200.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 110

Punto de Medición (Sector 3-Area 6): Progresiva: 000+118 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 105

Grado de Compactación en el Sector 3-Area 6 con Pasadas Vibradas del E1.

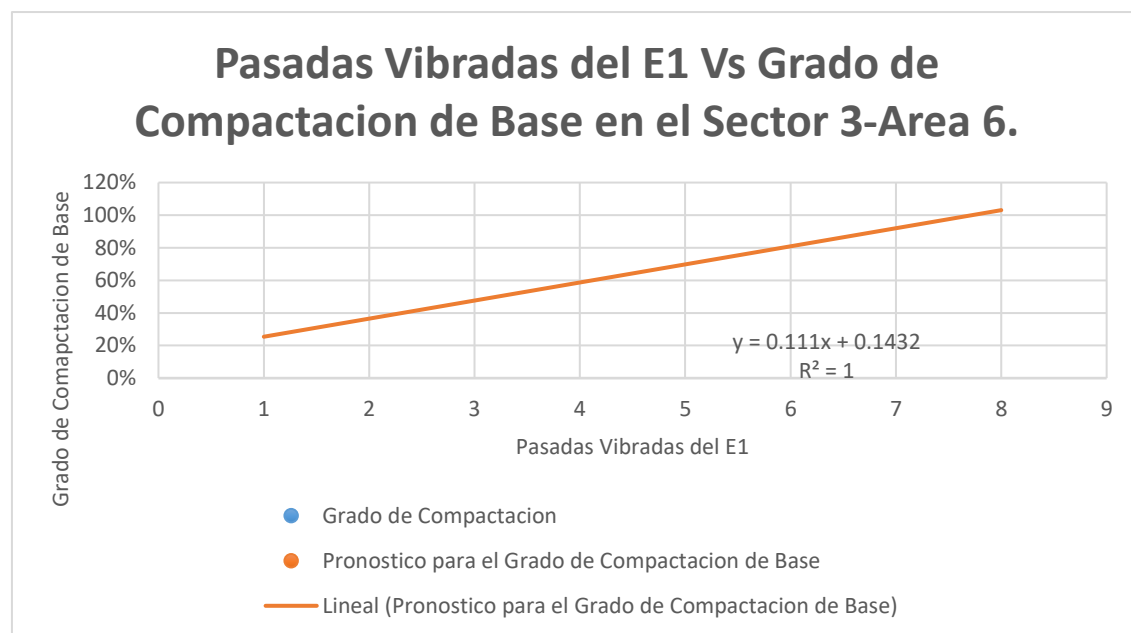
E1-(Sector 3-Área 6)	
Numero de Pasadas Vibradas del Equipo E1.	Grado de Compactación
1	19%
2	38%
3	50%
4	62%
5	73%
6	82%
7	91%
8	99%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas estáticas con el Equipo Compactador de 11,247 kg, en el Sector 3-Area 6.

Figura 111

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 3-Area 6)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 106

Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 3-Área 6.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	
	0.99149161
Coeficiente de determinación	
R ²	0.9830556
R ² ajustado	0.98023154
Error típico	0.03853982
Observaciones	8

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 107

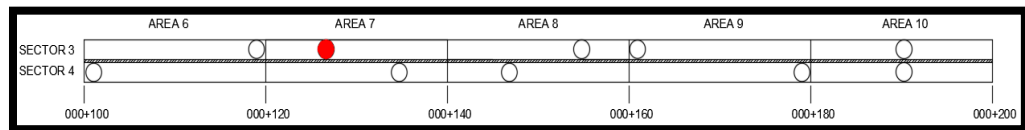
Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 3-Área 6.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.5170381	0.5170381	348.099386	1.5301E-06
Residuos	6	0.0089119	0.00148532		
Total	7	0.52595			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 112

Punto de Medición (Sector 3-Area 7): Progresiva: 000+125 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 108

Grado de Compactación en el Sector 3-Area 7 con Pasadas Vibradas del E1.

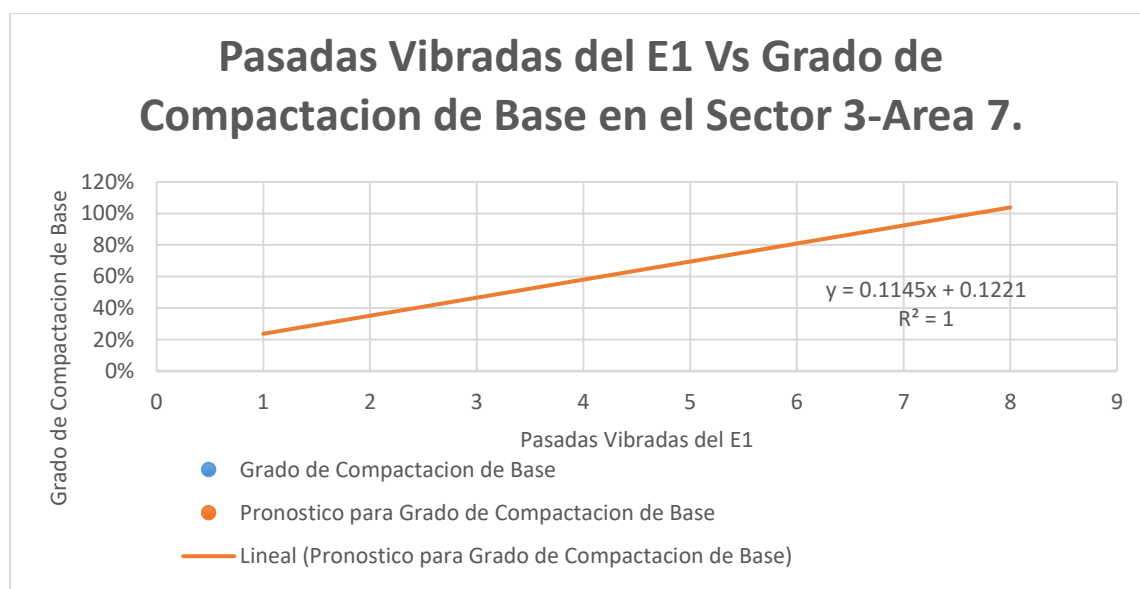
E1-(Sector 3-Área 7)	
Numero de Pasadas Vibradas del Equipo E1.	Grado de Compactación
1	18%
2	37%
3	48%
4	61%
5	72%
6	82%
7	92%
8	100%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

* Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas del equipo compactador de 11,247 en el sector 3-área 7.

Figura 113

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 3-Area 7)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 109*Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 3-Área 7.*

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación	
múltiple	0.99380377
Coeficiente de determinación R ²	0.98764594
R ² ajustado	0.98558693
Error típico	0.03388824
Observaciones	8

Nota. Fuente: Elaboración Propia.**Tabla 110***Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 3-Área 7.*

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.55085952	0.55085952	479.670352	5.9197E-07
Residuos	6	0.00689048	0.00114841		
Total	7	0.55775			

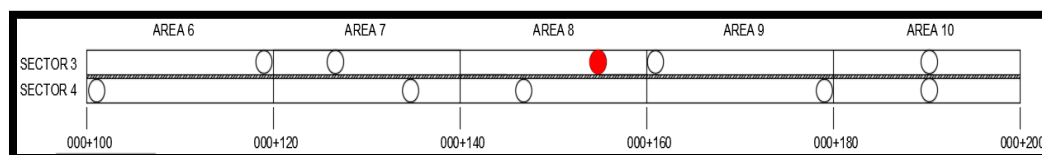
Nota. Fuente: Elaboración Propia.**Figura 114***Punto de Medición (Sector 3-Area 8): Progresiva: 000+155 km.***Nota.** Fuente: Elaboración propia.

Tabla 111

Grado de Compactación en el Sector 3-Area 8 con Pasadas Vibradas del E1.

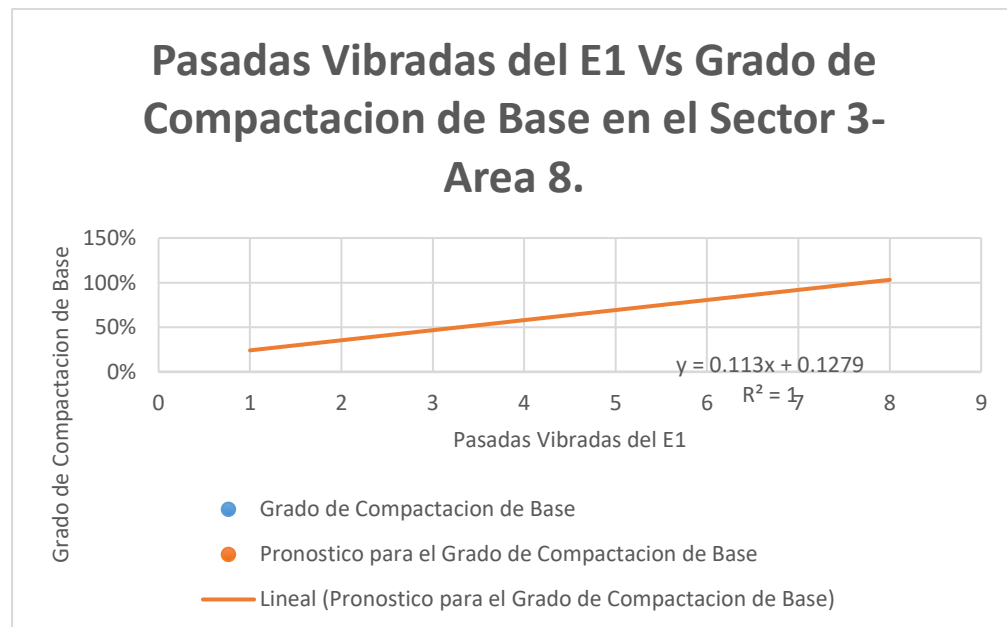
E1-(Sector 3-Área 8)	
Numero de Pasadas Vibradas del Equipo E1.	Grado de Compactación
1	18%
2	38%
3	48%
4	60%
5	72%
6	83%
7	91%
8	99%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

* Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas del equipo compactador de 11,247 en el sector 3-área 8.

Figura 115

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 3-Area 8)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 112*Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 3-Área 8.*

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación	
múltiple	0.99251548
Coeficiente de determinación	
R ²	0.98508699
R ² ajustado	0.98260148
Error típico	0.03677743
Observaciones	8

Nota. Fuente: Elaboración Propia**Tabla 113***Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 3-Área 8.*

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.53607202	0.53607202	396.333138	1.0423E-06
Residuos	6	0.00811548	0.00135258		
Total	7	0.5441875			

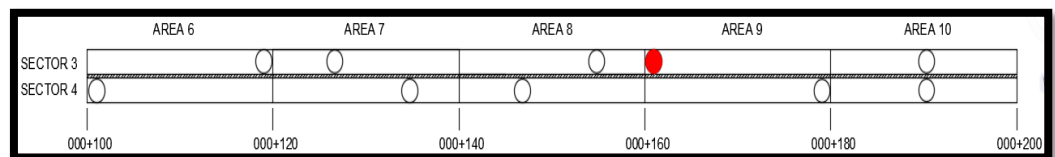
Nota. Fuente: Elaboración Propia.**Figura 116***Punto de Medición (Sector 3-Area 9): Progresiva: 000+162 km.***Nota.** Fuente: Elaboración propia.

Tabla 114

Grado de Compactación en el Sector 3-Area 9 con Pasadas Vibradas del E1.

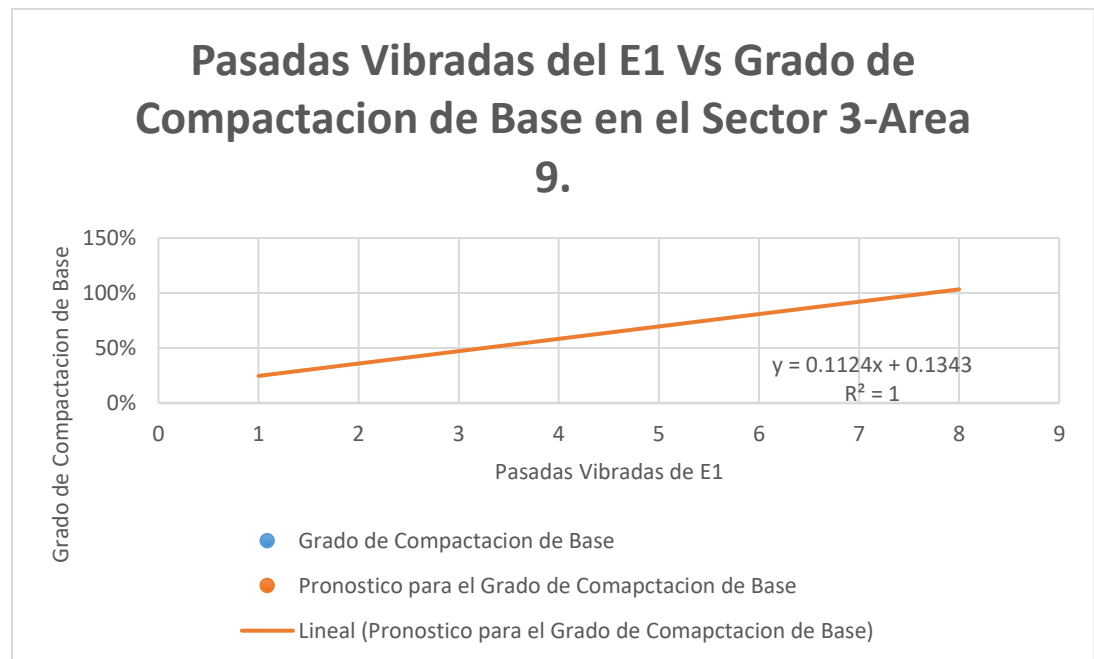
E1-(Sector 3-Área 9)	
Numero de Pasadas Vibradas del Equipo E1.	Grado de Compactación
1	19%
2	37%
3	50%
4	61%
5	72%
6	82%
7	91%
8	100%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

* Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas del equipo compactador de 11,247 en el sector 3-área 9.

Figura 117

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 3-Area 9)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 115*Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 3-Área 9.*

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación	
múltiple	0.99368641
Coeficiente de determinación	
R ²	0.98741269
R ² ajustado	0.9853148
Error típico	0.03357058
Observaciones	8

Nota. Fuente: Elaboración Propia**Tabla 116***Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 3-Área 9.*

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.5304381	0.5304381	470.670423	6.262E-07
Residuos	6	0.0067619	0.00112698		
Total	7	0.5372			

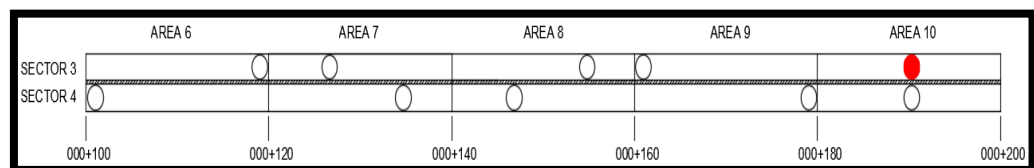
Nota. Fuente: Elaboración Propia.**Figura 118***Punto de Medición (Sector 3-Area 10): Progresiva: 000+190 km***Nota.** Fuente: Elaboración propia.

Tabla 117

Grado de Compactación en el Sector 3-Area 10 con Pasadas Vibradas del E1.

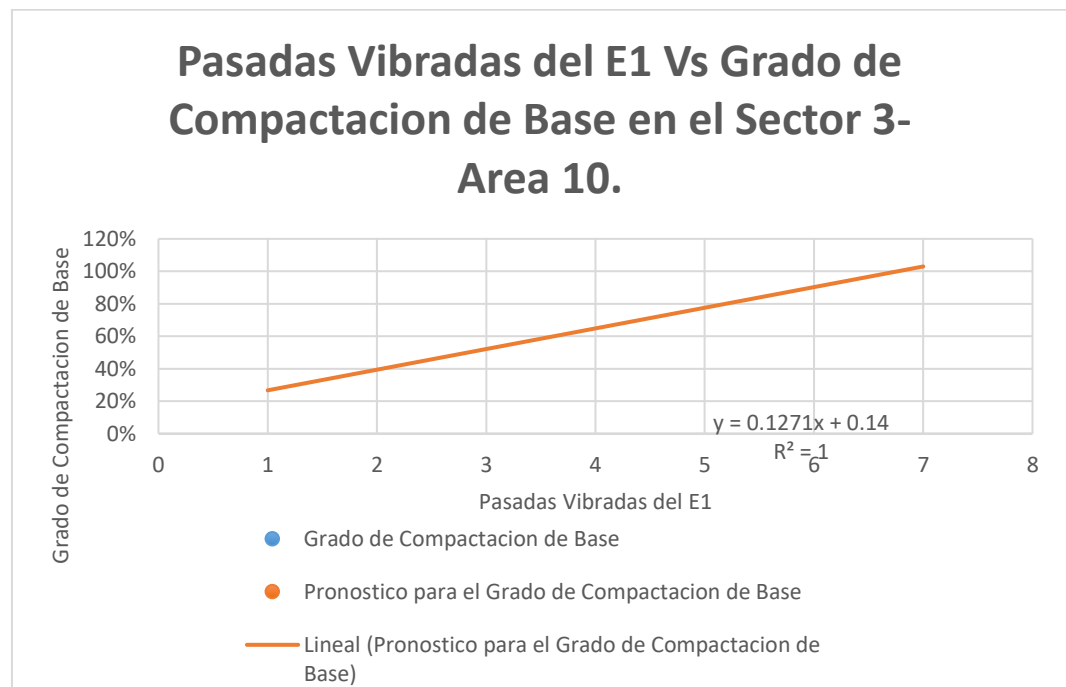
E1-(Sector 3-Área 10)	
Numero de Pasadas Vibradas del Equipo E1.	Grado de Compactación
1	18%
2	44%
3	56%
4	69%
5	79%
6	89%
7	99%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

* Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas del equipo compactador de 11,247 en el sector 3-área 10.

Figura 119

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 3-Area 10)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 118

Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 3-Área 10.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación	
múltiple	0.98398122
Coeficiente de determinación	
R ²	0.96821904
R ² ajustado	0.96186285
Error típico	0.05451081
Observaciones	7

Nota. Fuente: Elaboración Propia

Tabla 119

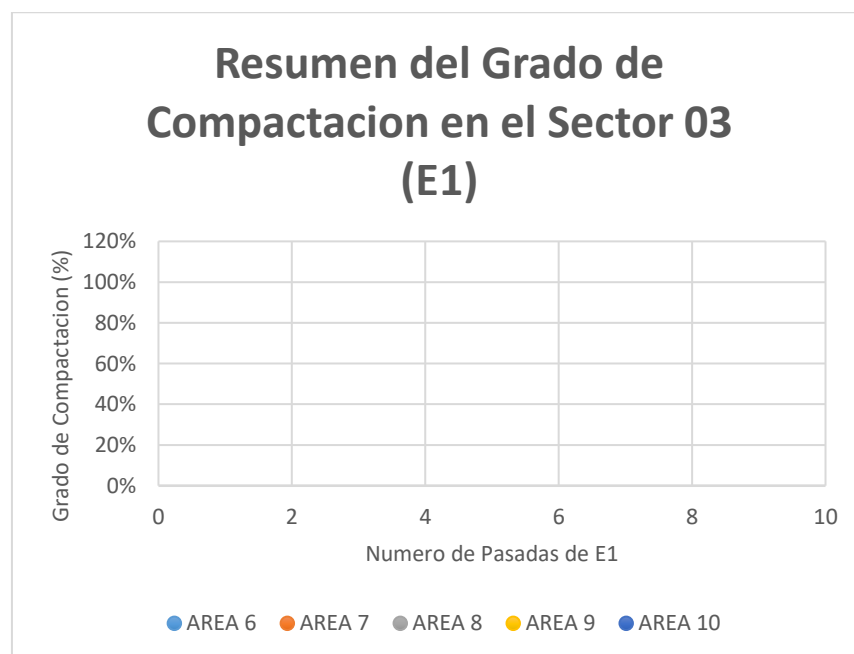
Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 3-Área 10.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.45262857	0.45262857	152.326923	6.1843E-05
Residuos	5	0.01485714	0.00297143		
Total	6	0.46748571			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 120*Resumen del Grado de Compactación en el Sector 03*

Numero de Pasadas de Equipo (Vibratorio)	E1				
	Sector 3				
	Área 6	Área 7	Área 8	Área 9	Área 10
01	19%	18%	18%	19%	18%
02	38%	37%	38%	37%	44%
03	50%	48%	48%	50%	56%
04	62%	61%	60%	61%	69%
05	73%	72%	72%	72%	79%
06	82%	82%	83%	82%	89%
07	91%	92%	91%	91%	99%
08	99%	100%	99%	100%	

Nota. Fuente: Elaboración Propia.**Figura 120***Resumen del Contenido de Humedad en el Sector 03 (E1).***Nota.** Fuente: Elaboración propia.

7.1.2.2.3. Resultados de Porcentaje del Grado de Compactación por Pasadas Estáticas y Vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg.

Tabla 121

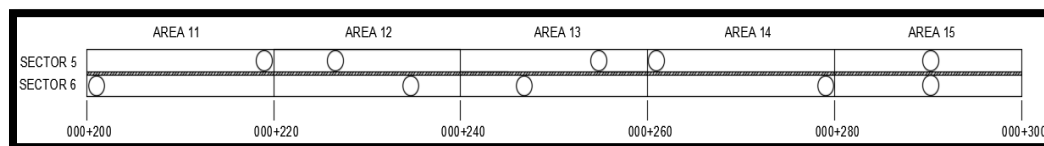
Especificaciones Técnicas de campo del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg. Tramo 03.

Tramo 03:	Jr. Castillo Verde-Jr. Galaxia (000+200-000+300)
Carril 01 (lado izquierdo):	Sector 05
Máxima Densidad Seca:	2.255 gr/cm ³
Horario de Compactado:	01:35 p. m.
Temperatura:	25°C
Fecha:	10/09/2020
Clima:	Soleado sin Lluvias
Tipo de Compactación:	Estático y Vibrado

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 121

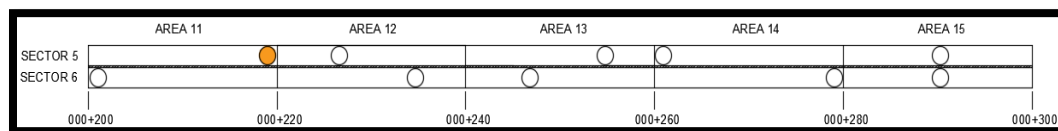
Esquema del Tramo Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde que comprende desde la progresiva 000+200-000+300.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 122

Punto de Medición (Sector 5-Area 11): Progresiva: 000+218 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 122

Grado de Compactación del Sector 5-Area 11 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E1.

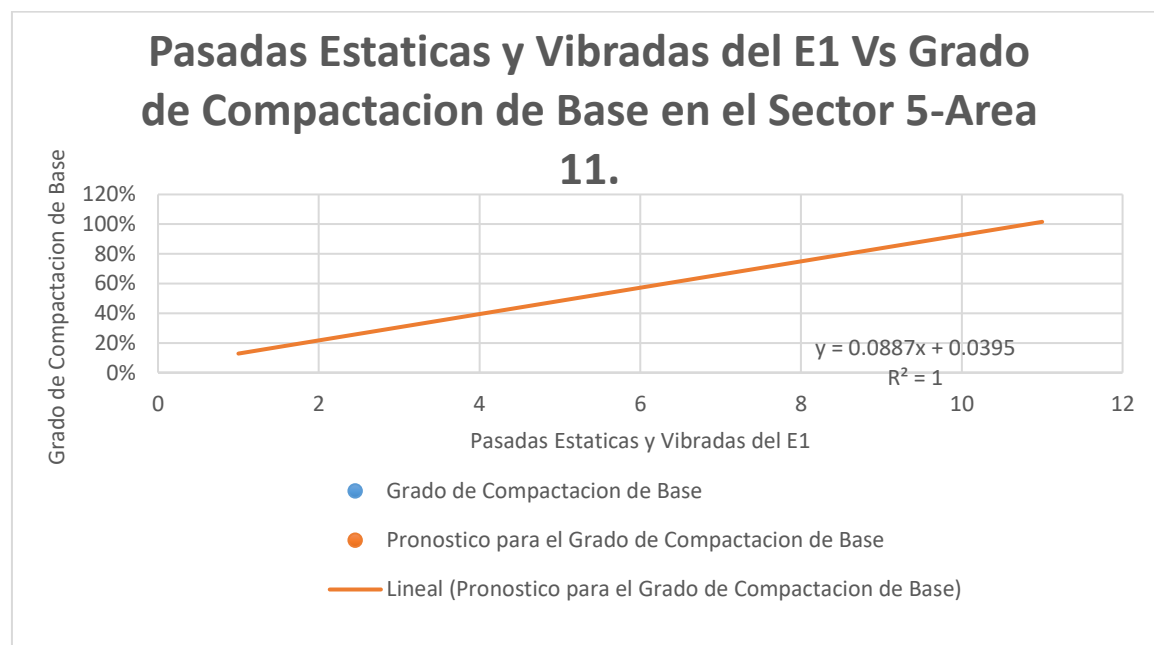
E1-(Sector 5-Area 11)		
Numero de Pasadas Estáticas y Vibradas del E1		Grado de Compactación
Estático	1	11%
Vibrado	2	23%
Estático	3	30%
Vibrado	4	41%
Estático	5	47%
Vibrado	6	58%
Estático	7	65%
Vibrado	8	77%
Estático	9	84%
Vibrado	10	94%
Estático	11	99%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

* Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas estáticas y vibradas del equipo compactador de 11,247 kg en el sector 5-área 11.

Figura 123

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 5-Area 11)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 123

Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 5-Área

11.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	
	0.99862552
Coeficiente de determinación	
R ²	0.99725293
R ² ajustado	0.9969477
Error típico	0.01628037
Observaciones	11

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 124

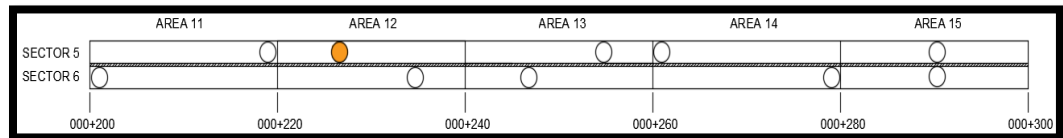
Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 5-Área 11.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.86597818	0.86597818	3267.21951	7.73E-13
Residuos	9	0.00238545	0.00026505		
Total	10	0.86836364			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 124

Punto de Medición (Sector 5-Area 12): Progresiva: 000+225 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 125

Grado de Compactación del Sector 5-Area 12 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E1.

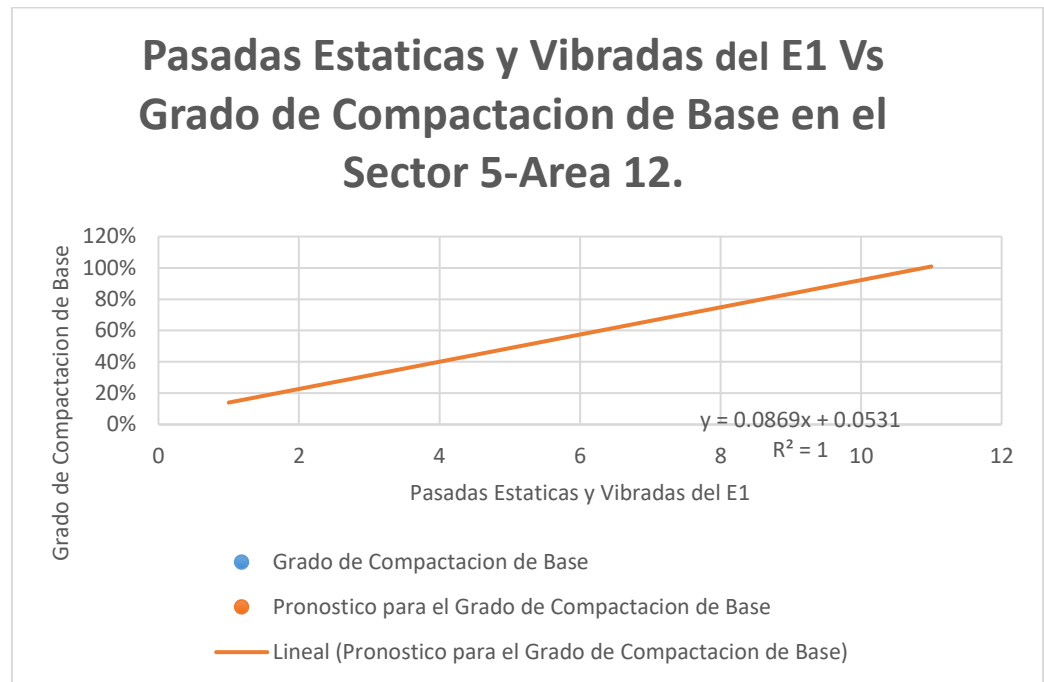
E1-(Sector 5-Area 12)		
Numero de Pasadas Estáticas y Vibradas del E1		Grado de Compactación
Estático	1	12%
Vibrado	2	24%
Estático	3	31%
Vibrado	4	42%
Estático	5	48%
Vibrado	6	59%
Estático	7	64%
Vibrado	8	76%
Estático	9	83%
Vibrado	10	93%
Estático	11	100%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

* Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas estáticas y vibradas del equipo compactador de 11,247 kg en el sector 5-área 12.

Figura 125

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 5-Area 12)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 126

Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 5-Área 12.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	
	0.9987855
Coeficiente de determinación	
R ²	0.99757248
R ² ajustado	0.99730275
Error típico	0.01498821
Observaciones	11

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 127

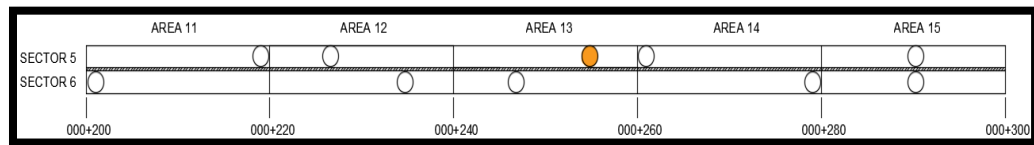
Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 5-Área 12.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.83085091	0.83085091	3698.48201	4.4304E-13
Residuos	9	0.00202182	0.00022465		
Total	10	0.83287273			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 126

Punto de Medición (Sector 5-Area 13): Progresiva: 000+255 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 128

Grado de Compactación del Sector 5-Area 13 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E1.

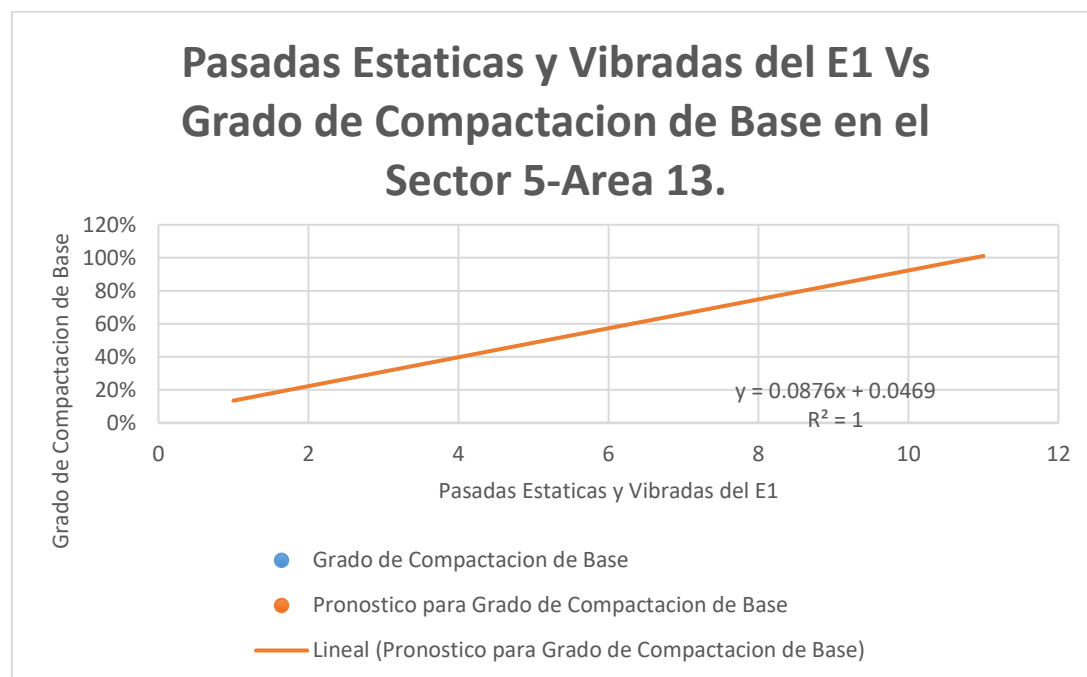
E1-(Sector 5-Area 13)		
Numero de Pasadas Estáticas y Vibradas del E1		Grado de Compactación
Estático	1	10%
Vibrado	2	24%
Estático	3	32%
Vibrado	4	43%
Estático	5	47%
Vibrado	6	57%
Estático	7	64%
Vibrado	8	76%
Estático	9	84%
Vibrado	10	94%
Estático	11	99%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

* Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas estáticas y vibradas del equipo compactador de 11,247 kg en el sector 5-área 13.

Figura 127

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 5-Area 13)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 129

Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 5-Área 13.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación	
múltiple	0.99752134
Coeficiente de determinación R ²	0.99504883
R ² ajustado	0.9944987
Error típico	0.02161182
Observaciones	11

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 130

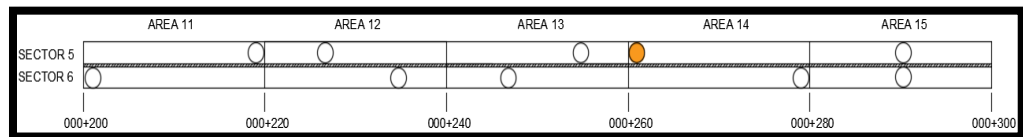
Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 5-Área 13.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.84481455	0.84481455	1808.75087	1.0961E-11
Residuos	9	0.00420364	0.00046707		
Total	10	0.84901818			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 128

Punto de Medición (Sector 5-Area 14): Progresiva: 000+262 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 131

Grado de Compactación del Sector 5-Area 14 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E1.

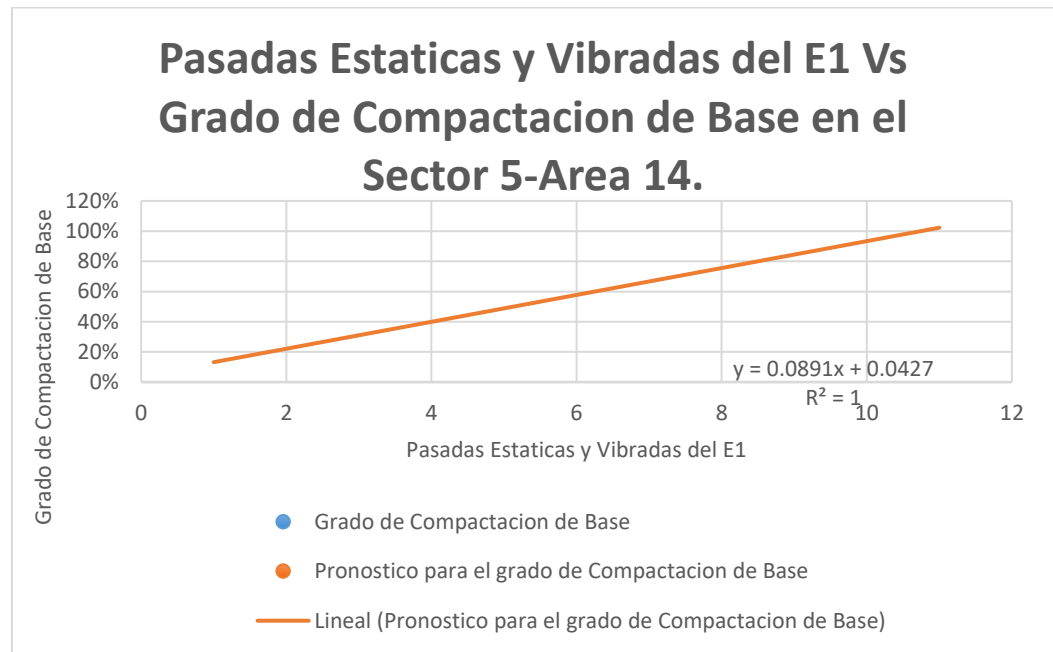
E1-(Sector 5-Area 14)		
Numero de Pasadas Estáticas y Vibradas del E1		Grado de Compactación
Estático	1	11%
Vibrado	2	25%
Estático	3	30%
Vibrado	4	42%
Estático	5	46%
Vibrado	6	58%
Estático	7	66%
Vibrado	8	77%
Estático	9	85%
Vibrado	10	95%
Estático	11	100%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

* Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas estáticas y vibradas del equipo compactador de 11,247 kg en el sector 5-área 14.

Figura 129

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 5-Area 14)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 132

Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 5-Área 14.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	
	0.99787228
Coeficiente de determinación	
R ²	0.99574909
R ² ajustado	0.99527677
Error típico	0.02035046
Observaciones	11

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 133

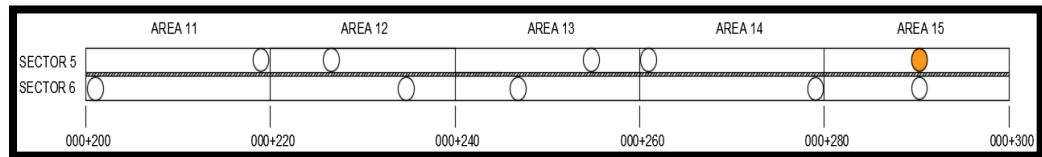
Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 5-Área 14.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.87309091	0.87309091	2108.19512	5.517E-12
Residuos	9	0.00372727	0.00041414		
Total	10	0.87681818			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 130

Punto de Medición (Sector 5-Area 15): Progresiva: 000+290 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 134

Grado de Compactación del Sector 5-Area 15 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E1.

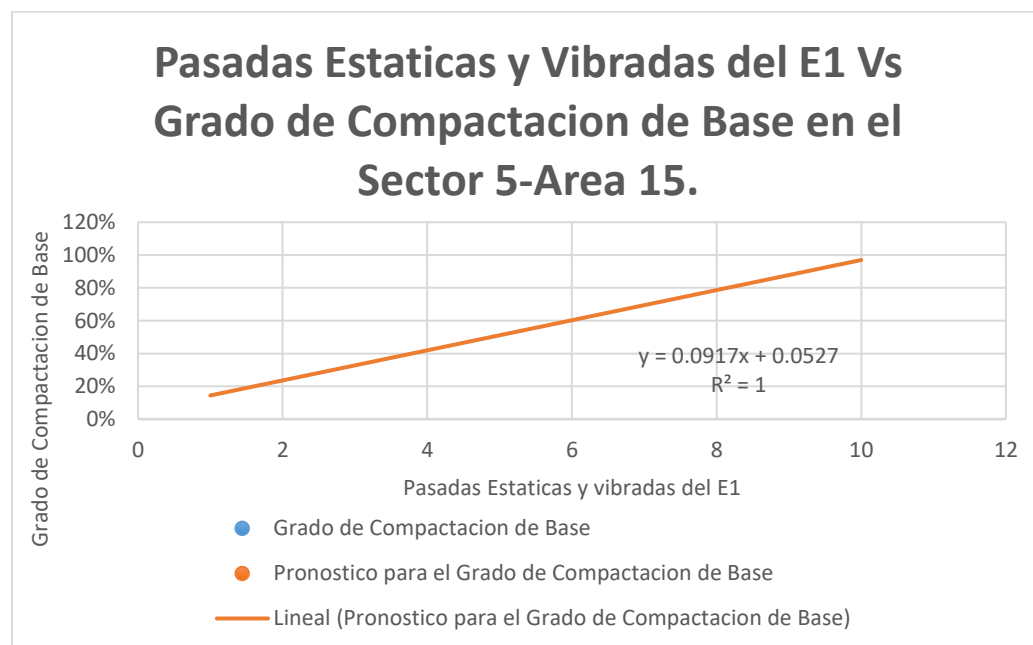
E1-(Sector 5-Area 15)		
Numero de Pasadas Estáticas y Vibradas del E1		Grado de Compactación
Estático	1	12%
Vibrado	2	26%
Estático	3	33%
Vibrado	4	45%
Estático	5	50%
Vibrado	6	60%
Estático	7	66%
Vibrado	8	79%
Estático	9	87%
Vibrado	10	99%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

* Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas estáticas y vibradas del equipo compactador de 11,247 kg en el sector 5-área 15.

Figura 131

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 5-Area 15)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 135

Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 5-Área 15.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	
	0.99718471
Coeficiente de determinación	
R ²	0.99437734
R ² ajustado	0.99367451
Error típico	0.02214279
Observaciones	10

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 136

Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 5-Área 15.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.69368758	0.69368758	1414.81397	2.7391E-10
Residuos	8	0.00392242	0.0004903		
Total	9	0.69761			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 137

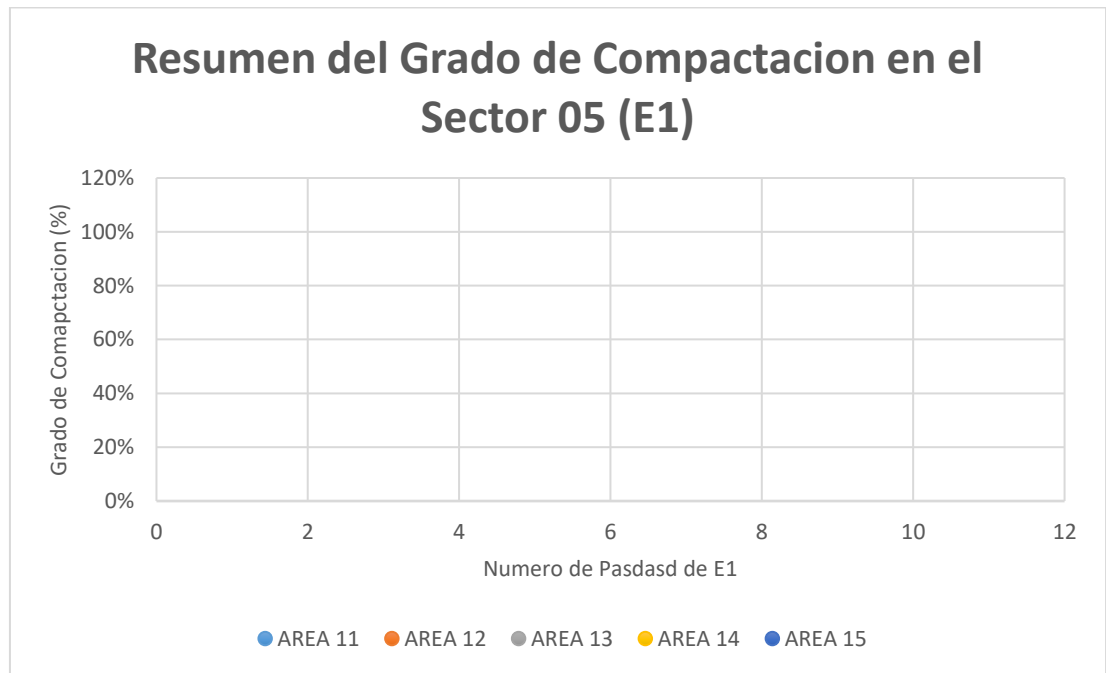
Resumen del Grado de Compactación en el Sector 05

Numero de pasadas de Equipo (Estático y Vibratorio)	E1				
	Sector 5				
	Área 11	Área 12	Área 13	Área 14	Área 15
1 (Estática)	11%	12%	10%	11%	12%
2 (vibrada)	23%	24%	24%	25%	26%
3 (estática)	30%	31%	32%	30%	33%
4 (vibrada)	41%	42%	43%	42%	45%
5 (estática)	47%	48%	47%	46%	50%
6 (vibrada)	58%	59%	57%	58%	60%
7 (estática)	65%	64%	64%	66%	66%
8 (vibrada)	77%	76%	76%	77%	79%
9 (Estática)	84%	83%	84%	85%	87%
10 (vibrada)	94%	93%	94%	95%	99%
11 (estática)	99%	100%	99%	100%	

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 132

Resumen del Grado de Compactación en el Sector 05 (E1).



Nota. Fuente: Elaboración propia.

7.1.2.3. Efectos significativos del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg en el Contenido de Humedad en Campo.

Se da a conocer los resultados del porcentaje de Humedad por Pasadas Estáticas, Vibradas y estáticas y vibradas del rodillo liso vibratorio de 12,002 kg para la determinación de su influencia en el Contenido de Humedad en Campo.

Ensayo de Carburo de Calcio (contenido de humedad)

El procedimiento aplicado para la ejecución del presente ensayo estuvo de acuerdo a la NTP 339.150:1999 Método de Ensayo para la determinación en campo del contenido de humedad, por el método de presión del gas carburo de calcio.

Tabla 138*Características Principales de la Vía en estudio para la evaluación*

Nº	Características de la Vía	Descripción
1	Ubicación	Av. Orión Tramo: Jr. Medusa-Jr. Galaxia
2	Punto de Inicio de la Evaluación	Intersección entre la Av. Orión y el Jr. Medusa con una progresiva inicial de 0+000 km.
3	Punto Final para la Evaluación	Intersección entre la Av. Orión y el Jr. Galaxia con una progresiva final de 0+300 km.
4	Longitud de Vía	300.00 m
5	Ancho de Calzada	13.00 m

Nota: Características de la vía en estudio. Fuente: Elaboración propia.**Tabla 139***Características de Operación del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg.*

Compactación Dinámica	
Equipo 02:	Rodillo liso vibratorio
Marca:	Ingersoll Rand
Año de fabricación:	2015
Peso útil:	12,002 kg
Ancho de tambor	2.135 m
Fuerza centrífuga:	206 kn
Frecuencia del excitador	40 Hz
Amplitud nominal	1.2 mm
Presión lineal:	56.22 kg/cm
Presión lineal dinámica:	0.96 kn/cm
Velocidad de trabajo:	3 km/h

Nota. Fuente: Elaboración propia.

*Características de Operaciones de Equipo.

7.1.2.3.1. Resultados del Porcentaje de Humedad por Pasadas Estáticas del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg

Tabla 140

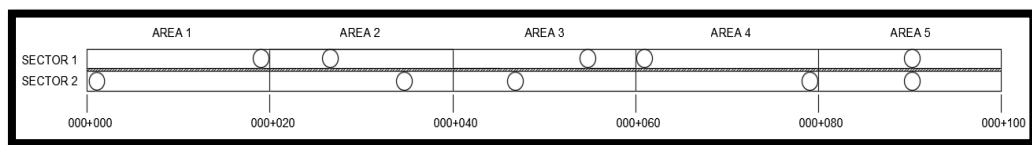
Especificaciones Técnicas de campo del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg. Tramo 01

Tramo 01:	JR. Géminis-Jr. Castillo Verde (000+100-000+200)
Carril 02 (lado derecho):	Sector 02
Pasadas de Cisterna:	02 ciclos
Tiempo de espera después de Riego:	20 min
Optimo Contenido de Humedad según Proctor:	6.35%
Horario de Compactado:	11:05 a. m.
Temperatura:	21°C
Fecha:	11/09/2020
Clima:	Soleado sin Lluvias
Tipo de Compactación:	Estática

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 133

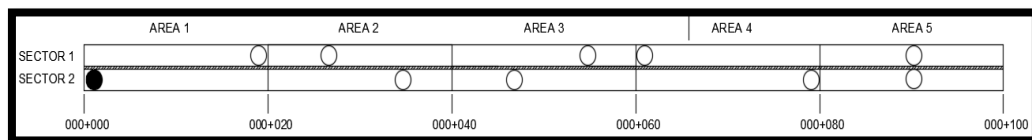
Esquema del Tramo Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde que comprende desde la progresiva 000+000-000+100.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 134

Punto de Medición (Sector 2-Area 1): Progresiva: 000+002 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 141

Porcentaje de Humedad el Sector 2-Area 1 con Pasadas Estáticas del E2.

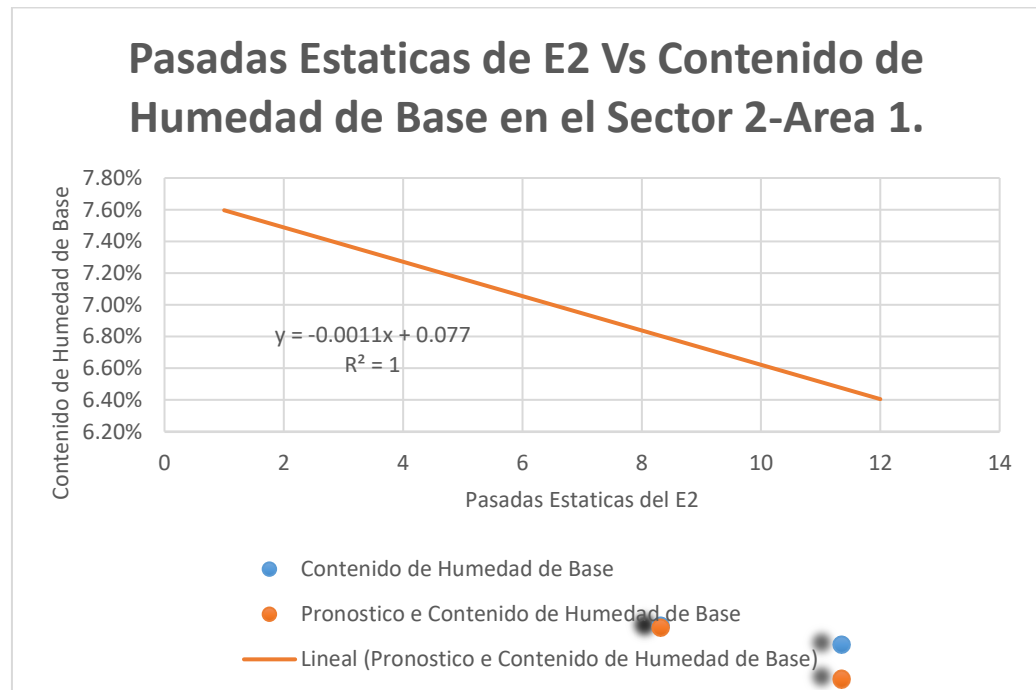
E2-(Sector 2-Área 1)	
Numero de Pasadas Estáticas de E2.	Porcentaje de Humedad
1	7.60%
2	7.56%
3	7.33%
4	7.25%
5	7.12%
6	7.11%
7	6.90%
8	6.83%
9	6.74%
10	6.64%
11	6.55%
12	6.38%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas estáticas con el equipo compactador de 12,002 kg, en el sector 2-área 1.

Figura 135

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 2-Area 1)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 142

Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 2-Área 1.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación	
múltiple	0.99477182
Coeficiente de determinación	
R ²	0.98957097
R ² ajustado	0.98852806
Error típico	0.00042038
Observaciones	12

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 143

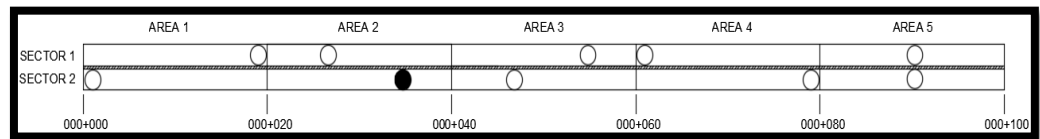
Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 2-Area 1.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.00016768	0.00016768	948.861566	3.0494E-11
Residuos	10	1.7672E-06	1.7672E-07		
Total	11	0.00016945			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 136

Punto de Medición (Sector 2-Area 2): Progresiva: 000+035 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 144

Porcentaje de Humedad el Sector 2-Area 2 con Pasadas Estáticas del E2.

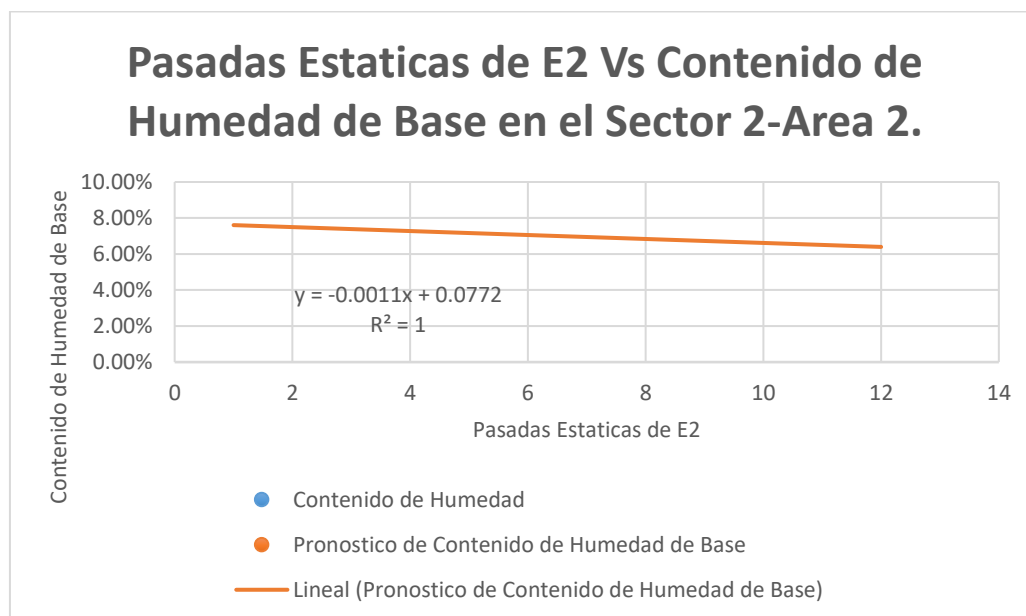
E2-(Sector 2-Área 2)	
Numero de Pasadas Estáticas de E2.	Porcentaje de Humedad
1	7.65%
2	7.55%
3	7.35%
4	7.22%
5	7.09%
6	7.09%
7	6.91%
8	6.85%
9	6.75%
10	6.65%
11	6.55%
12	6.35%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas estáticas con el equipo compactador de 12,002 kg, en el sector 2-area 2.

Figura 137

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 2-Area 2)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 145

Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 2-Area 2.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	
	0.99327585
Coeficiente de determinación	
R ²	0.98659691
R ² ajustado	0.9852566
Error típico	0.00048468
Observaciones	12

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 146

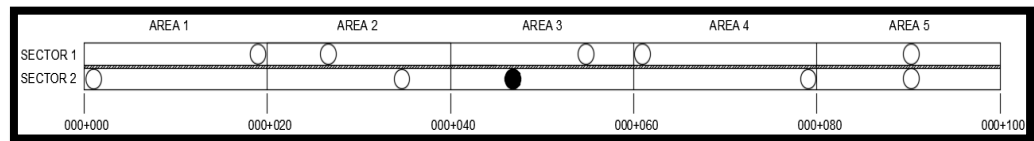
Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 2-Area 2.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.00017292	0.00017292	736.096365	1.0704E-10
Residuos	10	2.3491E-06	2.3491E-07		
Total	11	0.00017527			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 138

Punto de Medición (Sector 2-Area 3): Progresiva: 000+045 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 147*Porcentaje de Humedad el Sector 2-Area 3 con Pasadas Estáticas del E2.*

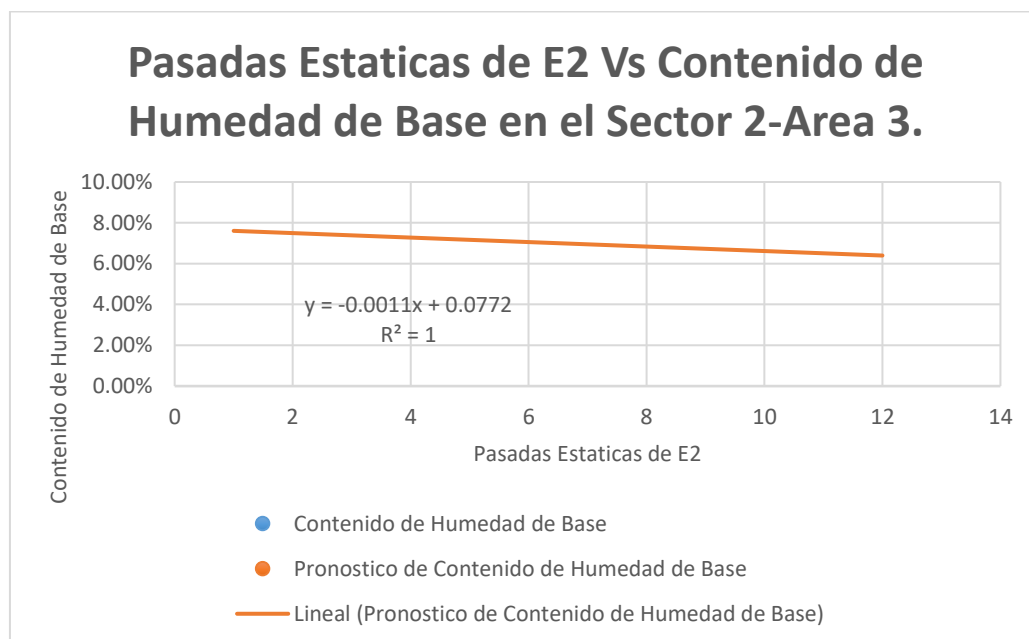
E2-(Sector 2-Área 3)	
Numero de Pasadas Estáticas de E2.	Porcentaje de Humedad
1	7.58%
2	7.56%
3	7.36%
4	7.25%
5	7.12%
6	7.09%
7	6.92%
8	6.84%
9	6.72%
10	6.66%
11	6.54%
12	6.32%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas estáticas con el equipo compactador de 12,002 kg, en el sector 2-area 3.

Figura 139

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 2-Area 3)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 148

Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 2-Area 3.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	
	0.99327585
Coeficiente de determinación	
R ²	0.98659691
R ² ajustado	0.9852566
Error típico	0.00048468
Observaciones	12

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 149

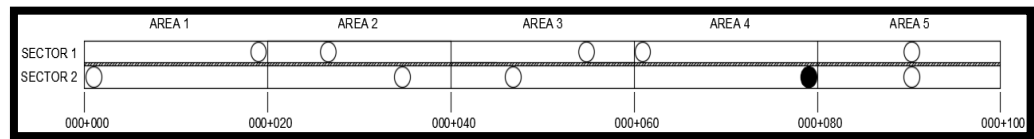
Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 2-Area 3.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.00017292	0.00017292	736.096365	1.0704E-10
Residuos	10	2.3491E-06	2.3491E-07		
Total	11	0.00017527			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 140

Punto de Medición (Sector 2-Area 4): Progresiva: 000+078 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 150

Porcentaje de Humedad el Sector 2-Area 4 con Pasadas Estáticas del E2.

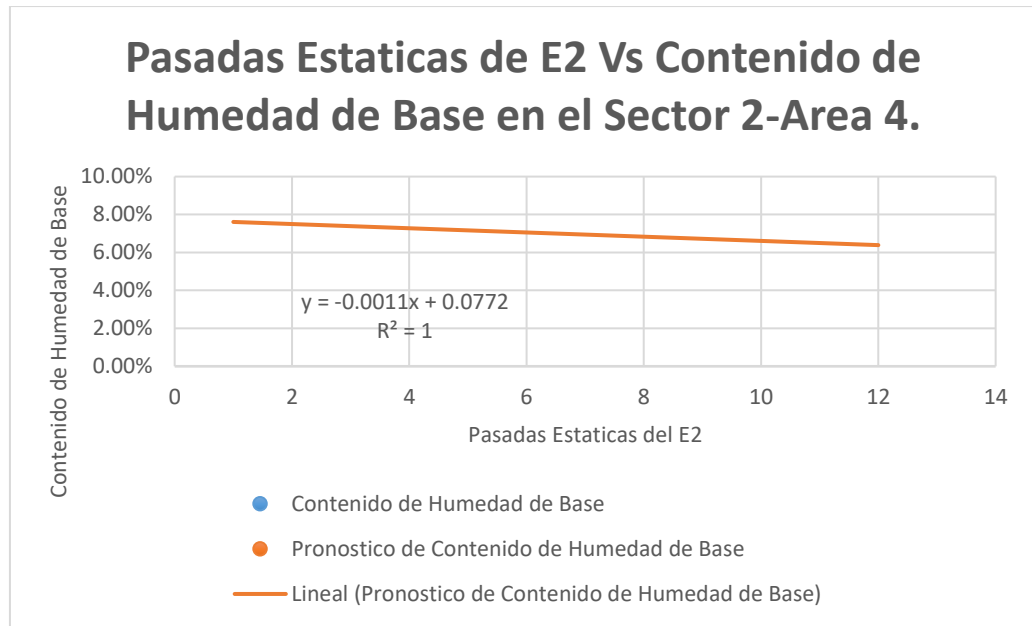
E2-(Sector 2-Área 4)	
Numero de Pasadas Estáticas de E2.	Porcentaje de Humedad
1	7.65%
2	7.49%
3	7.38%
4	7.24%
5	7.11%
6	7.08%
7	6.94%
8	6.85%
9	6.75%
10	6.64%
11	6.52%
12	6.33%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas estáticas con el equipo compactador de 12,002 kg, en el sector 2-area 4.

Figura 141

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 2-Area 4)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 151

Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 2-Area 4.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación	
múltiple	0.99643732
Coeficiente de determinación	
R ²	0.99288734
R ² ajustado	0.99217607
Error típico	0.00035587
Observaciones	12

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 152

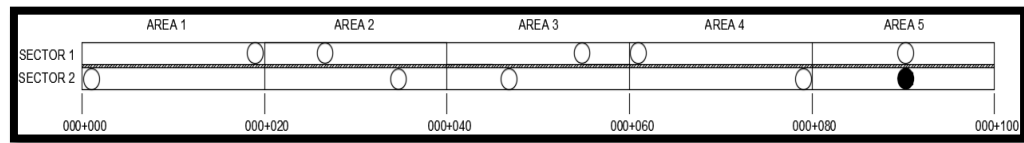
Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 2-Area 4.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.00017679	0.00017679	1395.94338	4.4932E-12
Residuos	10	1.2665E-06	1.2665E-07		
Total	11	0.00017806			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 142

Punto de Medición (Sector 2-Area 5): Progresiva: 000+090 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 153

Porcentaje de Humedad el Sector 2-Area 5 con Pasadas Estáticas del E2.

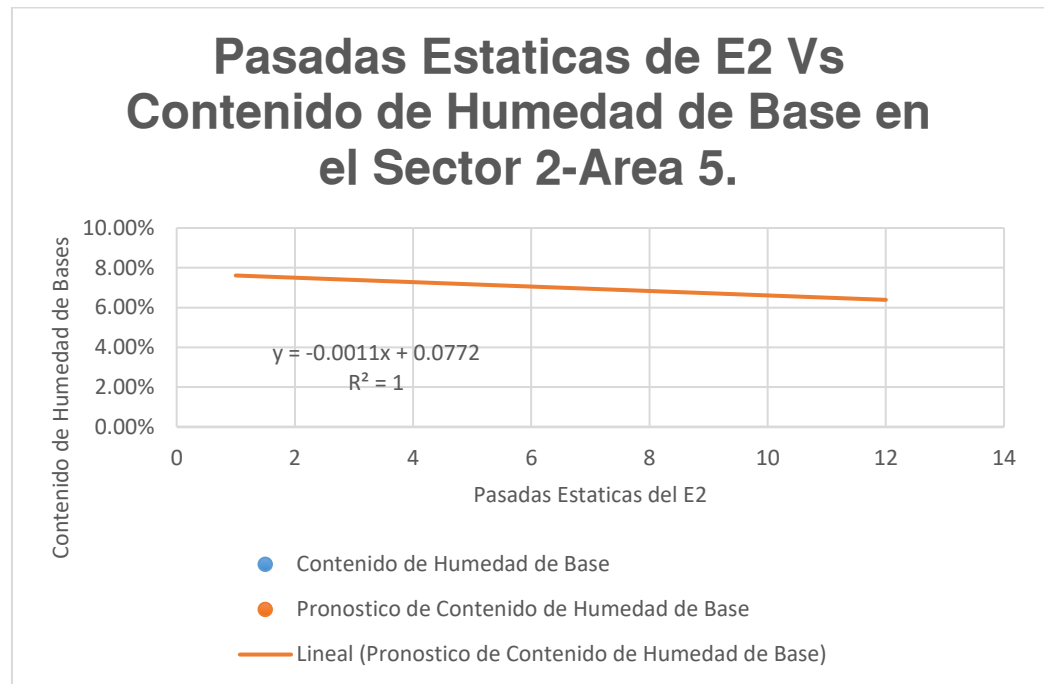
E2-(Sector 2-Área 5)	
Numero de Pasadas Estáticas de E2.	Porcentaje de Humedad
1	7.68%
2	7.50%
3	7.44%
4	7.22%
5	7.08%
6	7.05%
7	6.90%
8	6.82%
9	6.74%
10	6.66%
11	6.50%
12	6.40%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas estáticas con el equipo compactador de 12,002 kg, en el sector 2-area 5.

Figura 143

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 2-Area 5)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 154

Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 2-Area 5.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	
	0.99353128
Coeficiente de determinación	
R ²	0.9871044
R ² ajustado	0.98581484
Error típico	0.00048164
Observaciones	12

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 155

*Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 2-
Area 5.*

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.00017757	0.00017757	765.458357	8.8238E-11
Residuos	10	2.3198E-06	2.3198E-07		
Total	11	0.00017989			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 156

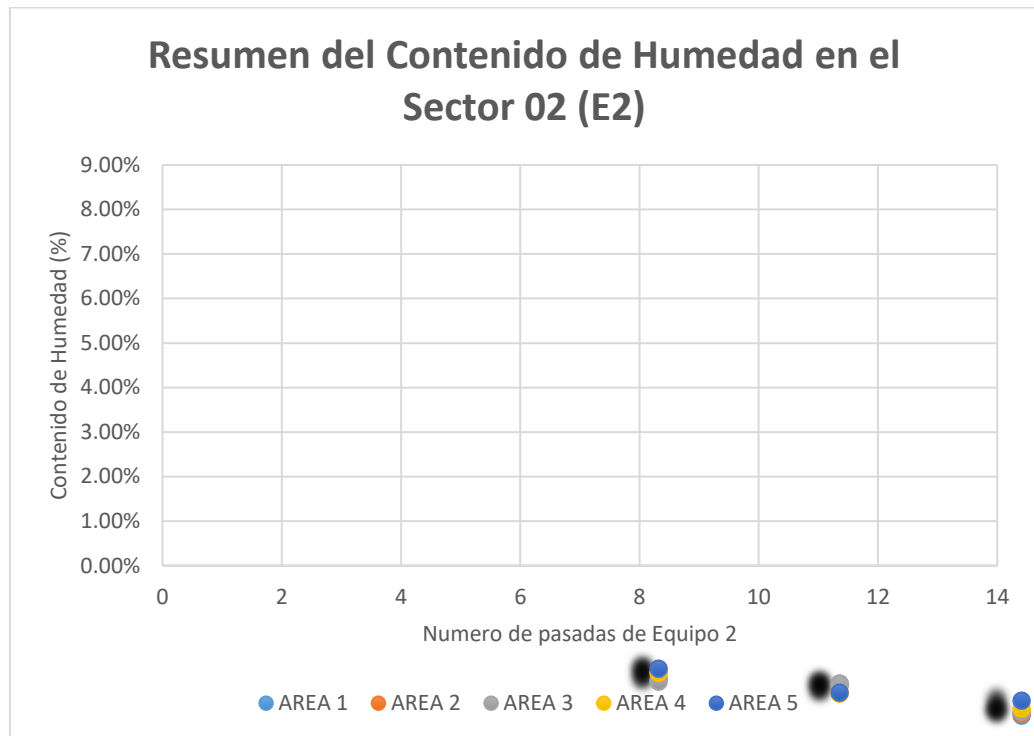
Resumen de Contenido de Humedades en el Sector 02

Numero de Pasadas de Equipo (Estático)	E2				
	Sector 2				
	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5
01	7.60%	7.65%	7.58%	7.65%	7.68%
02	7.56%	7.55%	7.56%	7.49%	7.50%
03	7.33%	7.35%	7.36%	7.38%	7.44%
04	7.25%	7.22%	7.25%	7.24%	7.22%
05	7.12%	7.09%	7.12%	7.11%	7.08%
06	7.11%	7.09%	7.09%	7.08%	7.05%
07	6.90%	6.91%	6.92%	6.94%	6.90%
08	6.83%	6.85%	6.84%	6.85%	6.82%
09	6.74%	6.75%	6.72%	6.75%	6.74%
10	6.64%	6.65%	6.66%	6.64%	6.66%
11	6.55%	6.55%	6.54%	6.52%	6.50%
12	6.38%	6.35%	6.32%	6.33%	6.40%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 144

Resumen del Contenido de Humedad en el Sector 02 (E2).



Nota. Fuente: Elaboración propia.

7.1.2.3.2. Resultados del Porcentaje de Humedad por Pasadas Vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg

Tabla 157

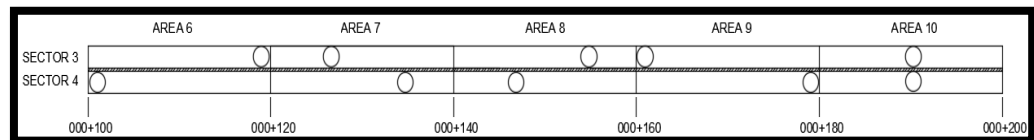
*Especificaciones Técnicas de campo del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg.
Tramo 02.*

Tramo 02:	JR. Géminis-Jr. Castillo Verde (000+100-000+200)
Carril 02 (lado derecho):	Sector 04
Pasadas de Cisterna:	02 ciclos
Tiempo de espera después de Riego:	25 min
Optimo Contenido de Humedad según	
Proctor:	6.35%
Horario de Compactado:	12:40 p. m.
Temperatura:	22°C
Fecha:	11/09/2020
Clima:	Soleado sin Lluvias
Método de Compactado:	Vibrado

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 145

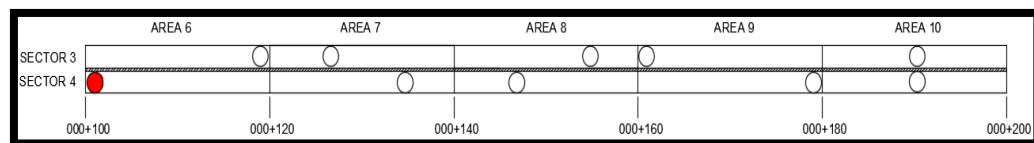
Esquema del Tramo Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde que comprende desde la progresiva 000+100-000+200.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 146

Punto de Medición (Sector 4-Area 6): Progresiva: 000+102 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 158

Porcentaje de Humedad el Sector 4-Area 6 con Pasadas vibradas del E2.

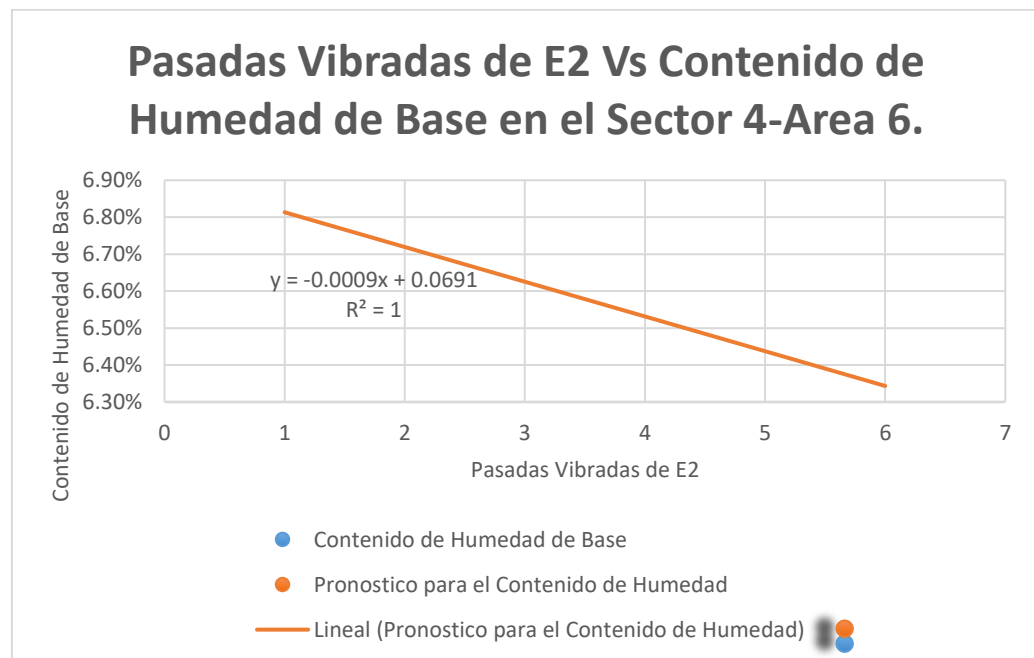
E2-(Sector 4-Área 6)	
Numero de Pasadas Vibradas de E2.	Porcentaje de Humedad
1	6.80%
2	6.72%
3	6.64%
4	6.55%
5	6.42%
6	6.34%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas vibradas con el equipo compactador de 12,002 kg, en el sector 4-area 6.

Figura 147

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 4-Area 6)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 159*Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 4-Area 6.*

<i>Estadísticas de la Regresión</i>	
Coeficiente de correlación	
múltiple	0.99661132
Coeficiente de determinación	
R ²	0.99323413
R ² ajustado	0.99154266
Error típico	0.00016228
Observaciones	6

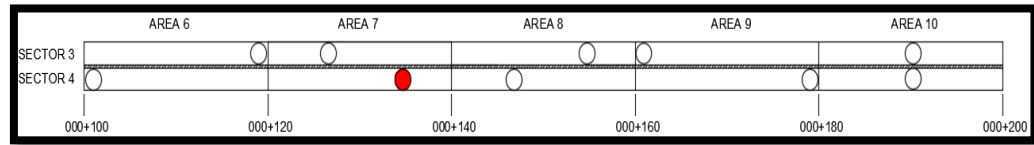
Nota. Fuente: Elaboración Propia.**Tabla 160***Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 4-Area 6.*

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor Crítico de F
Regresión	1	1.5463E-05	1.5463E-05	587.202532	1.7205E-05
Residuos	4	1.0533E-07	2.6333E-08		
Total	5	1.5568E-05			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 148

Punto de Medición (Sector 4-Area 7): Progresiva: 000+135 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 161

Porcentaje de Humedad el Sector 4-Area 7 con Pasadas vibradas del E2.

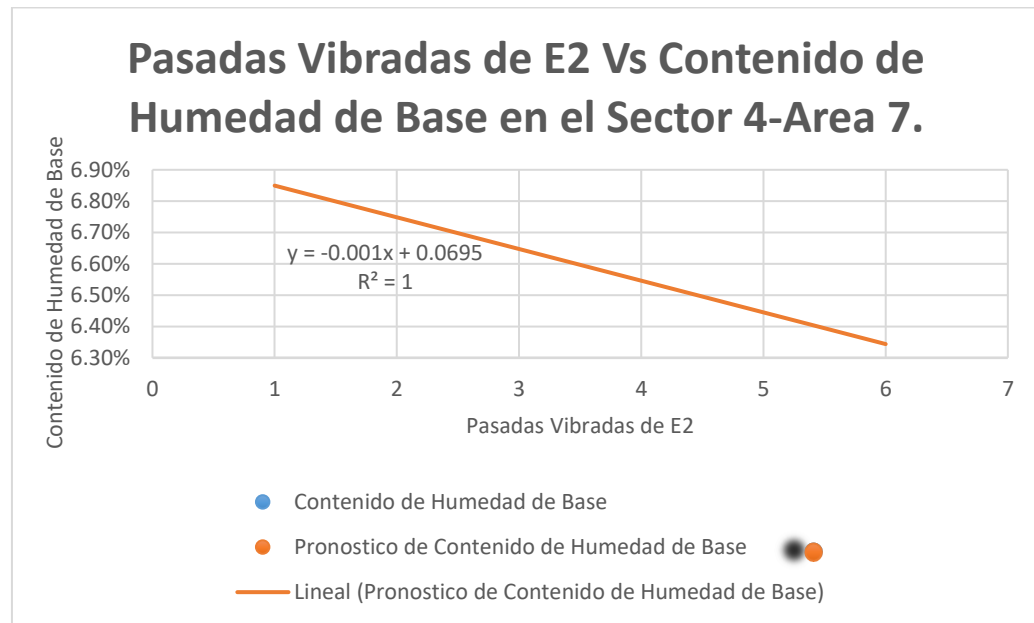
E2-(Sector 4-Área 7)	
Numero de Pasadas Vibradas de E2.	Porcentaje de Humedad
1	6.85%
2	6.73%
3	6.65%
4	6.58%
5	6.44%
6	6.33%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas vibradas con el equipo compactador de 12,002 kg, en el sector 4-area 7.

Figura 149

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 4-Area 7)



Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 162

Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 4-Area 7.

<i>Estadísticas de la Regresión</i>	
Coeficiente de correlación	
múltiple	0.99525671
Coeficiente de determinación R ²	0.99053591
R ² ajustado	0.98816989
Error típico	0.00020679
Observaciones	6

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 163

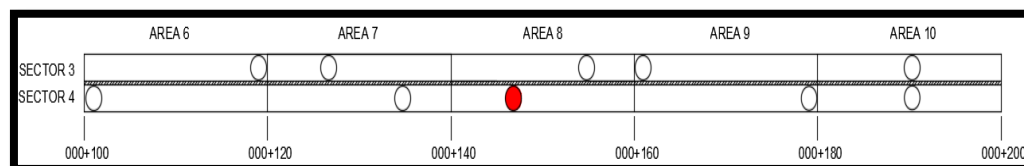
*Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 4-
Area 7.*

Análisis de Varianza				
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	Valor Crítico de F
Regresión	1	1.7902E-05	1.7902E-05	418.650334
Residuos	4	1.7105E-07	4.2762E-08	3.3695E-05
Total	5	1.8073E-05		

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 150

Punto de Medición (Sector 4-Area 8): Progresiva: 000+145 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 164

Porcentaje de Humedad el Sector 4-Area 8 con Pasadas vibradas del E2.

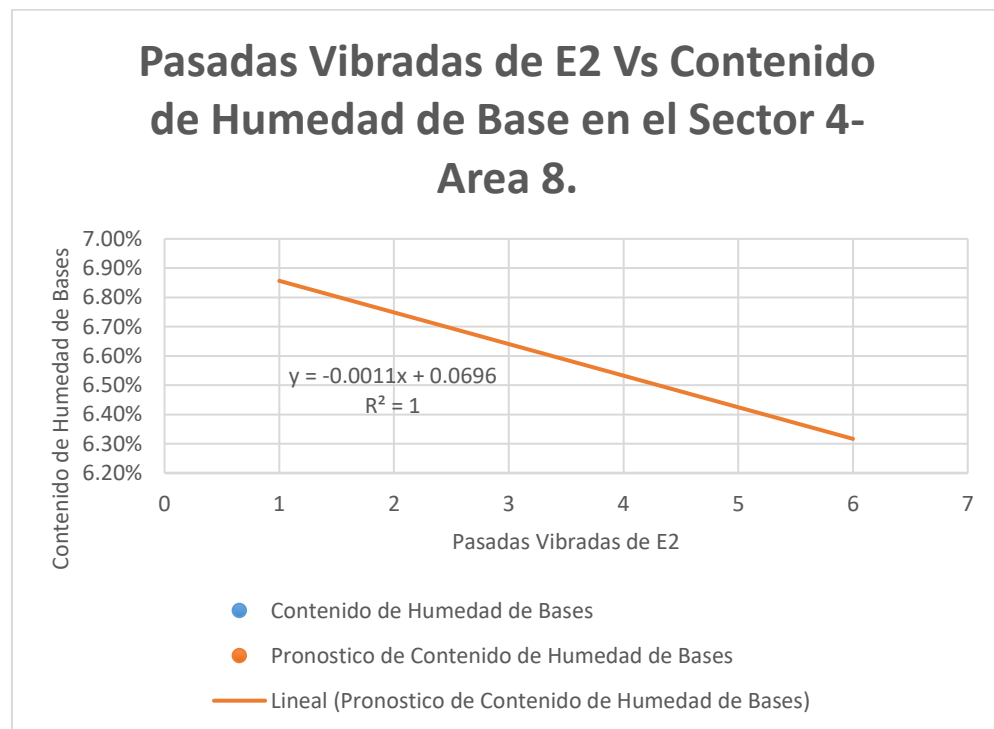
E2-(Sector 4-Área 8)	
Numero de Pasadas Vibradas de E2.	Porcentaje de Humedad
1	6.88%
2	6.71%
3	6.66%
4	6.52%
5	6.43%
6	6.32%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas vibradas con el equipo compactador de 12,002 kg, en el sector 4-area 8.

Figura 151

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 4-Area 8)



Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 165*Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 4-Área 8.*

<i>Estadísticas de la Regresión</i>	
Coeficiente de correlación	
múltiple	0.99365936
Coeficiente de determinación	
R ²	0.98735892
R ² ajustado	0.98419865
Error típico	0.0002556
Observaciones	6

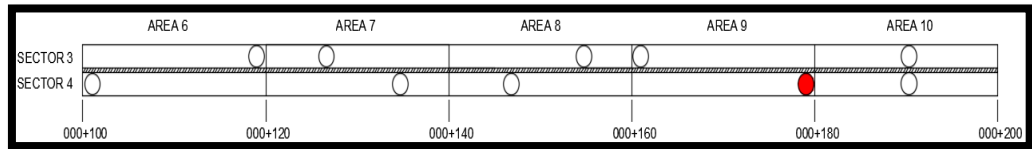
Nota. Fuente: Elaboración Propia.**Tabla 166***Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 4-Área 8.*

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor Crítico de F
Regresión	1	2.0412E-05	2.0412E-05	312.428571	6.0178E-05
Residuos	4	2.6133E-07	6.5333E-08		
Total	5	2.0673E-05			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 152

Punto de Medición (Sector 4-Area 9): Progresiva: 000+178 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 167

Porcentaje de Humedad el Sector 4-Area 9 con Pasadas vibradas del E2.

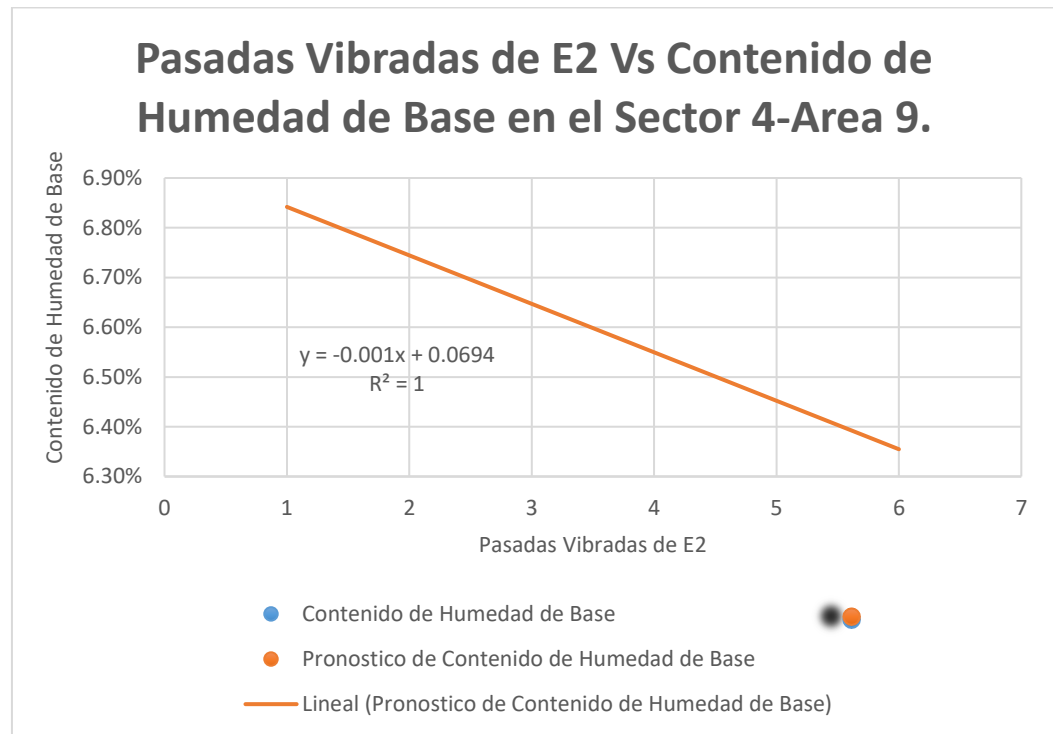
E2-(Sector 4-Área 9)	
Numero de Pasadas Vibradas de E2.	Porcentaje de Humedad
1	6.84%
2	6.73%
3	6.67%
4	6.55%
5	6.45%
6	6.35%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas vibradas con el equipo compactador de 12,002 kg, en el sector 4-area 9.

Figura 153

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 4-Area 9)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 168

Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 4-Área 9.

<i>Estadísticas de la Regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	
	0.99769748
Coeficiente de determinación	
R ²	0.99540027
R ² ajustado	0.99425033
Error típico	0.00013853
Observaciones	6

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 169

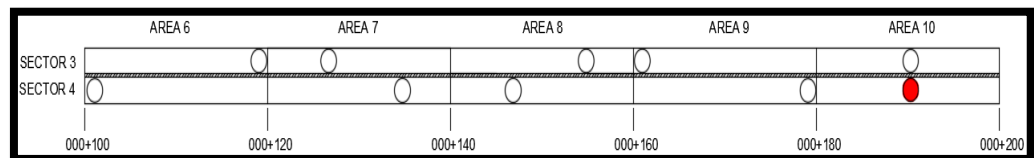
Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 4-Área 9.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor Crítico de F
Regresión	1	1.6612E-05	1.6612E-05	865.615385	7.9463E-06
Residuos	4	7.6762E-08	1.919E-08		
Total	5	1.6688E-05			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 154

Punto de Medición (Sector 4-Area 10): Progresiva: 000+190 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 170

Porcentaje de Humedad el Sector 4-Area 10 con Pasadas vibradas del E2.

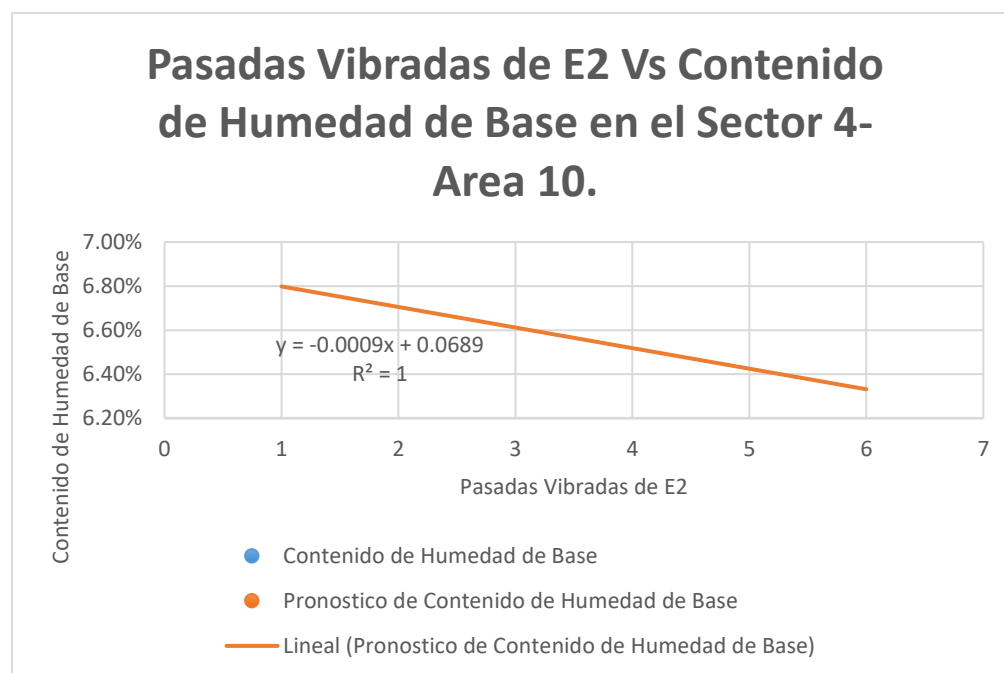
E2-(Sector 4-Área 10)	
Numero de Pasadas Vibradas de E2.	Porcentaje de Humedad
1	6.80%
2	6.70%
3	6.61%
4	6.54%
5	6.40%
6	6.34%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas vibradas con el equipo compactador de 12,002 kg, en el sector 4-area 10.

Figura 155

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 4-Area 10)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 171*Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 4-Área 10.*

<i>Estadísticas de la Regresión</i>	
Coeficiente de correlación	
múltiple	0.99611364
Coeficiente de determinación	
R ²	0.99224238
R ² ajustado	0.99030297
Error típico	0.00017279
Observaciones	6

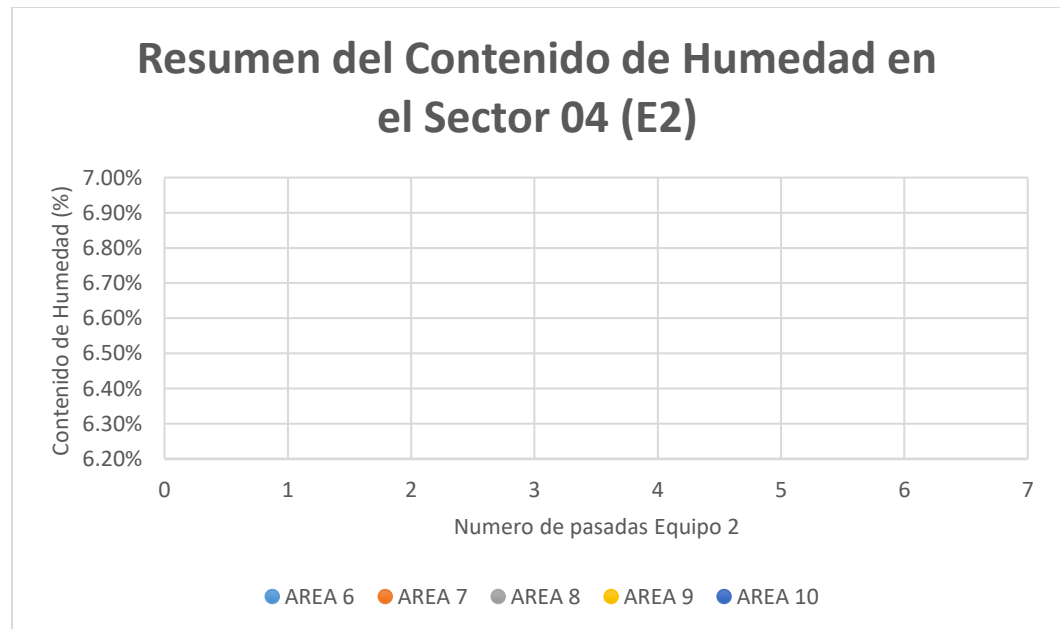
Nota. Fuente: Elaboración Propia.**Tabla 172***Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 4-Área 10.*

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor Crítico de F
Regresión	1	1.5276E-05	1.5276E-05	511.62201	2.2626E-05
Residuos	4	1.1943E-07	2.9857E-08		
Total	5	1.5395E-05			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 173*Resumen de Contenido de Humedad en el Sector 04*

Numero de Pasadas de Equipo (Vibratorio)	E2				
	Sector 4				
	Área 6	Área 7	Área 8	Área 9	Área 10
01	6.80%	6.85%	6.88%	6.84%	6.80%
02	6.72%	6.73%	6.71%	6.73%	6.70%
03	6.64%	6.65%	6.66%	6.67%	6.61%
04	6.55%	6.58%	6.52%	6.55%	6.54%
05	6.42%	6.44%	6.43%	6.45%	6.40%
06	6.34%	6.33%	6.32%	6.35%	6.34%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.**Figura 156***Resumen del Contenido de Humedad en el Sector 04 (E2).***Nota.** Fuente: Elaboración Propia.

7.1.2.3.3. Resultados del Porcentaje de Humedad por Pasadas Estáticas y Vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg

Tabla 174

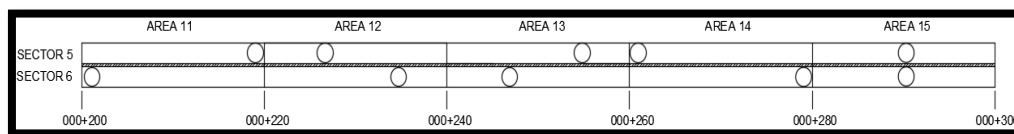
Especificaciones Técnicas de campo del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg. Tramo 03.

Tramo 03:	Jr. Castillo Verde-Jr. Galaxia (000+200-000+300)
Carril 02 (lado derecho):	Sector 06
Pasadas de Cisterna:	02 ciclos
Tiempo de espera después de Riego:	20 min
Optimo Contenido de Humedad según Proctor:	6.35%
Horario de Compactado:	02:15 p. m.
Temperatura:	25°C
Fecha:	11/09/2020
Clima:	Soleado sin Lluvias
Método de Compactación:	Estático y Vibrado

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 157

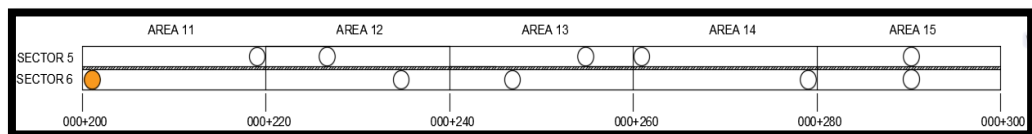
Esquema del Tramo Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde que comprende desde la progresiva 000+200-000+300.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 158

Punto de Medición (Sector 6-Area 11): Progresiva: 000+202 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 175

Porcentaje de Humedad el Sector 6-Area 11 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E2.

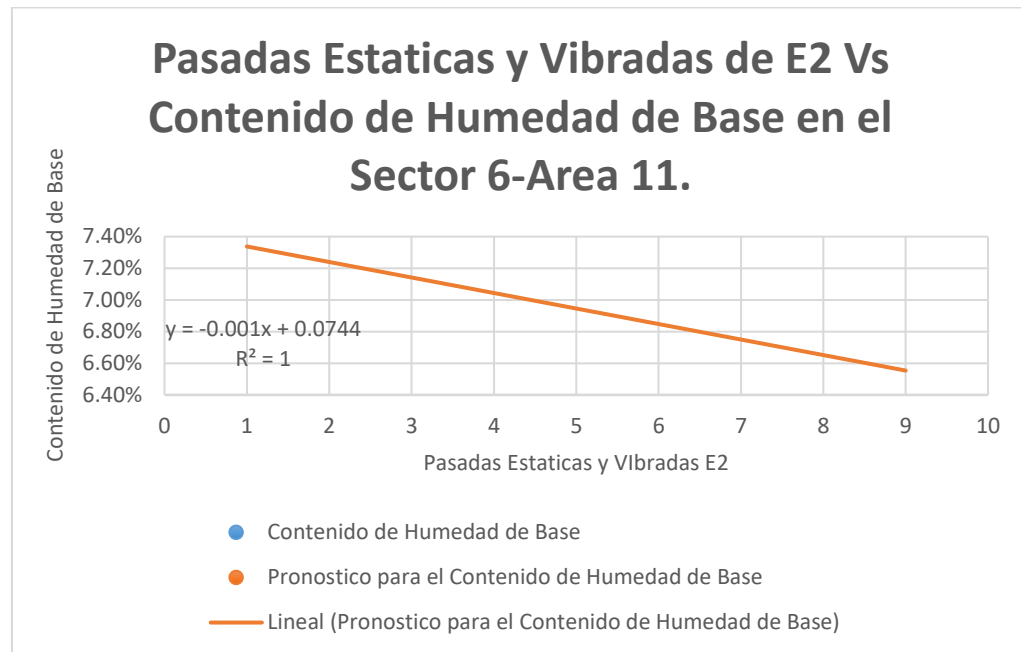
E2-(Sector 6-Área 11)		
Numero de Pasadas Estáticas y Vibradas del E2		Porcentaje de Humedad
Estático	1	7.31%
Vibrado	2	7.25%
Estático	3	7.18%
Vibrado	4	7.05%
Estático	5	6.92%
Vibrado	6	6.84%
Estático	7	6.75%
Vibrado	8	6.66%
Estático	9	6.55%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas estáticas y vibradas con el equipo compactador de 12,002 kg, en el sector 6-area 11.

Figura 159

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 6-Area 11)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 176

Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 6-Área 11.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0.99725019
Coeficiente de determinación R^2	0.99450794
R^2 ajustado	0.99372336
Error típico	0.00021321
Observaciones	9

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 177

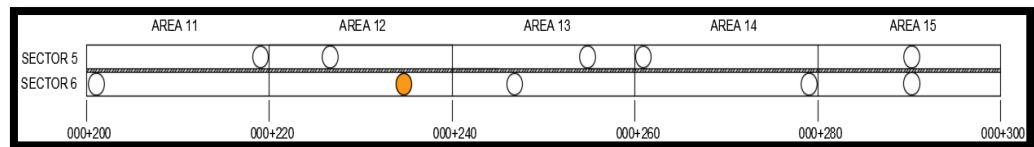
Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 6-Área 11.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	5.7624E-05	5.7624E-05	1267.56704	3.5804E-09
Residuos	7	3.1822E-07	4.546E-08		
Total	8	5.7942E-05			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 160

Punto de Medición (Sector 6-Area 12): Progresiva: 000+235 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 178

Porcentaje de Humedad el Sector 6-Area 12 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E2.

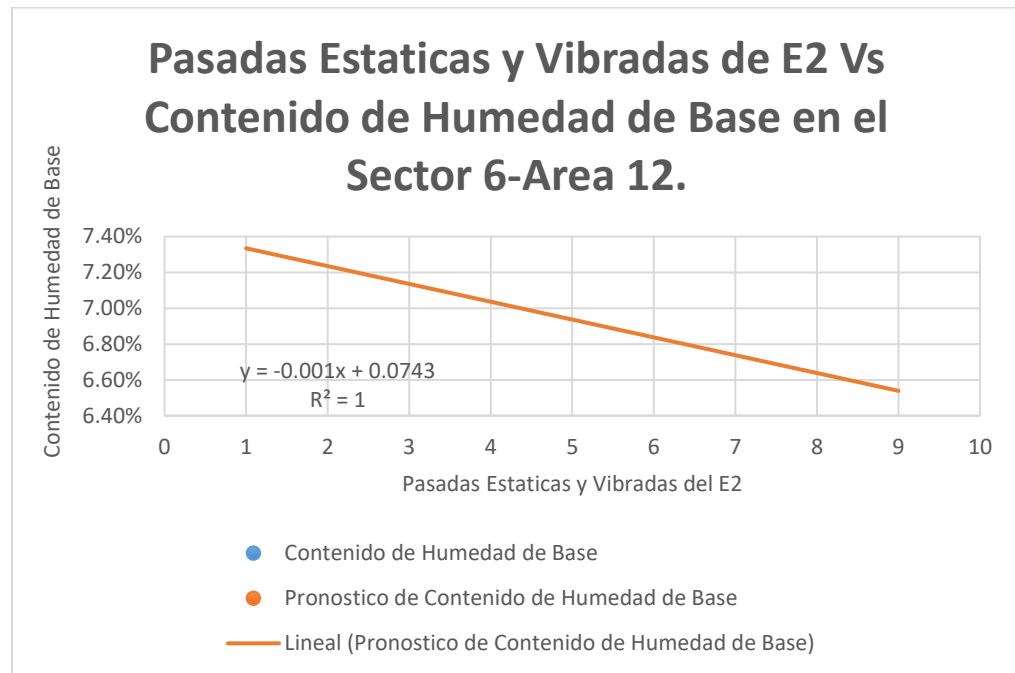
E2-(Sector 6-Área 12)		
Numero de Pasadas Estáticas y Vibradas del E2		Porcentaje de Humedad
Estático	1	7.30%
Vibrado	2	7.22%
Estático	3	7.17%
Vibrado	4	7.06%
Estático	5	6.94%
Vibrado	6	6.85%
Estático	7	6.74%
Vibrado	8	6.64%
Estático	9	6.51%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas estáticas y vibradas con el equipo compactador de 12,002 kg, en el sector 6-area 12.

Figura 161

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 6-Area 12)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 179

Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 6-Área 12.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	
	0.99649587
Coeficiente de determinación	
R ²	0.99300401
R ² ajustado	0.99200459
Error típico	0.00024451
Observaciones	9

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 180

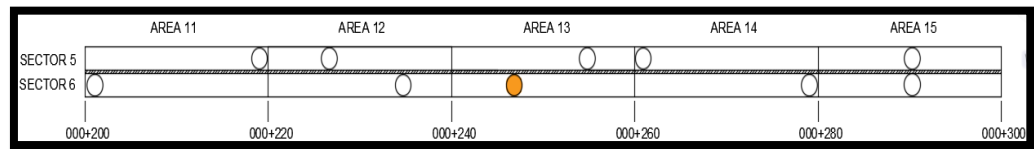
Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 6-Área 12.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	5.9401E-05	5.9401E-05	993.573477	8.3577E-09
Residuos	7	4.185E-07	5.9786E-08		
Total	8	5.982E-05			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 162

Punto de Medición (Sector 6-Area 13): Progresiva: 000+245 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 181

Porcentaje de Humedad el Sector 6-Area 13 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E2.

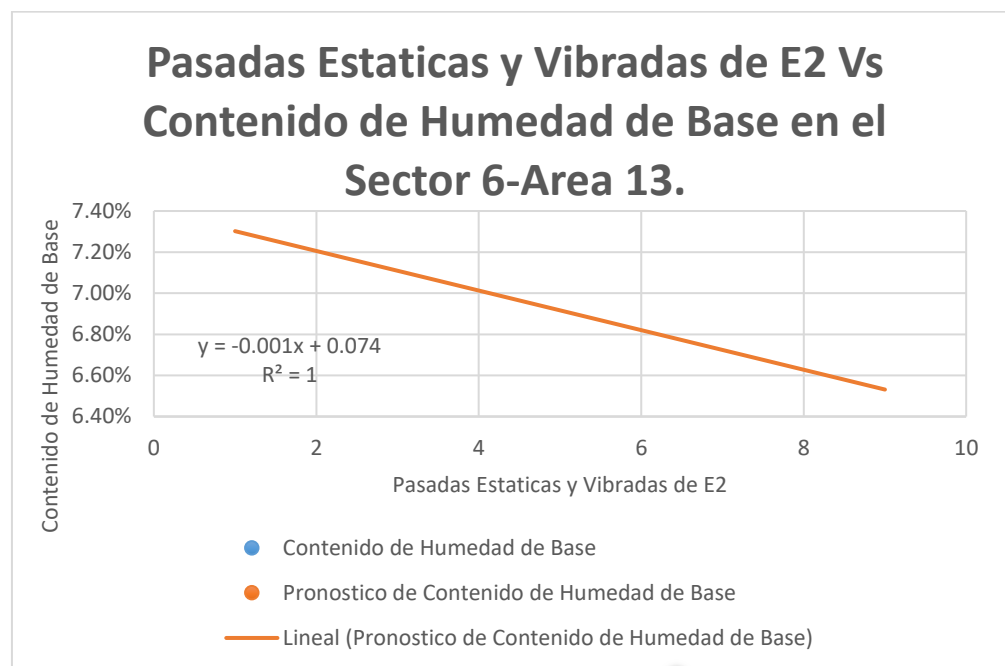
E2-(Sector 6-Área 13)		
Numero de Pasadas Estáticas y Vibradas del E2		Porcentaje de Humedad
Estático	1	7.29%
Vibrado	2	7.21%
Estático	3	7.10%
Vibrado	4	7.01%
Estático	5	6.93%
Vibrado	6	6.84%
Estático	7	6.75%
Vibrado	8	6.60%
Estático	9	6.52%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas estáticas y vibradas con el equipo compactador de 12,002 kg, en el sector 6-area 13.

Figura 163

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 6-Area 13)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 182

Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 6-Área 13.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación	
múltiple	0.99785774
Coeficiente de determinación	
R ²	0.99572008
R ² ajustado	0.99510866
Error típico	0.00018491
Observaciones	9

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 183

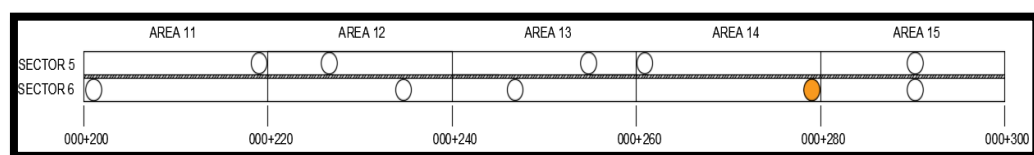
Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 6-Área 13.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	5.5681E-05	5.5681E-05	1628.54318	1.4951E-09
Residuos	7	2.3933E-07	3.419E-08		
Total	8	0.00005592			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 164

Punto de Medición (Sector 6-Area 14): Progresiva: 000+278 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 184

Porcentaje de Humedad del Sector 6-Area 14 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E2.

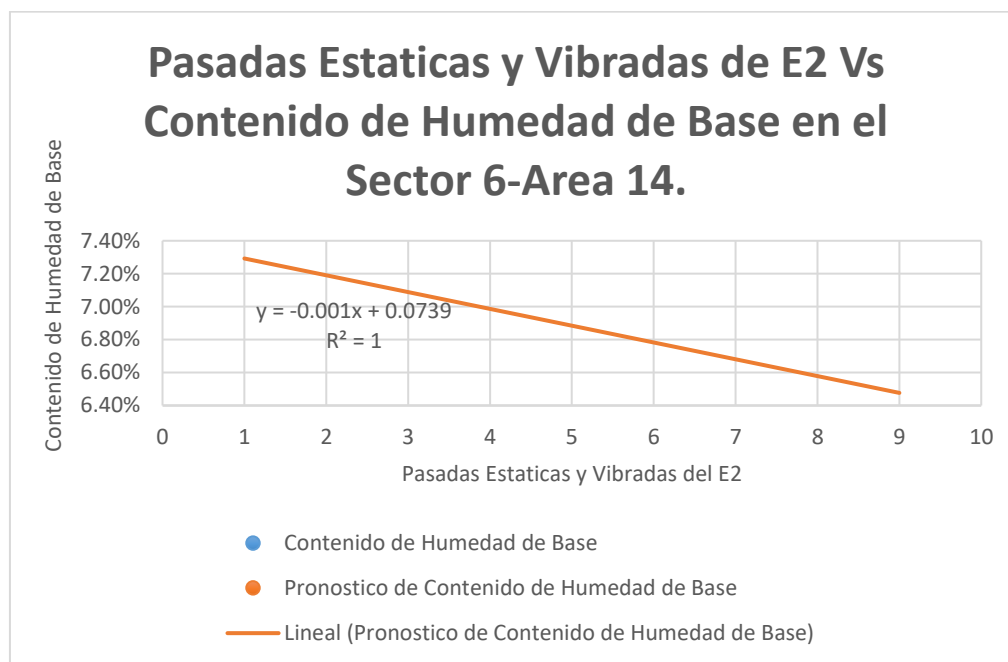
E2-(Sector 6-Área 14)		
Numero de Pasadas Estáticas y Vibradas del E2		Porcentaje de Humedad
Estático	1	7.30%
Vibrado	2	7.20%
Estático	3	7.09%
Vibrado	4	6.92%
Estático	5	6.90%
Vibrado	6	6.81%
Estático	7	6.70%
Vibrado	8	6.59%
Estático	9	6.45%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas estáticas y vibradas con el equipo compactador de 12,002 kg, en el sector 6-area 14.

Figura 165

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 6-Area 14)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 185

Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 6-Área 14.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	
	0.99461149
Coeficiente de determinación	
R ²	0.98925201
R ² ajustado	0.98771658
Error típico	0.00031127
Observaciones	9

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 186

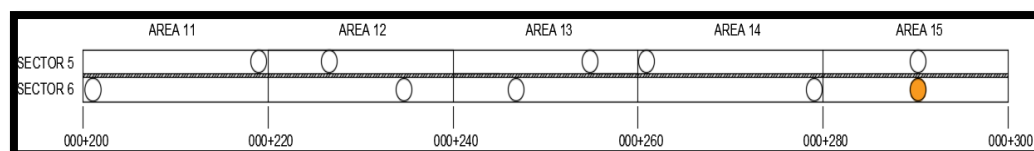
Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 6-Área 14.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	6.2424E-05	6.2424E-05	644.284404	3.7618E-08
Residuos	7	6.7822E-07	9.6889E-08		
Total	8	6.3102E-05			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 166

Punto de Medición (Sector 6-Area 15): Progresiva: 000+290 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 187

Porcentaje de Humedad el Sector 6-Area 15 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E2.

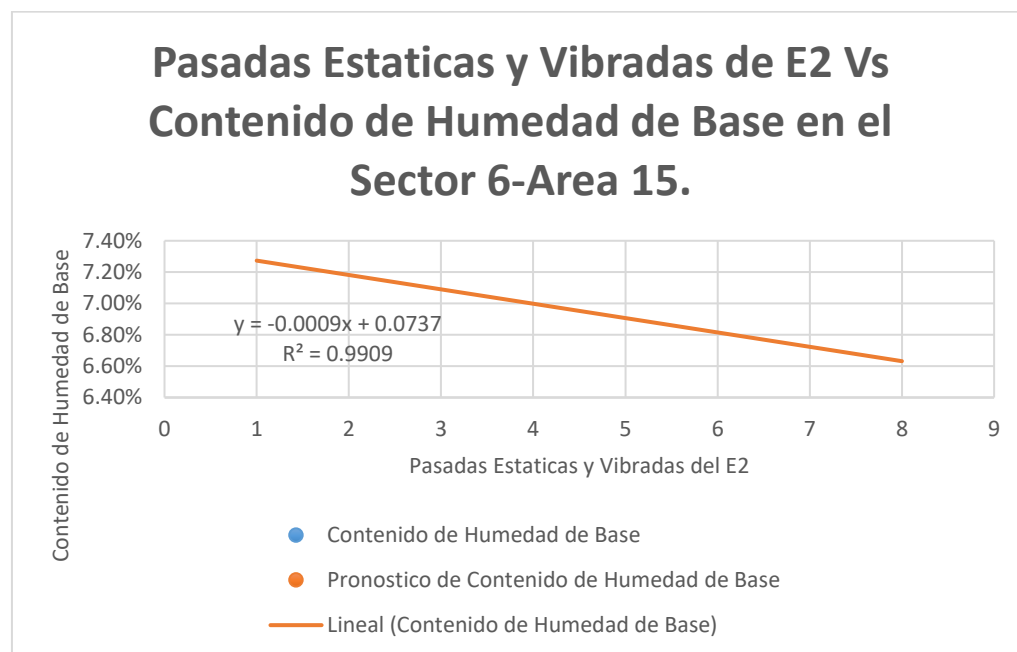
E2-(Sector 6-Área 15)		
Numero de Pasadas Estáticas y Vibradas del E2		Porcentaje de Humedad
Estático	1	7.29%
Vibrado	2	7.19%
Estático	3	7.10%
Vibrado	4	6.95%
Estático	5	6.90%
Vibrado	6	6.81%
Estático	7	6.73%
Vibrado	8	6.65%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

*Evaluación del porcentaje de humedad en función al número de pasadas estáticas y vibradas con el equipo compactador de 12,002 kg, en el sector 6-area 15.

Figura 167

Ciclo de Trabajo Vs Porcentaje de Humedad (Sector 6-Area 15)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 188

Estadísticas de la Regresión del Contenido de Humedad del Sector 6-Área 15.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación	
múltiple	0.99545036
Coeficiente de determinación	
R ²	0.99092143
R ² ajustado	0.98940833
Error típico	0.00023214
Observaciones	8

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 189

Análisis de Varianza Correspondiente al Contenido de Humedad del Sector 6-Área 15.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	3.5292E-05	3.5292E-05	654.896907	2.3463E-07
Residuos	6	3.2333E-07	5.3889E-08		
Total	7	3.5615E-05			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 190

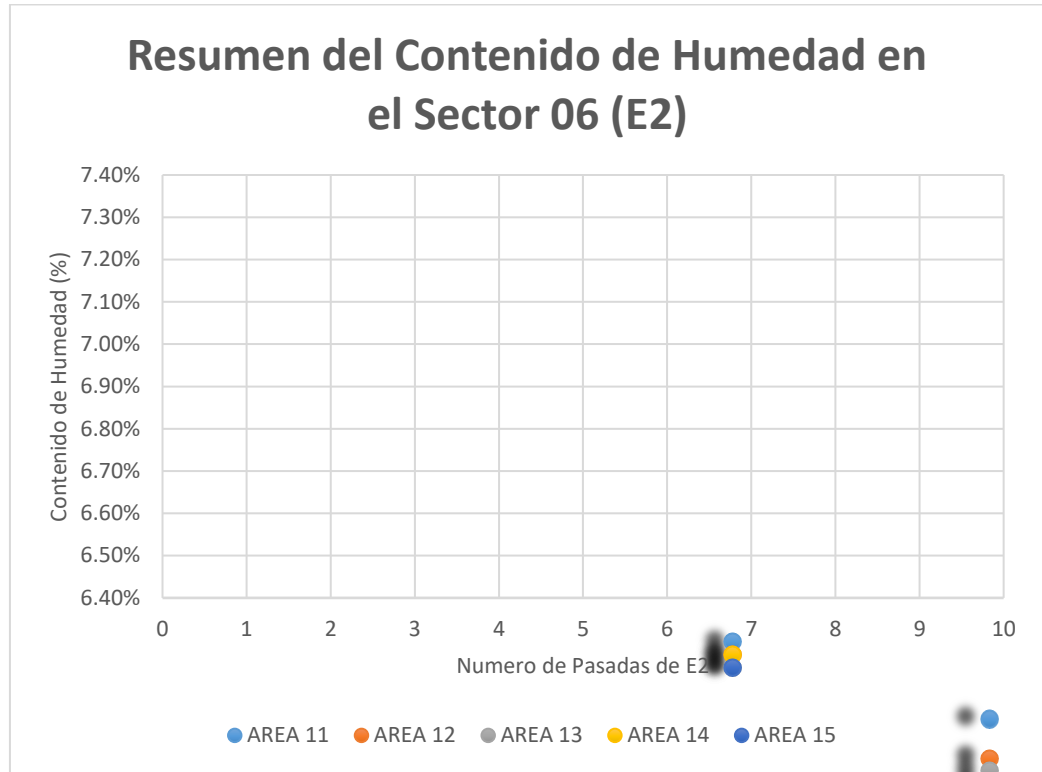
Resumen de Contenido de Humedades en el Sector 06

Numero de pasadas de Equipo (Estático y Vibratorio)	E2				
	Sector 6				
	Área 11	Área 12	Área 13	Área 14	Área 15
1 (Estática)	7.31%	7.30%	7.29%	7.30%	7.29%
2 (vibrada)	7.25%	7.22%	7.21%	7.20%	7.19%
3 (estática)	7.18%	7.17%	7.10%	7.09%	7.10%
4 (vibrada)	7.05%	7.06%	7.01%	6.92%	6.95%
5 (estática)	6.92%	6.94%	6.93%	6.90%	6.90%
6 (vibrada)	6.84%	6.85%	6.84%	6.81%	6.81%
7 (estática)	6.75%	6.74%	6.75%	6.70%	6.73%
8 (vibrada)	6.66%	6.64%	6.60%	6.59%	6.65%
9 (Estática)	6.55%	6.51%	6.52%	6.45%	

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 168

Resumen del Contenido de Humedad en el Sector 06 (E2).



Nota. Fuente: Elaboración propia.

7.1.2.4. Efectos significativos del control del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg en el Grado de Compactación de Campo.

Se da a conocer los resultados del grado de compactación por Pasadas Estáticas, Vibradas y estáticas y vibradas del rodillo liso vibratorio de 12,002 kg para la determinación de su influencia en el Contenido de Humedad en Campo.

Ensayo de Densidad de Campo

El procedimiento aplicado para la ejecución del Presente ensayo estuvo de acuerdo a la NTP 339.143:1999 SUELOS. Método de Ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in situ mediante el método del cono de arena del Material de Base.

Tabla 191*Características Principales de la Vía en estudio para la evaluación*

Nº	Características de la Vía	Descripción
1	Ubicación	Av. Orión Tramo: Jr. Medusa-Jr. Galaxia
2	Punto de Inicio de la Evaluación	Intersección entre la Av. Orión y el Jr. Medusa con una progresiva inicial de 0+000 km.
3	Punto Final para la Evaluación	Intersección entre la Av. Orión y el Jr. Galaxia con una progresiva final de 0+300 km.
4	Longitud de Vía	300.00 m
5	Ancho de Calzada	13.00 m

Nota. Fuente: Elaboración Propia.**Tabla 192***Características de Operación del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg.*

Compactación Dinámica	
Equipo 02:	Rodillo liso vibratorio
Marca:	Ingersoll Rand
Año de fabricación:	2015
Peso útil:	12,002 kg
Ancho de tambor	2.135 m
Fuerza centrífuga:	206 kn
Frecuencia del excitador	40 Hz
Amplitud nominal	1.2 mm
Presión lineal:	56.22 kg/cm
Presión lineal dinámica:	0.96 kn/cm
Velocidad de trabajo:	3 km/h

Nota. Fuente: Elaboración propia.

*Características de Operaciones de Equipo.

7.1.2.4.1. Resultados del Grado de Compactación por Pasadas Estáticas del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg.

Tabla 193

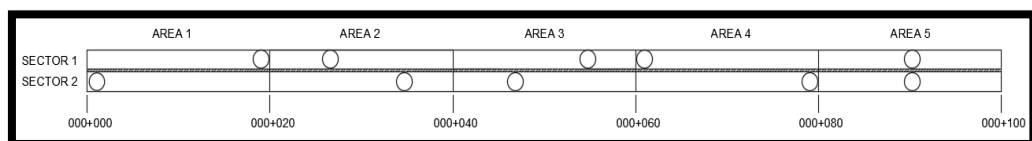
Especificaciones Técnicas de campo del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg.

Tramo 01:	JR. Géminis-Jr. Castillo Verde (000+100-000+200)
Carril 02 (lado derecho):	Sector 02
Pasadas de Cisterna:	02 ciclos
Tiempo de espera después de Riego:	20 min
Máxima Densidad Seca:	2.255
Horario de Compactado:	11:05 a. m.
Temperatura:	21°C
Fecha:	11/09/2020
Clima:	Soleado sin Lluvias
Tipo de Compactación:	Estática

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 169

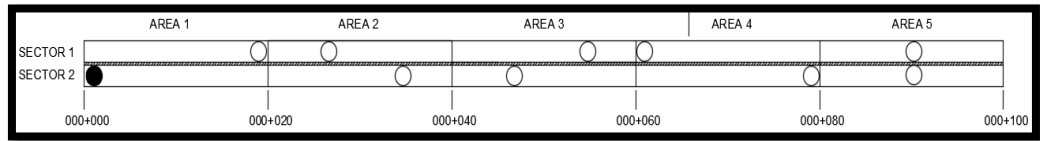
Esquema del Tramo Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde que comprende desde la progresiva 000+000-000+100.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 170

Punto de Medición (Sector 2-Area 1): Progresiva: 000+002 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 194

Grado de Compactación del Sector 2-Area 1 con Pasadas Estáticas del E2.

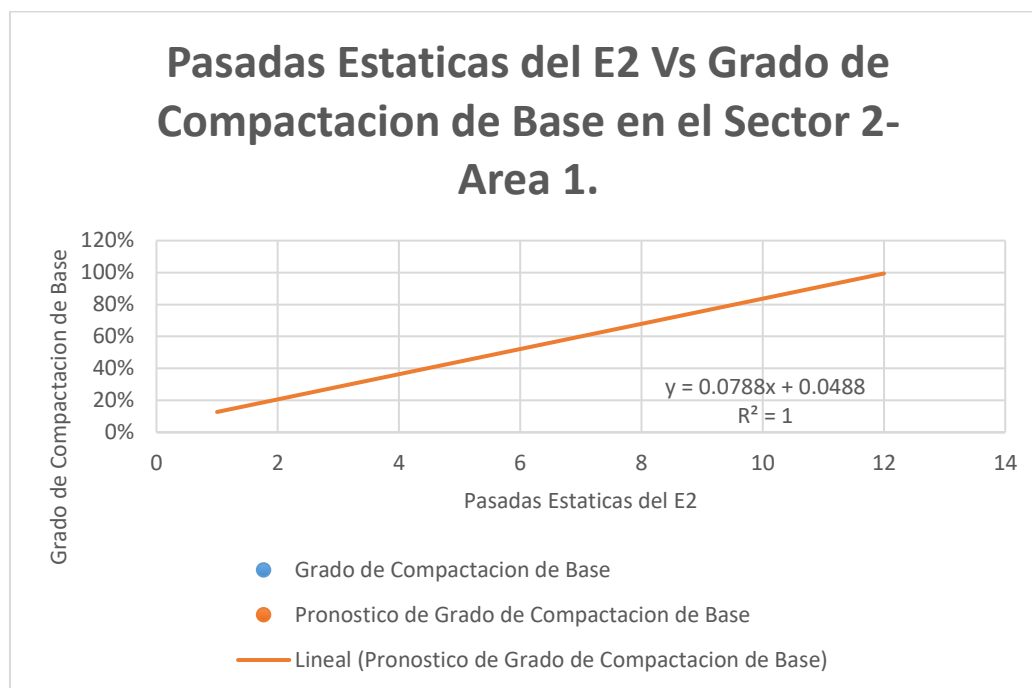
E2-(Sector 2-Área 1)	
Numero de Pasadas Estáticas del Equipo E2.	Grado de Compactación
1	13%
2	21%
3	28%
4	36%
5	44%
6	53%
7	61%
8	67%
9	75%
10	83%
11	92%
12	100%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

* Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas estáticas del Equipo Compactador de 12,002 kg en el sector 2-Área 1.

Figura 171

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 2-Area 1)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 195

Estadísticas de la Regresión del Contenido al Grado de Compactación del Sector 2-Área 1.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	
	0.99973107
Coeficiente de determinación	
R ²	0.9994622
R ² ajustado	0.99940842
Error típico	0.00691018
Observaciones	12

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 196

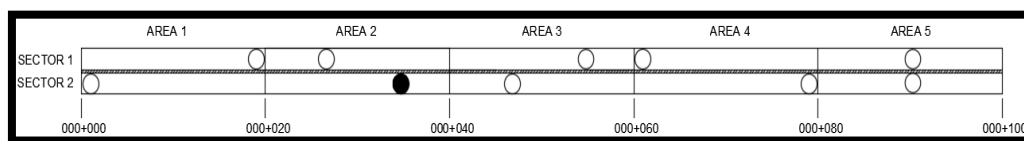
Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 2-Área 1.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.88741416	0.88741416	18584.3629	1.1074E-17
Residuos	10	0.00047751	4.7751E-05		
Total	11	0.88789167			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 172

Punto de Medición (Sector 2-Area 2): Progresiva: 000+035 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 197

Grado de Compactación del Sector 2-Area 2 con Pasadas Estáticas del E2.

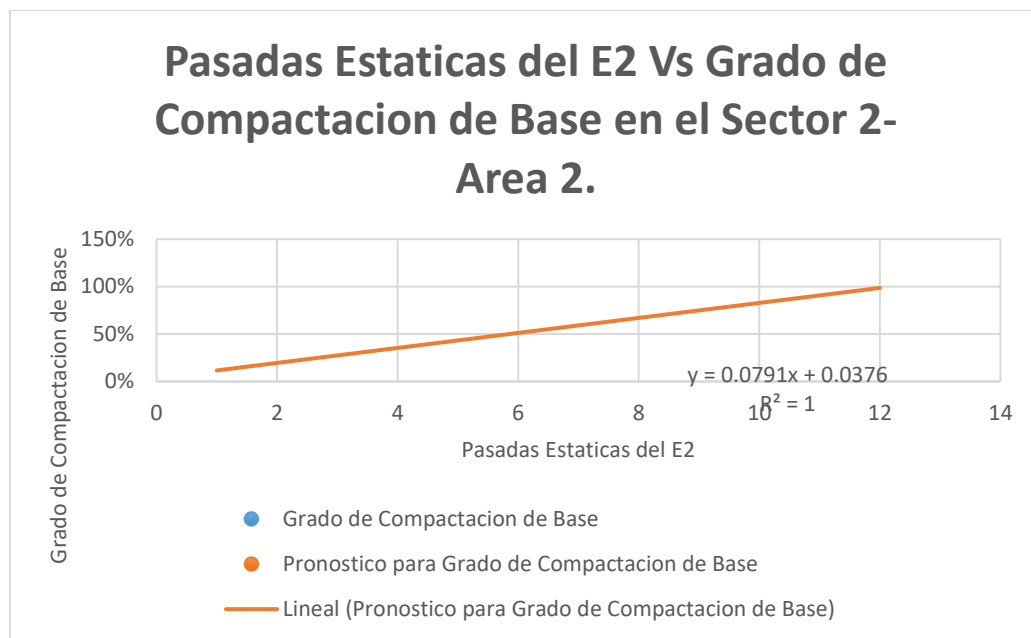
E2-(Sector 2-Área 2)	
Numero de Pasadas Estáticas del Equipo E2.	Grado de Compactación
1	12%
2	20%
3	27%
4	34%
5	43%
6	52%
7	61%
8	67%
9	74%
10	82%
11	91%
12	99%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

* Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas estáticas del Equipo Compactador de 12,002 kg en el sector 2-Área 2.

Figura 173

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 2-Area 2)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 198

Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 2-Área 2.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0.99952607
Coeficiente de determinación R^2	0.99905236
R^2 ajustado	0.9989576
Error típico	0.00921132
Observaciones	12

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 199

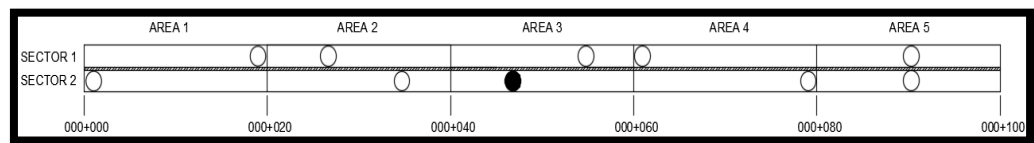
Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 2-Área 2.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.89451818	0.89451818	10542.5357	1.8814E-16
Residuos	10	0.00084848	8.4848E-05		
Total	11	0.89536667			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 174

Punto de Medición (Sector 2-Area 3): Progresiva: 000+045 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 200*Grado de Compactación del Sector 2-Area 3 con Pasadas Estáticas del E2.*

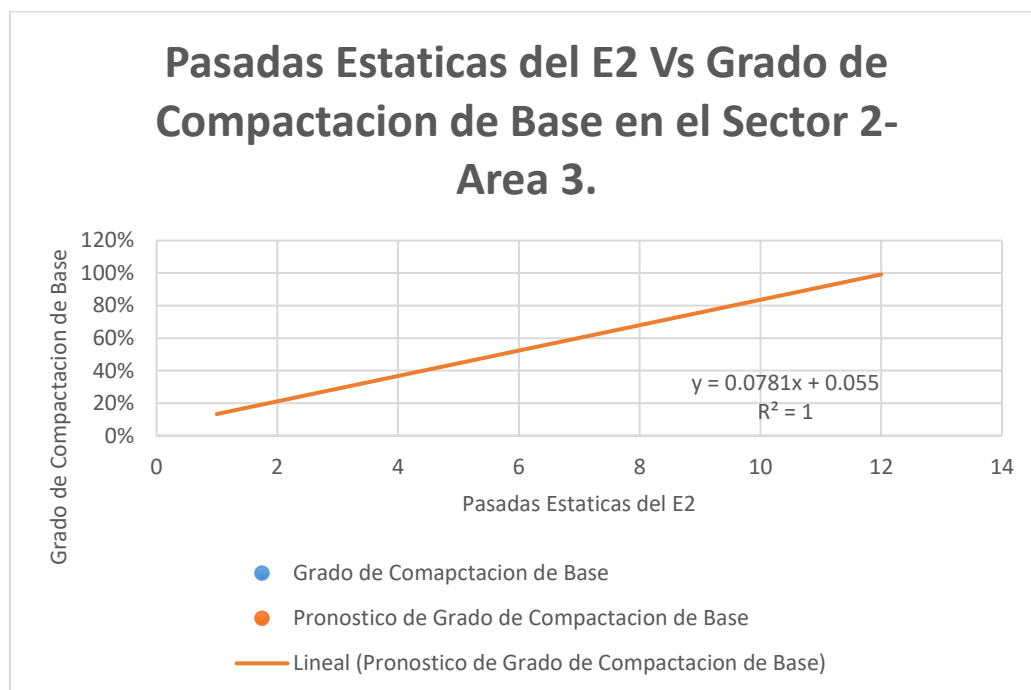
E2-(Sector 2-Área 3)	
Numero de Pasadas Estáticas del Equipo E2.	Grado de Compactación
1	14%
2	22%
3	28%
4	35%
5	44%
6	53%
7	62%
8	68%
9	75%
10	83%
11	91%
12	100%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

* Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas estáticas del Equipo Compactador de 12,002 kg en el sector 2-Área 3.

Figura 175

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 2-Area 3)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 201

Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 2-Área 3.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación	
múltiple	0.99937187
Coeficiente de determinación	
R ²	0.99874413
R ² ajustado	0.99861854
Error típico	0.01046974
Observaciones	12

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 202

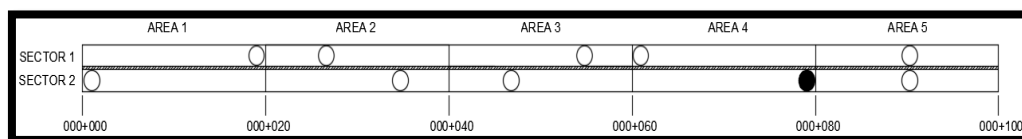
Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 2-Área 3.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.87172885	0.87172885	7952.61404	7.6922E-16
Residuos	10	0.00109615	0.00010962		
Total	11	0.872825			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 176

Punto de Medición (Sector 2-Area 4): Progresiva: 000+078 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 203*Grado de Compactación del Sector 2-Área 4 con Pasadas Estáticas del E2.*

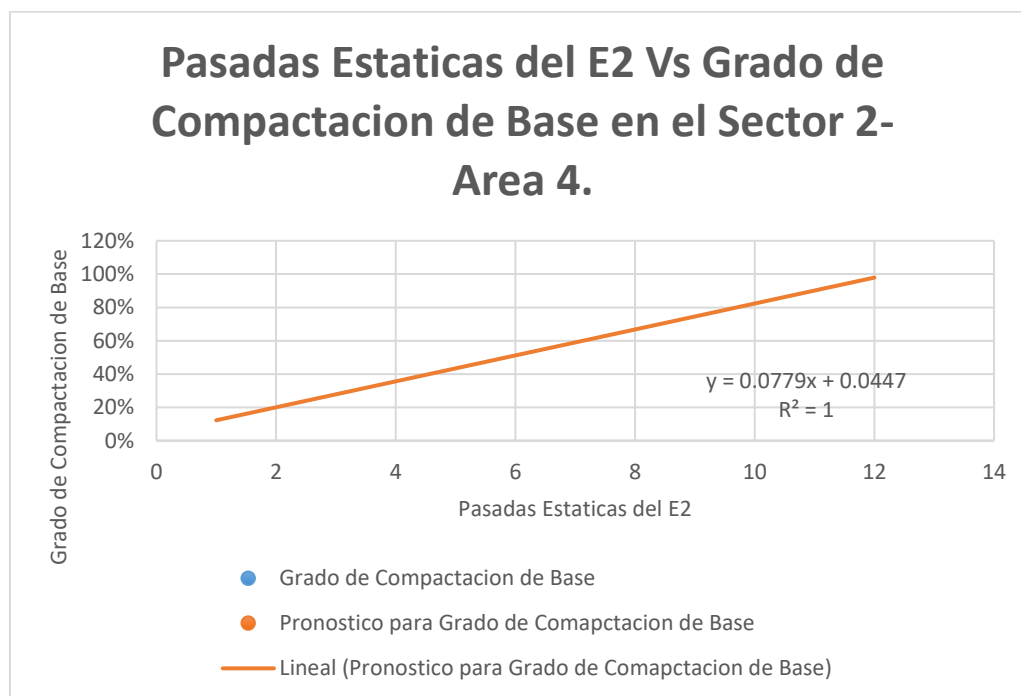
E2-(Sector 2-Área 4)	
Numero de Pasadas Estáticas del Equipo E2.	Grado de Compactación
1	13%
2	21%
3	27%
4	36%
5	42%
6	51%
7	60%
8	66%
9	73%
10	82%
11	91%
12	99%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

* Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas estáticas del Equipo Compactador de 12,002 kg en el sector 2-Área 4.

Figura 177

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 2-Area 4)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 204

Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 2-Área 4.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	
	0.99940015
Coeficiente de determinación	
R ²	0.99880065
R ² ajustado	0.99868072
Error típico	0.01020364
Observaciones	12

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 205

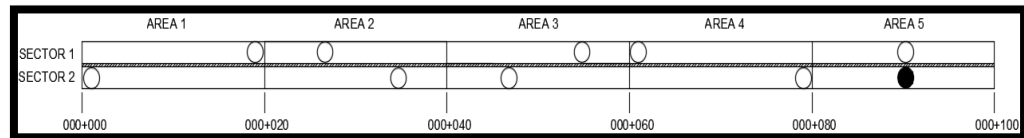
Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 2-Área 4.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.86705052	0.86705052	8327.87809	6.11E-16
Residuos	10	0.00104114	0.00010411		
Total	11	0.86809167			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 178

Punto de Medición (Sector 2-Area 5): Progresiva: 000+090 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 206

Grado de Compactación del Sector 2-Area 5 con Pasadas Estáticas del E2.

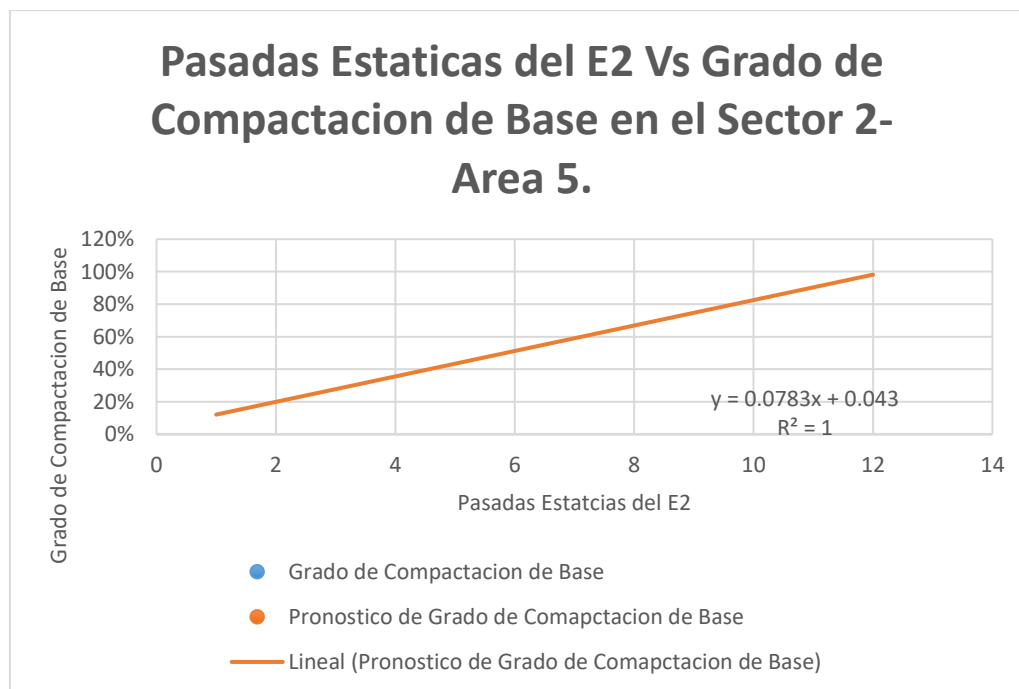
E2-(Sector 2-Área 5)	
Numero de Pasadas Estáticas del Equipo E2.	Grado de Compactación
1	13%
2	21%
3	28%
4	34%
5	42%
6	51%
7	60%
8	67%
9	74%
10	82%
11	91%
12	99%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

* Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas estáticas del equipo compactador de 12,002 kg en el sector 2-área 5.

Figura 179

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 2-Area 4)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 207

Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 2-Área 5.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	
	0.99946961
Coeficiente de determinación	
R ²	0.99893949
R ² ajustado	0.99883344
Error típico	0.0096416
Observaciones	12

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 208

Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 2-Área 5.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.87563706	0.87563706	9419.4659	3.3026E-16
Residuos	10	0.0009296	9.296E-05		
Total	11	0.87656667			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 209

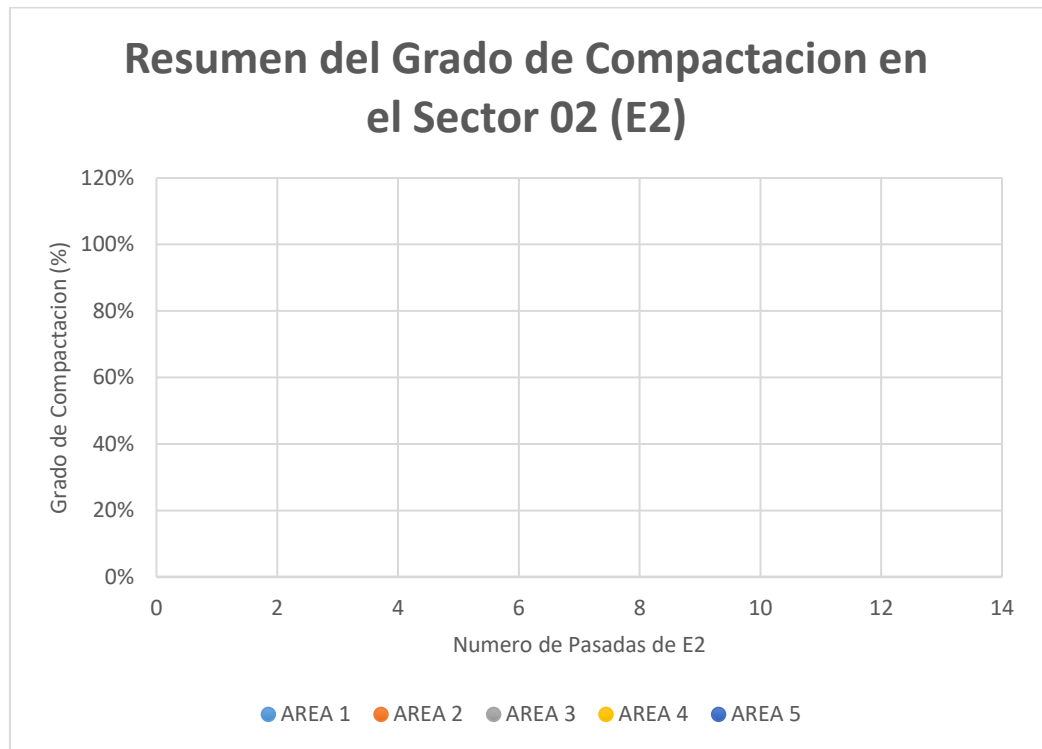
Resumen del Grado de Compactación en el Sector 02

Numero de pasadas de Equipo (Estático)	E2				
	Sector 2				
	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5
01	13%	12%	14%	13%	13%
02	21%	20%	22%	21%	21%
03	28%	27%	28%	27%	28%
04	36%	34%	35%	36%	34%
05	44%	43%	44%	42%	42%
06	53%	52%	53%	51%	51%
07	61%	61%	62%	60%	60%
08	67%	67%	68%	66%	67%
09	75%	74%	75%	73%	74%
10	83%	82%	83%	82%	82%
11	92%	91%	91%	91%	91%
12	100%	99%	100%	99%	99%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 180

Resumen del Grado de Compactación en el Sector 02 (E2).



Nota. Fuente: Elaboración propia.

7.1.2.4.2. Resultados del Grado de Compactación por Pasadas Vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg.

Tabla 210

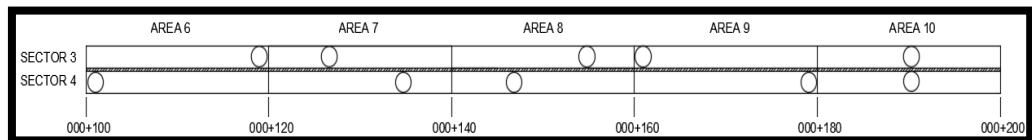
Especificaciones Técnicas de campo del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg.

Tramo 02:	Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde (000+100-000+200)
Carril 02 (lado derecho):	Sector 04
Pasadas de Cisterna:	02 ciclos
Tiempo de espera después de Riego:	20 min
Máxima Densidad Seca:	2.255
Horario de Compactado:	12:40 a. m.
Temperatura:	24°C
Fecha:	11/09/2020
Clima:	Soleado sin Lluvias
Tipo de Compactación:	Vibrada

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 181

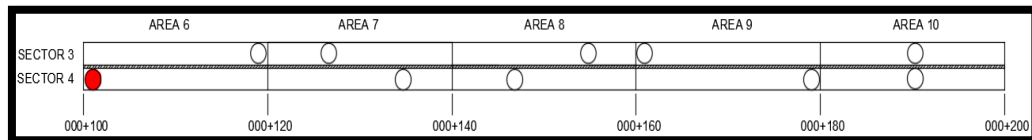
Esquema del Tramo Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde que comprende desde la progresiva 000+100-000+200.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 182

Punto de Medición (Sector 4-Area 6): Progresiva: 000+102 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 211

Grado de Compactación del Sector 4-Area 6 con Pasadas Vibradas del E2.

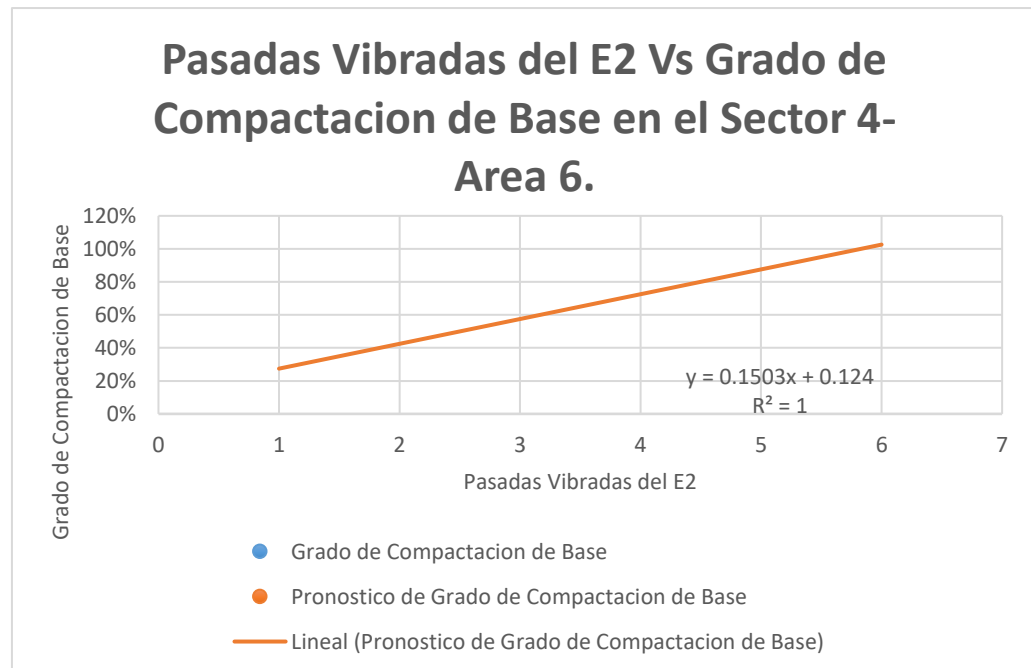
E2-(Sector 4-Área 6)	
Numero de Pasadas Vibradas del Equipo E2.	Grado de Compactación
1	23%
2	45%
3	60%
4	75%
5	87%
6	100%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

* Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas vibradas del equipo compactador de 12,002 kg en el sector 4-área 6.

Figura 183

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 4-Area 6)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 212*Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 4-Área 6.*

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación	
múltiple	0.99429517
Coeficiente de determinación	
R ²	0.98862288
R ² ajustado	0.9857786
Error típico	0.03372155
Observaciones	6

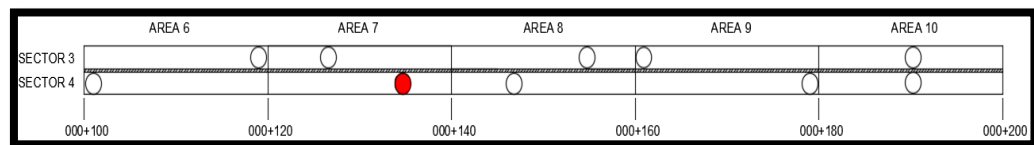
Nota. Fuente: Elaboración Propia.**Tabla 213***Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 4-Área 6.*

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.39525143	0.39525143	347.582915	4.8725E-05
Residuos	4	0.00454857	0.00113714		
Total	5	0.3998			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 184

Punto de Medición (Sector 4-Area 7): Progresiva: 000+135 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 214

Grado de Compactación del Sector 4-Area 7 con Pasadas Vibradas del E2.

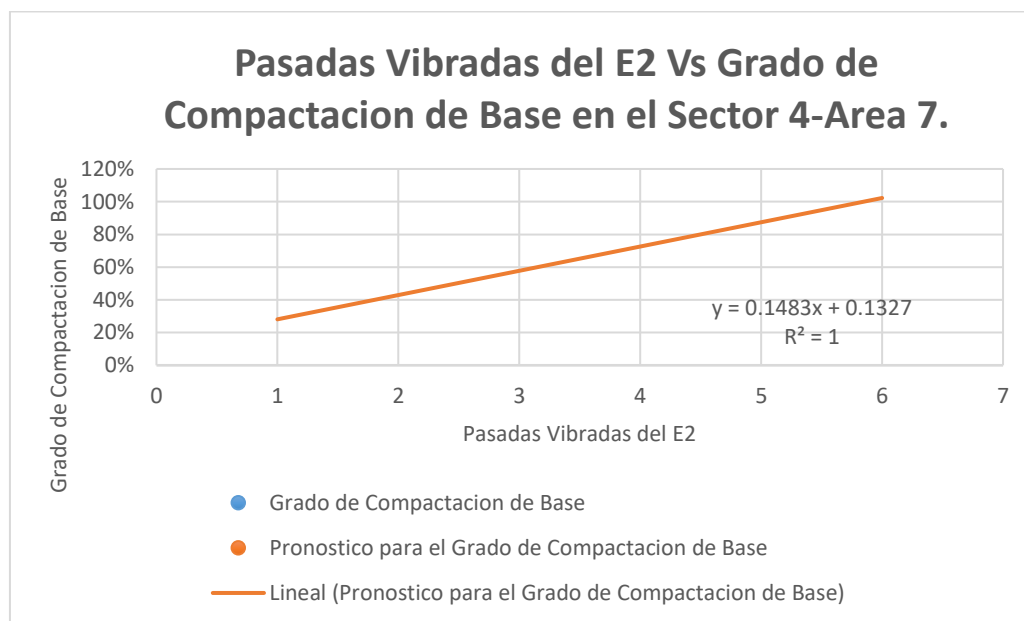
E2-(Sector 4-Área 7)	
Numero de Pasadas Vibradas del Equipo E2.	Grado de Compactación
1	24%
2	44%
3	61%
4	76%
5	87%
6	99%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

* Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas vibradas del equipo compactador de 12,002 kg en el sector 4-área 7.

Figura 185

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 4-Area 7)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 215

Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 4-Área 7.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	
	0.99346141
Coeficiente de determinación	
R ²	0.98696558
R ² ajustado	0.98370697
Error típico	0.03564374
Observaciones	6

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 216

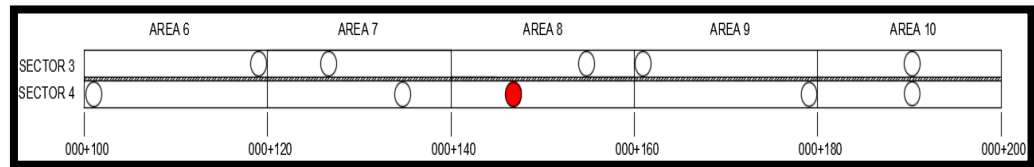
Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 4-Área 7.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.38480143	0.38480143	302.879685	6.399E-05
Residuos	4	0.0050819	0.00127048		
Total	5	0.38988333			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 186

Punto de Medición (Sector 4-Area 8): Progresiva: 000+145 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 217

Grado de Compactación del Sector 4-Area 8 con Pasadas Vibradas del E2.

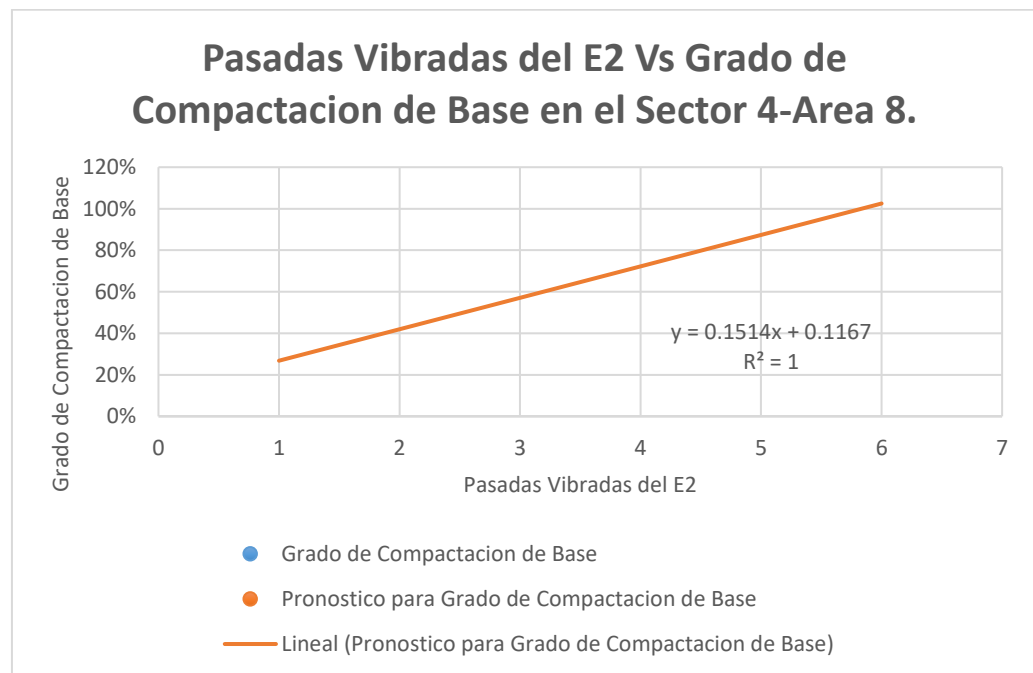
E2-(Sector 4-Área 8)	
Numero de Pasadas Vibradas del Equipo E2.	Grado de Compactación
1	23%
2	43%
3	60%
4	75%
5	88%
6	99%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

* Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas vibradas del equipo compactador de 12,002 kg en el sector 4-área 8.

Figura 187

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 4-Area 8)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 218*Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 4-Área 8.*

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación	
múltiple	0.99450393
Coeficiente de determinación	
R ²	0.98903807
R ² ajustado	0.98629759
Error típico	0.03334524
Observaciones	6

Nota. Fuente: Elaboración Propia.**Tabla 219***Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 4-Área 8.*

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.40128571	0.40128571	360.899358	4.5227E-05
Residuos	4	0.00444762	0.0011119		
Total	5	0.40573333			

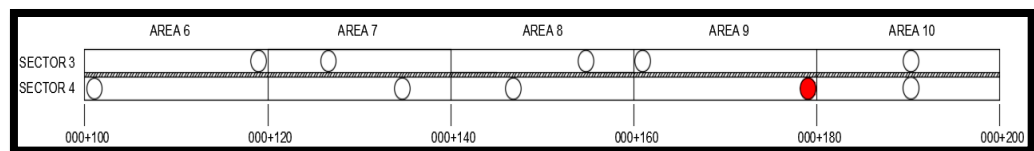
Nota. Fuente: Elaboración Propia.**Figura 188***Punto de Medición (Sector 4-Área 9): Progresiva: 000+178 km.***Nota.** Fuente: Elaboración propia.

Tabla 220

Grado de Compactación del Sector 4-Area 9 con Pasadas Vibradas del E2.

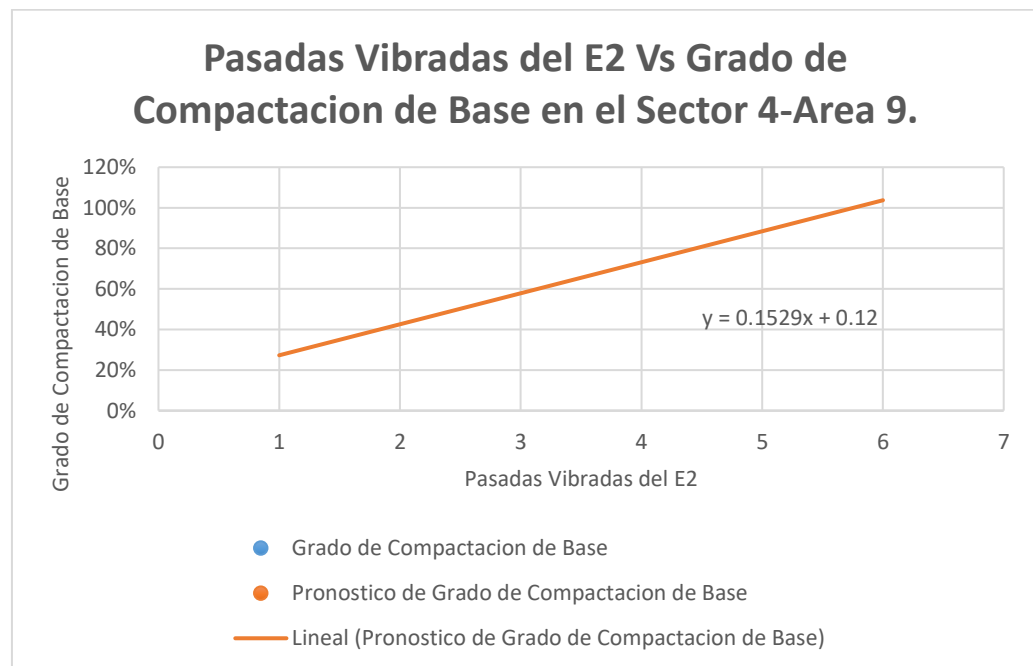
E2-(Sector 4-Área 9)	
Numero de Pasadas Vibradas del Equipo E2.	Grado de Compactación
1	24%
2	43%
3	60%
4	77%
5	89%
6	100%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

* Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas vibradas del equipo compactador de 12,002 kg en el sector 4-área 9.

Figura 189

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 4-Area 9)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 221*Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 4-Área 9.*

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación	
múltiple	0.9945939
Coeficiente de determinación	
R ²	0.98921702
R ² ajustado	0.98652128
Error típico	0.03338092
Observaciones	6

Nota. Fuente: Elaboración Propia.**Tabla 222***Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 4-Área 9.*

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.40889286	0.40889286	366.955128	4.376E-05
Residuos	4	0.00445714	0.00111429		
Total	5	0.41335			

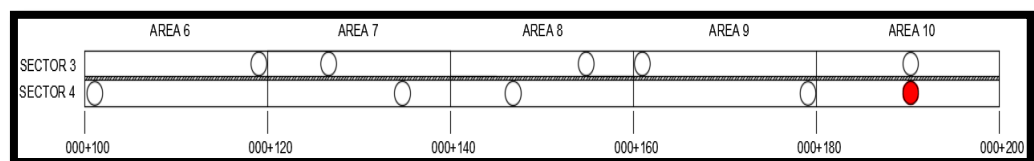
Nota. Fuente: Elaboración Propia.**Figura 190***Punto de Medición (Sector 4-Area 10): Progresiva: 000+190 km.***Nota.** Fuente: Elaboración propia.

Tabla 223

Grado de Compactación del Sector 4-Area 10 con Pasadas Vibradas del E2.

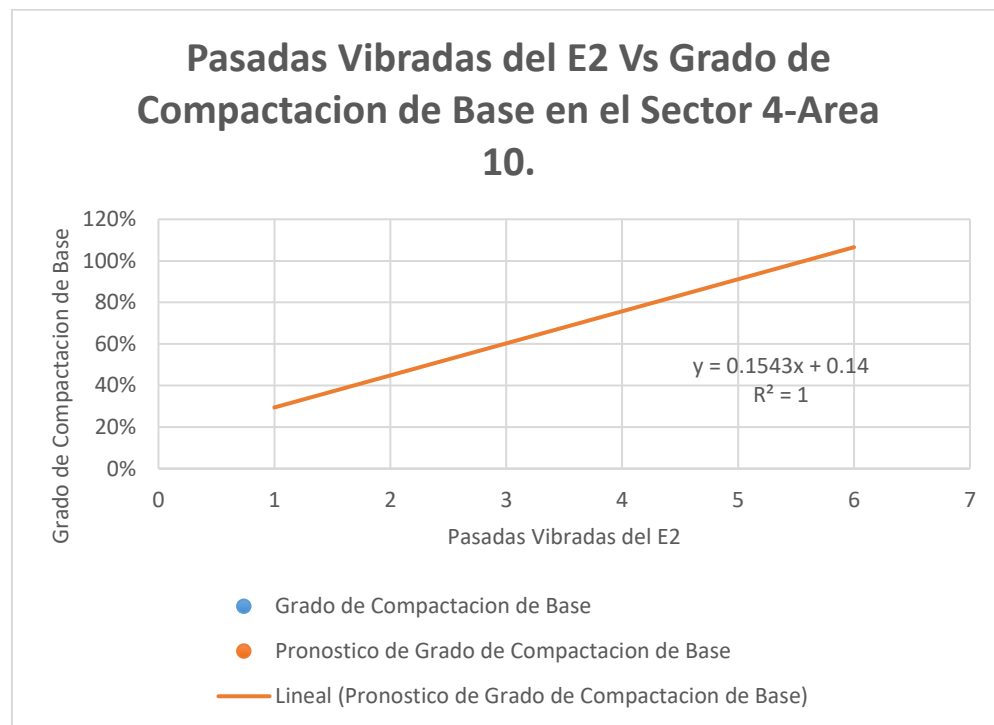
E2-(Sector 4-Área 10)	
Numero de Pasadas Vibradas del Equipo E2.	Grado de Compactación
1	25%
2	47%
3	63%
4	78%
5	92%
6	103%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

* Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas vibradas del equipo compactador de 12,002 kg en el sector 4-área 10.

Figura 191

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 4-Area 10)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 224

Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 4-Área 10.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación	
múltiple	0.99401843
Coeficiente de determinación	
R ²	0.98807265
R ² ajustado	0.98509081
Error típico	0.03545621
Observaciones	6

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 225

Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 4-Área 10.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.41657143	0.41657143	331.363636	5.3562E-05
Residuos	4	0.00502857	0.00125714		
Total	5	0.4216			

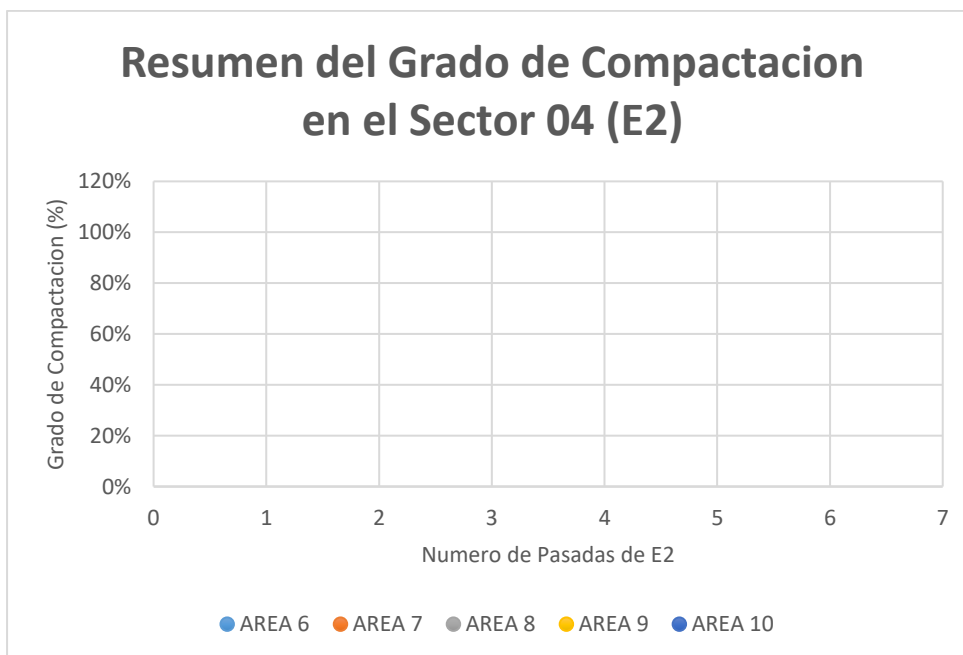
Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 226*Resumen del Grado de Compactación en el Sector 04*

Numero de Pasadas de Equipo (Vibratorio)	E2				
	Sector 4				
	Área 6	Área 7	Área 8	Área 9	Área 10
01	23%	24%	23%	24%	25%
02	45%	44%	43%	43%	47%
03	60%	61%	60%	60%	63%
04	75%	76%	75%	77%	78%
05	87%	87%	88%	89%	92%
06	100%	99%	99%	100%	103%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.**Figura 192**

Resumen del Grado de Compactación en el Sector 04 (E2).

**Nota.** Fuente: Elaboración propia.

7.1.2.4.3. Resultados del Grado de Compactación por Pasadas Estáticas y Vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg.

Tabla 227

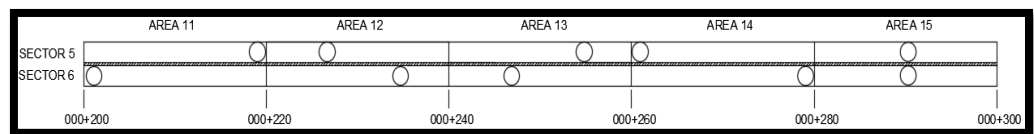
Especificaciones Técnicas de campo del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg.

Tramo 03:	Jr. Castillo Verde-Jr. Galaxia (000+200-000+300)
Carril 02 (lado derecho):	Sector 06
Pasadas de Cisterna:	02 ciclos
Tiempo de espera después de Riego:	20 min
Máxima Densidad Seca:	2.255
Horario de Compactado:	02:15 p. m.
Temperatura:	23°C
Fecha:	11/09/2020
Clima:	Soleado sin Lluvias
Tipo de Compactación:	Estático y Vibrado

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 193

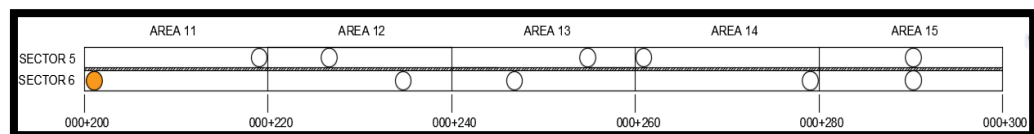
Esquema del Tramo Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde que comprende desde la progresiva 000+200-000+300.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 194

Punto de Medición (Sector 6-Area 11): Progresiva: 000+202 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 228

Grado de Compactación del Sector 6-Area 11 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E2.

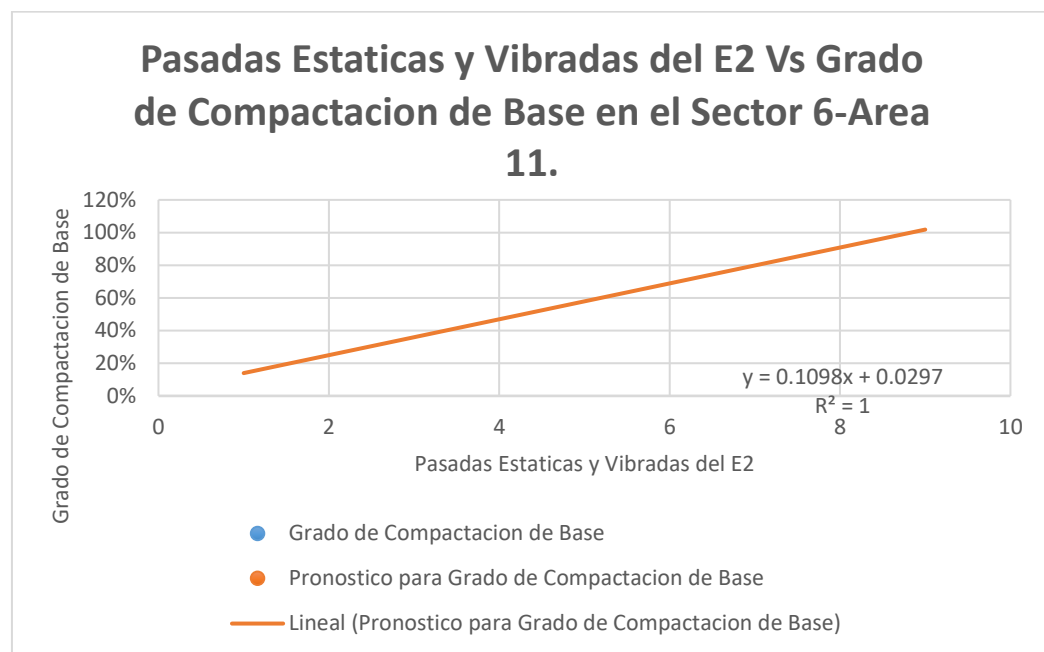
E2-(Sector 6-Area 11)		
Numero de Pasadas Estáticas y Vibradas del E2		Grado de Compactación
Estático	1	13%
Vibrado	2	27%
Estático	3	34%
Vibrado	4	48%
Estático	5	56%
Vibrado	6	71%
Estático	7	79%
Vibrado	8	93%
Estático	9	100%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

* Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas estáticas y vibradas del equipo compactador de 12,002 kg en el sector 6-área 11.

Figura 195

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 6-Area 11)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 229

Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 6-Área 11.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación	
múltiple	0.99814883
Coeficiente de determinación	
R ²	0.99630108
R ² ajustado	0.99577267
Error típico	0.01959308
Observaciones	9

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 230

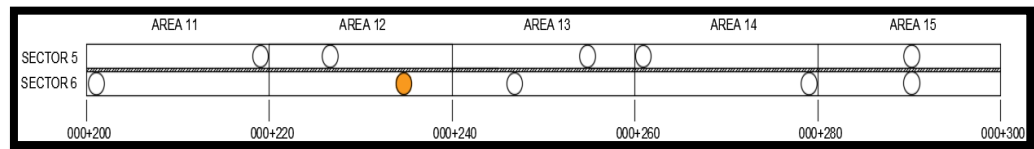
Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 6-Área 11.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.72380167	0.72380167	1885.44573	8.9705E-10
Residuos	7	0.00268722	0.00038389		
Total	8	0.72648889			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 196

Punto de Medición (Sector 6-Area 12): Progresiva: 000+235 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 231

Grado de Compactación del Sector 6-Area 12 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E2.

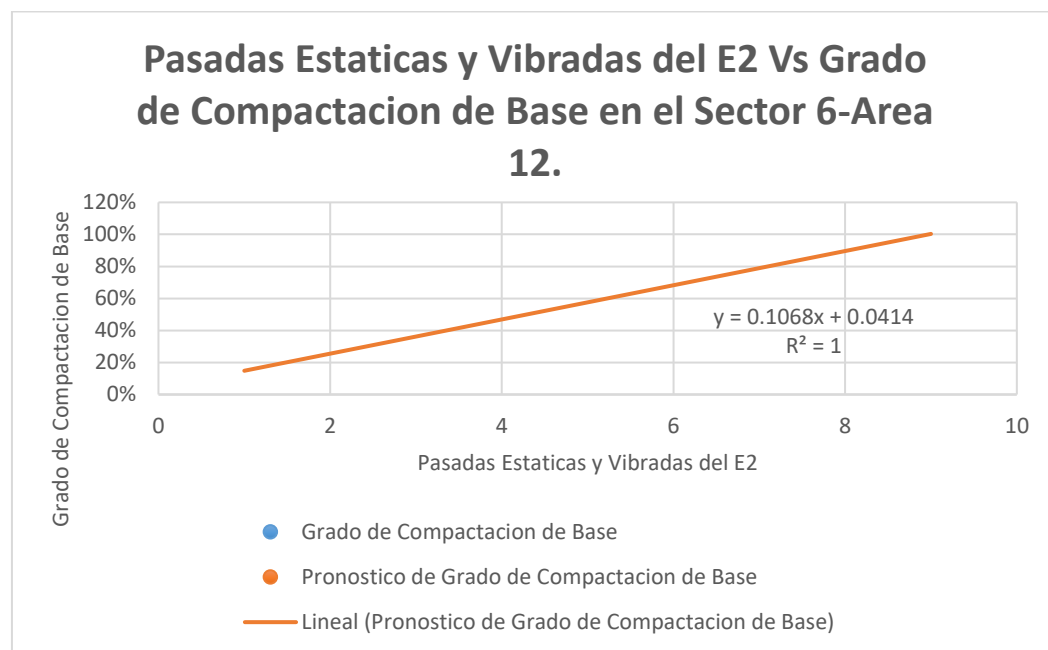
E2-(Sector 6-Area 12)		
Numero de Pasadas Estáticas y Vibradas del E2		Grado de Compactación
Estático	1	14%
Vibrado	2	28%
Estático	3	35%
Vibrado	4	47%
Estático	5	55%
Vibrado	6	70%
Estático	7	78%
Vibrado	8	92%
Estático	9	99%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

* Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas estáticas y vibradas del equipo compactador de 12,002 kg en el sector 6-área 12.

Figura 197

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 6-Area 12)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 232

Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 6-Área 12.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	
	0.99809211
Coeficiente de determinación	
R ²	0.99618785
R ² ajustado	0.99564326
Error típico	0.01934852
Observaciones	9

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 233

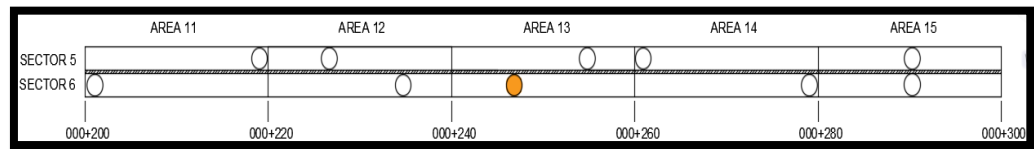
Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 6-Área 12.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.68480167	0.68480167	1829.2349	9.9695E-10
Residuos	7	0.00262056	0.00037437		
Total	8	0.68742222			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 198

Punto de Medición (Sector 6-Area 13): Progresiva: 000+245 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 234

Grado de Compactación del Sector 6-Area 13 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E2.

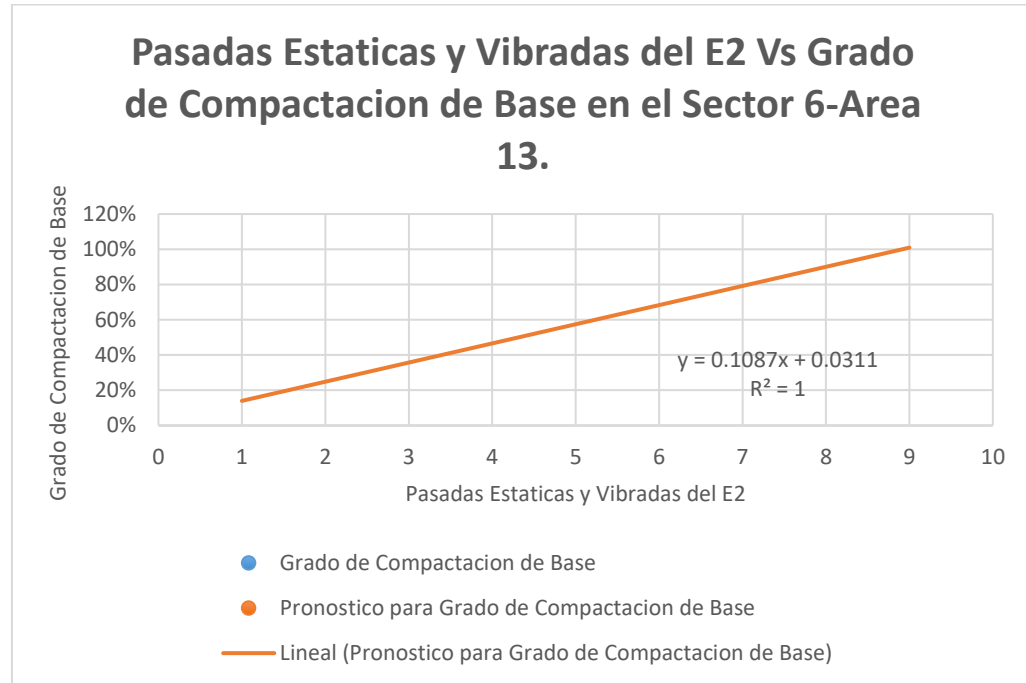
E2-(Sector 6-Area 13)		
Numero de Pasadas Estáticas y Vibradas del E2		Grado de Compactación
Estático	1	13%
Vibrado	2	27%
Estático	3	34%
Vibrado	4	48%
Estático	5	55%
Vibrado	6	70%
Estático	7	78%
Vibrado	8	93%
Estático	9	99%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

* Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas estáticas y vibradas del equipo compactador de 12,002 kg en el sector 6-área 13.

Figura 199

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 6-Area 13)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 235

Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 6-Área 13.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	
	0.99766836
Coeficiente de determinación	
R ²	0.99534216
R ² ajustado	0.99467675
Error típico	0.02176352
Observaciones	9

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 236

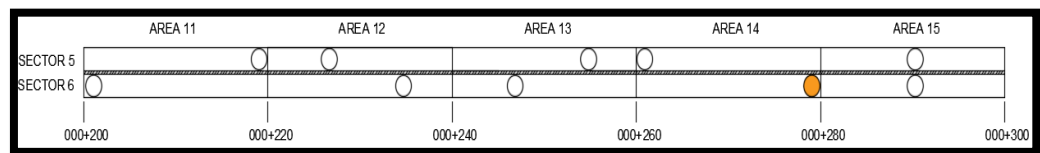
Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 6-Área 13.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.70850667	0.70850667	1495.84182	2.0108E-09
Residuos	7	0.00331556	0.00047365		
Total	8	0.71182222			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 200

Punto de Medición (Sector 6-Area 14): Progresiva: 000+278 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 237

Grado de Compactación del Sector 6-Area 14 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E2.

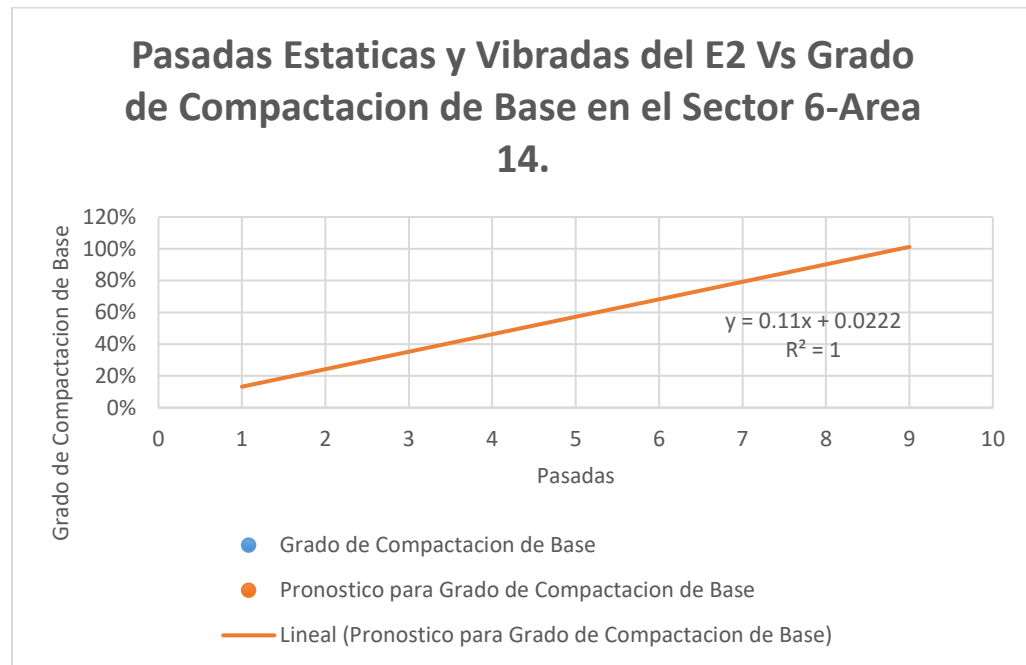
E2-(Sector 6-Area 14)		
Numero de Pasadas Estáticas y Vibradas del E2		Grado de Compactación
Estático	1	12%
Vibrado	2	26%
Estático	3	34%
Vibrado	4	47%
Estático	5	56%
Vibrado	6	71%
Estático	7	77%
Vibrado	8	92%
Estático	9	100%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

* Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas estáticas y vibradas del equipo compactador de 12,002 kg en el sector 6-área 14.

Figura 201

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 6-Area 14)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 238

Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 6-Área 14.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	
	0.99824461
Coeficiente de determinación	
R ²	0.9964923
R ² ajustado	0.9959912
Error típico	0.01910705
Observaciones	9

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 239

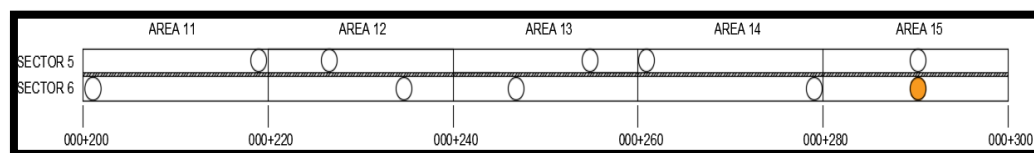
Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 6-Área 14.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.726	0.726	1988.6087	7.4491E-10
Residuos	7	0.00255556	0.00036508		
Total	8	0.72855556			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 202

Punto de Medición (Sector 6-Area 15): Progresiva: 000+290 km.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 240

Grado de Compactación del Sector 6-Area 15 con Pasadas Estáticas y Vibradas del E2.

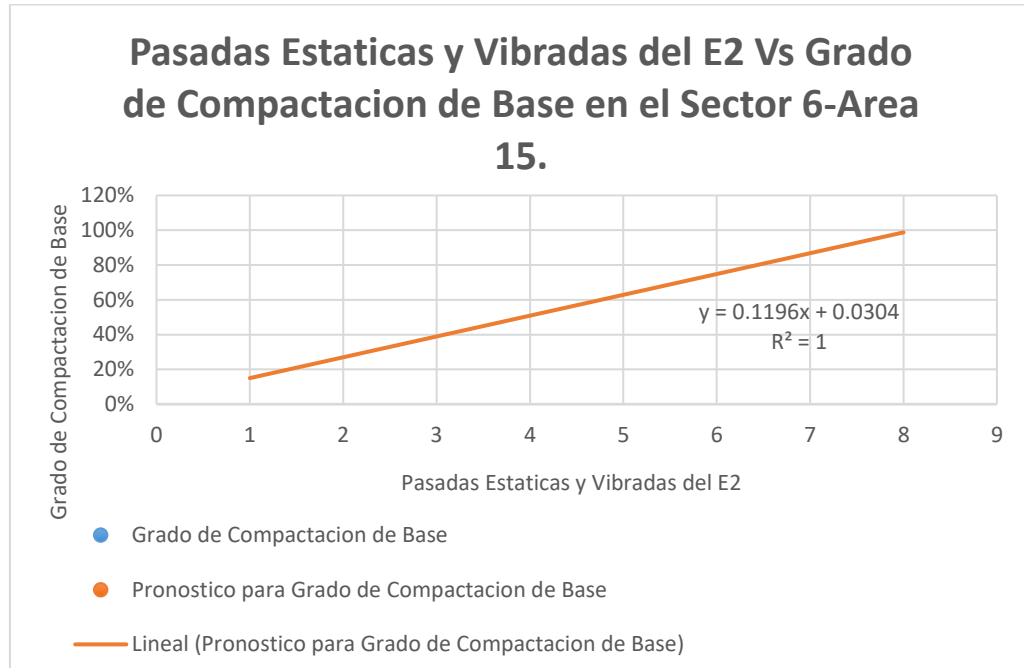
E2-(Sector 6-Area 15)		
Numero de Pasadas Estáticas y Vibradas del E2		Grado de Compactación
Estático	1	14%
Vibrado	2	29%
Estático	3	38%
Vibrado	4	52%
Estático	5	61%
Vibrado	6	76%
Estático	7	85%
Vibrado	8	100%

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

* Evaluación del grado de compactación en función al número de pasadas estáticas y vibradas del equipo compactador de 12,002 kg en el sector 6-área 15.

Figura 203

Ciclo de Trabajo Vs Grado de Compactación (Sector 6-Area 15)



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 241

Estadísticas de la Regresión del Grado de Compactación del Sector 6-Área 15.

Estadísticas de la Regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	
	0.99860395
Coeficiente de determinación	
R ²	0.99720986
R ² ajustado	0.99674483
Error típico	0.01674387
Observaciones	8

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 242

Análisis de Varianza Correspondiente al Grado de Compactación del Sector 6-Área 15.

Análisis de Varianza					
	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Promedio de los Cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	0.60120536	0.60120536	2144.42675	6.7949E-09
Residuos	6	0.00168214	0.00028036		
Total	7	0.6028875			

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 243

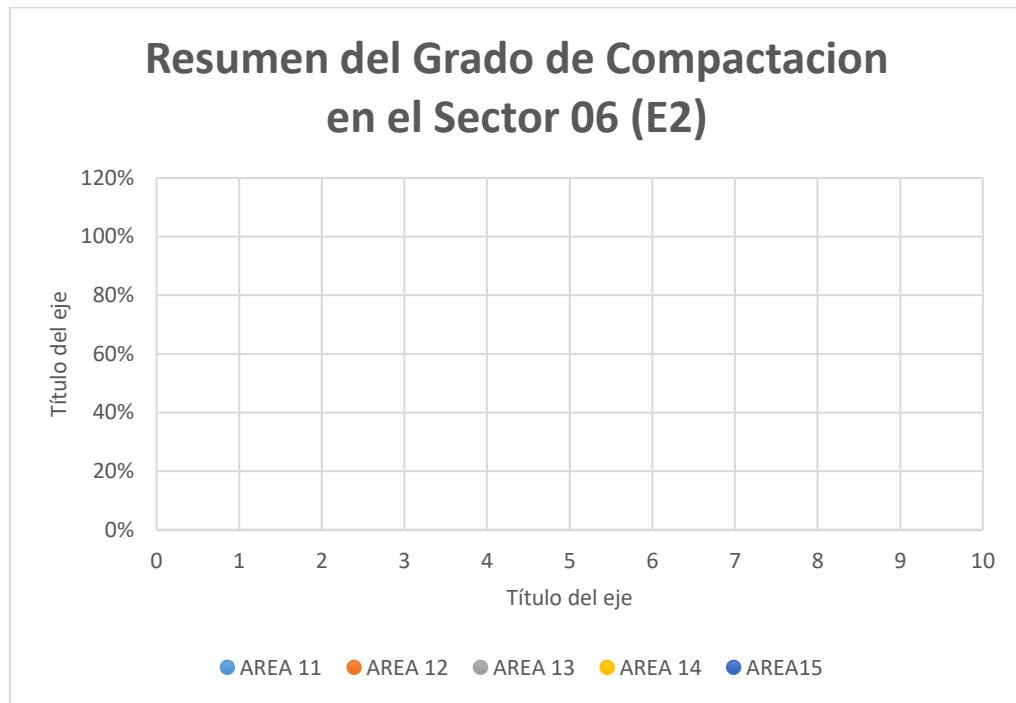
Resumen del Grado de Compactación en el Sector 06

Numero de pasadas de Equipo (Estático y Vibratorio)	E2				
	Sector 6				
	Área 11	Área 12	Área 13	Área 14	Área 15
1 (Estática)	13%	14%	13%	12%	14%
2 (vibrada)	27%	28%	27%	26%	29%
3 (estática)	34%	35%	34%	34%	38%
4 (vibrada)	48%	47%	48%	47%	52%
5 (estática)	56%	55%	55%	56%	61%
6 (vibrada)	71%	70%	70%	71%	76%
7 (estática)	79%	78%	78%	77%	85%
8 (vibrada)	93%	92%	93%	92%	100%
9 (Estática)	100%	99%	99%	100%	

Nota. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 204

Resumen del Grado de Compactación en el Sector 06 (E2).



Nota. Fuente: Elaboración propia.

7.2. Contrastación de Hipótesis

7.2.1. Resumen del Contenido de Humedad en base a las Pasadas Estáticas de los Equipos compactadores 01 y 02 en los Sectores 01 y 02.

Tabla 244

Cuadro comparativo de la Medición del Contenido de Humedad de Pasadas Estáticas entre el Equipo 01 y Equipo 02.

Numero de Pasadas de Equipo (Estático)	E1					E2				
	Sector 1					Sector 2				
	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5
01	7.50%	7.45%	7.55%	7.52%	7.49%	7.60%	7.65%	7.58%	7.65%	7.68%
02	7.42%	7.40%	7.46%	7.40%	7.42%	7.56%	7.55%	7.56%	7.49%	7.50%
03	7.30%	7.35%	7.36%	7.35%	7.30%	7.33%	7.35%	7.36%	7.38%	7.44%
04	7.10%	7.12%	7.25%	7.21%	7.20%	7.25%	7.22%	7.25%	7.24%	7.22%
05	7.10%	7.12%	7.18%	7.10%	7.13%	7.12%	7.09%	7.12%	7.11%	7.08%
06	7.08%	7.10%	7.15%	7.10%	7.13%	7.11%	7.09%	7.09%	7.08%	7.05%
07	6.90%	6.92%	6.95%	6.95%	6.94%	6.90%	6.91%	6.92%	6.94%	6.90%
08	6.82%	6.85%	6.84%	6.80%	6.84%	6.83%	6.85%	6.84%	6.85%	6.82%
09	6.75%	6.72%	6.74%	6.71%	6.73%	6.74%	6.75%	6.72%	6.75%	6.74%
10	6.68%	6.65%	6.62%	6.65%	6.63%	6.64%	6.65%	6.66%	6.64%	6.66%
11	6.55%	6.56%	6.54%	6.57%	6.54%	6.55%	6.55%	6.54%	6.52%	6.50%

12	6.40%	6.41%	6.43%	6.45%	6.41%	6.38%	6.35%	6.32%	6.33%	6.40%
13	6.32%	6.35%	6.38%	6.35%	6.32%					
14	6.22%	6.25%	6.30%	6.25%	6.24%					
15	6.12%	6.10%	6.11%	6.09%	6.05%					

Nota. Fuente: Elaboración propia.

7.2.2. Resumen del grado de compactación en base a las Pasadas Estáticas de los Equipos compactadores 01 y 02 en los Sectores 01 y 02.

Tabla 245

Cuadro comparativo de la Medición del Grado de Compactación de Pasadas Estáticas entre el Equipo 01 y Equipo 02.

Numero de Pasadas de Equipo (Estático)	E1					E2				
	Sector 1					Sector 2				
	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5	Área 1	Área 2	Área 3	Área 4	Área 5
01	10%	11%	12%	11%	12%	13%	12%	14%	13%	13%
02	17%	16%	17%	16%	17%	21%	20%	22%	21%	21%
03	23%	23%	24%	24%	25%	28%	27%	28%	27%	28%
04	31%	30%	31%	30%	30%	36%	34%	35%	36%	34%
05	36%	35%	37%	36%	35%	44%	43%	44%	42%	42%
06	43%	43%	43%	44%	42%	53%	52%	53%	51%	51%
07	50%	51%	51%	49%	50%	61%	61%	62%	60%	60%
08	55%	56%	56%	55%	55%	67%	67%	68%	66%	67%
09	62%	60%	61%	61%	62%	75%	74%	75%	73%	74%
10	69%	68%	68%	69%	68%	83%	82%	83%	82%	82%
11	75%	74%	75%	74%	75%	92%	91%	91%	91%	91%
12	82%	81%	82%	81%	81%	100%	99%	100%	99%	99%

13	87%	86%	87%	88%	88%
14	95%	94%	94%	94%	94%
15	100%	99%	100%	100%	99%

Nota. Fuente: Elaboración propia.

7.2.3. Resumen del Contenido de Humedad en base a las Pasadas Vibradas de los Equipos compactadores 01 y 02 en los Sectores 03 y 04.

Tabla 246

Cuadro comparativo de la Medición del Contenido de Humedad de Pasadas Vibradas entre el Equipo 01 y Equipo 02.

Numero de pasadas de Equipo (Vibratorio)	E1					E2				
	Sector 3					Sector 4				
	Área 6	Área 7	Área 8	Área 9	Área 10	Área 6	Área 7	Área 8	Área 9	Área 10
01	6.82%	6.80%	6.81%	6.83%	6.80%	6.80%	6.85%	6.88%	6.84%	6.80%
02	6.75%	6.72%	6.74%	6.71%	6.70%	6.72%	6.73%	6.71%	6.73%	6.70%
03	6.66%	6.65%	6.64%	6.60%	6.61%	6.64%	6.65%	6.66%	6.67%	6.61%
04	6.58%	6.54%	6.55%	6.51%	6.55%	6.55%	6.58%	6.52%	6.55%	6.54%
05	6.44%	6.45%	6.44%	6.42%	6.40%	6.42%	6.44%	6.43%	6.45%	6.40%
06	6.38%	6.39%	6.37%	6.33%	6.38%	6.34%	6.33%	6.32%	6.35%	6.34%
07	6.30%	6.32%	6.31%	6.24%	6.31%					
08	6.22%	6.28%	6.25%	6.15%	6.24%					

Nota. Fuente: Elaboración propia.

7.2.4. Resumen del grado de compactación en base a las Pasadas Vibradas de los Equipos compactadores 01 y 02 en los Sectores 03 y 04.

Tabla 247

Cuadro comparativo de la Medición del Grado de Compactación de Pasadas Vibradas entre el Equipo 01 y Equipo 02.

Numero de pasadas de Equipo (Vibratorio)	E1					E2				
	Sector 3					Sector 4				
	Área 6	Área 7	Área 8	Área 9	Área 10	Área 6	Área 7	Área 8	Área 9	Área 10
01	19%	18%	18%	19%	18%	23%	24%	23%	24%	25%
02	38%	37%	38%	37%	44%	45%	44%	43%	43%	47%
03	50%	48%	48%	50%	56%	60%	61%	60%	60%	63%
04	62%	61%	60%	61%	69%	75%	76%	75%	77%	78%
05	73%	72%	72%	72%	79%	87%	87%	88%	89%	92%
06	82%	82%	83%	82%	89%	100%	99%	99%	100%	103%
07	91%	92%	91%	91%	99%					
08	99%	100%	99%	100%						

Nota. Fuente: Elaboración propia.

7.2.5. Resumen del Contenido de Humedad en base a las Pasadas Estáticas y vibradas de los Equipos compactadores 01 y 02 en los Sectores 05 y 06.

Tabla 248

Cuadro comparativo de la Medición del Contenido de Humedad de Pasadas Estáticas y Vibradas entre el Equipo 01 y Equipo 02.

Numero de pasadas de Equipo (Estático y Vibratorio)	E1					E2				
	Sector 5					Sector 6				
	Área 11	Área 12	Área 13	Área 14	Área 15	Área 11	Área 12	Área 13	Área 14	Área 15
1 (Estática)	7.12%	7.10%	7.20%	7.10%	7.12%	7.31%	7.30%	7.29%	7.30%	7.29%
2 (vibrada)	6.90%	6.91%	7.10%	6.92%	6.94%	7.25%	7.22%	7.21%	7.20%	7.19%
3 (estática)	6.82%	6.80%	6.85%	6.84%	6.85%	7.18%	7.17%	7.10%	7.09%	7.10%
4 (vibrada)	6.75%	6.73%	6.72%	6.75%	6.74%	7.05%	7.06%	7.01%	6.92%	6.95%
5 (estática)	6.66%	6.62%	6.63%	6.65%	6.66%	6.92%	6.94%	6.93%	6.90%	6.90%
6 (vibrada)	6.55%	6.54%	6.55%	6.54%	6.55%	6.84%	6.85%	6.84%	6.81%	6.81%
7 (estática)	6.48%	6.45%	6.48%	6.46%	6.44%	6.75%	6.74%	6.75%	6.70%	6.73%
8 (vibrada)	6.35%	6.36%	6.38%	6.39%	6.33%	6.66%	6.64%	6.60%	6.59%	6.65%
9 (Estática)	6.22%	6.25%	6.21%	6.25%	6.21%	6.55%	6.51%	6.52%	6.45%	
10 (vibrada)	6.15%	6.18%	6.19%	6.20%	6.18%					
11 (estática)	6.02%	6.04%	6.06%	6.09%						

Nota. Fuente: Elaboración propia.

7.2.6. Resumen del grado de compactación en base a las Pasadas Estáticas y vibradas de los Equipos compactadores 01 y 02 en los Sectores 05 y 06.

Tabla 249

Comparativo de la Medición del Grado de Compactación de Pasadas Estáticas y Vibradas entre el Equipo 01 y 02.

Numero de pasadas de Equipo (Estático y Vibratorio)	E1					E2				
	Sector 5					Sector 6				
	Área 11	Área 12	Área 13	Área 14	Área 15	Área 11	Área 12	Área 13	Área 14	Área 15
1 (Estática)	11%	12%	10%	11%	12%	13%	14%	13%	12%	14%
2 (vibrada)	23%	24%	24%	25%	26%	27%	28%	27%	26%	29%
3 (estática)	30%	31%	32%	30%	33%	34%	35%	34%	34%	38%
4 (vibrada)	41%	42%	43%	42%	45%	48%	47%	48%	47%	52%
5 (estática)	47%	48%	47%	46%	50%	56%	55%	55%	56%	61%
6 (vibrada)	58%	59%	57%	58%	60%	71%	70%	70%	71%	76%
7 (estática)	65%	64%	64%	66%	66%	79%	78%	78%	77%	85%
8 (vibrada)	77%	76%	76%	77%	79%	93%	92%	93%	92%	100%
9 (Estática)	84%	83%	84%	85%	87%	100%	99%	99%	100%	
10 (vibrada)	94%	93%	94%	95%	99%					
11 (estática)	99%	100%	99%	100%						

Nota. Fuente: Elaboración propia.

7.2.7. Resultados de Rendimientos de Equipos de Compactación 01 y 02 en el Proceso de compactación.

En Base a las fórmulas planteadas en la Tesis: Análisis de Rendimiento y Costos Horarios de Maquinaria Pesada en la Obra “PIADY” Etapa 1. Presentada por la Tesista Guadamud Moreno Joselyn. Se presenta los siguientes rendimientos de las maquinarias en base a las Pasadas de Rodillos obtenidos en campo.

Tabla 250

Rendimiento de Rodillo Liso Vibratorio de 11,273.00 kg, con Pasadas Estáticas.

Maquina: Compactador	Marca : Ingersoll Rand		
Peso Útil: 11,247.00 kg	Potencia : 93.2 KW		
Datos de la Maquinaria			
Ancho del compactador	L =	2.28	metros
Ancho efectivo de compactación = l - lo	W =	2.135	metros
Ancho de traslape	Lo =	0.145	metros
Velocidad de trabajo	V =	3000	m/hr
Número de pasadas estáticas	N =	15	
Espesor capa de terraplén suelto	Hs =	1.2	metros
Espesor capa de terraplén compactado	Hc =	0.2	metros
Condiciones de Trabajo			
Altura sobre el nivel del mar		3259	metros
Factor volumétrico	Fv =	0.86	
Factor de compresibilidad	Fc =	0.7	
Factor de tiempo	t =	0.75	
Factor de mano de obra	o =	0.8	
Factor de eficiencia del trabajo e=t * o	E =	0.6	

Incremento del ciclo por altura
m.s.n.m. $h = 0.2259$

Rendimientos Finales			
Productividad por hora :	$Qh =$	427.00	m ² /hr
Productividad real :	$Pa =$	256.20	m ² /hr
Productividad en volumen (suelto)	$P =$	307.44	m ³ /hr
Productividad en volumen (compactado)	$Pc =$	51.24	m ³ /hr

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 251

Rendimiento de Rodillo Liso Vibratorio de 11,273.00 kg, con Pasadas Vibradas.

Maquina: Compactador	Marca : Ingersoll Rand
Peso Útil: 11,247.00 kg	Potencia : 93.2 KW

Datos de la Maquinaria			
Ancho del compactador	$L =$	2.28	metros
Ancho efectivo de compactación = l - lo	$W =$	2.135	metros
Ancho de traslape	$Lo =$	0.145	metros
Velocidad de trabajo	$V =$	3000	m/hr
Número de pasadas Vibradas.	$N =$	8	
Espesor capa de terraplén suelto	$Hs =$	1.2	metros
Espesor capa de terraplén compactado	$Hc =$	0.2	metros

Condiciones de Trabajo			
Altura sobre el nivel del mar		3259	metros
Factor volumétrico	$Fv =$	0.86	
Factor de compresibilidad	$Fc =$	0.7	
Factor de tiempo	$t =$	0.75	
Factor de mano de obra	$o =$	0.8	

Factor de eficiencia del trabajo $e=t^*$	E =	0.6	
Incremento del ciclo por altura m.s.n.m.	h =	0.2259	
Rendimientos Finales			
Productividad por hora :	Qh =	800.63	m ² /hr
Productividad real :	Pa =	480.38	m ² /hr
Productividad en volumen (suelto)	P =	576.45	m ³ /hr
Productividad en volumen (compactado)	Pc =	96.08	m ³ /hr

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 252

Rendimiento de Rodillo Liso Vibratorio de 11,273.00 kg, con Pasadas Estáticas y Vibradas.

Maquina: Compactador	Marca : Ingersoll Rand		
Peso Útil: 11,247.00 kg	Potencia : 93.2 KW		
Datos de la Maquinaria			
Ancho del compactador	L =	2.28	metros
Ancho efectivo de compactación = l - lo	W =	2.135	metros
Ancho de traslape	Lo =	0.145	metros
Velocidad de trabajo	V =	3000	m/hr
Número de pasadas Estáticas y Vibradas	N =	11	
Espesor capa de terraplén suelto	Hs =	1.2	metros
Espesor capa de terraplén compactado	Hc =	0.2	metros
Condiciones de Trabajo			
Altura sobre el nivel del mar		3259	metros

Factor volumétrico	Fv =	0.86
Factor de compresibilidad	Fc =	0.7
Factor de tiempo	T =	0.75
Factor de mano de obra	o =	0.8
Factor de eficiencia del trabajo e=t *	E =	0.6
o		
Incremento del ciclo por altura m.s.n.m.	h =	0.2259

Rendimientos Finales

Productividad por hora :	Qh =	582.27	m2/hr
Productividad real :	Pa =	349.36	m2/hr
Productividad en volumen (suelto)	P =	419.24	m3/hr
Productividad en volumen (compactado)	Pc =	69.87	m3/hr

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 253

Rendimiento de Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg, con Pasadas Estáticas.

Maquina: Compactador	Marca : Ingersoll Rand
Peso Útil: 12,0020.10 kg	Potencia : 116.3 KW

Datos de la Maquinaria

Ancho del compactador	L =	2.28	metros
Ancho efectivo de compactación =l - lo	W =	2.135	metros
Ancho de traslape	Lo =	0.145	metros
Velocidad de trabajo	V =	3000	m/hr
Número de pasadas estáticas	N =	12	
Espesor capa de terraplén suelto	Hs =	1.2	metros
Espesor capa de terraplén compactado	Hc =	0.2	metros

Condiciones de Trabajo			
Altura sobre el nivel del mar		3259	metros
Factor volumétrico	Fv =	0.86	
Factor de compresibilidad	Fc =	0.7	
Factor de tiempo	t =	0.75	
Factor de mano de obra	o =	0.8	
Factor de eficiencia del trabajo e=t *	E =	0.6	
o			
Incremento del ciclo por altura	h =	0.2259	
m.s.n.m.			
Rendimientos Finales			
Productividad por hora :	Qh =	533.75	m ² /hr
Productividad real :	Pa =	320.25	m ² /hr
Productividad en volumen (suelto)	P =	384.30	m ³ /hr
Productividad en volumen (compactado)	Pc =	64.05	m ³ /hr

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 254

Rendimiento de Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg, con Pasadas Vibradas.

Maquina: Compactador	Marca : Ingersoll Rand		
Peso Útil: 12,0020.10 kg	Potencia : 116.3 KW		
Datos de la Maquinaria			
Ancho del compactador	L =	2.28	metros
Ancho efectivo de compactación =l - lo	W =	2.135	metros
Ancho de traslape	Lo =	0.145	metros
Velocidad de trabajo	V =	3000	m/hr
Número de pasadas Vibradas.	N =	6	
Espesor capa de terraplén suelto	Hs =	1.2	metros

Espesor capa de terraplén compactado	Hc =	0.2	metros
--------------------------------------	------	-----	--------

Condiciones de Trabajo

Altura sobre el nivel del mar		3259	metros
Factor volumétrico	Fv =	0.86	
Factor de compresibilidad	Fc =	0.7	
Factor de tiempo	t =	0.75	
Factor de mano de obra	o =	0.8	
Factor de eficiencia del trabajo E=t * o	E =	0.6	
Incremento del ciclo por altura m.s.n.m.	h =	0.2259	

Rendimientos Finales

Productividad por hora :	Qh =	1067.50	m2/hr
Productividad real :	Pa =	640.50	m2/hr
Productividad en volumen (suelto)	P =	768.60	m3/hr
Productividad en volumen (compactado)	Pc =	128.10	m3/hr

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 255

Rendimiento de Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg, con Pasadas Estáticas y Vibradas.

Maquina: Compactador	Marca : Ingersoll Rand
Peso Útil: 12,0020.10 kg	Potencia : 116.3 KW

Datos de la Maquinaria

Ancho del compactador	L =	2.28	metros
Ancho efectivo de compactación = l - lo	W =	2.135	metros
Ancho de traslape	Lo =	0.145	metros

Velocidad de trabajo	V =	3000	m/hr
Número de pasadas Estáticas y Vibradas.	N =	9	
Espesor capa de terraplén suelto	Hs =	1.2	metros
Espesor capa de terraplén compactado	Hc =	0.2	metros
Condiciones de Trabajo			
Altura sobre el nivel del mar		3259	metros
Factor volumétrico	Fv =	0.86	
Factor de compresibilidad	Fc =	0.7	
Factor de tiempo	t =	0.75	
Factor de mano de obra	o =	0.8	
Factor de eficiencia del trabajo E=t * o	E =	0.6	
Incremento del ciclo por altura m.s.n.m.	h =	0.2259	
Rendimientos Finales			
Productividad por hora :	Qh =	711.67	m ² /hr
Productividad real :	Pa =	427.00	m ² /hr
Productividad en volumen (suelto)	P =	512.40	m ³ /hr
Productividad en volumen (compactado)	Pc =	85.40	m ³ /hr

Nota. Fuente: Elaboración propia.

7.2.8. Resumen de Resultados de Rendimientos de Equipos de Compactación 01 y 02 en el Proceso de compactación.

Tabla 256

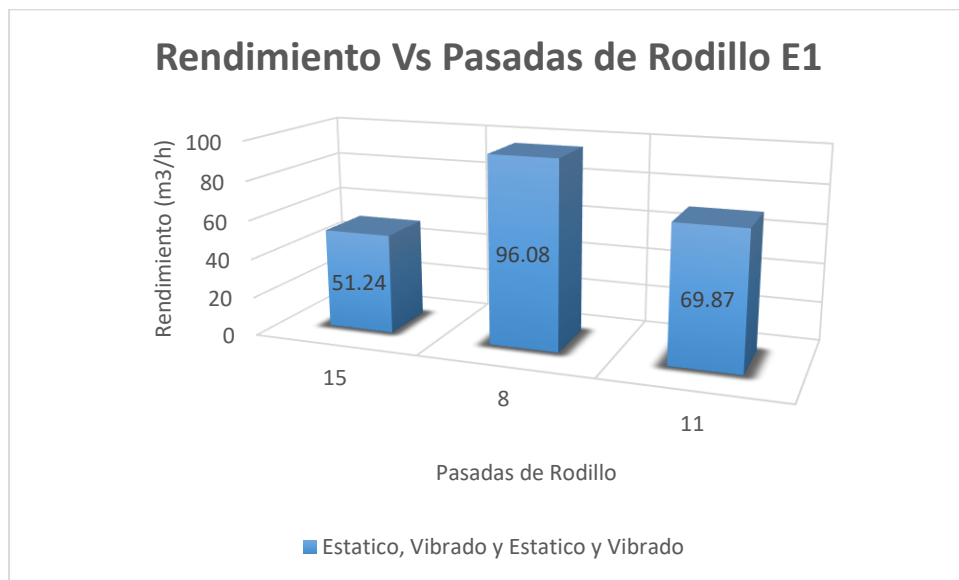
Resumen de Rendimientos del Rodillo Liso vibratorio de 11,247 kg

E1: Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg		
Tipo de Pasadas	Pasadas de Rodillo	Rendimiento (m3/hr)
Estático	15	51.24
Vibrado	8	96.08
Estático y vibrado	11	69.87

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 205

Rendimiento del E1 Vs Pasadas de Rodillo E1.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 257

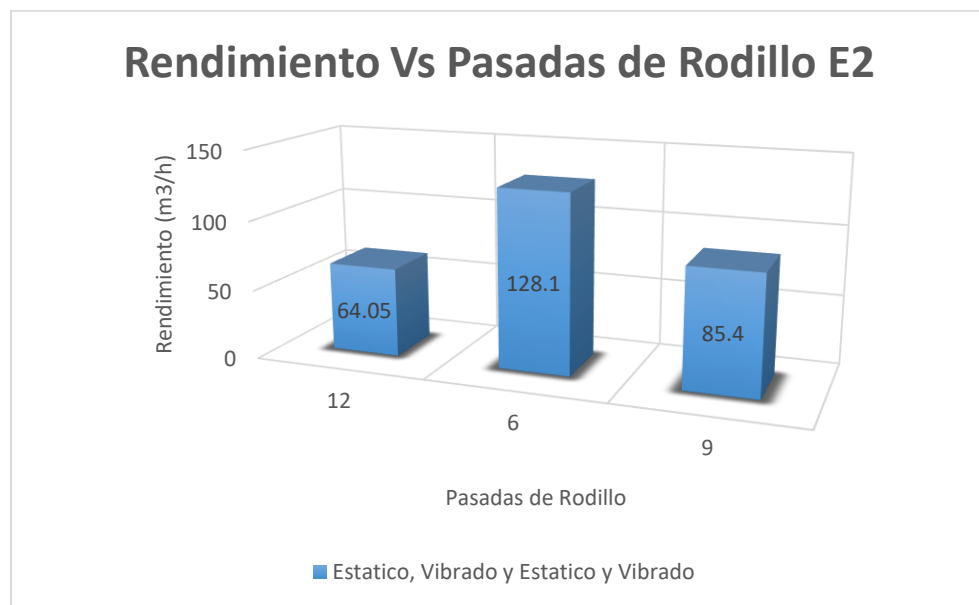
Resumen de Rendimientos del Rodillo Liso vibratorio de 12,002 kg

E2: Rodillo Liso Vibratorio de 12,002.10 kg		
Tipo de Pasadas	Pasadas de Rodillo	Rendimiento (m ³ /hr)
Estático	12	64.05
Vibrado	6	128.1
Estático y vibrado	9	85.4

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Figura 206

Rendimiento del E1 Vs Pasadas de Rodillo E2.



Nota. Fuente: Elaboración propia.

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Efecto del Control del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247.00 kg en el Contenido de Humedad de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo.

Según la Tabla N° 31 la Vía de estudio se Ubicó en la Av. Orión, Tramo Jr. Medusa-Jr. Galaxia, con Un total de Longitud de Vía Analizada de 300.00 m y un Ancho de Calzada de 13.00 m.

En la tabla N° 32 se presentan los resultados de los cálculos realizados para determinar las características de Operación de las Pasadas Estáticas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg. Se determinó Factores como la Presión Lineal y la Velocidad de Trabajo del Equipo compactador en función a la bibliografía de Lloret 2009. En cuanto a los resultados obtenidos se pudo determinar que, en la operación del equipo de compactación mediante la aplicación de pasadas estáticas, solo se ven involucrados factores como el ancho del tambor, peso del tambor y la velocidad de trabajo del equipo compactador.

Los resultados presentados en la Tabla N° 33, estuvieron determinados por el Primer Tramo de trabajo: Jr. Medusa-Jr. Géminis con una longitud de análisis de 100 m, comprendiendo las progresivas 000+000-000+100, donde se establecieron trabajos de compactación mediante pasadas estáticas del Equipo compactador 01. Se estableció 03 Pasadas de Cisterna, evaluadas aleatoriamente según el criterio del Residente de Obra. Para que el material pueda orearse se estableció un tiempo aproximado de 18 minutos de espera antes del inicio de los trabajos. Para las mediciones en campo se estableció como dato patrón el Optimo contenido de Humedad del Ensayo de Proctor previamente ejecutado en laboratorio que fue de 6.35%. La hora en la cual fue ejecutada el trabajo fue a las 11:30 am con una temperatura 24°C, el clima estuvo soleado y sin lluvias.

El esquema presentado en la Figura N° 63, muestra la ubicación de las áreas tomadas aleatoriamente en el Jr. Medusa-Jr. Géminis con una longitud de análisis de 100 m,

comprendiendo las progresivas 000+000-000+100, Sector 01 y Sector 02 donde se ejecutaron los ensayos en campo. Se tuvo un criterio global con el objetivo de abarcar la totalidad de la sección de la vía sea analizada.

Para la presentación de los Resultados del Contenido de Humedad por cada Punto según las Pasadas del Equipo compactador 01 se utilizó el Ensayo de Carburo de Calcio tomando en consideración NTP 339.150:1999 (SUELOS. Método de Ensayo para la determinación en campo del contenido de humedad, por el método de presión del gas carburo de calcio).

La Figura N° 64, 66, 68, 70 y 72 nos muestra cada Sector y Área donde fueron extraídas las cinco muestras para la evaluación del Contenido de Humedad por Ciclo de Trabajo con pasadas estáticas del equipo compactador.

En las Tablas N° 34, 37, 40, 43 y 46 y en las Figuras N° 65, 67, 69, 71, y 73 se puede evaluar que fue necesario tener 15 Pasadas con pasadas Estáticas para llegar a la compactación requerida, Se muestra que el porcentaje de Humedad decrece según las pasadas del equipo compactador, esto debido al clima y el tiempo empleado en la compactación del rodillo. Por lo expuesto se ratifica que, en términos de tensiones totales, el grado de saturación de una muestra compactada ensayada con la humedad de compactación influye en su resistencia. (Sagüés, 2007).

Según los resultados presentados en las Tablas N° 35,38,41,44 y 47 correspondiente a la Estadística de la regresión que fue analizada de los datos del contenido de humedad en diferentes áreas del sector 01 se puede afirmar que el 99% de los datos del contenido de humedad está en función al número de pasadas Estáticas del Equipo compactador 01 por lo cual existe una óptima relación entre ambos factores.

A la vez los resultados presentados en las Tablas N° 36,39,42,45 y 48 correspondiente al Análisis de Varianza que fue analizada de los datos de contenido de humedad en las diferentes áreas del sector 01 se puede afirmar que el P Valor es menor al 0.05 correspondiente al cálculo estadístico por lo tanto se acepta la buena correlación que

se tiene entre el Numero de Pasadas Estáticas del Equipo Compactador 01 y el Contenido de Humedad.

En la Tabla N° 49 se muestra el Resumen del Contenido de Humedades en el Sector 01, donde se necesitó unos 15 Pasadas con pasadas Estáticas para llegar al optimo grado de compactación que estipulan la Norma CE.010. En la ejecución de los 15 Pasadas se puede determinar que el contenido de humedad disminuye por cada ciclo. A la vez en la Figura N° 74, se puede avaluar que el contenido de humedad decrece con las pasadas estáticas del rodillo liso vibratorio de 11,247 kg. El parámetro de disminución no contempla un rango definido ya que presenta una dispersión considerable teniendo como dato mínimo de disminución de contenido de humedad de 0.02% y dato máximo de disminución de contenido de humedad de 0.23% entre pasadas consecutivas. Esto se debe a la exposición del material al clima y temperatura que se tiene al momento de ejecución del proceso, por ello se sugiere tener la menor cantidad de Pasadas para que el control del contenido de Humedad sea óptimo. Por lo citado se puede comprobar que, en términos generales, la rigidez crece con la presión media y con el peso unitario seco. La humedad de compactación, el grado de saturación y las condiciones de compactación tienen efectos significativos sobre la rigidez. (Sagüés, 2007).

Los resultados presentados en la Tabla N° 50, estuvieron determinados por el Segundo Tramo de trabajo: Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde con una longitud de análisis de 100 m, comprendiendo las progresivas 000+100-000+200, donde se establecieron trabajos de compactación mediante pasadas vibradas del Equipo compactador 01. Se estableció 03 Pasadas de Cisterna, evaluadas aleatoriamente según el criterio del Residente de Obra. Para que el material pueda orearse se estableció un tiempo aproximado de 25 minutos de espera antes del inicio de los trabajos. Para las mediciones en campo se estableció como dato patrón el Optimo contenido de Humedad del Ensayo de Proctor previamente ejecutado en laboratorio que fue de 6.35%. La hora en la cual fue ejecutada el trabajo fue a las 11:00 am con una temperatura 22°C, el clima estuvo soleado y sin lluvias.

En la tabla N° 51 se presentan los resultados de los cálculos realizados para determinar las características de Operación de las Pasadas Vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg. Se determinó Factores como la Fuerza Centrífuga, Frecuencia del Excitador, Amplitud Nominal, Presión Lineal Dinámica y la Velocidad de Trabajo del Equipo compactador en función a la bibliografía de Lloret 2009. En cuanto a los resultados obtenidos se pudo determinar que, en la operación del equipo de compactación mediante la aplicación de pasadas vibradas, solo se ven involucrados factores como el ancho del tambor, las Revoluciones aplicadas, peso del tambor y la velocidad de trabajo del equipo compactador.

El esquema presentado en la Figura N° 75, muestra la ubicación de las áreas tomadas aleatoriamente en el Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde con una longitud de análisis de 100 m, comprendiendo las progresivas 000+100-000+200, Sector 03 y Sector 04 donde se ejecutaron los ensayos en campo. Se tuvo un criterio global con el objetivo de abarcar la totalidad de la sección de la vía sea analizada.

La Figura N° 76, 78, 80, 82 y 84 nos muestra cada Sector y Área donde fueron extraídas las cinco muestras para la evaluación del Contenido de Humedad por Ciclo de Trabajo con pasadas Vibradas del equipo compactador.

En las Tablas N° 52, 55, 58, 61 y 64 y en las Figuras N° 77, 79, 81, 83, y 85 se puede evaluar que fue necesario tener 08 Pasadas con pasadas Vibradas para llegar a la compactación requerida, Se muestra que el porcentaje de Humedad decrece según las pasadas del equipo compactador, esto debido al clima y el tiempo empleado en la compactación del rodillo. Por lo expuesto se afirma, que, si se compacta con una humedad superior a la óptima, la forma de compactación tiene influencia en la estructura, compresibilidad y resistencia del suelo. (Sagüés, 2007)

Según los resultados presentados en las Tablas N° 53, 56, 59, 62 y 65 correspondiente a la Estadística de la regresión que fue analizada de los datos del contenido de humedad en diferentes áreas del sector 03 se puede afirmar que el 99% de los datos del contenido de humedad está en función al número de pasadas vibradas del Equipo compactador 01 por lo cual existe una óptima relación entre ambos factores.

A la vez los resultados presentados en las Tablas N° 54, 57, 60, 63 y 66 correspondiente al Análisis de Varianza que fue analizada de los datos de contenido de humedad en las diferentes áreas del sector 03 se puede afirmar que el P Valor es menor al 0.05 correspondiente al cálculo estadístico por lo tanto se acepta la buena correlación que se tiene entre el Numero de Pasadas Vibradas del Equipo Compactador 01 y el Contenido de Humedad.

En la Tabla N° 67 se muestra el Resumen del Contenido de Humedades en el Sector 03, donde se necesitó unos 08 Pasadas con pasadas Vibradas para llegar al optimo grado de compactación que estipulan la Norma CE.010. En la ejecución de los 08 Pasadas se puede determinar que el contenido de humedad disminuye por cada ciclo. A la vez en la Figura N° 86, se puede avaluar que el contenido de humedad decrece con las pasadas Vibradas del rodillo liso vibratorio de 11,247 kg. El parámetro de disminución no contempla un rango definido ya que presenta una dispersión considerable teniendo como dato mínimo de disminución de contenido de humedad de 0.02% y dato máximo de disminución de contenido de humedad de 0.15% entre pasadas consecutivas. Esto se debe a la exposición del material al clima y temperatura que se tiene al momento de ejecución del proceso, por ello se sugiere tener la menor cantidad de Pasadas para que el control del contenido de Humedad sea óptimo. En virtud a los resultados se concluye que para bajas humedades de compactación las partículas tienen una alta fricción entre sí. A medida que se agrega agua, las partículas se recubren con agua libre, generan presión neutra local y se desplazan relativamente para formar una estructura más compacta, con peso unitario seco mayor. (Sagüés, 2007)

Los resultados presentados en la Tabla N° 68, estuvieron determinados por el Tercer Tramo de trabajo: Jr. Castillo Verde-Jr. Galaxia con una longitud de análisis de 100 m, comprendiendo las progresivas 000+200-000+300, donde se establecieron trabajos de compactación mediante pasadas estáticas y vibradas del Equipo compactador 01. Se estableció 03 Pasadas de Cisterna, evaluadas aleatoriamente según el criterio del Residente de Obra. Para que el material pueda orearse se estableció un tiempo aproximado de 20 minutos de espera antes del inicio de los

trabajos. Para las mediciones en campo se estableció como dato patrón el Optimo contenido de Humedad del Ensayo de Proctor previamente ejecutado en laboratorio que fue de 6.35%. La hora en la cual fue ejecutada el trabajo fue a las 11:45 am con una temperatura 25°C, el clima estuvo soleado y sin lluvias.

El esquema presentado en la Figura N° 87, muestra la ubicación de las áreas tomadas aleatoriamente en el Jr. Castillo Verde-Jr. Galaxia con una longitud de análisis de 100 m, comprendiendo las progresivas 000+200-000+300, Sector 05 y Sector 06 donde se ejecutaron los ensayos en campo. Se tuvo un criterio global con el objetivo de abarcar la totalidad de la sección de la vía sea analizada.

La Figura N° 88, 90, 92 y 94 nos muestra cada Sector y Área donde fueron extraídas las cinco muestras para la evaluación del Contenido de Humedad por Ciclo de Trabajo con pasadas Estáticas y Vibradas del equipo compactador.

En las Tablas N° 69, 72, 75 y 78 y en las Figuras N° 89, 91, 93 y 95 se puede evaluar que fue necesario tener 11 Pasadas con pasadas Estáticas y Vibradas para llegar a la compactación requerida, Se muestra que el porcentaje de Humedad decrece según las pasadas del equipo compactador, esto debido al clima y el tiempo empleado en la compactación del rodillo. Por lo citado la diferencia en la resistencia en causada por el ordenamiento de la estructura al compactar con humedades mayores que la óptima que genera mayores presiones neutras. (Sagüés, 2007).

La Figura N° 96 nos muestra la medición en el Sector 05 y Área 15 donde fue extraída la muestra para la evaluación del Contenido de Humedad por Ciclo de Trabajo con pasadas Estáticas y Vibradas del equipo compactador.

En las Tabla N° 81 y en las Figuras N° 97 se puede evaluar que fue necesario tener 10 Pasadas con pasadas Estáticas y Vibradas para llegar a la compactación requerida, Se muestra que el porcentaje de Humedad decrece según las pasadas del equipo compactador, esto debido al clima y el tiempo empleado en la compactación del rodillo. La reducción de un ciclo de trabajo básicamente se basa a la localización del área y sector que fue identificada la muestra.

Según los resultados presentados en las Tablas N° 70, 73, 76, 79 y 82 correspondiente a la Estadística de la regresión que fue analizada de los datos del contenido de humedad en diferentes áreas del sector 05 se puede afirmar que el 99% de los datos del contenido de humedad está en función al número de pasadas estáticas y vibradas del Equipo compactador 01 por lo cual existe una óptima relación entre ambos factores.

A la vez los resultados presentados en las Tablas N° 71, 74, 77, 80 y 83 correspondiente al Análisis de Varianza que fue analizada de los datos de contenido de humedad en las diferentes áreas del sector 03 se puede afirmar que el P Valor es menor al 0.05 correspondiente al cálculo estadístico por lo tanto se acepta la buena correlación que se tiene entre el Numero de Pasadas Vibradas del Equipo Compactador 01 y el Contenido de Humedad.

En la Tabla N° 84 se muestra el Resumen del Contenido de Humedades en el Sector 05, donde se necesitó entre 11 y 10 Pasadas con pasadas Estáticas y Vibradas para llegar al óptimo grado de compactación que estipulan la Norma CE.010. En la ejecución de las 11 y 10 Pasadas se puede determinar que el contenido de humedad disminuye por cada ciclo. A la vez en la Figura N° 98, se puede evaluar que el contenido de humedad decrece con las pasadas Vibradas del rodillo liso vibratorio de 11,247 kg. El parámetro de disminución no contempla un rango definido ya que presenta una dispersión considerable teniendo como dato mínimo de disminución de contenido de humedad de 0.02% y dato máximo de disminución de contenido de humedad de 0.25% entre pasadas consecutivas. Esto se debe a la exposición del material al clima y temperatura que se tiene al momento de ejecución del proceso, por ello se sugiere tener la menor cantidad de Pasadas para que el control del contenido de Humedad sea óptimo. La estructura en este caso resulta más orientada. Se presume que las partículas comienzan a orientarse a medida que se aumenta la humedad porque las fuerzas de repulsión y capilares disminuyen con un mayor contenido de humedad. (Sagüés, 2007)

Efecto del Control del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247.00 kg en el Grado de Compactación de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo.

Según la Tabla N° 85 la Vía de estudio se Ubicó en la Av. Orión, Tramo Jr. Medusa-Jr. Galaxia, con Un total de Longitud de Vía Analizada de 300.00 m y un Ancho de Calzada de 13.00 m.

En la tabla N° 86 se presentan los resultados de los cálculos realizados para determinar las características de Operación de las Pasadas Estáticas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg. Se determinó Factores como la Presión Lineal y la Velocidad de Trabajo del Equipo compactador en función a la bibliografía de Lloret 2009. En cuanto a los resultados obtenidos se pudo determinar que, en la operación del equipo de compactación mediante la aplicación de pasadas estáticas, solo se ven involucrados factores como el ancho del tambor, peso del tambor y la velocidad de trabajo del equipo compactador.

Los resultados presentados en la Tabla N° 87, estuvieron determinados por el Primer Tramo de trabajo: Jr. Medusa-Jr. Géminis con una longitud de análisis de 100 m, comprendiendo las progresivas 000+000-000+100, donde se establecieron trabajos de compactación mediante pasadas estáticas del Equipo compactador 01. Para las mediciones en campo se estableció como dato patrón la Máxima Densidad Seca del Ensayo de Proctor previamente ejecutado en laboratorio que fue de 2.255gr/cm³. La hora en la cual fue ejecutada el trabajo fue a las 11:30 am con una temperatura 24°C, el clima estuvo soleado y sin lluvias.

El esquema presentado en la Figura N° 99, muestra la ubicación de las áreas tomadas aleatoriamente en el Jr. Medusa-Jr. Géminis con una longitud de análisis de 100 m, comprendiendo las progresivas 000+000-000+100, Sector 01 y Sector 02 donde se ejecutaron los ensayos en campo. Se tuvo un criterio global con el objetivo de abarcar la totalidad de la sección de la vía sea analizada.

Para la presentación de los Resultados del Grado de Compactación por cada Punto según las Pasadas del Equipo compactador 01 se utilizó el Ensayo de Cono de Arena tomando en consideración NTP 339.143:1999 (SUELOS. Método de Ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in situ mediante el método del cono de arena).

La Figura N° 100, 102, 104, 106 y 108 nos muestra cada Sector y Área donde fueron extraídas las cinco muestras para la evaluación del Grado de Compactación por Ciclo de Trabajo con pasadas estáticas del equipo compactador.

En las Tablas N° 88, 91, 94, 97 y 100 y en las Figuras N° 101, 103, 105, 107, y 109 se puede evaluar que fue necesario tener 15 Pasadas con pasadas Estáticas para llegar a la compactación requerida, Se muestra que el Grado de Compactación crece debido a la energía de compactación empleada estáticamente por el peso, velocidad de equipo y ancho de tambor del Equipo de Compactación 01. El objetivo por el que se compacta una carretera o la explanación de un aeropuerto, es alcanzar alta resistencia a la deformación y al cortante (Armas, 2008).

Según los resultados presentados en las Tablas N° 89, 92, 95, 98 y 101 correspondiente a la Estadística de la regresión que fue analizada de los datos del grado de compactación en diferentes áreas del sector 01 se puede afirmar que el 99% de los datos del Grado de Compactación está en función al número de pasadas Estáticas del Equipo compactador 01 por lo cual existe una óptima relación entre ambos factores.

A la vez los resultados presentados en las Tablas N° 90, 93, 96, 99 y 102 correspondiente al Análisis de Varianza que fue analizada de los datos del grado de Compactación en las diferentes áreas del sector 01 se puede afirmar que el P Valor es menor al 0.05 correspondiente al cálculo estadístico por lo tanto se acepta la buena correlación que se tiene entre el Numero de Pasadas Estáticas del Equipo Compactador 01 y el Grado de Compactación.

En la Tabla N° 103 se muestra el Resumen de los Grados de Compactación en el Sector 01, donde se necesitó unos 15 Pasadas con pasadas Estáticas para llegar al óptimo grado de compactación que estipulan la Norma CE.010. En la ejecución de los 15 Pasadas se puede determinar que el grado de compactación aumenta por cada ciclo. A la vez en la Figura N° 110, se puede evaluar que el grado de compactación crece con las pasadas estáticas del rodillo liso vibratorio de 11,247 kg. El parámetro de aumento no contempla un rango definido ya que presenta una dispersión considerable teniendo como dato mínimo de aumento de grado de compactación de 4% y dato máximo de aumento de grado de compactación de 8% entre pasadas consecutivas. Este fenómeno se da gracias a la Presión Lineal y la velocidad aplicada por el Compactador. Es necesario evaluar que el grado de compactación llegue a los parámetros indicados en la norma. Para los parámetros establecidos del 99% se requiere una compactación de menor grado y llegar así al 100% no se realizó la pasada con el equipo de trabajo por el incremento excesivo de lo solicitado. Se tiene que tener cuidado el pasar el grado de compactación establecido ya que no se tendrá datos representativos y se producirá el fenómeno de sobrecompactación disminuyendo la resistencia del material de base considerablemente. La compactación de suelos no es un fin en sí mismo, sino un medio para lograr un fin. El fin es precisamente el objetivo por el cual compactamos, que no es más que mejorar las propiedades mecánicas de los suelos: resistencia a la compresión y al cortante, permeabilidad y flexibilidad (Armas, 2008).

Los resultados presentados en la Tabla N° 104, estuvieron determinados por el Segundo Tramo de trabajo: Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde con una longitud de análisis de 100 m, comprendiendo las progresivas 000+100-000+200, donde se establecieron trabajos de compactación mediante pasadas vibradas del Equipo compactador 01. Para las mediciones en campo se estableció como dato patrón la Máxima Densidad Seca del Ensayo de Proctor previamente ejecutado en laboratorio que fue de 2.255gr/cm³. La hora en la cual fue ejecutada el trabajo fue a las 11:00 am con una temperatura 22°C, el clima estuvo soleado y sin lluvias.

En la tabla N° 105 se presentan los resultados de los cálculos realizados para determinar las características de Operación de las Pasadas Vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg. Se determinó Factores como la Fuerza Centrífuga, Frecuencia del Excitador, Amplitud Nominal, Presión Lineal Dinámica y la Velocidad de Trabajo del Equipo compactador en función a la bibliografía de Lloret 2009. En cuanto a los resultados obtenidos se pudo determinar que, en la operación del equipo de compactación mediante la aplicación de pasadas vibradas, solo se ven involucrados factores como el ancho del tambor, las Revoluciones aplicadas, peso del tambor y la velocidad de trabajo del equipo compactador.

El esquema presentado en la Figura N° 111, muestra la ubicación de las áreas tomadas aleatoriamente en el Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde con una longitud de análisis de 100 m, comprendiendo las progresivas 000+100-000+200, Sector 03 y Sector 04 donde se ejecutaron los ensayos en campo. Se tuvo un criterio global con el objetivo de abarcar la totalidad de la sección de la vía sea analizada.

La Figura N° 112, 114, 116 y 118 nos muestra cada Sector y Área donde fueron extraídas las cinco muestras para la evaluación del Grado de Compactación por Ciclo de Trabajo con pasadas vibradas del equipo compactador.

En las Tablas N° 106, 109, 112 y 115 en las Figuras N° 113, 115, 117 y 119 se puede evaluar que fue necesario tener 08 Pasadas con pasadas Vibradas para llegar a la compactación requerida, Se muestra que el Grado de Compactación crece debido a la energía de compactación empleada vibradamente por el peso, velocidad de equipo y ancho de tambor del Equipo de Compactación 01. Los rodillos vibratorios combinan la vibración con la presión del rodillo. En este caso la energía de compactación depende de la velocidad de avance. Es utilizado con mejores resultados en suelos granulares con algún contenido de finos. La vibración permite llegar a capas más profundas que la sola aplicación de una carga estática. (Sagüés, 2007).

La Figura N° 120 nos muestra la medición en el Sector 03 y Área 10 donde fue extraída la muestra para la evaluación del Grado de compactación por Ciclo de Trabajo con pasadas Vibradas del equipo compactador.

En las Tabla N° 118 y en las Figuras N° 121 se puede evaluar que fue necesario tener 07 Pasadas con pasadas Vibradas para llegar a la compactación requerida, Se muestra que el grado de compactación crece según las pasadas del equipo compactador, esto debido a la energía de compactación empleada vibradamente por el peso, velocidad de equipo y ancho de tambor del Equipo de Compactación 01. La reducción de un ciclo de trabajo básicamente se basa a la localización del área y sector que fue identificada la muestra.

Según los resultados presentados en las Tablas N° 107, 110, 113, 116 y 119 correspondiente a la Estadística de la regresión que fue analizada de los datos del grado de compactación en diferentes áreas del sector 03 se puede afirmar que el 99% de los datos del Grado de Compactación está en función al número de pasadas vibrados del Equipo compactador 01 por lo cual existe una óptima relación entre ambos factores.

A la vez los resultados presentados en las Tablas N° 108, 111, 114, 117 y 120 correspondiente al Análisis de Varianza que fue analizada de los datos del grado de Compactación en las diferentes áreas del sector 03 se puede afirmar que el P Valor es menor al 0.05 correspondiente al cálculo estadístico por lo tanto se acepta la buena correlación que se tiene entre el Numero de Pasadas Estáticas del Equipo Compactador 01 y el Grado de Compactación.

En la Tabla N° 121 se muestra el Resumen de los Grados de Compactaciones en el Sector 03, donde se necesitó entre 07 y 08 Pasadas con pasadas Vibradas para llegar al optimo grado de compactación que estipulan la Norma CE.010. En la ejecución de las 07 y 08 Pasadas se puede determinar que el grado de compactación aumenta por cada ciclo. A la vez en la Figura N° 122, se puede avaluar que el grado de compactación crece con las pasadas vibradas del rodillo liso vibratorio de 11,247 kg. El parámetro de aumento no contempla un rango definido ya que presenta una dispersión considerable teniendo como dato mínimo de aumento de grado de compactación de 8% y dato máximo de aumento de grado de compactación de 20% entre pasadas consecutivas. Este fenómeno se da gracias a la Presión dinámica y la

velocidad aplicada por el Compactador. Es necesario evaluar que el grado de compactación llegue a los parámetros indicados en la norma. Para los parámetros establecidos del 99% se requiere una compactación de menor grado y llegar así al 100% no se realizó la pasada con el equipo de trabajo por el incremento excesivo de lo solicitado. Se tiene que tener cuidado el pasar el grado de compactación establecido ya que no se tendrá datos representativos y se producirá el fenómeno de sobrecompactación disminuyendo la resistencia del material de base considerablemente. Por lo expuesto, La vibración reduce la fricción entre las partículas individuales del suelo, permitiendo simultáneamente una redistribución de estas mismas partículas. Gracias a la vibración se minimizan los volúmenes de poros y las inclusiones de agua y aire son desplazadas hacia la superficie, obteniéndose paralelamente una mayor compactación (densidad seca) del material suelo. Dado que la vibración aumenta el efecto de la compactación en la profundidad es posible especificar capas de mayor profundidad, contribuyéndose con ello a una compactación más efectiva y económica. Adicionalmente se deberán considerar los excelentes resultados en la compactación, la alta performance (producción), el alto grado de confiabilidad y los costos resultantes relativamente bajos, de esta clase de equipos. Para la compactación de grandes superficies con suelos granulares se utilizan en general rodillos vibratorios.

Los resultados presentados en la Tabla N° 122, estuvieron determinados por el Tercer Tramo de trabajo: Jr. Castillo Verde-Jr. Galaxia con una longitud de análisis de 100 m, comprendiendo las progresivas 000+200-000+300, donde se establecieron trabajos de compactación mediante pasadas estáticas y vibradas del Equipo compactador 01. Para las mediciones en campo se estableció como dato patrón la Máxima Densidad Seca del Ensayo de Proctor previamente ejecutado en laboratorio que fue de 2.255gr/cm³. La hora en la cual fue ejecutada el trabajo fue a las 11:45 am con una temperatura 25°C, el clima estuvo soleado y sin lluvias.

El esquema presentado en la Figura N° 111, muestra la ubicación de las áreas tomadas aleatoriamente en el Jr. Castillo Verde-Jr. Galaxia con una longitud de análisis de 100 m, comprendiendo las progresivas 000+200-000+300, Sector 05 y Sector 06 donde

se ejecutaron los ensayos en campo. Se tuvo un criterio global con el objetivo de abarcar la totalidad de la sección de la vía sea analizada.

La Figura N° 124, 126, 128 y 130 nos muestra cada Sector y Área donde fueron extraídas las cinco muestras para la evaluación del Grado de Compactación por Ciclo de Trabajo con pasadas estáticas y vibradas del equipo compactador.

En las Tablas N° 123, 126, 129 y 132 en las Figuras N° 125, 127, 129 y 131 se puede evaluar que fue necesario tener 11 Pasadas con pasadas estáticas y Vibradas para llegar a la compactación requerida, Se muestra que el Grado de Compactación crece debido a la energía de compactación empleada estáticamente y vibradamente por el peso, velocidad de equipo y ancho de tambor del Equipo de Compactación 01.

La Figura N° 132 nos muestra la medición en el Sector 05 y Área 15 donde fue extraída la muestra para la evaluación del Grado de compactación por Ciclo de Trabajo con pasadas Vibradas del equipo compactador.

En las Tabla N° 135 y en las Figuras N° 133 se puede evaluar que fue necesario tener 10 Pasadas con pasadas Estáticas y Vibradas para llegar a la compactación requerida, Se muestra que el grado de compactación crece según las pasadas del equipo compactador, esto debido a la energía de compactación empleada vibradamente por el peso, velocidad de equipo y ancho de tambor del Equipo de Compactación 01. La reducción de un ciclo de trabajo básicamente se basa a la localización del área y sector que fue identificada la muestra.

Según los resultados presentados en las Tablas N° 124, 127, 130, 133 y 136 correspondiente a la Estadística de la regresión que fue analizada de los datos del grado de compactación en diferentes áreas del sector 05 se puede afirmar que el 99% de los datos del Grado de Compactación está en función al número de pasadas estáticas y vibradas del Equipo compactador 01 por lo cual existe una óptima relación entre ambos factores.

A la vez los resultados presentados en las Tablas N° 125, 128, 131, 134 y 137 correspondiente al Análisis de Varianza que fue analizada de los datos del grado de Compactación en las diferentes áreas del sector 05 se puede afirmar que el P Valor es menor al 0.05 correspondiente al cálculo estadístico por lo tanto se acepta la buena correlación que se tiene entre el Numero de Pasadas Estáticas y vibradas del Equipo Compactador 01 y el Grado de Compactación.

En la Tabla N° 138 se muestra el Resumen de los Grados de Compactaciones en el Sector 03, donde se necesitó entre 10 y 11 Pasadas con pasadas estáticas y Vibradas para llegar al optimo grado de compactación que estipulan la Norma CE.010. En la ejecución de las 10 y 11 Pasadas se puede determinar que el grado de compactación aumenta por cada ciclo. A la vez en la Figura N° 134, se puede avaluar que el grado de compactación crece con las pasadas estáticas y vibradas del rodillo liso vibratorio de 11,247 kg. El parámetro de aumento no contempla un rango definido ya que presenta una dispersión considerable teniendo como dato mínimo de aumento de grado de compactación de 4% y dato máximo de aumento de grado de compactación de 14% entre pasadas consecutivas. Este fenómeno se da gracias a la Presión dinámica y la velocidad aplicada por el Compactador. Es necesario evaluar que el grado de compactación llegue a los parámetros indicados en la norma. Para los parámetros establecidos del 99% se requiere una compactación de menor grado y llegar así al 100% no se realizó la pasada con el equipo de trabajo por el incremento excesivo de lo solicitado. Se tiene que tener cuidado el pasar el grado de compactación establecido ya que no se tendrá datos representativos y se producirá el fenómeno de sobrecompactacion disminuyendo la resistencia del material de base considerablemente. La compactación dinámica es una técnica de tratamiento del terreno eminentemente empírica y difícil de acotar en fase de proyecto. Debido a ello, es recomendable siempre realizar una zona de ensayos al comienzo de la actuación con el fin de acotar los parámetros del tratamiento. Asimismo, es imprescindible un correcto seguimiento de los trabajos con el fin de adaptarlo a los requerimientos del terreno (Pérez y otros, 2017).

Efecto del Control del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002.00 kg en el Contenido de Humedad de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo.

Según la Tabla N° 144 la Vía de estudio se Ubicó en la Av. Orión, Tramo Jr. Medusa-Jr. Galaxia, con Un total de Longitud de Vía Analizada de 300.00 m y un Ancho de Calzada de 13.00 m.

En la tabla N° 145 se presentan los resultados de los cálculos realizados para determinar las características de Operación de las Pasadas Estáticas del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg. Se determinó Factores como la Presión Lineal y la Velocidad de Trabajo del Equipo compactador en función a la bibliografía de Lloret 2009. En cuanto a los resultados obtenidos se pudo determinar que, en la operación del equipo de compactación mediante la aplicación de pasadas estáticas, solo se ven involucrados factores como el ancho del tambor, peso del tambor y la velocidad de trabajo del equipo compactador.

Los resultados presentados en la Tabla N° 146, estuvieron determinados por el Primer Tramo de trabajo: Jr. Medusa-Jr. Géminis con una longitud de análisis de 100 m, comprendiendo las progresivas 000+000-000+100, donde se establecieron trabajos de compactación mediante pasadas estáticas del Equipo compactador 01. Se estableció 04 Pasadas de Cisterna, evaluadas aleatoriamente según el criterio del Residente de Obra. Para que el material pueda orearse se estableció un tiempo aproximado de 20 minutos de espera antes del inicio de los trabajos. Para las mediciones en campo se estableció como dato patrón el Optimo contenido de Humedad del Ensayo de Proctor previamente ejecutado en laboratorio que fue de 6.35%. La hora en la cual fue ejecutada el trabajo fue a las 11:00 am con una temperatura 21°C, el clima estuvo soleado y sin lluvias.

El esquema presentado en la Figura N° 137, muestra la ubicación de las áreas tomadas aleatoriamente en el Jr. Medusa-Jr. Géminis con una longitud de análisis de 100 m, comprendiendo las progresivas 000+000-000+100, Sector 01 y Sector 02 donde se

ejecutaron los ensayos en campo. Se tuvo un criterio global con el objetivo de abarcar la totalidad de la sección de la vía sea analizada.

Para la presentación de los Resultados del Contenido de Humedad por cada Punto según las Pasadas del Equipo compactador 02 se utilizó el Ensayo de Carburo de Calcio tomando en consideración NTP 339.150:1999 (SUELOS. Método de Ensayo para la determinación en campo del contenido de humedad, por el método de presión del gas carburo de calcio).

La Figura N° 138, 140, 142, 144 y 146 nos muestra cada Sector y Área donde fueron extraídas las cinco muestras para la evaluación del Contenido de Humedad por Ciclo de Trabajo con pasadas estáticas del equipo compactador.

En las Tablas N° 147, 150, 153, 156 y 159 y en las Figuras N° 139, 141, 143, 145, y 147 se puede evaluar que fue necesario tener 12 Pasadas con pasadas Estáticas para llegar a la compactación requerida, Se muestra que el porcentaje de Humedad decrece según las pasadas del equipo compactador, esto debido al clima y el tiempo empleado en la compactación del rodillo. Por lo expuesto se comprueba lo mencionado por Blas A. (2013), quien recomienda tener mejor manejo del contenido de humedad que nos permitirá hacer uso más eficiente de la energía de compactación.

Según los resultados presentados en las Tablas N° 148, 151, 154, 157 y 160 correspondiente a la Estadística de la regresión que fue analizada de los datos del contenido de humedad en diferentes áreas del sector 02 se puede afirmar que el 99% de los datos del contenido de humedad está en función al número de pasadas Estáticas del Equipo compactador 02 por lo cual existe una óptima relación entre ambos factores.

A la vez los resultados presentados en las Tablas N° 149, 152, 155, 158 y 161 correspondiente al Análisis de Varianza que fue analizada de los datos de contenido de humedad en las diferentes áreas del sector 02 se puede afirmar que el P Valor es menor al 0.05 correspondiente al cálculo estadístico por lo tanto se acepta la buena

correlación que se tiene entre el Numero de Pasadas Estáticas del Equipo Compactador 02 y el Contenido de Humedad.

En la Tabla N° 162 se muestra el Resumen del Contenido de Humedades en el Sector 02, donde se necesitó unos 12 Pasadas con pasadas Estáticas para llegar al optimo grado de compactación que estipulan la Norma CE.010. En la ejecución de las 12 Pasadas se puede determinar que el contenido de humedad disminuye por cada ciclo. A la vez en la Figura N° 148, se puede evaluar que el contenido de humedad decrece con las pasadas estáticas del rodillo liso vibratorio de 12,002 kg. El parámetro de disminución no contempla un rango definido ya que presenta una dispersión considerable teniendo como dato mínimo de disminución de contenido de humedad de 0.01% y dato máximo de disminución de contenido de humedad de 0.23% entre pasadas consecutivas. Esto se debe a la exposición del material al clima y temperatura que se tiene al momento de ejecución del proceso, por ello se sugiere tener la menor cantidad de Pasadas para que el control del contenido de Humedad sea óptimo. Debido a que en muchos proyectos de carreteras solo fijan como control de compactación alcanzar el “grado de compactación deseado, sin fijar en que rango de humedades se debe obtener este, se demuestra que dicha medida es completamente errónea, tanto económica como técnicamente (Armas, 2008).

Los resultados presentados en la Tabla N° 163, estuvieron determinados por el Segundo Tramo de trabajo: Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde con una longitud de análisis de 100 m, comprendiendo las progresivas 000+100-000+200, donde se establecieron trabajos de compactación mediante pasadas vibradas del Equipo compactador 02. Se estableció 03 Pasadas de Cisterna, evaluadas aleatoriamente según el criterio del Residente de Obra. Para que el material pueda orearse se estableció un tiempo aproximado de 25 minutos de espera antes del inicio de los trabajos. Para las mediciones en campo se estableció como dato patrón el Optimo contenido de Humedad del Ensayo de Proctor previamente ejecutado en laboratorio que fue de 6.35%. La hora en la cual fue ejecutada el trabajo fue a las 10:00 am con una temperatura 22°C, el clima estuvo soleado y sin lluvias.

En la tabla N° 164 se presentan los resultados de los cálculos realizados para determinar las características de Operación de las Pasadas Vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg. Se determinó Factores como la Fuerza Centrífuga, Frecuencia del Excitador, Amplitud Nominal, Presión Lineal Dinámica y la Velocidad de Trabajo del Equipo compactador en función a la bibliografía de Lloret 2009. En cuanto a los resultados obtenidos se pudo determinar que, en la operación del equipo de compactación mediante la aplicación de pasadas vibradas, solo se ven involucrados factores como el ancho del tambor, las Revoluciones aplicadas, peso del tambor y la velocidad de trabajo del equipo compactador.

El esquema presentado en la Figura N° 149, muestra la ubicación de las áreas tomadas aleatoriamente en el Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde con una longitud de análisis de 100 m, comprendiendo las progresivas 000+100-000+200, Sector 03 y Sector 04 donde se ejecutaron los ensayos en campo. Se tuvo un criterio global con el objetivo de abarcar la totalidad de la sección de la vía sea analizada.

La Figura N° 150, 152, 154, 156 y 158 nos muestra cada Sector y Área donde fueron extraídas las cinco muestras para la evaluación del Contenido de Humedad por Ciclo de Trabajo con pasadas Vibradas del equipo compactador.

En las Tablas N° 165, 168, 171, 174 y 177 y en las Figuras N° 151, 153, 155, 157, y 159 se puede evaluar que fue necesario tener 06 Pasadas con pasadas Vibradas para llegar a la compactación requerida, Se muestra que el porcentaje de Humedad decrece según las pasadas del equipo compactador, esto debido al clima y el tiempo empleado en la compactación del rodillo.

Según los resultados presentados en las Tablas N° 166, 169, 172, 175 y 178 correspondiente a la Estadística de la regresión que fue analizada de los datos del contenido de humedad en diferentes áreas del sector 04 se puede afirmar que el 99% de los datos del contenido de humedad está en función al número de pasadas vibradas del Equipo compactador 01 por lo cual existe una óptima relación entre ambos factores.

A la vez los resultados presentados en las Tablas N° 167, 170, 173, 176 y 179 correspondiente al Análisis de Varianza que fue analizada de los datos de contenido de humedad en las diferentes áreas del sector 04 se puede afirmar que el P Valor es menor al 0.05 correspondiente al cálculo estadístico por lo tanto se acepta la buena correlación que se tiene entre el Numero de Pasadas Vibradas del Equipo Compactador 02 y el Contenido de Humedad.

En la Tabla N° 180 se muestra el Resumen del Contenido de Humedades en el Sector 004, donde se necesitó unos 06 Pasadas con pasadas Vibradas para llegar al optimo grado de compactación que estipulan la Norma CE.010. En la ejecución de los 06 Pasadas se puede determinar que el contenido de humedad disminuye por cada ciclo. A la vez en la Figura N° 160, se puede avaluar que el contenido de humedad decrece con las pasadas Vibradas del rodillo liso vibratorio de 12,002 kg. El parámetro de disminución no contempla un rango definido ya que presenta una dispersión considerable teniendo como dato mínimo de disminución de contenido de humedad de 0.05% y dato máximo de disminución de contenido de humedad de 0.17% entre pasadas consecutivas. Esto se debe a la exposición del material al clima y temperatura que se tiene al momento de ejecución del proceso, por ello se sugiere tener la menor cantidad de Pasadas para que el control del contenido de Humedad sea óptimo. La rigidez de un suelo compactado con una humedad menor que la óptima es mayor que la que muestra el mismo suelo a misma densidad, compactado con una humedad mayor que la óptima. Para bajas humedades, la concentración de carga en las caras de las partículas generan repulsión y tendencia al hinchamiento. A su vez la succión es alta, la que favorece el desarrollo de una estructura desorientada. (Sagüés, 2007).

Los resultados presentados en la Tabla N° 181, estuvieron determinados por el Tercer Tramo de trabajo: Jr. Castillo Verde-Jr. Galaxia con una longitud de análisis de 100 m, comprendiendo las progresivas 000+200-000+300, donde se establecieron trabajos de compactación mediante pasadas estáticas y vibradas del Equipo compactador 02. Se estableció 03 Pasadas de Cisterna, evaluadas aleatoriamente según el criterio del Residente de Obra. Para que el material pueda orearse se estableció un tiempo aproximado de 20 minutos de espera antes del inicio de los

trabajos. Para las mediciones en campo se estableció como dato patrón el Optimo contenido de Humedad del Ensayo de Proctor previamente ejecutado en laboratorio que fue de 6.35%. La hora en la cual fue ejecutada el trabajo fue a las 11:45 am con una temperatura 25°C, el clima estuvo soleado y sin lluvias.

El esquema presentado en la Figura N° 161, muestra la ubicación de las áreas tomadas aleatoriamente en el Jr. Castillo Verde-Jr. Galaxia con una longitud de análisis de 100 m, comprendiendo las progresivas 000+200-000+300, Sector 05 y Sector 06 donde se ejecutaron los ensayos en campo. Se tuvo un criterio global con el objetivo de abarcar la totalidad de la sección de la vía sea analizada.

La Figura N° 162, 164, 166 y 168 nos muestra cada Sector y Área donde fueron extraídas las cinco muestras para la evaluación del Contenido de Humedad por Ciclo de Trabajo con pasadas Estáticas y Vibradas del equipo compactador.

En las Tablas N° 182, 185, 188 y 191 y en las Figuras N° 163, 165, 167 y 169 se puede evaluar que fue necesario tener 09 Pasadas con pasadas Estáticas y Vibradas para llegar a la compactación requerida, Se muestra que el porcentaje de Humedad decrece según las pasadas del equipo compactador, esto debido al clima y el tiempo empleado en la compactación del rodillo. La compactación con humedades mayores que la óptima permite obtener un material de comportamiento más dúctil que permite una mayor capacidad de adaptación a los asentamientos. (Sagüés, 2007).

La Figura N° 170 nos muestra la medición en el Sector 06 y Área 15 donde fue extraída la muestra para la evaluación del Contenido de Humedad por Ciclo de Trabajo con pasadas Estáticas y Vibradas del equipo compactador.

En las Tabla N° 194 y en las Figuras N° 171 se puede evaluar que fue necesario tener 08 Pasadas con pasadas Estáticas y Vibradas para llegar a la compactación requerida, Se muestra que el porcentaje de Humedad decrece según las pasadas del equipo compactador, esto debido al clima y el tiempo empleado en la compactación del rodillo. La reducción de un ciclo de trabajo básicamente se basa a la localización del área y sector que fue identificada la muestra.

Según los resultados presentados en las Tablas N° 183, 186, 189, 192 y 195 correspondiente a la Estadística de la regresión que fue analizada de los datos del contenido de humedad en diferentes áreas del sector 06 se puede afirmar que el 99% de los datos del contenido de humedad está en función al número de pasadas estáticas y vibradas del Equipo compactador 02 por lo cual existe una óptima relación entre ambos factores.

A la vez los resultados presentados en las Tablas N° 184, 187, 190, 193 y 196 correspondiente al Análisis de Varianza que fue analizada de los datos de contenido de humedad en las diferentes áreas del sector 06 se puede afirmar que el P Valor es menor al 0.05 correspondiente al cálculo estadístico por lo tanto se acepta la buena correlación que se tiene entre el Numero de Pasadas Vibradas del Equipo Compactador 02 y el Contenido de Humedad.

En la Tabla N° 197 se muestra el Resumen del Contenido de Humedades en el Sector 06, donde se necesitó entre 08 y 09 Pasadas con pasadas Estáticas y Vibradas para llegar al óptimo grado de compactación que estipulan la Norma CE.010. En la ejecución de las 08 y 09 Pasadas se puede determinar que el contenido de humedad disminuye por cada ciclo. A la vez en la Figura N° 172, se puede evaluar que el contenido de humedad decrece con las pasadas Vibradas del rodillo liso vibratorio de 12,002 kg. El parámetro de disminución no contempla un rango definido ya que presenta una dispersión considerable teniendo como dato mínimo de disminución de contenido de humedad de 0.02% y dato máximo de disminución de contenido de humedad de 0.17% entre pasadas consecutivas. Esto se debe a la exposición del material al clima y temperatura que se tiene al momento de ejecución del proceso, por ello se sugiere tener la menor cantidad de Pasadas para que el control del contenido de Humedad sea óptimo. De esta forma, el control de calidad del terraplén se traduce en el control de compactación diario en obra, basado en alcanzar un determinado grado de compactación, de la energía seleccionada, en un rango de humedades. Estos dos parámetros: grado de compactación y rango de humedades, se fijan con el fin de

alcanzar las propiedades mecánicas que se requieren de la forma más económica (Armas, 2008).

Efecto del Control del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002.00 kg en el Grado de Compactación de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo.

Según la Tabla N° 198 la Vía de estudio se Ubicó en la Av. Orión, Tramo Jr. Medusa-Jr. Galaxia, con Un total de Longitud de Vía Analizada de 300.00 m y un Ancho de Calzada de 13.00 m.

Los resultados presentados en la Tabla N° 199, estuvieron determinados por el Primer Tramo de trabajo: Jr. Medusa-Jr. Géminis con una longitud de análisis de 100 m, comprendiendo las progresivas 000+000-000+100, donde se establecieron trabajos de compactación mediante pasadas estáticas del Equipo compactador 02. Para las mediciones en campo se estableció como dato patrón la Máxima Densidad Seca del Ensayo de Proctor previamente ejecutado en laboratorio que fue de 2.255gr/cm³. La hora en la cual fue ejecutada el trabajo fue a las 11:45 am con una temperatura 25°C, el clima estuvo soleado y sin lluvias.

El esquema presentado en la Figura N° 173, muestra la ubicación de las áreas tomadas aleatoriamente en el Jr. Medusa-Jr. Géminis con una longitud de análisis de 100 m, comprendiendo las progresivas 000+000-000+100, Sector 01 y Sector 02 donde se ejecutaron los ensayos en campo. Se tuvo un criterio global con el objetivo de abarcar la totalidad de la sección de la vía sea analizada.

Para la presentación de los Resultados del Grado de Compactación por cada Punto según las Pasadas del Equipo compactador 01 se utilizó el Ensayo de Cono de Arena tomando en consideración NTP 339.143:1999 (SUELOS. Método de Ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in situ mediante el método del cono de arena).

La Figura N° 174, 176, 178, 180 y 182 nos muestra cada Sector y Área donde fueron extraídas las cinco muestras para la evaluación del Grado de Compactación por Ciclo de Trabajo con pasadas estáticas del equipo compactador.

En las Tablas N° 200, 203, 206, 209 y 212 y en las Figuras N° 175, 177, 179, 181, y 183 se puede evaluar que fue necesario tener 12 Pasadas con pasadas Estáticas para llegar a la compactación requerida, Se muestra que el Grado de Compactación crece debido a la energía de compactación empleada estáticamente por el peso, velocidad de equipo y ancho de tambor del Equipo de Compactación 02.

Según los resultados presentados en las Tablas N° 201, 204, 207, 210 y 213 correspondiente a la Estadística de la regresión que fue analizada de los datos del grado de compactación en diferentes áreas del sector 02 se puede afirmar que el 99% de los datos del Grado de Compactación está en función al número de pasadas Estáticas del Equipo compactador 02 por lo cual existe una óptima relación entre ambos factores.

A la vez los resultados presentados en las Tablas N° 202, 205, 208, 211 y 214 correspondiente al Análisis de Varianza que fue analizada de los datos del grado de Compactación en las diferentes áreas del sector 02 se puede afirmar que el P Valor es menor al 0.05 correspondiente al cálculo estadístico por lo tanto se acepta la buena correlación que se tiene entre el Numero de Pasadas Estáticas del Equipo Compactador 02 y el Grado de Compactación.

En la Tabla N° 215 se muestra el Resumen de los Grados de Compactaciones en el Sector 02, donde se necesitó unos 12 Pasadas con pasadas Estáticas para llegar al óptimo grado de compactación que estipulan la Norma CE.010. En la ejecución de los 12 Pasadas se puede determinar que el grado de compactación aumenta por cada ciclo. A la vez en la Figura N° 184, se puede evaluar que el grado de compactación crece con las pasadas estáticas del rodillo liso vibratorio de 12,002 kg. El parámetro de aumento no contempla un rango definido ya que presenta una dispersión considerable teniendo como dato mínimo de aumento de grado de compactación de 6% y dato máximo de aumento de grado de compactación de 9% entre pasadas

consecutivas. Este fenómeno se da gracias a la Presión Lineal y la velocidad aplicada por el Compactador. Es necesario evaluar que el grado de compactación llegue a los parámetros indicados en la norma. Para los parámetros establecidos del 99% se requiere una compactación de menor grado y llegar así al 100% no se realizó la pasada con el equipo de trabajo por el incremento excesivo de lo solicitado. Se tiene que tener cuidado el pasar el grado de compactación establecido ya que no se tendrá datos representativos y se producirá el fenómeno de sobrecompactación disminuyendo la resistencia del material de base considerablemente. Para alcanzar los objetivos por los cuales compactan, mayor resistencia, utilizan suelos granulares, que se encuentran en la naturaleza con humedades bajas, por su alta permeabilidad. Es estos suelos un incremento de la energía de compactación logra incrementos sustanciales del peso específico seco y, por ende, de la resistencia, justificándose por tanto el incremento de los costos que implica el uso de la energía de compactación más alta. (Armas, 2008)

Los resultados presentados en la Tabla N° 216, estuvieron determinados por el Segundo Tramo de trabajo: Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde con una longitud de análisis de 100 m, comprendiendo las progresivas 000+100-000+200, donde se establecieron trabajos de compactación mediante pasadas vibradas del Equipo compactador 02. Para las mediciones en campo se estableció como dato patrón la Máxima Densidad Seca del Ensayo de Proctor previamente ejecutado en laboratorio que fue de 2.255gr/cm³. La hora en la cual fue ejecutada el trabajo fue a las 11:45 am con una temperatura 24°C, el clima estuvo soleado y sin lluvias.

El esquema presentado en la Figura N° 185, muestra la ubicación de las áreas tomadas aleatoriamente en el Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde con una longitud de análisis de 100 m, comprendiendo las progresivas 000+100-000+200, Sector 03 y Sector 04 donde se ejecutaron los ensayos en campo. Se tuvo un criterio global con el objetivo de abarcar la totalidad de la sección de la vía sea analizada.

La Figura N° 186, 188, 190 y 192 nos muestra cada Sector y Área donde fueron extraídas las cinco muestras para la evaluación del Grado de Compactación por Ciclo de Trabajo con pasadas vibradas del equipo compactador.

En las Tablas N° 217, 220, 223 y 226 en las Figuras N° 187, 189, 191 y 193 se puede evaluar que fue necesario tener 06 Pasadas con pasadas Vibradas para llegar a la compactación requerida, Se muestra que el Grado de Compactación crece debido a la energía de compactación empleada vibradamente por el peso, velocidad de equipo y ancho de tambor del Equipo de Compactación 02. El peso unitario obtenido depende de los métodos de compactación conforme las siguientes variables: energía específica entregada por el equipo utilizado en la compactación, tipo de suelo, espesor de la capa y humedad de compactación. (Sagüés, 2007).

La Figura N° 194 nos muestra la medición en el Sector 04 y Área 10 donde fue extraída la muestra para la evaluación del Grado de compactación por Ciclo de Trabajo con pasadas Vibradas del equipo compactador.

En las Tabla N° 229 y en las Figuras N° 195 se puede evaluar que fue necesario tener 05 Pasadas con pasadas Vibradas para llegar a la compactación requerida, Se muestra que el grado de compactación crece según las pasadas del equipo compactador, esto debido a la energía de compactación empleada vibradamente por el peso, velocidad de equipo y ancho de tambor del Equipo de Compactación 02. La reducción de un ciclo de trabajo básicamente se basa a la localización del área y sector que fue identificada la muestra. La mayor resistencia del suelo para una misma energía de compactación y por ende para un mismo costo de compactación, se alcanza con humedades ligeramente inferiores a la óptima de dicha energía. También se observa que cuando se compacta con humedades superiores a la óptima, la resistencia descendiendo bruscamente (Armas, 2008).

Según los resultados presentados en las Tablas N° 218, 221, 224, 227 y 230 correspondiente a la Estadística de la regresión que fue analizada de los datos del grado de compactación en diferentes áreas del sector 04 se puede afirmar que el 99% de los datos del Grado de Compactación está en función al número de pasadas vibrados del Equipo compactador 01 por lo cual existe una óptima relación entre ambos factores.

A la vez los resultados presentados en las Tablas N° 219, 222, 225, 228 y 231 correspondiente al Análisis de Varianza que fue analizada de los datos del grado de Compactación en las diferentes áreas del sector 04 se puede afirmar que el P Valor es menor al 0.05 correspondiente al cálculo estadístico por lo tanto se acepta la buena correlación que se tiene entre el Numero de Pasadas Estáticas del Equipo Compactador 02 y el Grado de Compactación. Con esta experiencia se concluye que los carreteros también tienen que exigir, además del grado de compactación a alcanzar en obra, el rango de humedades con que este se debe alcanzar, a fin de obtener terraplenes de mejor calidad con menos costo (Armas, 2008).

En la Tabla N° 232 se muestra el Resumen de los Grados de Compactaciones en el Sector 03, donde se necesitó entre 05 y 06 Pasadas con pasadas Vibradas para llegar al optimo grado de compactación que estipulan la Norma CE.010. En la ejecución de las 05 y 06 Pasadas se puede determinar que el grado de compactación aumenta por cada ciclo. A la vez en la Figura N° 196, se puede avaluar que el grado de compactación crece con las pasadas vibradas del rodillo liso vibratorio de 12,002 kg. El parámetro de aumento no contempla un rango definido ya que presenta una dispersión considerable teniendo como dato mínimo de aumento de grado de compactación de 11% y dato máximo de aumento de grado de compactación de 22% entre pasadas consecutivas. Este fenómeno se da gracias a la Presión dinámica y la velocidad aplicada por el Compactador. Es necesario evaluar que el grado de compactación llegue a los parámetros indicados en la norma. Para los parámetros establecidos del 99% se requiere una compactación de menor grado y llegar así al 100% no se realizó la pasada con el equipo de trabajo por el incremento excesivo de lo solicitado. Se tiene que tener cuidado el pasar el grado de compactación establecido ya que no se tendrá datos representativos y se producirá el fenómeno de sobrecompactacion disminuyendo la resistencia del material de base considerablemente. El objetivo por el que se compacta una carretera o la explanación de un aeropuerto, es alcanzar alta resistencia a la deformación y al cortante (Armas, 2008).

Los resultados presentados en la Tabla N° 233, estuvieron determinados por el Tercer Tramo de trabajo: Jr. Castillo Verde-Jr. Galaxia con una longitud de análisis de 100 m, comprendiendo las progresivas 000+200-000+300, donde se establecieron trabajos de compactación mediante pasadas estáticas y vibradas del Equipo compactador 02. Para las mediciones en campo se estableció como dato patrón la Máxima Densidad Seca del Ensayo de Proctor previamente ejecutado en laboratorio que fue de 2.255gr/cm³. La hora en la cual fue ejecutada el trabajo fue a las 11:45 am con una temperatura 23°C, el clima estuvo soleado y sin lluvias.

El esquema presentado en la Figura N° 197, muestra la ubicación de las áreas tomadas aleatoriamente en el Jr. Castillo Verde-Jr. Galaxia con una longitud de análisis de 100 m, comprendiendo las progresivas 000+200-000+300, Sector 06 donde se ejecutaron los ensayos en campo. Se tuvo un criterio global con el objetivo de abarcar la totalidad de la sección de la vía sea analizada.

La Figura N° 198, 200, 202 y 204 nos muestra cada Sector y Área donde fueron extraídas las cinco muestras para la evaluación del Grado de Compactación por Ciclo de Trabajo con pasadas estáticas y vibradas del equipo compactador.

En las Tablas N° 234, 237, 240 y 243 en las Figuras N° 199, 201, 203 y 205 se puede evaluar que fue necesario tener 09 Pasadas con pasadas estáticas y Vibradas para llegar a la compactación requerida, Se muestra que el Grado de Compactación crece debido a la energía de compactación empleada estáticamente y vibradamente por el peso, velocidad de equipo y ancho de tambor del Equipo de Compactación 02. Se incorporó las curvas de compactación de los suelos gravosos (G), categoría que para el ámbito donde se llevó a cabo la investigación tiene un rango de máxima densidad seca sin corregir entre 1.445 kg/m³ hasta 2,82 kg/m³, llegando hasta un valor de 2,362 kg/m³ cuando realiza la corrección por grava, concluye Pérez y Otros (2017).

La Figura N° 206 nos muestra la medición en el Sector 06 y Área 15 donde fue extraída la muestra para la evaluación del Grado de compactación por Ciclo de Trabajo con pasadas Estáticas y Vibradas del equipo compactador.

En las Tabla N° 246 y en las Figuras N° 207 se puede evaluar que fue necesario tener 08 Pasadas con pasadas Estáticas y Vibradas para llegar a la compactación requerida, Se muestra que el grado de compactación crece según las pasadas del equipo compactador, esto debido a la energía de compactación empleada vibradamente por el peso, velocidad de equipo y ancho de tambor del Equipo de Compactación 02. La reducción de un ciclo de trabajo básicamente se basa a la localización del área y sector que fue identificada la muestra.

Según los resultados presentados en las Tablas N° 235, 238, 241, 244 y 247 correspondiente a la Estadística de la regresión que fue analizada de los datos del grado de compactación en diferentes áreas del sector 06 se puede afirmar que el 99% de los datos del Grado de Compactación está en función al número de pasadas estáticas y vibradas del Equipo compactador 02 por lo cual existe una óptima relación entre ambos factores.

A la vez los resultados presentados en las Tablas N° 236, 239, 242, 245 y 248 correspondiente al Análisis de Varianza que fue analizada de los datos del grado de Compactación en las diferentes áreas del sector 06 se puede afirmar que el P Valor es menor al 0.05 correspondiente al cálculo estadístico por lo tanto se acepta la buena correlación que se tiene entre el Numero de Pasadas Estáticas y vibradas del Equipo Compactador 02 y el Grado de Compactación.

En la Tabla N° 249 se muestra el Resumen de los Grados de Compactaciones en el Sector 06, donde se necesitó entre 08 y 09 Pasadas con pasadas estáticas y Vibradas para llegar al optimo grado de compactación que estipulan la Norma CE.010. En la ejecución de las 08 y 09 Pasadas se puede determinar que el grado de compactación aumenta por cada ciclo. A la vez en la Figura N° 208, se puede avaluar que el grado de compactación crece con las pasadas estáticas y vibradas del rodillo liso vibratorio de 12,002 kg. El parámetro de aumento no contempla un rango definido ya que presenta una dispersión considerable teniendo como dato mínimo de aumento de grado de compactación de 6% y dato máximo de aumento de grado de compactación de 15% entre pasadas consecutivas. Este fenómeno se da gracias a la Presión dinámica

y la velocidad aplicada por el Compactador. Es necesario evaluar que el grado de compactación llegue a los parámetros indicados en la norma. Para los parámetros establecidos del 99% se requiere una compactación de menor grado y llegar así al 100% no se realizó la pasada con el equipo de trabajo por el incremento excesivo de lo solicitado. Se tiene que tener cuidado el pasar el grado de compactación establecido ya que no se tendrá datos representativos y se producirá el fenómeno de sobrecompactación disminuyendo la resistencia del material de base considerablemente. En conclusión, el control de compactación, como parte del control de calidad de los terraplenes cualquiera que sea el objetivo alcanzar en los mismos, tiene que basarse en obtener en obra un determinado “grado de compactación” de la energía de laboratorio correspondiente en un rango de humedades fijo (Armas, 2008).

Según lo hallado en la tabla N° 256 se puede determinar que, con 15 pasadas estáticas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg, se pudo lograr un rendimiento de 51.24 m³/hr, en la compactación de la base granular de 0.20 m de espesor y con una velocidad constante de 3 km/hr. En cuanto los resultados obtenidos en la tabla N° 257 se puede determinar que, con 08 pasadas vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg, se pudo lograr un rendimiento de 96.08 m³/hr, en la compactación de la base granular de 0.20 m de espesor y con una velocidad constante de 3 km/hr. Finalmente, según los resultados de la tabla N° 258 se puede determinar que, con 11 pasadas estáticas y vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg, se pudo lograr un rendimiento de 69.87 m³/hr, en la compactación de la base granular de 0.20 m de espesor y con una velocidad constante de 3 km/hr.

En cuanto a los resultados obtenidos mediante la tabla N° 259 se puede determinar que, con 12 pasadas estáticas del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg, se pudo lograr un rendimiento de 64.05 m³/hr, en la compactación de la base granular de 0.20 m de espesor y con una velocidad constante de 3 km/hr. A sí mismo en la tabla N° 260 se puede determinar que, con 06 pasadas vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg, se pudo lograr un rendimiento de 128.10 m³/hr, en la compactación de la base granular de 0.20 m de espesor y con una velocidad constante de 3 km/hr. Finalmente,

en la Tabla N° 261 se puede determinar que, con 09 pasadas estáticas y vibradas del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg, se pudo lograr un rendimiento de 85.40 m³/hr, en la compactación de la base granular de 0.20 m de espesor y con una velocidad constante de 3 km/hr.

Habiendo Analizado toda la Data los resultados de la tabla N° 262 y Figura N° 209 se presentan los rendimientos de las pasadas estáticas, vibradas y estáticas vibradas del equipo compactador de 11,247 kg. Donde se evalúa que el mejor trabajo se obtiene con pasadas vibradas obteniendo un rendimiento de 96.08 m³/h y el menor rendimiento con un trabajo no tan productivo mediante las pasadas estáticas de 51.24 m³/h. Por lo cual se recomienda trabajar con pasadas vibradas en el proceso de compactación para optimizar los recursos de obra y llegar con las mínimas pasadas a la resistencia establecida por las normativas vigentes evitando a la vez el fenómeno de sobrecompactacion en todo momento.

Por otro lado, en el análisis de la tabla N° 263 y figura N° 210 se presentan los rendimientos de las pasadas estáticas, vibradas y estáticas vibradas del equipo compactador de 12, 002 kg. Donde se evalúa que el mejor trabajo se obtiene con pasadas vibradas obteniendo un rendimiento de 128.10 m³/h y el menor rendimiento con un trabajo no tan productivo mediante las pasadas estáticas de 64.05 m³/h. Por lo cual se recomienda trabajar con pasadas vibradas en el proceso de compactación para optimizar los recursos de obra y llegar con las mínimas pasadas a la resistencia establecida por las normativas vigentes evitando a la vez el fenómeno de sobrecompactacion en todo momento.

Finalmente comparando la Tabla N° 262 y Figura N° 209 con la tabla N° 263 y figura N° 210, se puede concluir que la mejor opción de trabajo bajo la investigación realizada es la utilización del Rodillo Liso vibratorio de 12,002 kg, la cual compacto la base granular de 0.20 m, en 06 pasadas vibradas, con una velocidad constante de 3 km/h, obteniendo un rendimiento óptimo de 128.10 m³/h, llegando a los parámetros de norma CE.010 satisfactoriamente, evitando sobrecompactacion y asentamientos en el material. Así se logró optimizar la resistencia del material de base mediante el control de la energía establecida en el proceso de compactación.

CONCLUSIONES

Se concluye que El Control de la Energía Especifica produce efectos significativos en la optimización de la resistencia del Proceso de Compactación de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo en base a la utilización del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247.00 kg que compacto la base granular de 0.20 m del sector 03 del tramo: Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde con solo 08 pasadas vibratorias, alcanzando un rendimiento de 96.08 m³/h, y la Utilización del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg que compacto la base granular de 0.20 m del sector 04 del tramo: : Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde con solo 06 pasadas vibratorias, alcanzando un rendimiento de 128.10 m³/h, cumpliendo con los parámetros de control y tolerancias de la Norma CE.010 de Pavimentos Urbanos satisfactoriamente, evitando sobrecompactacion y asentamientos.

Se concluye que el Control del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247.00 kg produce efectos significativos en el Contenido de Humedad de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo, en base a las 08 Pasadas Vibradas que fueron requeridas. Se demostró que se debe tener la menor cantidad de Pasadas para que la disminución del contenido de Humedad sea controlada, asimismo que el porcentaje de disminución en las pasadas vibradas son menores que las pasadas estáticas y estáticas vibradas; teniendo como dato mínimo de disminución de contenido de humedad de 0.02% y dato máximo de disminución de contenido de humedad de 0.15% por pasada.

Se concluye que el Control del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247.00 kg produce efectos significativos en el Grado de Compactación de bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo, en base a las 08 Pasadas Vibradas que fueron necesarias para llegar al requerido grado de compactación que estipula la Norma CE.010. Se demostró que se debe tener la cantidad exacta de Pasadas para no tener grados de compactaciones no representativos pasados el 100% del grado de compactación. Asimismo, se demostró que el porcentaje de compactación en las pasadas vibradas son mayores que las pasadas estáticas y estáticas-vibradas; teniendo como dato mínimo de incremento de grado de compactación de 8% y dato máximo de incremento de grado de compactación de 20% por pasada.

Se concluye que el Control del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002.00 kg produce efectos significativos en el Contenido de Humedad de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo, en base a las 06 Pasadas Vibradas que fueron requeridas. Se demostró que se debe tener la menor cantidad de Pasadas para que la disminución del contenido de Humedad sea controlada, asimismo que el porcentaje de disminución en las pasadas vibradas son menores que las pasadas estáticas y estáticas vibradas; teniendo como dato mínimo de disminución de contenido de humedad de 0.05% y dato máximo de disminución de contenido de humedad de 0.17% por pasada.

Se concluye que el Control del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002.00 kg produce efectos significativos en el Grado de Compactación de bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo, en base a las 06 Pasadas Vibradas que fueron necesarias para llegar al requerido grado de compactación que estipulan la Norma CE.010. Se demostró que se debe tener la cantidad exacta de Pasadas para no tener grados de compactaciones no representativos pasados el 100% del grado de compactación. Asimismo, se demostró que el porcentaje de compactación en las pasadas vibradas son mayores que las pasadas estáticas y estáticas-vibradas; teniendo como dato mínimo de incremento de grado de compactación de 11% y dato máximo de incremento de grado de compactación de 22% por pasada.

RECOMENDACIONES

Se recomienda para un próximo estudio de investigación evaluar la influencia del control del contenido de humedad en función a las pasadas de cisterna para optimizar la resistencia del proceso de compactación de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo. Ya que en el presente estudio se pudo determinar que el control de humedad tiene un rol de características similares en la importancia a la energía específica en los procesos de compactación de campo.

Se recomienda a los profesionales dedicados a la cátedra tener en cuenta la presente investigación para orientar de forma práctica a los futuros profesionales de la carrera de ingeniería civil dedicados a la ingeniería de transporte con el objetivo de tomar decisiones óptimas en la ejecución de las partidas de conformación de bases granulares en pavimentos urbanos en la localidad de Huancayo.

Se recomienda para un próximo estudio de investigación la utilización del ensayo LWD Deflectómetro de impacto liviano para el cálculo de la densidad máxima seca en campo, ya que permitirá al investigador tomar diversas muestras y ver el comportamiento del control de la energía específica en los procesos de compactación de bases granulares de manera más eficiente económica y práctica.

Se recomienda a los profesionales dedicados a la construcción de pavimentos urbanos en la localidad de Huancayo tomar en cuenta la presente investigación, al momento de tomar decisiones y programar los equipos de compactación en la ejecución de la partida de compactación de campo de bases granulares en la localidad de Huancayo

Se recomienda seguir investigando sobre el grado de influencia que tienen otros factores como: la naturaleza del suelo, sentido que recorra la humedad al efectuarse la compactación, contenido de humedad inicial de la base granular, equipo compactador, tipo de compactación, la recomapctación, temperatura y velocidad de equipo compactador en la optimización de la resistencia de bases granulares de pavimentos urbanos en diferentes localidades del país, con

el objetivo de tener un mejor manejo de los insumos en obra para un rendimiento más productivo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abecasis, J. y Rocci, S. 1987.** *Sistematización de los medios de compactación y su control*. España : Mijan, 1987.
- Alcocer, F. 2013.** *Estudio de parámetros físicos de compactación de suelos y su efecto en valoración de la calidad de los mismos en pruebas de laboratorio*. Ambato : Universidad Tecnica de Ambato, 2013.
- ASTM, D-1557. 2012.** *Metodo de Ensayo Normalizado para las características de Compactacion de Suelos en La boratorio Usando una Energia Modificada (56,000 Pie-lbf/Pie 3(2,700 kN-m/m³))1*. 2012.
- Bañon, Luis. 2000.** *Manual de Carreteras-Tomo II*. s.l. : s.n., 2000.
- Bernaola, R. 2014.** *Evaluación y Determinación del índice de Condición del Pavimento rígido en la Av. Huancavelica, distrito de Chilca, Huancayo*. Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2014.
- Borja, M. 2012.** *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo : s.n., 2012.
- Braja, D. 2001.** *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. México : Thomson Editores, 2001.
- Castañeda, E. 2017.** *Incorporación de Suelos Gravosos a la clasificación SUCS planteados por Braja Das en la teoría de Compactación de Suelos: Ensayos en Suelos Andinos-Perú*. Chiclayo : Universidad Cesar Vallejo, 2017.
- Chang, Luis. 2010.** *Compactación*. Lima : s.n., 2010.
- Crespo, C. 2007.** *Vías de comunicación*. México : Limusa, 2007.
- Gutierrez, J. 2007.** *Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles con fines de análisis y diseño en el Perú*. Lima : Universidad Nacional de Ingeniería-UNI, 2007.

- Gutierrez, W. 2016.** *Mecánica de Suelos Aplicada a Vías de Transporte*. Lima : Macro, 2016.
- Juarez, B. y Rico, A. 2005.** *Mecanica de suelos*. México : Limusa, 2005.
- Lambe, T. 1968.** *Mecánica de Suelos*. Nueva York : Mc Graw Hill, 1968.
- Lambe, T. y Whitman, R. 2004.** *Mecánica de suelos*. México : Limusa, 2004.
9681818946.
- Lloret, P. B. 2009.** *Maquinas de Obras Publicas II*. San Vicente. : Club Universitario, 2009.
- Mendoza, L. 1992.** *Enfoques recientes en la compactación de suelos*. Queretaro : s.n., 1992.
- Montejo, F. 2013.** *Ingeniería de Pavimentos*. Lima : ICG, 2013.
- MTC. 2000.** *Ensayo para Determinar la Densidad de los Suelos en el Campo por el metodo del Cono de Arena*. Lima : E 117, 2000.
- Nicholas, J. y Lester, A. 2005.** *Ingeniería de tránsito y carreteras*. México : Thomson Editores, 2005.
- Norma CE-010. 2010.** *Norma Tecnica de Edificacion CE.010 Pavimentos Urbanos*. Lima : Macro, 2010. 24.
- Osorio, A. 2008.** *Metodología de Evaluación In Situ de la Capacidad de Soporte de Bases y Subbases granulares de Pavimentos Flexibles con el deflectometro de impacto liviano*. Santiago de Chile : Universidad Católica de Chile, 2008.
- Páramo, Jorge A. 2002.** ITYAC. [En línea] 20 de Diciembre de 2002. [Citado el: 11 de Julio de 2020.] www.ityac.com.ar/Files/A1_Compactacion_de_Suelos.pdf.
- Pariona, L. 2014.** *Estudio de la resistencia de la Sub-Base usando experimentos factoriales basado en el contenido de humedad, energía de compactación y la hidratación*. Huancayo : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2014.

Quiñonez, D. 2015. *Uso del deflectómetro de impacto liviano (LWD), para la aplicación del retrocalculo en carreteras no asfaltadas, Caso Práctico: Proyecto Regional Cuzco.* Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2015.

Revolorio. 2013. *Incidencia de Resultados del Ensayo Proctor por la influencia de clima, humedad, equipo y superficie de base de compactación durante su desarrollo.* Guatemala : Universidad de San Carlos de Guatemala, 2013.

Rico, A. 2005. *La ingeniería de suelos en las vías terrestres: Carreteras, ferrocarriles y autopistas.* México : Limusa, 2005. 9681800540.

Rico, A. y Del Castillo, H. 1992. *Consideraciones sobre compactación de suelos en obras de infraestructura de transporte.* México : IMT, 1992.

Ruiz, C. 2002. *Rendimiento y costos en la maquinaria de compactación.* Santiago de Chile : Universidad Austral de Chile, 2002.

Sagüés, P. 2007. *Propiedades de los suelos compactados.* s.l. : LMS-FIUBA, 2007.

Sánchez, V. 1996. *Dinámica y Mecánica de Suelos.* Madrid : Ediciones, 1996.

Veliz, C. 2001. *Apuntes de metodología de la investigación. Un resumen de las principales ideas para el desarrollo de proyectos de investigación.* Medellín : Universidad EAFIT, 2001.

ANEXOS

Matriz de Consistencia.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
<p>Problema General.</p> <p>¿Qué efecto produce el control de la energía específica en la optimización de la resistencia del proceso de compactación de Bases Granulares de Pavimentos urbanos en la Localidad de Huancayo?</p> <p>Problemas Específicos</p> <p>¿Qué efecto produce el control del rodillo liso Vibratorio de 11,247 kg influye en el Contenido de</p>	<p>Objetivo General.</p> <p>Determinar el efecto que produce el control de la energía específica en la optimización de la resistencia del proceso de compactación de Bases Granulares de Pavimentos urbanos en la Localidad de Huancayo.</p> <p>Objetivos Específicos</p> <p>Determinar el efecto que produce el Control del rodillo liso Vibratorio de</p>	<p>Hipótesis General</p> <p>El Control de la Energía Especifica produce efectos significativos en la optimización de la resistencia del proceso de compactación de Bases Granulares de Pavimentos urbanos en la Localidad de Huancayo.</p> <p>Hipótesis Especifica</p> <p>El control del rodillo liso Vibratorio de 11,247 kg produce efectos significativos en el</p>	<p>Variable independiente</p> <p>CONTROL DE LA ENERGÍA ESPECIFICA EN EL PROCESO DE COMPACTACIÓN DE CAMPO.</p> <p>Dimensiones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Compactador de Suelo Vibratorio de 11,247 kg. 	<p>TIPO</p> <p>Aplicada</p> <p>NIVEL</p> <p>Explicativo</p> <p>DISEÑO</p> <p>Experimental</p> <p>Muestra</p> <p>No Probabilística</p>

<p>Humedad de Bases Granulares de pavimentos urbanos en la localidad de Huancayo?</p> <p>¿Qué efecto produce el control del rodillo liso Vibratorio de 11,247 kg en el Grado de Compactación de Bases Granulares de pavimentos urbanos en la localidad de Huancayo?</p> <p>¿Qué efecto produce el control del rodillo liso Vibratorio de 12,002 kg en el Contenido de Humedad de Bases Granulares de pavimentos urbanos en la localidad de Huancayo?</p>	<p>11,247 kg en el Contenido de Humedad de Bases Granulares de pavimentos urbanos en la localidad de Huancayo.</p> <p>Determinar el efecto que produce el Control del rodillo liso Vibratorio de 11,247 kg en el Grado de Compactación de Bases Granulares. de pavimentos urbanos en la localidad de Huancayo.</p> <p>Determinar el efecto que produce el Control del rodillo liso Vibratorio de 12,002 kg en el Contenido de Humedad de Bases Granulares de pavimentos</p>	<p>Contenido de Humedad de Bases Granulares de pavimentos urbanos en la localidad de Huancayo.</p> <p>El control del rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg produce efectos significativos en el Grado de Compactación de Bases Granulares de pavimentos urbanos en la localidad de Huancayo.</p> <p>El control del rodillo liso Vibratorio de 12,002 kg produce efectos significativos en el Contenido de Humedad de Bases Granulares de</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Compactador de Suelo Vibratorio de 12,002 kg <p>Variable dependiente</p> <p>OPTIMIZACIÓN DE LA RESISTENCIA DE BASES GRANULARES DE PAVIMENTOS URBANOS.</p> <p>Dimensiones</p> <ul style="list-style-type: none"> • Contenido de Humedad de Base Granular. 	
--	---	---	---	--

<p>¿Qué efecto produce el control del rodillo liso Vibratorio de 12,002 kg en el Grado de Compactación de Bases Granulares de pavimentos urbanos en la localidad de Huancayo?</p>	<p>urbanos en la localidad de Huancayo.</p> <p>Determinar el efecto que produce el Control del rodillo liso Vibratorio de 12,002 kg en el Grado de Compactación de Bases Granulares. de pavimentos urbanos en la localidad de Huancayo.</p>	<p>pavimentos urbanos en la localidad de Huancayo.</p> <p>El control del rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg produce efectos significativos en el Grado de Compactación de Bases Granulares de pavimentos urbanos en la localidad de Huancayo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Grado de Compactación de Base Granular. 	
---	---	---	---	--

Matriz de Operacionalización de las Variables.

HIPÓTESIS	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIÓN	INDICADORES	UNIDAD DE MEDICIÓN
El Control de la Energía Especifica en el Proceso de Compactación de campo genera Resultados significativos en la Resistencia de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos de la	Variable Independiente (X): Control de la Energía Especifica en el Proceso de Compactación de Campo.	Se entiende por energía especifica de compactación la que se entrega al suelo por unidad de volumen, durante el proceso mecánico de que se trate. (Rico, Del Castillo, 1998, p.156).	El concepto de energía especifica conserva su pleno valor fundamental cuando se relaciona con procedimientos de compactación de campo. En el caso del uso de rodillos depende principalmente de la presión y el área de contacto entre el rodillo y el suelo, del espesor de la capa que se compacte y del número de pasadas del equipo. (Rico, Del Castillo, 1998, p.156).	Compactador de Suelo Vibratorio de 11,247 kg.	Presión de Equipo de Computación	Estática
					Área de Contacto de Rodillo y Suelo	Dinámica
				Compactador de Suelo Vibratorio de 12,002 kg.	Espesor de la Capa de Base	Metros Cuadrados
					Numero de Pasadas del Equipo	Centímetros
	Variable Dependiente (Y): Resistencia de Bases Granulares	El suelo utilizado como relleno en ingeniería (terraplenes, rellenos de cimentación, bases para	De todos modos, el peso volumétrico en el campo se fija con base en una prueba de laboratorio. Como consecuencia	Contenido de Humedad	Ensayo de Carburo de Calcio	Porcentaje

<p>Localidad de Huancayo</p>	<p>de Pavimentos Urbanos.</p>	<p>caminos), se compacta a un estado denso para obtener propiedades satisfactorias de ingeniería tales como: resistencia al esfuerzo corte, compresibilidad o permeabilidad. También los suelos de cimentaciones son a menudo compactados para mejorar sus propiedades de ingeniería. Los ensayos de compactación en laboratorio proporcionan las bases para determinar el porcentaje de compactación y contenido de humedad que se necesitan para obtener las propiedades de Ingeniería requeridas y para el control</p>	<p>de la diferencia esencial que existe entre ambos procesos de compactación y también como consecuencia de todos los problemas que en el campo pudiera presentarse, casi siempre sucede que el peso volumétrico a fin de cuentas se obtiene en la obra no es idéntico al peso volumétrico seco máximo de la prueba de laboratorio que sirvió de base al estudio. La diferencia entre ambos valores, tradicionalmente se mide a través del concepto de GRADO DE COMPACTACIÓN. (Rico, Del Castillo, 1998, p.185).</p>	<p>Grado de Compactación</p>	<p>Ensayo del Cono de Arena</p>	<p>Porcentaje</p>
------------------------------	-------------------------------	---	--	------------------------------	---------------------------------	-------------------

		de la construcción para asegurar la obtención de la compactación requerida y los contenidos de agua (Escario, 1989).				
--	--	--	--	--	--	--

Matriz de operacionalización del instrumento.

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	OBJETIVO	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTOS
Variable Independiente (X): Control de la Energía Especifica en el Proceso de Compactación de Campo.	Compactador de Suelo Vibratorio de 11,247 kg.	Presión de Equipo de Compactación	La presión del equipo de compactación tiene como función primordial establecer la presión lineal estática y dinámica que será aplicada al material seleccionado en este caso el peso será de 11,247 kg	Kilogramos (kg)	Balanza de Maquinaria Pesada
		Área de Contacto de Rodillo y Suelo	El área de Contacto entre el Rodillo y Suelo de Base estará determinada por el ancho de tambor que en nuestro caso será de 2.13 m	Metros (m)	Cinta Métrica
		Espesor de la Capa de Base	El espesor de la capa estará determinado por los cálculos realizados en el expediente Técnico en nuestro caso es de 20 cm	Centímetros (cm)	Flexómetro
		Numero de Pasadas del Equipo	El número de pasadas del Equipo dependerá estrictamente de los parámetros de control de calidad estipulados por la Normativa CE.010 de	Numeral	Formato de Control

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	OBJETIVO	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTOS
			Pavimentos Urbanos que establece que para base es necesario tener una compactación del 100% de la Densidad del Proctor modificado		
	Compactador de Suelo Vibratorio de 12,002 kg.	Presión de Equipo de Compactación	La presión del equipo de compactación tiene como función primordial establecer la presión lineal estática y dinámica que será aplicada al material seleccionado en este caso el peso será de 12,002 kg	Kilogramos (kg)	Balanza de Maquinaria Pesada
		Área de Contacto de Rodillo y Suelo de Base	El área de Contacto entre el Rodillo y Suelo de Base estará determinada por el ancho de tambor que en nuestro caso será de 2.13 m	Metros (m)	Cinta Métrica
		Espesor de la Capa de Base	El espesor de la capa estará determinado por los cálculos realizados en el expediente Técnico en nuestro caso es de 20 cm	Centímetros (cm)	Flexómetro

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	OBJETIVO	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTOS
		Numero de Pasadas del Equipo	El número de pasadas del Equipo dependerá estrictamente de los parámetros de control de calidad estipulados por la Normativa CE.010 de Pavimentos Urbanos que establece que para base es necesario tener una compactación del 100% de la Densidad del Proctor modificado	Numeral	Formato de Control
Variable Dependiente (Y): Resistencia de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos.	Contenido de Humedad en Campo	Ensayo de Carburo de Calcio	Establecerá el Contenido de Humedad en campo por cada pasada de Rodillo	Porcentaje (%)	Probador o Capsula de Carburo de Calcio, Balanza, Dos esferas de acero, Cepillo y trapo de limpieza, Cuchara para medir el reactivo de carburo de calcio.

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	OBJETIVO	UNIDAD DE MEDIDA	INSTRUMENTOS
	Grado de Compactación	Ensayo del Cono de Arena	Establecerá el Grado de compactación en campo por cada pasada de Rodillo	Porcentaje (%)	Frasco desarmable, Válvula cilíndrica, Plato de metal, Balanzas, Cuchillo Pequeño, pico pequeño, cincel, espátula pequeña, costales de plástico, brocha, calculadora, libreta de apuntes

Instrumento de investigación y constancia de su aplicación.

MTC E 107

ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO

1.0 OBJETO

1.1 Determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de suelo.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

2.1 Este Modo Operativo describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (N° 200).

2.2 Este Modo Operativo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

3.1 ASTM D 422: Standard Test Method for Particle-size Analysis of Soils.

4.0 EQUIPOS Y MATERIALES

4.1 EQUIPOS

4.1.1 Dos balanzas. Una con sensibilidad de 0,01 g para pesar material que pase el tamiz de 4,760 mm (N° 4). Otra con sensibilidad de 0,1% del peso de la muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz de 4,760 mm (N° 4).

4.1.2 Estufa. Capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.

4.2 MATERIALES

4.2.2 Tamices de malla cuadrada. Incluyen los siguientes:

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 ½"	38,100
1"	25,400
¾"	19,000
⅜"	9,500
N° 4	4,760
N° 10	2,000
N° 20	0,840
N° 40	0,425
N° 60	0,260
N° 140	0,106
N° 200	0,075

MTC E 115

COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGIA MODIFICADA (PROCTOR MODIFICADO)

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer el método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada ($2\,700\text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$ ($56\,000\text{ pie}\cdot\text{lbf}/\text{pie}^3$)).

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101,6 ó 152,4 mm (4 ó 6 pulg) de diámetro con un pisón de 44,5 N (10 lbf) que cae de una altura de 457 mm (18 pulg), produciendo una Energía de Compactación de ($2700\text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^3$ ($56000\text{ pie}\cdot\text{lbf}/\text{pie}^3$)).

Nota 1. Los suelos y mezclas de suelos-agregados son considerados como suelos finos o de grano grueso o compuestos o mezclas de suelos naturales o procesados o agregados tales como grava, limo o piedra partida.

Nota 2. El equipo y procedimiento son los mismos que los propuestos por el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos en 1945. La prueba de Esfuerzo Modificado es a veces referida como Prueba de Compactación de Proctor Modificado

- 2.2 Este ensayo se aplica sólo para suelos que tienen 30% ó menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ " pulg).

Nota 3. Para relaciones entre Peso Unitario y Contenido de Humedad de suelos con 30% ó menos en peso de material retenido en la malla 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg) a Pesos Unitarios y contenido de humedad de la fracción que pasa la malla de 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg), ver ensayo ASTM D 4718

- 2.3 Se proporciona 3 métodos alternativos. El método usado debe ser indicado en las especificaciones del material a ser ensayado. Si el método no está especificado, la elección se basará en la gradación del material.

2.3.1 METODO "A"

- 2.3.1.1 Molde: 101,6 mm de diámetro (4 pulg)
- 2.3.1.2 Material: Se emplea el que pasa por el tamiz 4,75 mm (N° 4).
- 2.3.1.3 Número de capas: 5
- 2.3.1.4 Golpes por capa: 25
- 2.3.1.5 Uso: Cuando el 20 % ó menos del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (N° 4).
- 2.3.1.6 Otros Usos: Si el método no es especificado; los materiales que cumplen éstos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método B ó C.

MTC E 117

ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD Y PESO UNITARIO DEL SUELO INSITU MEDIANTE EL METODO DEL CONO DE ARENA

1.0 OBJETO

- 1.1 Establecer el método de ensayo estándar para determinar la densidad y peso unitario del suelo in situ mediante el método del cono de arena.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 Este método es usado para determinar la densidad de suelos compactados que se encuentran en el lugar durante la construcción de terraplenes de tierra, capas de rodadura, rellenos de carreteras y estructuras de contención. Es comúnmente utilizado como base de aceptación para suelos compactados a una densidad específica o a un porcentaje de densidad máxima determinada por un método de ensayo normado.
- 2.2 Este método puede ser usado para determinar la densidad in-situ de depósitos de suelos naturales, agregados, mezcla de suelos u otro material similar.
- 2.3 Este método de ensayo se aplica a suelos que no contengan una cantidad excesiva de roca o materiales gruesos con un diámetro mayor a 1 ½ pulg (38 mm).
- 2.4 Esta norma también puede utilizarse para determinar la densidad y el peso unitario de suelos inalterados o suelos in-situ, que contengan vacíos naturales o cuando los poros sean lo suficientemente pequeños para prevenir que la arena usada en el ensayo penetre en los vacíos naturales. El suelo u otro material que esté sometido a prueba deberá tener la suficiente cohesión o atracción entre partículas para mantener estables los lados de un pequeño hoyo o excavación y debe estar lo suficientemente firme como para soportar la mínima presión ejercida al momento de cavar el orificio y colocar el equipo sobre él, sin que se deforme o caiga.
- 2.5 Cuando los materiales que se van a someter a prueba contengan cantidades considerables de partículas mayores a 1 ½ pulg (38 mm), o cuando los volúmenes de los orificios de ensayo son mayores a 0,1 pie³ (2830 cm³), se aplica el Método de Ensayo ASTM D 4914 o ASTM D 5030.
- 2.6 Es práctica común en la profesión de ingeniería utilizar corrientemente unidades de medida para representar tanto unidades de masa como unidades de fuerza. Esto implícitamente combina dos sistemas de unidades diferentes, esto es, el sistema absoluto y el sistema gravitacional. Científicamente, no es recomendable combinar el uso de dos clases diferentes de unidades dentro de una norma simple. Este método de ensayo ha sido elaborado utilizando el sistema gravitacional de unidades cuando se tratan las unidades en el sistema de centímetros y gramos. En este sistema, el gramo (gf) representa una unidad de fuerza (peso). Sin embargo, el uso de balanzas o escalas para registrar medidas de masa (gm) o para registrar la densidad en gm/cm³ puede establecerse como conforme a este método de ensayo.

MTC E 126

CONTENIDO DE HUMEDAD EN SUELOS METODO DEL CARBURO DE CALCIO

1.0 OBJETO

- 1.1 Determinar la humedad de los suelos mediante un medidor de humedad de gas a presión con carburo de calcio.

2.0 FINALIDAD Y ALCANCE

- 2.1 El contenido de humedad en suelos se utiliza en la práctica de ingeniería geotécnica, tanto en el campo como en el laboratorio. Los resultados son a veces necesarios en un corto período de tiempo y en lugares donde no es práctico instalar un horno o para transportar muestras a un horno. Este método de prueba se utiliza para estas ocasiones.
- 2.2 Los resultados de esta prueba se han utilizado para el control de campo de terraplenes compactados u otras estructuras, así como en la determinación del contenido de agua para el control de la humedad del suelo y la densidad seca dentro de un rango especificado.
- 2.3 Este método puede no ser tan preciso como otros aceptados como la norma ASTM D 2216. La causa de esta inexactitud se puede suscitar, porque las muestras son demasiado pequeñas para representar adecuadamente el total del suelo, de parte de estos suelos que no terminan de romperse para exponer toda el agua disponible en su interior frente al reactivo y de otras inherentes al procedimiento, equipo o errores de proceso. Por lo tanto, otros métodos pueden ser más apropiados cuando se requieren resultados de alta precisión, o cuando los resultados de la prueba son sensibles a pequeñas variaciones en los valores obtenidos.
- 2.4 Lo siguiente se aplica a todos los límites especificados en esta norma: Para los propósitos de determinar conformidad con estas especificaciones, será un valor observado o un valor calculado “a la unidad más cercana” en el último lugar a la derecha de las cifras utilizadas al expresar el valor límite de conformidad con ASTM E29.
- 2.5 Este método no deberá emplearse en materiales granulares que tengan partículas tan grandes que afecten la precisión del ensayo; en general, cualquier cantidad apreciable retenida en el tamiz de 4,75 mm (Nº 4) es perjudicial.

3.0 REFERENCIAS NORMATIVAS

3.1 AASHTO Standards:

- 3.1.1 T 217-02 (2006): Standard Method of Test for Determination of Moisture in Soils by Means of a Calcium Carbide Gas Pressure Moisture Tester.
- 3.1.2 M 231 Weighing Devices Used in the Testing of Materials.
- 3.1.3 R 16, Regulatory information for Chemicals Used in AASHTO Tests.
- 3.1.4 T 265, Laboratory Information of Moisture Content of Soils.

3.2 ASTM Standard:

- 3.2.1 E 29 Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications.

Confiabilidad y validez del instrumento

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

TC - 13191 - 2020

PROFORMA : 4442A

Fecha de emisión: 2020 - 10 - 27

Página : 1 de 2

SOLICITANTE : SERVICES CONSTRUCTION AND GEOTECHNICAL ENGINEERING EIRL

Dirección : Jr. Edgardo Rebagliati Nro. 180 Urb. Lambaspata Junín-Huancayo-El Tambo

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : MEDIDOR DE HUMEDAD (SPEEDY)

Marca : ELE INTERNATIONAL

Modelo : 124

N° de Serie : 139

Intervalo de Indicación : 0 % a 20 %

División de Escala : 0,20%

Procedencia : No Indica

Identificación : No Indica

Ubicación : Laboratorio

Fecha de Calibración : 2020 - 10 - 23

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes. Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

LUGAR DE CALIBRACIÓN

Instalaciones de SERVICES CONSTRUCTION AND GEOTECHNICAL ENGINEERING EIRL

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó por comparación indirecta utilizando el PIC-025 "Procedimiento Interno de Calibración de Medidores de Humedad de suelos"

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso.

CONDICIONES AMBIENTALES

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	19,7 °C	19,7 °C
Humedad Relativa	51,7 %	60,7 %
Presión	1 003,6 hPa	1 004,2 hPa

Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.

Lic. Nicolás Ramos Paucar
Gerente Técnico
CFP: 0316

TRAZABILIDAD

Patrón de Referencia	Patrón de Trabajo	Certificado de Calibración
Balanza de Presión Clase de Exactitud 0,005 DM-INACAL	Manómetro de 0 bar a 5 bar Clase de Exactitud 0,05	LFP-097-2020

RESULTADOS DE MEDICIÓN

Valor Convencionalmente (%)	Indicación del equipo (%)	Error (%)	Incertidumbre (%)
0,0	0,0	0,0	0,1
2,0	2,0	0,0	0,1
4,0	4,0	0,0	0,1
6,0	6,0	0,0	0,1
8,0	8,0	0,0	0,1
10,0	10,0	0,0	0,1
12,1	12,0	0,1	0,1
14,1	14,0	0,1	0,1
16,2	16,0	0,2	0,1
20,4	20,0	0,4	0,1

OBSERVACIONES

Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta autoadhesiva con el número de certificado.
Para una mejor aproximación del instrumento bajo calibración, se subdividió la división de escala en 5 partes.

DECLARACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EXPANDIDA U

La incertidumbre expandida de medida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura $k=2$ que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

TC - 13194 - 2020

PROFORMA : 4442A

Fecha de emisión : 2020 - 10 - 27

Página : 1 de 5

SOLICITANTE : SERVICES CONSTRUCTION AND GEOTECHNICAL ENGINEERING EIRL

Dirección : Jr. Edgardo Rebagliati Nro. 180 Urb. Lamblaspata Junín-Huancayo-El Tambo

EQUIPO : **HORNO**
Marca : A&A INSTRUMENTS
Modelo : STHX-1A
N° de Serie : 17824
Tipo de Ventilación : Natural
Procedencia : No Indica

Identificación : NO INDICA
INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : TERMÓMETRO DIGITAL
Marca : AUTCOMP
Alcance : 50 °C a 300 °C
Resolución : 0,1 °C
TIPO DE CONTROLADOR : DIGITAL
Marca : AUTCOMP

Alcance : 50 °C a 300 °C
Resolución : 0,1 °C
Fecha de Calibración : 2020 - 10 - 23

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

LUGAR DE CALIBRACIÓN

Instalaciones de SERVICES CONSTRUCTION AND GEOTECHNICAL ENGINEERING EIRL

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó por comparación directa con nuestro sistema de medición de temperatura patrón según procedimiento PC- 018 "Procedimiento de calibración o caracterización de medios isotermos con aire como medio termostático". Segunda Edición -

Junio 2009. SNM - INDECOPI.

CONDICIONES AMBIENTALES

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	19,6 °C	18,7 °C
Humedad Relativa	46,3 %	50,5 %

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.



Lic. Nicolás Ramos Paucar
Gerente Técnico
CFP: 0316

TRAZABILIDAD

Patrón de Referencia	Patrón de Trabajo	Certificado de Calibración
Dos Termómetros Digitales Incertidumbre 0,028 °C SAT S.A.C.	Termómetro Digital -200 °C a 1372 °C	LT - 263 -2020 LT - 264 -2020 LT - 265 -2020

RESULTADOS DE MEDICIÓN

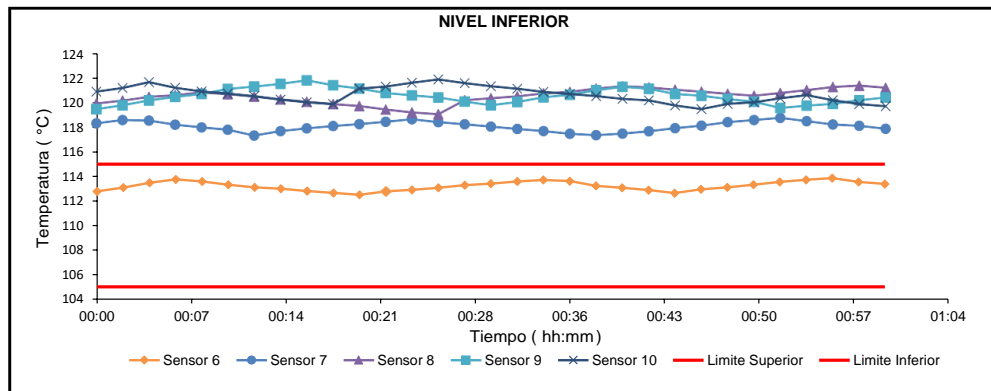
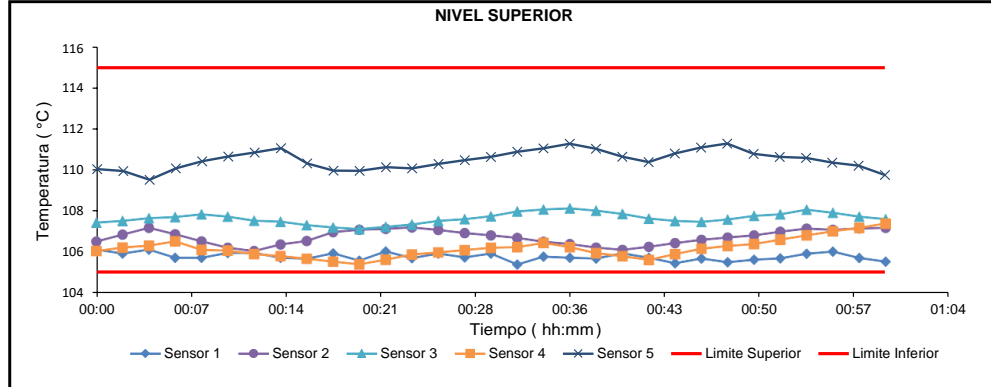
Temperatura de Trabajo	Posición del Controlador	Tiempo de Calentamiento	Tiempo de Estabilización	Porcentaje de carga	Tipo de Carga / Muestra
110 °C ± 5 °C	110	60 min	120 min	50 %	ENVASES DE METALES

Tiempo (hh:mm)	Termómetro Horno (°C)	Temperaturas en las Posiciones de Medición (°C)										T _{prom} ^[2] (°C)	T _{max} - T _{min} (°C)
		Nivel Superior					Nivel Inferior						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
00:00	110,0	106,1	106,5	107,4	106,1	110,0	112,8	118,4	120,0	119,5	120,9	112,8	14,9
00:02	110,0	105,9	106,8	107,5	106,2	110,0	113,1	118,6	120,2	119,8	121,2	112,9	15,3
00:04	110,0	106,1	107,2	107,6	106,3	109,5	113,5	118,6	120,5	120,2	121,7	113,1	15,6
00:06	110,0	105,7	106,9	107,7	106,5	110,1	113,8	118,3	120,6	120,5	121,2	113,1	15,5
00:08	110,0	105,7	106,5	107,8	106,1	110,4	113,6	118,1	120,8	120,7	120,9	113,1	15,2
00:10	110,0	106,0	106,2	107,7	106,1	110,7	113,3	117,9	120,7	121,1	120,8	113,0	15,2
00:12	110,0	106,0	106,1	107,5	105,9	110,9	113,1	117,4	120,5	121,3	120,6	112,9	15,4
00:14	110,0	105,7	106,4	107,5	105,8	111,1	113,0	117,8	120,3	121,5	120,3	112,9	15,8
00:16	110,0	105,7	106,5	107,3	105,7	110,3	112,8	118,0	120,1	121,8	120,1	112,8	16,1
00:18	110,0	105,9	107,0	107,2	105,5	110,0	112,7	118,2	119,9	121,4	119,9	112,8	15,9
00:20	110,0	105,6	107,1	107,1	105,4	110,0	112,5	118,3	119,8	121,2	121,2	112,8	15,7
00:22	110,0	106,0	107,1	107,2	105,6	110,1	112,8	118,5	119,5	120,8	121,3	112,9	15,7
00:24	110,0	105,7	107,2	107,3	105,9	110,1	112,9	118,7	119,2	120,6	121,6	112,9	15,9
00:26	110,0	105,9	107,1	107,5	106,0	110,3	113,1	118,5	119,1	120,4	121,9	113,0	16,0
00:28	110,0	105,7	106,9	107,6	106,1	110,5	113,3	118,3	120,2	120,1	121,6	113,0	15,8
00:30	110,0	105,9	106,8	107,7	106,2	110,6	113,4	118,1	120,4	119,8	121,3	113,0	15,4
00:32	110,0	105,4	106,7	108,0	106,2	110,9	113,6	117,9	120,5	120,1	121,1	113,0	15,7
00:34	110,0	105,8	106,5	108,1	106,4	111,1	113,7	117,8	120,8	120,5	120,9	113,1	15,1
00:36	110,0	105,7	106,4	108,1	106,2	111,3	113,6	117,5	120,9	120,7	120,7	113,1	15,2
00:38	110,0	105,7	106,2	108,0	106,0	111,0	113,2	117,4	121,2	121,0	120,6	113,0	15,5
00:40	110,0	105,9	106,1	107,8	105,8	110,7	113,1	117,5	121,3	121,3	120,3	113,0	15,5
00:42	110,0	105,7	106,3	107,6	105,6	110,4	112,9	117,7	121,3	121,1	120,2	112,9	15,6
00:44	110,0	105,5	106,4	107,5	105,9	110,8	112,6	118,0	121,1	120,7	119,8	112,8	15,6
00:46	110,0	105,7	106,6	107,5	106,2	111,1	112,9	118,2	120,9	120,6	119,5	112,9	15,2
00:48	110,0	105,5	106,7	107,6	106,3	111,3	113,1	118,5	120,7	120,3	119,9	113,0	15,2
00:50	110,0	105,6	106,8	107,8	106,4	110,8	113,3	118,6	120,6	120,1	120,1	113,0	14,9
00:52	110,0	105,7	107,0	107,8	106,6	110,6	113,6	118,8	120,8	119,6	120,4	113,1	15,1
00:54	110,0	105,9	107,1	108,1	106,8	110,6	113,7	118,5	121,0	119,8	120,6	113,2	15,1
00:56	110,0	106,0	107,1	107,9	107,0	110,4	113,9	118,3	121,3	119,9	120,2	113,2	15,3
00:58	110,0	105,7	107,1	107,7	107,2	110,2	113,6	118,2	121,4	120,2	119,9	113,1	15,7
01:00	110,0	105,5	107,2	107,6	107,4	109,8	113,4	117,9	121,2	120,4	119,7	113,0	15,7
T. PROM ^[1]	110,0	105,8	106,7	107,6	106,2	110,5	113,2	118,1	120,5	120,6	120,7		
T. MAX ^[3]	110,0	106,1	107,2	108,1	107,4	111,3	113,9	118,8	121,4	121,8	121,9		
T. MIN ^[4]	110,0	105,4	106,1	107,1	105,4	109,5	112,5	117,4	119,1	119,5	119,5		
DTT ^[5]	0,0	0,7	1,1	1,0	2,0	1,8	1,4	1,4	2,3	2,3	2,4		

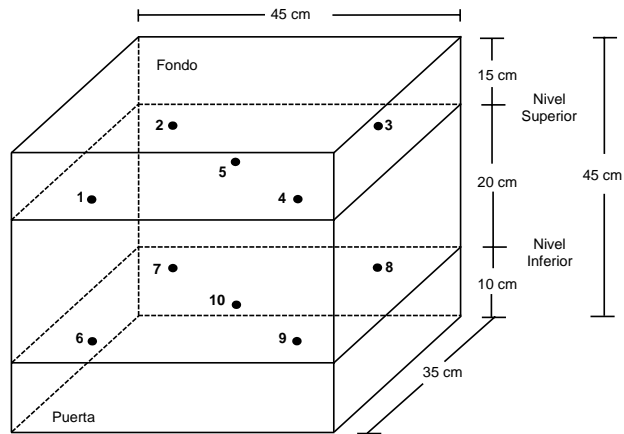
RESULTADOS DE MEDICIÓN

Parámetro	Valor (°C)	Incertidumbre Expandida (°C)
Máxima Temperatura Medida	121,9	0,9
Mínima Temperatura Medida	105,4	0,4
Desviación Temperatura en el Tiempo	2,4	0,1
Desviación Temperatura en el Espacio	14,9	0,3
Estabilidad Medida (±)	1,19	0,04
Uniformidad Medida	16,1	0,8

GRAFICO DE TEMPERATURA DE LOS SENSORES



DISTRIBUCIÓN DE LOS SENSORES



- Los sensores 5 y 10 están ubicados en el centro de sus respectivos niveles.
- Los sensores del 1 al 5 están ubicados a 15 cm por encima de la parrilla superior.
- Los sensores del 6 al 10 están ubicados a 1,5 cm por debajo de la parrilla inferior.
- Los sensores del 1 al 4 y del 6 al 9 están ubicados a 6 cm de las paredes laterales y a 6 cm del frente y fondo del equipo.

FOTOGRAFÍA DEL MEDIO ISOTERMO



OBSERVACIONES

Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta autoadhesiva con el número de certificado.

[1] T. PROM: Promedio de las temperaturas en una posición de medición durante el tiempo de calibración.

[2] T prom: Promedio de las temperaturas en las doce posiciones de medición para un instante dado.

[3] Tmax: Temperatura máxima.

[4] Tmin: Temperatura mínima.

[5] DTT: Desviación de Temperatura en el Tiempo.

Para cada posición de medición su "**desviación de temperatura en el tiempo**" DTT está dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura registradas en dicha posición.

Entre dos posiciones de medición su "**desviación de temperatura en el espacio**" está dada por la diferencia entre los promedios de temperaturas registradas en ambas posiciones.

Incertidumbre expandida de las indicaciones del termómetro propio de Medio Isotermo: 0,1 °C

La Uniformidad es la máxima diferencia medida de temperatura entre las diferentes posiciones espaciales para un mismo instante de tiempo.

La Estabilidad es considerada igual a $\pm \frac{1}{2}$ máx. DTT.

INCERTIDUMBRE

La incertidumbre expandida que resulta de multiplicar la incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura $k=2$ que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

FIN DEL DOCUMENTO

FICHA DE DATOS EN CAMPO N° 01															
DATOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE CAMPO															
CONTENIDO DE HUMEDAD CON SPEEDY (%)	7.49	7.42	7.3	7.2	7.13	7.13	6.94	6.84	6.73	6.63	6.54	6.41	6.32	6.24	6.05

GRADO DE COMPACTACIÓN															
MÁXIMA DENSIDAD PROCTOR (G/CM3)	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35
GRADO DE COMPACTACIÓN (%)	12	17	25	30	35	42	50	55	62	68	75	81	88	94	99

FICHA DE DATOS EN CAMPO N° 02	
Fecha	10/09/2020
Tramo	JR. MEDUSA-JR. GÉMINIS (000+100-000+200)
Progresiva	000+118
Lado	IZQUIERDO
Capa	BASE

FICHA DE DATOS EN CAMPO N° 02

OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	
GRADO DE COMPACTACIÓN (%)	18	44	56	59	79	89	99	

FICHA DE DATOS EN CAMPO N° 03

GRADO DE COMPACTACIÓN (%)	11	23	30	41	47	58	65	77	84	94	99
----------------------------------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

TRAMO	JR. MEDUSA-JR. GÉMINIS (000+200-000+300)										
PROGRESIVA	000+225										
NUMERO DE PASADA DEL COMPACTADOR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
MUESTRA N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
DATOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE CAMPO											
CONTENIDO DE HUMEDAD CON SPEEDY (%)	7.1	6.91	6.8	6.73	6.62	6.54	6.45	6.36	6.25	6.18	6.04

GRADO DE COMPACTACIÓN

MÁXIMA DENSIDAD PROCTOR (G/CM3)	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35
GRADO DE COMPACTACIÓN (%)	12	24	31	42	48	59	64	76	83	93	100

TRAMO	JR. MEDUSA-JR. GÉMINIS (000+200-000+300)										
PROGRESIVA	000+255										
NUMERO DE PASADA DEL COMPACTADOR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
MUESTRA N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

FICHA DE DATOS EN CAMPO N° 03

DATOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE CAMPO											
CONTENIDO DE HUMEDAD CON SPEEDY (%)	7.2	7.1	6.85	6.72	6.63	6.55	6.48	6.38	6.21	6.19	6.06

GRADO DE COMPACTACIÓN

MÁXIMA DENSIDAD PROCTOR (G/CM3)	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35
GRADO DE COMPACTACIÓN (%)	10	24	32	43	47	57	64	76	84	94	99

TRAMO	JR. MEDUSA-JR. GÉMINIS (000+200-000+300)										
PROGRESIVA	000+262										
NUMERO DE PASADA DEL COMPACTADOR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
MUESTRA N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
DATOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE CAMPO											
CONTENIDO DE HUMEDAD CON SPEEDY (%)	7.1	6.92	6.84	6.75	6.65	6.54	6.46	6.39	6.25	6.2	6.09

GRADO DE COMPACTACIÓN

--

FICHA DE DATOS EN CAMPO N° 03											
MÁXIMA DENSIDAD PROCTOR (G/CM3)	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35
GRADO DE COMPACTACIÓN (%)	11	25	30	42	46	58	66	77	85	95	100

TRAMO	JR. MEDUSA-JR. GÉMINIS (000+200-000+300)										
PROGRESIVA	000+290										
NUMERO DE PASADA DEL COMPACTADOR	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
MUESTRA N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
DATOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE CAMPO											
CONTENIDO DE HUMEDAD CON SPEEDY (%)	7.12	6.94	6.85	6.74	6.66	6.55	6.44	6.33	6.21	6.18	

GRADO DE COMPACTACIÓN											
MÁXIMA DENSIDAD PROCTOR (G/CM3)	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	
GRADO DE COMPACTACIÓN (%)	12	26	33	45	50	60	66	79	87	99	

FICHA DE DATOS EN CAMPO N°04												
CONTENIDO DE HUMEDAD CON SPEEDY (%)	7.68	7.5	7.44	7.22	7.08	7.05	6.9	6.82	6.74	6.66	6.5	6.4

GRADO DE COMPACTACIÓN												
MÁXIMA DENSIDAD PROCTOR (G/CM3)	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35
GRADO DE COMPACTACIÓN (%)	13	21	28	34	42	51	60	67	74	82	91	99

FICHA DE DATOS EN CAMPO N°05	
Fecha	11/09/2020
Tramo	JR. MEDUSA-JR. GÉMINIS (000+100-000+200)
Progresiva	000+102
Lado	DERECHO
Capa	BASE
Espesor de capa	20 cm
Clima	Soleado sin Lluvias

FICHA DE DATOS EN CAMPO N°05						
Hora de compactación	12:40 p. m.					
Marca equipo	INGERSOLL RAND					
Peso de equipo	12,002 kg					
Tipo de compactación	Vibrado					
NUMERO DE PASADA DEL COMPACTADOR	1	2	3	4	5	6
MUESTRA N°	1	2	3	4	5	6
DATOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE CAMPO						
CONTENIDO DE HUMEDAD CON SPEEDY (%)	6.8	6.72	6.64	6.55	6.42	6.34
GRADO DE COMPACTACIÓN						
DENSIDAD SECA (G/CM3)						
MÁXIMA DENSIDAD PROCTOR (G/CM3)	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35
GRADO DE COMPACTACIÓN (%)	23	45	60	75	87	100
TRAMO	JR. MEDUSA-JR. GÉMINIS (000+100-000+200)					
PROGRESIVA	000+135					

FICHA DE DATOS EN CAMPO N°05						
NUMERO DE PASADA DEL COMPACTADOR	1	2	3	4	5	6
MUESTRA N°	1	2	3	4	5	6
DATOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE CAMPO						
CONTENIDO DE HUMEDAD CON SPEEDY (%)	6.85	6.73	6.65	6.58	6.44	6.33

GRADO DE COMPACTACIÓN						
MÁXIMA DENSIDAD PROCTOR (G/CM3)	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35
GRADO DE COMPACTACIÓN (%)	24	44	61	76	87	99

TRAMO	JR. MEDUSA-JR. GÉMINIS (000+100-000+200)					
PROGRESIVA	000+145					
NUMERO DE PASADA DEL COMPACTADOR	1	2	3	4	5	6
MUESTRA N°	1	2	3	4	5	6

FICHA DE DATOS EN CAMPO N°05						
DATOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE CAMPO						
CONTENIDO DE HUMEDAD CON SPEEDY (%)	6.88	6.71	6.66	6.52	6.43	6.32

GRADO DE COMPACTACIÓN						
MÁXIMA DENSIDAD PROCTOR (G/CM3)	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35
GRADO DE COMPACTACIÓN (%)	23	43	60	75	88	99

TRAMO	JR. MEDUSA-JR. GÉMINIS (000+100-000+200)					
PROGRESIVA	000+178					
NUMERO DE PASADA DEL COMPACTADOR	1	2	3	4	5	6
MUESTRA N°	1	2	3	4	5	6
DATOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE CAMPO						
CONTENIDO DE HUMEDAD CON SPEEDY (%)	6.84	6.73	6.67	6.55	6.45	6.35

GRADO DE COMPACTACIÓN

FICHA DE DATOS EN CAMPO N°05						
MÁXIMA DENSIDAD PROCTOR (G/CM3)	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35
GRADO DE COMPACTACIÓN (%)	24	43	60	77	89	100

TRAMO	JR. MEDUSA-JR. GÉMINIS (000+100-000+200)					
PROGRESIVA	000+190					
NUMERO DE PASADA DEL COMPACTADOR	1	2	3	4	5	6
MUESTRA N°	1	2	3	4	5	6
DATOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE CAMPO						
CONTENIDO DE HUMEDAD CON SPEEDY (%)	6.8	6.7	6.61	6.54	6.4	6.34

GRADO DE COMPACTACIÓN						
MÁXIMA DENSIDAD PROCTOR (G/CM3)	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35
GRADO DE COMPACTACIÓN (%)	25	47	63	78	92	103

FICHA DE DATOS EN CAMPO N°06									
Fecha	10/09/2020								
Hora de compactación	02:15 p. m.								
Tramo	JR. MEDUSA-JR. GÉMINIS (000+200-000+300)								
Progresiva	000+202								
Lado	DERECHO								
Capa	BASE								
Espesor de capa	20 cm								
Marca equipo	INGERSOLL RAND								
Peso de equipo	12,002 kg								
Tipo de compactación	Estático y Vibrado								
NUMERO DE PASADA DEL COMPACTADOR	1	2	3	4	5	6	7	8	9
MUESTRA N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DATOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE CAMPO									
CONTENIDO DE HUMEDAD CON SPEEDY (%)	7.31	7.25	7.18	7.05	6.92	6.84	6.75	6.66	6.55

GRADO DE COMPACTACIÓN									
MÁXIMA DENSIDAD PROCTOR (G/CM3)	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35
GRADO DE COMPACTACIÓN (%)	13	27	34	48	56	71	79	93	100

TRAMO	JR. MEDUSA-JR. GÉMINIS (000+200-000+300)
PROGRESIVA	000+235

FICHA DE DATOS EN CAMPO N°06									
NUMERO DE PASADA DEL COMPACTADOR	1	2	3	4	5	6	7	8	9
MUESTRA N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DATOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE CAMPO									
CONTENIDO DE HUMEDAD CON SPEEDY (%)	7.3	7.22	7.17	7.06	6.94	6.85	6.74	6.64	6.51

GRADO DE COMPACTACIÓN									
MÁXIMA DENSIDAD PROCTOR (G/CM3)	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35
GRADO DE COMPACTACIÓN (%)	14	28	35	47	55	70	78	92	99

TRAMO	JR. MEDUSA-JR. GÉMINIS (000+200-000+300)								
PROGRESIVA	000+245								
NUMERO DE PASADA DEL COMPACTADOR	1	2	3	4	5	6	7	8	9
MUESTRA N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9
DATOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE CAMPO									
CONTENIDO DE HUMEDAD CON SPEEDY (%)	7.29	7.21	7.1	7.01	6.93	6.84	6.75	6.6	6.52

GRADO DE COMPACTACIÓN

FICHA DE DATOS EN CAMPO N°06									
MUESTRA N°	1	2	3	4	5	6	7	8	
DATOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS DE CAMPO									
CONTENIDO DE HUMEDAD CON SPEEDY (%)	7.29	7.19	7.1	6.95	6.9	6.81	6.73	6.65	

GRADO DE COMPACTACIÓN									
MÁXIMA DENSIDAD PROCTOR (G/CM3)	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	2.255	
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	6.35	
GRADO DE COMPACTACIÓN (%)	14	29	38	52	61	76	85	100	

Consentimiento informado

El propósito de esta ficha de consentimiento es proveer a los participantes en esta investigación con una clara explicación de la naturaleza de la misma, así como de su rol en ella como participantes.

La presente investigación es conducida por el Bach. Martin Renzo Alcoser Porras, de la Universidad Peruana los Andes. El objetivo del Estudio es Determinar la Relación existente entre el Control de la Energía Especifica en el Proceso de Compactación de campo y la Optimización de la Resistencia de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo.

Si usted accede a participar en este estudio, se le pedirá responder preguntas en una entrevista (o completar una encuesta, o lo que fuera según el caso). Esto tomará aproximadamente 45 minutos de su tiempo. Lo que conversemos durante estas sesiones se grabará, de modo que el investigador pueda transcribir después las ideas que usted haya expresado.

La participación en este estudio es estrictamente voluntaria. La información que se recoja será confidencial y no se usará para ningún otro propósito fuera de los de esta investigación. Sus respuestas al cuestionario y a la entrevista serán codificadas usando un número de identificación y, por lo tanto, serán anónimas. Una vez transcritas las entrevistas, los audios con las grabaciones serán borradas.

Si tiene alguna duda sobre este proyecto, puede hacer preguntas en cualquier momento durante su participación en él. Igualmente, puede retirarse del proyecto en cualquier momento sin que eso lo perjudique en ninguna forma. Si alguna de las preguntas durante la entrevista le parece incómodas, tiene usted el derecho de hacérselo saber al investigador o de no responderlas.

Desde ya le agradecemos su participación.

Acepto participar voluntariamente en esta investigación, conducida por el Bach. Martin Renzo Alcoser Porras. He sido informado (a) de que la meta de este estudio es

Determinar la Relación existente entre el Control de la Energía Específica en el Proceso de Compactación de campo y la Optimización de la Resistencia de Bases Granulares de Pavimentos Urbanos en la Localidad de Huancayo.

Me han indicado también que tendré que responder cuestionarios y preguntas en una entrevista, lo cual tomará aproximadamente 45 minutos.

Reconozco que la información que yo provea en el curso de esta investigación es estrictamente confidencial y no será usada para ningún otro propósito fuera de los de este estudio sin mi consentimiento. He sido informado de que puedo hacer preguntas sobre el proyecto en cualquier momento y que puedo retirarme del mismo cuando así lo decida, sin que esto acarree perjuicio alguno para mi persona. De tener preguntas sobre mi participación en este estudio, puedo contactar al Bach. Martin Renzo Alcoser Porras al teléfono 950006414.

Entiendo que una copia de esta ficha de consentimiento me será entregada, y que puedo pedir información sobre los resultados de este estudio cuando éste haya concluido. Para esto, puedo contactar a Bach. Martin Renzo Alcoser Porras al teléfono anteriormente mencionado.

Ing. Miriam Villafuerte Pacheco.

Residente de Obra.

Fecha: 01/09/20

PANEL FOTOGRÁFICO

Fotografía 1

Se puede visualizar el Cartel de Obra de la Vía en Estudio.



Fotografía 2

Primer Tramo: Jr. Medusa-Jr. Géminis (000+000-000+100).



Fotografía 3

Segundo Tramo: Jr. Géminis-Jr. Castillo Verde (000+100-000+200).



Fotografía 4

Tercer Tramo: Jr. Castillo Verde-Jr. Galaxia (000+200-000+300).



Fotografía 5

Se visualiza la Cantera Sapallanga, Miraflores-Huancayo.



Fotografía 6

Se aprecia la elaboración del Ensayo Granulométrico.



Fotografía 7

Se aprecia el equipamiento para la realización del Ensayo de Proctor Modificado y la propia ejecución del ensayo.



Fotografía 8

Presenciando el esparcido de Material de Base.



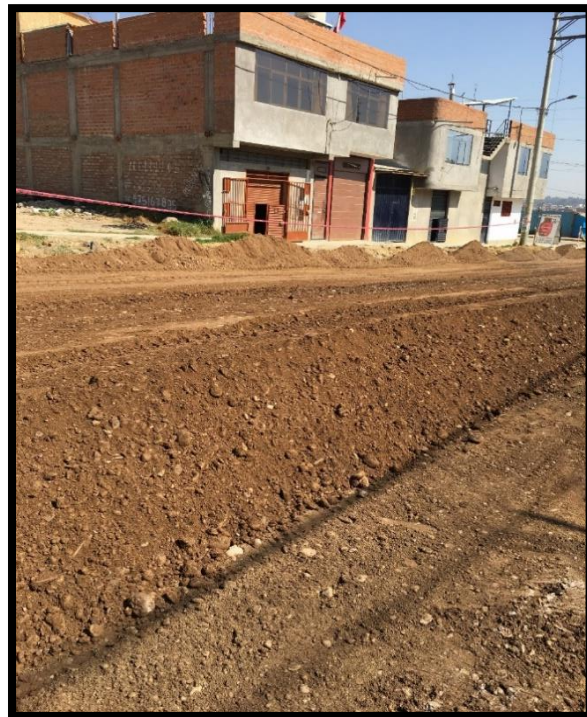
Fotografía 9

Tendido de Material de Base al 100%.



Fotografía 10

Verificación de la conformación de base de 20 cm.



Fotografía 11

Cisterna Azul capacidad de 2,000.00 Litros.



Fotografía 12

Se controló la temperatura y el horario de riego de la cisterna en el primer tramo.



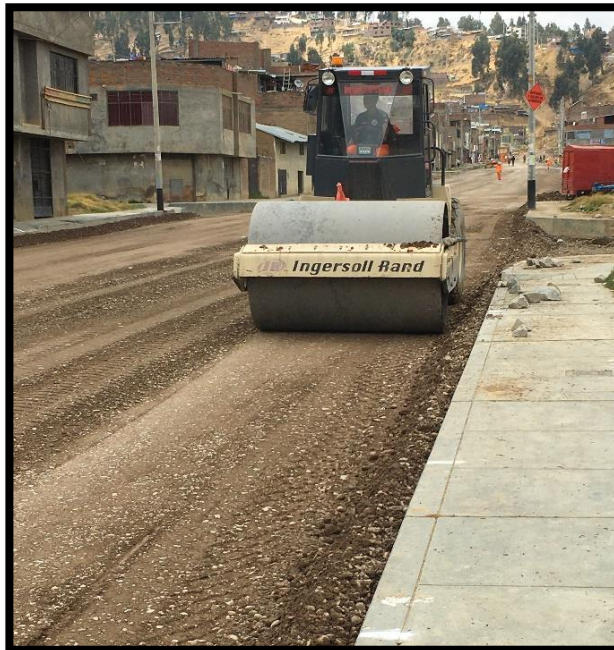
Fotografía 13

Se puede apreciar el control de los Pasadas del Rodillo Liso Vibratorio de 11,247 kg con pasadas Estáticas y vibradas sobre la base de 20 cm de material seleccionado en el Tercer Tramo de Estudio.



Fotografía 14

Se puede apreciar el control de los Pasadas del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg con pasadas Estáticas sobre la base de 20 cm de material seleccionado en el Primer Tramo de Estudio.



Fotografía 15

Se puede apreciar el control de los Pasadas del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg con pasadas Vibradas sobre la base de 20 cm de material seleccionado en el Segundo Tramo de Estudio.



Fotografía 16

Se puede apreciar el control de los Pasadas del Rodillo Liso Vibratorio de 12,002 kg con pasadas Estáticas y Vibradas sobre la base de 20 cm de material seleccionado en el Segundo Tramo de Estudio.



Fotografía 17

Reconocimiento del Tramo para la ejecución de Ensayos de campo en la Av. Orión.



Fotografía 18

Ejecución del Ensayo de Densidad de Campo mediante el Método del Cono de Arena según la Normativa MTC E 117.



Fotografía 19

Preparación de Materiales para el Ensayo de Carburo de Calcio.



Fotografía 20

Lectura del Resultado del Ensayo de Contenido de humedad mediante el Método de Carburo de Calcio según la Normativa MTC E 126.



Fotografía 21

Lectura del Resultados del Ensayo de Densidad de Campo mediante el Método de Cono de Arena en la Progresiva 000+055 del Tramo Jr. Medusa-Jr. Géminis.



Fotografía 22

Lectura del Resultados del Ensayo de Densidad de Campo mediante el Método de Cono de Arena en la Progresiva 000+102 del Tramo Jr. Medusa-Jr. Géminis.



Fotografía 23

Lectura del Resultados del Ensayo de Densidad de Campo mediante el Método de Cono de Arena en la Progresiva 000+135 del Tramo Jr. Medusa-Jr. Géminis.



Fotografía 24

Lectura del Resultados del Ensayo de Densidad de Campo mediante el Método de Cono de Arena en la Progresiva 000+190 del Tramo Jr. Medusa-Jr. Géminis.

