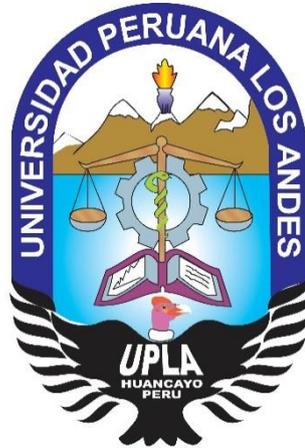


UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

ESCUELA DE POSGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**ANÁLISIS NUMÉRICO PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO
DEL CONCRETO RODILLADO EN VÍAS URBANAS DEL
VALLE DEL MANTARO**

**Para Optar : EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
INGENIERÍA CIVIL, MENCIÓN:
INGENIERÍA DE TRANSPORTES**

Autor : BACH. DAVID RAMOS PIÑAS

Asesor : Msc. STIVENS ARTURO SANABRIA SOSA

Línea de Investigación : TRANSPORTE Y URBANISMO

HUANCAYO – PERÚ

2020

JURADOS DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



DR. Eutímio Catalino Jara Rodríguez
Presidente



Dr. Rodolfo Ricardo Ribbeck Hurtado
Miembro



Dr. Juan José Bullón Rosas
Miembro



Dr. Severo Calderón Samaniego
Miembro



Dra. Melva Isabel Torres Donayre
Secretario académico

Asesor: Mg. STIVENS ARTURO SANABRIA SOSA

DEDICATORIA

Reconocer y agradecerte a ti Dios Jehová, por guiar mis pasos y bendecirme para alcanzar este sueño anhelado.

A la UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES (UPLA) por permitirme superarme y lograr ser competitivo tal como nuestro país necesita.

A la Empresa TE ESTUDIA Y CONSTRUYE por el gran apoyo con el personal profesional y técnicos especialistas en mecánica de suelos y estudios especiales que hicieron posible realizar la presente investigación.

AGRADECIMIENTO

Por su incondicional apoyo en mi formación humana y profesional.

A mi madre Esther, por su apoyo, por ser una amiga más, sobre todo por su amor.

A mi padre Macedonio, por inculcarme su constancia y perseverancia que con paciencia, valor, esfuerzo y voluntad es posible cumplir las metas más complicadas.

CONTENIDO

CARATULA	i
JURADOS	ii
ASESOR	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE	vi
CONTENIDO DE TABLAS	x
CONTENIDO DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática	16
1.2. Formulación del problema	17
1.2.1. Problema general	17
1.2.2. Problema específico	18
1.3. Justificación	18
1.3.1. Justificación social.	19
1.3.2. Justificación teórica.	19
1.3.3. Justificación metodológica	19
1.4. Objetivos	20

1.4.1.Objetivo general	20
1.4.2.Ojetivos especificos	20

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes (nacionales e internacionales)	21
2.1.1.Antecedentes internacionales	21
2.1.2.Antecedentes nacionales	23
2.2. Base Teorica	23
2.2.1.Analisis numèrico	24
2.2.1.1 Problemas que presenta el análisis numérico	24
2.2.1.2 Campos de aplicación	24
2.2.1.3.Mètodo de elementos finitos (MEF)	25
2.2.1.4.Proceso de analisis	26
2.2.1.5.Características generales del método de elemento finito.	26
2.2.1.6.Aplicaciones para el método de elementos finitos	26
2.2.1.7. Procedimiento de análisis	26
2.2.2.Concreto compactado con rodillo (CCR)	28
2.2.2.1 Ventajas del concreto compactado con rodillo (CCR)	29
2.2.2.2 Desventajas del concreto compactado con rodillo (CCR)	31
2.2.2.3Usos y aplicaciones	32
2.2.2.4 Optimizacion de costos y tiempos	33
2.2.3. La relacion suelo - concreto	34
2.2.3.1 El Principio del suelo	34
2.2.3.2 El Principio del concreto	37

2.2.4. Materiales para mezcla de concreto compactado con rodillo	38
2.2.4.1 Materiales aglutinantes (cementantes)	39
2.2.4.2 Agregados	40
2.2.4.3 Agregado grueso	41
2.2.4.4 Agregado fino	42
2.2.4.5 Granulometria de agregados	44
2.2.4.6 Agua	45
2.2.5 Ensayos de laboratorio	46
2.2.6 Fundamentos del Diseño de Mezcla del Concreto	47
2.3. Marco conceptual	49
2.3.1 Análisis numérico	49
2.3.2 Concreto compactado con rodillo	49
2.3.3 Dimensionamiento optimo	50
2.3.4 Vias urbanas del Valle del Mantaro	50
2.3.5 Diseño de pavimentos	50
2.3.6 Pavimentos rígidos	50
2.3.7 Pavimentos flexibles	51
2.3.8 Diseño de concreto	51
2.3.9 Calidad de los agregados	51
2.3.10 Encofrado	51
2.3.11 Estudio de suelos	52

CAPÍTULO III

METODOLOGIA

3.1. Diseño Metodologico	53
--------------------------	----

3.1.1 Tipo de investigacion	53
3.1.2 Nivel de investigación	54
3.1.3 Diseño de la investigacion.	54
3.2. Procedimiento del Muestreo	54
3.2.1 En recoleccion de informacion.	54
3.2.2 Procesamiento y análisis de datos.	55
3.2.2.1 Variables de la simulación	55
3.2.2.2 Parámetros geométricos	56
3.2.2.3 Parámetros geotécnicos	57
3.2.2.4 Métodos de los elementos finitos	58
3.2.3 Programa ABAQUS	58

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Esfuerzos y deformaciones	69
4.1.1 Esfuerzos en la mitad de la losa por acción de carga vehicular	70
4.2 Variación de costos	74
4.3 Variación de tiempos	77

CONCLUSIONES	81
--------------	----

RECOMENDACIONES	83
-----------------	----

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	85
----------------------------	----

ANEXOS	85
--------	----

CONTENIDO DE TABLAS

Tabla 1: Procedimiento para Análisis por el Método de Elementos Finitos en Algoritmos	27
Tabla 2: Procedimiento de Proctor estándar (NTP 339.142 – ASTM D 698 y Proctor estándar modificado	35
Tabla 3: Requisitos del Agregado Grueso para Pavimentos de Concreto Hidráulico	41
Tabla 4: Requisitos del Agregado Fino para Pavimentos de Concreto	43
Tabla 5: Requerimientos Granulometricos para Base Granular	44
Tabla 6: Requerimiento de Agua para uso en Concreto Hidráulico	46
Tabla 7: Ensayos y Frecuencias a emplearse para Base Granular	47
Tabla 8: Valores de Parámetros usados en capas de pavimento	57
Tabla 9: Cálculo del CBR de Diseño	75
Tabla 10: Resumen de trabajos de campo	76
Tabla 11: Cantidad de ensayos de laboratorio	78

CONTENIDO DE FIGURAS

Figura 1: Construcción de Represas con Concreto Compactado con Rodillo.	33
Figura 2: Curvas de Compactación Proctor Estándar y Modificado	36
Figura 3: Imagen de compactación de Proctor Modificado	37
Figura 4: Imagen de Resistencia a la Compresión de testigos	38
Figura 5: Tamaño Máximo de agregado y demanda de cemento	42
Figura 6: Recolección de Agregado Fino para su uso en la Investigación	43
Figura 7: Relación de densidad/humedad de Concreto compactado con rodillo	49
Figura 8: Estratigrafía del modelo numérico	56
Figura 9: Esquema programa ABAQUS	58
Figura 10: Vista de modelos a ser analizados	61
Figura 11: Elementos finitos utilizados	62
Figura 12: Mallas de Elementos Finitos de los elementos	63
Figura 13: Interacción entre superficies de contacto	64
Figura 14: Amplitud Vs Tiempo de carga	66
Figura 15: Amplitud Vs Tiempo de rodadura	67
Figura 16: Punto de referencia de rodadura	68
Figura 17 Modelo por el Método de elementos finitos	69
Figura 18 Puntos de los ejes de análisis	70
Figura 19 Paths de análisis	71
Figura 20: Profundidad Vs Deformación Vertical	72
Figura 21: Profundidad Vs Deformación Vertical	73

RESUMEN

En este trabajo de Investigación titulado: Análisis Numérico para Dimensionamiento Óptimo del Concreto Rodillado en Vías Urbanas del Valle del Mantaro, se elaboró el siguiente problema: ¿Se podrá determinar el dimensionamiento óptimo del Concreto Rodillado mediante análisis numérico empleando el método de elementos finitos en vías urbanas del Valle del Mantaro?, se definió el objetivo de determinar el dimensionamiento óptimo del Concreto Rodillado mediante análisis numérico usando elementos finitos en la pavimentación de vías urbanas y carreteras en condiciones del Valle del Mantaro, asimismo se planteó la hipótesis: Si es posible determinar el dimensionamiento óptimo del concreto rodillado mediante análisis numérico en la pavimentación de vías urbanas y carreteras en condiciones del Valle del Mantaro.

El tipo de investigación es Aplicado, mediante el cual se investiga un procedimiento demostrativo de determinar los espesores óptimos del concreto compactado con rodillo mediante análisis numérico.

Se concluyó que las deformaciones van disminuyendo en relación a la profundidad, teniendo como máximas deformaciones en la superficie de análisis y las mínimas deformaciones casi nulas a 1.20 m aproximadamente. De las gráficas analizadas para cada path de análisis son casi aproximadas, las cuales tienen diferenciación entre ellas debido a los tiempos de análisis para la rodadura del eje.

PALABRAS CLAVE: análisis numérico, concreto rodillado, dimensionamiento óptimo.

ABSTRACT

In this research work entitled: Numerical Analysis for Optimal Sizing of Rolled Concrete in Urban Roads of the Mantaro Valley, the following problem was elaborated: Can the optimal dimensioning of Rolled Concrete be determined by numerical analysis using the finite element method in tracks of the Mantaro Valley?, the objective of Determining the optimal dimensioning of Rolled Concrete was defined by numerical analysis using finite elements in the paving of urban roads and roads under conditions of the Mantaro Valley, the hypothesis was also raised: If it is possible to determine the optimal sizing of the kneeling concrete by means of numerical analysis in the paving of urban roads and highways in conditions of the Mantaro Valley.

The type of investigation is applied, by means of which a demonstrative procedure of determining the optimum thicknesses of the concrete compacted with roller by means of numerical analysis is investigated.

It was concluded that the deformations are decreasing in relation to the depth, having as maximum deformations in the analysis surface and the minimum deformations almost zero at approximately 1.20 m. Of the graphs analyzed for each analysis path are almost approximate, which have differentiation between them due to the analysis times for the axis rolling.

KEYWORDS: numerical analysis, kneeling concrete, optimal sizing.

INTRODUCCIÓN

En la presente investigación se efectuó el análisis numérico para determinar el dimensionamiento óptimo del concreto compactado con rodillo en las Vías Urbanas del Valle del Mantaro, debido a que representa una nueva metodología en pavimentos rígidos y que además representa beneficios en transmisión de esfuerzos y deformaciones, costos y tiempos respecto a la metodología convencional, lo cual representa una alternativa rentable para la pavimentación de vías urbanas en el Valle del Mantaro, se empleó el programa ABAQUS que trabaja en función a elementos finitos que permiten realizar el análisis numérico de los esfuerzos y deformaciones. El contenido de los capítulos de la investigación es:

En el Capítulo I: Problema de la Investigación, se aborda el Planteamiento del Problema, asimismo se formulan el Problema general y los Problemas específicos, Se formula también el objetivo general y los objetivos específicos; y se finaliza con la Justificación e importancia del estudio.

El Capítulo II: Marco Teórico, se mencionan los Antecedentes del Estudio a nivel internacional, nacional y local; se desarrolla la Base Teórica, la Definición de Términos; se plantean la Hipótesis General y las Hipótesis Específicas; y se concluye con el Sistema de Variables empleadas en este trabajo de investigación.

En el Capítulo III: Metodología, se desarrolla el Tipo y Diseño de la investigación, el lugar y periodo de ejecución, se determina la población y muestra, se desarrollan también los métodos y técnicas.

El Capítulo IV: Resultados, se efectúa la presentación de resultados obtenidos en tablas y gráficos, los cuales son el resultado del modelamiento

empleando el método de elementos finitos para determinar el óptimo dimensionamiento del concreto rodillado en vías urbanas del Valle del Mantaro.

En el Capítulo V: Discusión, se realiza la discusión de los resultados obtenidos del modelamiento empleando el método de elementos finitos para determinar el óptimo dimensionamiento del concreto rodillado en vías urbanas del Valle del Mantaro.

Finalmente, el presente trabajo de investigación concluye con las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y Anexos

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

Para Dimensionamiento Óptimo Del Concreto Rodillado En Vías Urbanas Del Valle Del Mantaro”, esta investigación será de gran beneficio en la construcción de vías urbanas en cualquier lugar ya que el trabajo de investigación permitirá determinar el dimensionamiento optimo del concreto rodillado, lo cual implica determinar la máxima longitud en la que el Concreto Rodillado es óptimamente aplicable asimismo determinar el espesor ideal, por lo tanto es oportuno mencionar que el concreto rodillado significa un considerable ahorro en costos y tiempos durante la construcción ya que no se tendrá que emplear madera para encofrado, ni juntas de dilatación, ni la mano de obra en tales partidas, Por lo tanto, determinar el dimensionamiento optimo del concreto rodillado tanto en su longitud y espesor, resulta indispensable

para la aplicación de esta metodología, la determinación de dicho dimensionamiento óptimo será efectuada mediante análisis numérico.

En tal sentido, es preciso conocer las atribuciones del concreto rodillado en condiciones del Valle del Mantaro a fin de que se informe a las autoridades de turno en los Gobiernos Nacionales, Gobiernos Regionales, Gobiernos Locales, profesionales a cargo de unidades ejecutoras, y entidades privadas para su aplicación de los pavimentos con concreto rodillado y con ello incentivar la aplicación de esta metodología que permita la inversión a un presupuesto de bajo costo y en un tiempo de ejecución corto, sin el temor de “fracasar” por efectuar un procedimiento hasta ahora no convencional en nuestro medio, debido a que la tecnología de concreto rodillado planteadas en este trabajo de tesis no se han empleado en la zona, por lo tanto no hay un modelo de obra demostrada, aunque es muy común el empleo del concreto portland convencional, y es precisamente que nos interesa conocer la influencia que tiene la aplicación del concreto rodillado en el Valle del Mantaro referente a los costos y tiempos de ejecución de obra.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general.

¿Se podrá determinar el dimensionamiento óptimo del Concreto Rodillado mediante análisis numérico usando el método de elementos finitos en vías urbanas y carreteras en condiciones del Valle del Mantaro?

1.2.2. Problema específico.

- ¿Cuál es la influencia en la transmisión de esfuerzos y deformaciones del Concreto Rodillado en la estructura del pavimento usando el método de elementos finitos la pavimentación de vías urbanas y carreteras en condiciones del Valle del Mantaro?
- ¿Cuál es la variación de costos en el dimensionamiento óptimo del Concreto Rodillado mediante análisis numérico usando el método de elementos finitos en la pavimentación de vías urbanas y carreteras condiciones del Valle del Mantaro?
- ¿Cuál es la variación de tiempos en el dimensionamiento óptimo del Concreto Rodillado mediante análisis numérico usando el método de elementos finitos en la pavimentación de vías urbanas y carreteras en condiciones del Valle del Mantaro?

1.3. Justificación

En el Aspecto Social, en nuestro país la utilización de carreteras asfaltadas es de común uso y en algunas ciudades el uso del concreto convencional, pero no se tiene antecedentes de la aplicación de la tecnología de concreto rodillado (CCR) en carreteras y vías urbanas, como lo vienen haciendo en otros países.

En el aspecto Científico o Técnico es frecuente el uso del concreto rodillado en la construcción de presas, lo que facilita la aceleración de trabajo con una reducción significativa de costos y tiempos, mientras que en la

aplicación en pavimentaciones con concreto rodillado (CCR) es una metodología aún no se empleada en nuestro país.

1.3.1. Justificación social.

Esta investigación se da por la necesidad obtener un buen dimensionamiento mediante simuladores y por el análisis numérico y llegar a tener el óptimo concreto rodillado para las vías urbanas en el Valle del Mantaro.

Se pretende brindar tecnologías que garantiza la longibilidad del concreto en pavimentos y den confort al usuario de las vías urbanas que trasciende en sus habitantes que interactúan en condición de “conductores de unidades vehiculares” como pasajeros y como peatones.

1.3.2. Justificación teórica.

Esta investigación tiene como propósito ampliar el conocimiento técnico a nivel de docentes y estudiantes de las universidades e institutos especializados, sobre el dimensionamiento del concreto rodillado.

1.3.3. Justificación metodológica.

En el aspecto Metodológico, el uso de pavimentos asfálticos en carreteras y vías urbanas denotan una duración corta en relación con los pavimentos de concreto hidráulico, que a correr el tiempo resultan caro por el costo en el mantenimiento.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general.

Determinar el dimensionamiento óptimo del Concreto Rodillado mediante análisis numérico por el método de elementos finitos en la pavimentación de vías urbanas y carreteras en condiciones del Valle del Mantaro.

1.4.2. Objetivos específicos.

- Determinar la variación de esfuerzos y deformaciones en el paquete estructural del dimensionamiento óptimo del Concreto Rodillado mediante análisis numérico usando el método de elementos finitos en la pavimentación de vías urbanas y carreteras en condiciones del Valle del Mantaro.
- Determinar la variación de costos en el dimensionamiento óptimo del Concreto Rodillado mediante análisis numérico usando el método de elementos finitos en la pavimentación de vías urbanas y carreteras en condiciones del Valle del Mantaro.
- Identificar la variación de tiempos en el dimensionamiento óptimo del Concreto Rodillado mediante análisis numérico usando el método de elementos finitos en la pavimentación de vías urbanas y carreteras en condiciones del Valle del Mantaro.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes (nacionales e internacionales)

2.1.1 Antecedentes internacionales

Ríos Gallardo (2004) nos dice: “La Utilización De Pavimentos De Concreto Rodillado (Pcr) Para La Construcción De Calles y Carreteras en Guatemala, planteó los objetivos: i) Exponer el conocimiento del sistema de pavimentación utilizando concreto compactado con rodillo. ii) Mostrar las características de las mezclas de concreto para la pavimentación convencional y las utilizadas para compactar con rodillo. iii) Determinar la metodología de pavimentación, tipos de plantas y maquinaria para este sistema constructivo. Así también llegó a las siguientes conclusiones: i) Las propiedades más significativas en el concreto compactado con rodillo son las mismas que para el concreto convencional, y si bien se reconoce que la resistencia a la

comprensión es la característica más representativa del concreto, hay otras muy importantes como el módulo de elasticidad, la resistencia a tracción y al corte, los cambios de volumen, la permeabilidad, la durabilidad, etc. ii) Los menores contenidos de agua y de pasta en el concreto compactado con rodillo, respecto al concreto convencional, son los responsables de las diferencias en el comportamiento entre ambos concretos. Por fortuna para el desarrollo de esta técnica los efectos de las variaciones de las proporciones de agua, pasta y agregados ya han sido estudiados ampliamente. iii) En el concreto compactado con rodillo aplicado en la pavimentación existen dos propiedades que son preponderantes: la resistencia a los esfuerzos por flexión y la resistencia a la fatiga, debido a su incidencia en el espesor del pavimento.” (Gallardo, 2004)

Rocha Pitta (2010) nos dice: “Estado Del Arte De Los Pavimentos De Concreto Compactado Con Rodillo, se planteó el siguiente objetivo: i) Alcanzar la composición más económica que compatibilice los materiales disponibles, las máquinas de construcción y las condiciones de la obra con las exigencias del cálculo estructural previstas en el proyecto. En dicha composición deben determinarse las cantidades de materiales por metro cúbico de CCR (cemento, arena, agua, grava(s) y cuando es necesario de aditivo), que permitan alcanzar las características de proyecto del CCR. Así también llegó a la siguiente conclusión: ii) Es importante controlar la fisuración del CCR a edades tempranas, la cual es causada principalmente por tensiones provenientes

del calor de hidratación del cemento, recomendándose estabilizar las bases con cemento.” (Pitta, 2010)

2.1.2 Antecedentes nacionales.

“Curasi Curasi” (2008) nos dice: “Diseño Del Concreto Compactado Con Rodillo (Ccr), Para Presas En La Región De Junín, se planteó los siguientes objetivos: i) Objetivo General. Diseñar un concreto compactado con Rodillo para Presas en la Región de Junín que logren una resistencia óptima. ii) Objetivos Específicos: • Determinar el contenido de humedad óptimo para un concreto compactado con rodillo. • Determinar las resistencias del concreto compactado con rodillo endurecido a diferentes proporciones de mezcla de concreto. Así también llegó a la siguiente conclusión:

Los resultados de los ensayos indican que el diseño de mezclas y la preparación de especímenes usando técnicas de compactación de suelos en laboratorio provee una alternativa viable para evaluar la mezcla de CCR como alternativa en la construcción de Presas en la Región de Puno, lo cual la dosificación en volumen del CCR es: 1 p³ cemento, 2.92 p³ de agregado fino, 2.86 p³ de agregado grueso, 0.58 p³ de arena y 23.03 litros de agua, para un $f'c = 210 \text{ Kg/}$, de la cantera de Cutimbo.” (Curasi, 2008).

2.2 Base Teórica

2.2.1 Análisis numérico.

Se entiende por análisis numérico al método usado por la ingeniería, que sirve para la obtención de soluciones precisas, se emplea en casos que no arrojan valores exactos sino intervalos aproximados que sintetizan todos los resultados experimentales obtenidos. Proporciona el desarrollo de procesos matemáticos usando algoritmos de simulación o cálculo en procesos más sencillos.

2.2.1.1 Problemas que presenta el análisis numérico

- **Problemas de dimensión finita:** Son los que tienen como respuesta una cantidad determinada de números.
- **Problemas de dimensión infinita:** Aquellos problemas cuya respuesta o solución una cantidad infinita de números.

2.2.1.2 Campos de aplicación.

- Cálculo de los valores de una función.
- En aplicación para la ingeniería Civil es amplia:
 - En Columnas de edificaciones: modelamiento de columnas de diversas longitudes.
 - Uso de la fórmula de Euler para la fuerza crítica; Fórmula para elementos cortos sometidos a compresión.

$$\sigma_c = \frac{P}{A} + \frac{M_c}{I} = \frac{P}{A} + \frac{P_{ec}A}{IA} = \frac{P}{A} \left(1 + \frac{ec}{k^2}\right)$$

- Diagrama de flujo para el método de NEWTON RAPHSON.
- Programas del método NEWTON RAPHSON.

2.2.1.3 Método de elementos finitos (MEF)

- Este método es una solución aproximada de las ecuaciones diferenciales los que se utilizan ampliamente para la resolución de problemas de análisis estructurales o los que se pueden formular por una minimización de un cálculo funcional o variacional.
- Es un método eficaz de análisis que brinda soluciones aproximadas a una amplia gama de problemas mecánicos en el continuo. El fundamento es que una posible solución puede ser modelada de manera analítica, sustituyéndola por una matriz de elementos discretos.
- El método se basa en la división de la estructura de cuerpo sobre la que se plantean modelos que caracterizan el actuar físico del problema, no intersectan unos a otros subdominios llamados elementos finitos.

2.1.1.4 Proceso de análisis.

Este método surge en la década de los 60's, planteado por Isaac Newton en cálculo integral y diferencial desde 1943 para uso estructural, que permitía modelar sólidos sujetos a esfuerzos.

2.1.1.5 Características generales del método

Existen dos aspectos generales para entender y aplicar este sistema:

El primero es el método de fuerza o flexibilidad, refiere al uso de fuerzas internas tales como las variables del problema.

2.1.1.6 Aplicaciones para el Método de Elementos Finitos

Su aplicación es en muchos campos debido a su facilidad de simular cualquier tipo de variable.

El propósito es encontrar los esfuerzos y deformaciones del concreto rodillado en relación a su longitud como un solo cuerpo rígido y su espesor.

2.1.1.7 Procedimiento de análisis por el Método de Elementos Finitos en Algoritmos

Las actividades consideradas son: Pre-procesamiento, procesamiento y post-procesamiento.

Tabla 1

Procedimiento para Análisis por el Método de Elementos Finitos en Algoritmos

Pre-procesamiento	Procesamiento	Post-procesamiento
SuperDraw - Elaboración del sistema geométrico. - Ingreso de referencias en frontera. - Ingreso de cargas	Algoritmos (dependiendo del análisis que se requiera en el modelamiento, pueden emplearse análisis dinámicos o estáticos)	SuperView - Revisión de la geometría del modelo - Se chequean las cargas
Decorer - Se asignan las propiedades del material.		Se analizan los resultados: - Esfuerzos - Desplazamientos - Temperaturas

- **Discretizar o modelar la estructura**

Este paso determina la precisión de la solución del problema, el cual se efectúa en el pre-procesador Superdraw que es una herramienta de apoyo para elaborar el mallado.

- **Definición de las propiedades de los elementos**

Se fijan las propiedades de los elementos y se elige el elemento para simulación.

- **Ensamblaje de las matrices de rigidez**

Se da en condiciones de equilibrio, de su propia energía o de otro.

- **Aplicación de cargas**

Serán aplicadas todas las cargas externas, en este caso procedentes de valores representativos de los vehículos

expresadas en ejes equivalentes, los mismos que pueden ser concentradas, distribuidas, momentos, etc.

- **Definición de condiciones de fronteras**

Los desplazamientos se insertan en cantidades que se conocen.

- **Solución de ecuaciones algebraicas lineales**

Los desplazamientos son desconocidos, por lo tanto, es necesaria la aplicación secuencial que proyectan a un sistema de ecuaciones simultáneas.

- **Cálculo de los esfuerzos**

El programa está diseñado para calcular y mostrar reacciones, vibraciones u otras informaciones.

2.2.2 Concreto compactado con rodillo (CCR)

Es un concreto seco, que no presenta slump, no requiere altas cantidades de cemento que varían entre 60 y 240 kg/m³ y que necesariamente requiere compactación. La mencionada mezcla requiere mínima humedad que no permita el hundimiento de los equipos requeridos, pero también debe haber tal humedad que garantice la calidad de ejecución.

2.2.2.1 Ventajas del concreto compactado con rodillo (CCR).

Inicialmente empleado para la conformación de muros de represas, con las siguientes ventajas:

- Técnicas de construcción rápida, implica una colocación casi ininterrumpida del concreto.
- Alta capacidad de soporte inicial, que permite que el suelo sea liberado para el tráfico después de su conclusión
- El cemento puede estar con alto contenido de gris volante o escoria.
- El Concreto Compactado con Rodillo (CCR) es producido y colocado usando equipos comunes y ampliamente utilizados en empresas de construcción, como la fabricación en plantas de concreto continuas o discontinuas.
- Pavimentos de Concreto Compactado con Rodillo usa insumos convencionales y maquinas en una metodología no común, lo que resulta en un ahorro de tiempo en la ejecución del pavimento, influyendo a gran escala en el presupuesto de ejecución.
- En el caso de trabajos menores sujetos a tráfico leve, el Concreto Compactado con Rodillo (CCR) se puede colocar con equipos tradicionales.
- Para trabajos mayores, con tráfico medio, y un buen acabado de superficie es requerido, el equipo usado puede ser

utilizando la pavimentadora de asfalto (pavimentadora vibratoria de rodillos y de rodillos de neumático).

- En general, se convierte en una técnica híbrida entre las técnicas de bases tratadas y pavimentos de concreto. Permite superar una serie de limitaciones que se presentan como bases o como concreto convencional.
- En relación al cemento-grava, al reducir la relación agua / cemento, la retracción hidráulica es menor, de forma que la separación entre las grietas es mucho menor de lo usual.
- Curado con agua, emulsión asfáltica o compuesto de curación
- El menor costo de ejecución que supone cuando no es necesario usar una máquina especial o cantidades de encofrado.
- Con el Concreto Compactado con Rodillo (CCR) soporta materiales con granulometría, plasticidad y otras características exigidas por el hormigón clásico o convencional.

Por lo anteriormente mencionado, el Concreto Compactado con Rodillo (CCR) se convierte en un insumo de construcción interesante para pavimentaciones de vías urbanas.

2.2.2.2 Desventajas del concreto compactado con rodillo (CCR).

En este procedimiento de Concreto Compactado con Rodillo (CCR) también hay desventajas, como se describe a continuación:

- Las estructuras internas son vulnerables al impacto de las heladas provocadas durante las estaciones en el caso de concreto saturado.
- Es necesario un estricto control sobre la elaboración de la mezcla y en el sitio, principalmente la sensibilidad a la humedad, el acabado de la superficie y la resistencia.
- En caso de que un pavimento terminado, que cumple rol de revestimiento, es insuficiente, sufrirá un desgaste superficial acelerado.
- No es tan estético y liso como el concreto convencional cuando se extiende con los grados del motor, muestra una regularidad de la superficie deficiente, por lo que se recomienda volver a perfilar a menos que se use un pavimento asfáltico.
- Con equipos de uso frecuente en terraplenado, un acabado de superficie exigente de Concreto Compactado con Rodillo (CCR) es complicado de realizar para satisfacer las demandas de las principales vías.
- De requerirse obtener un grado de compactación elevado para alcanzar la resistencia óptima, si no hay equipo adecuado

disponible, un gran número de pases debe ser hecho con un rodillo vibrador.

- Necesidad de colocar una capa de laminación de asfalto para tráfico importante. (Bonilla Rodríguez y García Pinto).

2.2.2.3 Usos y aplicaciones.

El uso de CCR debe considerarse en casos de que se encuentre en el rango presupuestal con otras metodologías de construcción. Este hormigón es principalmente empleado para:

- Represas hidroeléctricas.
- Pavimentaciones.
- Diques (de gravedad).
- Losas Industriales con cargas a la flexión.
- Bacheos.
- Gran incidencia
- En la construcción de presas.



Figura 1: *Construcción de represas con Concreto Compactado con Rodillo*

Las represas de rodillo concreto compactado se proyectan y construyen en gran cantidad de países, lo interesante de este tipo de represas es la creciente aceptación de su uso como un concreto macizo, reducción de tiempos de construcción, escasa cantidad de cemento y su humedad cero.

2.2.2.4 Optimización de costos y tiempos.

El procedimiento de construcción con Concreto Compactado con Rodillo (CCR) en pavimentos es tal que puede ser propuesto como una alternativa en relación a los pavimentos de concreto hidráulicos convencionales, con base en las siguientes consideraciones:

La técnica de ejecución rápida (comparada con la de pavimentos de hormigón hidráulico convencional) provocan

mayores ahorros. El proceso de ejecución incentiva la colocación continua del material, acarreado la posibilidad de altas velocidades de producción que afectan la reducción de tiempo considerable que puede alcanzar una relación de 10 a 1 en relación al concreto hidráulico convencional con moldes.

2.2.3 La relación suelo - concreto.

2.2.3.1 El principio del suelo

Si el material utilizado en Concreto Compactado con Rodillo (CCR) es un complemento, agregados cemento, entonces se debe encontrar la relación de humedad de densidad en el suelo del laboratorio de mecánica o en el concreto hecho para que un piso alcance la densidad y humedad óptimas, y luego se puede comparar el esfuerzo de compactación de campo. El campo de densidad similar al óptimo contenido de humedad se logra en el laboratorio. Cabe señalar que el cemento, el agua y otros rellenos no cubren el 100% de los espacios entre los ensamblajes del cuerpo después de la compresión.

El proceso de compresión es similar (por no decir el mismo) al que se realiza en el suelo cuando el proceso de obtención de la densidad máxima determina el número de golpes, un peso apropiado del peso del martillo y el porcentaje de agua.

La relación entre el procedimiento de Proctor estándar (NTP 339.142 – ASTM D 698 y Proctor estándar modificado (NTP 339.141; ASTM D1557) consiste en utilizar moldes adecuados según su granulometría y tamaño de molde y número de golpes, según se muestra en el siguiente cuadro:

Tabla 2

Procedimiento de Proctor estándar (NTP 339.142 – ASTM D 698 y Proctor estándar modificado (NTP 339.141; ASTM D1557)

Designación ASTM	Designación AASHTO	Energía	Diámetro y Volumen del Molde	Peso del martillo y altura de caída	Numero de capas y golpes por capa	Límites de tamaño superior de partículas
D698 (A) (B) (C)	T 99 (A)	12375	4 in 0.033	5.5 lb 12 in	3 25	No 4
	(B)	12375	4 in 0.033	5.5 lb 12 in	3 25	No 4
	(C)	12320	6 in 0.035	5.5 lb 12 in	3 56	3/4"
D1557 (A) (B) (C)	T 180 (A)	56250	4 in 0.033	10 lb 18 in	5 25	No 4
	(B)	56250	4 in 0.033	10 lb 18 in	5 25	No 4
	(C)	56000	6 in 0.035	10 lb 18 in	5 56	3/4"

De estos procedimientos se originan las máximas densidades de compactación, el mismo que es graficado de la siguiente manera:

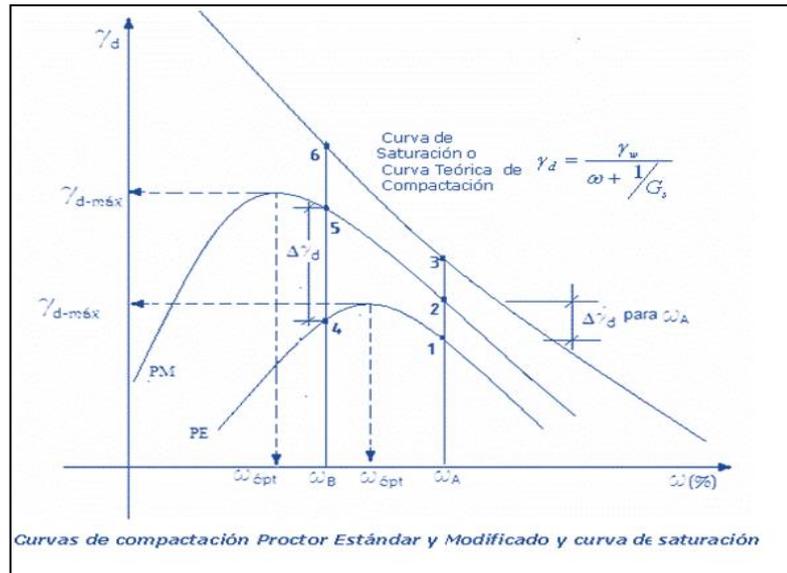


Figura 2: Curvas de Compactación Proctor Estandar y Modificado y Curva de Saturación

Un método que se emplea para corroborar que el ensayo de compactación efectuado en laboratorio está bien elaborado es mediante procedimiento gráfico, la curva de compactación debe mantenerse a la izquierda de la línea de saturación, la cual se expresa en una ecuación lineal.

Si la gráfica de compactación se encuentra a lado derecho de la línea de saturación entonces se afirma que el ensayo efectuado en laboratorio está bien elaborado, cumple con los cálculos, mediciones y procedimientos de ensayo.



Figura 3: Imagen de compactación de Proctor Modificado

2.2.3.2 El principio del concreto.

El Principio “concreto” considera la mezcla de Concreto Compactado con Rodillo como un concreto real con resistencia determinada. Es decir, asumiendo un lastre puro y resistente, inversamente proporcional a la resistencia del concreto, consolidó completamente la relación entre el agua y el cemento. El uso de menor cantidad de agua con una dosificación no variable de cemento proporciona un hormigón con alta resistencia a la compresión.

El enfoque particular se basa en el fundamento de que una masa de Concreto Compactado con Rodillo (CCR) llena todas las cavidades en la unidad, de modo que el material se compactó eficientemente, produciendo un concreto con cero mediciones. No obstante, un Concreto Compactado con Rodillo (CCR) en

exceso de pasta que produce una pasta ligera o en exceso medible que se lleva a la superficie con solo unos pocos pasos de barra de vibración.

Además de estos principios suelo – concreto que surgieron para realizar la mezcla, los diseños de Concreto Compactado con Rodillo (CCR) y, en consecuencia, los estanques se dividieron antes, estanques de Concreto Compactado con Rodillo (CCR) con pasta de contenido de medios de 100 a 149 kg / m³), daños en baja masa (contenido de cemento <99 kg / m³) y Dams Hardfill (material obtenido de Concreto Compactado con Rodillo (CCR) con un contenido de cemento muy bajo).



Figura 4: Imagen de Resistencia a la Compresion de testigos.

2.2.4 Materiales para mezcla de concreto compactado con rodillo.

Cuando se trata de materiales involucrados en la preparación de concreto rodillado, es en este caso material clasificado de canteras cuyas características cumplan con especificaciones técnicas para base o sub

base de pavimentos y7o también las que cumplan las características de material agregado para uso en concreto hidráulico (razón de decir Concreto Compactado con Rodillo (CCR)) que se refieren a los mismos materiales involucrados en el hormigón normal.

2.2.4.1 Materiales aglutinantes (cementantes).

Es necesario considerar el tipo de cemento que se empleará, así como puzolanas, cuyo contenido afecta directamente el índice de hidratación y la resistencia. Al trabajar en carreteras, la necesidad de Concreto Compactado con Rodillo (CCR) es lo suficientemente grande.

Para el Concreto Compactado con Rodillo (CCR) considerando la producción en masa es decir en cantidades significativas, se puede utilizar cualquier tipo de cemento portland, en este caso, se considera teniendo en cuenta el bajo calor de hidratación, en comparación con el cemento del tipo I, la preferencia al tipo II de cemento Portland tiene características de baja generación de calor al principio de la edad que puede tomar el tiempo necesario para el proceso de compactación con el rodillo vibratorio y el tipo V (resistencia sulfato), la resistencia de estos cementos es usualmente menor que la de tipo I en edad joven, sin embargo que eventualmente se obtienen altas resistencias. Por otro lado, el uso de cemento Portland tipo III no es práctico, pues reduce el tiempo destinado para compactación.

2.2.4.2 Agregados.

Es necesario que los agregados cumplan con los requerimientos de calidad, se debe triturar el material en una planta de trituración de agregados y haber determinado su compacidad, resistencia a abrasión, Resistencia química y demás requerimientos estipulados en la NTP 337.441.

La mayoría de las mezclas de agregados para concreto hidráulico con aproximación a los materiales seleccionados de cantera para emplearlo como base o sub base, presentan mayor proporción de finos en comparación con el contenido de mezclas de concreto convencionales. Si el material no es plástico, llenan los huecos en la unidad, reducen la demanda de agua y mejoran la compresión.

Debe verificarse que el material cumpla con las siguientes propiedades técnicas:

- Contar con resistencia para que no se dañe al comprimir con el rodillo de vibración.
- El tamaño máximo de la unidad gruesa no debe ser tan alto para evitar la posibilidad de segregación durante el transporte de Concreto Compactado con Rodillo.

2.2.4.3 Agregado grueso

Viene a ser la parte del agregado retenido en la malla No. 4. El referido agregado debe venir principalmente del aplastamiento de bolonería; sus fragmentos deben ser limpios, resistentes y duraderos. El agregado grueso también debe cumplir con especificaciones de calidad indicados en la siguiente tabla.

Tabla 3

Requisitos del Agregado Grueso para Pavimentos de Concreto Hidráulico (EG – 2013)

Requisitos del agregado grueso para pavimentos de concreto hidráulico

Ensayo	Norma MTC	Norma NTP	Requisito	
Dureza				
Desgaste en la máquina de Los Ángeles	MTC E 207	NTP 400.019 NTP 400.020	40	
Durabilidad				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, % máximo > 3 000 msnm.	- Sulfato de sodio	MTC E 209	NTP 400.016	12
	- Sulfato de magnesio	MTC E 209	NTP 400.016	18
Limpieza				
Terrones de arcilla y partículas deleznable, % máximo	MTC E 212	NTP 400.015	3	
Carbón y lignito, % máximo	MTC E 211	NTP 400.023	0,5	
Geometría de las partículas				
Partículas fracturadas mecánicamente (una cara), % mínimo	MTC E 210	D – 5821 (*)	60	
Partículas chatas y alargadas (relación 5:1) , % máximo	-, -	NTP 400.040	15	
Características químicas				
Contenido de sulfatos, expresado como SO_4^{2-} , % máximo.	-, -	NTP 400.042	1,0	
Contenido de cloruros, expresado como Cl^- , % máximo.	-, -	NTP 400.047	0,1	

(*) ASTM D-5821

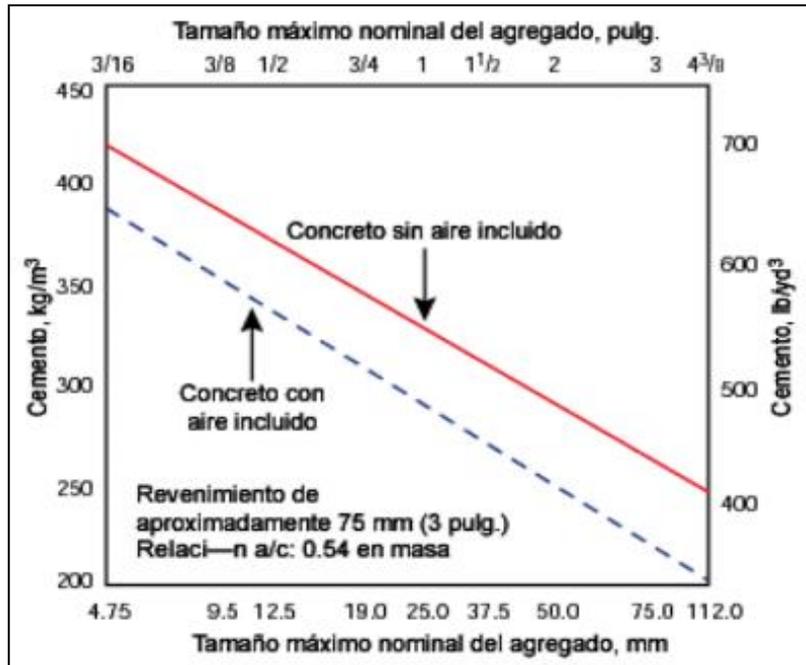


Figura 5: Tamaño Máximo de agregado y demanda de cemento

2.2.4.4 Agregado fino

Viene a ser la fracción que pasa el tamiz de 4,75 mm (No. 4). Su procedencia puede ser arenas naturales o del trituramiento de piedras, grava, escoria de acero u otro producto adecuado. El valor del agregado fino no puede ser más del 30%. El agregado fino debe satisfacer la exigencia granulométrica indicada en la Tabla 438-03. Además, su módulo de fineza debe estar entre 2,3 y 3,1.

Tabla 4

Requisitos del Agregado Fino para Pavimentos de Concreto Hidráulico (EG – 2013)

Requisitos del agregado fino para pavimentos de concreto hidráulico

Ensayo	Norma MTC	Norma NTP	Requisito	
Durabilidad				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, % máximo ≥ 3000 mm	- Sulfato de sodio	MTC E 207	NTP 400.016	10
	- Sulfato de magnesio	MTC E 209	NTP 400.016	15
Limpeza				
Índice de plasticidad, % máximo	MTC E 111	NTP 339.129	No plástico	
Equivalente de arena, % mínimo	F _c ≤ 21 MPa (210 kg/cm ²)	MTC E 114	NTP 339.146	65
	F _c > 21 MPa (210 kg/cm ²)	MTC E 114	NTP 339.146	75
Terrones de arcilla y partículas deleznales, % máximo	MTC E 212	NTP 400.015	3	
Carbón y lignito, % máximo	MTC E 211	NTP 400.023	0,5	
Material que pasa el tamiz de 75 µm (N.º 200), % máximo	MTC E 202	NTP 400.018	3	
Contenido de materia orgánica				
Color más oscuro permisible	MTC E 213	NTP 400.024	Igual a muestra patrón	
Características químicas				
Contenido de sulfatos, expresado como SO ₄ ²⁻ , % máximo.	--	NTP 400.042	1,2	
Contenido de cloruros, expresado como Cl ⁻ , % máximo.	--	NTP 400.042	0,1	
Absorción				
Absorción de agua, % máximo	MTC E 205	NTP 400.022	4	



Figura 6: *Recolección de Agregado Fino para su uso en la Investigación.*

2.2.4.5 Granulometría de agregados

A fin de evitar costos mayores se debe buscar el uso exclusivo de materiales locales o el sitio de construcción más cercano.

Se puede utilizar materiales de procedencia natural ó piedra triturada. muy limpio, y algunos "fina" (estas partículas de tamaño inferior a 74 μm es decir pasantes de malla N° 200) no debe ser arcilla plástica. Ello es debido a que la arena triturada en las canteras, puede contener algunos finos de arcilla, y que que emplean su uso en los recubrimientos de asfalto. El tamaño máximo es importante debido a la segregación y los problemas de acabado de la superficie.

Tabla 5

*Requerimientos Granulométricos para Base Granular
(EG – 2013)*

Requerimientos granulométricos para base granular

Tamiz	Porcentaje que pasa en peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm. (2")	100	100		
25 mm. (1")		75-95	100	100
9,5 mm. ($\frac{3}{8}$ ")	30-65	40-75	50-85	60-100
4,75 mm. (N.º 4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2,0 mm. (N.º 10)	15-40	20-45	25-50	40-70
425 μm . (N.º 40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 μm . (N.º 200)	2-8	5-15	5-15	8-15

Fuente: ASTM D 1241

A partir de las informaciones obtenidas en esta tabla, nuestro experimento se basará en la aplicación de patrones peruanos usando la gradación D, ya que está más cerca de las experiencias europeas y españolas. Los pavimentos, generalmente densos, mezclas bien graduadas se utilizan, con una dimensión nominal máxima agregada superior a $\frac{3}{4}$ de pulgada (19 mm).

2.2.4.6 Agua.

El requisito para el agua en las mezclas de Concreto Compactado con Rodillo (CCR) es no presentar cantidad considerable de sulfatos, sales ni materia orgánica que pueda influir en la resistencia a compresión. Gran cantidad de las mezclas de Concreto Compactado con Rodillo requieren de 110 a 130 Litros de agua por m³ para agregados con un tamaño máximo de 19 mm, con un porcentaje variable entre 4 y 7% del peso del material seco contenido de 58 a 68% en relación a la necesidad de un concreto normal (190 litros aproximadamente)

La calidad del agua de acuerdo a la norma EG 2013 indica los parámetros para el concreto hidráulico, lo mismo que hacemos válido para CCR.

Tabla 6

Requerimiento de Agua para uso en Concreto Hidráulico (EG – 2013)

Ensayo.	Limites	Método de ensayo
pH	5.5 – 8.5	NTP 339.073

2.2.5 Ensayos de Laboratorio.

Se realizan tan igual como para el concreto, sin embargo, es necesario adaptarlos con respecto a la consistencia y preparación de los especímenes que luego serán sometidos a carga para conseguir la resistencia de diseño y flexión. En lo que se refiere a la consecución de la granulometría, la humedad optima, las características de plasticidad son los mismos ensayos los que se emplean en suelos, difiriendo aquí tan solamente con moldes adaptados para conseguir que la altura sea igual a dos veces el diámetro y el número de capas que deben guardar relación con la altura de los moldes adaptados, siendo la aplicación de 56 golpes por capa.

Cuando se ha preparado el material antes del traslado al lugar de colocación y en el mismo lugar de colocación del Concreto Compactado con Rodillo (CCR), es necesario tomar la temperatura del ambiente y la temperatura del material de Concreto Compactado con Rodillo (CCR), asimismo verificar la densidad, y contenido de aire.

Para determinar las características de suelos, se realizarán los siguientes ensayos:

Tabla 7*Ensayos y Frecuencias a emplearse para Base Granular (EG – 2013)***Ensayos y Frecuencias**

Material o Producto	Propiedades y Características	Método de ensayo	Norma ASTM	Norma AASHTO	Frecuencia (1)	Lugar de Muestreo
Base Granular	Granulometría	MTC E 204	C 136	T 27	750 m ³	Cantera (2)
	Límite líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	750 m ³	Cantera (2)
	Índice de plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 90	750 m ³	Cantera (2)
	Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C131	T 96	2.000 m ³	Cantera (2)
	Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	2.000 m ³	Cantera (2)
	Sales Solubles	MTC E 219			2.000 m ³	Cantera (2)
	CBR	MTC E 132	D 1883	T 193	2.000 m ³	Cantera (2)
	Partículas fracturadas	MTC E 210	D 5821		2.000 m ³	Cantera (2)
	Partículas Chatas y Alargadas		D 4791		2.000 m ³	Cantera (2)
	Durabilidad al Sulfato de Magnesio	MTC E 209	C 88	T 104	2.000 m ³	Cantera (2)
	Densidad y Humedad	MTC E 115	D 1557	T180	750 m ²	Pista
	Compactación	MTC E 117 MTC E 124	D 4718 D 2922	T191 T238	250 m ²	Pista

2.2.6 Fundamentos del diseño de mezcla del concreto compactado con rodillo CCR.

La técnica de construcción de aceras con Concreto Compactado con Rodillo (CCR) no es nueva, los antecedentes comienzan a principios de los años setenta.

El Concreto Compactado con Rodillo (CCR) es muy seco compactado en el campo a través de rodillos vibrantes, para lograr relaciones de alta densidad con cemento de contenido de agua muy baja. Se ha reportado densidades de 2560 Kg. /m³ en comparación con el

concreto convencional en el valle del Mantaro, con una gravedad específica de concreto de 2400 Kg / m³.

Estas propiedades indican que el concreto se obtiene con el componente de cemento mínimo comparado con el concreto convencional. Las propiedades elásticas del concreto compactado con rodillo son equivalentes al concreto tradicional con propiedades de resistencia y fatiga muy altas.

Teniendo en cuenta lo anterior y el hecho de que es concreto empacado, se puede colocar con equipos convencionales de revestimiento de asfalto, El Concreto Compactado con Rodillo (CCR), es una buena opción para construir aceras de carreteras donde se debe tener en cuenta la longitud en kilometraje.

La energía activa de la compactadora es necesaria para la compresión de bases o asfalto de concreto. De acuerdo con dicha estimación, las adaptaciones en los diseños requieren mezclas de concreto basadas en la proporción adecuada de agua y material de la proporción entre los agregados gruesos y finos, para obtener una estructura granular que soporte equipos de construcción de infraestructura vial y logre la máxima densidad.

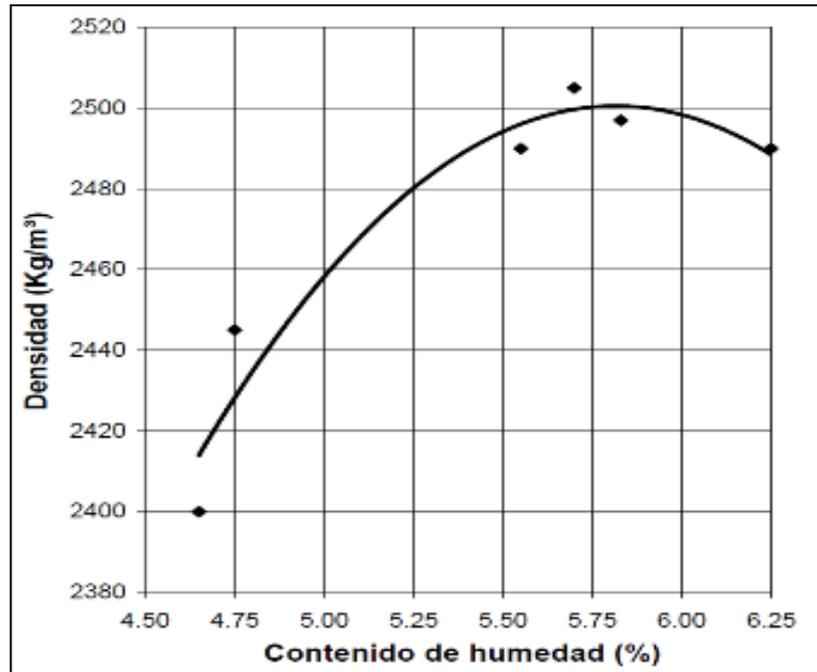


Figura 7: Relación de densidad/humedad de Concreto compactado con rodillo.

2.3 Marco Conceptual

2.3.1 Análisis numérico.

Se entiende por análisis numérico al método usado por la ingeniería, que sirve para la obtención de soluciones precisas, se emplea en casos que no arrojan valores exactos sino intervalos aproximados que sintetizan todos los resultados experimentales obtenidos.

2.3.2 Concreto compactado con rodillo.

Se define como un concreto seco, que no presenta slump, con baja cantidad de cemento que varía de entre 60 y 240 kg/m³ y que necesariamente requiere energía de compactación modificada.

2.3.3 Dimensionamiento óptimo.

Viene a ser la dimensión ideal para la cual el concreto compactado con rodillo cumple su funcionamiento como elemento estructural del paquete del pavimento rígido.

2.3.4 Vías urbanas del Valle del Mantaro

Constituye la población o universo de la presente investigación, se denomina vía urbana aquella vía que, la mayor parte de su recorrido se encuentra en la urbe o población.

2.3.5 Diseño de pavimentos

En la actualidad, el método de diseño más aplicado en el Perú es el AASHTOO 1998, aunque hay otros métodos aplicables, El Banco Mundial ha puesto como alternativa el modelo HDM-4, modelo que sustituye el conocido HDM-3, diseño actualizado durante veinte años para establecer un nuevo conjunto de Software.

2.3.6 Pavimentos Rígidos

Son pavimentos de concreto, contienen agregado fino, agregado grueso, agua y cemento. Se tienden en paños de estructura rectangular, los cuales son separados por juntas de dilatación.

2.3.7 Pavimentos flexibles

Son los pavimentos cuya conformación se basa en el asfalto, agregado grueso, agregado fino, y filler. Su colocación se da de manera continua, antes de verter el asfalto sobre la base granular es necesario realizar el proceso de imprimación, para que el asfalto pueda adherirse sin problema a la estructura del pavimento.

2.3.8 Diseño de concreto

Consiste en determinar la dosificación ideal de los materiales componentes del concreto: cemento, agua, agregado grueso y agregado fino. Existen metodologías para realizarlo, de las cuales destacan. Método de módulo de fineza, ACI, Furer y Combinación Total.

2.3.9 Calidad de los agregados

Refiere al cumplimiento de especificaciones técnicas por parte de los agregados, un material tendrá calidad si cumple con lo estipulado en la normativa EG-2013.

2.3.10 Encofrado

Es la conformación de moldes que se usan de manera temporal para que el concreto vertido pueda moldear la forma que se requiere, generalmente está conformado por madera.

2.3.11 Estudio de suelos

Estudio que determina las propiedades físicas y mecánicas de la sub rasante, para determinar si se requiere efectuar estabilización de la mencionada capa.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Diseño Metodológico.

3.1.1 Tipo de investigación.

Este tipo se caracteriza por buscar la aplicación de conceptos y conocimiento que se consiguen. En esta investigación empírica o aplicada, lo que debe interesarle principalmente al investigador es la consecuencia práctica. (Oseda Gago, y otros, 2015, pág. 153),

En esta investigación se empleará teorías relacionadas con propiedades dinámicas de esfuerzo - deformación en suelos cohesivos de la sub rasante para una buena dinámica de esfuerzo - deformación; por ello este tipo de investigación será aplicada. Lo cual se ve contratado con el desarrollo de la presente investigación.

3.1.2 Nivel de la investigación.

El nivel de Investigación es explicativo ya que tiene relación causal; no sólo persigue describir o acercarse a un problema, sino que intenta encontrar las causas que permiten el comportamiento del concreto compactado con rodillo dentro del paquete estructural del pavimento.

3.1.3 Diseño de la investigación.

El diseño de investigación es Experimental, ya que se busca determinar los espesores óptimos del concreto compactado con rodillo mediante análisis numérico también se buscan las causas que influyen en el uso del Concreto Compactado con rodillo.

3.2. Procedimiento del muestreo

3.2.1 En recolección de información.

Se realizó el estudio de suelo, para obtener las características geológicas y geotécnicas, además de sus características físicas mecánicas, para obtener la densidad, y la capacidad portante.

Se realizaron el estudio de canteras donde se determinó la ubicación, la calidad de los mismos, así como de la cantera de agregados, y fuentes de agua que se aplicaran en el proyecto.

Con las informaciones del estudio de suelos, se realizó el diseño de pavimento de concreto hidráulico a fin de determinar sus espesores.

3.2.2 Procesamiento y análisis de datos.

Se efectuará el modelamiento en las técnicas basadas en la desratización por medio de elementos finitos, se desarrolla un modelo tridimensional que permite estudiar el comportamiento del pavimento de concreto arrodillado ante las cargas dinámicas del camión de diseño

La modelización es empleada fundamentalmente para investigar la distribución de deformaciones y tensiones originadas por la carga dinámica del camión de diseño. Adicionalmente se utiliza para obtener una predicción del espesor ideal de los pavimentos de concreto arrodillado. Las variables fundamentales del modelo son descritas en los siguientes ítems.

3.2.2.1 Variables de la simulación

Para la simulación del modelo de la simulación numérica del pavimento mediante el programa computacional ABAQUS. Es necesario obtener parámetros geométricos y Geotécnicos que serán utilizaos en las simulaciones. Para la investigación se utilizaron parámetros Geotécnicos y Geométricos.

3.2.2.2 Parámetros geométricos

Para el modelo se utilizaron parámetros geométricos, los cuales fueron obtenidos de acuerdo al diseño del pavimento.

Toda la estructura del pavimento del modelo numérico analizado se muestra en la figura 08, en los cuales se consideran los espesores de subrasante, sub base y el pavimento rígido.

Los valores de los parámetros empleados son:

- SUBRASANTE. para este componente se utilizó 1.50 m.
- SUB BASE para este componente se utilizó 0.20 m.
- PAVIMENTO RÍGIDO para este componente se usó 0.20 m.

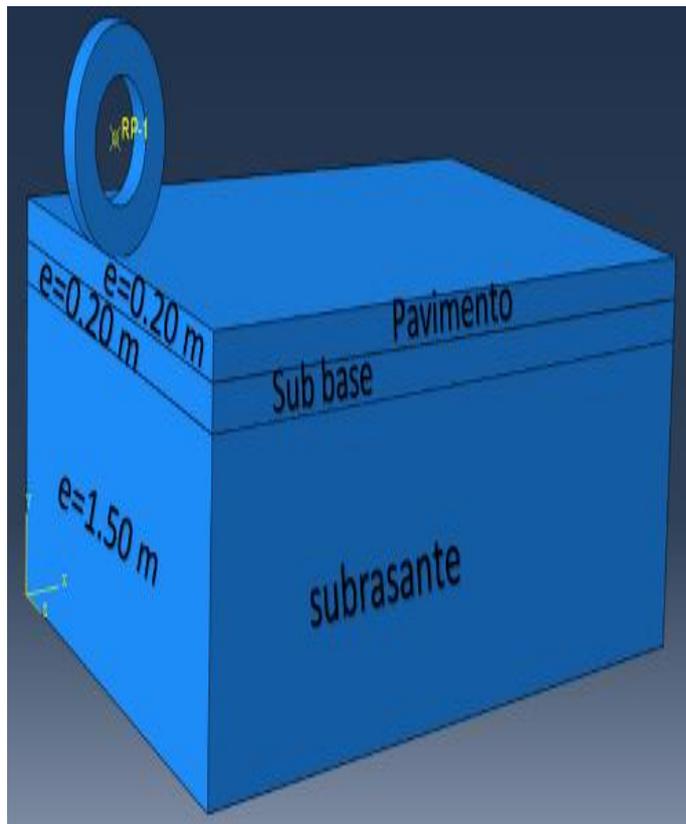


Figura 8: Estratigrafía del modelo numérico.

3.2.2.3 Parámetros geotécnicos

Para el análisis numérico mediante el modelamiento del pavimento rodillado es necesario los parámetros geotécnicos de los componentes del modelo analizado. Para los análisis se utilizaron los parámetros geotécnicos.

Tabla 8

Parámetros usados en capas de pavimento

Elemento	Parámetro
Subrasante	Angulo de Fricción Φ
	Módulo de Elasticidad E
	Coefficiente de Poisson ν
	Peso específico γ
	Compacidad relativa
	Índice de vacíos mínimo e_{\min}
	Índice de vacíos máximo e_{\max}
Sub base	Angulo de Fricción Φ
	Módulo de Elasticidad E
	Coefficiente de Poisson ν
	Peso específico γ
	Compacidad relativa
	Índice de vacíos mínimo e_{\min}
	Índice de vacíos máximo e_{\max}
Pavimento	Angulo de Fricción Φ
	Módulo de Elasticidad E
	Coefficiente de Poisson ν
	Peso específico γ
	Compacidad relativa
	Índice de vacíos mínimo e_{\min}
	Índice de vacíos máximo e_{\max}

3.2.2.4 Método de los elementos finitos

Método de aproximación de problemas continuos, de tal forma que el MEF, se basa en transformar un cuerpo de naturaleza continua en un modelo discreto aproximado, esta transformación se denomina desratización del modelo.

3.2.3 Programa ABAQUS

El esquema a seguir sería el indicado en la figura 09.

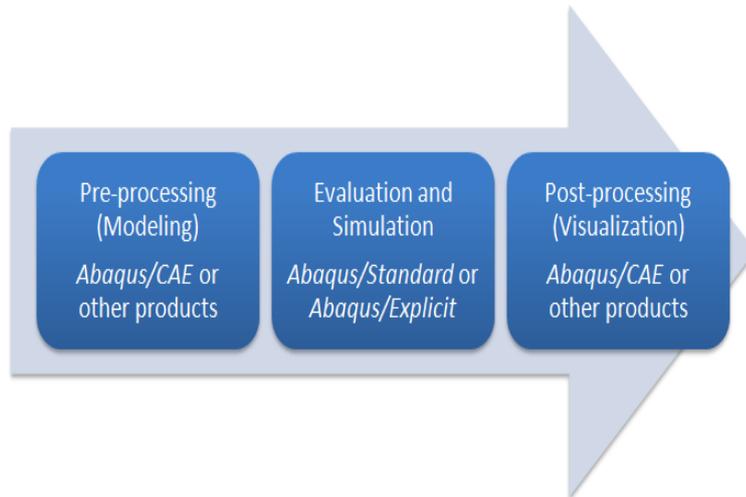


Figura 9: Esquema programa ABAQUS

ABAQUS/CAE, esta parte del software que se encarga de desenvolver el modelo geométrico, es el archivo de entrada que contiene la configuración geométrica, propiedades de los materiales, malla de elementos finitos, etc.

ABAQUS/Standard e o **ABAQUS/Explicit**, esta parte del software que se encarga de las simulaciones, los cuales resuelven los sistemas de ecuaciones en cada incremento del proceso de solución.

ABAQUS/Viewer, esta parte del software es el que se encarga de la parte de la solución del modelamiento.

El software nos permite resolver una infinidad de problemas y modelamientos en las diferentes áreas de la ingeniería, tales como las especialidades de estructuras y geotécnicas. Por su complejidad es necesario un gran número de variables para poder realizar el modelamiento.

3.2.3.1 Modelo constitutivo

La elección de un modelo constitutivo para el modelamiento es uno de los puntos más importantes para la simulación numérica, ya que de esto dependerá el comportamiento de los elementos de la simulación. El software Abaqus cuenta con algunas opciones, para el comportamiento elástico y plástico de los elementos del modelo.

Lautenschläger (2010) realizó simulaciones de ensayos triaxiales con el modelo de Mohr Coulomb, para verificar el comportamiento del suelo. Dentro de las conclusiones el modelo Mohr Coulomb fue considerado representativo para el modelamiento de los suelos.

3.2.3.2 Construcción del prototipo

El software ABAQUS está dividido en unidades funcionales, los cuales son llamados módulos, los cuales cada uno de ellos posee sus propias herramientas las cuales cumplen una función específica, para sus tareas a realizar.

La utilización de estos módulos corresponde a una secuencia lógica de los pasos, para que la construcción del modelo, se pueda desenvolver y encontrar la solución.

Para la construcción del modelo de análisis fueron realizados a través de pasos (*Steps*), los cuales son: Initial, contactos, peso y rodadura.

➤ Paso Inicial

Para el modelamiento en el programa ABAQUS, primeros se tiene que construir el modelo para el cual, inicialmente es creado automáticamente por el programa el paso *Initial*. A partir del mismo se puede iniciar a crear el modelo a partir de la creación de los elementos, materiales y sus propiedades para juntarlas para su modelamiento.

Para la creación del modelo iniciamos con la creación de los elementos o módulos llamado partes (*part*), en donde se crea inicialmente la geometría de los elementos, como: Sub rasante, sub base, Pavimento, los cuales están

conformados por suelo para el cual se crearon sus secciones las cuales mantienen todas las propiedades geométricas y geotécnicas del elemento. Así mismo se creó el elemento de pavimento, el cual tiene su propia sección la que mantienen sus propiedades geotécnicas.

En la siguiente figura se muestra la vista en 3 dimensiones de los elementos que conforman el modelo a ser analizado.

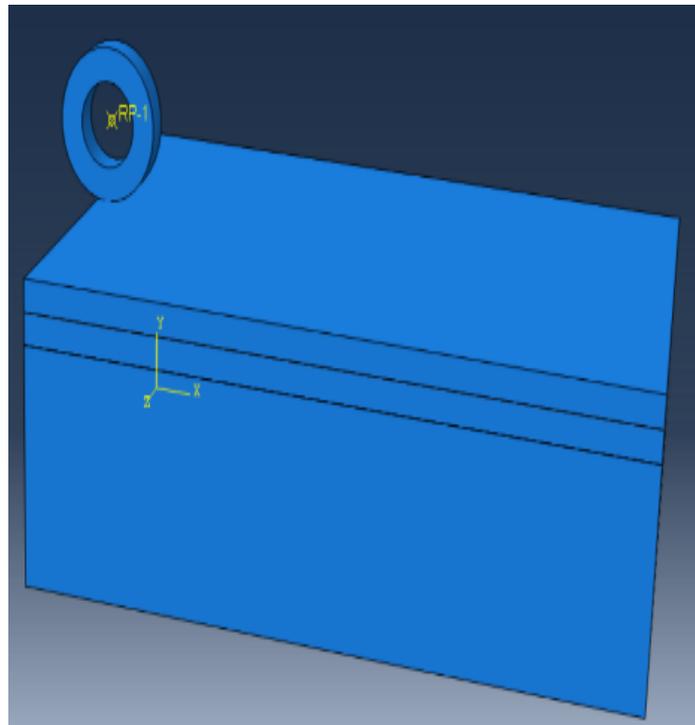


Figura 10: Vista de modelos a ser analizados

3.2.3.3 Propiedades de las mallas del método de elementos finitos

En este modelamiento la creación de la malla es un proceso muy importante, ya que depende del tipo de malla la

densidad de los elementos a ser utilizados. La malla está directamente relacionada con la geometría de los elementos en análisis, como la sub rasante, sub base y pavimento. En el modelamiento se debe de considerar el tipo de interpolación que será utilizada como es el caso de lineal o cuadrática, ya que dependerá de estas consideraciones dependerá el tiempo computacional.

En los elementos utilizados en las partes del modelo numérico fueron utilizados elementos hexaédricos con interpolación lineal como se verifica en la figura 11.

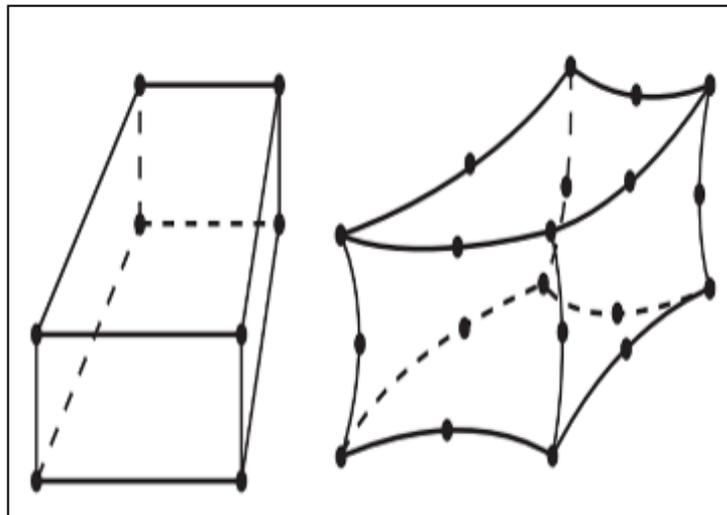


Figura 11: Elementos finitos utilizados

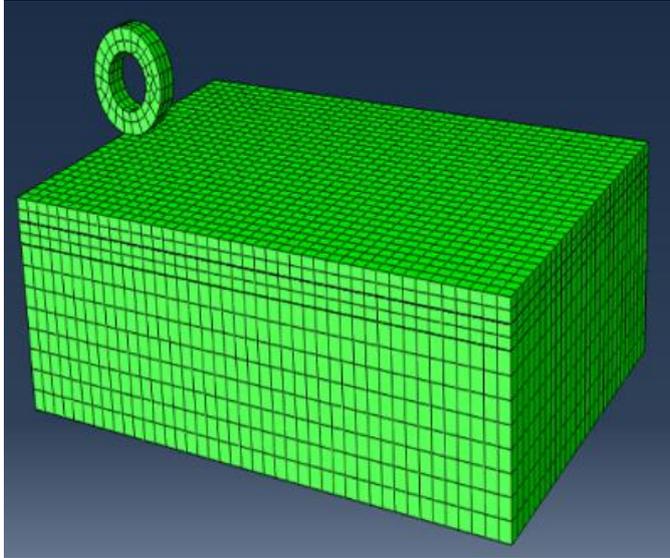


Figura 12: Mallas de Elementos Finitos de los elementos

3.2.3.4 Paso contacto

En este paso se consideran todas las consideraciones que tiene que tener los contactos entre los elementos del modelo, Para los cuales el software nos identifica superficies de los elementos para que en un momento del modelamiento estos entran en contacto y se deben de activar todas las propiedades atribuidas como la normal y tangencial a los contactos, mediante los cuales se determinara el comportamiento de los contactos.

3.2.3.5 Discretización de la superficie de contacto

Para el modelo que fue considerado en el software Abaqus se tienen técnicas y métodos para la discretización de las superficies del modelo. En el programa encontramos

consideraciones como Nodo – Superficie y Superficie – Superficie. Para cualquiera de las superficies se debe de escoger una de las superficies que es llamada maestra y otra de la superficie llamada esclava. Como se muestra en la figura 12. La superficie maestra es la que gobernaría la aplicación del contacto, pues esta dictaría el comportamiento de la superficie esclava durante la activación de los contactos.

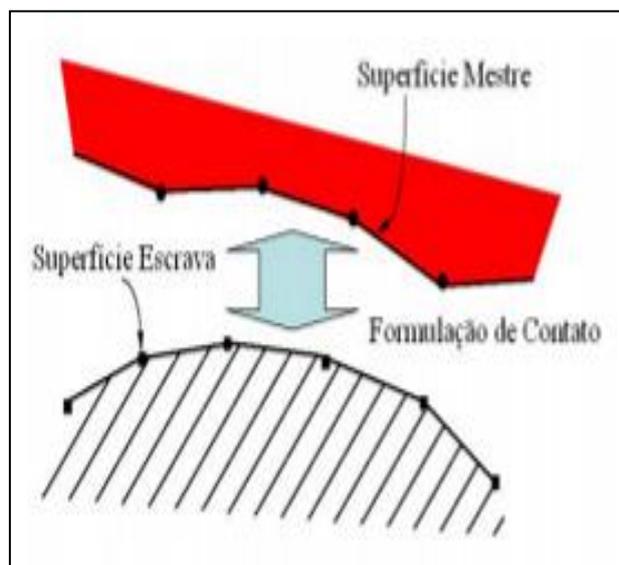


Figura 13: Interacción entre superficies de contacto
(adaptado de ABAQUS, 2009).

Para la discretización por las ventajas que presenta la discretización Superficie – Superficie, debido a que no se permite la penetración del eje de carga de análisis a la superficie del pavimento.

3.2.3.6 Propiedades de los contactos.

El contacto es considerado generalmente como una condición de contorno fluctuante del modelo analizado, las cuales se activan cuando las superficies son activadas y/o las mismas entran en contacto con todas las propiedades y se desactivan cuando ellas dejan de entrar en contacto. Para este modelamiento el contacto fue definido con propiedades tangenciales con el método de penalidad (Penalty Method).

El programa ABAQUS tiene algunos métodos de análisis para las penalidades, desde la rugosidad perfecta hasta la ausencia completa de la fricción. El método elegido fue el Penalty, para la representación del comportamiento tangencial de los contactos de la sub rasante, sub base y pavimento de concreto, el cual utiliza un coeficiente de fricción que para este modelamiento se utilizó el modelo de fricción isotrópica de Mohr Coulomb.

$$\tau_{cri} = \mu \cdot p_c$$

3.2.3.7 Paso carga

En el diseño de la superficie de rodadura del pavimento, está relacionado a un modelo de conformación de pavimento para un determinado número de ejes equivalentes de 8.2 Tn. Para lo cual en el modelo también se tenía que reproducir las

que afectarán el eje de diseño. Para el cual se realizó la aplicación de la carga mediante una ecuación lineal en forma progresiva, la cual fue ingresada al programa mediante la función antes mencionada, A continuación, en la figura 13 se muestra la aplicación de la amplitud de la carga con el tiempo hasta llegar a la aplicación total de los 8.2 tn.

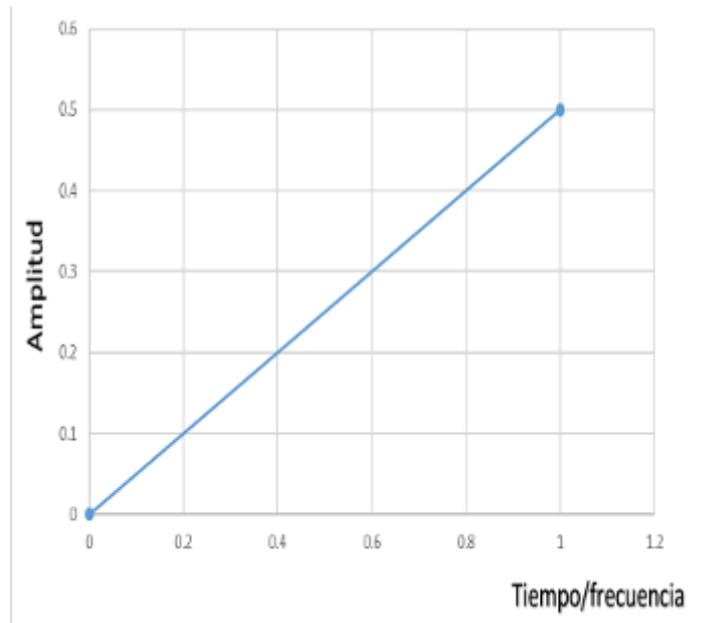


Figura 14: Amplitud Vs Tiempo de carga

3.2.3.8 Paso rodadura

En este paso se simula la rodadura del eje de carga en análisis. Una vez que el eje de carga se encuentra cargado con la carga de diseño, se inicia el rodamiento de la rueda de carga simulada, la cual se realiza a través de una función matemática, el cual para este caso en particular se analizó mediante una función lineal el cual fue abastecido al programa mediante las

funciones de amplitudes, la cual se presenta en la figura a continuación.

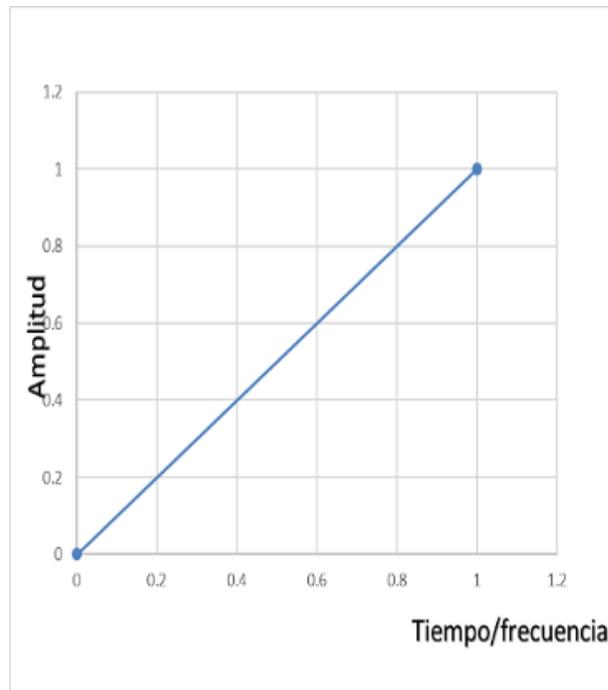


Figura 15: Amplitud Vs Tiempo de rodadura

En la figura anterior se muestra cómo va a ser distribuido los tiempos y amplitudes para la rodadura del eje equivalente, el cual mediante esta función se va a dar los incrementos a la velocidad de rodadura

Para el paso de rodadura se identificó como punto de referencia base el punto medio de la rueda como se presenta en la figura 15. En el punto de rodadura se aplicó una velocidad de rodadura a cuál es controlada mediante la amplitud y tiempo antes mostrada.

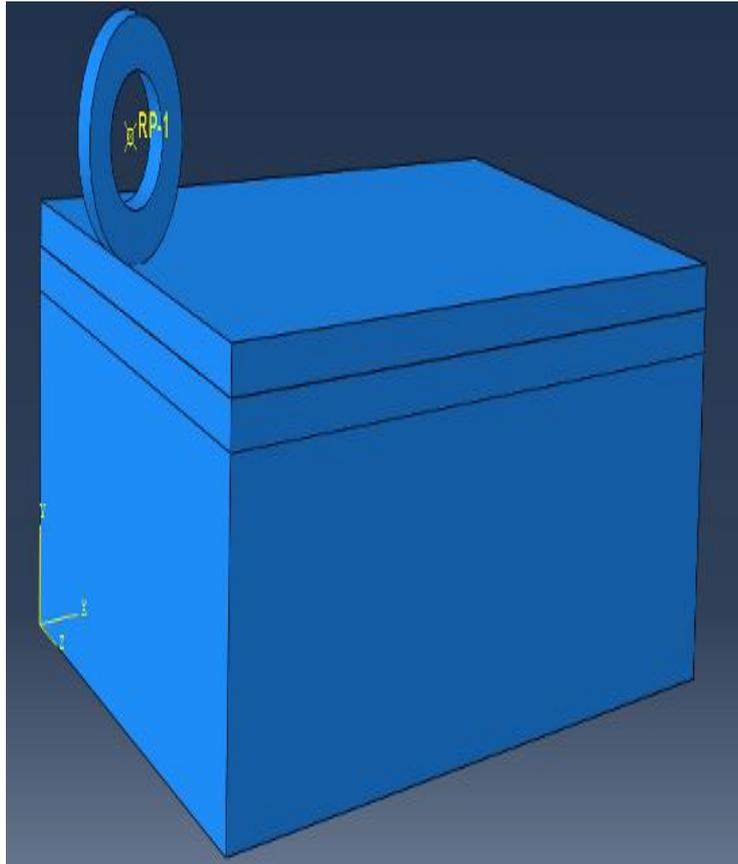


Figura 16: Punto de referencia de rodadura.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1 Esfuerzos y deformaciones

Para el análisis de las deformaciones en el centro del pavimento en la figura 17 se muestra los puntos en los cuales son analizados en los que se proyectan los ejes verticales para el análisis de las deformaciones luego de la aplicación de la carga de diseño en el eje equivalente, que va rodando por la superficie de pavimentación.

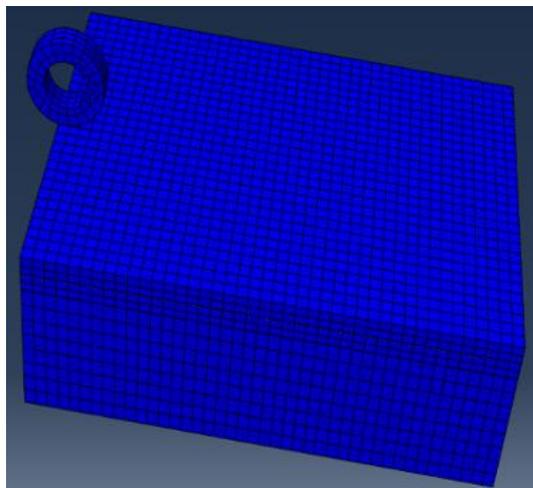


Figura 17 Modelo por el Método de elementos finitos

Debido a que los mayores esfuerzos y deformaciones se producen en la mitad de la losa, según la revisión bibliográfica, se decidió considerar únicamente esta posición del eje equivalente. El análisis se realizó para las condiciones geométricas y geotécnicas en el capítulo anterior mencionado, para el análisis, los esfuerzos con signo positivo refieren a compresión y con signo negativo a tracción, y corresponden a la parte baja de la losa analizada (superficie en contacto con el eje de análisis).

4.1.1 Esfuerzos en la mitad de la losa por acción de cargas vehicular

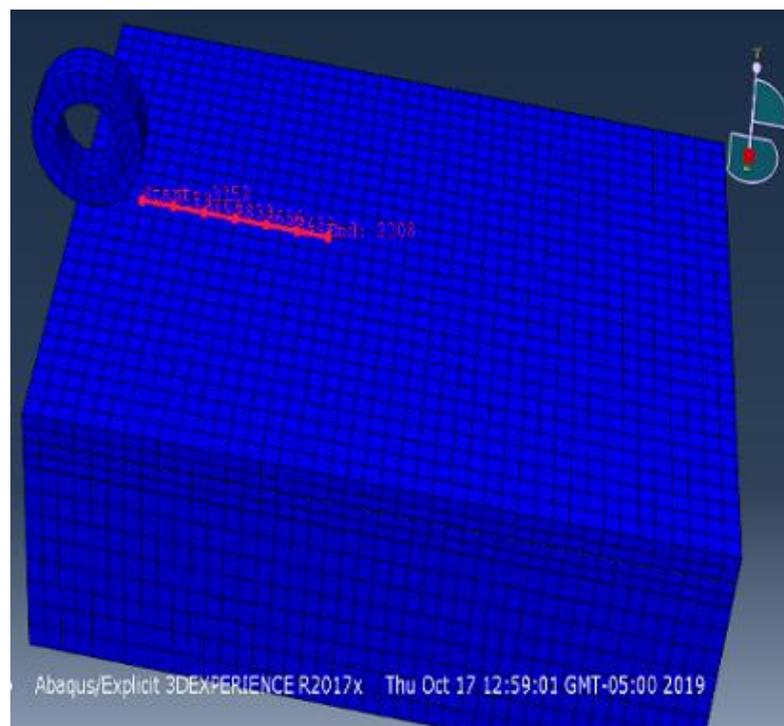


Figura 18 Puntos de los ejes de análisis

Para el análisis de las deformaciones verticales en los ejes, se proyectaron Paths para la obtención de los resultados, para el trazado de

los Paths se usó la aplicación mostrada en el programa abaqus, en el cual está pasando por los tres elementos, Pavimento, sub base y subrasante, los cuales conforman el modelo para el análisis.

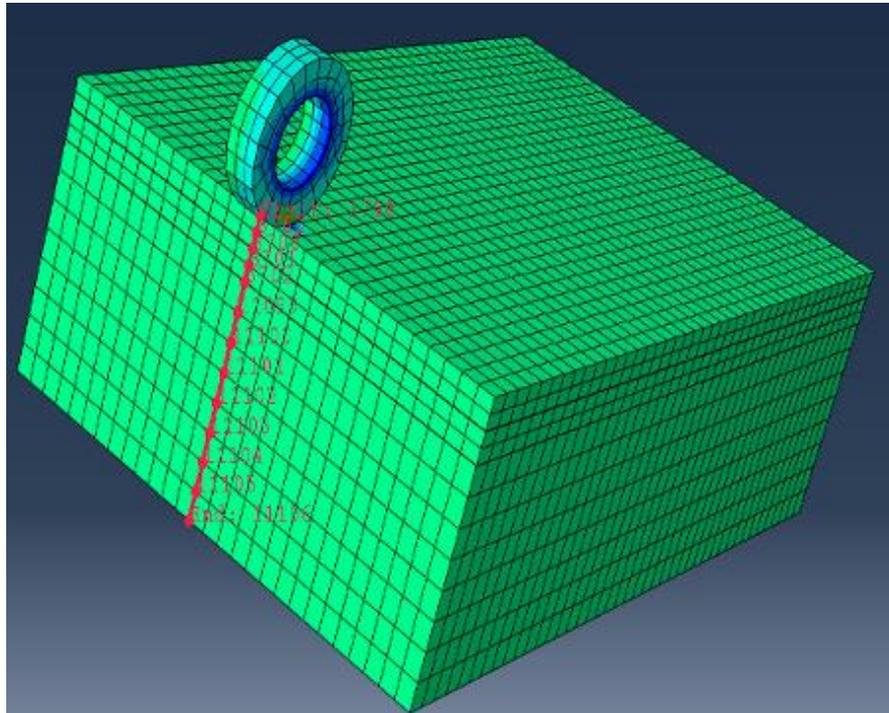


Figura 19 Paths de análisis

En la figura 19 se puede observar algunas de las deformaciones verticales que se obtuvieron para el análisis del comportamiento de las deformaciones verticales, en esta imagen se ve que el comportamiento de la deformación del pavimento ante el contacto con la llanta con la superficie del pavimento, el cual varía con la profundidad del pavimento, se puede decir que el pavimento tiene una disminución de los esfuerzos conforme la profundidad disminuye.

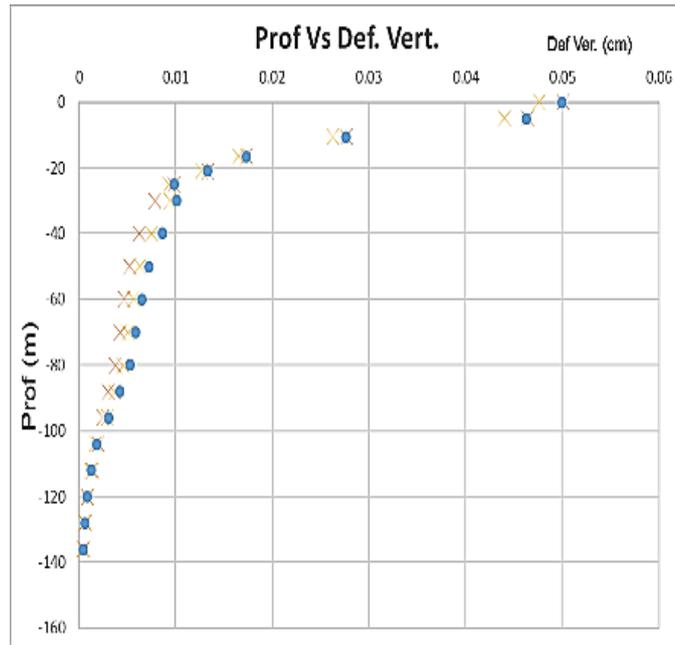


Figura 20: Profundidad Vs Deformación Vertical

La figura anterior se puede observar el comportamiento de las deformaciones para cada eje vertical analizado. Los análisis de las deformaciones en los ejes se realizaron cuando el eje de diseño está en el centro del eje. En los cuales se puede observar que entre ellos se presentan pequeños diferenciales debido a los esfuerzos que estaban siendo sometidos los puntos de los ejes, estos puntos antes que la carga llegue a su centro de análisis estaba en tracción, los cuales fueron sometidos a esfuerzos de tracción, para luego con la rotación del eje de diseño se fueron convirtiendo a compresión. Una vez que la carga de apoyo se encontraba en compresión al incremento de tiempo siguiente en el análisis por el método de elementos finitos, estos fueron convirtiendo de compresión a tracción.

En la figura 19 se ve que la disposición de deformaciones con respecto a la carga que está siendo aplicada con el eje de diseño, son relativamente corroborados, esto se puede observar en la distribución de deformaciones en contracción, la cual puede ser vista en la figura 21, la cual es diferenciable en mayor magnitud en la superficie del pavimento, el cual es el elemento que se encuentra en contacto directo con la llanta de análisis.

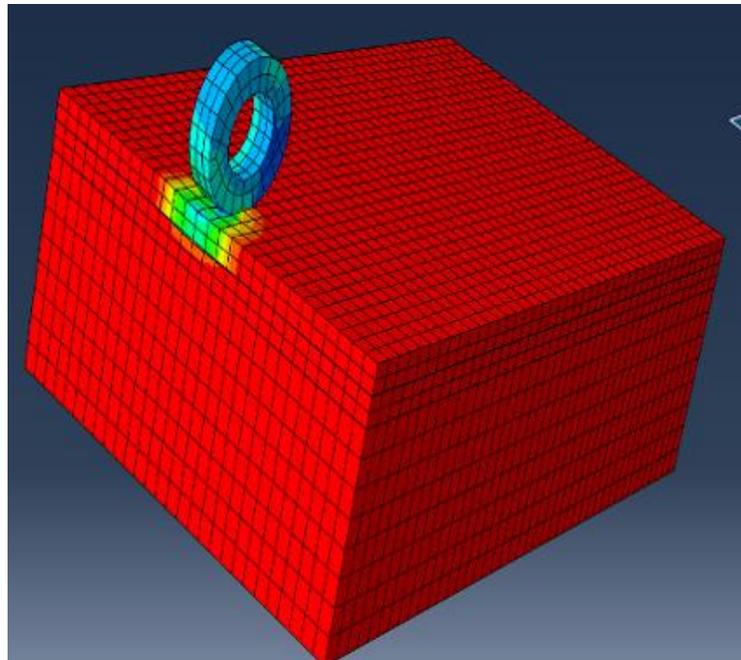


Figura 21: Profundidad Vs Deformación Vertical

Los mayores esfuerzos y deformaciones se originan en la parte media de la losa, por lo que se decidió considerar esta posición del eje equivalente. El análisis se realizó para las condiciones geométricas y geotécnicas en el capítulo anterior mencionado.

El eje de diseño va rotando a cada incremento del tiempo para el análisis, debido al cual el comportamiento de las deformaciones y esfuerzos del pavimento, sub base y subrasante varían en cada punto de análisis, el cual se puede observar en la figura 22.

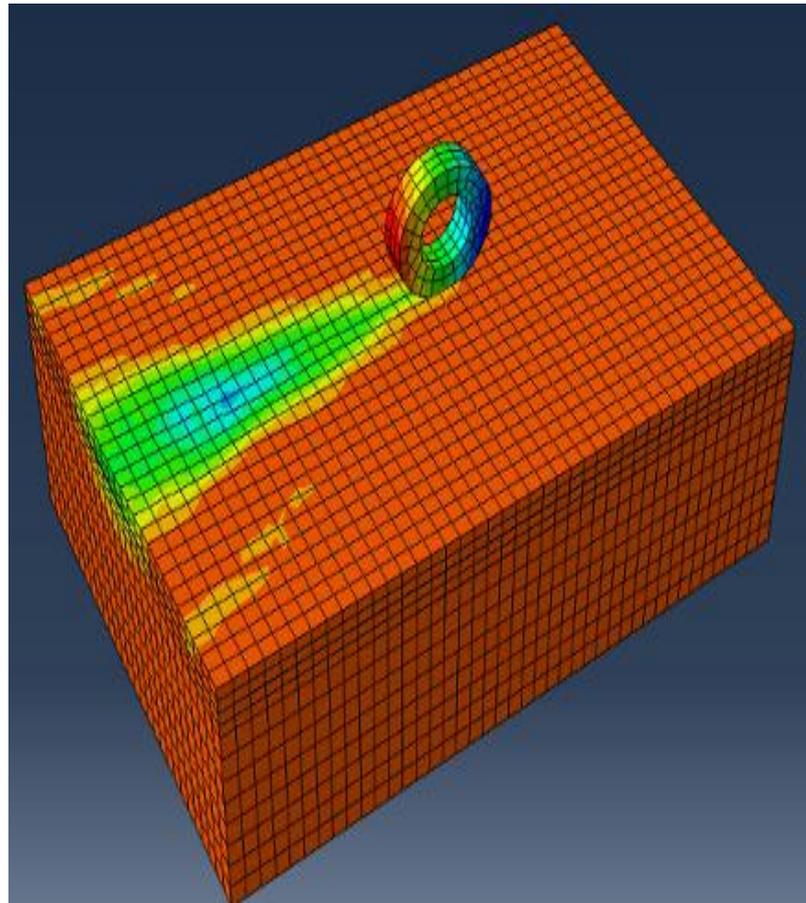


Figura 22: Comportamiento variable en función de esfuerzos y deformaciones

4.2 Variación de costos

Se efectúa un análisis comparativo entre los costos que genera la metodología del concreto compactado con rodillo y el método tradicional del concreto convencional.

Tabla 9
Cuadro comparativo de costos de los dos planteamientos

ITEM	DESCRIPCION DE PARTIDAS	Und.	CONCRETO CONVENCIONAL	
			Metrado	Parcial S/.
1	TRABAJOS PRELIMINARES			366,143.94
1.01	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPO	GLB	1.00	168,485.70
1.02	TOPOGRAFIA Y GEOREFERENCIACION	KM	75.22	93,423.24
1.03	MONTAJE Y DESMONTAJE DE EQUIPOS	GLB	1.00	104,235.00
2	PAVIMENTO RIGIDO (CONCRETO HIDRAUICO CONVENCIONAL)			45,850,310.26
2.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	104720.00	6,226,651.20
2.02	PREPARACION EN PLANTA DE CONCRETO	m3	96426.00	24,459,419.16
2.03	TRANSPORTE DE MEZCLA DE CONCRETO D>1KM	m3	96426.00	5,791,345.56
2.04	ESPARCIDO Y COMPACTADO	m2	642840.73	8,620,494.19
2.05	ASERRADO DE JUNTAS	ml		
2.06	JUNTAS ASFALTICAS	ml	448800.00	623,832.00
2.07	CURADO DE CONCRETO	m2	642840.73	128,568.15
	COSTO DIRECTO			46,216,454.20
	GASTOS GENERALES (10% DEL CD)			4,621,645.42
	UTILIDAD (10% DEL CD)			4,621,645.42
				=====
	SUB TOTAL			55,459,745.04
	IGV 18%			9,982,754.11
				=====
	PRESUPUESTO TOTAL DE OBRA			65,442,499.15
	SUPERVISION 5%			3,272,124.96
				=====
	COSTO TOTAL DEL PROYECTO			68,714,624.11

Tabla 10
Porcentaje de costos de ejecución con ambos planteamientos

TIPOS DE CONCRETO	COSTO S/.	PORCENTAJE
CONCRETO CONVENCIONAL	68,714,624.11	100%
CONCRETO RODILLADO	50,269,469.58	73%

Haciendo una comparación de los presupuestos tan solamente de la colocación de concreto hidráulico de los dos planteamientos a un espesor de 20 cm. cada uno se encuentra en que el concreto convencional tiene un mayor costo de S/. 68,714,624.11 que equivale al 100 % como el tope de precios comparativos en los dos planteamientos seguido por la metodología de Concreto Compactado con Rodillo tiene un costo de S/. 50,269,469.58 que representa el 73 % del costo del Concreto Convencional resultando ser el más económico de las dos metodologías.

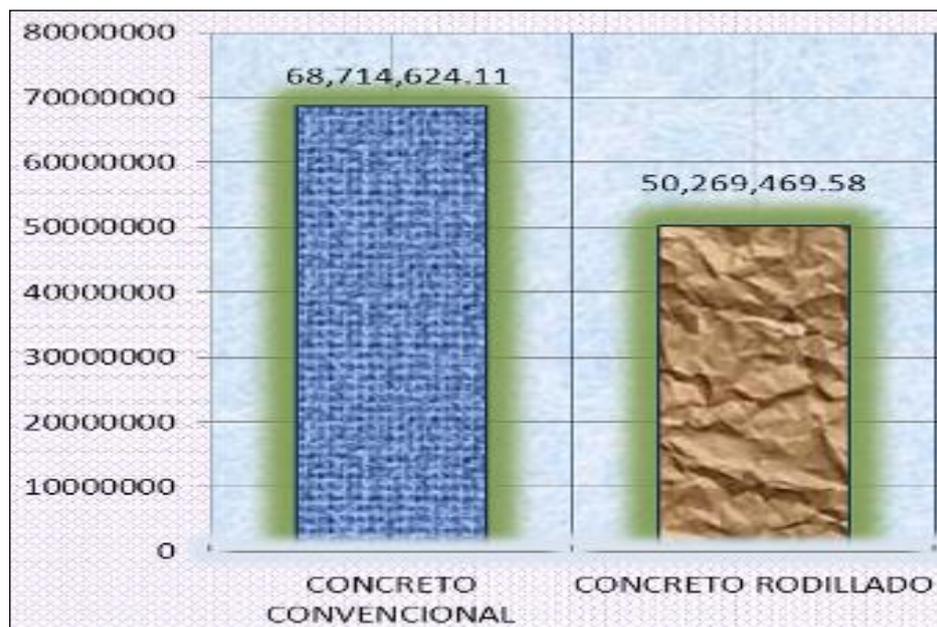


Figura 23: *Comparación de costos de ambas metodologías*



Figura 24: Comparación de porcentaje de costos de ambas metodologías

4.3 Variación de tiempos

Se efectúa un análisis comparativo del tiempo de ejecución entre la metodología del concreto compactado con rodillo y el método tradicional del concreto convencional.

Tabla 11
Cuadro comparativo de tiempo de ejecución de los dos planteamientos

ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	CONCRETO CONVENCIONAL		CONCRETO RODILLADO	
		Duración días	Tiempo meses	Duración días	Tiempo meses
1	TRABAJOS PRELIMINARES				
1.01	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPO	1	0.00	1.00	0.00
1.02	TOPOGRAFÍA Y GEORREFERENCIACIÓN	2	0.07	2.01	0.07
1.03	MONTAJE Y DESMONTAJE DE EQUIPOS	0	0.00	0.13	0.00
2	PAVIMENTO RÍGIDO				
2.01	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	93	3.09	0.00	0.00
2.02	PREPARACIÓN EN PLANTA DE CONCRETO	11	0.36	10.69	0.36
2.03	TRANSPORTE DE MEZCLA DE CONCRETO D>1KM	34	1.12	22.89	0.76
2.04	COLOCACIÓN DE PIEDRA DE 4"				
2.05	ESPARCIDO Y COMPACTADO	11	0.36	4.57	0.15
2.06	ASERRADO DE JUNTAS			2.99	0.10
2.07	JUNTAS ASFÁLTICAS	3	0.10	2.99	0.10
2.08	CURADO DE CONCRETO	1	0.02	0.57	0.02

*En la presente tabla se ha pintado las líneas de color verde los que influyen a diferenciar en cada uno de los proyectos, los mismos que se han aislado en la tabla siguiente.

Tabla 12

Cuadro comparativo de tiempo de ejecución en días de los dos planteamientos

ÍTEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	CONCRETO CONVENCIONAL	CONCRETO RODILLADO
		Duración días	Duración días
	TIEMPO DE EJECUCIÓN POR DÍAS Y MESES POR KILOMETRO	137	27
	COMPARATIVO EN PORCENTAJES	100.00%	20.01%

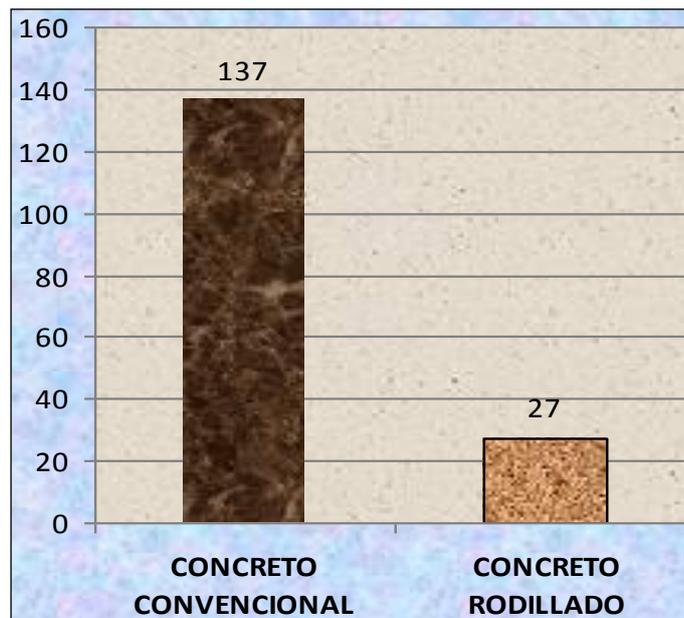


Figura 25: Comparación de tiempo de ejecución en días de ambas metodologías

Tabla 13

Cuadro comparativo de tiempo en porcentaje de ejecución en días de los dos planteamientos

TIPO DE CONCRETO	PORCENTAJE	DÍAS
CONCRETO CONVENCIONAL	100.00%	137
CONCRETO RODILLADO	20.01%	27

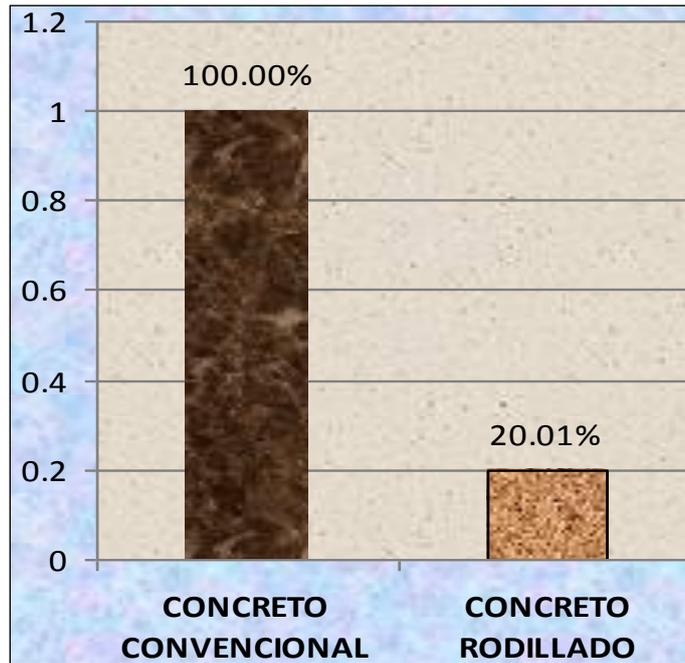


Figura 25: *Comparación de tiempo de ejecución en porcentaje de ambas metodologías*

En los gráficos se muestra claramente la diferencia de tiempo de ejecución de obra en los dos planteamientos.

CONCLUSIONES

En función de la investigación realizada se emiten las siguientes conclusiones:

- Como conclusión general se afirma que se determinó el dimensionamiento óptimo del Concreto Rodillado mediante la simulación del modelo numérico en esta investigación, la cual fue realizada con el programa computacional ABAQUS, mediante el método de los elementos finitos, para lo cual las consideraciones geométricas, se tomaron de las consideraciones que se tienen en el estado del arte de la metodología del pavimento rodillado, las cuales son formadas por paños largos de 19.60 mt. y espesor convencional de 20 cm.
- La variación de esfuerzos y deformaciones en el paquete estructural del dimensionamiento óptimo del Concreto Rodillado mediante análisis numérico van disminuyendo en relación a la profundidad, teniendo como máximas deformaciones en la superficie de análisis y las mínimas deformaciones casi nulas a 1.20 m aproximadamente. De las gráficas analizadas para cada path de análisis son casi aproximadas, las cuales tienen diferenciación entre ellas debido a los tiempos de análisis para la rodadura del eje, esto es debido a que para cada incremento del tiempo los puntos de análisis no coinciden exactamente en el punto de análisis con el tiempo y la amplitud de la rodadura. de las cuales la que tiene mejores condiciones de transferencia de carga, respecto a los intervalos de incrementos de tiempos dados en el programa de elementos finitos resultó la función lineal con relación tiempo amplitud de 1: 0.5, con la cual se realizó el modelamiento numérico.

- La variación de costos empleando el dimensionamiento óptimo del concreto rodillado mediante análisis numérico usando el método de elementos finitos en la pavimentación de vías urbanas en el Valle del Mantaro representa el 73 % del costo de la metodología convencional, quiere decir que genera un ahorro del 27 % respecto al método convencional.
- La variación de tiempos empleando el dimensionamiento óptimo del concreto rodillado mediante análisis numérico usando el método de elementos finitos en la pavimentación de vías urbanas en el Valle del Mantaro representa el 20.01 % del costo de la metodología convencional, quiere decir que genera un ahorro del 79.99 % respecto al método convencional.

RECOMENDACIONES

En función de la investigación realizada se emiten las siguientes recomendaciones:

- Realizar la simulación de las dos ruedas del eje equivalente, las cuales deberían de ser conectadas entre ellas y tomar todas las consideraciones respecto a las cargas que se deben de aplicar a la superficie de rodadura.
- Se debería de realizar una validación de los resultados del análisis de modelamiento numérico, con algunos ensayos en tramos a escala real, para los cuales se deberían de realizar tramos de pruebas en los cuales se deberían de equipar instrumentación para la medición de esfuerzos y deformaciones.
- Se recomienda realizar una mayor cantidad de ensayos de laboratorio para las propiedades físicas y mecánicas del pavimento rodillado, para lo cual se debería de validar con pruebas de tramos realizados a escala real.
- Analizar mayores longitudes de los tramos de análisis de pavimento rodillado, para lo cual se va a necesitar una mayor capacidad computacional, para que se sugiere un centro de cómputo moderno.
- Se sugiere realizar un análisis del comportamiento de las diferentes funciones para la aplicación de las cargas de análisis del eje equivalente, del cual se debería de hacer una validación en un punto de aplicación en un tramo de prueba a escala real el cual debería de ser instrumentado, para poder analizar el comportamiento de la transferencia de carga.

- Se debe de realizar un mayor análisis de la velocidad de transferencia de las amplitudes con el tiempo para la rodadura del eje equivalente, las cuales deberían de ser validadas con tramos de prueba en las cuales se deben de instrumentar para realizar el análisis de comportamiento de la deformación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Ministerio de Transportes y Comunicaciones, M. d. (2014). *Determinación CBR de Diseño*. Perú.
2. Curasi Curasi P.. (2008). *Diseño Del Concreto Compactado Con Rodillo (Ccr), Para Presas En La Región De Junín* (Tesis).
3. Rocha Pitta A. (2010). *Estado Del Arte De Los Pavimentos De Concreto Compactado Con Rodillo* (Tesis).
4. Ríos Gallardo M. (2004). *“La Utilización De Pavimentos De Concreto Rodillado (Pcr) Para La Construcción De Calles y Carreteras en Guatemala”* (Tesis).
5. Oseda Gago, D., Chenet Zuta, M., Hurtado Tiza, D., Chávez Epiquén, A., Patiño Rivera, A., & Oseda Lazo, M. (2015). *Metodología de la Investigación*. Lima: Pirámide.
6. Vara Horna A. (2012) “Desde La Idea hasta la sustentación: Siete pasos para una tesis exitosa. Un método efectivo para las ciencias empresariales” (pp. 384 – 389). Lima: Universidad San Martin de Porres
7. Alva, M. (2002). Revisión de los conceptos de mecánica de suelos. *Geología y Geotecnia*1, 161-168
8. Biblioteca de la Universidad de Sevilla (2014). Guías de la BUS: Herramientas y guías para encontrar y gestionar la información. Recuperado el 12 noviembre 2014, de <http://guiasbus.us.es/guias>.
9. Alfaro R. (2014) “Control de calidad del pavimento rígido en zona urbana” (pp. 104 – 109). Lima: Universidad San Martin de Porres

ANEXOS

ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS PARA LA TESIS:

“ANÁLISIS NUMÉRICO PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DEL CONCRETO RODILLADO EN VÍAS URBANAS DEL VALLE DEL MANTARO”

1. GENERALIDADES

1.1. Objetivo

El objetivo del presente estudio de mecánica de suelos para la ELABORACIÓN DE LA TESIS: “ANÁLISIS NUMÉRICO PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DEL CONCRETO RODILLADO EN VÍAS URBANAS DEL VALLE DEL MANTARO”, es establecer las características geotécnicas del suelo donde se desarrollará la investigación.

Asimismo, el presente estudio tiene la finalidad de asegurar la estabilidad y permanencia de la obra y promover la utilización racional de los recursos.

1.2. UBICACIÓN

La Tesis: *“ANÁLISIS NUMÉRICO PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DEL CONCRETO RODILLADO EN VÍAS URBANAS DEL VALLE DEL MANTARO”*, se encuentra ubicado en:

Región : Junín.

Provincia : Huancayo.

Distritos : Huancayo.

Lugar : Urb. El Trébol, Corona del Fraile.

Mapa de la zona y plano de ubicación



Esquema de Localización del proyecto



“Ubicación de la zona donde se realiza el proyecto”

2. INVESTIGACIÓN GEOTÉCNICA

2.1. TRABAJOS DE CAMPO

Se efectuó el muestreo y registro de exploraciones se realizó tomando en cuenta:

- La profundidad de excavación es de 1.50 mt. Respecto a la sub rasante del terreno.
- El número de excavaciones es de 06 calicatas.
- El presente EMS presenta ensayos de CBR efectuado para cada calicata.

A lo largo de la infraestructura vial, no se halló presencia de Napa Freática en las calicatas efectuadas. Por tanto, el presente estudio no incluye descripción referente al Nivel Freático.

2.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

Se realizó los siguientes ensayos de laboratorio:

- **Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422, MTC E107**

Ensayo que sirve para la clasificación de suelos, se basa en clasificar los materiales por las propiedades físicas del peso y el tamaño. Es un ensayo de Control de Calidad.

- **Límite Líquido ASTM D-4318, MTC E110**

Ensayo que sirve también para efectuar la clasificación de suelos, representa la máxima cantidad de agua que soporta un material antes de saturarse. Es un ensayo de Control de Calidad.

- **Límite Plástico ASTM D-4318, MTC E111**

Ensayo que sirve también para efectuar la clasificación de suelos, representa la mínima cantidad de agua que soporta un material antes de quebrarse. Es un ensayo de Control de Calidad.

- **Contenido de humedad ASTM D-2216, MTC E108**

Ensayo referencial que sirve para saber en porcentaje, el contenido de agua que presenta un material.

- **Clasificación SUCS ASTM D-2487**

Tipo de clasificación de suelos que se basa en siglas, para clasificar con esta metodología se requiere efectuar los ensayos de Limite Líquido, Limite Plástico y Granulometría.

- **Clasificación AASHTO M-145**

Tipo de clasificación de suelos que se basa en números estructurales, para clasificar con esta metodología se requiere efectuar los ensayos de Limite Líquido, Limite Plástico y Granulometría.

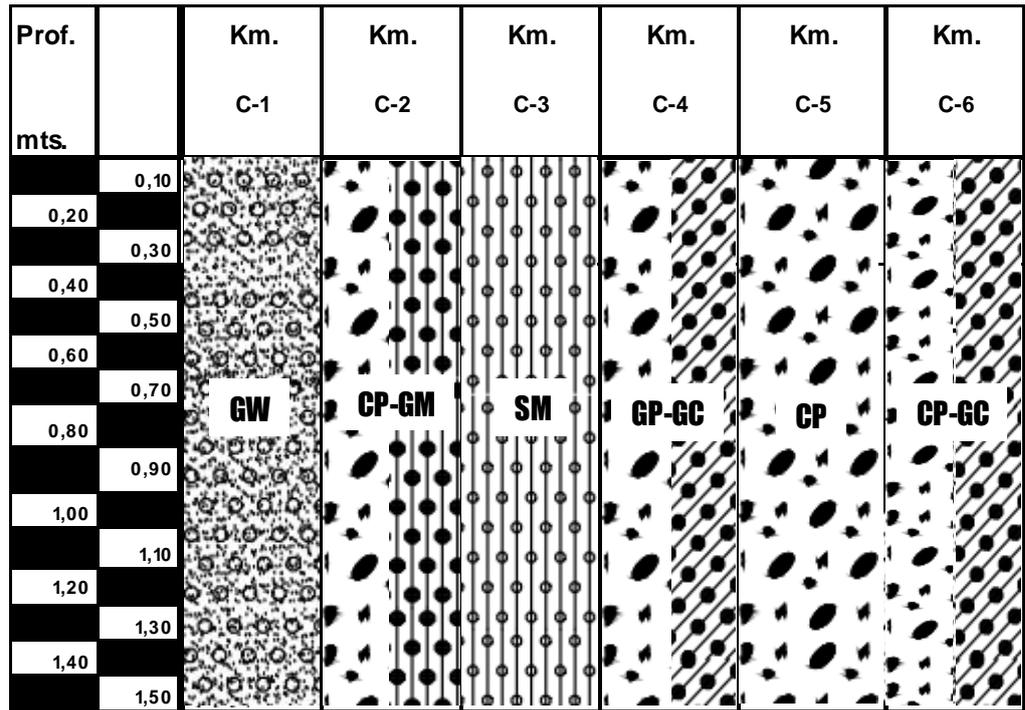
- **California Bearing Ratio ASTM D-1883, MTC – E132, o Módulo resiliente de suelos de subrasante AASHTO T 274, MTC – E128.**

Ensayo de Control de Calidad que representa la penetración admisible de los materiales a 0.1”, ensayo requerido para el cálculo del Módulo resiliente de los suelos.

- **Proctor Modificado ASTM D-1557, MTC – E115**

Ensayo necesario para efectuar el CBR, sirve para obtener dos datos: Máxima Densidad Seca y Óptimo Contenido de Humedad de los suelos.

2.4 PERFIL ESTRATIGRÁFICO



2.5 CONDICIONES DE LA SUB RASANTE

De los ensayos efectuados, se tiene como resultado que el material predominante en las calicatas analizadas son las gravas y ciertos casos de frontera como el GP-GM y GP-GC, siendo un material cuyo CBR de Sub rasante corresponde al de un terreno regular. El valor máximo de CBR al 100 % de la MDS es de 65.78 % y un CBR al 95 % de la MDS es de 34.38% ubicados en la calicata 01.

3 ESTUDIO DE SUELOS CON FINES DE PAVIMENTACIÓN

3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS

CALICATA 01

➤ Primer Estrato

Material compuesto por Gravas Bien Gradadas (GW), de color plomo, con poca cantidad de finos, en estado semi denso y humedad media.

CALICATA 02

➤ Primer Estrato

Material compuesto por Gravas Mal Gradadas con presencia de Limos (GP-GM), de color plomo claro, con poca cantidad de finos.

CALICATA 03

➤ Primer Estrato:

Material compuesto por Arenas con presencia de Limos (SM), de color marrón claro, con poca cantidad de finos, y humedad media.

CALICATA 04

➤ Primer Estrato

Material compuesto por Gravas mal gradadas con presencia de Arcillas (GP-GC), de color plomo, con regular cantidad de finos.

CALICATA 05

➤ Primer Estrato

Material compuesto por Gravas mal gradadas (GP), de color plomo, con poca cantidad de finos, y humedad media.

CALICATA 06

➤ Primer Estrato

El suelo característico en este estrato es según la clasificación SUCS, GP-GC: Gravas mal gradadas con presencia de arcillas.

3.2 EXPLORACIÓN DE CAMPO

El ensayo de CBR es requerido según manual del MTC, en la página 33 para determinar el número de ensayos de CBR a efectuarse se toma como referencia el *Cuadro 4.2 del Manual de Carreteras, “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”, Sección: Suelos y Pavimentos* del MTC.

El ensayo CBR es requerido obligatoriamente por el Manual de Carreteras, “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”, Sección: Suelos y Pavimentos en la página 44.

3.3 TRABAJOS DE GABINETE

Los trabajos de gabinete consisten en:

- Codificar cada muestra extraída del campo.
- Obtener en plataforma, la cantidad necesaria para efectuar cada uno de los ensayos requeridos por el proyectista y señalados en el TDR referente al proyecto.
- Guardar CONTRAMUESTRA para futuros debates por un lapso de 30 días.
- Efectuar cada uno de los ensayos requeridos, teniendo en cuenta lo estipulado en la normativa de la EM-2016.

3.4 DETERMINACIÓN DEL CBR DE DISEÑO

3.4.1 ZONA “A”

Tabla 09: CÁLCULO DEL CBR DE DISEÑO

CALICATA	CBR AL 100 % y 95 % de la M.D.S a 0.1” de Penetración	
	100 %	95 %
01	35.41	26.50
02	65.78	26.14
03	34.38	26.20
04	29.82	26.97
05	25.14	22.95
06	32.30	21.32

Nota: “En los sectores con 6 o más valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos,

se determinará el valor de CBR de diseño de la sub rasante considerando el promedio del total de los valores analizados por sector de características homogéneas.” (MTC, 2014)

CBR DE DISEÑO ZONA “A” – 25.01%

4 RECOMENDACIONES GENERALES DE CONSTRUCCIÓN

- El presente tramo analizado no requiere de mejoramiento de sub rasante.
- En el caso de Mezclas de Concreto con Cemento Pórtland (MCCP), se recomienda fabricar probetas o testigos de concreto con diferentes relaciones de agua-cemento, de acuerdo a la resistencia solicitada, a fin de elegir la dosificación adecuada.
- Verificar los Diseños de Mezclas, con los agregados triturados en obra con fines de realizar los ajustes necesarios.

5 CONCLUSIONES

- No existe presencia de Napa Freática, en las calicatas efectuadas, por tanto, según NTP.339.088 es apta para trabajarla con cemento portland si el Profesional Responsable lo cree conveniente.
- Los trabajos, ensayos, resumen de ensayos son:

Tabla 10: Resumen de trabajos de campo

TRABAJO DE CAMPO	CANTIDAD
UBICACIÓN DE PUNTOS DE EXCAVACION.	06
EXCAVACION DE CALICATAS.	06
TOMA DE MUESTRAS DE CALICATAS	06

Tabla 11: Cantidad de ensayos de laboratorio

ENSAYOS DE LABORATORIO	CANTIDAD
Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422	06
Clasificación de suelos	06
Límites de Atterberg (Limite líquido, Limite plástico, índice de plasticidad) ASTM D-4318.	06
Perfil Estratigráfico	06
Ensayo de Proctor Modificado	06
Ensayo de CBR.	06

- El CBR de Diseño para la zona analizada es:

CBR DE DISEÑO ZONA “A” – 25.01%

EVIDENCIAS FOTOGRÁFICAS



Medición de la profundidad y muestreo de la calicata 01



Medición de la profundidad y muestreo de la calicata 02



Medición de la profundidad y muestreo de la calicata 03



Medición de la profundidad y muestreo de la calicata 04



Vista del proceso del ensayo C.B.R de la calicata 05



Vista del proceso del ensayo C.B.R de la calicata 06



Vista del proceso del ensayo de granulometría de la calicata 02

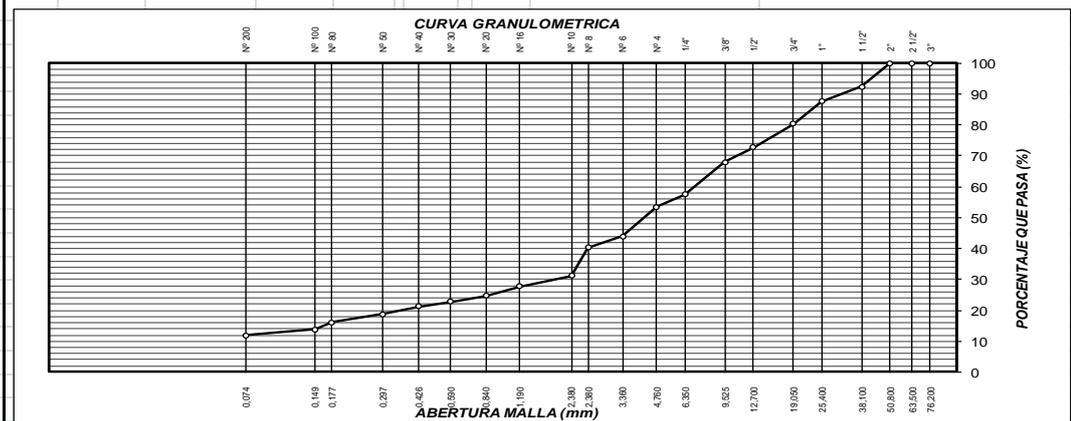
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

ASTM D 421 MTC E 107

PROYECTO:	ANÁLISIS NUMÉRICO PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DEL CONCRETO RODILLADO EN VÍAS URBANAS DEL VALLE DEL MANTARO
SOLICITA	DAVID RAMOS PIÑAS - TESISITA
UBICACIÓN	URBANIZACIONES EL TREBOL, CORONA DEL FRAILE Y PLANICIE DEL FRAILE DEL SUB SECTOR CHORRILLOS
CALICATA	4 FECHA 14/03/2019

Pag. 1 de 1

MALLAS ESPEC. AMERICANA	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO					DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA	
	ABERTURA (mm)	Peso Retenidos	RET (%)	PASA (%)	ESPECIFIC. "A-2"		
3"	76.200	0.00	0.00	100.00		Bolonería > 3"	0.0
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	100.00		Grava 3" - Nº 4 :	46.57
2"	50.800	0.00	0.00	100.00		Arena Nº4 - Nº 200 :	41.5
1 1/2"	38.100	276.40	7.60	92.40		Finos < Nº 200 :	11.9
1"	25.400	172.33	4.74	87.66		Fraccion (SUMA Nº8:Nº200)	1166.7
3/4"	19.050	264.27	7.27	80.40			
1/2"	12.700	275.84	7.58	72.81			
3/8"	9.525	177.27	4.87	67.94			
1/4"	6.350	382.38	10.51	57.43			
Nº 4	4.760	145.50	4.00	53.43			
Nº 6	3.360	344.10	9.46	43.97			
Nº 8	2.380	134.72	3.70	40.27		DATOS DE LIMITES DE ATTERBERG	
Nº 10	2.000	327.32	9.00	31.27		LIMITE LIQUIDO	24.60
Nº 16	1.190	130.28	3.58	27.69		LIMITE PLASTICO	20.22
Nº 20	0.840	107.48	2.95	24.73		INDICE PLASTICIDAD	4.38
Nº 30	0.590	68.19	1.87	22.86			
Nº 40	0.426	60.32	1.66	21.20		CLASIFICACION	
Nº 50	0.297	89.81	2.47	18.73		SUCS	AASHTO
Nº 80	0.177	92.24	2.54	16.19		GP-GC	A-1-a (0)
Nº 100	0.149	84.40	2.32	13.87			
Nº 200	0.074	71.91	1.98	11.90		CALICATA	
-200		432.67	11.90	-		ESTRATO	2
						PROFUNDIDAD (m)	0.45 - 1.80
Peso Inicial:		3637.42	100.00				



Comentario : La interpretación de los resultados de ensayo es de exclusiva responsabilidad del solicitante, salvo recomendaciones adjuntas

FIRMAS AUTORIZADAS



MACEDONIO P. RAMOS CÁRDENAS
 ING. CIP. 36456 ESPECIALISTA
 EN MECÁNICA DE SUELOS Y
 ESTUDIOS ESPECIALES



Cesar A. Bravo Huatuco
 LABORATORISTA DE SUELOS Y
 MATERIALES



ANALISIS GRANULOMETRICO

ASTM D 421 MTC E 107

PROYECTO:	ANÁLISIS NUMÉRICO PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DEL CONCRETO RODILLADO EN VÍAS URBANAS DEL VALLE DEL MANTARO
SOLICITA	DAVID RAMOS PIÑAS - TESISISTA
UBICACIÓN	URBANIZACIONES EL TREBOL, CORONA DEL FRAILE Y PLANICIE DEL FRAILE DEL SUB SECTOR CHORRILLOS
CALICATA	5 FECHA 14/ 03/ 2019

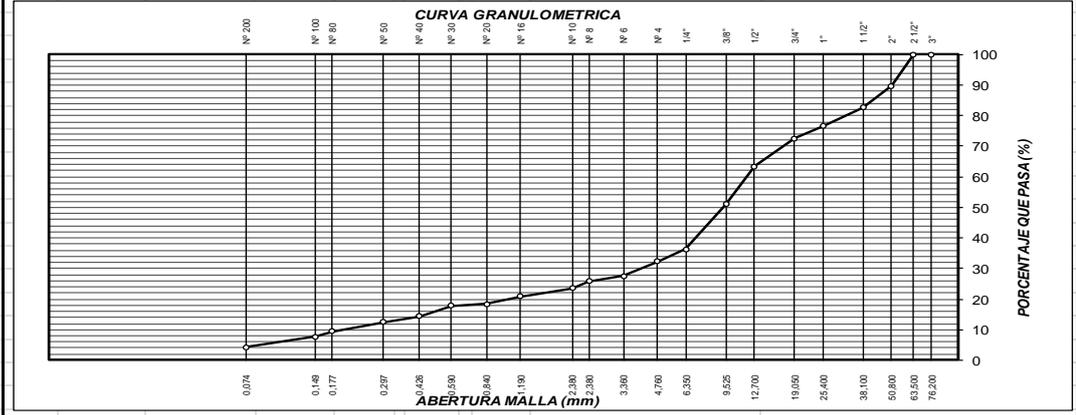
Pag. 1 de 1

MALLAS SIEVE AMERICANA	ANALISIS GRANULOMETRICO					DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
	ABERTURA (mm)	Pesos Retenidos	RET (%)	PASA (%)	ESPECIFIC. "A-2"		
3"	76.200	0.00	0.00	100.00		Boloneria > 3" :	0.0
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	100.00		Grava 3" - Nº 4 :	67.65
2"	50.800	220.00	10.34	89.66		Arena Nº4 - Nº 200 :	28.0
1 1/2"	38.100	150.32	7.07	82.59		Finos < Nº 200 :	4.3
1"	25.400	127.94	6.01	76.58		Fraction (SUMA Nº8:Nº200)	493.4
3/4"	19.050	86.03	4.04	72.53			
1/2"	12.700	194.76	9.16	63.37			
3/8"	9.525	264.49	12.43	50.94			
1/4"	6.350	310.84	14.61	36.33			
Nº 4	4.760	84.53	3.97	32.35			
Nº 6	3.360	102.42	4.82	27.54			
Nº 8	2.380	34.42	1.62	25.92			
Nº 10	2.000	50.87	2.39	23.53			
Nº 16	1.190	55.71	2.62	20.91			
Nº 20	0.840	53.46	2.51	18.39			
Nº 30	0.590	11.44	0.54	17.86			
Nº 40	0.426	74.97	3.52	14.33			
Nº 50	0.297	37.82	1.78	12.55			
Nº 80	0.177	67.78	3.19	9.37			
Nº 100	0.149	37.28	1.75	7.61			
Nº 200	0.074	69.65	3.27	4.34			
-200		92.31	4.34	-			
Peso Inicial:		2127.04	100.00				

DATOS DE LIMITES DE ATTERBERG	
LIMITE LIQUIDO	38.51
LIMITE PLASTICO	24.04
INDICE PLASTICIDAD	14.47

CLASIFICACION	
SUCS	AASHTO
GP	A-2-6 (0)

CALICATA	ESTRATO
05/01/1900	2
PROFUNDIDAD (m)	0.55 - 1.80



Comentario : La interpretación de los resultados de ensayo es de exclusiva responsabilidad del solicitante, salvo recomendaciones adjuntas

FIRMAS AUTORIZADAS

MACEDONIO P. RAMOS CÁRDENAS
ING. CIP. 36450 ESPECIALISTA
EN MECÁNICA DE SUELOS Y
ESTUDIOS ESPECIALES

Cesar A. Bravo Huatuco
LABORATORISTA DE SUELOS Y
MATERIALES

ANALISIS GRANULOMETRICO

ASTM D 421 MTC E 107

PROYECTO: ANÁLISIS NUMÉRICO PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DEL CONCRETO RODILLADO EN VÍAS URBANAS DEL VALLE DEL MANTARO

SOLICITA DAVID RAMOS PIÑAS - TESISISTA

UBICACIÓN URBANIZACIONES EL TREBOL, CORONA DEL FRAILE Y PLANICIE DEL FRAILE DEL SUB SECTOR CHORRILLOS

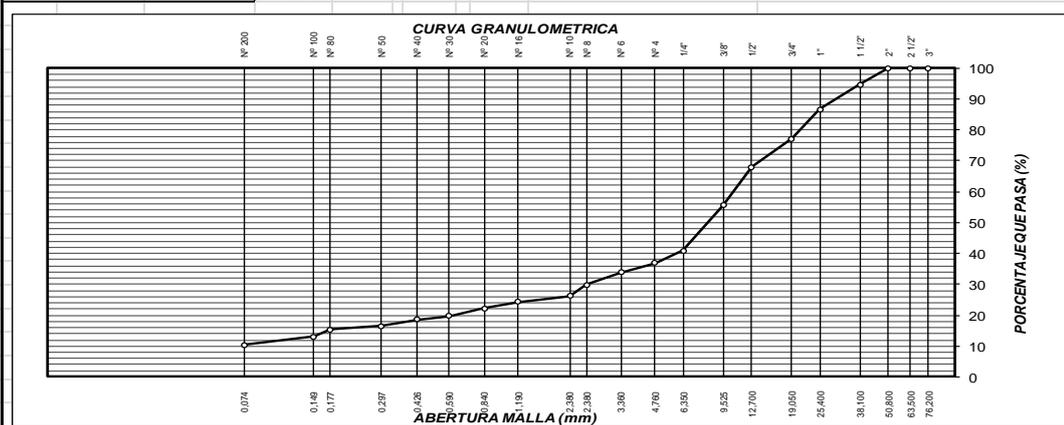
CALICATA 6 **FECHA** 14/03/2019 Pag. 1 de 1

MALLAS SERIE AMERICANA	ANALISIS GRANULOMETRICO					DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
	ABERTURA (mm)	Pesos Retenidos	RET (%)	PASA (%)	ESPECIFIC. "A-2"		
3"	76.200	0.00	0.00	100.00		Bolonería > 3" :	0.0
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	100.00		Grava 3" - N° 4 :	63.02
2"	50.800	0.00	0.00	100.00		Arena N°4 - N° 200 :	26.6
1 1/2"	38.100	191.32	5.31	94.69		Finos < N° 200 :	10.4
1"	25.400	292.10	8.10	86.59		Fraccion (SUMA N°8-N°200)	841.3
3/4"	19.050	341.53	9.48	77.11			
1/2"	12.700	329.67	9.15	67.97			
3/8"	9.525	447.69	12.42	55.55			
1/4"	6.350	526.15	14.60	40.95			
N° 4	4.760	143.08	3.97	36.98			
N° 6	3.360	116.35	3.23	33.75			
N° 8	2.380	141.98	3.94	29.81			
N° 10	2.000	126.43	3.51	26.31			
N°16	1.190	70.94	1.97	24.34			
N° 20	0.840	77.22	2.14	22.20			
N° 30	0.590	90.75	2.52	19.68			
N° 40	0.426	36.14	1.00	18.68			
N° 50	0.297	78.68	2.18	16.49			
N° 80	0.177	41.00	1.14	15.36			
N° 100	0.149	80.68	2.24	13.12			
N° 200	0.074	97.49	2.70	10.41			
-200		375.32	10.41	-			
Peso Inicial:		3604.50	100.00				

DATOS DE LIMITES DE ATTERBERG	
LIMITE LIQUIDO	17.94
LIMITE PLASTICO	13.10
INDICE PLASTICIDAD	4.84

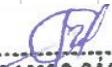
CLASIFICACION	
SUCS	AASHTO
GP-GC	A-1-a (0)

CALICATA	ESTRATO
06/01/1900	2
PROFUNDIDAD (m)	0.55 - 1.80



Comentario : La interpretación de los resultados de ensayo es de exclusiva responsabilidad del solicitante, salvo recomendaciones adjuntas

FIRMAS AUTORIZADAS



MACEDONIO P. RAMOS CARDENAS
 ING. CIP. 36456 ESPECIALISTA
 EN MECANICA DE SUELOS Y
 ESTUDIOS ESPECIALES



Cesar A. Bravo Huatuco
 LABORATORISTA DE SUELOS Y
 MATERIALES



TESIS	ANÁLISIS NUMÉRICO PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DEL CONCRETO RODILLADO EN VÍAS URBANAS DEL VALLE DEL MANTARO	METODO DE COMPACTACION	C
		MAXIMA DENSIDAD SECA (gr./cc.)	2.128
SOLICITA	: DAVID RAMOS PIÑAS - TESISTA	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	5.44
		C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	35.41%
UBICACIÓN	: URBANIZACIONES EL TREBOL, CORONA DEL FRAILE	C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	26.50%
CALICATA	: 1		

ENSAYO CBR

Molde N°	1C		1B		1A	
	56		25		12	
COND. DE LA MUESTRA	REMOJADA		REMOJADA		REMOJADA	
Peso Molde - - suelo húmedo	9760		9462		9304	
Peso del Molde gr.	4753		4903		4764	
Peso del Suelo húmedo gr.	5007		4559		4540	
Volumen del suelo cc.	2225.74		2211.56		2262.09	
Densidad humedad gr/cc	2.250		2.061		2.007	
% humedad	5.1%		5.0%		4.5%	
Densidad seco gr/cc	2.141		1.962		1.921	
Tarro N°	10	19	07	15	26	35
Tarro - - suelo húmedo gr.	91.28	79.71	102.49	102.48	83.26	85.39
Tarro - - suelo seco gr.	87.90	76.89	98.82	98.37	80.42	82.40
Agua	3.38	2.82	3.67	4.11	2.84	2.99
Peso del Tarro gr.	27.03	15.77	26.88	15.46	16.49	16
Peso del suelo seco gr.	60.87	61.12	71.94	82.91	63.93	66.40
% de humedad	5.55%	4.61%	5.10%	4.96%	4.44%	4.50%
Promedio de humedad %	5.1%		5.0%		4.5%	

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	Lectura DIAL	EXPANSION		Lectura DIAL	EXPANSION		Lectura DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%

PENETRACION

PENETRACION mm	MOLDE N° 1C				MOLDE N° 1B				MOLDE N° 1A			
	Lectura DIAL	CORRECCION		Lectura DIAL	CORRECCION		Lectura DIAL	CORRECCION				
		kg	kg/cm2		kg	kg/cm2		kg	kg/cm2			
0.64	14	230.40		12	134.80		6	120.50				
1.27	35	365.70		22	262.70		21	182.90				
1.91	53	475.80		38	371.50		38	234.00				
2.54	72	617.90		55	481.80		54	280.00				
3.81	119	773.50		87	562.70		87	315.90				
5.08	179	919.90		124	637.60		126	343.10				
6.35	231	1066.80		156	709.50		161	383.50				
7.62	276	1220.60		193	780.90		199	396.90				
10.16	353	1359.60		280	850.00		270	426.50				
12.70	392	1472.90		342	920.00		328	440.90				


MACEDONIO R. RAMOS CÁRDENAS
 ING. CIP. 36450 ESPECIALISTA
 EN MECÁNICA DE SUELOS Y
 ESTUDIOS ESPECIALES


Cesar A. Bravo Huatuco
 LABORATORISTA DE SUELOS Y
 MATERIALES

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ESTUDIOS ESPECIALES

ESTUDIA Y CONSTRUYE S.A.C.

RUC 20600057775
 DIRECCIÓN: PSJE VIRGEN DE LA ASUNCIÓN N° 004-B
 CELULAR: ESPECIALISTA #955888151 - GERENTE: #998485828

TESIS	ANÁLISIS NUMÉRICO PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DEL CONCRETO RODILLADO EN VÍAS URBANAS DEL VALLE DEL MANTARO	METODO DE COMPACTACION	B
SOLICITA	: DAVID RAMOS PIÑAS - TESISISTA	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr./cc.)	1.966
UBICACIÓN	: URBANIZACIONES EL TREBOL, CORONA DEL FRAILE	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	9.83
CALICATA	: 2	C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	65.78%
		C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	26.14%

ENSAYO CBR

Molde N°	2C		2B		2A	
Golpes por Capa N°	56		25		12	
COND. DE LA MUESTRA	REMOJADA		REMOJADA		REMOJADA	
Peso Molde - - suelo húmedo	9622		9367		9306	
Peso del Molde gr.	4792		4738		4882	
Peso del Suelo húmedo gr.	4830		4629		4424	
Volumen del suelo cc.	2256.21		2233.46		2201.96	
Densidad humedad gr/cc	2.141		2.073		2.009	
% humedad	8.4%		9.2%		9.1%	
Densidad seco gr/cc	1.976		1.898		1.842	
Tarro N°	27	01	06	03	08	14
Tarro - - suelo húmedo gr.	79.65	80.23	102.35	100.74	65.77	78.14
Tarro - - suelo seco gr.	74.76	76.10	96.12	94.20	62.51	73.04
Agua	4.89	4.13	6.23	6.54	3.26	5.1
Peso del Tarro gr.	16.62	26.48	25.86	26.17	27.71	14.75
Peso del suelo seco gr.	58.14	49.62	70.26	68.03	34.80	58.29
% de humedad	8.41%	8.32%	8.87%	9.61%	9.37%	8.75%
Promedio de humedad %	8.4%		9.2%		9.1%	

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	Lectura DIAL	EXPANSION		Lectura DIAL	EXPANSION		Lectura DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%

PENETRACION

PENETRACION mm	MOLDE N° 2C				MOLDE N° 2B				MOLDE N° 2A			
	Lectura DIAL	CORRECCION		Lectura DIAL	CORRECCION		Lectura DIAL	CORRECCION				
		kg	kg/cm2		kg	kg/cm2		kg	kg/cm2			
0.64	14	198.95		12	93.80		6	133.92				
1.27	35	420.08		22	208.52		21	183.60				
1.91	53	713.43		38	351.21		38	223.29				
2.54	72	1019.52		55	480.38		54	275.13				
3.81	119	1361.72		87	596.85		87	306.99				
5.08	179	1592.06		124	676.20		126	351.27				
6.35	231	1947.24		156	770.18		161	383.67				
7.62	276	2150.43		193	847.87		199	417.15				
10.16	353	2478.71		280	904.18		270	451.98				
12.70	392	2698.66		342	991.39		328	485.19				

MACEDONIO P. RAMOS CÁRDENAS
 ING. CIP. 36450 ESPECIALISTA
 EN MECÁNICA DE SUELOS Y ESTUDIOS ESPECIALES

Cesar A. Bravo Huatuco
 LABORATORISTA DE SUELOS Y MATERIALES

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ESTUDIOS ESPECIALES

ESTUDIA Y CONSTRUYE S.A.C.

RUC 20600057775
 DIRECCIÓN: PSJE VIRGEN DE LA ASUNCIÓN N° 004-S
 CELULAR: ESPECIALISTA #955888151 - GERENTE: #996485828

TESIS	ANÁLISIS NUMÉRICO PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DEL CONCRETO RODILLADO EN VÍAS URBANAS DEL VALLE DEL MANTARO	METODO DE COMPACTACION	C
		MAXIMA DENSIDAD SECA (gr./cc.)	2.116
SOLICITA	: DAVID RAMOS PIÑAS - TESISTA	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	5.55
		C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	34.38%
UBICACIÓN	: URBANIZACIONES EL TREBOL, CORONA DEL FRAILE	C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	26.20%
CALICATA	: 3		

ENSAYO CBR

Molde N°	1C		1B		1A	
	56		25		12	
COND. DE LA MUESTRA	REMOJADA		REMOJADA		REMOJADA	
Peso Molde - - suelo húmedo	9760		9462		9304	
Peso del Molde gr.	4753		4903		4764	
Peso del Suelo húmedo gr.	5007		4559		4540	
Volumen del suelo cc.	2225.74		2211.56		2262.09	
Densidad humedad gr/cc	2.250		2.061		2.007	
% humedad	5.1%		5.0%		4.5%	
Densidad seco gr/cc	2.141		1.962		1.921	
Tarro N°	10	19	07	15	26	35
Tarro - - suelo húmedo gr.	91.28	79.71	102.49	102.48	83.26	85.39
Tarro - - suelo seco gr.	87.90	76.89	98.82	98.37	80.42	82.40
Agua	3.38	2.82	3.67	4.11	2.84	2.99
Peso del Tarro gr.	27.03	15.77	26.88	15.46	16.49	16
Peso del suelo seco gr.	60.87	61.12	71.94	82.91	63.93	66.40
% de humedad	5.55%	4.61%	5.10%	4.96%	4.44%	4.50%
Promedio de humedad %	5.1%		5.0%		4.5%	

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	Lectura DIAL	EXPANSION		Lectura DIAL	EXPANSION		Lectura DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%

PENETRACION

PENETRACION mm	Lectura DIAL	MOLDE N° 1C		MOLDE N° 1B		MOLDE N° 1A	
		CORRECCION		CORRECCION		CORRECCION	
		kg	kg/cm2	kg	kg/cm2	kg	kg/cm2
0.64	14	230.40		12	134.80	6	120.50
1.27	35	365.70		22	262.70	21	182.90
1.91	53	475.80		38	371.50	38	234.00
2.54	72	617.90		55	481.80	54	280.00
3.81	119	773.50		87	562.70	87	315.90
5.08	179	919.90		124	637.60	126	343.10
6.35	231	1066.80		156	709.50	161	383.50
7.62	276	1220.60		193	780.90	199	396.90
10.16	353	1359.60		280	850.00	270	426.50
12.70	392	1472.90		342	920.00	328	440.90

MACEDONIO P. RAMOS CÁRDENAS
 ING. CIP. 36450 ESPECIALISTA
 EN MECÁNICA DE SUELOS Y
 ESTUDIOS ESPECIALES

Cesar A. Bravo Huatuco
 LABORATORISTA DE SUELOS Y
 MATERIALES

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ESTUDIOS ESPECIALES

ESTUDIA Y CONSTRUYE S.A.C.

RUC 20600057775
 DIRECCIÓN: PSJE VIRGEN DE LA ASUNCIÓN N° 004-3
 CELULAR: ESPECIALISTA #955888151 - GERENTE: #998485828

TESIS	ANÁLISIS NUMÉRICO PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DEL CONCRETO RODILLADO EN VÍAS URBANAS DEL VALLE DEL MANTARO	METODO DE COMPACTACION	C
SOLICITA	: DAVID RAMOS PIÑAS - TESISTA	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr./cc.)	2.102
UBICACIÓN	: URBANIZACIONES EL TREBOL, CORONA DEL FRAILE	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	6.95
CALICATA	: 4	C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	29.82%
		C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	26.97%

ENSAYO CBR

	4C		4B		4A	
	56		25		12	
COND. DE LA MUESTRA	REMOJADA		REMOJADA		REMOJADA	
Peso Molde - suelo húmedo	10030		9724		9536	
Peso del Molde gr.	4782		4742		4776	
Peso del Suelo húmedo gr.	5248		4982		4760	
Volumen del suelo cc.	2303.55		2240.92		2253.79	
Densidad humedad gr/cc	2.278		2.223		2.112	
% humedad	5.9%		6.2%		5.6%	
Densidad seco gr/cc	2.152		2.093		1.999	
Tarro N°	31	16	26	35	10	19
Tarro - suelo húmedo gr.	101.95	94.90	85.94	87.98	85.95	78.59
Tarro - suelo seco gr.	97.28	90.51	81.62	84.03	83.04	74.99
Agua	4.67	4.39	4.32	3.95	2.91	3.6
Peso del Tarro gr.	18.33	15.37	16.49	16.00	27.03	15.77
Peso del suelo seco gr.	78.95	75.14	65.13	68.03	56.01	59.22
% de humedad	5.92%	5.84%	6.63%	5.81%	5.20%	6.08%
Promedio de humedad %	5.9%		6.2%		5.6%	

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	Lectura DIAL	EXPANSION		Lectura DIAL	EXPANSION		Lectura DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%

PENETRACION

PENETRACION mm	MOLDE N° 4C				MOLDE N° 4B				MOLDE N° 4A			
	Lectura DIAL	CORRECCION		Lectura DIAL	CORRECCION		Lectura DIAL	CORRECCION		Lectura DIAL	CORRECCION	
		kg	kg/cm2		kg	kg/cm2		kg	kg/cm2			
0.64	14	104.00		12	90.00		6	75.00				
1.27	35	192.20		22	179.00		21	170.00				
1.91	53	368.50		38	350.00		38	325.00				
2.54	72	448.60		55	425.00		54	380.00				
3.81	119	482.40		87	460.00		87	420.00				
5.08	179	528.60		124	505.00		126	470.00				
6.35	231	598.30		156	545.00		161	516.00				
7.62	276	658.60		193	600.00		199	567.00				
10.16	353	758.30		280	734.00		270	665.00				
12.70	392	1028.30		342	870.00		328	765.00				

MACEDONIO P. RAMOS CARDENAS
 ING. CIP. 36456 ESPECIALISTA
 EN MECÁNICA DE SUELOS Y
 ESTUDIOS ESPECIALES

Cesar A. Bravo Huatuco
 LABORATORISTA DE SUELOS Y
 MATERIALES



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y ESTUDIOS ESPECIALES

ESTUDIA Y CONSTRUYE S.A.C.

RUC 20600057775
 DIRECCIÓN: PSJE VIRGEN DE LA ASUNCIÓN N° 004-B
 CELULAR: ESPECIALISTA #955888151 - GERENTE: #998485828

TESIS	ANÁLISIS NUMÉRICO PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DEL CONCRETO RODILLADO EN VÍAS URBANAS DEL VALLE DEL MANTARO	METODO DE COMPACTACION	C
SOLICITA	: DAVID RAMOS PIÑAS - TESISTA	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr./cc.)	1.993
UBICACIÓN	: URBANIZACIONES EL TROBOL, CORONA DEL FRAILE	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	11.18
CALICATA	: 5	C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	25.14%
		C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	22.95%

ENSAYO CBR

Molde N°	2C		2B		2A	
	56		25		12	
COND. DE LA MUESTRA	REMOJADA		REMOJADA		REMOJADA	
Peso Molde - - suelo húmedo	9902		9754		9398	
Peso del Molde gr.	4792		4738		4882	
Peso del Suelo húmedo gr.	5110		5016		4516	
Volumen del suelo cc.	2256.21		2233.46		2201.96	
Densidad humedad gr/cc	2.265		2.246		2.051	
% humedad	9.1%		9.2%		9.7%	
Densidad seco gr/cc	2.076		2.058		1.869	
Tarro N°	12	32	07	15	11	36
Tarro - - suelo húmedo gr.	78.24	77.11	66.02	69.55	76.64	102.60
Tarro - - suelo seco gr.	73.99	71.97	62.78	64.95	72.15	95.31
Agua	4.25	5.14	3.24	4.60	4.49	7.29
Peso del Tarro gr.	26.43	16.84	26.88	15.46	27.42	18.05
Peso del suelo seco gr.	47.56	55.13	35.9	49.49	44.73	77.26
% de humedad	8.94%	9.32%	9.03%	9.29%	10.04%	9.44%
Promedio de humedad %	9.1%		9.2%		9.7%	

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	Lectura DIAL	EXPANSION		Lectura DIAL	EXPANSION		Lectura DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%

PENETRACION

PENETRACION mm	MOLDE N° 2C				MOLDE N° 2B				MOLDE N° 2A			
	Lectura DIAL	CORRECCION		Lectura DIAL	CORRECCION		Lectura DIAL	CORRECCION				
		kg	kg/cm2		kg	kg/cm2		kg	kg/cm2			
0.64	14	117.80		12	102.50		6	76.70				
1.27	35	196.50		22	183.80		21	154.30				
1.91	53	294.30		38	287.30		38	237.40				
2.54	72	389.50		55	365.50		54	321.40				
3.81	119	521.20		87	468.70		87	391.70				
5.08	179	631.70		124	569.50		126	464.80				
6.35	231	717.30		156	673.20		161	519.50				
7.62	276	845.30		193	779.50		199	570.60				
10.16	353	949.20		280	892.70		270	631.10				
12.70	392	1043.50		342	992.60		328	675.40				


MACEDONIO P. RAMOS CARDENAS
 ING. CIP. 36450 ESPECIALISTA
 EN MECÁNICA DE SUELOS Y
 ESTUDIOS ESPECIALES


Cesar A. Bravo Huatuco
 LABORATORISTA DE SUELOS Y
 MATERIALES



TESIS	ANÁLISIS NUMÉRICO PARA DIMENSIONAMIENTO ÓPTIMO DEL	METODO DE COMPACTACION	C
	CONCRETO RODILLADO EN VÍAS URBANAS DEL VALLE DEL	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr./cc.)	2.061
	MANTARO	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	7.61
SOLICITA	: DAVID RAMOS PIÑAS - TESISTA	C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	32.30%
UBICACIÓN	: URBANIZACIONES EL TREBOL, CORONA DEL FRAILE	C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	21.32%
CALICATA	: 6		

ENSAYO CBR

Molde N°	4C		4B		4A	
	56		25		12	
Golpes por Capa N°	56		25		12	
COND. DE LA MUESTRA	REMOJADA		REMOJADA		REMOJADA	
Peso Molde - - suelo húmedo	9951		9650		9474	
Peso del Molde gr.	4782		4742		4776	
Peso del Suelo húmedo gr.	5169		4908		4698	
Volumen del suelo cc.	2303.55		2240.92		2253.79	
Densidad humedad gr/cc	2.244		2.190		2.084	
% humedad	8.5%		8.7%		8.5%	
Densidad seco gr/cc	2.069		2.015		1.920	
Tarro N°	36	10	05	07	04	6
Tarro - - suelo húmedo gr.	59.97	78.11	82.42	75.7	80.68	81.40
Tarro - - suelo seco gr.	56.69	74.12	78.14	71.64	76.28	77.19
Agua	3.28	3.99	4.28	4.06	4.40	4.21
Peso del Tarro gr.	18.02	27.02	26.81	26.88	26.43	25.85
Peso del suelo seco gr.	38.67	47.1	51.33	44.76	49.85	51.34
% de humedad	8.48%	8.47%	8.34%	9.07%	8.83%	8.20%
Promedio de humedad %	8.5%		8.7%		8.5%	

EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	Lectura DIAL	EXPANSION		Lectura DIAL	EXPANSION		Lectura DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%

PENETRACION

PENETRACION mm	MOLDE N° 4C				MOLDE N° 4B				MOLDE N° 4A			
	Lectura DIAL	CORRECCION		Lectura DIAL	CORRECCION		Lectura DIAL	CORRECCION		Lectura DIAL	CORRECCION	
		kg	kg/cm2		kg	kg/cm2		kg	kg/cm2			
0.64	14	102.44		12	131.24		6	89.14				
1.27	35	174.51		22	199.91		21	150.42				
1.91	53	323.39		38	271.63		38	200.56				
2.54	72	447.45		55	338.77		54	250.70				
3.81	119	671.18		87	422.70		87	328.69				
5.08	179	805.41		124	494.42		126	393.68				
6.35	231	939.65		156	573.78		161	490.25				
7.62	276	1073.88		193	639.39		199	573.81				
10.16	353	1252.86		280	752.32		270	644.38				
12.70	392	1342.35		342	842.35		328	727.94				


MACEDONIO P. RAMOS CARDENAS
 ING. CIP. 36456 ESPECIALISTA
 EN MECÁNICA DE SUELOS Y
 ESTUDIOS ESPECIALES


Cesar A. Bravo Huatuco
 LABORATORISTA DE SUELOS Y
 MATERIALES