

**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



UPLA
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

TESIS

**DIMENSIONAMIENTO DEL ESPESOR ÓPTIMO DEL CONCRETO
COMPACTADO CON RODILLO MEDIANTE EL ANÁLISIS
NUMÉRICO PARA PAVIMENTOS EN EL DISTRITO DE CHILCA**

AUTOR:

BACHILLER: DIAZ CHANCA, Kevin Lenin

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL:

NUEVAS TECNOLOGÍAS Y PROCESOS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

**Huancayo – Perú
2022**

**UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



UPLA
UNIVERSIDAD PERUANA LOS ANDES

TESIS

**DIMENSIONAMIENTO DEL ESPESOR ÓPTIMO DEL CONCRETO
COMPACTADO CON RODILLO MEDIANTE EL ANÁLISIS
NUMÉRICO PARA PAVIMENTOS EN EL DISTRITO DE CHILCA**

AUTOR:

BACHILLER: DIAZ CHANCA, Kevin Lenin

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN INSTITUCIONAL:

NUEVAS TECNOLOGÍAS Y PROCESOS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

**Huancayo – Perú
2022**

Ing. Ernesto Willy García Poma.

Asesor

Dedicatoria

- Dedicada a mis padres por darme un sustento económico y emocional a fin de culminar mi proyecto profesional.

Diaz Chanca, Kevin Lenin

Agradecimientos

- Agradecer primeramente a Dios por darme unos padres y familia maravillosos que siempre están a mi lado dándome su amor y apoyo, a la Universidad Peruana Los Andes por ayudarme en mi formación profesional.

Diaz Chanca, Kevin Lenin

HOJA DE CONFORMIDAD DE MIEMBROS DEL JURADO

Dr. Rubén Darío Tapia Silguera.
Presidente

Mg. David Ramos Piñas
Jurado

Mg. Edinson José Porras Arroyo
Jurado

Mg. Vidal Víctor Calsina Colqui
Jurado

Mg. Leonel Untiveros Peñaloza.
Secretario Docente

ÍNDICE

DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTOS	IV
ÍNDICE	VI
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS	IX
RESUMEN	X
ABSTRACT	XI
INTRODUCCIÓN	XII
CAPÍTULO I	14
PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
1.2. FORMULACIÓN Y SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA	15
1.1.1. PROBLEMA GENERAL	15
1.1.2. PROBLEMA ESPECÍFICOS	15
1.3. JUSTIFICACIÓN	15
1.3.1. PRÁCTICA.....	15
1.3.2. CIENTÍFICA	16
1.3.3. METODOLÓGICA.....	16
1.4. DELIMITACIÓN	16
1.4.1. ESPACIAL	16
1.4.2. TEMPORAL	17
1.4.3. ECONÓMICA	17
1.5. LIMITACIONES	17
1.6. OBJETIVOS	18
1.6.1. OBJETIVO GENERAL	18
1.6.2. OBJETIVO ESPECÍFICO.....	18
CAPÍTULO II	19
MARCO TEÓRICO	19
2.1. ANTECEDENTES	19
2.1.1. NACIONALES.....	19
2.1.2. INTERNACIONALES	22
2.2. MARCO CONCEPTUAL	24
2.2.1. ANÁLISIS NUMÉRICO.....	24
2.2.2. CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO (CCR)	29
2.2.3. SUELO - CONCRETO.....	32
2.2.4. MATERIALES PARA ELABORAR UNA MEZCLA DE CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO	35
2.2.5. ENSAYOS DE LABORATORIO	41
2.2.6. DISEÑO DE MEZCLA DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.....	42
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS	44
2.4. HIPÓTESIS	46

2.4.1.	HIPÓTESIS GENERAL	46
2.4.2.	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	46
2.5.	VARIABLES.....	46
2.5.1.	DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LAS VARIABLES	46
2.5.2.	DEFINICIÓN OPERACIONAL DE LAS VARIABLES.....	47
2.5.3.	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	48
CAPÍTULO III	49	
METODOLOGÍA	49	
3.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	49	
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	49	
3.3. NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.....	49	
3.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	49	
3.5. POBLACIÓN Y MUESTRA.....	50	
3.5.1.	POBLACIÓN	50
3.5.2.	MUESTRA	50
3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	50	
3.6.1.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	50
3.6.2.	INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	51
3.7. PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	51	
3.8. TÉCNICAS Y ANÁLISIS DE DATOS	52	
3.8.2.	PROGRAMA ABAQUS	54
CAPÍTULO IV.....	63	
RESULTADOS.....	63	
4.1. VARIACIÓN DE COSTOS	63	
4.2. VARIACIÓN DE TIEMPO	64	
4.3. ESFUERZO Y DEFORMACIONES	65	
CAPÍTULO V.....	68	
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	68	
5.1. VARIACIÓN DE COSTOS	68	
5.2. VARIACIÓN DE TIEMPO	69	
5.3. ESFUERZO Y DEFORMACIONES	70	
CONCLUSIONES.....	72	
RECOMENDACIONES	73	
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	74	
ANEXOS	75	
ANEXO N° 1: MATRIZ DE CONSISTENCIA	76	
ANEXO N° 3: DISEÑO DE PAVIMENTO RÍGIDO	84	
ANEXO N° 4: CERTIFICADOS DE LABORATORIO	86	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Módulos de trabajo para Análisis por el Método de Elementos Finitos	26
Tabla 2. Procedimiento de Proctor Estándar (NTP. 339.142 – ASTM D 698) y Proctor estándar modificado (NTP 339. 141; ASTM D1557).....	33
Tabla 3. Requisitos del agregado grueso para pavimentos de concreto hidráulico.....	37
Tabla 4. Requisitos del agregado fino para pavimentos de concreto hidráulico (EG -2013).....	39
Tabla 5. Requerimientos Granulométricos para Base Granular (EG-2013)	40
Tabla 6. Requerimiento de Agua para Uso en Concreto Hidráulico (EG – 2013)	41
Tabla 7. Ensayo y Frecuencia a emplearse para Base Granular (EG – 2013). 42	
Tabla 8. Operacionalidad de las variables	48
Tabla 9. Parámetros usados en capas de pavimento	53
Tabla 10: Comparativo de costos.....	63
Tabla 11: Comparativo de cronograma.....	64
Tabla 12: Comparación de costos.....	68
Tabla 13: Comparación del tempo de ejecución	69
Tabla 14: Estudio de tráfico y cálculo de ejes equivalentes	84
Tabla 15: Dimensionamiento de espesor de pavimento y sub - base	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la zona de trabajo	17
Figura 2: Construcción de represas con Concreto Compactado con Rodillo ...	31
Figura 3: Imagen de compactación de Proctor Modificado	34
Figura 4: Imagen de Resistencia a la Compresión de probetas	35
Figura 5: Tamaño Máximo de agregado y demanda de cemento Hidráulico (EG – 2013)	38
Figura 6: Relación de densidad/humedad de Concreto Compactado con rodillo	43
Figura 7: Estratigrafía del modelo numérico.....	53
Figura 8: Esquema programa ABAQUS.....	55
Figura 9: Vista de modelos a ser analizados.....	57
Figura 10: Elementos finitos utilizados	57
Figura 11: Mallas de los Elementos Finitos de cada elemento	58
Figura 12: Interacción entre superficies de contacto (Adaptado ABAQUS, 2009)	58
Figura 13: Amplitud Vs Tiempo de carga	60
Figura 14: Amplitud Vs Tiempo de rodadura	61
Figura 15: Punto de referencia de la rodadura	62
Figura 16: Análisis de esfuerzos y deformaciones en el centro del pavimento	65
Figura 17: Esfuerzos a mayor profundidad	66
Figura 18: Comportamiento del diseño con respecto a las deformaciones y esfuerzos.....	67
Figura 19: Comparación de costos.....	68
Figura 20: Comparación del tiempo de ejecución.	69
Figura 21: Resultados del software ABAQUS.	70
Figura 22: Comportamiento del eje de diseño.....	71

RESUMEN

En objetivo general de la presente investigación es determinar el dimensionamiento del espesor óptimo del Concreto Compactado con Rodillo mediante el análisis numérico para pavimentos en el Distrito de Chilca 2022, para lo cual se ha tenido que emplear el software ABAQUS, el cual nos ayuda analizar elementos simples y complejos además de ello se realizaron una serie de ensayos como: granulometría, límite líquido, contenido de humedad, porcentaje de absorción, Densidad y compactación. El método de investigación utilizado es el científico, el tipo de investigación es el aplicado, el nivel de investigación es el explicativo, el diseño de la investigación es el experimental, para la recolección de datos se llevaron a cabo la observación, revisión bibliográfica y la consulta con especialista. Mediante el modelamiento de elementos finitos se pudo determinar que el óptimo espesor de concreto compactado con rodillo es de 0.19 metros, el de la sub base es de 15 centímetros, todo esto teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el estudio de suelos en la sub base y sub rasante, además de ello se realizó el diseño de pavimento mediante el manual de carreteras. Se llegó a la conclusión que un concreto compactado con rodillo es mucho más económico y el tiempo de proceso de construcción es menor a un concreto hidráulico, en la durabilidad es mayor al pavimento rígido, la recomendación es que durante su aplicación se debe tener mucho cuidado en el uso de la cantidad adecuada de agua, además de ello su compactación debe de realizarse adecuadamente y también debe ser muy controlada.

PALABRAS CLAVE: CONCRETO, PAVIMENTO, ABAQUS, CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO.

ABSTRACT

The general objective of the present investigation is to determine the dimensioning of the optimal thickness of the Roller Compacted Concrete through numerical analysis for pavements in the District of Chilca 2022, for which the ABAQUS software has had to be used, which helps us analyze elements simple and complex, in addition to this, a series of tests were carried out such as: granulometry, liquid limit, moisture content, absorption percentage, density and compaction. The research method used is scientific, the type of research is applied, the level of research is explanatory, the research design is experimental, for data collection observation, bibliographic review and analysis were carried out. consultation with specialist. Through finite element modeling it was possible to determine that the optimal thickness of roller compacted concrete is 0.19 meters, that of the sub base is 15 centimeters, all this taking into account the results obtained in the study of soils in the sub base. and subgrade, in addition to this, the pavement design was carried out using the road manual. It was concluded that a roller compacted concrete is much cheaper and the construction process time is less than a hydraulic concrete, in durability it is greater than rigid pavement, the recommendation is that great care must be taken during its application. in the use of the adequate amount of water, in addition to this its compaction must be carried out properly and must also be very controlled.

KEY WORDS: CONCRETE, PAVEMENT, ABAQUS, ROLLER COMPACTED CONCRETE.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad la metodología tradicional para realizar el colocado de Concreto en obras viales (vías urbanas y carreteras) en el distrito de Chilca es bastante empleada a raíz de la efectividad que presenta, sin embargo, existe otro tipo de metodología empleada en represas y zonas mineras, dando buenos resultados y teniendo en cuenta que tanto represas como zonas mineras soportan mayor carga vehicular que las zonas urbanas y carreteras del distrito de Chilca.

El Concreto Compactado con Rodillo (CCR) es posiblemente el de mayor relevancia desarrollo en las técnicas de construcción de presas durante los últimos años, siendo exitoso alrededor del mundo demandando un corto tiempo y su bajo precio, las maquinarias empleadas en este tipo concreto son un tractor sobre orugas o motoniveladora para el esparcimiento y nivelación, en la densificación es utilizada un rodillo vibratorio.

La utilización de esta tecnología para la obra de presas y después para la obra de carreteras se convierte cada vez más elemental para ofrecer respuestas a las exigencias de diferentes sectores. Por consecuencia surgen diversidad de averiguaciones, a fin de detectar las múltiples características y mínimas, por tal fundamento, se lleva a cabo la presente indagación con el fin de dar información dirigida a conocer los beneficios del CCR y los métodos básicos para hacer el diseño de mezcla y por procedimientos similares al de compactación de suelos, además de integrar en nuestro entorno novedosas tecnologías.

En el concreto compactado con rodillo de pavimentos contempla una gamma bastante diversa de procedimientos de diseño y creación, dependiendo del entorno donde será aplicado. Se necesita de un balance técnico - económico de cada una de las alternativas.

La presente investigación, hace referencia al uso de un estudio numérico el cual servirá de ayuda para un dimensionamiento óptimo de un concreto compactado con rodillo en pavimentación de vías urbanas y carreteras del distrito de Chilca, asimismo, el trabajo es de los mismos materiales que se usa para concreto hidráulico, empero difiere en la colocación y uso de equipo mecánico. El curado es igual, solo que se tiene aguardar un fraguado inicial, y para obtener las juntas se tiene recortar con conjuntos corta pavimento conformando los paños y rellenando las juntas como con el concreto hidráulico usual.

Normalmente en un concreto hidráulico la máxima resistencia a la compresión se alcanza a los 28 días, por consiguiente, lo recomendable es que a partir de ese tiempo recién comience el uso de este, sin embargo, esto no sucede con un concreto compactado con rodillo ya que su resistencia a la compresión aumenta en mucho menos cantidad de tiempo. Dicho aumento se percibe bastante rápido, aproximadamente en 24 horas, demostrando así que gradualmente va aumentando su resistencia. Por esto, el desempeño de tecnologías modernas en obras viales o criterios de conservación y mantenimiento, son inevitables como recurso a las múltiples solicitudes en diversas superficies del sector vial, lo que se busca es poder lograr una apropiada solución referente a la duración, costos, reposición y otros.

CAPÍTULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

A nivel nacional el empleo de concreto en la construcción es bastante usual y en gran cantidad debido a su variable fabricación y utilización, lo mismo sucede a nivel de la región y nivel local. En las pavimentaciones en zonas urbanas mayormente se opta por pavimento rígido (compuesto por concreto hidráulico y en algunos casos reforzados con acero), esto debido a que no requiere un mantenimiento constante. Sin embargo, la desventaja de utilizar este tipo de pavimento es que el proceso constructivo, conlleva a un periodo largo de tiempo, por lo cual los costos son más elevados. Para lo cual es necesario la implementación de nuevas tecnologías y técnicas que ayuden a reducir tiempo y costos durante la etapa de ejecución de obra, donde dichas acciones no afectan la calidad de la obra. Por esta razón en el presente trabajo se busca dimensionar un óptimo espesor de concreto compactado con rodillo empleando el análisis numérico, en el distrito de Chilca, provincia de Huancayo.

Se puede mencionar como un ejemplo evidente el pavimento rígido de la avenida Huancavelica, en el distrito de Huancayo y Chilca con una longitud aproximada de 3 Km, en el tramo comprendido desde el puente Huancavelica hasta el Parque de Los Héroes (Chilca); cuya aplicación de concreto Portland con refuerzos de acero resisten alto tonelaje en un tránsito pesado, aplicados en un suelo de baja resistencia, pero a la vez el costo de ejecución de obra ha sido alto.

Por tal razón, el presente trabajo está enfocado en desarrollar una investigación encaminada a dimensionar un óptimo espesor de concreto compactado con rodillo mediante el uso de análisis numérico, todo mediante modelamientos en 3D con el programa ABAQUS. El espesor calculado será una alternativa innovadora para la ejecución de obras con menor costo y menor tiempo.

1.2. Formulación y sistematización del problema

1.1.1. Problema General

¿Se podrá lograr un dimensionamiento del espesor óptimo del Concreto Compactado con Rodillo mediante el análisis numérico para g en el Distrito de Chilca 2022?

1.1.2. Problema Específicos

- a. ¿Cuál es la variación de costos en el dimensionamiento del espesor óptimo del Concreto Compactado con Rodillo mediante el análisis numérico para pavimentos en el Distrito de Chilca 2022?
- b. ¿Cuál es la variación de tiempos en el dimensionamiento del espesor óptimo del Concreto Compactado con Rodillo mediante el análisis numérico para pavimentos en el Distrito de Chilca ra2022?
- c. ¿Cuál es la variación de esfuerzos a la sub rasante en el dimensionamiento del espesor óptimo del Concreto Compactado con Rodillo mediante el análisis numérico para pavimentos en el Distrito de Chilca 2022?

1.3. Justificación

1.3.1. Práctica

Actualmente en nuestro país es muy común que en toda pavimentación se utilice un concreto hidráulico, sin embargo, no se cuenta con antecedentes prácticos del uso de la tecnología de concreto compactado con rodillo en el distrito de Chilca enfocados en carreteras

y vías urbanas, caso contrario que viene sucediendo en muchos países ya que es muy común la aplicación de esta tecnología.

Es muy frecuente que se utilice el concreto compactado con rodillo en la construcción de presas, todo esto debido a que tiene mayor ventaja, permite que el tiempo de trabajo sea mucho menor, el empleo de cemento sea en menos cantidad, como consecuencia implica menores costos.

1.3.2. Científica

Esta investigación tiene como determinación ampliar el conocimiento científico de estudiantes y egresados de las universidades e institutos especializados, sobre el dimensionamiento del espesor óptimo del concreto compactado con rodillo mediante el análisis numérico.

1.3.3. Metodológica

En toda carretera y vía urbana asfaltada se pueden notar que el tiempo de duración es bastante corta en comparación con los pavimentos donde se hace el empleo de concreto hidráulico. sin embargo, en el concreto hidráulico con correr del tiempo el mantenimiento resulta caro o en el peor de los casos se tiene que reemplazar por uno nuevo.

Por tales motivos esta investigación se enfoca en realizar un dimensionamiento del espesor óptimo del concreto compactado con rodillo utilizando un análisis numérico para luego ser aplicado las pavimentaciones futuras que serán efectuadas en el distrito de Chilca.

1.4. Delimitación

1.4.1. Espacial

La presente tesis fue realizado a nivel de laboratorio en el distrito de Chilca, provincia de Huancayo de la región Junín.



Figura 1. Ubicación de la zona de trabajo

1.4.2. Temporal

La Limitación Temporal de esta investigación estuvo comprometida entre el mes de Junio del 2022.

1.4.3. Económica

Todo gasto involucrado para la culminación de la presente investigación fue asumido en totalidad por el tesista.

1.5. Limitaciones

Los recursos con los que se contó no permitieron la aplicación mediante concreto compactado con rodillo.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Determinar el dimensionamiento del espesor óptimo del Concreto Compactado con Rodillo mediante el análisis numérico para pavimentos en el Distrito de Chilca 2022.

1.6.2. Objetivo específico

- A. Determinar la variación de costos en el dimensionamiento del espesor óptimo del Concreto Compactado con Rodillo mediante el análisis numérico para pavimentos en el Distrito de Chilca 2022.

- B. Identificar la variación de tiempos en el dimensionamiento del espesor óptimo del Concreto Compactado con Rodillo mediante el análisis numérico para pavimentos en el Distrito de Chilca 2022.

- C. Determinar la variación de esfuerzos a la sub rasante en el dimensionamiento del espesor óptimo del Concreto Compactado con Rodillo mediante el análisis numérico para pavimentos en el Distrito de Chilca 2022.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Nacionales

Gurreonero (2020) en su tesis titulada “Análisis comparativo de las propiedades mecánicas de un concreto convencional y un concreto compactado con rodillo para pavimentos, Lima 2019” tuvo como objetivo general determinar la resistencia a compresión, tracción y flexión de un concreto convencional y un concreto compactado con rodillo (CCR) en pavimentos, para cumplir ese objetivo fue necesario tener una muestra de 84 probetas (21 probetas de concreto convencional, 21 probetas de concreto compactado con rodillo con 12% de cemento, 21 probetas de concreto compactado con rodillo con 14% de cemento y 21 probetas de concreto compactado con rodillo con 16% de cemento). Los resultados obtenidos muestran que las propiedades mecánicas de un concreto compactado con rodillo en los 28 días, resultaron positivamente con los 14% y 16% de adición de cemento ante el convencional, su resistencia a compresión y tracción disminuyó al 12% de adición de cemento, sin embargo, su resistencia a flexión tuvo una ganancia positiva ante al patrón.

Saldaña (2017) en su tesis titulada “Resistencia a la compresión de un concreto compactado con rodillo en diferentes tiempos de vibrado” tuvo como principal objetivo evaluar la resistencia a la compresión de un concreto compactado, en tres tiempos de vibrado 5, 10 y 15 segundos, para cumplir con el objetivo fue necesario la evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados además que se utilizó cemento portland tipo I, se realizó el diseño de mezcla de muestra patrón de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y 3 muestras adicionales a tres tiempos de vibrados 5 segundos 10 segundos y 15 segundos evaluados en periodos de 7, 14 y 28 días. Los resultados obtenidos a los 7 días fueron que con los 5 segundos de vibración llega a un

14.97%, con 10 segundos de vibración llega a un 19.66% y con 15 segundos de vibración llega a un 22.58% todo esto sobre la resistencia patrón que llega a un $f'c = 244.45 \text{ kg/cm}^2$, a los 14 días los resultados fueron que con los 5 segundos de vibración llega a un 3.97%, con 10 segundos de vibración llega a un 5.87% y con 15 segundos de vibración llega a un 13.99% todo esto sobre la resistencia patrón que llega a un $f'c = 287 \text{ kg/cm}^2$ y por último a los 28 días con los 5 segundos de vibración llega a un 5.08%, con 10 segundos de vibración llega a un 7.20% y con 15 segundos de vibración llega a un 11.35% todo esto sobre la resistencia patrón que llega a un $f'c = 320.84 \text{ kg/cm}^2$.

Ramos (2020) en su tesis titulada "Análisis numérico para dimensionamiento óptimo del concreto rodillado en vías urbanas del Valle del Mantaro" tuvo como 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, para alcanzar este objetivo el investigador utilizó el análisis numérico mediante elementos finitos en la pavimentación de vías urbanas y carreteras en condiciones del Valle del Mantaro, para ello se hizo un modelamiento tridimensional con las capas de los elementos estructurales, los resultados obtenidos fueron que se determinó un espesor convencional de 20 cm, Los paños largos fueron determinados de 19.60mt. mediante el análisis de esfuerzos y deformaciones son nulas a los 1.20 m, en los costos en el empleo de dimensionamiento óptimo se determina que representa un 27% de ahorro a comparación con el concreto convencional.

Aguilar (2019) en su tesis titulada "Variación de la resistencia a compresión de un concreto compactado $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ al usar agregado grueso reciclado" tuvo como principal objetivo determinar la variación de la resistencia a la compresión de un concreto compactado al usar agregado grueso reciclado en remplazo del agregado natural para cumplir con este se tuvo que determinar las propiedades físicas y

mecánicas de los agregados naturales y del agregado grueso reciclado, para el diseño de concreto se reemplazó el agregado grueso en porcentajes de 25, 50, 75 y 100% por el agregado grueso compactado, el diseño patrón de concreto fue de un $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$, se utilizaron un total de 150 especímenes cilíndricos evaluando su resistencia a la compresión a los 7, 14 y 28 días. Los resultados finales fueron que a los 7 días la resistencia a la compresión de las muestras reemplazadas en agregado grueso con 25 y 50 % por agregado grueso reciclado son mayores a la muestra patrón sin embargo las muestras con 75 y 100% de agregado reciclado tienen resistencia a la compresión menores al de la muestra patrón. A los 14 días se tienen los mismos resultados en la resistencia a la compresión. A los 28 días la resistencia a la compresión patrón es de 217.11 kg/cm^2 , la muestra con reemplazo de su agregado grueso por agregado grueso reciclado en 25% es 6.04% mayor, en el concreto con 50% de agregado grueso reciclado es 1.47% mayor con respecto al patrón, sin embargo, en las muestras reemplazadas por concreto reciclado en un 75% y 100% la resistencia disminuye en un 7.64% y 10.98% correspondientemente con respecto a la muestra patrón.

Espinoza (2019) en su tesis titulada “Análisis del comportamiento mecánico del concreto compactado con rodillo (CCR) para la rehabilitación de las vías urbanas en la ciudad de Huánuco-2017” cuyo objetivo principal es determinar el porcentaje óptimo de cemento y el número de capas de compactado del concreto compactado con rodillo (CCR), recomendable para su uso en la rehabilitación de las vías urbanas de la ciudad de Huánuco para cumplir con este se tomó como referencia la compactación de suelos, se diseñó tres mezclas con un 10%, 12% y 14% de cemento a tres y cuatro capas de compactado, con una población total de 270 probetas para edades de 7, 14 y 28 días teniendo como referencia un concreto convencional de $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. Los resultados obtenidos en los ensayos de compresión a los 7, 14 y 28 días fueron muy notorios en sus variaciones, en el espécimen con 14% de adición de cemento y a cuatro capas de compactado es donde

se obtuvo mejor resultado, el cual se asemeja al concreto convencional de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$. Sin embargo, en la presente investigación se empleó un porcentaje menor de cemento y agua, lo cual implica un ahorro económico.

Huamani (2016) en su tesis titulada “Análisis y diseño de pavimentos de CCR (Concreto Compactado con Rodillo): Propuesta de aplicación a la Avenida las Torres del distrito de Yura” cuyo objetivo general es usar la metodología de diseño del concreto compactado con rodillo en la pavimentación de la Avenida Las Torres del Distrito de Yura para alcanzar este objetivo se determinó las propiedades físicas y mecánicas de todos los agregados además de ello añadir cemento en 14, 15, 16, y 17% en peso de los agregados. Los resultados obtenidos fueron que el óptimo contenido de cemento es del 16.3% en peso de los agregados, el diseño por metodología de fatiga y erosión muestra un espesor óptimo de concreto compactado con rodillo de 0.28 m para un desgaste por fatiga de 0%, erosión de 93% y un espesor de sub-base granular de 0.15 m. en lo económico este tipo de pavimento presenta un ahorro de 34.5% respecto del concreto convencional.

2.1.2. Internacionales

Mauricio-Dávila y Milagros-Rodríguez (2016) en su investigación “Análisis del modelo de cálculo racional de diseño de mezclas RCC (Roller Compacted Concrete)” planteo el objetivo general analizar el método racional de cálculo de diseño de mezclas de RCC, evaluando el comportamiento mecánico de probetas cilíndricas, para cumplir con este se tuvieron 60 probetas para el ensayo de compresión simple, la relación agua cemento fueron 0.7, 0.6, 0.5 y 0.8. Los resultados obtenidos fueron no fueron satisfactorio todo esto debido a que no existe correlación entre la resistencia a la compresión y relación a/c, además que tuvo deficiencias en los ensayos como que hubo pocas muestras y no hubo control adecuado en la compactación.

Irayda-Smith y Ralph Halford (2018) en su investigación titulada “Diseño de espesor de pavimento de concreto compactado con rodillo mediante el método propuesto por la asociación del cemento portland (PCA) aplicado al tramo de carretera San Sebastián de Yalí – Condega” planteo el objetivo general aplicar y desarrollar la metodología correspondiente de diseño de espesores para pavimentos de Concretos Compactados con Rodillos en el tramo de carretera “San Sebastián de Yalí – Condega”, para lograr dicho objetivo se realizó la proyección del tráfico promedio diario anual, luego procesar la información de CBR y con estos datos dimensionar el espesor. Los resultados obtenidos fueron un espesor para pavimento compactado con rodillo de 18 cms, sin considerar pasajuntas ni soportes laterales, mucho menos refuerzos de armadura.

Motta (2018) en su tesis titulada “Manual para el diseño, producción y colocación de pavimentos de concreto compactado con rodillo en Guatemala”, se planteó el objetivo principal es realizar un manual para el diseño, producción y proceso constructivo de pavimentos de concreto compactado con rodillo en Guatemala para lograr dicho objetivo se consideró desde el diseño de mezcla, diseño estructural, producción y una colocación óptima. Además de que todo material debe ser seleccionado según normas Coguanor. Los resultados obtenidos fueron que la resistencia y densidad que es establecida por el contenido de agua y compactación, dentro de las ventajas se encuentra en la poca inversión en el mantenimiento a lo largo del tiempo.

Alvarado (2014) en su tesis titulada “Estudio descriptivo de la tecnología del concreto compactado con rodillo y su aplicabilidad en pavimentos” cuyo objetivo general es realizar un estudio descriptivo de la Tecnología del Concreto Compactado con Rodillo y su aplicabilidad en Pavimentos. Para lograr dicho objetivo se realizó la revisión bibliográfica de artículos, libros y páginas web donde se describen datos referentes a Concreto Compactado con Rodillo. Los resultados

obtenidos fueron que la utilización de Concreto Compactado con Rodillo es una alternativa viable para ser utilizado en pavimentación, su alta capacidad de soporte inicial permite que se libere el tráfico después de su terminación, en una adecuada aplicación se logran obtener mayores valores de propiedades elásticas, permeabilidad, densidad y durabilidad.

2.2. Marco Conceptual

2.2.1. Análisis numérico.

El análisis numérico es referido al estudio de algoritmos que ayudan a la obtención de resultados, es un método empleado mayormente por la ingeniería para ser un apoyo en la solución de ecuaciones, del cual su propósito es proporcionar soluciones numéricas precisas. Facilita en encontrar sucesiones que se ejecutan de manera lógica usando simulación o cálculo en procesos menos complicados. Los principales métodos numéricos son:

2.2.1.1. Método de Elementos Finitos

Es el método de más usado en la ingeniería y física para el procedimiento de aproximación de soluciones basado en técnicas basadas en un modelamiento mediante softwares para obtener un análisis sencillo y efectivo.

2.2.1.1.1. Tipos de Elementos Finitos

- **Elemento “Truss”:** Cuya característica aplicativa es ser un elemento sometido a dos fuerzas (Tracción y Compresión).
- **Elemento “Beam”:** Más común y usado en puentes en cuyos elementos son uniones mecánicas, conductos, vigas

y tuberías. Las cargas que son sometidas a este modelo son la transversal y/o momentos flectores.

- **Elementos Elásticos bidimensional:** Existen tres tipos de esta como:
 - Elementos axisimétricos: Los elementos sometidos a cargas axisimétricos, son examinados en un modelo de dos dimensiones.
 - Esfuerzos y deformaciones planas: Esfuerzo de un elemento analizado mediante triángulos y cuadriláteros.

- **Solidos elásticos tridimensionales:** Cuya característica es contar con 3 grados de libertad y finalmente los resultados de esfuerzos y deformaciones son mostrados tridimensionales.

- **Elementos “Tetrahedral and Hexahedral”:** Usados para un modelamiento de estructuras en tres dimensiones cuyos elementos contienen tres grados de libertad por nodos.

2.2.1.1.2. Definición del método de los elementos finitos

- El medio se divide en partes o elementos finitos cuyo comportamiento se define mediante nodos.

- La solución sigue las normas de los problemas discretos.

- Las interrogantes dejan de ser matemáticas para asumir valor en función a los nodos.

- El comportamiento de cada uno es definido por los comportamientos de cada nodo.

2.2.1.1.3. Aplicación del Método de Elementos Finitos

El uso se puede dar en muchas partes, así como en la ingeniería debido a su simplicidad, es usado para simular los sistemas físicos (estáticos y dinámicos) y biológicos, cálculo de tensiones, fluido dinámica, transferencia de calor.

La finalidad del método de elementos finitos es verificar los esfuerzos y deformaciones de un elemento.

2.2.1.1.4. Funcionamiento de un programa de elementos finitos

Los módulos de trabajo en el programa de elementos finitos son: pre-procesador, calculador y post-procesador.

Tabla 1. Módulos de trabajo para Análisis por el Método de Elementos Finitos

Pre-procesador	Calculador	Post-procesador
<ul style="list-style-type: none"> - Definición geométrica. - Selección de elemento o elementos - Definir y signar las propiedades del material - Generar mallas - Ingreso de cargas 	<ul style="list-style-type: none"> - Selección del tipo de cálculo - Configuración de parámetros de cálculo - Inicio del cálculo 	<ul style="list-style-type: none"> - Representación gráfica de resultados Interpretación de resultados: <ul style="list-style-type: none"> - Esfuerzos - Desplazamientos - Temperaturas

2.2.1.1.5. Pasos para el Análisis de Elementos Finitos

- **Discretizar o modelar la estructura**

En este paso se determina el tamaño o cantidad de elementos y la precisión de solución del problema, la estructura es

- **Definir propiedades de los elementos**

Se precisan toda propiedad de cada elemento, además de ello se escoge el elemento para luego simular.

- **Ensamblaje de las matrices de rigidez de los elementos**

La rigidez es derivada de las condiciones de equilibrio, desplazamientos nodales por su energía interna o externos.

- **Aplicación de cargas**

Se atribuye cada una de las cargas externas concentradas o fuerzas uniformes, en esta situación dichas cargas serán producto de cada vehículo que transitará por dicho lugar, estas cargas las conocemos como ejes equivalentes, los cuales tienen la posibilidad de ser cargas concentradas, cargas distribuidas, cargas instantes, etcétera.

- **Definición de condiciones de fronteras**

Cada condición en cada apoyo debe de ser definidas, usando las condiciones se pueden determinar las reacciones.

- **Solución del sistema de ecuaciones algebraicas lineales**

Debido a los desplazamientos desconocidos, es muy necesario una aplicación secuencial que proyectan a un sistema de ecuaciones algebraicas simultáneas.

- **Cálculo de los esfuerzos**

Podemos visualizar de manera grafica los esfuerzos, reacciones, deformaciones y otra información de gran importancia.

2.2.1.2. Método de los elementos de entorno (BEM)

Es un método para dar solución a las ecuaciones diferenciales, reduciendo en gran magnitud el tamaño del problema, en la evaluación de los resultados las ecuaciones diferenciales se vuelven a utilizar para la solución de cada punto en el interior del dominio.

2.2.1.3. Método de las diferencias finitas

Es un método usualmente usado para dar solución a las ecuaciones diferenciales, las diferencias finitas son aproximadas por las derivadas, este método es muy dependiente de la discretización de una función.

2.2.2. Concreto compactado con rodillo (CCR)

Es un tipo de concreto que se caracteriza por su poco contenido de agua, por consecuencia no presenta slump, adicionalmente a ello en este tipo de concreto no se requiere cemento en altas cantidades, la cantidad de cemento pueden variar entre 300 y 360 kg/m³, cabe recalcar que se usa el principio utilizado en suelos mediante el proctor modificado para su diseño. El diseño de mezcla requiere de un óptimo contenido humedad, el cual debe tener la capacidad de soportar y evitar el hundimiento del rodillo vibratorio, pero la humedad debe ser adecuado durante el mezclado y compactación.

2.2.2.1. Características del concreto compactado con rodillo (CCR).

- Instalación rápida, por consecuencia menor costo y tiempo.
- El agua requerida es en pequeña proporción y usualmente se trabaja con la humedad de los agregados.
- Se adquiere una mejor vida útil de pavimento.
- Para la colocación y compactación se utiliza equipos que frecuentemente son utilizados en movimientos de tierras: camiones para el transporte, buldócer o motoniveladora para extender el material y rodillo vibratorio para la compactación.
- Permite la circulación de vehículos directamente sin una protección superficial.

- El curado es igual al concreto hidráulico, todo mediante continuo uso de agua. Igualmente, el endurecido es igual al concreto hidráulico.
- Con una óptima granulometría de los agregados y con altas resistencias a las cargas abrasivas se obtienen altas resistencias.
- Los espesores varían entre los 12 y 25 cm para las calles ubicadas en las zonas urbanas.
- El uso de cemento es en menor cantidad en comparación al concreto hidráulico sin embargo la resistencia a la compresión suele ser mayor.
- Los tamaños máximos nominales se limitan en $\frac{3}{4}$ " y $\frac{5}{8}$ ".
- 24 horas después de terminada su compactación se pueden permitir el tránsito de vehículos ligeros.

2.2.2.2. Aditivos

Para un mejor rendimiento se pueden utilizar aditivos como:

- Adercristal, para mejorar la adherencia del concreto.
- Curaseal, para un mejor curado.
- Eucon MSA, mejora la resistencia a la compresión y tracción.
- Eucon R 400, para retardar el proceso de fraguado

2.2.2.3. Aplicaciones

La aplicación de concreto compactado con rodillo generalmente es en:

- Presas y represas
- Pavimentos
- Puertos

- Muelles
- Estacionamientos
- Vías militares



Figura 2: Construcción de represas con Concreto Compactado con Rodillo

En muchos países es común el uso de concreto compactado con rodillo en las pavimentaciones ya que es un gran ahorro de tiempo y dinero además de ello inicialmente fue utilizado en la construcción de grandes represas.

2.2.2.4. Optimizar los costos y tiempos

Mediante la aplicación de concreto compactado con rodillo la ejecución de obras de pavimentación se realiza de manera rápida y sencilla en comparación de un concreto hidráulico convencional por consecuencia los mayores ahorros. En el proceso de ejecución del concreto hidráulico se realizan encofrados, juntas, mayor uso de cemento y agua, en peor de los casos un reforzamiento con acero, además de ello el concreto hidráulico alcanza su resistencia máxima a la compresión a los 28 días, lo cual no permite que transiten los vehículos hasta que se cumplan todos esos días.

Sin embargo, en un concreto compactado con rodillo simplemente se utiliza un diseño de mezcla óptimo y una compactación adecuada y controlada, además de ello en 24 horas ya pueden transitar vehículos.

2.2.3. Suelo - Concreto

2.2.3.1. Suelo

Se entiende por suelo como la capa superficial de la corteza terrestre y para determinar sus propiedades es necesario el estudio de suelos para todo tipo de infraestructura, ya que con ello se puede especificar que, si es bueno o es necesario realizar un mejoramiento de este, todo esto es necesario debido a que sobre el suelo recae todas las cargas que transmite una estructura.

En todo agregado y suelo mejorado mediante la aplicación de cemento, cuyo diseño está basado en las características mecánicas de los agregados y lo más importante alcanzar un contenido de humedad óptimo con lo cual se evita que no sea un suelo con ausencia de humedad y tampoco que el material se sature por el exceso de agua, además de ello se puede calcular la máxima densidad seca, todos estos valores se determinan mediante ensayos de laboratorio.

Para el proceso de determinar la máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad tenemos dos tipos: Proctor estándar (NTP 339.142 – ASTM D 698) y Proctor estándar modificado (NTP 339.141; ASTM D1557), los cuales se diferencian en que un proctor estándar se aplica en canales, veredas y donde no se aplique una considerable carga. El proctor modificado es utilizado para carreteras, plantas de tratamientos y otros donde se aplicarán una gran cantidad de carga.

De los anteriores procedimientos para determinar el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca que ayuda a determinar con 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)	T 99 (A)	12375	4 in 0.033	5.5 lb 12 in	3 25	No 4
(B)	(B)	12375	4 in 0.033	5.5 lb 12 in	3 25	No 4
(C)	(C)	12320	6 in 0.035	5.5 lb 12 in	3 56	3/4"
D1557 (A)	T 180 (A)	56250	4 in 0.033	10 lb 18 in	5 25	No 4
(B)	(B)	56250	4 in 0.033	10 lb 18 in	5 25	No 4
(C)	(C)	56000	6 in 0.035	10 lb 18 in	5 56	3/4"

Para determinar si el ensayo de proctor en el laboratorio está bien efectuado, recorreremos a la gráfica ya que en ella podemos observar una parábola, de no ser así se llega a la conclusión que el ensayo está mal elaborado por consecuencia se tiene que volver a realizar, adicionalmente a ello se tiene que graficar una línea de saturación la cual debe ubicarse a la derecha de la curva de compactación, este es una manera también de comprobar que el proctor está bien procesado, si se ubica en el lado izquierdo nos indica que está mal.



Figura 3: Imagen de compactación de Proctor Modificado

2.2.3.2. Concreto.

Se denomina concreto al resultado de la mezcla entre piedra chancada, arena gruesa, cemento y agua, de ser necesario algún aditivo, en algunos casos simplemente se utilizan hormigón, cemento y agua. Para obtener una buena resistencia del concreto realizar ciertos ensayos como granulometría, humedad de los agregados, abrasión los angeles, gravedad específica, porcentaje de absorción, peso unitario suelto y compactado, slump y contenido de aire. Mediante estos ensayos podemos determinar si son aptos para ser utilizados en diferentes tipos de obras.

Cabe mencionar que el concreto es diseñado para diferentes resistencias esto debido al tipo de estructura donde será utilizado, y para certificar que la resistencia de concreto es igual o similar que el diseño se realiza en el ensayo de compresión simple sobre las probetas o testigos, uno de los factores que influye en la resistencia

es el contenido de aire sin embargo para ello se utilizan maquinas vibratorias.

En un concreto hidráulico es muy común el uso de agua de manera regular, logrando un asentamiento de 1" - 2", 3" - 4" y 5" - 6", sin embargo, en un concreto compactado con rodillo no se puede observar un asentamiento, esto debido al poco uso de agua además de ello se utiliza menor cantidad de cemento, sin embargo, los testigos son igual al de concreto hidráulico, el diseño del concreto compactado con rodillo es determinado en el laboratorio utilizando el principio de compactación de suelos.



Figura 4: Imagen de Resistencia a la Compresión de probetas

2.2.4. Materiales para elaborar una mezcla de concreto compactado con rodillo

En un concreto compactado con rodillo los materiales a ser utilizados son iguales al del concreto hidráulico, cumpliendo con las características físicas y mecánicas que son muy requeridas para en dicho concreto, dichos materiales son especificados a continuación:

2.2.4.1. Cemento

El cemento está definido como material pulverizado del Clinker pasante la malla N° 200 de un color gris característico, mezclado con una cantidad de agua logra endurecerse, además de ello tiene la propiedad adhesiva y cohesiva, propiedades que logran adherir los agregados, con ayuda del agua, para luego comenzar el proceso de fraguado debido a su composición química.

En un concreto compactado con rodillo empleado en una pavimentación se pueden emplear todo tipo de cemento portland, sin embargo, lo recomendable es evaluar el entorno para determinar qué tipo de cemento se utilizará, como el cemento tipo I para un bajo calor de hidratación, tipo II moderada resistencia a los sulfatos y tipo V cuya característica es que es resistente a los sulfatos.

2.2.4.2. Agregados.

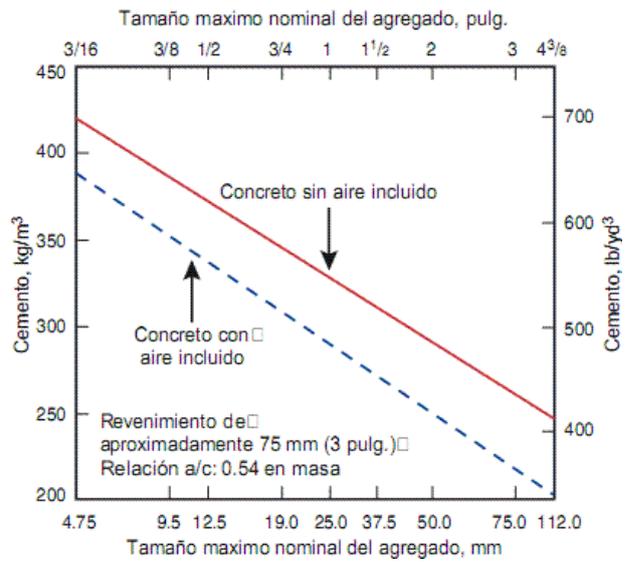
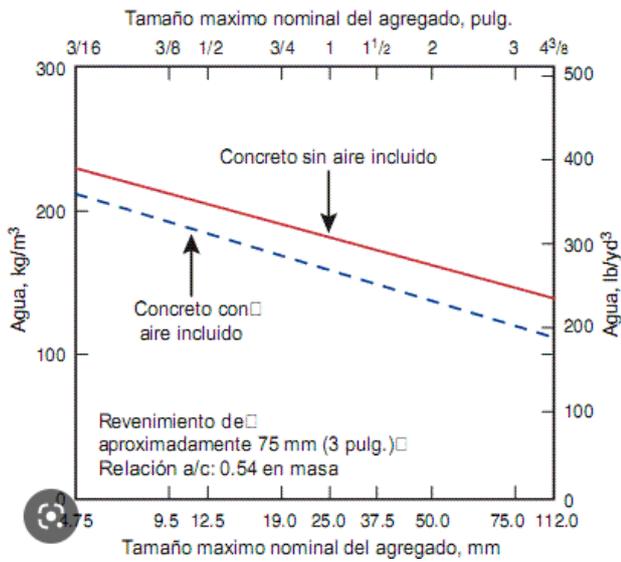
Material que comprende un aproximado de 75 al 85% del volumen de la mezcla del concreto compactado con rodillo, las partículas de los agregados deben ser de calidad, con un tamaño máximo nominal de $\frac{3}{4}$ de pulgada, estos pueden ser de cualquier origen sin embargo este debe cumplir con los requerimientos mínimos estipulados en la NTP 337.441. Los agregados deben ser muy resistentes a la vibración, el cual será producido por el rodillo.

2.2.4.3. Agregado grueso

El agregado grueso está constituido por las rocas graníticas retenido en la malla 4,75 mm (N°. 4). Pueden ser de originados en un yacimiento natural o chancadora de grava zarandeada. El agregado grueso debe cumplir los requisitos estipulados en la siguiente tabla:

Tabla 3. Requisitos del agregado grueso para pavimentos de concreto hidráulico

CARACTERÍSTICA	NORMA DE ENSAYO INV	REQUISITO
Dureza (O)		
Desgaste en la máquina de los Ángeles (Gradación A), máximo (%) - 500 revoluciones - 100 revoluciones	E-218	40 8
Degradación por abrasión en el equipo Micro-Deval, máximo (%)	E-238	30
Resistencia mecánica por el método del 10 % de finos - Valor en seco, mínimo (kN) - Relación húmedo/seco, mínimo (%)	E-224	90 75
Durabilidad (O)		
Pérdidas en el ensayo de solidez en sulfatos, máximo (%) - Sulfato de sodio - Sulfato de magnesio	E-220	10 15
Limpieza (-)		
Terrones de arcilla y partículas deleznales, máximo (%).	E-211	3
Partículas livianas, máximo (%).	E-221	0.5
Geometría de las partículas (F)		
Partículas fracturadas mecánicamente (una cara), mínimo (%)	E-227	60
Partículas planas y alargadas (relación 5:1), máximo (%)	E-240	10
Características químicas (O)		
Proporción de sulfatos del material combinado, expresado como SO ₄ ²⁻ , máximo (%)	E-233	1.0
Reactividad álcali - agregado grueso y fino: Concentración SiO ₂ y reducción de alcalinidad R Nota: ver numeral 500.2.1.5.3	E-234	SiO ₂ ≤ R cuando R ≥ 70 SiO ₂ ≤ 35 + 0.5R cuando R < 70



2.2.4.4. Agregado fino

Figura 5: Tamaño Máximo de agregado y demanda de cemento Hidráulico (EG – 2013)

El agregado fino es aquel elemento inherente cuya fracción pasa por el tamiz de 4,75 mm (Nº. 4). La característica más importante es que debe ser que el agregado limpio, duro y libre de impurezas como limos y material orgánico. Los requisitos a cumplirse son estipulados en la siguiente tabla:

Tabla 4. Requisitos del agregado fino para pavimentos de concreto hidráulico (EG -2013)

Ensayo		Norma MTC	Norma NTP	Requisito
Durabilidad				
Pérdidas en ensayo de solidez en sulfatos, % máximo $\geq 3\ 000$ msnm	- Sulfato de sodio	MTC E 207	NTP 400.016	10
	- Sulfato de magnesio	MTC E 209	NTP 400.016	15
Limpieza				
Índice de plasticidad, % máximo		MTC E 111	NTP 339.129	No plástico
Equivalente de arena, %mínimo	$f'c \leq 21$ 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 μ m (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 , % 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

2.2.4.5. Granulometría

Por granulometría se entiende al método o técnica que consiste en seguir una serie de pasos ya sea de manera manual o mecánica, cuya finalidad es separar cada partícula de material dependiendo de sus tamaños, la separación de todos los tamaños es mediante

la utilización de tamices con diferentes aberturas, además de ello se calculan los pesos retenidos en porcentaje de cada malla de los tamices, gracias a la granulometría podemos determinar el tamaño máximo nominal de cada muestra.

El requerimiento granulométrico para una base granular se muestran a continuación en la siguiente tabla:

Tabla 5. Requerimientos Granulométricos para Base Granular (EG-2013)

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

Para establecer una adecuada granulometría en un hormigón se puede utilizarse como un punto de inicio alguna curva de una manera muy parecida al del hormigón común, dichas propiedades del hormigón tienen que ser corroboradas, por lo que para realizar un diseño debe comenzar desde una dosificación similares al de un concreto hidráulico. Las características y comportamiento son evaluadas en los ensayos de laboratorio, de a partir de ellos se podrán aplicar en obra.

2.2.4.6. Agua.

El agua es definida como sustancia líquida compuesta de dos átomos de hidrógeno y un átomo de oxígeno, posee una gran capacidad de disolver la mayoría de materiales, debido a esta característica es bastante usada en obras de ingeniería y en otras.

En un concreto compactado con rodillo el agua a utilizar es mínimo con un aproximado de 4 y 7% del peso de los materiales secos, sin embargo para utilizar agua en un concreto compactado con rodillo

este debe cumplir con ciertos requisitos como debe tener una apariencia limpia y clara, libre de agentes que perjudiquen en su resistencia como los aceites, sales, materiales orgánicos. Para la fabricación de un concreto hidráulico se utilizan un aproximado de 190 litros por metro cubico de agregados.

De acuerdo a la norma EG 2013 la calidad de agua a emplearse en un concreto compactado con rodillo debe ser el mismo que es utilizado en un concreto hidráulico para lo cual se presenta a continuación en la siguiente tabla:

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

Los ensayos en laboratorio son aquellos métodos para realizar nuevos procesos constructivos y/o utilizar otro tipo de materiales para lograr los mismos o mejores resultados al de los materiales convencionales, para lo cual se hacen toda una serie de ensayos que nos ayudan a corroborar.

En un concreto compactado con rodillo todos los ensayos a realizar en el laboratorio son iguales al de un concreto hidráulico, sin embargo, se deberán ser adaptados ya que en un concreto compactado con rodillo se utiliza el principio de método de compactación en suelos, en lo que es la granulometría, resistencia a flexión y compresión si son iguales al de concreto hidráulico, en el método de compactación o proctor modificado se busca determinar el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca, para comenzar el ensayo de compresión la probeta debe ser elaborada con moldes de los que son utilizados en un

concreto hidráulico por lo que se debe elaborar a partir de capas y 56 golpes por capa. Esto con el apisonador utilizado en el ensayo de proctor modificado, sin embargo, en algunas investigaciones se utilizan un martillo neumático el cual es adaptado para la elaboración de probetas.

Para poder corroborar las características de un material, se realizarán los siguientes ensayos, estipulados en la siguiente tabla:

Tabla 7. Ensayo y Frecuencia a emplearse para Base Granular (EG – 2013)

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	C 131	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	T 180	750 m ²	Pista
	Compactación	MTC E 117	D 4718	T 191	250 m ²	Pista
		MTC E 124	D 2922	T 238		

2.2.6. Diseño de mezcla del concreto compactado con rodillo

El diseño de mezcla de un concreto compactado con rodillo es muy similar al de un concreto hidráulico ya que se utiliza cemento, agregado fino y grueso, además de agua, sin embargo, la diferencia está en que en un concreto compactado con rodillo la utilización de cemento y agua son en menor cantidad, pero la resistencia es igual o mejor.

El concreto compactado con rodillo es un concreto compuesto por cemento, agregados, agua y en algunos casos o de ser necesarios se utilizan aditivos, todos estos son compactados en el campo mediante el uso de rodillos vibratorios, todo esto con el fin de lograr una alta

densidad e incluso mejor al del concreto hidráulico, todo esto con contenido de agua y cemento muy bajo.

Todas las propiedades obtenidas en el laboratorio comprueban que el concreto compactado con rodillo es similar al concreto hidráulico, sin embargo, en el ensayo de resistencia a la compresión, usando las mismas cantidades de cemento en ambos concretos se obtuvo un mejor resultado en el concreto compactado con rodillo a comparación del concreto hidráulico.

Para determinar la cantidad de agua a emplearse y además la máxima densidad en el concreto compactado con rodillo se efectuará mediante la siguiente figura donde se establece la relación de densidad y humedad del concreto.

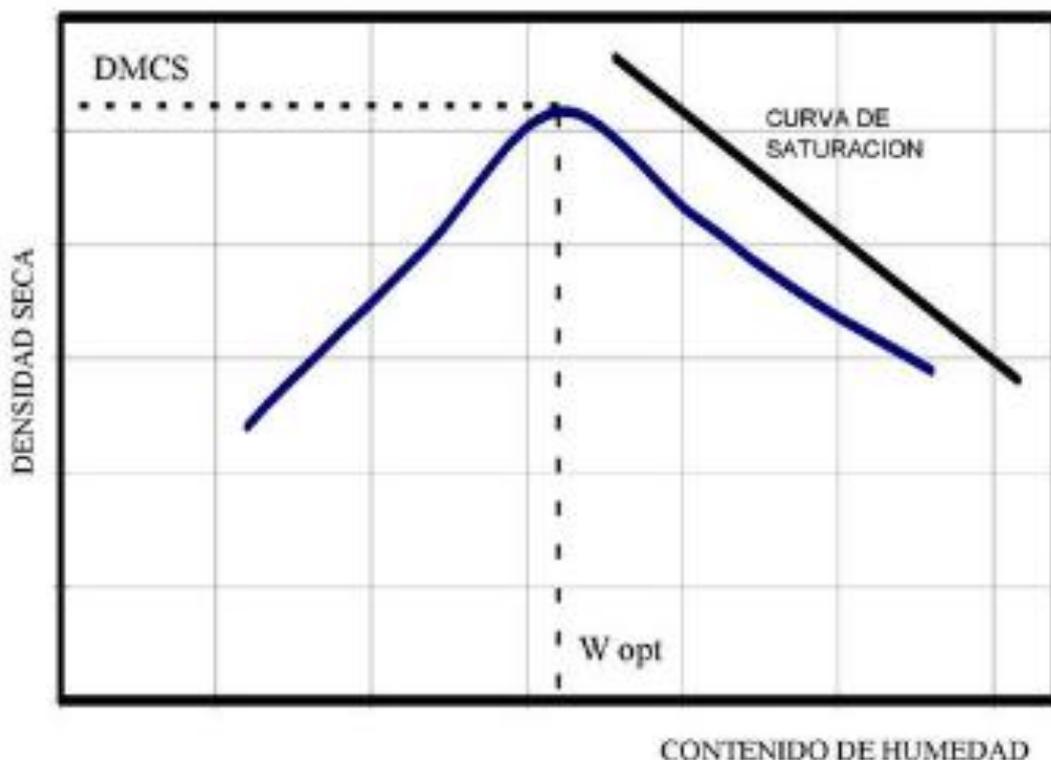


Figura 6: Relación de densidad/humedad de Concreto Compactado con rodillo

2.3. Definición de términos

- 2.3.1. **Concreto:** es aquel resultado de la mezcla de cemento con agregados (pueden ser naturales o triturados), agua y aire, en algunas ocasiones se le agregan aditivos, las cuales poseen diferentes características que ayudan a mejorar la calidad del concreto.
- 2.3.2. **Concreto Simple:** Suele ser denominado también como hormigón simple. Es aquel material obtenido después de mezclar el cemento portland, agua y agregados de diferentes tamaños.
- 2.3.3. **Concreto Rodillado:** Es aquel concreto resultante de la mezcla de cemento, agregados (arena gruesa y piedra chancada) sean naturales o artificiales, además de una poca cantidad de agua, adicionalmente a ello un aditivo de ser necesario. Después de haberse obtenido la mezcla se procede a la compactación con rodillo vibratorio.
- 2.3.4. **Concreto Armado:** Está definido como aquel concreto que tiene incrustado en su interior acero, de tal manera estos dos actúan juntos para tener mejor rendimiento. Este tipo de concreto es capaz de resistir tanto esfuerzo de compresión como esfuerzos a tracción. Todos los esfuerzos de tracción son soportados por las armaduras de acero. El concreto armado es el más usado en la mayoría de obras civiles.
- 2.3.5. **Concreto Ciclópeo:** Es aquel concreto que tiene incorporado en su interior un 30% de grandes piedras cuya dimensión son mayor a las 5 pulgadas, estas piedras son conocidas como canto rodado.

2.3.6. **Diseño de Pavimentos:** Consiste en determinar el espesor de la estructura de un pavimento, mediante el estudio de tráfico, características del suelo, periodo de diseño, material a utilizar en las bases y sub bases, el periodo de diseño y factores ambientales. El método de diseño de pavimento más empleado en la actualidad es el AASHTO. La finalidad del diseño de pavimentos es de soportar las cargas que serán aplicadas en la estructura durante todo el periodo de diseño. El tipo de pavimento a utilizar dependen de las demandas, costos y duración.

2.3.7. **Pavimentos Rígidos:** Es aquel pavimento cuya superficie de rodadura está constituido por losas de concreto hidráulico que pueden tener junta o también no, estas losas están reposadas sobre una base que cumple con todos los requerimientos mínimos estipuladas. A causa de su rigidez todo esfuerzo y deformaciones son transmitidas de manera horizontal en cada una de las losas.

2.3.8. **Pavimentos semirígidos:** Es aquel pavimento que combina dos tipos de pavimentos rígidos y flexibles, generalmente la capa rígida se encuentra debajo, en cambio la capa flexible la encontramos por encima.

2.3.9. **Pavimentos Flexibles:**

Es aquel pavimento cuya característica es que su estructura de multicapas en su totalidad se flexiona, la capa de rodadura es una mezcla asfáltica (fría o caliente). La estructura de un pavimento flexible está conformada por sub base, base y la carpeta asfáltica.

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

Es posible plantear un análisis numérico para el dimensionamiento del espesor óptimo del Concreto Compactado con Rodillo mediante el análisis numérico para pavimentos en el Distrito de Chilca 2022

2.4.2. Hipótesis específicas

- a. La variación de costos en el dimensionamiento del espesor óptimo del Concreto Compactado con Rodillo mediante el análisis numérico para pavimentos en el Distrito de Chilca 2022.
- b. La variación de tiempos en el dimensionamiento del espesor óptimo del Concreto Compactado con Rodillo mediante el análisis numérico para pavimentos en el Distrito de Chilca 2022.
- c. La variación de esfuerzos a la sub rasante en el dimensionamiento del espesor óptimo del Concreto Compactado con Rodillo mediante el análisis numérico para pavimentos en el Distrito de Chilca 2022

2.5. Variables

2.5.1. Definición conceptual de las variables

Variable independiente (X) Análisis Numérico: Es aquel método de investigación que consiste en la desmembración de un todo, descomponiéndolo en sus partes o elementos para observar las causas, la naturaleza y los efectos. El análisis es la observación y examen de un hecho en particular.

Variable dependiente (Y) Dimensión del Espesor Optimo del Concreto Compactado con Rodillo: Es aquel valor para un espesor óptimo cuya función consiste en soportar las solicitaciones de los vehículos y garantizar la máxima fluidez y seguridad posibles.

2.5.2. Definición operacional de las variables

Variable independiente (X) Análisis Numérico: Es aquel que con cuyo valor se determina el espesor óptimo del concreto rodillado.

Variable dependiente (Y) Dimensión del Espesor Optimo del Concreto Compactado con Rodillo: Las dimensiones optimas del concreto rodillado está en función a las características que se presentan en el estado de compactación; tales como: temperatura, resistencia a la compresión, granulometría, optima humedad y resistencia a la tracción.

2.5.3. Operacionalización de las variables

Tabla 8. Operacionalidad de las variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Sub índices	Unidades	Instrumento de medición	Fuente
Variable Independiente (X): Análisis Numérico	Bulbo de Presiones Transferidas	Esfuerzo Horizontal	X	Metros	Medición	Campo
		Esfuerzo Vertical	X	Metros	Medición	Campo
Variable Dependiente (Y): Dimensión del Espesor Óptimo del Concreto Compactado con Rodillo:	Variación de Costos	Presupuesto	X	Soles	Medición	Campo
		Maquinaria	X	Unidades	Medición	Campo
		Mano de obra	X	Horas Hombre	Medición	Campo
	Variación de Tiempos	Duración de Ejecución	X	Días	Medición	Campo
	Variación de Esfuerzos a la Sub Rasante	Esfuerzo de Sub Rasante	X	Unidad	Módulos Finitos	Gabinete

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. Método de investigación

El método usado en la presente investigación es el científico, ya que mediante este se puede considerar una secuencia de pasos ordenados y sistematizados que contribuyen a generar nuevos conocimientos demostrables bajo las mismas condiciones propuestas en el presente estudio.

3.2. Tipo de investigación

En la presente investigación se está empleando las teorías que relacionan las propiedades dinámicas tanto del esfuerzo como de deformación en suelos cohesivos en la capa de la sub rasante; por estos motivos el tipo de investigación a realizar es el aplicada.

3.3. Nivel de la investigación

Debido a que en la presente investigación se busca determinar el espesor óptimo de concreto compactado con rodillo mediante el análisis numérico lo cual nos lleva a tener una relación causal, por lo que el nivel de investigación viene a ser explicativo.

3.4. Diseño de la investigación

En la presente investigación se pretende determinar el espesor óptimo de concreto compactado con rodillo utilizando el análisis numérico por lo que el diseño de investigación viene a ser Experimental.

3.5. Población y muestra

3.5.1. Población

Primeramente, en el lugar de estudio se comenzó con el estudio de suelo, mediante calicatas, luego se procedió a la toma de muestras, seguidamente se llevó al laboratorio de suelos para realizar ensayos y así obtener las características físicas y mecánicas.

Para estudio de canteras se comenzó por buscar uno cerca de la zona de estudios, además de ello se tomaron las muestras necesarias para ser llevadas al laboratorio y así realizar los ensayos correspondientes.

Con los resultados del laboratorio ya se procedió a realizar el diseño de pavimento de concreto hidráulico. El lugar de estudio es el Pje. Junín, Distrito de Chilca, provincia de Huancayo, región Junín.

3.5.2. Muestra

La muestra según el tipo de muestreo no probabilístico porque será desarrollada mediante un modelamiento en técnicas basadas en cálculos por medio de elementos finitos, las cuales nos dan resultados confiables.

3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.6.1. Técnicas de recolección de datos

Para el desarrollo de la presente tesis se consideraron como principales técnicas de recolección de datos a lo siguiente:

Observación: Es la capacidad de obtener información de algún fenómeno o hecho visualmente, en este caso la técnica de observación nos ayuda a recopilar información obtenida en los ensayos de laboratorio y también de la toma de muestra en campo.

Revisión bibliográfica: es una técnica basada en la investigación y búsqueda de información cuya finalidad es conseguir un sustento teórico a la investigación.

Consulta con especialistas: es una técnica basada en una entrevista con conocedor o especialista del tema en que se basa la investigación, esto ayuda a mejorar algunas falencias que podrían existir en el trabajo de investigación.

3.6.2. Instrumentos de recolección de datos

En la presente investigación no será necesario crear un instrumento como las encuestas, tampoco validar los resultados mediante las opiniones de expertos, toda recolección de datos será mediante fichas de los ensayos de laboratorio. Además de ello los resultados que se buscan determinar serán mediante el modelamiento en software.

3.7. Procesamiento de la Información

El modelamiento tridimensional de elementos finitos comienza con la construcción del modelo para el cálculo, el cual primeramente se define la geometría, luego se selecciona y asigna los elementos a emplearse seguidamente se generan las mallas, después se aplican las cargas del camión de diseño, finalmente será calculado los esfuerzos a los que son sometidos cada elemento.

El modelamiento tridimensional finalmente ayuda a representar visualmente los resultados y nos permite a interpretar, las deformaciones y tensiones originadas por la carga aplicada, además de ello ya podemos tener una noción de un espesor óptimo del concreto compactado con rodillo. Las variables a considerar en un modelamiento son:

3.8. Técnicas y análisis de datos

3.8.1. Variables de la simulación

Para realizar la simulación pavimento en un modelamiento tridimensional utilizando el programa ABAQUS. Es de suma importancia definir los parámetros esencialmente el geométrico y geotécnico, de los cuales cuyos valores serán de gran importancia para las simulaciones.

3.8.1.1. Los parámetros geométricos

Los parámetros geométricos permiten la definición del trazado y valores de acuerdo a los espesores de cada componente hallados en el diseño de pavimento.

La estructura del pavimento mediante la utilización de concreto compactado con rodillo, considera ciertos espesores para la sub rasante, sub base y pavimento, estos espesores son los siguientes:

- Para la sub rasante se utilizó el espesor de 1.50 m.
- Para la sub base se utilizó el espesor de 0.15 m.
- El espesor de pavimento calculado y que se utilizó es de 0.19 m.

A continuación, se puede observar una figura con los valores obtenidos en el diseño de pavimentos.

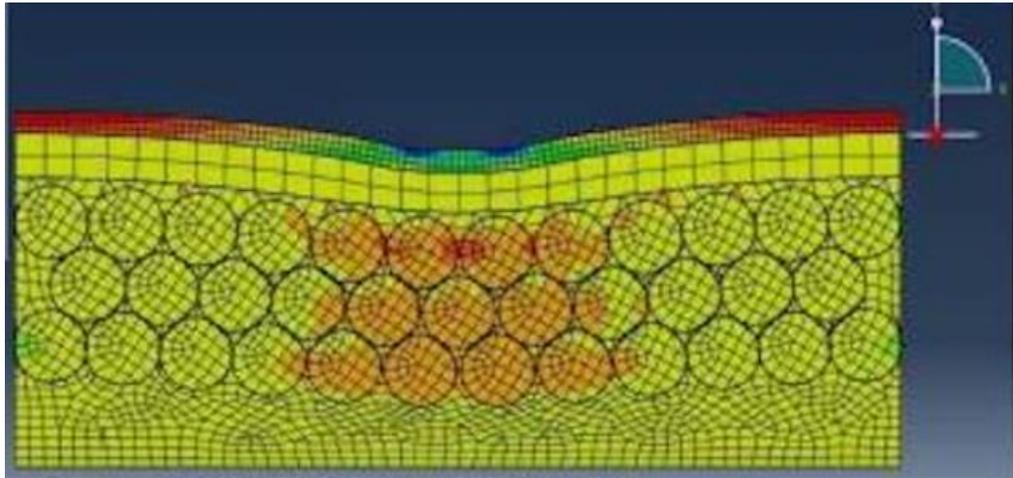


Figura 7: Estratigrafía del modelo numérico

3.8.1.2. Los parámetros geotécnicos

Los parámetros geotécnicos son aquellas características y valores que determinan la calidad de cada material o elemento que es utilizado en la estructura de un pavimento. Para lo cual los parámetros usados en las capas de pavimentos se presentan en la tabla siguiente:

Tabla 9. Parámetros usados en capas de pavimento

Elemento	Parámetro
Sub rasante	Angulo de Fricción interna (Φ)
	Módulo de Elasticidad (E)
	Coefficiente de Poisson (μ)
	Peso específico (γ)
	Índice de vacíos mínimo (e_{min})
	Índice de vacíos máximo (e_{max})

	Módulo de reacción de sub rasante (Ks)
Sub base	Angulo de Fricción interna (Φ)
	Módulo de Elasticidad (E)
	Coefficiente de Poisson (μ)
	Peso específico (γ)
	Compacidad relativa
	Índice de vacíos mínimo e_{min}
	Índice de vacíos máximo e_{max}
Pavimento	Angulo de Fricción interna (Φ)
	Módulo de Elasticidad (E)
	Coefficiente de Poisson (μ)
	Peso específico (γ)
	Compacidad relativa
	Contenido de aire

3.8.2. Programa ABAQUS

Es un software de elementos finitos cuya capacidad es modelar diferentes tipos de elementos para lo cual se sigue el siguiente esquema indicado en la siguiente figura.

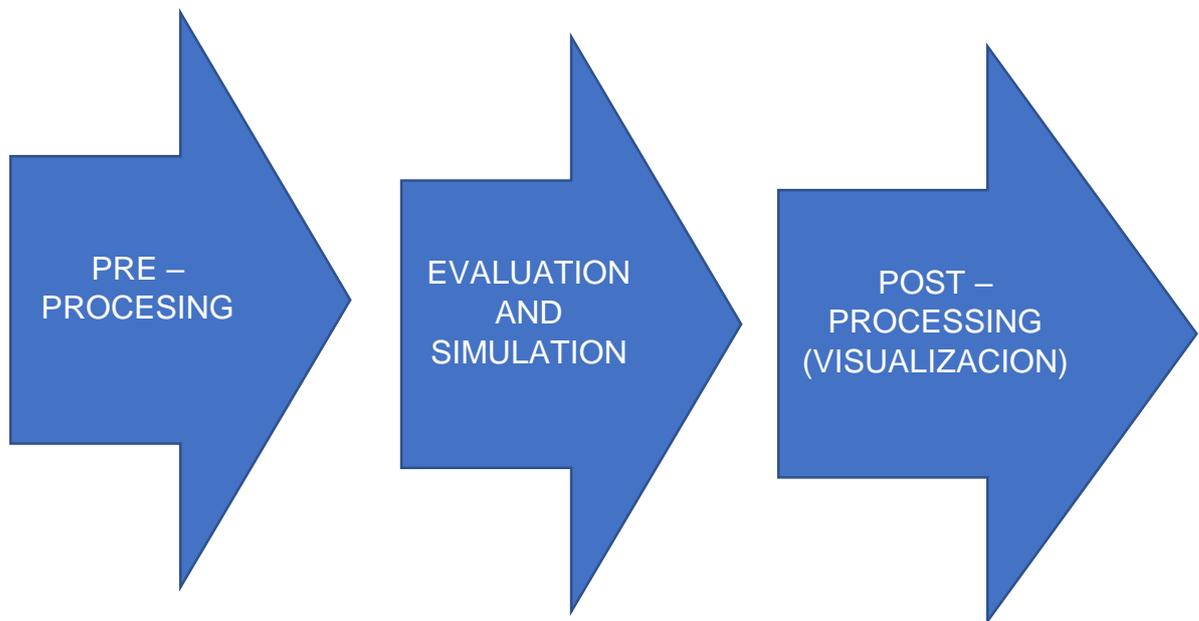


Figura 8: Esquema programa ABAQUS

ABAQUS/CAE, en este paso el software es el encargado de desenvolver el modelo geométrico que se desea, es aquel archivo que contiene la configuración geométrica, cada uno de las propiedades de los materiales o elementos, malla de los elementos finitos, etc.

ABAQUS/Standard e o ABAQUS/Explicit, en esta parte el software que se encarga de cada una de las simulaciones, los cuales son resueltos por los sistemas de ecuaciones.

ABAQUS/Viewer, en esta parte el programa es el encargado de dar solución al modelamiento.

El ABAQUS es un programa encargado de resolver problemas presentados en la ciencia e ingeniería, este puede resolver desde un problema de análisis lineal hasta una simulación.

3.8.2.1. Modelo constitutivo

Para realizar un adecuado modelado se debe elegir los valores numéricos más adecuados ya que de estos dependerán el comportamiento de cada elemento simulado en el programa.

3.8.2.2. Construcción de un prototipo

El software ABAQUS está dividido en módulos, de los cuales cada uno de ellos tiene sus propias herramientas, todas estas cumplen una función específica, para sus tareas a realizar.

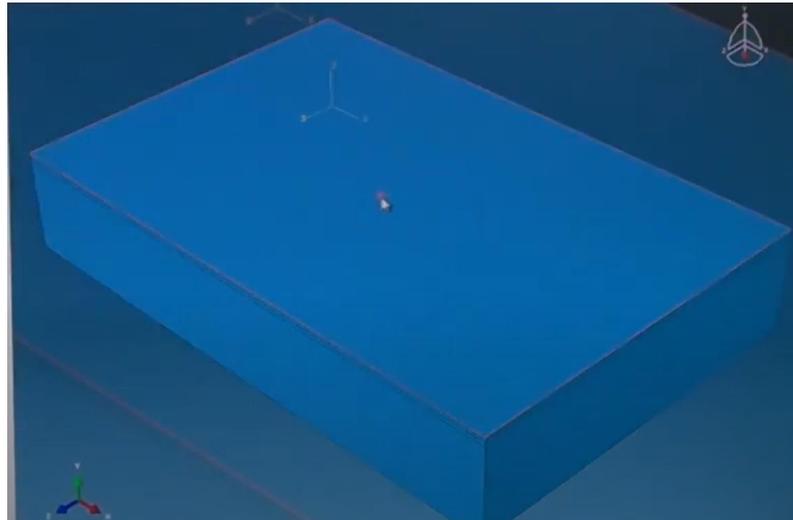
Para utilizar adecuadamente cada módulo se tiene que seguir una secuencia de pasos, las cuales se presentan a continuación:

- Paso Inicial

Para un modelamiento en el programa ABAQUS, primero es empezar a construir un modelo para el cual, inicialmente es creado automáticamente por el programa en el paso Inicial. A partir de ello podemos empezar a construir un modelo a partir de la creación de los elementos, materiales y sus propiedades para luego pasar a juntarlas para su adecuado modelamiento.

Para una creación del modelo iniciamos con la creación de los elementos o módulos llamado partes (part), en donde se establece inicialmente la geometría de los elementos, como: la sub rasante, sub base, pavimento, los cuales están dos primeras están conformados por suelo para el cual se establecieron sus secciones las cuales mantienen todas sus propiedades geométricas y geotécnicas de cada uno del elemento. Así mismo se creó el elemento de pavimento, el cual tiene propia sección y fue modelada con sus propios valores.

La siguiente figura muestra una vista en 3 dimensiones, además de ello son definidos cada uno de los elementos que conforman el modelo a ser analizado.



3.8.2.3. Propiedades de las mallas del método de elementos finitos

En el proceso de modelamiento la creación de la malla es un muy

Figura 9: Vista de modelos a ser analizados

importante, ya que todo el proceso depende del tipo de malla a ser utilizados. Esta malla está directamente relacionada con el tipo de geometría a ser utilizado en los elementos en análisis, tanto en las capas de sub rasante, sub base y pavimento. En este modelamiento se debe de tener en cuenta el tipo de interpolación que será utilizada como es el caso de lineal o cuadrática, ya que todo depende de todas estas consideraciones, además que estas influyen en el factor de tiempo computacional.

Los elementos utilizados en el modelamiento numérico fueron utilizados mediante elementos hexaédricos con interpolación lineal como podemos presenciar en la siguiente figura.

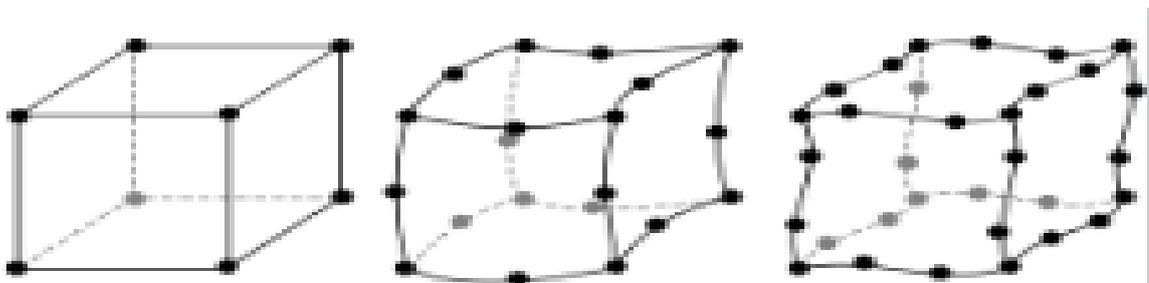


Figura 10: Elementos finitos utilizados

3.8.2.4. Paso contacto

En este paso se lleva a cabo cada una de las consideraciones que se debe de tener en todos los contactos entre los recursos del modelo, Para estos hechos el programa nos identifica zonas de los recursos para que en un rato del modelamiento dichos acceden en contacto y se tienen que activar cada una de las características atribuidas como la regular y tangencial a los contactos, por medio de los cuales se determinara la conducta de los contactos

3.8.2.5. Discretización de la superficie de contacto

Para el modelado se ha considerado en el programa Abaqus el cual

Figura 11: Mallas de los Elementos Finitos de cada elemento

posee técnicas y procedimientos para tomar acciones en todas las áreas del modelo. En este programa podemos encontrar consideraciones como Nodo – área y área – área.

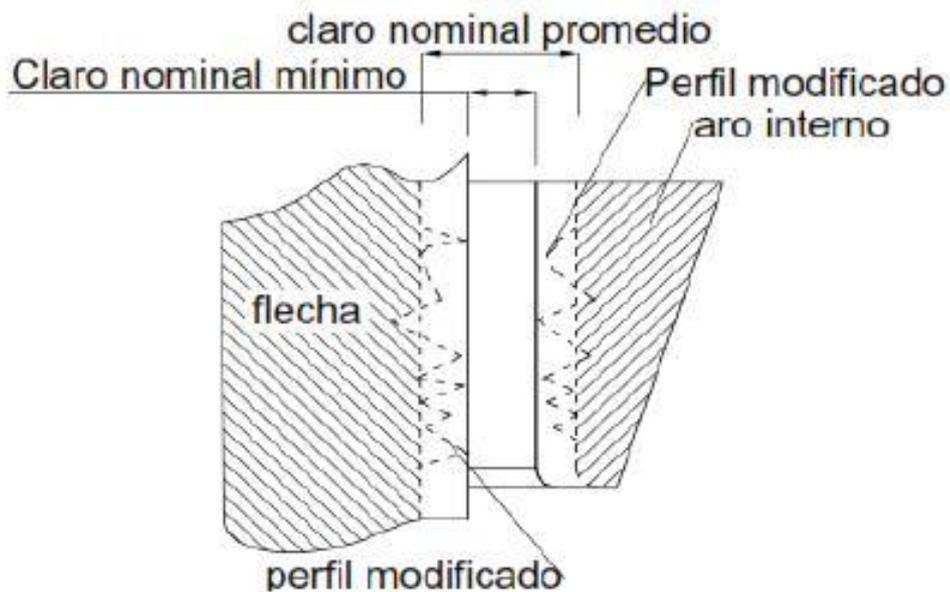


Figura 12. Representación esquemática de las modificaciones en el perfil de contacto

**Figura 12: Interacción entre superficies de contacto
(Adaptado ABAQUS, 2009)**

Para el proceso de transferir funciones por las ventajas que presenta la discretización Superficie – Superficie, esto se debe a que no se permite la penetración del eje de carga de análisis a la superficie del pavimento.

3.8.2.6. Propiedades de los contactos.

Las propiedades de los contactos son consideradas mayormente como una condición del modelo a ser analizado, los cuales son activadas cuando las superficies son activadas y/o las mismas entran en contacto con todas las propiedades y se desactivan cuando estas dejan de entrar en contacto. Para el presente modelamiento el contacto fue definido con propiedades tangenciales mediante el método de penalidad.

El software ABAQUS tiene muchos métodos de análisis para las penalidades, desde la rugosidad perfecta hasta la ausencia completa de fricción. El método elegido fue el de Penalty, para la representación del comportamiento tangencial de los contactos de las capas 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.

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

3.8.2.7. Paso de carga

Todo diseño de superficie de rodadura de un pavimento está relacionado con un modelo de conformación de pavimento para un número determinado de ejes equivalentes. Dicha carga es aplicada mediante una ecuación lineal en forma progresiva, la cual fue ingresada al programa mediante la función antes mencionada, A continuación, se muestra una figura en la cual se muestra la relación tiempo/frecuencia y amplitud.

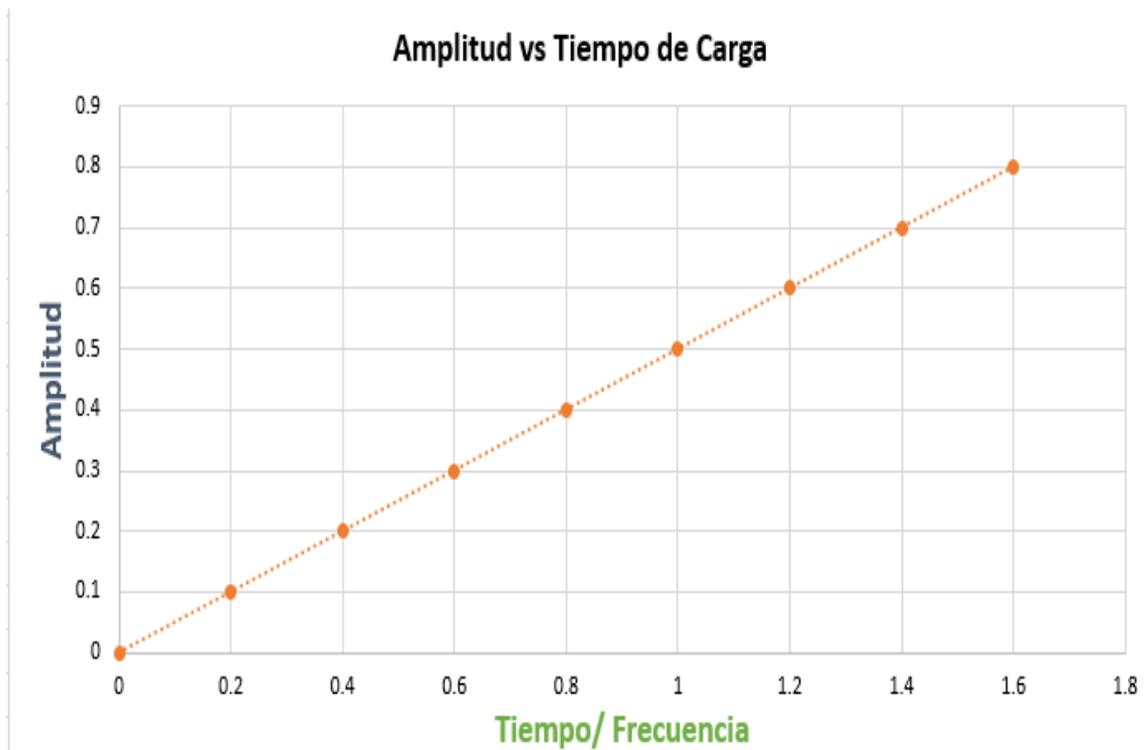


Figura 13: Amplitud Vs Tiempo de carga

3.8.2.8. Paso de rodadura

En este paso se realiza la simulación de la rodadura del eje de carga efectuado para el análisis. Una vez que el eje de carga se encuentra simulando la carga de diseño, comienza el rodamiento de la rueda de carga simulada, la cual es realizada a través de una función matemática, sin embargo, en este caso se analizó mediante una función lineal el cual fue abastecido al programa mediante las funciones de amplitudes, en la figura que se presenta a continuación podemos observar dichos hechos.

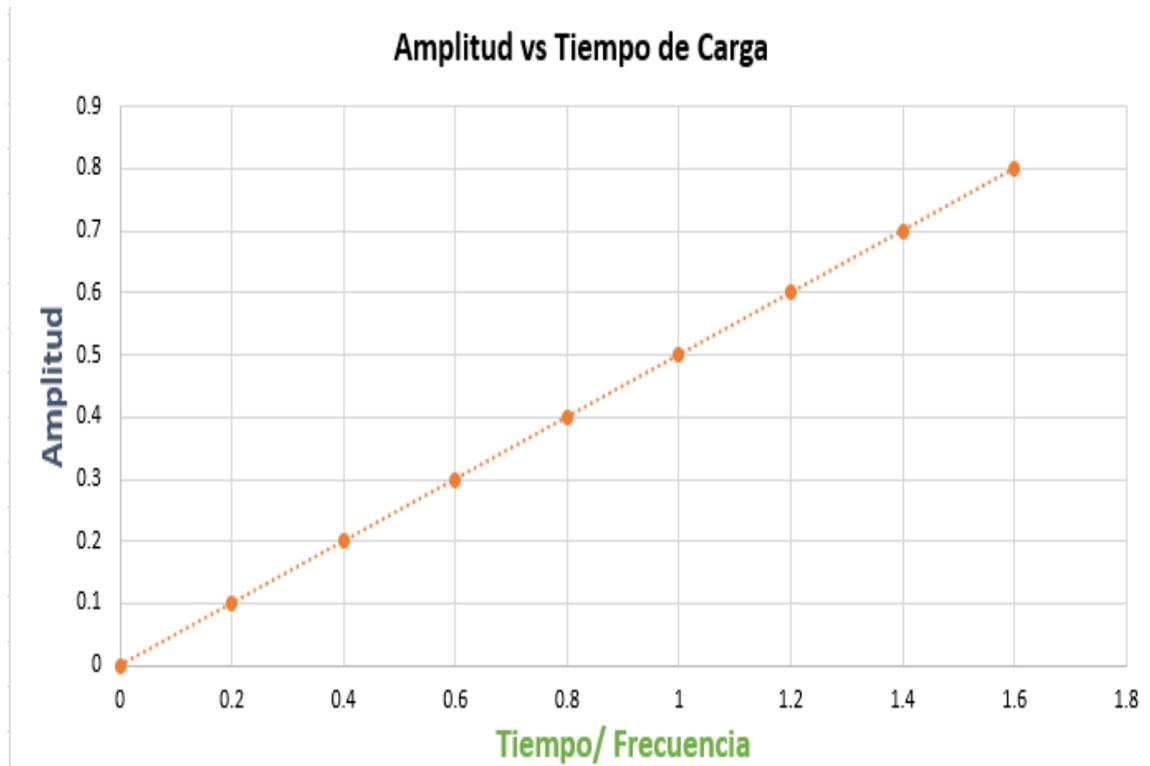


Figura 14: Amplitud Vs Tiempo de rodadura

En la figura 15 se muestra cómo va a ser distribuido los tiempos con respecto a las 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 mostrada anteriormente.

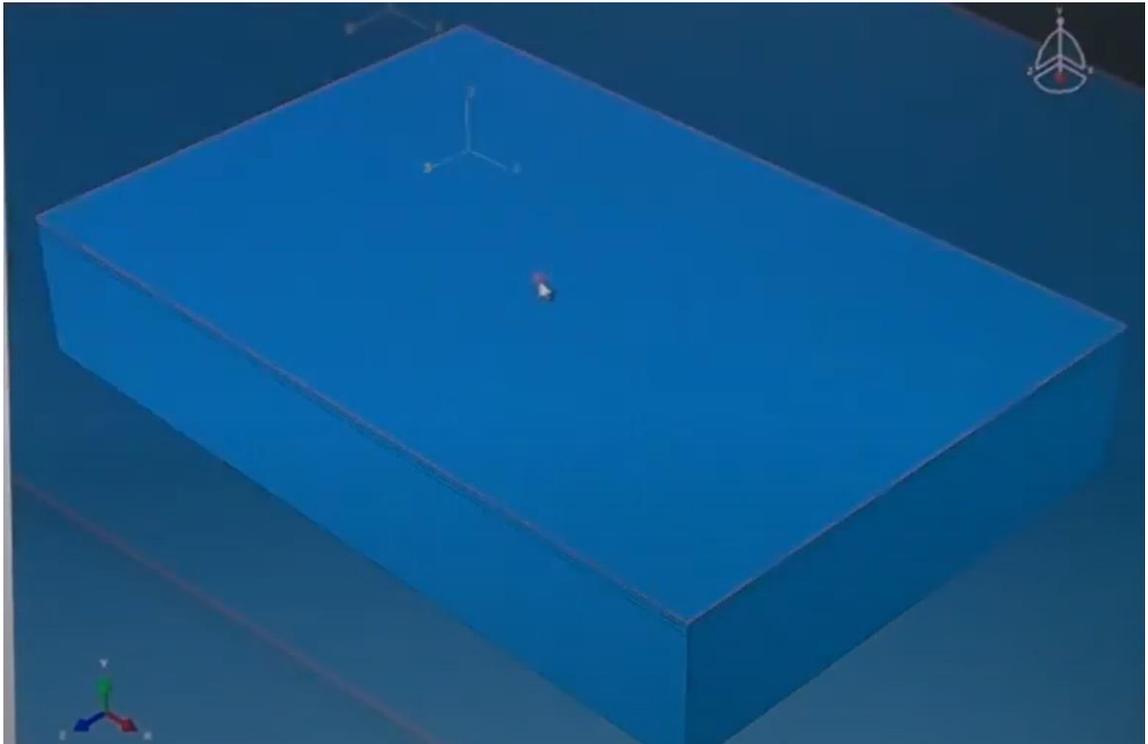


Figura 15: Punto de referencia de la rodadura

CAPÍTULO IV RESULTADOS

4.1. Variación de costos

En la siguiente tabla se observa un comparativo entre los análisis de costos que se genera en la ejecución de obra utilizando un concreto compactado con rodillo y un concreto hidráulico.

Tabla 10: Comparativo de Costos

ITEM	DESCRIPCIÓN DE PARTIDAS	UND	METRADO	CONCRETO HIDRÁULICO	CONCRETO COMPACTADO
				PARCIAL S/.	
1	TRABAJOS PRELIMINARES				
1.01	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DEL EQUIPO	GLB	1	S/ 125,421.25	S/ 125,421.25
1.02	TOPOGRAFÍA Y GEORREFERENCIADO	KM	1	S/ 881.82	S/ 881.82
1.03	MONTAJE Y DESMONTAJE DE EQUIPOS	GBL	1	S/ 5,860.25	S/ 5,860.25
1.04	ENCOFRADO Y DEENCOFRADO	M2	1392.18	S/ 15,820.00	S/ 0.00
1.05	PREPARACIÓN EN PLANTA DE CONCRETO	M3	1368	S/ 158,265.25	S/ 86,321.25
1.06	TRANSPORTE DE MEZCLA DE CONCRETO D>1Km	M3	1281.92	S/ 50,400.00	S/ 50,400.00
1.07	ESPARCIDO Y COMPACTADO	M2	8546.14	S/ 60,480.59	S/ 60,480.59
1.08	ASERRADO DE JUNTAS	ML		S/ 0.00	S/ 5,000.00
1.09	JUNTAS ASFÁLTICAS	ML	5966.49	S/ 9,950.00	S/ 0.00
1.1	CURADO DE CONCRETO	M2	8546.14105	S/ 1,213.55	S/ 1,213.55
	COSTO DIRECTO			S/ 428,292.71	S/ 335,578.71

4.2. Variación de Tiempo

En la siguiente tabla podemos observar un comparativo entre la programación del tiempo de ejecución entre el concreto hidráulico y concreto compactado. También se observa que en el concreto hidráulico no se presenta el aserrado de juntas, adicional a ello en el concreto compactado con rodillo no presenta encofrado y desencofrado, además de juntas asfálticas.

Tabla 11: Comparativo de cronograma

CONCRETO HIDRAULICO	1 mes				2 mes				3 mes			
TRABAJOS PRELIMINARES	■	■										
MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DEL EQUIPO		■										
TOPOGRAFÍA Y GEORREFERENCIADO			■	■								
MONTAJE Y DESMONTAJE DE EQUIPOS		■	■									
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO				■	■	■	■	■				
PREPARACIÓN EN PLANTA DE CONCRETO					■	■	■	■				
TRANSPORTE DE MEZCLA DE CONCRETO D>1Km					■	■	■	■				
ESPARCIDO Y COMPACTADO						■	■	■				
ASERRADO DE JUNTAS												
JUNTAS ASFÁLTICAS									■	■	■	■
CURADO DE CONCRETO									■	■	■	■
CONCRETO COMPACTADO	1 mes				2 mes				3 mes			
TRABAJOS PRELIMINARES	■	■										
MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DEL EQUIPO		■										
TOPOGRAFÍA Y GEORREFERENCIADO			■	■								
MONTAJE Y DESMONTAJE DE EQUIPOS		■	■			■	■					
ENCOFRADO Y DESENCOFRADO												
PREPARACION EN PLANTA DE CONCRETO			■	■	■	■	■					
TRANSPORTE DE MEZCLA DE CONCRETO D>1Km				■	■	■	■					
ESPARCIDO Y COMPACTADO				■	■	■	■					
ASERRADO DE JUNTAS						■						
JUNTAS ASFÁLTICAS												
CURADO DE CONCRETO				■	■	■	■					

4.3. Esfuerzo y deformaciones

El análisis de los esfuerzos y deformaciones de la presente investigación se ha realizado en el centro del pavimento esto debido a que en ese punto se producen los mayores esfuerzos y deformaciones, cabe recalcar que en el modelamiento de la estructura de pavimento se consideró las condiciones geométricas y geotécnicas de cada uno de las estructuras de pavimento. En la figura podemos observar los puntos de ejes a analizar.

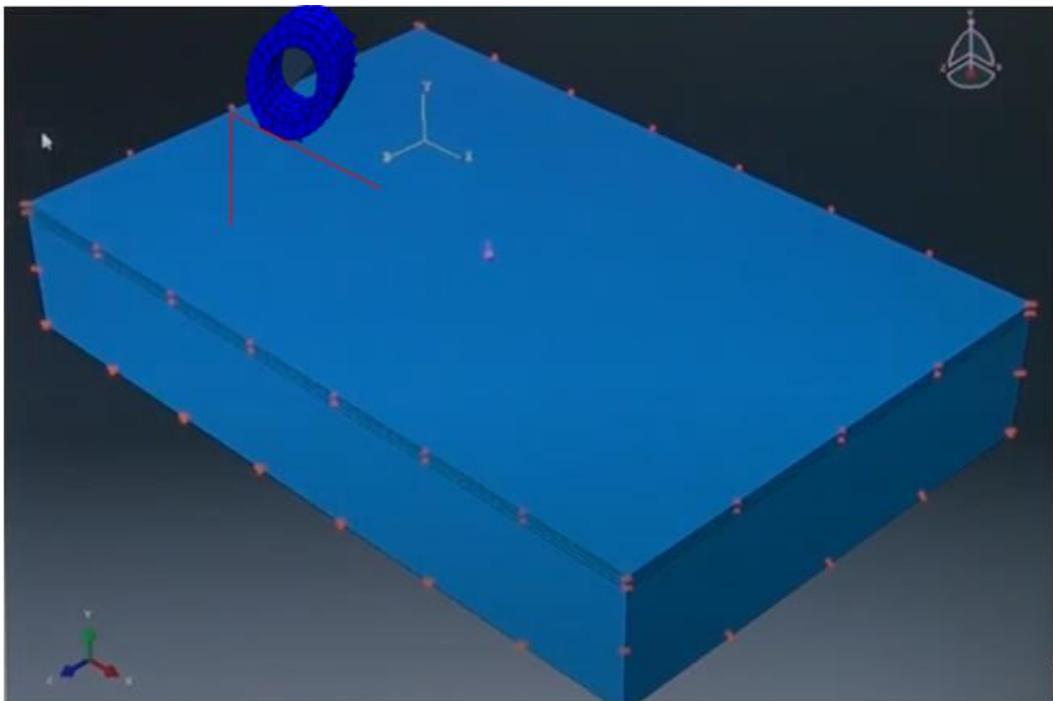
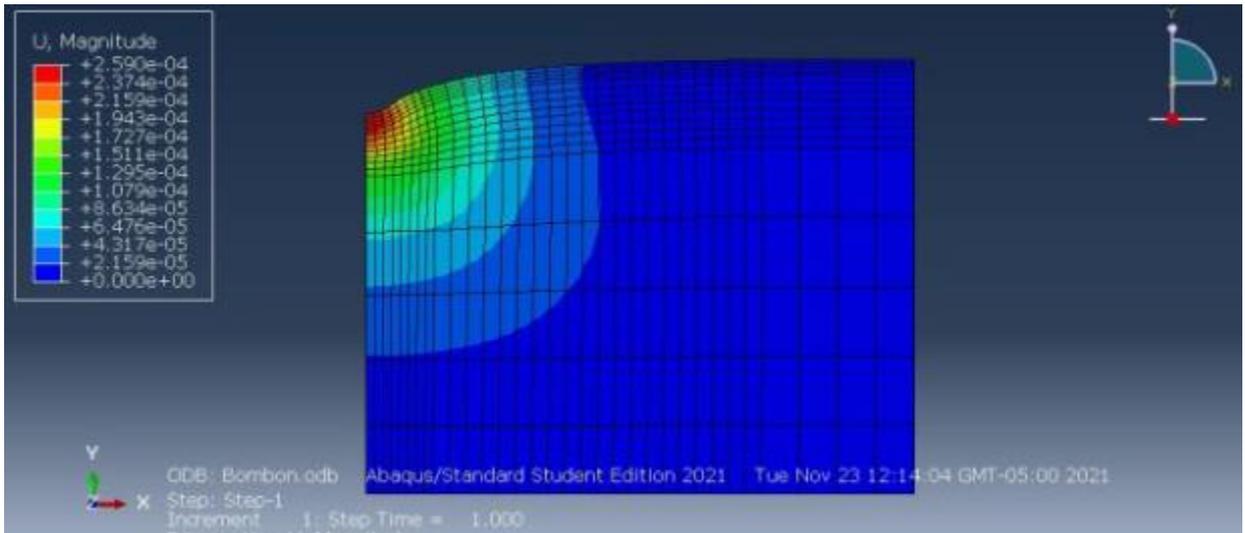


Figura 16: Análisis de esfuerzos y deformaciones en el centro del pavimento

Figura 18: Comportamiento del diseño con respecto a las deformaciones y esfuerzos.



CAPÍTULO V DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Variación de costos

Realizando la comparación de costos de pavimentación entre un concreto compactado con rodillo y un concreto hidráulico, el concreto hidráulico llega a tener el costo de 100%, sin embargo, un concreto compactado con rodillo llega a tener un costo de 78.35% con respecto al concreto hidráulico, con esto podemos constatar que un concreto compactado con rodillo llega a tener menor costo, en un 21.65% menos de costo.

Tabla 12: Comparación de costos

TIPO DE CONCRETO	COSTO (S/.)	PORCENTAJE (%)
Concreto Hidráulico	S/ 428,292.71	100%
Concreto Compactado	S/ 335,578.71	78.35%

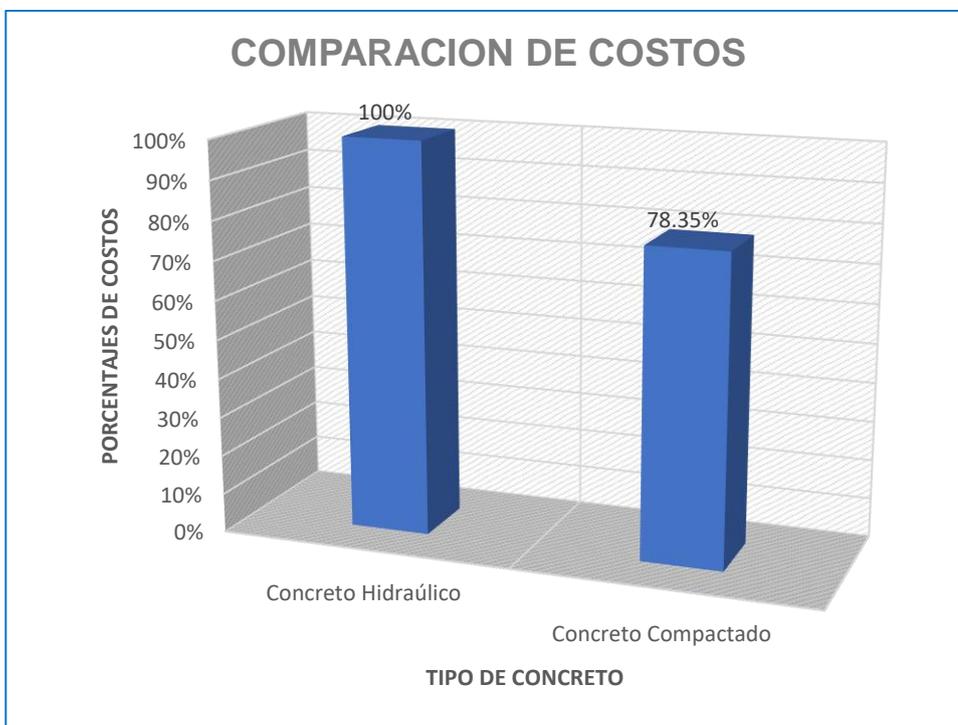


Figura 19: Comparación de costos

5.2. Variación de Tiempo

En la presente investigación pudimos observar que en una pavimentación utilizando un concreto compactado con rodillo podemos lograr a ejecutar la obra en un menor tiempo a comparación de la utilización de un concreto hidráulico. Por lo cual en el siguiente gráfico podemos observar la variación de tiempo de ejecución entre el concreto hidráulico y concreto compactado con rodillo. El concreto Hidráulico llega a un 100% de tiempo de ejecución sin embargo el concreto compactado con rodillo llega a un 41.67% con respecto a este, por lo que podemos ahorrar un tiempo de ejecución de 58.33%.

Tabla 13: Comparación del tiempo de ejecución

TIPO DE CONCRETO	TIEMPO DE EJECUCIÓN (Mes)	PORCENTAJE (%)
Concreto Hidráulico	3 meses	100%
Concreto Compactado	1.25 meses	41.67%

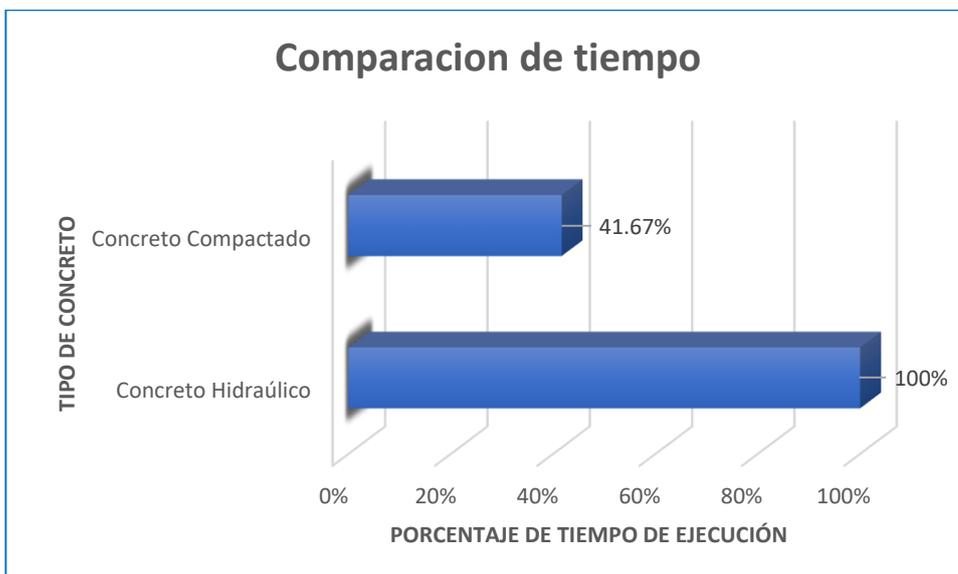


Figura 20: Comparación del tiempo de ejecución.

5.3. Esfuerzo y deformaciones

Después de haberse procesado los cálculos en el software ABAQUS, podemos determinar que a mayor profundidad se disminuye el esfuerzo del pavimento como se muestra en el siguiente gráfico.

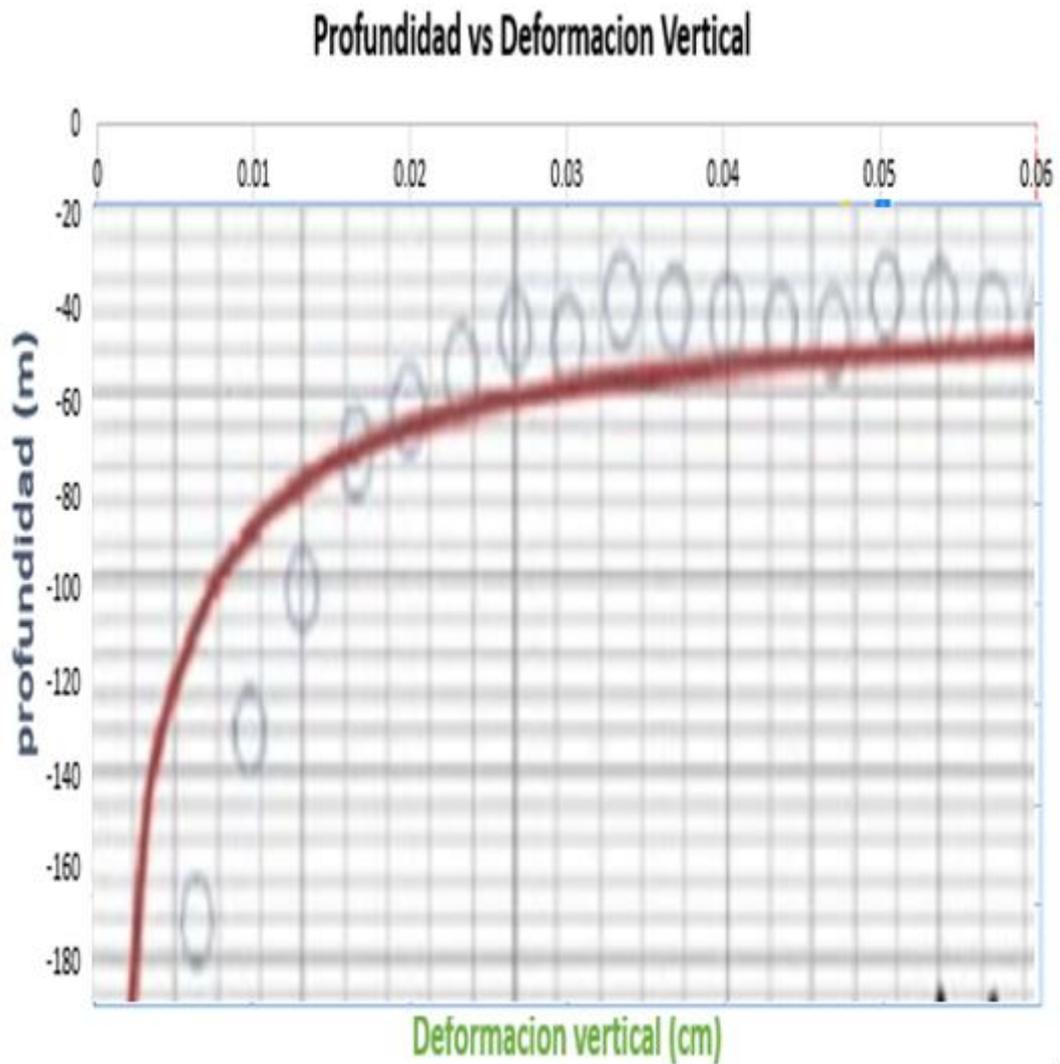


Figura 21: Resultados del software ABAQUS.

En la siguiente figura se observa el comportamiento del eje de diseño con respecto a las deformaciones y esfuerzos a los que son sometidos la estructura del pavimento esto a medida que se incrementa el tiempo, por lo cual se determina que la aplicación de concreto compactado con rodillo es viable con un espesor de 19 cm.



Figura 22: Comportamiento del eje de diseño.

CONCLUSIONES

- De acuerdo a la investigación realizada en este proyecto podemos llegar a la conclusión que si es posible determinar un dimensionamiento de un espesor óptimo del concreto compactado con rodillo, para lo cual en este caso se utilizó el análisis numérico mediante elementos finitos, además de ello se empleó el software ABAQUS donde se pudo determinar que el espesor óptimo de concreto compactado con rodillo es de 0.19 metros, lo cual puede ser empleado en la pavimentación en el distrito de Chilca.
- En costos podemos llegar a la conclusión que es muy viable el empleo de concreto compactado con concreto compactado ya que representa un costo menor de 21.65% con respecto al concreto hidráulico que viene a ser el 100% de costo.
- En tiempo se llega a la conclusión que el empleo de concreto compactado con rodillo es mucho menor que el concreto hidráulico ahorrando un 58.33% en el plazo de ejecución.
- En la variación de esfuerzos a la su rasante según los resultados obtenidos en el análisis numérico podemos llegar a la conclusión que a medida que va aumentando la profundidad los esfuerzos disminuyen, en la profundidad de 1.38 metros el esfuerzo llega a ser cero.

RECOMENDACIONES

- Se tiene que realizar un adecuado estudio de suelos, ya que es muy importante para poder dimensionar el espesor del concreto compactado con rodillo.
- Para obtener un óptimo contenido de humedad y la máxima compactación, se debe cumplir los requerimientos mínimos que nos piden para los agregados en el concreto hidráulico, además de ello tomar bastante en cuenta el principio de compactación de suelos.
- Dejo abierto mi investigación y recomiendo que otros futuros tesisistas puedan continuar con esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AGUILAR, D. I. (2019). *variación de la resistencia a compresión de un concreto compactado $f'c=210$ kg/cm² al usar agregado grueso reciclado*. Cajamarca.
- ALVARADO, J. A. (2014). *estudio descriptivo de la tecnología del concreto compactado con rodillo y su aplicabilidad en pavimentos*. Bogota.
- APAZA, W. H. (2016). *análisis y diseño de pavimento de ccr (concreto compactado con rodillo): propuesta de aplicación a la avenida las torres del distrito de yura*. Arequipa .
- DAVILA , M. A., & RODRIGUEZ , M. A. (2016). *análisis del modelo de cálculo racional de diseño de mezcla rcc(roller compacted concrete)*. Caracas.
- FONSECA, M. C. (2011). *evaluación técnica comparativa entre la colocación de concreto compactado con rodillo (ccr) en sistema de hiperbloques y convencional por capas*. Costa Rica .
- LETONA, S. M. (2018). *manual para el diseño, producción y colocación de pavimento de concreto compactado con rodillo en guatemala*. Guatemala .
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES . (2015). *manual de carreteras: especificaciones técnicas generales para construcción*. Lima.
- SMITH TURCIOS, I. M., & HALFORD SAENZ , R. S. (2018). *diseño de espesor de pavimento de concreto compactado con el rodillo mediante el método propuesto por la asociación de cemento portland (pca) aplicado al tramo de carretera "san sebastian de yali - condega"*. Managua .
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES . (2013). *manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. Lima.
- HUAMANI W. (2016). *análisis y diseño de pavimentos de ccr (concreto compactado con rodillo): propuesta de aplicación a la avenida las torres del distrito de yura*. Arequipa.
- MELENDEZ A. (2016). *utilización del concreto reciclado como agregado (grueso y fino) para un diseño de mezcla $f'c=210$ kg/cm²*. Huaraz.

ANEXOS

Anexo N° 1: Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGIA
<p>Problema Principal:</p> <p>¿Se podrá lograr un dimensionamiento del espesor óptimo del Concreto Compactado con Rodillo mediante el análisis numérico para pavimentos en el Distrito de Chilca 2022?</p> <p>Problemas Específicos:</p> <p>¿Cuál es la variación de costos en el dimensionamiento del espesor óptimo del Concreto Compactado con Rodillo mediante el análisis numérico para pavimentos en el Distrito de Chilca 2022?</p> <p>¿Cuál es la variación de tiempos en el dimensionamiento del espesor óptimo del Concreto Compactado con Rodillo mediante el análisis numérico para pavimentos en el Distrito de Chilca 2022?</p> <p>¿Cuál es la variación de esfuerzos a la sub rasante en el dimensionamiento del espesor óptimo del Concreto Compactado con Rodillo mediante el análisis numérico para pavimentos en el Distrito de Chilca 2022?</p>	<p>Objetivo General:</p> <p>Determinar el dimensionamiento del espesor óptimo del Concreto Compactado con Rodillo mediante el análisis numérico para pavimentos en el Distrito de Chilca 2022</p> <p>Objetivos Específicos:</p> <p>Determinar la variación de costos en el dimensionamiento del espesor óptimo del Concreto Compactado con Rodillo mediante el análisis numérico para pavimentos en el Distrito de Chilca 2022.</p> <p>Identificar la variación de tiempos en el dimensionamiento del espesor óptimo del Concreto Compactado con Rodillo mediante el análisis numérico para pavimentos en el Distrito de Chilca 2022.</p> <p>Determinar la variación de esfuerzos a la sub rasante en el dimensionamiento del espesor óptimo del Concreto Compactado con Rodillo mediante el análisis numérico para pavimentos en el Distrito de Chilca 2022.</p>	<p>Hipótesis General:</p> <p>Es posible plantear un análisis numérico para el dimensionamiento del espesor óptimo del Concreto Compactado con Rodillo mediante el análisis numérico para pavimentos en el Distrito de Chilca 2022</p> <p>Hipótesis Específicos</p> <p>La variación de costos en el dimensionamiento del espesor óptimo del Concreto Compactado con Rodillo mediante el análisis numérico para pavimentos en el Distrito de Chilca 2022.</p> <p>La variación de tiempos en el dimensionamiento del espesor óptimo del Concreto Compactado con Rodillo mediante el análisis numérico para pavimentos en el Distrito de Chilca 2022.</p> <p>La variación de esfuerzos a la sub rasante en el dimensionamiento del espesor óptimo del Concreto Compactado con Rodillo mediante el análisis numérico para pavimentos en el Distrito de Chilca 2022</p>	<p>V1: Dimensión del Espesor Optimo del Concreto Compactado con Rodillo</p> <p>V2: Análisis Numérico</p>	<p>D1: Variación de Costo.</p> <p>D2: Variación de tiempo.</p> <p>D3: Variación de Esfuerzo a la sub rasante.</p> <p>D1: Bulbo de Presiones Trasferidas</p>	<p>I1: Presupuesto I2: Maquinaria I3: Mano de obra</p> <p>I1: Duración de ejecución</p> <p>I2: Esfuerzo de la Sub rasante.</p> <p>I1: Esfuerzo Horizontal. I2: Esfuerzo Vertical.</p>	<p>Método: Método científico.</p> <p>Tipo: Aplicativo</p> <p>Nivel: Explicativo</p> <p>Diseño: Experimental</p> <p>Población: Pje. Junín, Distrito de Chilca, provincia de Huancayo -Junín.</p> <p>Muestra: Pje. Junín, Distrito de Chilca, provincia de Huancayo -Junín.</p> <p>Muestreo: No probabilístico - intencional</p> <p>Técnica: Observación, Revisión Bibliográfica, consultas con especialistas</p> <p>Instrumento: Ficha de recopilación de datos.</p>

Anexo N° 2: Panel fotográfico de extracción y ensayos de laboratorio

Calicata N° 1



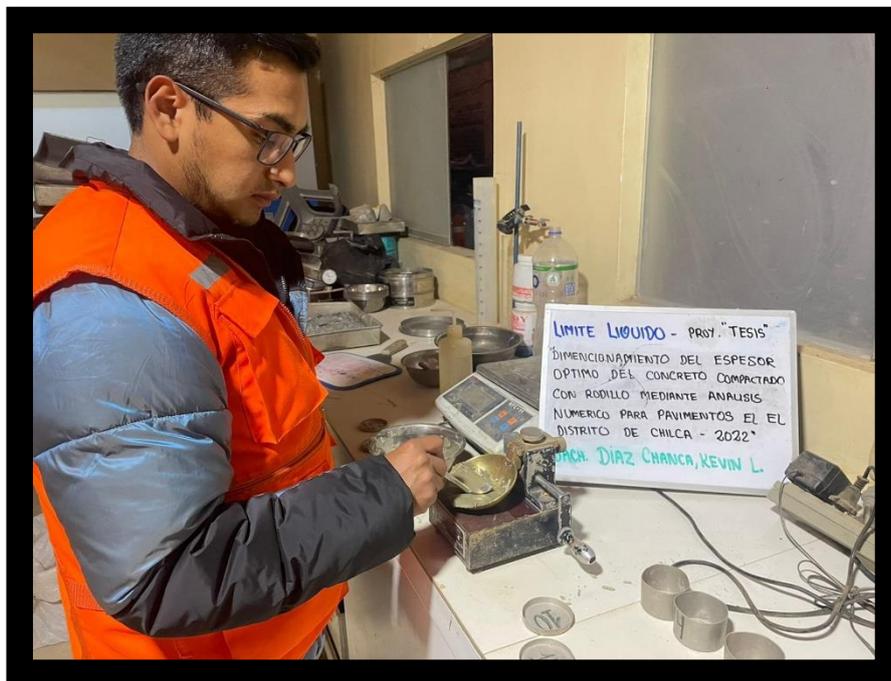
Extracción de material



Ensayo De Granulometría



Ensayo Límite Líquido



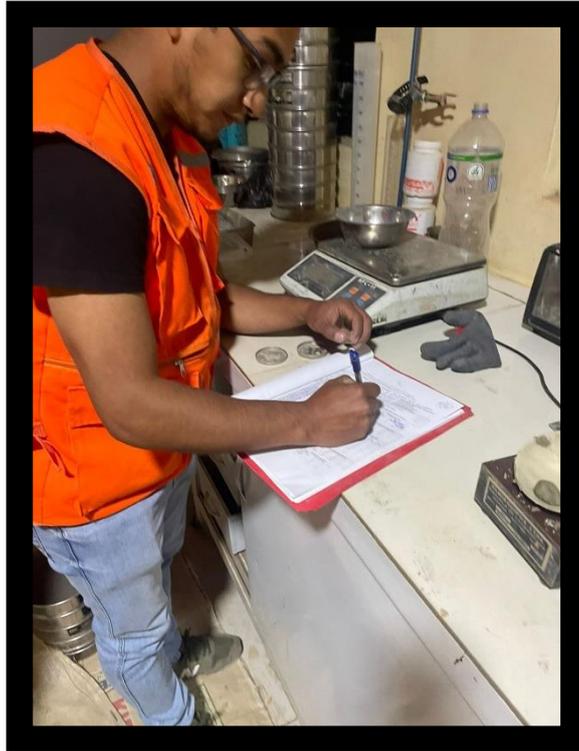
Ensayo Límite Líquido



Ensayo Límite Plástico



Anotación De Datos



Cuarteo Para Ensayo De Proctor



Ensayo De Proctor



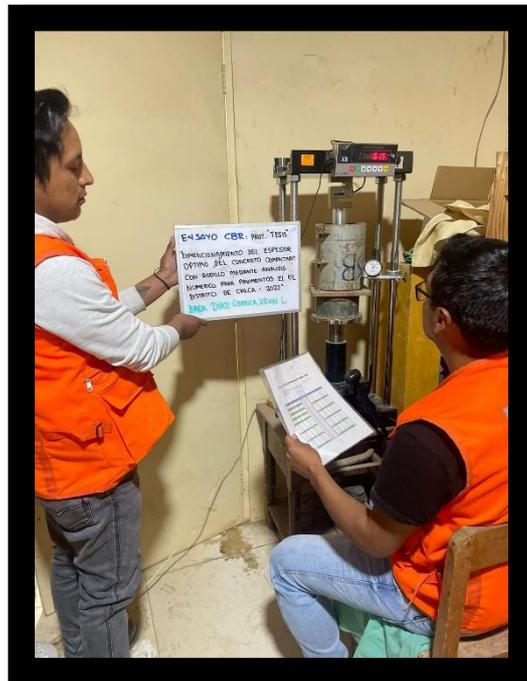
Ensayo De Proctor



Ensayo CBR



Ensayo CBR



Ensayo CBR



Anexo N° 3: Diseño de pavimento rígido

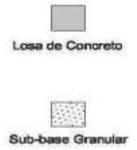
Tabla 14: Estudio de tráfico y cálculo de ejes equivalentes

VEHICULO	A	TIPO EJE	CARGA EJE	B	ΣIMDA.f	direccion	carril	r	N	N=	20	AÑOS
					A.B					ESAL=	975,323.73	ejes equivalentes
	IMDA	TIPO EJE	CARGA EJE	f (ee)	IMDA.f	Dd	DI	r	N	Fc	ESAL	
VL	1751	SIMPLE 2	1	0.00044	0.7641	0.50	1.00	2.45%	20	25.42	3,544.52	
	1751	SIMPLE 2	1	0.00044	0.7641	0.50	1.00	2.45%	20	25.42	3,544.52	
B2	27	SIMPLE 2	7	1.27283	33.8515	0.50	1.00	1.68%	20	23.54	145,415.30	
	27	SIMPLE 4	10	2.256	60.0024	0.50	1.00	1.68%	20	23.54	257,751.66	
B3	3	SIMPLE 2	7	1.27283	3.6935	0.50	1.00	1.68%	20	23.54	15,866.04	
	3	TANDEM 8	16	2.134	6.1910	0.50	1.00	1.68%	20	23.54	26,594.82	
B4	0	SIMPLE 2	7	1.27283	0.0000	0.50	1.00	1.68%	20	23.54	0.00	
	0	TRIDEM 10	21	2.561	0.0000	0.50	1.00	1.68%	20	23.54	0.00	
C2	25	SIMPLE 2	7	1.27283	31.2377	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	162,383.67	
	25	SIMPLE 4	10	2.256	55.3695	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	287,828.45	
C3	4	SIMPLE 2	7	1.27283	5.2038	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	27,051.23	
	4	TANDEM 8	16	2.134	8.7227	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	45,343.53	
C4	0	SIMPLE 2	7	1.27283	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
	0	TRIDEM 10	21	2.561	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
T2S1	0	SIMPLE 2	7	1.27283	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
	0	SIMPLE 4	10	2.256	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
	0	SIMPLE 4	10	2.256	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
T2S2	0	SIMPLE 2	7	1.27283	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
	0	SIMPLE 4	10	2.256	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
	0	TANDEM 8	16	2.134	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
T2S3	0	SIMPLE 2	7	1.27283	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
	0	SIMPLE 4	10	2.256	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
	0	TRIDEM 12	23	2.984	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
T3S1	0	SIMPLE 2	7	1.27283	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
	0	TANDEM 8	16	2.134	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
	0	SIMPLE 4	10	2.256	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
T3S2	0	SIMPLE 2	7	1.27283	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
	0	TANDEM 8	16	2.134	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
	0	TANDEM 8	16	2.134	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
T3S3	0	SIMPLE 2	7	1.27283	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
	0	TANDEM 8	16	2.134	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
	0	TANDEM 12	23	2.984	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
2T2	0	SIMPLE 2	7	1.27283	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
	0	SIMPLE 4	10	2.256	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
	0	SIMPLE 4	10	2.256	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
2T3	0	SIMPLE 2	7	1.27283	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
	0	SIMPLE 4	10	2.256	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
	0	SIMPLE 4	10	2.256	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
	0	TANDEM 8	16	2.134	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
3T2	0	SIMPLE 2	7	1.27283	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
	0	TANDEM 8	16	2.134	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
	0	SIMPLE 4	10	2.256	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
	0	SIMPLE 4	10	2.256	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
3T3	0	SIMPLE 2	7	1.27283	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
	0	TANDEM 8	16	2.134	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
	0	SIMPLE 4	10	2.256	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
	0	TANDEM 8	16	2.134	0.0000	0.50	1.00	3.57%	20	28.48	0.00	
				ΣIMDA.f	205.8004							

Tabla 15: Dimensionamiento de espesor de pavimento y sub - base

**CATALOGO DE ESTRUCTURAS DE PAVIMENTO RIGIDO SIN PASADORES Y CON BERMAS DE CONCRETO Y PARA UN FACTOR J=3.8
PERIODO DE DISEÑO 20 AÑOS**

EE		Tp0	Tp1	Tp2	Tp3	Tp4
		75,001-150,000	150,001-300,000	300,001-500,000	500,001-750,000	750,001-1'000,000
CBR%	MR					
CBR < 6%	< 185PCI (52MPa/m)					
> 6% CBR < 10%	> 185PCI (52MPa/m) < 223PCI (63MPa/m)					
> 10% CBR < 20%	> 223PCI (63MPa/m) < 279PCI (79MPa/m)					
> 20% CBR < 30%	> 279PCI (79MPa/m) < 373PCI (105MPa/m)					
CBR > 30%	> 373PCI (105MPa/m)					



Fuente: Elaboración propia en base a ecuación AASHTO.

Anexo N° 4: Certificados de laboratorio

ANALISIS GRANULOMETRICO

ASTM D 421

NTC E 107

PROYECTO : DIMENSIONAMIENTO DEL ESPESOR ÓPTIMO DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO MEDIANTE EL ANÁLISIS NUMÉRICO PARA PAVIMENTOS EN EL DISTRITO DE CHILCA 2022

SOLICITA : Bach. KEVIN LENIN DIAZ CHANCA

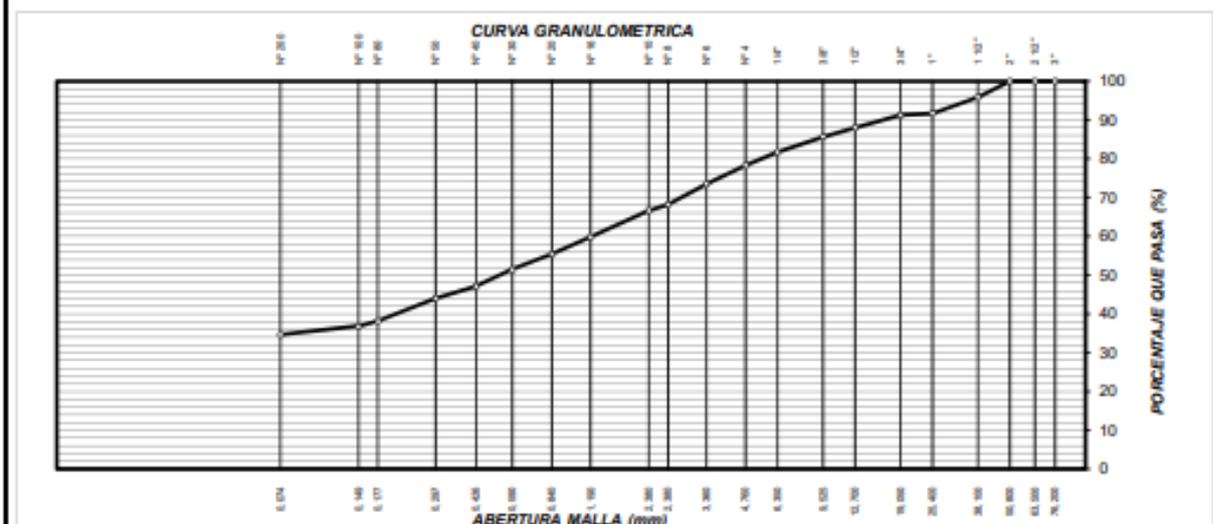
FECHA: JULIO DE 2022

TECNICO MITCHELL O. CERAS EGOAVIL

FECHA : JULIO DE 2022

MALLAS SERIE AMERICANA	ANALISIS GRANULOMETRICO					DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
	ABERTURA (mm)	Peso Retenidos	RET (%)	PASA (%)	ESPECIFIC.		
						Bolonería > 3" :	0.00
						Grava 3" - N° 4 :	32.38
						Arena N°4 - N° 200 :	47.85
						Finos < N° 200 :	19.77
						Fraccion (SUMA N°8:N°200)	1553.55
3"	76.200	0.00	0.00	100			
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	100.00			
2"	50.800	0.00	0.00	100.00			
1 1/2"	38.100	468.91	13.46	86.54			
1"	25.400	136.11	3.91	82.63		Contenido de Humedad:	11.56
3/4"	19.050	211.07	6.06	76.58			
1/2"	12.700	129.71	3.72	72.85			
3/8"	9.525	93.70	2.69	70.16			
1/4"	6.350	42.87	1.23	68.93			
N° 4	4.760	45.64	1.31	67.62			
N° 6	3.360	37.45	1.08	66.55			
DATOS DE LIMITES DE ATTERBERG							
N° 8	2.380	51.87	1.49	65.06		LIMITE LIQUIDO	51.60
N° 10	2.000	23.84	0.68	64.37		LIMITE PLASTICO	14.05
N° 16	1.190	134.33	3.86	60.52		INDICE PLASTICIDAD	37.55
N° 20	0.840	183.13	5.26	55.26			
N° 30	0.590	261.31	7.50	47.76			
CLASIFICACION							
N° 40	0.426	241.18	6.92	40.84		SUCS	AASHTO
N° 50	0.297	136.81	3.93	36.91		SC	A-2-7 (1)
N° 80	0.177	404.50	11.61	25.30			
N° 100	0.149	79.13	2.27	23.03			
CALICATA							
N° 200	0.074	113.71	3.26	19.77		C-2 / LINEA DE CONDUCCION	1
-200		688.71	19.77	-		PROFUNDIDAD (m)	0.00-1.50

Peso Inicial: **3484.00**



METODO STANDAR PARA LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO, E INDICE DE PLASTICIDAD DE SUELOS

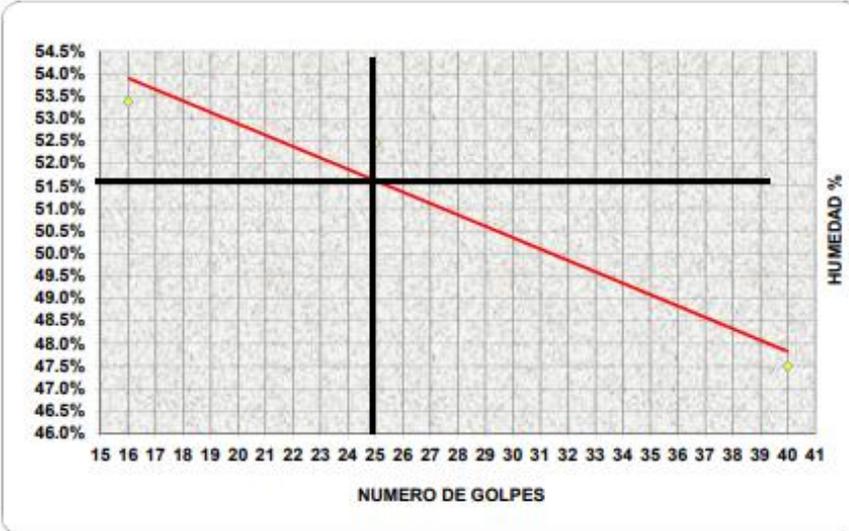
**LIMITES DE CONSISTENCIA
ASTM 4318-84**

PROYECTO DIMENSIONAMIENTO DEL ESPESOR ÓPTIMO DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO MEDIANTE EL ANÁLISIS NUMÉRICO PARA PAVIMENTOS EN EL DISTRITO DE CHILCA 2022

SOLICITA Bach. KEVIN LENIN DIAZ CHANCA
TECNICO MITCHELL O. CERAS EGOAVIL

FECHA JULIO DE 2022

Nº de Golpes	Cápsula Nº	Peso de la Cápsula	Peso Cápsula + Suelo Hum.	Peso Cápsula + Suelo Seco	Peso del Agua	Peso del Suelo Seco	Humedad Del Suelo
16	015	15.46	40.92	32.06	8.86	16.60	53.37%
25	027	16.61	39.25	31.46	7.79	14.85	52.46%
40	014	14.73	31.87	26.35	5.52	11.62	47.50%
L.P.	002	9.37	16.87	15.95	0.92	6.58	13.98%
L.P.	011	8.2	15.07	14.22	0.85	6.02	14.12%



$$LL = W_n * (N/25)^{0.121}$$

Wn = Contenido de humedad a numero de golpes

N = Nº de golpes

$$IP = LL - LP$$

LL = Limite líquido

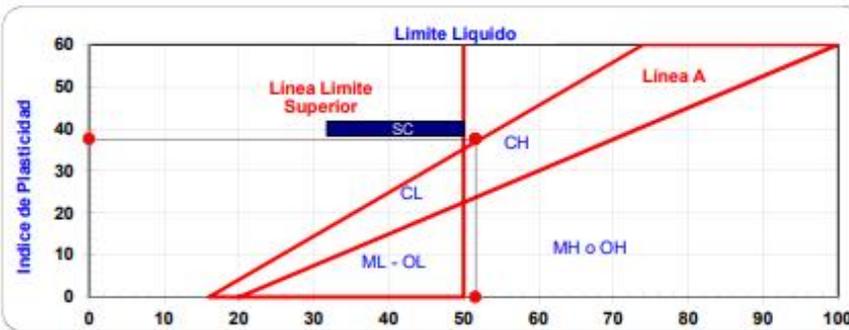
LP = Limite plástico

Ic = Indice de Consistencia

$$LL = 51.60\%$$

$$LP = 14.05\%$$

$$IP = 37.55\%$$



**METODO DE ENSAYO PARA RELACION DE HUMEDAD-DENSIDAD
PROCTOR MODIFICADO**

MTC E-115 NTP 339.142

OBRA: DIMENSIONAMIENTO DEL ESPESOR ÓPTIMO DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO MEDIANTE EL ANÁLISIS NUMÉRICO PARA PAVIMENTOS EN EL DISTRITO DE CHILCA 2022

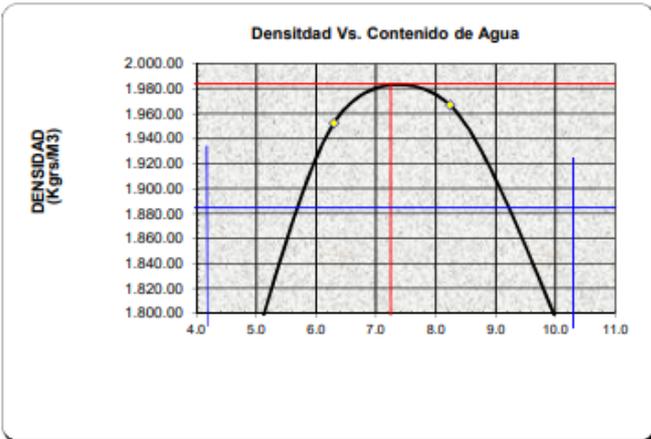
SOLICITA Bach. KEVIN LENIN DIAZ CHANCA

FECHA JULIO DEL 2022

MUESTRA M-1

TECNICO MITCHELL O. CERAS EGOAVIL

Datos del Molde						
No. de Molde	(a) Peso (Gr.)	Altura (Cm)	Diámetro 1	Diámetro 2	Diámetro 3	(V) Volumen
3	3278.00					2151.10
DESCRIPCION	Ensayo N°					
	Punto. 1		Punto. 2		Punto. 3	
1 - Cantidad de agua añadida (Cm3)	4%		6%		8%	
2 - Peso del molde + Muestr. Compac. (Gr.)	7.030.00		7.743.00		7.858.00	
3 - Peso neto muestr. compact. (Gr.), (2-a)	3.752.00		4.465.00		4.580.00	
4 - Recipiente N°.	003	011	027	018	022	012
5 - Peso del recipiente (Gr.)	18.21	18.33	15.26	15.42	15.26	15.79
6 - Peso húmedo + recipiente (Gr.)	83.66	85.17	86.49	88.24	84.62	87.22
7 - Peso seco + recipiente (Gr.)	80.99	82.36	82.48	83.71	79.45	81.67
8 - Peso del agua (Gr.), (6-7)	2.67	2.81	4.01	4.53	5.17	5.55
9 - Peso neto seco (Gr.) (7-5)	62.78	64.03	67.22	68.29	64.19	65.88
10 - % Humedad al horno (100 x 8/9)	4.25	4.39	5.97	6.63	8.05	8.42
10.1 - % Humedad al horno promedio	4.32		6.30		8.24	
10.2 - % Humedad Speedy	4.32		6.30		8.24	
11 - Densidad Húmeda (Kgr/m3), (3 x Fa)	1.744.22		2.075.68		2.129.14	
12 - Densidad seca al horno (11 / (10.1+100))	1.671.98		1.952.67		1.967.07	



Maximun Dry Density	95% Máximum Dry Density	Optimun moisture
1984.000	1,884.80	7.25%

Humidity Rage for 95%		
Minimum	Rango	Máximum
4.32%	5.8%	10.15%

Tipo de Ensayo Modificado (C)	Energía compact. 55,295 ft. x lb./ft. 3
Peso del Mart. (lbs) 10.0	Vol. cm3: 2151.10
Altura de caída (in) 18.0	Vol. ft3: 0.07595692
No. de golpes 56	Fa : 0.00046488
Mat. tamizado por 3/4"	Gs : 2.694
No. de capas 5	

PROYECTO	DIMENSIONAMIENTO DEL ESPESOR ÓPTIMO DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO MEDIANTE EL ANÁLISIS NUMÉRICO PARA PAVIMENTOS EN EL DISTRITO DE CHILCA 2022	METODO DE COMPACTACION	C
SOLICITA	Bach. KEVIN LENIN DIAZ CHANCA	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr./cc.)	1.984
MUESTRA	M-1	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	7.25
FECHA	JULIO DEL 2022	C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	17.89
TECNICO	MITCHELL O. CERAS EGOAVIL	C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	12.79

ENSAYO CBR

Molde N°	1C		1B		1A	
	56		25		12	
Golpes por Capa N°						
COND. DE LA MUESTRA	Sin Mojar	Mojada	Sin Mojar	Mojada	Sin Mojar	Mojada
Peso Molde -+ suelo húmedo	9378		9310		9083	
Peso del Molde gr.	4753		4903		4764	
Peso del Suelo húmedo gr.	4625		4407		4319	
Volumen del suelo cc.	2225.74		2211.56		2262.09	
Densidad humedad gr/cc	2.078		1.993		1.909	
% humedad	6.3%		6.3%		6.3%	
Densidad seco gr/cc	1.954		1.875		1.797	
Tarro N°	12	11	10	09	08	7
Tarro -+ suelo húmedo gr.	78.88	75.91	71.15	73.19	69.33	69.13
Tarro -+ suelo seco gr.	75.17	72.31	67.73	69.94	66.23	65.91
Agua	3.71	3.60	3.42	3.25	3.10	3.22
Peso del Tarro gr.	16.16	16.08	16.08	15.36	15.26	15.84
Peso del suelo seco gr.	59.01	56.23	51.65	54.58	50.97	50.07
% de humedad	6.29%	6.40%	6.62%	5.95%	6.08%	6.43%
Promedio de humedad %	6.34%		6.29%		6.26%	

EXPANSION

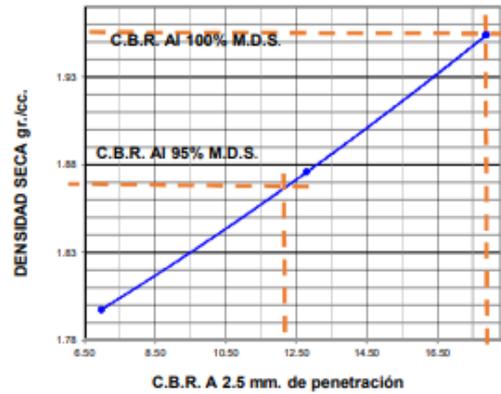
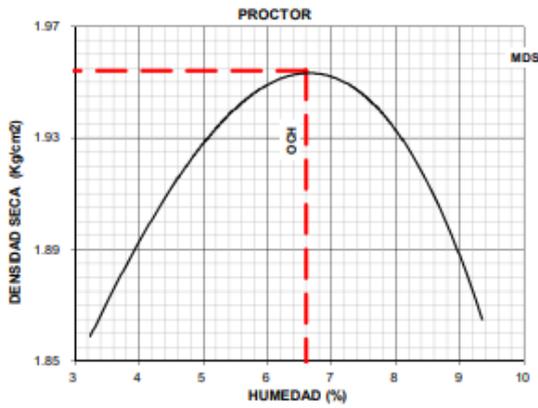
FECHA	HORA	TIEMPO	Lectura DIAL	EXPANSION		Lectura DIAL	EXPANSION		Lectura DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%

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	45.78		12	42.57		6	20.93				
1.27	35	100.63		22	89.07		21	48.84				
1.91	53	178.44		38	130.01		38	68.37				
2.54	72	244.59		55	173.25		54	94.39				
3.81	119	391.37		87	252.37		87	141.24				
5.08	179	524.93		124	324.77		126	190.85				
6.35	231	643.48		156	410.42		161	233.33				
7.62	276	756.65		193	489.45		199	276.28				
10.16	353	850.58		280	659.23		270	293.02				
12.70	392	991.47		342	688.29		328	368.37				

REPRESENTACION GRAFICA DEL C.B.R.

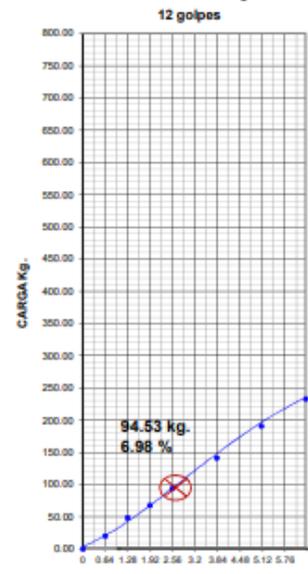
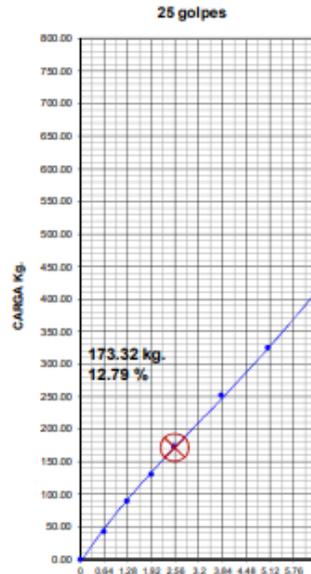
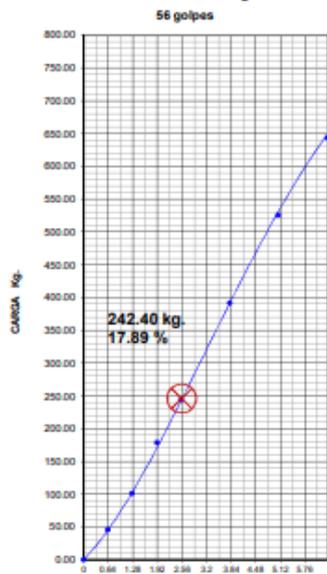
PROYECTO	DIMENSIONAMIENTO DEL ESPESOR ÓPTIMO DEL CONCRETO COMPACTADO CON RODILLO MEDIANTE EL ANÁLISIS NUMÉRICO PARA PAVIMENTOS EN EL DISTRITO DE CHILCA 2022	METODO DE COMPACTACION	C
SOLICITA	Bach. KEVIN LENIN DIAZ CHANCA	MAXIMA DENSIDAD SECA (gr./cc.)	1.984
MUESTRA	M1	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	7.25
FECHA	JULIO DEL 2021	C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	17.89
TECNICO	MITCHELL O. CERAS EGOAVIL	C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	12.79



C.B.R. = 17.89 % M.D.S. = 1.954 grs./cm³.

C.B.R. = 12.79 % M.D.S. = 1.875 grs./cm³.

C.B.R. = 6.98 % M.D.S. = 1.954 grs./cm³.



PENETRACION (m.m.)