

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**  
**PROCESO CONSTRUCTIVO CON MATERIAL AGLUTINADO**  
**CON CEMENTO (CBM) EN LA PLATAFORMA DEL TERMINAL**  
**PORTUARIO DP WORLD CALLAO**

**PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**ELABORADO POR:**  
**KEVIN TEODORO ONOFRE RIVERA**  
**ID: 0009-0003-0621-7905**

**ASESOR:**  
**Ing. RAFAEL CACHAY HUAMÁN**  
**ID: 0000-0002-1695-8112**

**LIMA - PERÚ**

**2024**

© 2024, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados

**“El autor autoriza a la UNI a reproducir el TSP en su totalidad o en parte, con fines estrictamente académicos.”**

Onofre Rivera, Kevin Teodoro

kevin\_onofre9@hotmail.com

984374946

## ***Dedicatoria***

A todos aquellos que han sido una parte fundamental en mi camino.

A mi familia: mi madre Yune, mi padre Teodoro, mis abuelos Roger y Carmen, mis tíos Justo y Taryn y mis hermanos Fiorella, Jose Julian y Victoria del Carmen. Por su amor, su apoyo incondicional y por ser mi principal motivación en todo momento.

A mis amigos más cercanos, por su ánimo, palabras de aliento en los momentos más difíciles y por compartir conmigo los buenos momentos.

Por último, pero no menos importante, quiero dedicar esta tesis a mí mismo, por haber perseverado en este largo camino y haber alcanzado este logro tan importante.

Esta tesis es el resultado de años de trabajo arduo y dedicación, pero también es el reflejo de los valores y enseñanzas que he recibido de mi familia, amigos, mis formadores y colegas. Por eso, quiero dedicar este logro a cada uno de ustedes, con la esperanza de que esta tesis sea una contribución a nuestra sociedad y una muestra de mi agradecimiento y amor hacia ustedes.

Gracias por estar siempre ahí para mí.

Kevin.

## ***Agradecimiento***

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que me han apoyado durante la realización de esta tesis.

En primer lugar, agradezco a mis colegas de trabajo del proyecto “Ampliación del Terminal Portuario Muelle Sur” por su ayuda y colaboración en la recopilación de datos y la realización de las pruebas necesarias. Sin su ayuda y dedicación, este proyecto no hubiera sido posible.

A los ingenieros Martin Espinoza, Carlos Camacho y Silvio Bonatti. Su ayuda y orientación han sido fundamentales para el éxito de este proyecto y me siento muy afortunado de tenerlos como mentor y guía en mi carrera. Su experiencia y conocimientos en el campo han sido invaluable para mi desarrollo, me han brindado valiosos comentarios y sugerencias que me han ayudado a mejorar mi trabajo y a completar mi desarrollo profesional con éxito. También quisiera agradecer por la confianza que han depositado en mí al permitirme trabajar en este proyecto y por brindarme el tiempo necesario para completarlo. Gracias a su ayuda y apoyo, he logrado alcanzar mis objetivos académicos y me siento más seguro en mi carrera profesional. Espero que podamos seguir trabajando juntos en el futuro.

También quiero agradecer a mis profesores por su orientación y apoyo en cada paso del proceso, en especial a mi asesor el ingeniero Rafael Cachay Huamán, sus consejos y sugerencias me han ayudado a mejorar mi investigación y a desarrollar mis habilidades académicas.

Por último, pero no menos importante, quiero agradecer a la Universidad Nacional de Ingeniería por brindarme la oportunidad de realizar esta investigación y obtener mi grado académico. Ha sido una experiencia invaluable para mi desarrollo personal y profesional.

Gracias de nuevo a todos los que han contribuido a esta tesis de alguna manera. Estoy convencido que este trabajo será útil para futuras investigaciones en el campo y así pueda tener un impacto positivo en la sociedad.



## ÍNDICE

<b>Resumen.....</b>	<b>4</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>5</b>
<b>Prólogo.....</b>	<b>6</b>
<b>Lista de tablas.....</b>	<b>7</b>
<b>Lista de figuras.....</b>	<b>8</b>
<b>Lista de símbolos y siglas.....</b>	<b>9</b>
<b>Capítulo I. Introducción.....</b>	<b>10</b>
1.1. Generalidades.....	10
1.2. Problemática.....	13
1.3. Objetivos.....	14
1.3.1. Objetivo Principal.....	14
1.3.2. Objetivos Específicos.....	14
<b>Capítulo II. Marco teórico y conceptual.....</b>	<b>15</b>
2.1. Material granular no aglutinado – Unbound Granular Material (UGM).....	17
2.1.1. Tipos de material granular no aglutinado.....	17
2.2. Material granular aglutinado – Bound Granular Material (BGM).....	18
2.2.1. Mezcla aglutinada hidráulicamente - Hydraulically Bound Mixtures (HBM) ....	18
2.2.2. Material aglutinado con cemento - Cement Bound Material (CBM).....	19
2.2.2.1. Suelo estabilizado con cemento - Cement Stabilized Soil (CSS).....	19
2.2.2.2. Suelo cemento - Soil Cement (SC).....	20
2.2.2.3. Material granular aglutinado con cemento - Cement Bound Granular Materials (CBGM).....	20
2.2.2.4. Concreto pobre - Lean Concrete (LC).....	20
2.2.2.5. Concreto Compactado Con Rodillo - Roller Compacted Concrete (RCC).....	21
<b>Capítulo III. Descripción del proyecto.....</b>	<b>22</b>
3.1. Ubicación.....	22
3.2. Alcance.....	22
3.3. Metrados.....	24
<b>Capítulo IV. Materiales, propiedades y ensayos.....</b>	<b>25</b>
4.1. Especificación del CBM.....	25
4.2. Materiales del CBM.....	25
4.2.1. Cemento tipo V.....	26
4.2.1.1. Definición.....	26
4.2.1.2. Propiedades físicas y químicas.....	27

4.2.2.	Agua .....	28
4.2.3.	Agregados .....	28
4.2.3.1.	<i>Peso Unitario Suelto</i> .....	30
4.2.3.2.	<i>Peso Unitario Compactado</i> .....	30
4.2.3.3.	<i>Contenido de Humedad</i> .....	31
4.2.3.4.	<i>Peso Específico y Porcentaje de Absorción</i> .....	31
4.2.3.5.	<i>Granulometría</i> .....	33
4.2.4.	Agregado Global .....	36
4.2.4.1.	<i>Análisis Granulométrico</i> .....	36
4.2.4.2.	<i>Pesos Unitarios</i> .....	38
4.3.	Propiedades del CBM .....	39
4.3.1.	Consistencia .....	39
4.3.2.	Peso unitario .....	39
4.3.3.	Resistencia a la compresión .....	39
4.3.4.	Durabilidad .....	40
<b>Capítulo V.</b>	<b>Diseño de CBM .....</b>	<b>41</b>
5.1.	Diseño de CBM .....	41
5.1.1.	Filosofías de diseño .....	41
5.1.1.1.	<i>Filosofía de suelos</i> .....	41
5.1.1.2.	<i>Filosofía de concreto</i> .....	42
5.1.2.	Proporción de mezclas .....	43
5.1.2.1.	<i>Método de proporción de mezclas con aproximación a suelos</i> .....	44
5.1.3.	Procedimiento de diseño de mezcla .....	44
5.1.3.1.	<i>Selección de materias primas</i> .....	45
5.1.3.2.	<i>Determinación del contenido de humedad</i> .....	45
5.1.3.3.	<i>Selección de la proporción de los contenidos de mezcla</i> .....	47
<b>Capítulo VI.</b>	<b>Proceso constructivo de CBM .....</b>	<b>48</b>
6.1.	Proyectos anteriores .....	48
6.2.	Presente proyecto .....	50
<b>Capítulo VII.</b>	<b>Maquinarias de preparación y colocación .....</b>	<b>55</b>
7.1.	Planta de suelos .....	55
7.1.1.	Especificaciones .....	55
7.1.2.	Restricciones .....	56
7.1.3.	Adaptación para producción de CBM .....	57

7.2.	Transportador de gusano .....	58
7.2.1.	Diseño de transportador de gusanos .....	58
7.2.2.	Adaptación para producción de CBM.....	62
7.3.	Calibración .....	65
7.3.1.	Tablas de calibración de planta de suelos .....	67
7.4.	Pavimentadora .....	68
7.4.1.	Especificaciones.....	69
<b>Capítulo VIII.</b>	<b>Ensayos de resistencia a la compresión.....</b>	<b>72</b>
8.1.	Resistencia a la compresión .....	72
8.2.	Porcentaje de compactación .....	76
8.3.	Rendimientos de producción .....	77
<b>Capítulo IX.</b>	<b>Análisis y discusión de resultados .....</b>	<b>80</b>
9.1.	Análisis del cbm como material de construcción .....	80
9.2.	Análisis de productividad y costos .....	81
9.2.1.	Alquiler de recicladora.....	81
9.2.2.	Implementación de la planta de suelos disponible.....	82
9.2.3.	Alquiler de planta de suelos. ....	83
9.2.4.	Análisis de costos.....	83
<b>Conclusiones .....</b>	<b>86</b>	
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>88</b>	
<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>90</b>	
<b>Anexos.....</b>	<b>92</b>	

## RESUMEN

El presente trabajo de suficiencia describe el proyecto de ampliación del Terminal Portuario Muelle Sur Fase 2A - DP World Callao en Perú, que incluye la colocación de base cementada para el pavimento del patio de contenedores. El CBM (base cementada) está compuesto de agregados, cemento, agua y aditivos, y se puede especificar por su resistencia a la compresión, flexión o en términos de CBR. El proyecto se enfoca en la colocación de base cementada para el pavimento del patio de contenedores. El texto discute las propiedades y características de los materiales aglutinados con cemento (CBM), incluyendo la importancia de los agregados, el porcentaje de cemento y el óptimo contenido de humedad. También se describe el proceso de diseño para CBM, incluyendo las dos principales filosofías de diseño: suelo/geotécnica y concreto; se ejemplifica la optimización del diseño a través de pruebas constantes realizadas en el proyecto, además se enfatiza la importancia de seleccionar agregados de alta calidad y lograr un contenido óptimo de agua para obtener la máxima resistencia a la compresión con un relativo reducido porcentaje de cemento. De igual manera se describe el proceso constructivo detallado de los pavimentos con base cementada, desde la preparación, el transporte con volquetes, la conformación, la pre-compactación, la compactación final con rodillos y por último el corte de juntas. Se describen los diferentes equipos utilizados, incluyendo una planta de suelos especialmente adaptada para la producción de CBM y una pavimentadora para su colocación, y el beneficio económico que resulto de usar equipos propios por encima de equipos no comerciales en el país. Además, se expone los rendimientos de producción respecto a las maquinarias mencionadas, las mediciones tomadas y la ruta crítica en el proceso. Por último, se realiza un análisis comparativo de costos donde se determina la opción más viable para la producción de CBM y se exponen los resultados económicos obtenidos en el proyecto respecto a la base cementada.

## ABSTRACT

The present thesis describes the expansion project of the DP World Callao South Pier Port Terminal Phase 2A in Peru, which includes the placement of a cemented base for the container yard pavement. The CBM (Cement Bound Material) is composed of aggregates, cement, water, and additives, and can be specified by its compressive strength, flexural strength, or in terms of CBR. The project focuses on the placement of a cemented base for the container yard pavement. The text discusses the properties and characteristics of cement-agglomerated materials, including the importance of aggregates, the percentage of cement, and the optimal moisture content. It also describes the CBM design process, including the two main design philosophies: soil/geotechnical and concrete. The optimization of the design is exemplified through constant testing conducted on the project, and the importance of selecting high-quality aggregates and achieving optimal water content to obtain maximum compressive strength with a relatively low percentage of cement is emphasized. Similarly, the detailed construction process of cemented base pavements is described, from preparation, transportation with dump trucks, shaping, pre-compaction, final compaction with rollers, and finally joint cutting. The different equipment used are described, including a soil plant specially adapted for CBM production and a paver for placement, and the economic benefit that resulted from using their own equipment over non-commercial equipment in the country is emphasized. In addition, production yields with respect to the mentioned machinery, measurements taken, and the critical path in the process are exposed. Finally, a comparative cost analysis is performed, determining the most viable option for CBM production and exposing the economic results obtained in the project regarding the cemented base.

## PRÓLOGO

En el mundo el transporte marítimo es el más utilizado por su aumento de capacidad, versatilidad y su aporte a la tecnología del transporte.

El Perú desde épocas ancestrales, siempre ha tenido una gran preponderancia en el transporte marítimo a nivel mundial, ya sea por estar ubicado estratégicamente en la parte geográfica y su interconexión con diversos países en sus fronteras.

Por su posición geográfica en la Cuenca del Pacífico, su gran ventaja es poder establecer nexos marítimos directos con América, Asia, Oceanía y la Antártida y nexos indirectos mediante el río Amazonas y el Canal de Panamá con Europa y África.

Todo lo expresado anteriormente no sería posible si es que el Perú no contara con Puertos donde todo el transporte pudiera llegar y desembarcar o abastecer sus bodegas.

El presente trabajo de Suficiencia Profesional nos demuestra cómo es posible construir los Puertos para que la tecnología del transporte marítimo no sobrepase las capacidades portuarias que tenemos en la actualidad.

Por lo cual, todo el trabajo realizado está enfocado en describir la mejor gestión que podemos hacer para que el material sea utilizado en la construcción de los Puertos con capacidad técnica, administrativa y constructiva, para lo cual el tesista con su experiencia ha realizado un índice muy versátil que incluye desde el marco teórico, el proceso del diseño y la puesta en obra, incluso con una descripción gráfica muy amigable.

La investigación también va dirigida a Bachilleres, Ingenieros, Personal de la Construcción y Público en general, buscando contribuir con el conocimiento y la buena práctica constructiva del material aglutinado con cemento y mejorarlo como material de construcción en el amplio sector del transporte marítimo.

ASESOR

## LISTA DE TABLAS

Tabla N° 2. 1: Rangos y tipos de CBMs .....	19
Tabla N° 2. 2: Rangos de resistencia para varios CBMs.....	21
Tabla N° 3. 1: Metrados del proyecto .....	24
Tabla N° 4. 1: Propiedades físicas y químicas del cemento en Perú .....	27
Tabla N° 4. 2: Ensayo de Peso Unitario Suelto.....	30
Tabla N° 4. 3: Ensayo de Peso Unitario Compactado .....	30
Tabla N° 4. 4: Ensayo de Contenido de Humedad.....	31
Tabla N° 4. 5: Ensayo de Peso Específico y Absorción del agregado grueso.....	32
Tabla N° 4. 6: Ensayo de Peso Específico y Absorción del agregado fino.....	32
Tabla N° 4. 7: Análisis granulométrico del agregado fino .....	34
Tabla N° 4. 8: Análisis granulométrico del agregado grueso .....	35
Tabla N° 4. 9: Análisis granulométrico del agregado global.....	37
Tabla N° 4. 10: Pesos unitarios del agregado global .....	38
Tabla N° 5. 1: Ensayo Proctor para mezcla con 11% de cemento. ....	46
Tabla N° 5. 2: Dosificaciones de mezcla de CBM .....	47
Tabla N° 6. 1: Recursos empleados para colocación de CBM4 Proyecto Muelle norte 2013.....	50
Tabla N° 6. 2: Recursos empleados para colocación de CBM4 Proyecto Muelle sur 2017 .....	54
Tabla N° 7. 1: Producción de planta de cada elemento de la mezcla CBM .....	66
Tabla N° 7. 2: Calibración faja de piedra.....	67
Tabla N° 7. 3: Especificaciones técnicas Vogele Super 1800-2.....	70
Tabla N° 8. 1: Ensayos de resistencia a la compresión.....	72
Tabla N° 8. 2: Parámetros de operación de equipos de colocación de CBM.....	77
Tabla N° 9. 1: Costos de equipos con alquiler de recicladora .....	81
Tabla N° 9. 2: Costos de implementación a planta de suelos disponible .....	82
Tabla N° 9. 3: Costos de equipos con implementación de planta de suelos disponible.....	82
Tabla N° 9. 4: Costo de equipos con alquiler de planta de suelos.....	83
Tabla N° 9. 5: Tabla comparativa de los métodos de fabricación de CBM.....	84
Tabla N° 9. 6: Análisis unitarios de la base cementada.....	84
Tabla N° 9. 7: APU's desconsolidados de la base cementada.....	85

## LISTA DE FIGURAS

Figura N° 2. 1: Sección típica de un pavimento. ....	15
Figura N° 3. 1: Ubicación referencial del proyecto.....	22
Figura N° 3. 2: Layout del área a pavimentar e intervenir - Proyecto Ampliación Muelle Sur.....	23
Figura N° 3. 3: Área por pavimentar en el patio de contenedores .....	23
Figura N° 3. 4: Secciones típicas de pavimento en el patio de contenedores .....	24
Figura N° 5. 1: Curvas humedad-densidad para mezclas CCR sujetas a varios esfuerzos de compactación (Reeves y Yates, 1985) .....	42
Figura N° 6. 1: Recicladora Wirtgen empleada en remodelación Muelle Norte...	49
Figura N° 6. 2: Procedimiento constructivo de CBM Parte 1 .....	51
Figura N° 6. 3: Procedimiento constructivo de CBM parte 2.....	51
Figura N° 6. 4: Procedimiento constructivo de CBM Parte 3 .....	52
Figura N° 6. 5: Procedimiento constructivo de CBM parte 4.....	53
Figura N° 7. 1: Planta de suelos Ticel USM500.....	56
Figura N° 7. 2: Esquema técnico de planta de suelos Ticel USM500 .....	56
Figura N° 7. 3: Transportador de gusano.....	59
Figura N° 7. 4: Ángulo de inclinación de gusano transportador .....	61
Figura N° 7. 5: Dimensiones de balde de abastecimiento de cemento.....	62
Figura N° 7. 6: Acople de unión del balde con gusano .....	62
Figura N° 7. 7: Distribución de tolvas en planta de suelos .....	63
Figura N° 7. 8: Orden de las tolvas de la planta.....	63
Figura N° 7. 9: Apertura de compuerta de tolva.....	64
Figura N° 7. 10: Guardas en la faja de cemento.....	65
Figura N° 7. 11: Forrado con geomembrana en chute de cemento.....	65
Figura N° 7. 12: Controladores de planta de suelos Ticel .....	65
Figura N° 7. 13: Calibración de planta de suelos Ticel .....	66
Figura N° 7. 14: Diseño geométrico Vogele Super 1800-2 .....	71
Figura N° 7. 15: Pavimentadora empleada en el proyecto.....	71
Figura N° 8. 1: Gráfica resistencia a la compresión variando % cemento .....	74
Figura N° 8. 2: Proceso de testigos de diamantinas .....	74
Figura N° 8. 3: Gráfica resistencia a la compresión testigos diamantinos .....	75
Figura N° 8. 4: Ensayos de densidad de campo.....	76
Figura N° 8. 5: Carguío de mezcla sobre volquetes.....	78
Figura N° 8. 6: Equipos en proceso de conformación de CBM .....	79



## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

CBM	:	Cement bound material (material aglutinado con cemento)
CCR	:	Concreto Compactado con Rodillo
CBR	:	Californian Bearing Ratio
UGM	:	Unbound granular material (material granular no aglutinado)
BGM	:	Bound granular material (material granular aglutinado)
HBM	:	Hydraulically Bound Mixtures (Mezcla aglutinada hidráulicamente)
CSS	:	Cement Stabilized Soil (Suelo estabilizado con cemento)
SC	:	Soil Cement (Suelo cemento)
CBGM	:	Cement Bound Granular Material (Material granular aglutinado con cemento)
LC	:	Lean Concrete (Concreto pobre)
RCC	:	Roller Compacted Concrete (Concreto Compactado Con Rodillo)
SHW	:	Specification for Highway Works

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Los pavimentos de concreto son ampliamente usados en la construcción actual, debido a esto es importante seguir desarrollando nuevas formas de construcción que ayuden a mejorar la productividad y costos de los proyectos, en el presente informe de suficiencia se pretende aportar sobre el tema, desarrollando un material aglutinado con cemento o llamado en inglés CBM Cement Bound material para su aplicación como reemplazo de pavimentos de concreto convencional, específicamente se trata de la aplicación de CBM en el puerto del muelle sur del Callao ejecutado en el 2018, el informe aborda el estudio del material, a nivel de diseño, rendimientos, maquinarias de preparación y producción para alcanzar los objetivos del proyecto y generar un aporte económico superior al planteado inicialmente en el presupuesto.

### 1.1. GENERALIDADES.

En los inicios de los años 70's, en un gran auge por la construcción de presas, se empezó a buscar nuevas formas de construcción que combinaran la seguridad que brinda una presa construida con concreto convencional y la eficiencia económica cuando se construía con terraplenes. Así nació la idea del usar material granular enriquecido con cemento usando equipos de movimiento de tierras para su colocación.

“El Concreto Compactado con Rodillo (CCR) se define como una mezcla de cemento y agregados seleccionados, con un contenido de agua suficientemente reducido para permitir su compactación con rodillo” (Escalaya, 2006).

La diferencia de este material (CCR) con el concreto convencional es la trabajabilidad en su estado fresco, ya que el CCR debe ser lo suficientemente seco (asentamiento nulo, slump = 0”) para evitar el hundimiento de los equipos de vibración (rodillo vibratorio mixto liso, rodillo vibratorio tándem, placa vibradora, apisonador tipo canguro) pero a su vez debe contener la cantidad de agua suficiente para la adecuada distribución del cemento entre la mezcla, es decir, la función principal del agua es la hidratación del cemento, y no la trabajabilidad como lo es en el concreto convencional.

Las primeras ideas de concreto compactado con rodillo datan en Suecia alrededor del año 1930 cuando se llevó a cabo un pavimento con una forma de CCR, en EEUU se usó en la carretera Yakima – Washington alrededor del año 1942, sin embargo, el mayor uso en pavimentos data de 1980 en países como Canadá y

EEUU. Debido a ello, la técnica CCR se considera relativamente reciente y en proceso de evolución.

En Sudamérica se tiene un desarrollo incipiente de esta tecnología, en Colombia la primera presa construida en CCR fue Porce II; este proyecto ubicado en el departamento de Antioquia inició su construcción en el año 1994. Otra presa construida fue La Miel I entre el año 2000 y 2004, ubicada en el departamento de Caldas, el solo hecho de haber utilizado este tipo de concreto y no el concreto convencional significó un ahorro de costos finales para el proyecto del 20%. Con sus 188 m de altura promedio, deja muy atrás a la conservadora Miyagase (155 m de altura erigida en Japón) y se constituye como la presa más alta del mundo construida en CCR.

La primera presa de CCR desarrollada en Argentina es “Urugua-i” en la provincia de Misiones, construida entre los años 1986-1991, fue realizada para aprovechar un gran salto de agua en uno de los arroyos más caudalosos de la provincia de Misiones, consta altura 80 m. un largo de coronamiento 687 m. y tiene un volumen relleno de presa de 600 000 m<sup>3</sup>.

Otra presa significativa construida en CCR es la presa Ralco en Chile, tiene una altura de 155 m. una longitud de 360 m. en su coronamiento y un volumen relleno de presa de 1.5 millones de m<sup>3</sup>.

En Perú, los proyectos más importantes en los que se considera esta tecnología son:

Presa Chalhuanca, está ubicada en el río Chalhuanca, provincia de Caylloma, específicamente en el distrito de Yanque a 4292 metros sobre el nivel del mar, tiene una altura de 19 m. con un ancho de corona de 7 m. y una capacidad de almacenamiento de 25 millones de m<sup>3</sup>.

La represa de Angostura parte del proyecto majes-siguas estará ubicado en el departamento de Arequipa en la provincia de Caylloma captando las confluencias del río Apurímac con el río Hornillos, a 4180 metros sobre el nivel del mar. Será de tipo concreto compactado con rodillo (CCR) con una altura de 102 m. longitud de coronamiento de 302 m. ancho de corona de 7.5 m. volumen relleno de presa 543,808 m<sup>3</sup> y se podrá almacenar la cantidad de 1 140 millones de m<sup>3</sup>.

Hablar del CCR es referirse a un producto con resistencias y calidad superiores, casi equivalente al concreto convencional en sí, Sin embargo, tomando en cuenta

que existen proyectos que involucran estructuras en los que se requiere una resistencia y una calidad un tanto inferior, podemos hablar de un material llamado Cement Bound Material CBM (material aglutinado con cemento) que es, en esencia, una especie de CCR de baja resistencia. El término de CBM es adquirido de la Norma Inglesa “Specification for Highway Works SHW SERIES 800 Unbound, cement and other hydraulically bound mixtures” (Especificaciones para obras en carreteras Serie 800: Materiales sin aglutinar, aglutinados con cemento u otros aglutinantes hidráulicos)

Las principales aplicaciones de CBM se dan en los puertos marítimos.

En Perú, los principales proyectos desarrollados con CBM son:

#### Muelle Sur

En el 2008 se inició la construcción del nuevo terminal de contenedores Muelle Sur, bajo el consorcio de las empresas Odebrecht, Saipem y Jan De Nul. El área de almacenamiento de contenedores se constituye de un pavimento de carga pesada, el cual consta de una primera capa de 40cm de subrasante (Californian Bearing Ratio CBR>3), una segunda capa de 30cm de subrasante reforzada (CBR>15), una tercera capa de 20cm de subbase (CBR>20) y una última capa de base cementada CBM4 de espesor 50 cm. La resistencia a compresión a los 7 días requerida para el CBM era de 12 a 15 MPa (120 a 150 kg/cm<sup>2</sup>).

#### Muelle Norte

En el 2013, se realizó la remodelación de las etapas 1 y 2 del Terminal Norte Multipropósito del Muelle del Callao. En el área de almacenamiento de contenedores la última capa del pavimento en las zonas de ampliación, al igual que en el Muelle Sur, fue especificada como CBM4, con un espesor de 50 cm con resistencia a compresión a los 7 días requerida de 12 a 15 MPa (120 a 150 kg/cm<sup>2</sup>).

Ambos proyectos no presentaron problemas técnicos, sin embargo, en estos proyectos, para la fabricación y colocación, se empleó Recicladora estabilizadora de suelos Wirtgen WR 240, la cual cumplía las especificaciones de calidad, sin embargo, se tenía ciertas deficiencias en cuanto a productividad y costos.

Existen contadas investigaciones de CCR en nuestro medio, específicamente en la UNI, contamos con Informes de Suficiencia como “Evaluación del óptimo contenido de cemento del concreto compactado con rodillo para la presa Pallca

de la Central Hidroeléctrica Huanza” por Jorge Rodríguez. O “Características técnicas del concreto compactado con rodillo (CCR)” por Enrique Palomares en la que nos muestran los resultados obtenidos de la evaluación del material en sus respectivos proyectos. Miriam Escalaya nos presentó una Tesis del diseño de CCR con cemento Portland Tipo I y de cemento Puzolánico Tipo IP, afirmando que su uso es recomendable. Sin embargo, se cuenta con pocos artículos del proceso constructivo o de la mejora de los costos para la fabricación y colocación de CCR y menos de su aplicación como CBM.

## 1.2. PROBLEMÁTICA.

El desarrollo de infraestructura portuaria juega un papel crucial en el crecimiento económico de un país, sirviendo como puerta de entrada y salida para el comercio internacional. Sin embargo, uno de los desafíos persistentes que enfrenta nuestro país es la necesidad de mejorar la eficiencia y reducir los costos asociados con la construcción y mantenimiento de estas instalaciones vitales. En este contexto, el uso de materiales innovadores y procesos constructivos optimizados se presenta como una solución clave para abordar esta problemática de manera integral. En particular, la aplicación del Cement Bound Material (CBM) ofrece una oportunidad para no solo mejorar la productividad y reducir costos en la construcción de infraestructura portuaria, sino también para proporcionar una alternativa más sostenible y económicamente viable. Este enfoque no solo beneficia al país al mejorar su infraestructura portuaria, sino que también tiene un impacto positivo en el entorno socioeconómico al generar empleo y promover el desarrollo industrial y comercial. Por lo tanto, este proyecto no solo aborda una necesidad técnica específica, sino que también contribuye significativamente a abordar un problema más amplio que afecta al país en su conjunto.

El concreto es uno de los materiales más usado desde hace muchos años atrás en la ingeniería, para la construcción de obras de todo tipo a nivel mundial, por este motivo se hace necesario seguir investigando nuevas formas y variaciones de éste para tener un material específico en cada tipo de requerimiento. Estas alteraciones van dirigidas siempre a obtener el mejor comportamiento en el estado fresco y endurecido y, principalmente, a una reducción de los costos para su preparación y colocación; para lo cual se tiene como fin plantear el uso del CBM como material alternativo del concreto convencional.

El CBM se destaca como una opción idónea para proyectos que requieren grandes áreas de aplicación, como rellenos voluminosos, cimentaciones masivas, pavimentos, bases de losas y reparaciones de emergencia, entre otros. Su aplicación ha sido especialmente relevante en la construcción de presas, sustituyendo al concreto convencional, y su viabilidad económica se ve favorecida cuando es competitivo con otros métodos constructivos. En Perú, el CBM se empleó en la construcción de pavimentos en puertos marítimos, pero la preparación y colocación con la Recicladora estabilizadora de suelos Wirtgen WR240 presentó problemas de productividad y costos.

El presente Trabajo de Suficiencia Profesional busca contribuir al desarrollo del conocimiento sobre el CBM en nuestro país, con un enfoque específico en la mejora de la productividad y la eficiencia en costos mediante la variación de los procesos constructivos en comparación con experiencias pasadas. Además, se pretende analizar el comportamiento de la resistencia a la compresión del concreto mediante la modificación de los porcentajes de cemento, con el objetivo de obtener la proporción óptima en el diseño de mezclas. Este análisis también incluirá la evaluación y comparación de propiedades relevantes para la especificación del CBM, consolidándolo como una alternativa innovadora en el ámbito de los materiales de construcción.

### 1.3. OBJETIVOS.

#### 1.3.1. Objetivo Principal.

Dar a conocer las bondades y ventajas del Cement Bound Material (CBM) para mejorar la productividad y costos variando el proceso constructivo de la preparación y colocación de Cement Bound Material (CBM) respecto a experiencias anteriores en Perú.

#### 1.3.2. Objetivos Específicos.

- Mostrar el desenvolvimiento en productividad y costos de una planta de suelos adaptada in situ para producir CBM y de una pavimentadora de asfalto para su colocación.
- Mostrar los resultados las resistencias del CBM endurecido a diferentes proporciones de cemento (11.0%, 10.0%, 9.0%, 8.0%, 7.0%, 6.5%, 6.2% y 6.0%) a los 3, 7 y 28 días de mezcla y analizar sus propiedades en estado fresco y endurecido.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

Un pavimento, asentado sobre una fundación apropiada, es la capa construida por uno o más materiales que tiene la finalidad de proporcionar una superficie de rodamiento adecuada que permita el tránsito seguro y confortable de vehículos y personas, a velocidades operacionales deseadas y bajo cualquier condición climática. Hay una gran diversidad de tipos de pavimento, dependiendo del tipo de vehículos, volumen de tráfico y condiciones especiales a las que serán usadas.

Hay desventajas considerables en el uso de un camino no pavimentado debido a que esta situación genera condiciones de funcionamiento precarias limitando las velocidades y cargas de vehículos, así como aumentando los costos operacionales de mantenimiento y combustible.

Se puede considerar que la estructura de un pavimento está formada por una superestructura encima de una fundación. Generalmente la superestructura está constituida por la capa de revestimiento y la capa base; la fundación está formada por las capas de subbase y suelo compactado. La figura N° 2.1. Se muestra esquemáticamente los componentes principales de un pavimento.

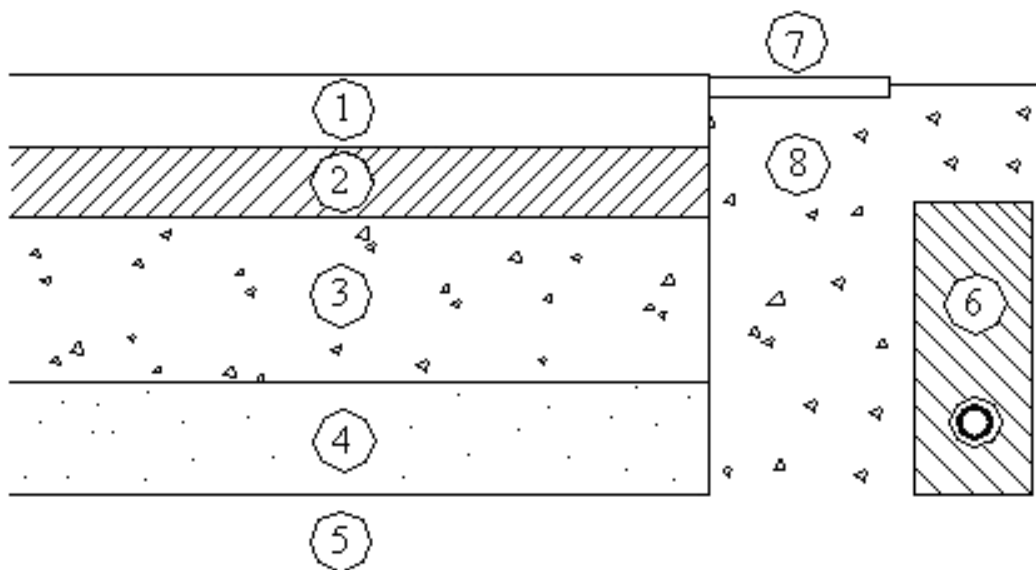


Figura N° 2. 1. Sección típica de un pavimento.

- |                     |                               |
|---------------------|-------------------------------|
| 1. Capa de Rodadura | 5. Subrasante                 |
| 2. Capa Base        | 6. Subdrenaje longitudinal    |
| 3. Capa Subbase     | 7. Revestimiento de Hombreras |
| 4. Suelo Compactado | 8. Subbase de Hombreras       |

La principal función de la capa de rodadura es proveer una superficie resistente al deslizamiento inclusive cuando se encuentra húmeda, así como impermeabilizar el pavimento para que las capas inferiores puedan mantener su capacidad de soporte.

La capa base tiene la función de reducir las tensiones y deformaciones que las cargas ejercen a la subbase y capa de rodadura respectivamente. Esta capa debe ser diseñada con la resistencia adecuada para asumir esta función.

La capa subbase generalmente se usa para reducir el espesor de la capa base ya que al encontrarse a una mayor profundidad no asume de manera significativa las cargas y además está constituida por un material de capacidad de soporte superior a la del suelo compactado.

La capa de suelo compactado tiene la función de reducir el espesor de la subbase.

La subrasante es la superficie terminada a nivel de movimiento de tierras (corte y relleno). Es la capa sobre la que se coloca la estructura del pavimento.

Existen tres tipos de pavimentos: Flexibles, rígidos y semirrígidos.

Los pavimentos flexibles son aquellos que tiene un revestimiento asfáltico sobre una capa de base granular, es decir el pavimento flexible utiliza una mezcla de agregado con material bituminoso. Esta mezcla es compacta, pero lo bastante plástica para absorber grandes golpes y soportar un elevado volumen de tránsito pesado. En este sistema, las capas de revestimiento y base absorben las tensiones y deformaciones generadas en la estructura por las cargas de rueda de tráfico por medio de la absorción de tensiones cizallantes.

Los pavimentos rígidos son aquellos en los que el principal componente estructural es una losa de concreto que alivia las tensiones en las capas inferiores por medio de su elevada resistencia a la flexión. Por este motivo, la capa inmediatamente inferior a la losa de concreto denominada como subbase puede ser constituida por materiales con capacidad de soporte inferior a la que sería requerida por los materiales de la capa base de los pavimentos flexibles.

Los pavimentos semirrígidos son aquellos en el que se combinan los pavimentos “flexibles” y los pavimentos “rígidos”. Este pavimento comprende una capa de base tratada con cemento junto con una superficie de rodadura de revestimiento asfáltico.



Cada una de las capas correspondientes a un pavimento puede ser compuesta con materiales clasificados de dos tipos: Material granular no aglutinado (Unbound Granular Material) y Material granular aglutinado (Bound Granular Material).

## 2.1. MATERIAL GRANULAR NO AGLUTINADO – UNBOUND GRANULAR MATERIAL (UGM)

Los materiales granulares no aglutinados pueden definirse simplemente como un material granular que no cuenta con un ligante que haga que sus partículas se encuentren aferradas entre sí, es decir, este material puede compactarse reduciendo los espacios entre sus partículas y formarse una estructura concisa y posterior a ello puede escarificarse o demolerse y volver a su estado inicial de partículas sueltas sin sufrir cambios en sus propiedades físicas y químicas.

Los UGMs generalmente se usan en la base y subbase de los pavimentos. Como base juegan un papel importante en el rol estructural especialmente cuando se diseña para pavimentos con bajo o mediano tránsito donde la capa de rodadura puede llegar a ser muy delgada. Como subbase protegen la subrasante de las tensiones de carga superficial y actúan como aislante contra las severidades climáticas.

Una forma de clasificar los UGMs es realizarla por el análisis granulométrico por tamizado, en la cual se verifica que cumpla con la envolvente de la norma en la que se esté diseñando. La plasticidad, la resistencia mecánica, el contenido de humedad y la densidad son factores importantes para un rendimiento satisfactorio.

### 2.1.1. Tipos de material granular no aglutinado

Los UGMs pueden ser materiales naturales como grava, arena o piedra chancada, o puede ser el producto de un procesamiento industrial como la escoria triturada (residuo de la purificación de minerales como hierro) o como concreto triturado mezclado con albañilería triturada.

En nuestro país los materiales granulares naturales tienen bastante oferta a un precio aceptable, sin embargo, debido a razones medioambientales hay zonas en las que el suministro es más limitado, es aquí donde debería utilizarse los productos granulares industriales, sin embargo, este proceso requiere de equipamiento necesario para asegurar la calidad de sus propiedades el cual está relacionado a una cierta inversión. En nuestro medio, existen pocas industrias que ya proveen de estos materiales, pero los tiempos están cambiando y debería

plantearse el uso constante de materiales granulares industriales para la construcción.

## 2.2. MATERIAL GRANULAR AGLUTINADO – BOUND GRANULAR MATERIAL (BGM)

Los materiales granulares aglutinados se definen como un material en la que sus partículas están unidas por medio de un aglutinante, este aglutinante aferra a las partículas a través de un proceso químico en la que volver a su estado inicial suelto es irreversible.

Los dos aglutinantes más comunes son los bituminosos (alquitrán) y el cemento. Por lo tanto, el asfalto es en realidad un material granular aglutinado bituminoso y el concreto es un material granular aglutinado con cemento. Los materiales granulares aglutinados se fijan creando una estructura sólida y, en consecuencia, son más difíciles de remover y eliminar.

Los BGMs se usan generalmente en capa de rodadura y en la base, asumiendo los roles estructurales del pavimento.

### 2.2.1. Mezcla aglutinada hidráulicamente - Hydraulically Bound Mixtures (HBM)

Los materiales aglutinados hidráulicamente es un grupo amplio que abarca a todos los materiales que se solidifican al mezclarse con agua, de ahí el término “hidráulicamente”. Los aglutinantes hidráulicos más comunes incluyen cemento, cenizas, escoria chancada, cal, puzolana, limos y combinaciones de estos.

(Agregados + agua + aglutinante hidráulico) Mezclados y compactados = HBM

HBM es uno de los materiales más utilizados en las capas de subbase de pavimento donde tradicionalmente se han utilizado bases tratadas con cemento o materiales unidos a cemento. Los HBMs pueden ser producidos tanto in situ como en una planta, el método in situ es adecuado para obras de gran escala de colocación, mientras que el método de planta permite tener un mayor control de calidad de los componentes.

Al sectorizar un poco más a los HBM se puede centrar específicamente en usar el cemento como el aglutinante hidráulico, debido a que es el material más comercial en nuestro medio, y se obtendría específicamente el producto Cement Bound Material CBM o material aglutinado con cemento.

### 2.2.2. Material aglutinado con cemento - Cement Bound Material (CBM)

El CBM puede ser definido como un material granular o suelo, mezclado con cemento y compactado por vibración externa hasta o cerca el óptimo contenido de humedad. La principal aplicación es en la construcción de pavimentos, pero ha sido usada exitosamente como material masivo de fundación.

El término “CBM” cubre un amplio rango de materiales desde productos cuya resistencia es medida en términos de CBR (Californian Bearing Ratio) hasta productos que tienen resistencia a la flexión de 50kg/cm<sup>2</sup> o más, el primero puede ser usado como capa de subrasante reforzada, mientras que, en algunos casos, el segundo puede ser usado como la superficie real del pavimento, por ejemplo, en terminal de contenedores.

Tabla N° 2. 1. Rangos y tipos de CBMs  
Fuente: Advanced Concrete Technology - John Newman and Ban Seng Choo

				Alta Resistencia 50kg/cm <sup>2</sup> resistencia a la flexión
Baja resistencia (CBR)				
← Rango de CBMs →				
Suelo estabilizado con cemento	Suelo Cemento CBM1	Material granular aglutinado con cemento CBGM CBM2	Concreto pobre CBM 3,4,5	Concreto compactado con rodillo
15-30% CBR	10-50 kg/cm <sup>2</sup> Resistencia a la compresión a los 7 días	40-100 kg/cm <sup>2</sup> Resistencia a la compresión a los 7 días	70-200 kg/cm <sup>2</sup> Resistencia a la compresión a los 7 días	Mayor 200kg/cm <sup>2</sup> Resistencia a la compresión a los 7 días
→ Incrementa la calidad de la materia prima requerida →				

Los valores de las resistencias de la tabla N° 2.1. son referenciales solamente, las categorías individuales pueden ser evaluadas de la siguiente manera.

#### 2.2.2.1. Suelo estabilizado con cemento - Cement Stabilized Soil (CSS)

Se define como suelo estabilizado con cemento la mezcla íntima, convenientemente compactada, del suelo adicionando cemento, agua y “adiciones” (con propiedades de inmunidad al agua). Este material generalmente se produce in situ como medio para mejorar la subrasante a una subrasante reforzada. Con suelos cohesivos, es necesario tratar previamente con limo, esto descompone las arcillas a una condición desmenuzada aumentando la superficie que puede cubrirse con cemento, tales capas, cuando se compactan adecuadamente, tendrán una permeabilidad muy baja. También necesitan una

membrana de sellado muy competente para evitar la pérdida de humedad y así evitar la formación de "grietas" asociada a la pérdida de rendimiento.

El objetivo de estabilizar un suelo puede ser secar zonas húmedas para facilitar su compactación, proporcionar una plataforma de trabajo estable o preparar el suelo para un tratamiento posterior.

#### 2.2.2.2. *Suelo cemento - Soil Cement (SC)*

El suelo-cemento es una mezcla hecha en seco de tierra o suelo con granulometría, cemento y ciertos aditivos (como retardantes o acelerantes de fraguado, según se necesite). A esta mezcla se le agrega agua para conseguir una mezcla homogénea y luego se compacta y se cura. El resultado es un material resistente con propiedades mecánicas específicas.

Este material puede ser producido in situ o en planta, el material es útil como subrasante reforzada, subbase o inclusive base para caminos con tránsito mínimo. La materia prima será granular e idealmente no tendrá una clasificación muy uniforme, pero generalmente no será procesada. Un bajo contenido de orgánicos también es deseable.

Entre los ejemplos de materiales ideales se incluyen arenas y gravas de excavaciones, desechos de canteras, materiales reciclados como concreto triturado, cenizas, etc.

#### 2.2.2.3. *Material granular aglutinado con cemento - Cement Bound Granular Materials (CBGM)*

En la composición de este material ya no se usa una baja calidad de "suelo" sino que se emplea una calidad de "agregados", en este punto la materia prima necesita ser más controlada. Normalmente la envolvente de usos granulométricos es un tanto amplia y también es necesario un requisito mínimo de dureza de la materia prima.

El CBGM puede ser usada como subbase o inclusive base para caminos con tránsito mínimo.

#### 2.2.2.4. *Concreto pobre - Lean Concrete (LC)*

En general, en este punto ya se usa una calidad de agregados superior como también un mayor contenido de cemento. La calidad de sus agregados es similar

al que se usaría para cualquier concreto convencional de baja resistencia o calidad. La envolvente de usos granulométricos es más reducida que la del CBGM.

Este es un material de base para pavimentos de composición flexible, pero también se usa ampliamente como subbase para construcciones rígidas.

#### 2.2.2.5. Concreto Compactado Con Rodillo - Roller Compacted Concrete (RCC)

Este material tiene un rendimiento equivalente al concreto en el pavimento. Puede ser especificado en términos de resistencia a la flexión, tracción y compresión.

El agregado requerido es de alta calidad y la clasificación debe estar estrictamente controlada. Generalmente el CCR incorpora ceniza pulverizada de combustible, este material puzolánico puede usarse para reducir el contenido de cemento, también esto reduce el calor generado por la mezcla y proporciona una ganancia de resistencia a largo plazo.

Cuando se usa CCR como superficie de rodadura, el diseñador debe recordar que texturizar la superficie puede ser requerido en orden de proporcionar una adecuada resistencia al deslizamiento.

La tabla N° 2.2. Muestra como estos materiales están especificados en la Norma Inglesa "Specification for Highway Works SHW SERIES 800 Unbound, cement and other hydraulically bound mixtures" en términos de la resistencia.

Tabla N° 2. 2. Rangos de resistencia para varios CBMs	
Fuente: Advanced Concrete Technology - John Newman and Ban Seng Choo	
Suelo estabilizado con cemento	CBR entre 15% a 30%
Suelo Cemento (CBM1)	Resistencia a la compresión de 45 kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días en una muestra promedio mínima de 5 especímenes
CBGM (CBM2)	Resistencia a la compresión de 70 kg/cm <sup>2</sup> a los 7 días en una muestra promedio mínima de 5 especímenes
Concreto pobre (CBM3, 4 y 5)	Resistencia a la compresión a los 7 días en una muestra promedio mínima de 5 especímenes: 100 kg/cm <sup>2</sup> - CBM3 150 kg/cm <sup>2</sup> - CBM4 200 kg/cm <sup>2</sup> - CBM5
Concreto compactado con rodillo	En la norma "SHW" no especifica un valor mínimo exacto, sin embargo, se puede considerar una resistencia a la compresión de 400 kg/cm <sup>2</sup> a los 28 días con una resistencia a la flexión de 40-50 kg/cm <sup>2</sup>

### CAPÍTULO III. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En el presente capítulo describiremos las características más importantes del proyecto llamado “Ampliación del Terminal Portuario Muelle Sur Fase 2A - DP World Callao”.

#### 3.1. UBICACIÓN

Ubicado en la Avenida Manco Cápac 113, Distrito del Callao, Región Callao, Perú, el proyecto abarca gran territorio construido sobre el mar con la finalidad de operar embarcaciones masivas de comercio para importación y exportación.

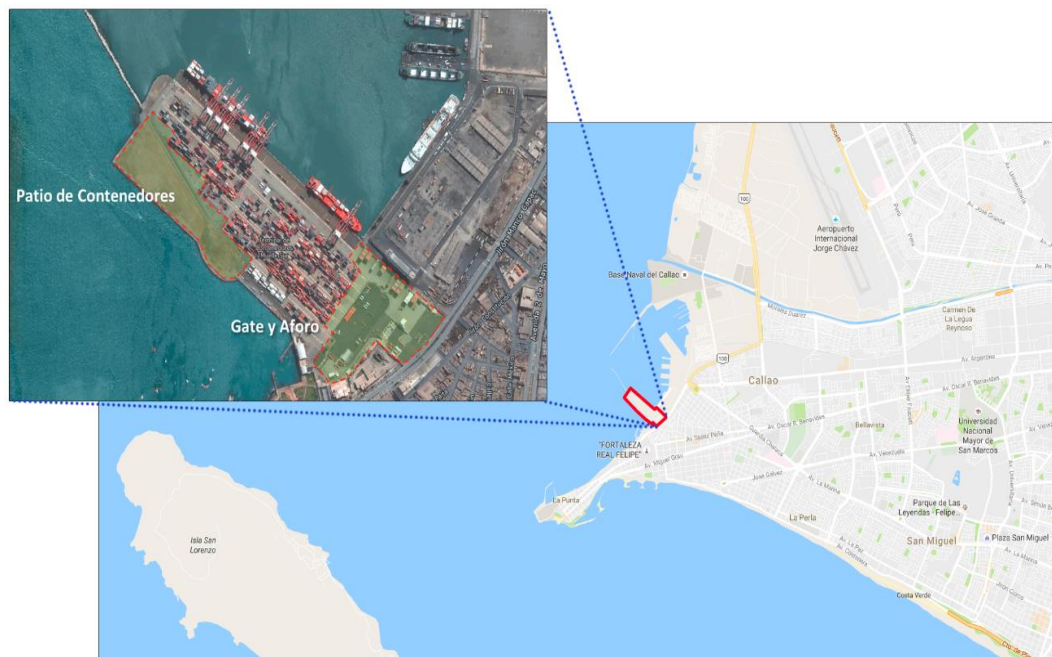


Figura N° 3. 1. Ubicación referencial del proyecto

#### 3.2. ALCANCE

El alcance de las Obras a ejecutarse para la fase 2A del Terminal de Contenedores Muelle Sur en el Terminal Portuario del Callao consiste en la ampliación del área pavimentada del patio de almacenamiento de contenedores, la remodelación de la zona de gates y balanzas, y la remodelación de la zona de aforo físico junto con obras misceláneas.

Dentro de los principales comprendidos en el alcance del Proyecto se incluyen:

- Obras provisionales
- Demoliciones, desmontaje y reubicación
- Habilitación de vía de acceso y pavimentación

- Obras de concreto armado
- Sistema de agua contra incendio
- Fabricación y montaje de estructuras metálicas
- Instalaciones sanitarias, eléctricas, comunicaciones y electromecánicas.



Figura N° 3. 2. Layout del área a pavimentar e intervenir - Proyecto Ampliación Muelle Sur

En el presente informe nos centraremos específicamente en la colocación de base cementada para el pavimento del patio de contenedores, debido a que es el gran interés del cliente y representa la implementación de una mejora en el proceso constructivo respecto a los demás proyectos ya ejecutados en Perú.

El alcance específico en el patio de contenedores consiste en pavimentar 46,568 metros cuadrados representados en 23,284 metros cúbicos de base cementada CBM4. La figura N° 3.3. muestra el detalle en planta del área a pavimentar separado por fases, mientras que la figura N° 3.4. detalla la sección del pavimento.

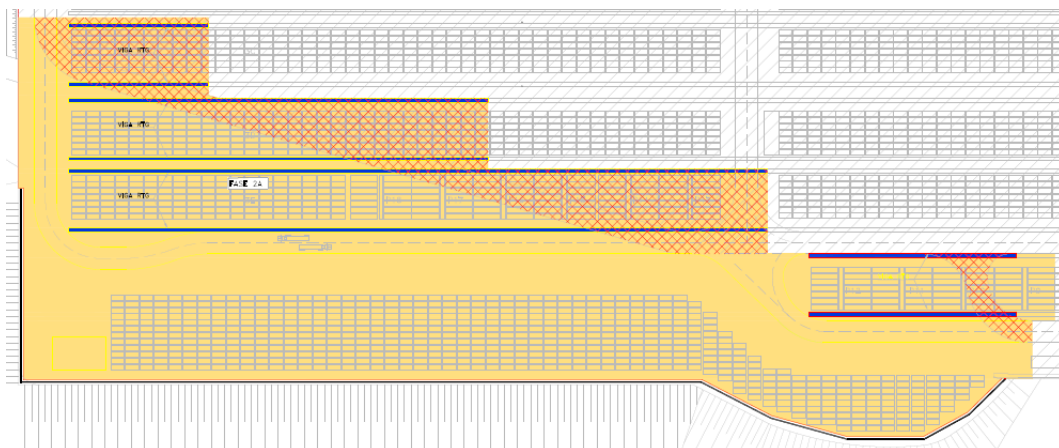


Figura N° 3. 3. Área por pavimentar en el patio de contenedores



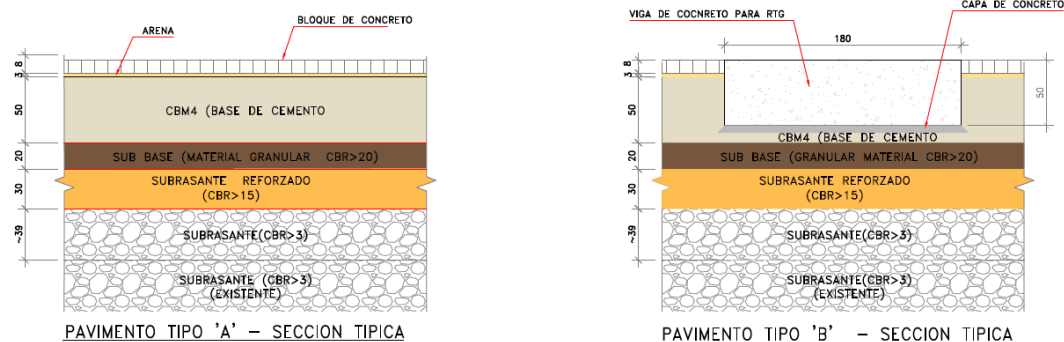


Figura N° 3. 4. Secciones típicas de pavimento en el patio de contenedores

### 3.3. METRADOS

Se describen los metrados establecidos en el proyecto en la siguiente tabla.

Tabla N° 3. 1. Metrados del proyecto  
Fuente: Propuesta de licitación a DP World Callao

<b>PROYECTO:</b> FASE 2A DEL TERMINAL PORTUARIO MUELLE SUR <b>UBICACIÓN:</b> TERMINAL PORTUARIO DEL CALLAO - CALLAO <b>PAQUETE:</b> PATIO DE ALMACENAMIENTO <b>ESPEC:</b> VARIAS					
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNID.	CANT.	P.U.	COSTO
<b>01.00.00</b>	<b>OBRAS PROVISIONALES</b>				
01.01.00	TRANSPORTE DE EQUIPO PESADO A LA OBRA	glb	2.00	USD 15,000.00	USD 30,000.00
01.02.00	TRANSPORTE DE EQUIPOS MENORES Y PERSONAL A OBRA, TRANSPORTE INTERNO DE MATERIAL DURANTE LA OBRA	glb	1.00	USD 944.51	USD 944.51
01.03.00	TRAZOS Y DELIMITACION DE AREAS DE TRABAJO	glb	1.00	USD 13,155.30	USD 13,155.30
01.04.00	SUMINISTRO DE EQUIPOS Y ELEMENTOS DE SEGURIDAD EN CAMPO	glb	1.00	USD 18,240.85	USD 18,240.85
<b>02.00.00</b>	<b>HABILITACION DE VIA DE ACCESO</b>				
02.01.00	REMOCION DE PIEDRA CHANCADA Y ELIMINACION	m3	907.50	USD 11.61	USD 10,536.08
02.02.00	CONFORMACION DE VIA DE ACCESO	m3	907.50	USD 28.55	USD 25,909.13
02.04.00	REUBICACION DE POSTES EXISTENTES	und	19.00	USD 4,092.93	USD 77,765.67
02.05.00	REJA PERIMETRAL DE SEGURIDAD	ml	724.00	USD 82.88	USD 60,002.95
<b>03.00.00</b>	<b>PAVIMENTO</b>				
03.01.00	SUMINISTRO Y COLOCACION DE CAPA CORAZA	m3	6,829.62	USD 48.42	USD 330,690.20
03.03.00	RELLENO CON MATERIAL GRANULAR EN CAPAS	m3	15,858.44	USD 16.79	USD 266,263.21
03.04.00	MATERIAL GRANULAR (CBR>15)	m3	12,198.80	USD 19.83	USD 241,902.20
03.05.00	SUB BASE (CBR>20)	m3	8,132.53	USD 21.30	USD 173,222.89
03.06.00	BASE CEMENTADA	m3	25,174.60	USD 73.51	USD 1,850,584.85
03.07.00	BLOQUE DE CONCRETO 80X100X200 mm	m2	48,677.03	USD 23.06	USD 1,122,492.31
<b>04.00.00</b>	<b>CERCO PERIMETRAL</b>				
04.01.00	RETIRO Y ELIMINACION DE MALLA EXISTENTE	ml	747.00	USD 3.88	USD 2,898.36
04.03.00	REJA DE MALLA ELECTROSOLDADA	ml	747.00	USD 107.35	USD 80,190.45
<b>05.00.00</b>	<b>VIGAS RTG</b>				
05.01.00	CONCRETO FC 420 KG/CM2	m3	1,188.00	USD 103.56	USD 123,029.28
05.02.00	ACERO DE REFUERZO	T	191.85	USD 1,142.65	USD 219,217.40
05.03.00	SOLADOS DE CONCRETO FC=100 KG/CM2 H=2"	m2	2,376.72	USD 5.66	USD 13,452.24
05.04.00	DOWELLS	kg	1,338.41	USD 3.64	USD 4,871.81



## **CAPÍTULO IV. MATERIALES, PROPIEDADES Y ENSAYOS**

En este capítulo se describe como se especifica un CBM, sus componentes, propiedades, ensayos y todas sus características imprescindibles para estudiarlo y utilizarlo como un material alternativo al concreto convencional y explotar al máximo sus propiedades y su bajo costo.

### **4.1. ESPECIFICACIÓN DEL CBM**

Para poder estudiar el CBM se debe identificar cual es la característica más importante de este material, es decir, cual es la propiedad con la que se puede medir la calidad del CBM o cómo se puede especificar a un CBM. Anteriormente, solo se hacía referencia a la resistencia a la compresión o CBR como un medio para clasificar el rendimiento. Este es un medio conveniente para controlar la calidad y verificar el cumplimiento del contrato y, por lo tanto, es muy útil. Sin embargo, desde el punto de vista del diseño, la resistencia a la compresión por sí sola tiene un valor limitado. Los CBM de grado superior también se pueden clasificar por resistencia a la flexión. La resistencia a la flexión, la resistencia a la tracción y el módulo de elasticidad (E) pueden utilizarse en métodos de diseño analítico que optimiza el grosor de una capa explorando verdaderamente el potencial de los agregados.

Los diseños basados en la resistencia a la compresión tienden a ser ineficientes en términos del uso del agregado, ya que no tienen en cuenta el rendimiento de este. Por ejemplo, un CBM producido usando arena redondeada y grava puede tener la misma resistencia a la compresión que un CBM producido usando piedra caliza triturada. Sin embargo, es probable que sus resistencias a la flexión sean muy diferentes; la roca triturada será más alta.

Así es que vamos a estudiar todos los materiales que componen el CBM para poder adaptarlo mejor al entorno que se va a utilizar.

### **4.2. MATERIALES DEL CBM**

Como ya se ha mencionado, el CBM está compuesto de agregados, cemento, agua y de ser necesario aditivos, vamos a estudiar el detalle de todos los materiales más representativos que se pueden encontrar en nuestro medio. Se considera que, en Perú, mencionado en antecedentes, el mayor uso que se ha dado al CBM es para la construcción de pavimentos de puertos marítimos, motivo por el cual el presente informe esta referenciado para esta aplicación.

#### 4.2.1. Cemento tipo V

Cuando se proyecta y construye una estructura no solo se debe procurar por definir un nivel de resistencia del material, sino que también se debe establecer las propiedades que esta mezcla debe tener a fin de lograr que toda la estructura cumpla con las condiciones de uso para las que fue proyectada durante su vida útil. Para ello, resulta fundamental conocer el grado de agresividad a los que serán sometidos los diferentes elementos componentes de la estructura. Al usarse la aplicación para pavimentos de puertos marítimos la principal característica que se debe tomar en cuenta es que el producto final estará en contacto directo con las aguas de mar, esto abarca que será sometido al ataque de las sales. Motivo por el cual se selecciona el cemento tipo V.

##### 4.2.1.1. Definición

El cemento portland Tipo V es un cemento de alta resistencia a los sulfatos. Este cemento se fabrica mediante la molienda conjunta de clinker tipo V (bajo contenido de álcalis), yeso y caliza. El clinker es un mineral artificial y está compuesto esencialmente de silicatos de calcio producidos a partir de materiales calcáreos y correctores de sílice, alúmina y hierro en un proceso efectuado a temperaturas cercanas a los 1450°C.

La alta resistencia a los sulfatos del cemento tipo V se atribuye al bajo contenido de aluminato tricálcico, no excediendo a 5%. El uso de baja relación agua/cemento y baja permeabilidad son fundamentales para el buen desempeño de cualquier estructura expuesta a los sulfatos. Incluso el concreto con cemento tipo V no puede soportar una exposición severa a los sulfatos si tiene alta relación agua/cemento. La cantidad máxima de sulfatos que se permite en el cemento Tipo V varía según las normas y estándares de cada país. En los Estados Unidos, por ejemplo, la norma ASTM C150 establece que el contenido máximo de sulfatos en el cemento Tipo V no debe superar el 2,0% en peso. Sin embargo, es importante tener en cuenta que el contenido de sulfatos en el cemento no es el único factor que determina su resistencia química. Otros factores, como el ambiente en el que se utiliza, también pueden afectar su desempeño en aplicaciones especiales.

Con el cemento tipo V, el desarrollo de la resistencia es más lento que en el cemento tipo I, sin embargo, con la utilización de este cemento se logran altas resistencias a la compresión. Es usado en muchas aplicaciones como piscinas, cimentaciones, túneles, tuberías, canales de riego, muros de contención,

depósitos, presas, obras expuestas a la acción del agua de mar, al ambiente marino, suelos y aguas con alto contenido de sulfatos.

Por el moderado calor de hidratación desarrollado, este cemento también se puede usar en obras masivas como presas para diversos usos: abastecimiento de agua, riegos, producción de electricidad, etc.

Como en todo cemento, se recomienda respetar la relación agua/cemento (a/c) a fin de obtener un buen desarrollo de resistencias y trabajabilidad, también es importante utilizar agregados de buena calidad si estos están húmedos es recomendable dosificar menor cantidad de agua para mantener las proporciones correctas. Para lograr resistencias adecuadas es recomendable curar con agua todos los elementos estructurales. Para asegurar buena conservación del cemento se recomienda almacenar las bolsas bajo techo, separadas de paredes o pisos y protegidas del aire húmedo. Evitar almacenar en pilas de más de 10 bolsas para evitar la compactación.

#### 4.2.1.2. Propiedades físicas y químicas

Las normas técnicas que regulan los requisitos mínimos del cemento tipo V son NTP-334.009 y ASTM C-150. En la Tabla N° 2.3. se hace un comparativo de las marcas más comerciales en Perú de cementos tipo V o su equivalente comercial.

Tabla N° 4. 1. Propiedades físicas y químicas del cemento en Perú  
Elaboración propia

Parámetro	Unidad	Requisitos NTP-334.009 ASTM C-150	Cemento Andino Tipo V	Cemento Pacasmayo Tipo V	Cemento Yura Tipo Ip
<b>Propiedades Físicas</b>					
Contenido de aire	%	Máximo 12	5.12	8.0	5.5
Expansión autoclave	%	Máximo 0.80	0.01	0.05	0.01
Superficie específica	m <sup>2</sup> /kg	Mínimo 260	353	362	460
Densidad	g/ml	No especifica	3.15	3.13	3.01
Resistencia a la compresión a 3 días	kg/cm <sup>2</sup>	Mínimo 82	210	198	200
Resistencia a la compresión a 7 días	kg/cm <sup>2</sup>	Mínimo 153	280	278	260
Resistencia a la compresión a 28 días	kg/cm <sup>2</sup>	Mínimo 215	374	366	350
Fraguado Vicat inicial	min	Mínimo 45	130	170	202
Fraguado Vicat final	min	Máximo 375	300	299	264
<b>Propiedades Químicas</b>					
MgO	%	Máximo 6.0	1.35	2.1	2.05
SO <sub>3</sub>	%	Máximo 2.3	1.94	1.9	1.81
Pérdida por ignición	%	Máximo 3.0	1.38	1.6	2.71
Residuo Insoluble	%	Máximo 1.5	0.06	0.56	sin data
C <sub>3</sub> A	%	Máximo 5.0	1.81	3.08	3.55
C <sub>4</sub> AF+2(C <sub>3</sub> A)	%	Máximo 25	14.61	20.0	18.62
Resistencia al ataque de sulfatos	%	Máximo 0.05	0.032	0.026	0.021

La información en esta tabla se referencia con información pública proporcionada por los fabricantes y es meramente informativa, queda a criterio del lector la aplicación que desee darle. En el presente informe se utiliza el cemento andino tipo V por su capacidad comercial cercano al proyecto.

#### 4.2.2. Agua

El agua es el elemento indispensable para la hidratación del cemento, por lo tanto, debe cumplir ciertos requisitos para llevar a cabo la reacción química.

Las funciones principales del agua son:

- Reaccionar con el cemento para hidratarlo.
- Actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad de la mezcla.
- Procurar los vacíos necesarios en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacios para desarrollarse.

Generalmente la cantidad de agua que interviene en una mezcla de concreto es por razones de trabajabilidad, mayor a lo necesario para la hidratación del cemento. La regla empírica para aprobar la calidad del agua es considerando su uso en el consumo humano, si es apto para las personas, es apto para el concreto.

Al usar la aplicación del CBM en pavimentos de puertos marítimos se puede plantear el uso del agua de mar para la fabricación del CBM, sin embargo, es indispensable un estudio más exhaustivo del contenido de sales solubles lo cual en ocasiones puede no ameritar debido a que es muy probable tener agua dulce en algún punto cercano.

#### 4.2.3. Agregados

Los materiales aglutinados con cemento están constituidos por un alto porcentaje de agregados (50-80% en volumen), por lo tanto, gran parte de las características de las mezclas, tanto en estado plástico como en estado endurecido, dependen de las características y propiedades de los agregados, las cuales deben ser estudiadas para obtener mezclas de buena calidad y económicas.

Los agregados también llamados áridos se definen como aquellos materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento en presencia de agua forman un todo compacto. Como agregados se pueden considerar, todos aquellos materiales que teniendo una resistencia propia suficiente no perturben ni afecten desfavorablemente las propiedades y

características de las mezclas y garanticen una adherencia suficiente con la pasta endurecida del cemento. En general, la mayoría son materiales inertes, es decir, que no desarrollan ningún tipo de reacciones con los demás componentes de las mezclas; sin embargo, existen algunos agregados cuya fracción más fina presenta actividad en virtud de sus propiedades hidráulicas colaborando con el desarrollo de la resistencia mecánica, tales como: las escorias de alto horno de las siderúrgicas, los materiales de origen volcánico en donde hay sílice activa, entre otros. Pero hay algunos otros agregados, que presentan elementos nocivos o eventualmente inconvenientes que reaccionan afectando la estructura interna de la mezcla y su durabilidad como, por ejemplo, los que presentan elementos sulfurados, los que contienen partículas pulverulentas más finas o aquellas que se encuentran en descomposición latente como algunas pizarras.

En la mayoría de los casos, los agregados de las canteras cumplen con los requisitos mínimos para su uso y lo que finalmente define el proveedor son los análisis comparativos de costos equilibrando el material y el transporte de acuerdo con la ubicación del proyecto. En el presente proyecto se hace uso de agregados de la cantera Romana. A continuación, se detallará todas las características de los agregados de esta cantera.

La clasificación de los agregados según su tamaño puede ser fino o grueso.

Se define como agregado fino aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas.

Se define como agregado grueso aquel que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava.

El peso unitario es el peso de una unidad de volumen del material a granel en las condiciones de compactación y humedad en que se efectúa el ensayo, incluyendo el volumen de vacíos propio del agregado, que ha de ocupar parte del volumen unitario patrón. Se expresa en  $\text{kg/m}^3$  y sirve para transformar pesos a volúmenes o viceversa. Existen dos valores para el peso unitario de un material granular, dependiendo del sistema que se emplee para acomodar el material; las denominaciones son Peso Unitario Suelto (PUS) y Peso Unitario Compactado (PUC).

4.2.3.1. *Peso Unitario Suelto*

Se determina colocando el material suavemente en el recipiente hasta el punto de derrame y a continuación se nivela a ras. Se usa fundamentalmente para la conversión de peso a volumen, es decir para conocer el consumo de áridos por metro cubico de mezcla.

Tabla N° 4. 2. Ensayo de Peso Unitario Suelto  
Elaboración propia

PESO UNITARIO SUELTO				
CONCEPTO	: AGREGADOS PARA ELABORACIÓN DE CBM			
MATERIAL	: AGREGADOS PROCESADOS TRITURADOS			
CANTERA	: ROMANA			
UBICACIÓN	: KM 85 DE LA AV. NESTOR GAMBETA			
CÁLCULO	DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO		
-	N° ENSAYO	1	2	3
A	PESO MATERIAL + MOLDE (gr.)	28128	28079	28109
B	PESO DE MOLDE (gr.)	8275	8275	8275
C=A-B	PESO NETO DEL MATERIAL (gr.)	19853	19804	19834
D	VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	14173	14173	14173
PUS=C/D	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.401	1.397	1.399
-	PROMEDIO DE PESO UNITARIO SUELTO	1.399		
CÁLCULO	DESCRIPCIÓN	AGREGADO GRUESO		
-	N° ENSAYO	1	2	3
A	PESO MATERIAL + MOLDE (gr.)	28674	28693	28506
B	PESO DE MOLDE (gr.)	8275	8275	8275
C=A-B	PESO NETO DEL MATERIAL (gr.)	20399	20418	20231
D	VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	14173	14173	14173
PUS=C/D	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.439	1.441	1.427
-	PROMEDIO DE PESO UNITARIO SUELTO	1.436		

4.2.3.2. *Peso Unitario Compactado*

Se determina cuando los granos han sido sometidos a compactación incrementado así el grado de acomodamiento de las partículas del agregado y por lo tanto el valor de la masa unitaria.

Tabla N° 4. 3. Ensayo de Peso Unitario Compactado  
Elaboración propia

PESO UNITARIO COMPACTADO				
CONCEPTO	: AGREGADOS PARA ELABORACIÓN DE CBM			
MATERIAL	: AGREGADOS PROCESADOS TRITURADOS			
CANTERA	: ROMANA			
UBICACIÓN	: KM 85 DE LA AV. NESTOR GAMBETA			
CÁLCULO	DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO		
-	N° ENSAYO	1	2	3
A	PESO MATERIAL + MOLDE (gr.)	31015	31039	30885
B	PESO DE MOLDE (gr.)	8275	8275	8275
C=A-B	PESO NETO DEL MATERIAL (gr.)	22740	22764	22610
D	VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	14173	14173	14173
PUC=C/D	PESO UNITARIO COMPACTADO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.604	1.606	1.595
-	PROMEDIO DE PESO UNITARIO COMPACTADO	1.602		
CÁLCULO	DESCRIPCIÓN	AGREGADO GRUESO		
-	N° ENSAYO	1	2	3
A	PESO MATERIAL + MOLDE (gr.)	29963	30035	29885
B	PESO DE MOLDE (gr.)	8275	8275	8275
C=A-B	PESO NETO DEL MATERIAL (gr.)	21688	21760	21610
D	VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	14173	14173	14173
PUC=C/D	PESO UNITARIO COMPACTADO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.530	1.535	1.525
-	PROMEDIO DE PESO UNITARIO COMPACTADO	1.530		

#### 4.2.3.3. Contenido de Humedad

Es la cantidad de agua que contiene la muestra de agregado al momento de efectuar la determinación de su masa. Puede estar constituida por la suma de humedad superficial y humedad contenida en sus poros. Se expresa en % como la relación del peso de agua y peso seco de la muestra, lo cual nos indica la cantidad agua existente en el material. Como se puede observar en la tabla N° 4.4 el alto contenido de humedad en la arena puede ser producto del clima y la temporada del año, así como la fuente y el método de almacenamiento.

Tabla N° 4. 4. Ensayo de Contenido de Humedad  
Elaboración propia

CONTENIDO DE HUMEDAD				
CONCEPTO	: AGREGADOS PARA ELABORACIÓN DE CBM			
MATERIAL	: AGREGADOS PROCESADOS TRITURADOS			
CANtera	: ROMANA			
UBICACIÓN	: KM 85 DE LA AV. NESTOR GAMBETA			
CÁLCULO	DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO		
-	N° ENSAYO	1	2	3
A	PESO MATERIAL HÚMEDO (gr.)	506.3	1003.5	1501.3
B	PESO MATERIAL SECO (gr.)	427.2	864.8	1298.9
C=A-B	PESO NETO DE HUMEDAD (gr.)	79.1	138.7	202.4
%W=C/B	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	18.52%	16.04%	15.58%
-	PROMEDIO DE CONTENIDO DE HUMEDAD	16.71%		
CÁLCULO	DESCRIPCIÓN	AGREGADO GRUESO		
-	N° ENSAYO	1	2	3
A	PESO MATERIAL HÚMEDO (gr.)	7048.5	8013.5	9006.3
B	PESO MATERIAL SECO (gr.)	7039.6	7993.0	8968.3
C=A-B	PESO NETO DE HUMEDAD (gr.)	8.9	20.5	38.0
%W=C/B	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	0.13%	0.26%	0.42%
-	PROMEDIO DE CONTENIDO DE HUMEDAD	0.27%		

#### 4.2.3.4. Peso Específico y Porcentaje de Absorción

El peso específico es la relación a una temperatura estable, de la masa de un volumen unitario de material, a la masa del mismo volumen de agua destilada libre de gas. El peso específico de los agregados es un indicador de calidad, en cuanto que los valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que para bajos valores generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles. Existen tres definiciones en el peso específico:

Peso Específico Aparente, es la relación, a una temperatura estable, de la masa de un volumen unitario de la porción impermeable del agregado, a la masa de igual volumen de agua destilada libre de gas.

Peso Específico de Masa, es la relación, a una temperatura estable, de la masa de un volumen unitario de agregado (incluyendo los poros permeables e impermeables en las partículas, pero no incluyendo los poros entre partículas); a la masa de igual volumen de agua destilada libre de gas.

Peso Específico de Masa Saturado Superficialmente Seco (SSS), es la relación, a una temperatura estable de la masa de un volumen unitario de agregado incluyendo la masa del agua de los poros llenos hasta colmarse por sumersión en agua por 24 horas (pero no incluyendo los poros entre partículas), comparada con la masa de igual volumen de agua destilada libre de gas.

El porcentaje de absorción es la cantidad de agua absorbida por el agregado secado al horno después de ser sumergido 24 horas en esta, se expresa como porcentaje del peso seco. El agregado se considera “seco” cuando éste ha sido mantenido a una temperatura de  $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  por tiempo suficiente para remover toda el agua sin combinar.

Existen dos procedimientos normalizados para calcular el peso específico y absorción del agregado grueso y fino (NTP 400.021 y NTP 400.022 respectivamente).

Tabla N° 4. 5. Ensayo de Peso Específico y Absorción del agregado grueso  
Elaboración propia

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO				
CONCEPTO : AGREGADOS PARA ELABORACIÓN DE CBM				
MATERIAL : AGREGADO GRUESO				
CANTERA : ROMANA				
UBICACIÓN : KM 85 DE LA AV. NESTOR GAMBETA				
CÁLCULO	DESCRIPCIÓN	M-1	M-2	PROMEDIO
A	PESO MUESTRA SUMERGIDA CANASTILLA (gr.)	1882.2	1879.4	1880.8
B	PESO MUESTRA SAT. SUP. SECA (gr.)	3001.5	3000.1	3000.8
C	PESO MUESTRA SECA (gr.)	2978.8	2976.8	2977.8
B/(B-A)	PESO ESPECÍFICO SAT. SUP. SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.682	2.677	2.679
C/(B-A)	PESO ESPECÍFICO MASA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.661	2.656	2.659
C/(C-A)	PESO ESPECÍFICO APARENTE (gr/cm <sup>3</sup> )	2.716	2.713	2.714
(B-C)/C	ABSORCIÓN DE AGUA (%)	0.76%	0.78%	0.77%

Tabla N° 4. 6. Ensayo de Peso Específico y Absorción del agregado fino  
Elaboración propia

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO		
CONCEPTO : AGREGADOS PARA ELABORACIÓN DE CBM		
MATERIAL : AGREGADO FINO		
CANTERA : ROMANA		
UBICACIÓN : KM 85 DE LA AV. NESTOR GAMBETA		
CÁLCULO	DESCRIPCIÓN	M-1
PM	PESO MUESTRA S.S.S. (gr.)	500.0
A	PESO ARENA S.S.S. + PESO BALÓN + PESO AGUA (gr.)	989.2
B	PESO ARENA S.S.S. + PESO BALÓN (gr.)	675.9
W=B-A	PESO AGUA (gr.)	313.3
C	PESO ARENA SECA AL HORNO + PESO BALÓN (gr.)	663.0
D	PESO BALÓN (gr.)	173.3
S=C-D	PESO ARENA SECA AL HORNO (gr.)	489.7
V	VOLUMEN DEL BALÓN (cm <sup>3</sup> )	500.0
S/(V-W)	PESO ESPECÍFICO MASA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.623
PM/(V-W)	PESO ESPECÍFICO SAT. SUP. SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.678
S/[(V-W)-(PM-S)]	PESO ESPECÍFICO APARENTE (gr/cm <sup>3</sup> )	2.776
(PM-S)/S	ABSORCIÓN DE AGUA (%)	2.10%



#### 4.2.3.5. Granulometría

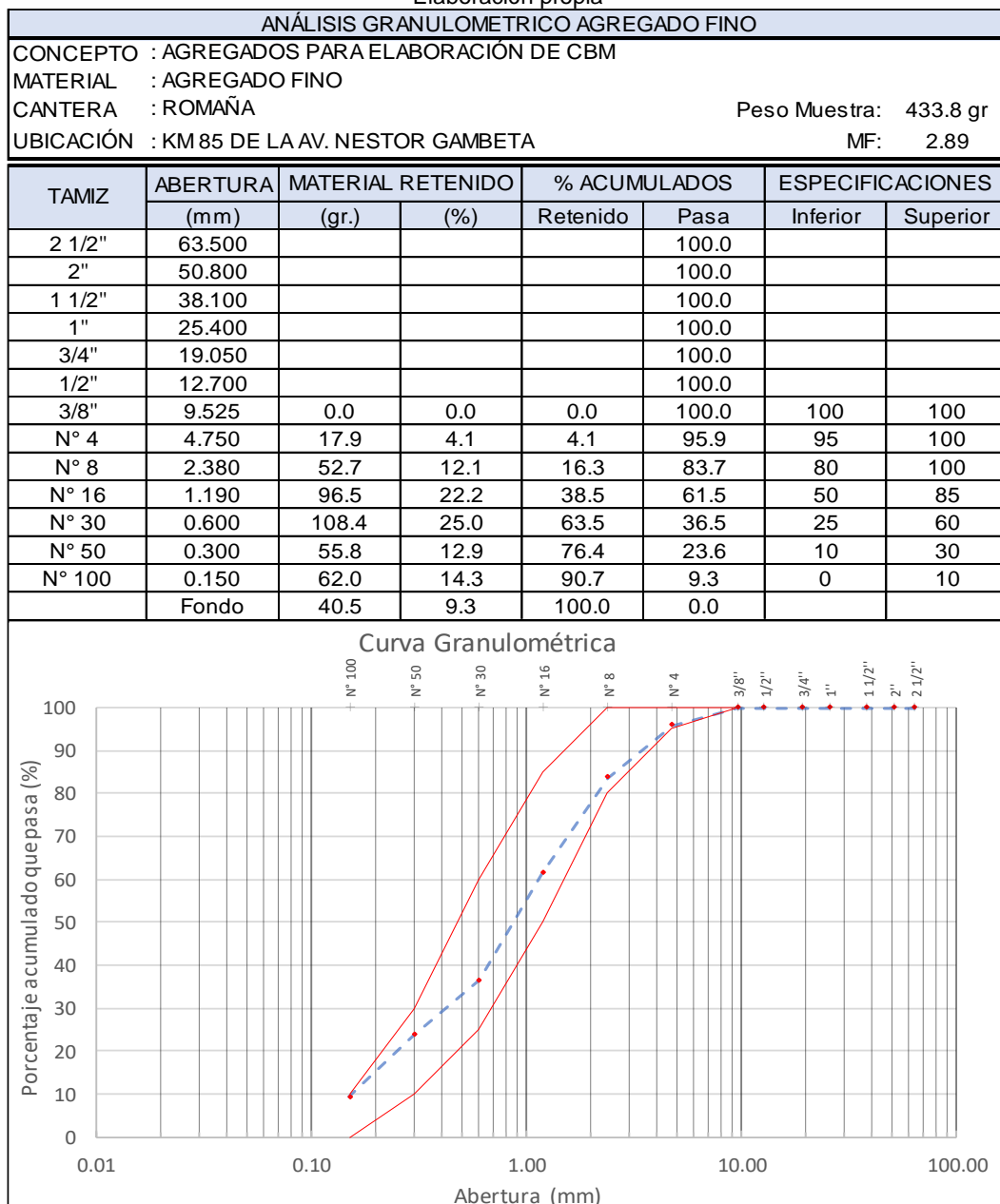
La granulometría o análisis granulométrico de un agregado se define como el procedimiento manual o mecánico por medio del cual se puede separar las partículas constitutivas del agregado según tamaños, de tal manera que se puedan conocer las cantidades en peso de cada tamaño que aporta el peso total. Para separar por tamaños se utilizan las mallas de diferentes aberturas, las cuales proporcionan el tamaño máximo de agregado en cada una de ellas. En la práctica los pesos de cada tamaño se expresan como porcentajes retenidos en cada malla con respecto al total de la muestra. Estos porcentajes retenidos se calculan tanto parciales como acumulados, en cada malla, ya que con estos últimos se procede a trazar la gráfica de valores de material (granulometría).

En el presente informe se detalla 3 muestras de cada agregado (fino y grueso) y se utiliza el análisis por tamizado. Este método de ensayo es usado para determinar la graduación de materiales propuestos para usarse como agregados o que están siendo usados como agregados. Los resultados son utilizados para determinar el cumplimiento de la distribución del tamaño de las partículas con los requerimientos aplicables especificados y para proporcionar información necesaria para el control de la producción de productos varios de agregados y de las mezclas que los contienen. El ensayo trata básicamente de separar una muestra de agregado seco de masa conocida, a través de una serie de tamices de aberturas progresivamente menores, con el objeto de determinar los tamaños de las partículas.

Este ensayo es presentado gráficamente en una curva granulométrica en un formato denominado "log-normal" por tener en el eje horizontal (abertura) una escala logarítmica, y en el eje vertical (% acumulado) una escala natural. A partir de la curva anterior, se pueden obtener diámetros característicos tales como el D10, D30, D60, D85, etc. El D se refiere al tamaño del grano, o diámetro aparente de la partícula y el subíndice (10, 30, 60, 85) se denota el porcentaje de material más fino.

En las siguientes Tablas N° 4.7. y 4.8. se muestran los resultados obtenidos del análisis granulométrico por tamizado de los agregados utilizados en el presente proyecto. Para el análisis granulométrico del agregado fino, Los tamices a considerar serán el 3/8, N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100 siendo los porcentajes que pasan regulados según la norma ASTM C33.

Tabla N° 4. 7. Análisis granulométrico del agregado fino  
Elaboración propia



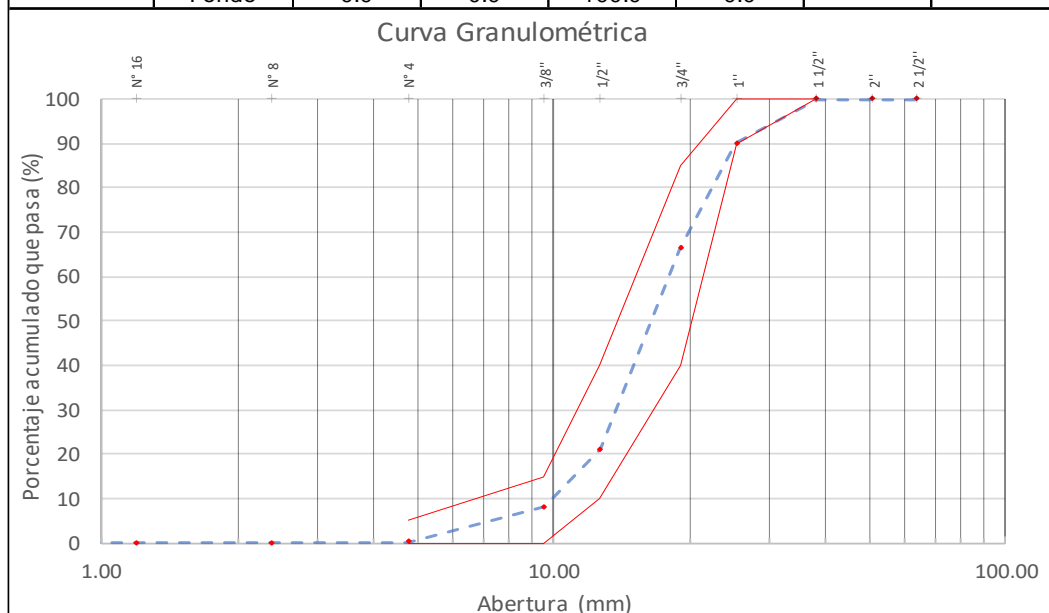
Para el análisis granulométrico del agregado grueso, Los tamices a considerar serán 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8, siendo los porcentajes que pasan regulados según la norma ASTM C33 para los diferentes husos granulométricos del agregado grueso (Ver Anexo 02), teniéndose que comparar los husos que contienen el TNM con los % que pasan por cada tamiz. Por lo tanto, encontrar el huso granulométrico de un agregado grueso dependerá de algunas propiedades físicas de los agregados como el tamaño máximo (TM) y el tamaño nominal máximo (TNM).

Tamaño máximo del agregado grueso es el menor tamiz que deja pasar el 100% del material. Mientras que el Tamaño nominal máximo es el primer tamiz que retiene el 5% o más del material en estudio.

Tabla N° 4. 8. Análisis granulométrico del agregado grueso

Elaboración propia

ANÁLISIS GRANULOMETRICO AGREGADO GRUESO							
CONCEPTO : AGREGADOS PARA ELABORACIÓN DE CBM							
MATERIAL : AGREGADO GRUESO							
CANTERA : ROMANA							
UBICACIÓN : KM 85 DE LA AV. NESTOR GAMBETA							
						Peso Muestra: 7029.6 gr	
						MF: 7.26	
TAMIZ	ABERTURA (mm)	MATERIAL RETENIDO (gr.)	(%)	% ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES	
				Retenido	Pasa	Inferior	Superior
2 1/2"	63.500	0.0	0.0	0.0	100.0		
2"	50.800	0.0	0.0	0.0	100.0		
1 1/2"	38.100	0.0	0.0	0.0	100.0	100	100
1"	25.400	701.6	10.0	10.0	90.0	90	100
3/4"	19.050	1,673.6	23.8	33.8	66.2	40	85
1/2"	12.700	3,174.4	45.2	78.9	21.1	10	40
3/8"	9.525	915.2	13.0	92.0	8.0	0	15
N° 4	4.750	556.8	7.9	99.9	0.1	0	5
N° 8	2.380	8.0	0.1	100.0	0.0		
N° 16	1.190	0.0	0.0	100.0	0.0		
N° 30	0.600	0.0	0.0	100.0	0.0		
N° 50	0.300	0.0	0.0	100.0	0.0		
N° 100	0.150	0.0	0.0	100.0	0.0		
	Fondo	0.0	0.0	100.0	0.0		



Para el presente informe, el tamaño máximo TM es 1 1/2" y el tamaño nominal máximo TNM es 1".

Módulo de fineza o módulo de finura del agregado (MF) es un número adimensional que es calculado por medio de datos del análisis granulométrico, sumando los porcentajes retenidos acumulados del agregado en cada uno de los

tamices normados y dividiéndolos entre 100. Las mallas utilizadas para hallar el módulo de fineza son: 3"+1½"+¾"+3/8"+N°4+N°8+N°16+N°30+N°50+N°100.

El módulo de fineza de un agregado es un número adimensional el cual nos indica que tan grandes o pequeñas son las partículas del agregado en estudio es decir mientras más grande es el módulo de fineza las partículas del agregado serán de mayor tamaño. Las razones más importantes para usar este parámetro son la influencia en la trabajabilidad y el requerimiento de la cantidad de agua puesto que dos agregados que tengan similar módulo de fineza tendrán similares características para ser usados en una mezcla de concreto.

En el presente informe el MF del agregado fino es 2.89 y el MF del agregado grueso es 7.26.

#### 4.2.4. Agregado Global

Se define como Agregado Global a la mezcla en proporciones estimadas de porcentajes de agregado fino y grueso, para así obtener la mejor combinación que cumpla con las especificaciones de granulometría de un proyecto.

La principal característica que debe cumplir el agregado global es su normalización con husos granulométricos, motivo por el cual, el agregado global se obtiene iterando porcentajes de agregados para así cumplir el requisito de granulometría. El agregado global esta normalizado en países como Inglaterra, Francia, Alemania, mientras que la Norma Técnica Peruana hace referencia a estos estándares

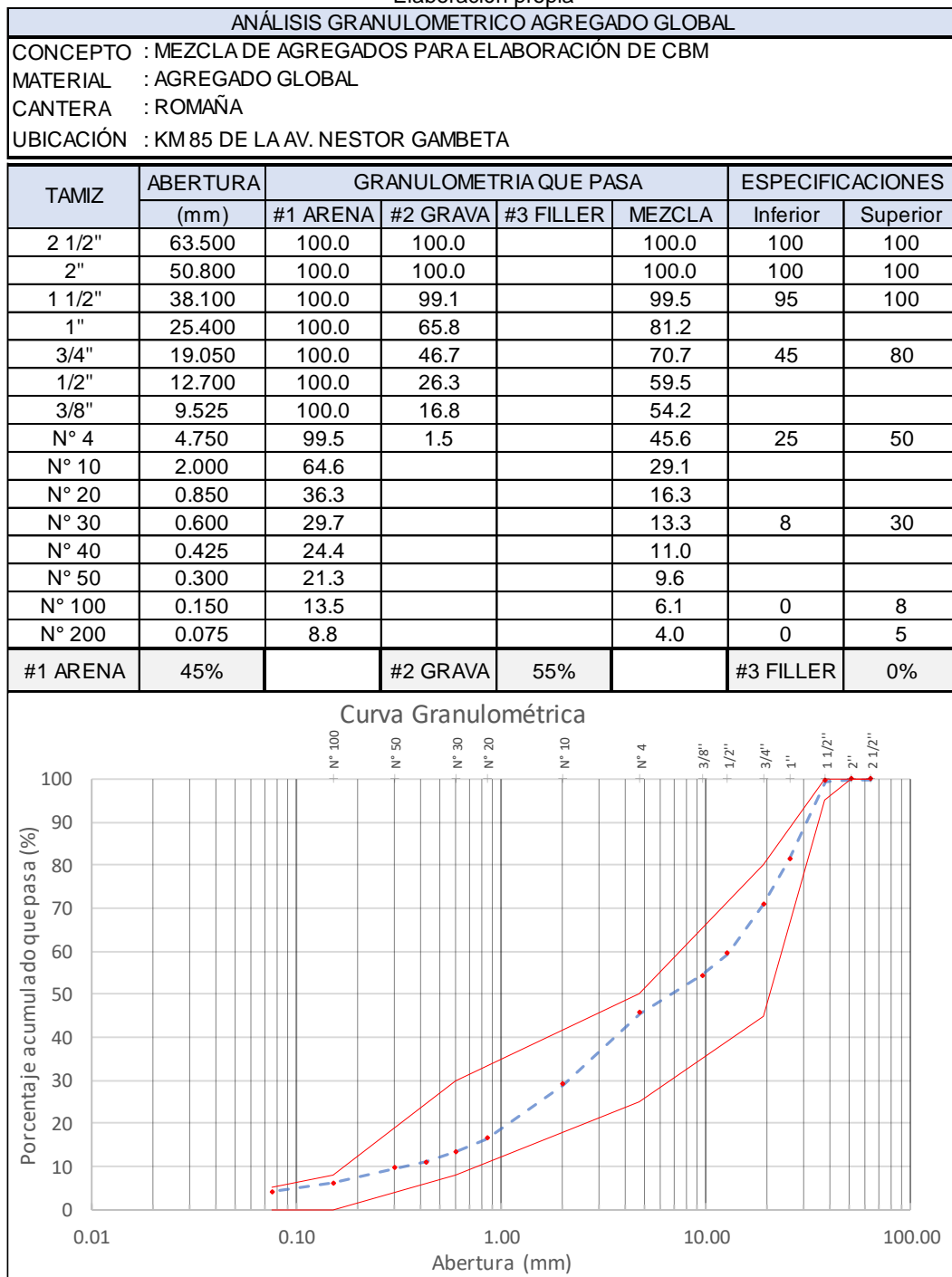
En el estudio del CBM, al tratarse de un concreto de baja resistencia, se estandariza con la norma inglesa BS 882 "Specification for aggregates from natural sources for concrete" (Ver Anexo 03) que especifica los porcentajes máximos y mínimos del agregado global.

##### 4.2.4.1. Análisis Granulométrico

Para realizar el análisis granulométrico del agregado global en primer lugar se obtiene el promedio de al menos 3 muestras de los análisis granulométricos de los agregados por separado (Ver Anexo 04) posterior se realiza un proceso de iteración cambiando los porcentajes de agregado fino y grueso. Al tratarse de un material que será compactado con maquinaria pesada se busca obtener el mayor porcentaje de agregado fino posible para así disminuir la cantidad de vacíos en la mezcla final. Se inicia el proceso con 60% Arena y 40% Grava la cual, en este

estudio, dibuja una curva granulométrica que no está comprendida dentro de los husos granulométricos, se va disminuyendo la arena y aumentando la grava a razón de 5% hasta obtener la proporción final que cumple con la granulometría, para el presente informe, la proporción final que cumple los requerimientos es 45% Arena y 55% Piedra, en la Tabla N° 4.9 se muestra la granulométrica del agregado global.

Tabla N° 4. 9. Análisis granulométrico del agregado global  
Elaboración propia



## 4.2.4.2. Pesos Unitarios

Se aplica los mismos conceptos desarrollados en los capítulos 4.2.3.1 y 4.2.3.2 para el agregado global, la Tabla N° 4.10 muestra los resultados obtenidos.

Tabla N° 4. 10. Pesos unitarios del agregado global  
Elaboración propia

PESOS UNITARIOS DEL AGREGADO GLOBAL				
CONCEPTO	: AGREGADOS PARA ELABORACIÓN DE CBM			
MATERIAL	: AGREGADO GLOBAL			
CANTERA	: ROMANA			
UBICACIÓN	: KM 85 DE LA AV. NESTOR GAMBETA			
CÁLCULO	DESCRIPCIÓN	PESO UNITARIO SUELTO		
-	N° ENSAYO	1	2	3
A	PESO MATERIAL + MOLDE (gr.)	33511	33465	33500
B	PESO DE MOLDE (gr.)	8275	8275	8275
C=A-B	PESO NETO DEL MATERIAL (gr.)	25236	25190	25225
D	VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	14173	14173	14173
PUS=C/D	PESO UNITARIO SUELTO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.781	1.777	1.780
-	PROMEDIO DE PESO UNITARIO SUELTO	1.779		
CÁLCULO	DESCRIPCIÓN	PESO UNITARIO COMPACTADO		
-	N° ENSAYO	1	2	3
A	PESO MATERIAL + MOLDE (gr.)	36600	36620	36774
B	PESO DE MOLDE (gr.)	8275	8275	8275
C=A-B	PESO NETO DEL MATERIAL (gr.)	28325	28345	28499
D	VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	14173	14173	14173
PUC=C/D	PESO UNITARIO COMPACTADO (gr/cm <sup>3</sup> )	1.999	2.000	2.011
-	PROMEDIO DE PESO UNITARIO COMPACTADO	2.003		

### 4.3. PROPIEDADES DEL CBM

En este subcapítulo se definen las propiedades más representativas del CBM en estado fresco (consistencia y peso unitario) y endurecido (resistencia a la compresión) y los ensayos que las determinan.

#### 4.3.1. Consistencia

La consistencia es una propiedad que relaciona la humedad y la fluidez de una mezcla, entendiéndose que cuanto más húmeda sea la mezcla, mayor será la facilidad de que la mezcla fluya durante su colocación.

El ensayo de asentamiento (slump) es un método tradicional que se usa para medir la consistencia del concreto y consiste en colocar la mezcla en un cono de Abrams y medir el asentamiento después de retirar el cono. Entiéndase como asentamiento a la diferencia de alturas entre el cono de Abrams y la mezcla dispersa después de desmoldarlo.

En la definición del material CBM se especificó como una mezcla con un contenido de agua suficientemente reducido para permitir su compactación, es decir asentamiento nulo (slump = 0).

#### 4.3.2. Peso unitario

El peso unitario o densidad depende principalmente de la gravedad específica de los agregados y de la cantidad de vacíos en la mezcla de CBM. Debido a que esta masa es compactada por agentes externos es que en la mezcla hay poca cantidad de vacíos de aire retenido, esto significa que existe una mayor cantidad de sólidos en un volumen unitario de CBM, por lo tanto, el peso unitario es generalmente mayor que en el concreto convencional hecho con agregados de la misma gravedad específica. Es común que los materiales aglutinados con cemento y compactados tengan pesos unitarios mayores que  $2400 \text{ Kg/m}^3$ .

El peso unitario es usado para determinar o comprobar el rendimiento de las mezclas, el contenido de materiales de la mezcla, la calidad del concreto y su grado de compactación.

#### 4.3.3. Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión es la capacidad del material de soportar cargas y esfuerzos sin romperse, debido a que el CBM es diseñado principalmente para

soportar esfuerzos de compresión, es esta propiedad, la que mayor influencia tiene para determinar la calidad de este.

Depende principalmente de la concentración de cemento en la mezcla. En el concreto convencional se acostumbra a expresar en términos de relación a/c (agua/cemento), mientras que para el CBM se emplea como porcentaje de peso.

La resistencia a la compresión del CBM aumenta con una reducción en el contenido de agua, mientras que esté completamente compactado. La máxima resistencia a la compresión para una mezcla determinada se obtiene con el óptimo contenido de agua acorde con el esfuerzo de compactación dado. Los contenidos de agua menores que el óptimo producen resistencias a la compresión menores, esto indica que la presencia de vacíos tiene un mayor impacto negativo en la resistencia que el impacto positivo producido por la reducción de agua.

El factor indirecto que afecta la resistencia es el curado, debido a que es el complemento del proceso de hidratación sin el cual no se llegan a desarrollar las características resistentes.

Las mezclas con bajo contenido de material cementante pueden no alcanzar los niveles de resistencia requerida si los vacíos entre los agregados no son rellenados completamente. Para estas mezclas la adición de finos no plásticos o polvos de roca ha sido beneficioso en el relleno de vacíos, de esta manera se incrementa la densidad y la resistencia. Se ha demostrado que el uso de finos plásticos (arcillas) en mezclas de CCR afecta desfavorablemente la resistencia y trabajabilidad, y por consiguiente no es recomendado (Escalaya, 2006).

#### 4.3.4. Durabilidad

La durabilidad del CBM se vuelve importante cuando el material es expuesto a fuerzas externas severas. El CBM, al darle su principal aplicación en puertos marítimos, está sujeto a un potencial deterioro debido a los efectos de abrasión/erosión. La resistencia a la erosión del CBM es proporcional a su resistencia a la compresión y a la abrasión de los agregados. El CBM ha mostrado buena resistencia a la erosión y abrasión, tanto en el laboratorio como en obra. Los pavimentos que soportan carga pesada no han presentado desgaste apreciable por tráfico o abrasión industrial bajo condiciones severas.

Las normas comúnmente utilizadas para estos ensayos son ASTM C143 para la consistencia, ASTM C39 resistencia a la compresión y ASTM C1202 durabilidad.



## CAPÍTULO V. DISEÑO DE CBM

### 5.1. DISEÑO DE CBM

En el presente capítulo se describen las filosofías de diseño, se define el procedimiento de diseño de la mezcla de CBM según la norma inglesa y se determina la proporción final de la mezcla.

#### 5.1.1. Filosofías de diseño

En el desarrollo de la tecnología de las mezclas aglutinadas con cemento han surgido dos filosofías de diseño: filosofía de suelos o geotecnia y la filosofía de concreto.

La principal diferencia del producto obtenido por estas dos filosofías es la consistencia más fluida de la mezcla cuando se usa la aproximación a concreto. Esto se debe principalmente al tratamiento del agregado, ya sea como agregado para concreto convencional o como agregado de terraplenes.

La mezcla con aproximación a concreto puede ser descrita como más trabajable, sin embargo, ambas producen un concreto calificado como de “asentamiento cero”.

##### 5.1.1.1. Filosofía de suelos

La Filosofía de Suelos considera a la mezcla como si se tratara de un suelo o un agregado al que se le añade cemento para enriquecer sus propiedades. El diseño de esta filosofía está basado en la relación humedad-densidad el que establece que, al aumentar agua al suelo durante la compactación, esta actúa como un agente ablandador de las partículas que hace que se deslicen entre sí y se muevan a una posición de empaque más denso, sin embargo, al exceder un cierto contenido de agua, este tiende a reducir el peso específico, debido a que el agua toma los espacios que podrían haber sido ocupados por las partículas sólidas. El contenido de agua bajo el cual se alcanza el máximo peso específico se llama *contenido de humedad óptimo*.

Este es el llamado principio de Proctor desarrollado en los inicios de 1930 y son aplicados a los diseños de mezclas aglutinadas con cemento con aproximación a suelos.

Proctor determinó que incrementando el esfuerzo de compactación se produce una máxima densidad seca mayor y un menor contenido de humedad óptimo. La Figura N° 5.1, muestra las curvas para tres esfuerzos de compactación.

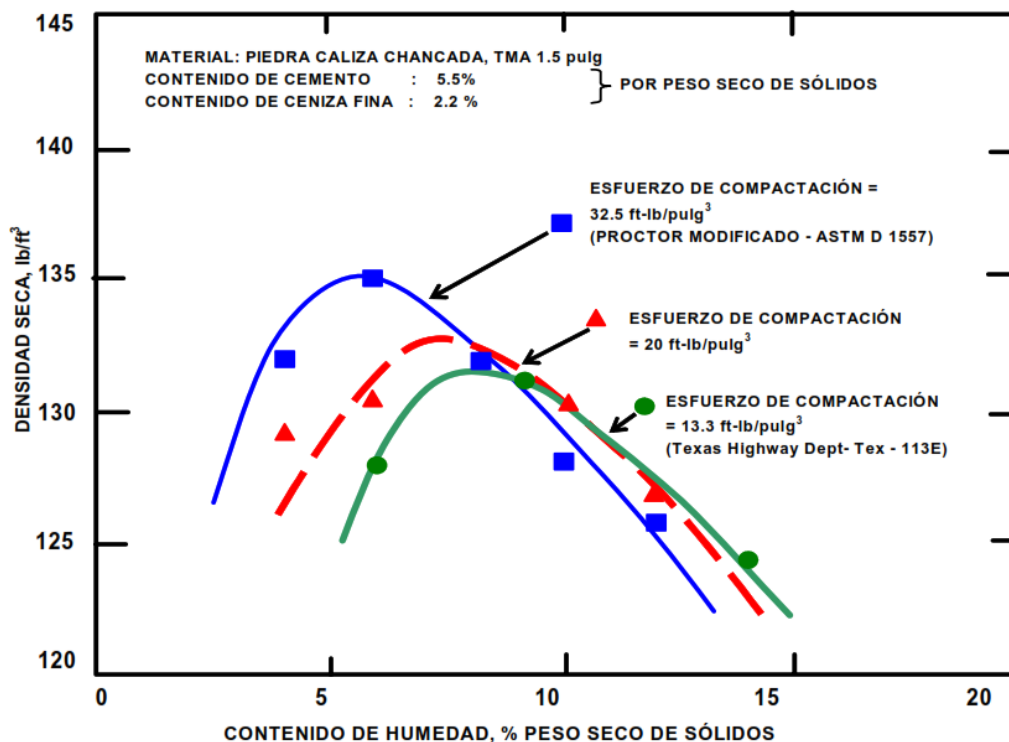


Figura N° 5. 1. Curvas humedad-densidad para mezclas CCR sujetas a varios esfuerzos de compactación (Reeves y Yates, 1985)

Tomando el fundamento de los principios de compactación, la densidad se usa como índice de diseño en la aproximación a suelos. Si se usa un óptimo contenido de humedad correspondiente al esfuerzo de compactación de los rodillos en el campo, se producirá un material en su máxima densidad. Una variación superior o inferior de agua respecto al óptimo producirá una disminución de la densidad y consecuentemente una reducción en la resistencia a la compresión. Así mismo, un esfuerzo de compactación menor del que fue usado para determinar el óptimo contenido de humedad puede producir una reducción en la resistencia a la compactación.

#### 5.1.1.2. Filosofía de concreto

La Filosofía de concreto establece a la mezcla CBM como un verdadero concreto cuyas propiedades están basadas en el principio establecido por Abrams sobre la relación agua-cemento. Este principio establece que, suponiendo agregados resistentes y limpios, la resistencia del concreto completamente consolidado es

inversamente proporcional a la proporción agua - cemento. Usando menos agua con una cantidad constante de cemento se produce un concreto con mayor resistencia a la compresión y propiedades relacionadas.

Esta Filosofía de aproximación a concreto se basa en el concepto de que existe suficiente pasta que rellena todos los vacíos en el agregado haciendo que la mezcla se compacte completamente, produciendo un concreto con asentamiento nulo. Sin embargo, un exceso de pasta puede producir un asentamiento medible contradiciendo la definición de un CBM.

#### 5.1.2. Proporción de mezclas

El objetivo de la proporción de mezclas es producir una mezcla que cumpla con los requerimientos de un determinado proyecto, utilizando la combinación más económica de materiales disponibles que puedan ser colocados con los equipos especificados en el proyecto. Las propiedades físicas deseadas de la mezcla dependen de su función, localización y el diseño escogido para la estructura.

Hemos establecido previamente que el principal uso del CBM en nuestro país es en los pavimentos de puertos marítimos en donde el principal requerimiento del diseño de mezcla es la resistencia a la compresión. La resistencia está regida por requerimientos estructurales de seguridad con algunos factores de cálculo de sobre diseño a causa de la variabilidad de la mezcla junto con apropiados factores de seguridad debido a la abrasión y durabilidad del pavimento.

Todos los diseños de mezcla se deben iniciar con los mismos dos pasos: seleccionar las propiedades deseadas y luego determinar las propiedades de los materiales a ser usados. Basados en el costo y disponibilidad de los materiales y en el tipo de estructura, se deberá tomar en cuenta las consideraciones iniciales de calidad y tamaño máximo del agregado, así como el tipo de cemento.

Existen diferentes ventajas y desventajas de usar la aproximación de la mezcla hacia concreto o hacia suelos. Los métodos de concreto ya están bien consolidados en nuestro país por la gran participación que tiene este material en la construcción, sin embargo, la aproximación a suelos todavía puede considerarse relativamente nueva, ya que su aplicación no está consolidada salvo para presas de concreto compactado con rodillo, por este motivo en el presente estudio se considerará la investigación haciendo uso de la filosofía de suelos.

#### 5.1.2.1. Método de proporción de mezclas con aproximación a suelos

Existen dos métodos en esta aproximación los cuales se diferencian principalmente en como la humedad o contenido de agua es determinada y el método de preparación de los especímenes en las pruebas de laboratorio.

Ambos métodos inician el diseño con una clasificación granulométrica deseada y se procede con la preparación de cilindros con varios contenidos de cemento para determinar la resistencia u otras propiedades.

#### 5.1.3. Procedimiento de diseño de mezcla

El procedimiento para determinar el diseño de mezcla se basa en los siguientes puntos:

- Determinar las materias primas (agregados, cemento y agua) según las especificaciones del proyecto y las normas que las estandarizan.
- Culminar de definir las materias primas según prioridades económicas como tarifas de los proveedores y distancias al proyecto.
- Obtener las propiedades de las materias primas para iniciar el cálculo del diseño de mezcla.
- Proponer, según experiencias o literaturas anteriores, un porcentaje de cemento inicial para la mezcla. Según esta información se irá incrementando o decreciendo el porcentaje hasta optimizar la cantidad de cemento.
- Definir, según los equipos a utilizar en el proyecto, el esfuerzo de compactación que será usado en el campo, para así realizar el equivalente de esfuerzo en el ensayo de Proctor.
- Obtener, según el ensayo Proctor, el óptimo contenido de humedad de cada mezcla variando los porcentajes de cemento, para el mismo esfuerzo de compactación de los rodillos en el proyecto.
- Realizar la proporción de mezcla para cada porcentaje de cemento incorporando como agua el óptimo contenido de humedad obtenido en el ensayo Proctor.
- Ensayar cada proporción de mezcla e identificar el diseño que más se asemeja a la resistencia a la compresión solicitada en el proyecto.

A continuación, se expondrá el diseño de mezcla y el procedimiento usado en el proyecto.

#### 5.1.3.1. Selección de materias primas

Como se mencionaba en el procedimiento de diseño de mezcla, la selección de los agregados se finaliza por la comparación de tarifas de los proveedores y distancias al proyecto. En el capítulo 4.2.3. *Agregados*, se ha explicado la selección de los agregados de la cantera Romaña ubicada en el Km 85 de la Av. Nestor Gambeta en la ciudad de Lima; así mismo, se ha determinado las propiedades más importantes de estos agregados.

En el capítulo 4.2.1. *Cemento tipo V*, se ha explicado el fundamento para la selección del cemento andino tipo V y las propiedades más resaltantes de este producto. Mismo concepto aplicado en el capítulo 4.2.2. *Agua* en donde se establece que el agua aceptada para el consumo humano es aceptada para el concreto.

#### 5.1.3.2. Determinación del contenido de humedad

Para la determinación del óptimo contenido de humedad vamos a referenciar con la norma ASTM D-1557 la cual es usada para suelos que tienen 30% o menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 3/4" pulgadas (19,0 mm).

Se establece 3 métodos alternativos. El método por usarse debe ser indicado en las especificaciones del material a ser ensayado. Si el método no está especificado, la elección se basará en la granulometría del material.

En el anexo 05 se muestran los requisitos para implementar cada método. Según nuestros datos granulométricos de la mezcla de agregados expuestos en el capítulo 4.2.4.1. Se tiene que el 29.3% es retenido en el tamiz 3/4" cumpliendo el requisito principal para la aplicación de la norma ASTM-1557. Por otro lado, se tiene 54.4% es retenido en el tamiz N° 4 y 45.8% es retenido en el tamiz 3/8". Con estos datos se establece que el método para realizar el ensayo Proctor es el Método "C" que menciona se debe usar *"Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 3/8 pulg (9,53 mm) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 3/4 pulg (19,0 mm)"* Por lo tanto se emplea un molde de 6" con 5 capas y 56 golpes por capa.

Según experiencias en el proyecto anterior (muelle norte), el porcentaje de cemento empleado fue de 7.5% con una Recicladora estabilizadora de suelos para la obtención una resistencia a la compresión de 12 MPA (120kgf/cm<sup>2</sup>), para este proyecto se inició el ensayo Proctor para una muestra con 11% de cemento y se

fue calculando los óptimos contenidos de humedad para muestras con porcentaje de cemento en sentido decreciente hasta obtener el óptimo porcentaje de cemento que nos ofrezca una resistencia a la compresión admisible, la cual, según las especificaciones técnicas, es de 12 MPA (120kgf/cm<sup>2</sup>) para probetas cilíndricas y 15 MPA (150kgf/cm<sup>2</sup>) para probetas cúbicas.

Tabla N° 5. 1. Ensayo Proctor para mezcla con 11% de cemento.

Elaboración propia						
PROCTOR MODIFICADO						
CONCEPTO	: BASE CEMENTADA CBM4					
MATERIAL	: COMBINACIÓN DE AGREGADOS CON CEMENTO					
CANTERA	: ROMAÑA					
MUESTRA	: MUESTRA 1					
Cálculo	Ensayo N°	#	1	2	3	4
-	% de cemento	%	11.0%	11.0%	11.0%	11.0%
-	% de agua	%	2%	4%	6%	8%
-	Número de Capas	#	5	5	5	5
-	Golpes de Pisón por Capa	#	56	56	56	56
A	Peso suelo húmedo + molde	gr.	11244	11408	11490	11525
B	Peso molde	gr.	6568	6568	6568	6568
C=A-B	Peso suelo húmedo compactado	gr.	4676	4840	4922	4957
D	Volumen del molde	cm3	2116	2116	2116	2116
E=C/D	Peso volumétrico húmedo	gr/cm3	2.210	2.287	2.326	2.343
-	Recipiente N°	#	1	2	3	4
F	Peso del suelo húmedo + tara	gr.	1575.1	1452.8	1376.2	1314.6
G	Peso del suelo seco + tara	gr.	1537.0	1385.0	1295.1	1212.5
H	Peso de Tara	gr.	0.0	0.0	0.0	0.0
I=F-G	Peso de agua	gr.	38.1	67.8	81.1	102.1
J=G-H	Peso del suelo seco	gr.	1537.0	1385.0	1295.1	1212.5
K=I/J	Contenido de agua	%	2.5%	4.9%	6.3%	8.4%
M=E/(100%+K)	Peso volumétrico seco	gr/cm3	2.156	2.181	2.189	2.161
Densidad máxima (gr/cm3)						2.189
Humedad óptima (%)						6.3%

Relación densidad - humedad	
	$y = -749.0137x^3 + 91.9402x^2 - 2.6138x + 2.1761$

Se realiza el mismo procedimiento de laboratorio para los diferentes porcentajes de cemento (11.0%, 10.5%, 10.0%, 9.5%, 9.0%, 6.5% y 6.0%) En el anexo 06 se muestran los diferentes resultados del cálculo del óptimo contenido de humedad para cada porcentaje de cemento.

### 5.1.3.3. Selección de la proporción de los contenidos de mezcla

De acuerdo con los criterios del CBM4 estipulado en las Especificaciones Técnicas del Proyecto, la cual solicita una resistencia a la compresión de 12 MPA (120kgf/cm<sup>2</sup>) para probetas cilíndricas y 15 MPA (150kgf/cm<sup>2</sup>) para probetas cúbicas. Basándose en el Estudio de las Curvas de energía de compactación constante vs. el contenido de cemento, se elaboraron series de mezclas con porcentajes crecientes de cemento a partir de 6.0%, 6.5%, 9.0%, 9.5%, 10.0%, 10.5% y 11.0%, con incrementos de 0.5% del mismo, para obtener el contenido óptimo de cemento.

Para cada porcentaje de cemento se confeccionaron 6 especímenes, con dimensiones de acuerdo con lo estipulado por el procedimiento de Resistencia a la Compresión (ASTM C 39).

Tabla N° 5. 2. Dosificaciones de mezcla de CBM  
Elaboración propia

DOSIFICACIÓN DEL CBM4 / m3									
Cálculo	Descripción	Und	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7
A	Cemento	%	6.0%	6.5%	9.0%	9.5%	10.0%	10.5%	11.0%
B	Incidencia agregado grueso	%	55%	55%	55%	55%	55%	55%	55%
C	Incidencia agregado fino	%	45%	45%	45%	45%	45%	45%	45%
D=C-A	Incidencia arena sin cemento	%	39.0%	38.5%	36.0%	35.5%	35.0%	34.5%	34.0%
E	Peso unitario suelto agregado global	kg/m3	1779	1779	1779	1779	1779	1779	1779
F	Óptimo contenido humedad	%	6.4%	6.0%	7.5%	7.1%	6.6%	6.4%	6.3%
G=A*E	Cemento andino tipo V	kg/m3	106.7	115.6	160.1	169.0	177.9	186.8	195.7
H=B*E	Grava triturada	kg/m3	978.5	978.5	978.5	978.5	978.5	978.5	978.5
I=D*E	Arena triturada	kg/m3	693.8	684.9	640.4	631.5	622.7	613.8	604.9
J=F*E	Agua potable	Lt/m3	113.9	106.7	133.4	126.3	117.4	113.9	112.1
K=J/G	Relación a/c	-	1.07	0.92	0.83	0.75	0.66	0.61	0.57
Resultados de ensayos a compresión de probetas cilíndricas (6" x 12")									
	Promedio f <sub>c</sub> @ 3 días	MPA	9.8	10.5	18.1	21.2	18.4	19.0	18.2
	Promedio f <sub>c</sub> @ 7 días	MPA	12.4	13.7	19.1	20.8	20.3	21.3	21.7
	Promedio f <sub>c</sub> @ 28 días	MPA	--	--	22.7	24.4	26.2	29.4	30.5

Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión se encuentran detallados en el anexo 07.

Se realizó la verificación correspondiente del Diseño Teórico, analizando las características de la mezcla con el contenido cemento óptimo proyectado de 6.5%. Los resultados fueron aprobatorios, verificando que la mezcla en el óptimo presenta buena performance, atendiendo al Diseño propuesto por especificación solicitada. Todos los ensayos y diseños fueron realizados internamente en el proyecto, con personal propio sin la necesidad de contratar una empresa externa. Posteriormente a la validación del diseño, se presentó al cliente para verificación y aprobación, dando paso a la realización del tramo de prueba.

## **CAPÍTULO VI. PROCESO CONSTRUCTIVO DE CBM**

Habiendo finalizado el diseño de laboratorio de la mezcla de CBM se procede con la ejecución del pavimento. En el presente capítulo se expone el proceso constructivo detallado para la ejecución de pavimentos de CBM, describiendo los métodos empleados en proyectos anteriores y en el presente proyecto, para compararlos y analizarlos.

Como concepto general el procedimiento constructivo de pavimentos de CBM se basa en tres grandes pasos, el primero es garantizar el proceso de preparación de la mezcla, para esta actividad debe utilizarse maquinarias que garanticen la homogenización entre agregados, cemento y agua según el diseño de laboratorio aprobado. Se pueden usar maquinarias como plantas industriales, plantas de suelos, recicladora estabilizadora de suelos, etc.

El segundo paso es el transporte y colocación de CBM, para estas actividades se pueden emplear volquetes acordes con la esparcidora de agregados o según el volumen que se requiera para cumplir el rendimiento deseado del día.

El último paso es la conformación y compactación de la mezcla CBM, para esta actividad se pueden emplear maquinarias como motoniveladora, esparcidora de agregados, pavimentadora de asfalto o recicladora estabilizadora de suelos y rodillos.

### **6.1. PROYECTOS ANTERIORES**

Como primer antecedente vamos a describir el procedimiento constructivo detallado de los proyectos anteriores donde se requirió pavimento de CBM (muelle sur 2008 y muelle norte 2013). Ambos proyectos contemplaron la preparación y colocación simultánea de la base cementada CBM sobre la capa anterior de pavimento (subbase) ya terminada. El procedimiento constructivo detallado fue el siguiente:

- a. Liberación de topografía y calidad de la capa de subbase del pavimento.
- b. Trazado del ancho de colocación, así como distribución de estacas como control de ancho de las capas del CBM4.
- c. Esparcido del material granular (arena y piedra) con volquetes.
- d. Ingreso de la motoniveladora para distribuir el material esparcido entre las marcas de ancho.



- e. Pre-compactación del material con rodillos, dejando a nivel cercano de las estacas colocadas.
- f. Adición del cemento, sin un control específico, según el diseño.
- g. Mezclado del material granular y el cemento añadido con recicladora para obtener la base cementada CBM4. El ancho de colocación es determinado por este equipo, siendo las pasadas de 2.40 metros de ancho. También se añade el agua de acuerdo a la dosificación.
- h. Compactación final a cargo del rodillo, con la exigencia de traslaparse con la capa anterior en al menos la mitad de ancho del equipo.
- i. Humedecimiento de la última capa para dar sellado y acabado final.
- j. Realización de juntas transversales cada 4 metros, con un espesor de 10 centímetros, para lo cual se emplean cortadoras de concreto.

Con este procedimiento, se requiere realizar una pasada de colocación y compactación para espesores menores a 27 centímetros y al menos dos pasadas, cuando los espesores son menores a 57 centímetros.

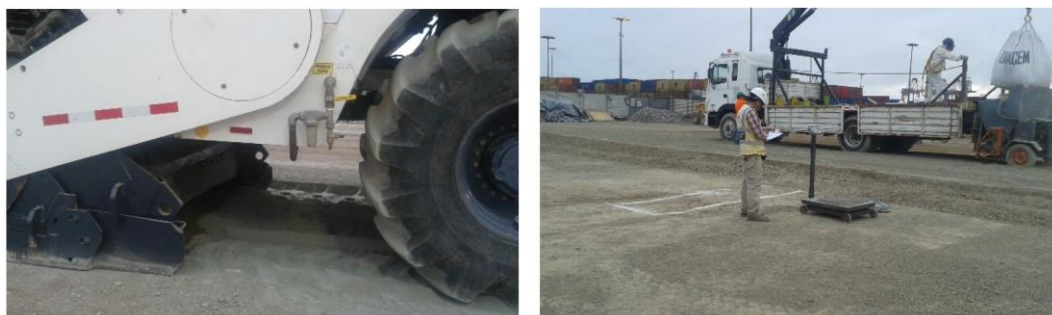


Figura N° 6. 1. Recicladora Wirtgen empleada en remodelación Muelle Norte

Con el procedimiento descrito, empleado en ambas experiencias previas del Perú, se encontraron carencias significativas que resultaron en la búsqueda de nuevas soluciones. Entre las desventajas encontradas se tienen:

- Complejidad para alcanzar los espesores de capa solicitados (cada capa de 25cm), ya que el equipo Recicladora Wirtgen no ofrece un acabado pre-compactado del material mezclado.
- Necesidad de realizar una pre-compactación y una compactación final con rodillo en cada capa mezclada de base cementada.
- La homogeneidad de la mezcla en campo era verificada de manera visual luego del paso de la recicladora y regado con agua. Este control conlleva a mayor incidencia de inconformidades de calidad.

➤ Elevados costos de los equipos involucrados en comparación.

Los recursos empleados fueron los siguientes:

Tabla N° 6. 1. Recursos empleados para colocación de CBM4 Proyecto Muelle norte 2013  
Fuente: Preparation, Fill and Compaction of Cement Bound Granular Mixture (CBGM), Consorcio FCC-JJC (2013)

Cant.	Personal	Cant.	Equipos	Cant.	Materiales
1	Operador de recicladora Wirtgen	1	Recicladora estabilizadora de suelos WIRTGEN WR 240	-	Arena
1	Ayudante del equipamiento Wirtgen	2	Cortadoras de concreto/pavimento	-	Piedra
2	Operador rodillo	2	Rodillo Simple Rola 14 Tn Hamm	-	Cemento
1	Operador de motoniveladora	1	Motoniveladora Champion 720 A	-	Agua
3	Operadores de volquete	3	Volquetes 15m3		
1	Operador de esparcidora	1	Esparcidora de suelos finos de 1,5 m3		
1	Operario Rigger	4	Equipos menores (plancha vibratoria, vibroapisonadores)		
1	Operador de cisterna de agua	1	Camión Cisterna		

## 6.2. PRESENTE PROYECTO

En el presente proyecto se optó por intentar mejorar el procedimiento constructivo usando como filosofía la idea de subdividir el proceso general en sí, es decir, independizar el proceso de preparación y separarlo de la conformación y compactación utilizando equipos diferentes y adaptados específicamente para esta actividad. En el capítulo VII se detallará específicamente las adaptaciones realizadas a los equipos. El procedimiento constructivo detallado para ejecución de CBM del presente proyecto fue:

- Liberación de topografía y calidad de la capa de subbase del pavimento.
- Trazado del ancho de capa.
- Colocación de estacas guía y cable de referencia de la esparcidora de agregados.
- Ubicación de la esparcidora de agregados con un tablón guía del espesor de capa.





Figura N° 6. 2. Procedimiento constructivo de CBM Parte 1

- e. Preparación de mezcla CBM en la planta de suelos automatizada.
- f. Carguío de la mezcla CBM desde la planta de suelos sobre el volquete
- g. Transporte de material CBM con volquetes y depositado en la tolva de la esparcidora de agregados.



Figura N° 6. 3. Procedimiento constructivo de CBM parte 2

- h. Conformación de CBM con la pavimentadora, la cual realiza la Pre-compactación del material, dejando acorde al ancho preestablecido.
- i. Control topográfico a la mezcla pre-compactada por la pavimentadora.
- j. De ser necesario, cuando topografía y/o calidad lo solicite, se podrá utilizar motoniveladora para mejorar el acabado final, sin embargo, estos requerimientos fueron casi nulos.



- k. Compactación final a cargo del rodillo, con la exigencia de traslaparse con la capa anterior en al menos la mitad de ancho del equipo.
- l. Para la realización del traslape longitudinal de la capa, se debe colocar la mezcla de CBM en el extremo donde la esparcidora no asegure la precompactación, esta actividad puede ser realizada con minicargador, retroexcavadora o inclusive manual de ser necesario.
- m. Humedecimiento de la última capa para dar sellado y acabado final.
- n. Cuando se haya detectado zonas de acabado defectuoso, ya sea por topografía o calidad, se deberá realizar la corrección considerándose como si fuera concreto, iniciando por picar al menos una lámina de 10cm.
- o. Posterior al picado se debe limpiar y colocar lechada de cemento.



Figura N° 6. 4. Procedimiento constructivo de CBM Parte 3

- p. Luego se coloca la mezcla y se compacta con plancha compactadora o rodillo chupetero.
- q. Si se ve considerable por parte del encargado de frente, se puede reemplazar la mezcla de CBM por mezcla de concreto convencional de resistencia mayor a  $f'c$  175kg/cm<sup>2</sup> en zonas de reparación o en zonas donde la colocación de CBM no sea viable por espacios reducidos.

- r. Para la colocación de la segunda capa, si ha pasado un tiempo considerable desde la ejecución de la primera capa, se debe realizar la limpieza de la superficie, para esta actividad se usa el acople de cerdas al minicargador.
- s. Se finaliza el proceso constructivo con la realización de juntas transversales cada 4 metros, con un espesor de 10 centímetros, para lo cual se emplean cortadoras de concreto.



Figura N° 6. 5. Procedimiento constructivo de CBM parte 4

Como actividad previa se debe corroborar la calibración y puesta en marcha de los equipos (planta de suelos automatizada y pavimentadora o esparcidora) en el capítulo VII se desarrollará a detalle estas actividades.

Como aporte al estudio del CBM, se sugiere que antes de realizar el proceso constructivo de la preparación y conformación de CBM, se deba realizar una etapa de pruebas de los equipos y diseño propuesto, en esta etapa se debe resolver fallas o dudas técnicas de los equipos que se están empleando así como la prueba del diseño mediante probetas; adicional, se debe realizar un tramo de prueba interno con el personal directo involucrado, en el que se debe capacitar y difundir los procedimientos de construcción, seguridad y calidad. Y finalmente se debe realizar un tramo de prueba en presencia de la supervisión y cliente para así aprobar el sistema empleado y/o corregir alguna desviación que los mencionados vean necesarias. En el presente proyecto, antes de iniciar la fabricación y colocación de CBM4, se realizó una etapa de pruebas, en la que paralelamente se fue ajustando el diseño de mezcla a emplear mostrado en el capítulo anterior, se calibraron los equipos para su uso correcto y se evaluó el proceso constructivo

propuesto a seguir. Este periodo constó de 3 semanas y se llevó a cabo en la Cantera Romaña ubicada en el km 85 de la Av. Néstor Gambetta – Ventanilla, Callao. Adicional se realizó un tramo de prueba en presencia de la supervisión y cliente en la ubicación final de la plataforma de contenedores, este tramo de prueba tuvo una duración de una semana y en él se estableció que el proceso constructivo propuesto era correcto y cumplía todos los estándares y especificaciones técnicas del proyecto.

Los recursos empleados para la preparación, transporte, conformación y compactación de CBM fueron los siguientes:

Tabla N° 6. 2. Recursos empleados para colocación de CBM4 Proyecto Muelle sur 2017  
Fuente: Elaboración propia

Cant.	Personal	Cant.	Equipos	Cant.	Materiales
1	Operador de planta	1	Planta Mezcladora de Suelos Tícel USM500	-	Arena
2	Ayudantes de planta	1	Grupo electrógeno 180 KW	-	Piedra
1	Operador de excavadora	1	Excavadora s/ orugas CAT 324	-	Cemento
1	Operador de camión grúa	1	Camión Grúa 18 Tn	-	Agua
1	Operario rigger	2	Equipos menores (plancha vibratoria, vibroapisonadores)		
3	Operador de volquete	3	Volquete 15m3		
1	Operador de pavimentadora	1	Pavimentadora de asfalto VOGELE SUPER 1803-2		
1	Operador de motoniveladora	1	Motoniveladora CAT 140 K		
2	Operador rodillo	2	Rodillo Simple Rola 14 Tn Hamm		
1	Operador de cisterna de agua	1	Camión Cisterna de agua 5000 gln		
2	Ayudantes de colocación	2	Cortadoras de concreto/pavimento		
		1	Tanque de agua estacionario 10,000 Gln		

## CAPÍTULO VII. MAQUINARIAS DE PREPARACIÓN Y COLOCACIÓN

En el presente capítulo se describirán a detalle los equipos utilizados para la preparación y conformación de CBM, así como las calibraciones y adaptaciones realizadas a éstos para poder producir la mezcla, cabe resaltar que los equipos utilizados fueron fabricados para cumplir otras funciones y en el presente proyecto se realizaron adaptaciones para satisfacer la necesidad de producir CBM y así ahorrar significativamente los costos del proyecto.

### 7.1. PLANTA DE SUELOS

Debido a los altos costos para adquirir o alquilar un equipo diseñado especialmente para producir concreto, se decide realizar una adaptación a la planta de suelos TICEL USM 500 con la que cuenta la empresa constructora, utilizando cálculos de ingeniería y adaptando componentes de otros equipos de baja utilización disponibles en el mercado nacional o propios de la empresa, logrando de esta manera un ahorro de USD 54,080.57. El presente proceso trata sobre cómo se logró adaptar la planta de suelos TICEL para poder producir CBM, con esto se logró aprovechar los recursos disponibles en la empresa y optar por mejorar un equipo que podía realizar el trabajo, con algunas adaptaciones previas de mejora.

#### 7.1.1. Especificaciones

Como dato general, las plantas mezcladoras móviles de suelos Tichel están diseñadas y fabricadas de acuerdo con las necesidades de cada cliente y de cada proyecto. Con capacidades de 300 a 500 toneladas/hora. Tienen entre sus funciones elaborar la base y subbase estabilizada sobre la cual se colocará la mezcla asfáltica, así como trabajar suelos de cemento y realizar el asfalto frío. Dosifican los agregados pétreos, el agua, cemento y aditivos por intermedio de 3 o 4 tolvas controladas electrónicamente.

La empresa constructora poseía el siguiente equipo:

- **Equipo:** Planta mezcladora móvil de suelos
- **Marca:** Tichel
- **Modelo:** USM 500
- **Serie:** USM070620
- **Procedencia:** Brasil
- **Capacidad:** Hasta 500 t/h

- **Tolvas:** 3 tolvas
- **Volumen individual:** 6 m<sup>3</sup>.
- **Cabina:** Con comando para Operación Automatizado.
- **Fajas:** 01 faja de recepción de material por cada tolva.
- **Cinta:** 50 cm.
- **Caja Mezcladora:** Con doble eje, brazos y paletas.
- **Bomba de Agua:** Tipo desplazamiento positivo.
- **Bomba Hidráulica:** Acciona la apertura y cierre de compuerta de chute.



Figura N° 7. 1. Planta de suelos Ticel USM500

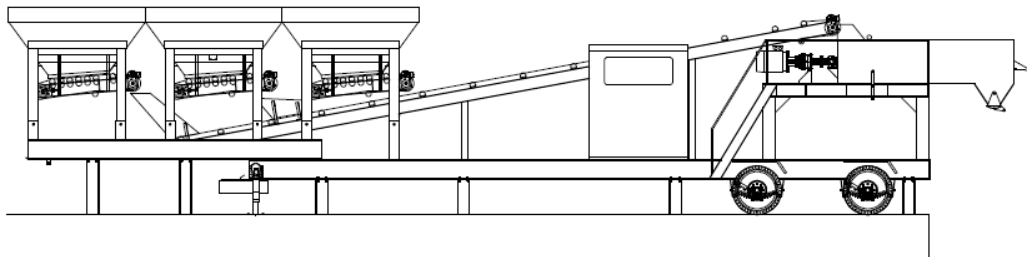


Figura N° 7. 2. Esquema técnico de planta de suelos Ticel USM500

#### 7.1.2. Restricciones

Una vez definido y localizado el equipo a emplear en la preparación de CBM, se identificaron ciertas restricciones para su operación, entre ellas se encontraban:

- La forma en la que se tenía que abastecer el cemento. En la configuración que se encontraba la planta de suelos, los agregados eran alimentados utilizando



un cargador frontal o una excavadora, si queríamos alimentar cemento sería necesario utilizar un silo de cemento o un transportador de gusano.

- El orden de los agregados y cemento en las 03 tolvas de abastecimiento. Se debía definir la tolva que debía recibir cada agregado y el cemento, ya que de esto dependía la secuencia en la que iba ir cayendo una sobre la otra.
- La rugosidad del material de la tolva para alimentar cemento era muy alta, por lo que el elevado coeficiente de fricción haría que el cemento se aglutine en la tolva, causando así que se obstruya.
- No existía un sensor ni un controlador en la faja de recepción de la tolva de cemento que nos permita entregar la cantidad de cemento requerido. El diseño de la faja de recepción no permitía la instalación de un sensor, debido a su configuración de corto recorrido.
- La antigüedad del interfaz de inversores que controla la faja de alimentación no disponía de la sensibilidad necesaria para variar la frecuencia de los motores eléctricos que permitiría entregar la velocidad precisa de alimentación.
- Por la cantidad de horas de trabajo de la celda de pesaje no garantizaba la precisión requerida para una adecuada dosificación de mezcla.
- El espaciamiento que existente entre la tolva de alimentación de cemento y la faja de recepción haría que el cemento se escurra por los costados.
- La geometría de la tolva no era la óptima para la alimentación de cemento.

Todas estas restricciones fueron identificadas en el proceso inicial para así poder plantear las mejores soluciones propuestas por los especialistas mecánicos del proyecto.

#### 7.1.3. Adaptación para producción de CBM

A la planta mezcladora de suelos se le realizaron una serie de adaptaciones y mejoras, así como la implementación de equipamiento adicional para poder subsanar las restricciones identificadas, las cuales se detallan los pasos seguidos para la adaptación de la planta:

1. Diseño, fabricación e instalación del transportador de gusano, así como el silo de alimentación de cemento.
2. Armado de planchas de acero inoxidable en las paredes de la tolva de alimentación de cemento.
3. Determinación del orden de los agregados en las 03 tolvas de la planta.

4. Diseño, fabricación e instalación de guardas en la faja de recepción de cemento.
5. Optimizar la geometría de salida de la tolva para evitar que el cemento se aglomere en la faja de recepción.
6. Forrado del chute de descarga del cemento.
7. Preparación de una gráfica de control Hertz vs Toneladas por hora, mediante calibraciones.
8. Repotenciación del sistema eléctrico y de control:
  - Cambiar las celdas de pesaje, la interfaz de inserción de la faja de recepción de cemento por otras de mayor precisión.
  - Mejora del cableado, cambio de convertidor de potencia, botoneras, disyuntor, contador y señalizadores led.

## 7.2. TRANSPORTADOR DE GUSANO

En el presente subcapítulo se expone una breve teoría de transportadores de gusanos, así como el cálculo, diseño y adaptaciones realizadas en el presente proyecto.

Se contaba con un transportador de gusano que pertenecía a una planta móvil de concreto que ya poseía la empresa constructora, contaba con un motor y motorreductor incluidos; se conoce como motorreductor a una máquina muy compacta que combina un reductor de velocidad y un motor. Estos van unidos en una sola pieza y su función es la de reducir significativamente la velocidad de motores. Además, implemente variedad de técnicas giratorias para controlar fuerza de una máquina, esto con la finalidad de controlar el material que en este caso iba a ser el cemento debido a su fineza y precisión requerida. La idea es analizar si es factible poder utilizar ese componente y adaptarlo a las necesidades del equipo para que pueda cumplir con la cantidad de cemento requerida diariamente; cabe mencionar que estos equipos no eran utilizados por la maquinaria a la cual pertenecían y se encontraban disponibles en los almacenes.

### 7.2.1. Diseño de transportador de gusanos

Antes de conocer las expresiones matemáticas que permiten obtener el flujo de material que puede desplazar un transportador de gusano, es necesario definir los conceptos básicos de la teoría de transportadores de gusano, para respaldar estas definiciones, la Figura N° 7.3. expone el esquema de las partes de un transportador de gusano.

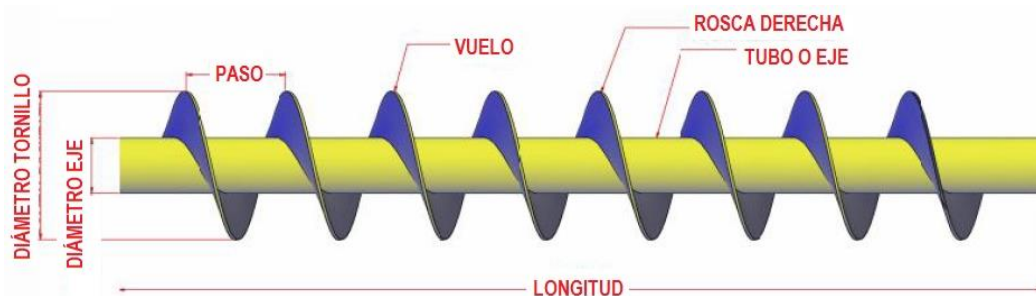


Figura N° 7. 3. Transportador de gusano

Área de relleno del gusano (S):

El área de relleno del gusano (S) es el que ocupa el material que mueve el transportador, se puede obtener mediante la siguiente expresión:

$$S = \lambda \frac{\pi D^2}{4}$$

Dónde:

S es el área de relleno del gusano, en  $m^2$

D es el diámetro del gusano, en m

$\lambda$  es el coeficiente de relleno de la sección

Este coeficiente de relleno ( $\lambda$ ) es un parámetro reductor, es decir deberá ser menor que la unidad, esto con el objetivo de evitar que se produzca amontonamiento del material que dificultaría su correcto flujo a lo largo del canalón.

En la siguiente tabla se indican los valores del coeficiente de relleno ( $\lambda$ ) en función del tipo de carga que transporta el tornillo:

Tipo de carga	Coeficiente de relleno, $\lambda$
Pesada y abrasiva	0,125
Pesada y poco abrasiva	0,25
Ligera y poco abrasiva	0,32
Ligera y no abrasiva	0,40

Para nuestro ejemplo en específico, al tratarse del cemento, es un material ligero y poco abrasivo, por lo tanto, el coeficiente de relleno a usar es 0.32

Velocidad de desplazamiento del transportador (v):

La velocidad de desplazamiento (v) del transportador es la velocidad con la que desplaza el material en la dirección longitudinal del eje del tornillo. Depende tanto del paso del tornillo como de su velocidad de giro.

La expresión que permite conocer la velocidad de desplazamiento en un transportador de tornillo es la siguiente:

$$v = \frac{p \cdot n}{60}$$

Dónde:

v es la velocidad de desplazamiento del transportador, en m/s

p es el paso del tornillo o paso de hélice, en m

n es la velocidad de giro del eje del tornillo, en r.p.m.

Determinación del flujo de material

La capacidad de transporte de un transportador de tornillo sin fin viene determinada por la siguiente expresión que calcula el flujo de material transportado:

$$Q = 3600 \cdot S \cdot v \cdot \rho \cdot i$$

Dónde:

Q es el flujo de material transportado, en t/h

S es el área de relleno del gusano, en m<sup>2</sup>

v es la velocidad de desplazamiento del transportador, en m/s

p es la densidad del material transportado, en t/m<sup>3</sup>

i es el coeficiente de disminución del flujo de material debido a la inclinación del transportador.

En la siguiente tabla se muestran los valores de este coeficiente (i) de disminución de flujo que indica la reducción de capacidad de transporte debida a la inclinación:

Inclinación del gusano	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°
i	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2

Si se sustituye las expresiones que calculan el área de relleno del gusano (S) y de la velocidad de desplazamiento (v) vistas en el apartado anterior, la capacidad de flujo de material transportado (Q) resultaría finalmente como:

$$Q = 3600 \cdot \lambda \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{p \cdot n}{60} \rho \cdot i$$

Para el gusano transportador del proyecto se tiene los siguientes datos:

$$D = 16 \text{ cm} \quad \lambda = 0.32 \quad S = 0.32 \times (\pi \times 0.16^2) / 4$$

$$S = 0.00643 \text{ m}^2$$

$$p = 17 \text{ cm} \quad n = 163 \text{ rpm} \quad V = 0.17 \times 163 / 60$$

$$V = 0.46 \text{ m/s}$$

En el caso particular del proyecto, se solicitaba producir 600 m<sup>3</sup> de CBM diario, equivalente a 60 m<sup>3</sup>/h a un ritmo de trabajo de 10 horas al día. Según el diseño de mezcla explicado en el capítulo V se tiene 116 kg de cemento / m<sup>3</sup> de mezcla, es decir que el caudal para el cemento era de

$$Q = (60 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \times 0.116 \frac{\text{t}}{\text{m}^3}) = 6.96 \frac{\text{t}}{\text{h}}$$

y lo que se busca es el ángulo de trabajo requerido para poder utilizar el gusano transportador.

Se tiene la densidad del cemento  $\rho = 1.5 \text{ t/m}^3$ . Reemplazando todos los valores en la expresión de flujo de material:

$$6.96 = 3600 \times 0.00643 \times 0.46 \times 1.5 \times i \quad \text{Calculamos: } i = 0.4$$

Con este valor podemos calcular el ángulo de trabajo según el cuadro de inclinación de gusano, el cual nos otorga un ángulo de inclinación 30° como máximo.



Figura N° 7. 4. Ángulo de inclinación de gusano transportador

### 7.2.2. Adaptación para producción de CBM

Una vez definido el transportador de gusanos, quedaba pendiente los elementos complementarios como es el almacenamiento y la unión entre éste y el gusano.

Para la recepción del cemento, se pensó en un recipiente que pueda almacenar la cantidad diaria de cemento aproximado de 70 toneladas, Inicialmente se pensó utilizar silos de 120 toneladas de peso, este procedimiento se descartó por el elevado peso que supondría y por la base de concreto armado que emplea, se necesitaría hacer una excavación más profunda en una plataforma sobre el mar, lo cual complicaba considerablemente su ejecución y difícilmente iba ser aprobada por el cliente.

Una vez descartado el uso de los silos se empezamos a evaluar otras alternativas, para ello se contó con un balde de concreto que se usaba en las torres grúa, cuyas dimensiones son las mostradas en la figura N° 7.5. El volumen del balde tenía un almacenamiento de  $1.15\text{m}^3$  con esto se confirmaba que el recipiente era suficiente para contener los big bags de cemento que tenían  $1\text{m}^3$  de volumen cada uno, el problema con el recipiente era que el abastecimiento sobre ésta tenía que ser de forma constante, por eso se planteó requerir de un camión con grúa que llevara las bolsas de cemento a la parte superior para la alimentación constante de este silo. Otro punto por considerar era la estructura mecánica que debía soportar al balde, ya que debía estar ser estable y debía contar con una plataforma para que el personal pueda cortar las bolsas de big bag antes de su colocación.

Para la unión del gusano con el balde se necesitó fabricar un acople que uniera estos 02 elementos; de manera que asegurase la hermeticidad de ambos elementos y evitar posibles fugas de cemento.

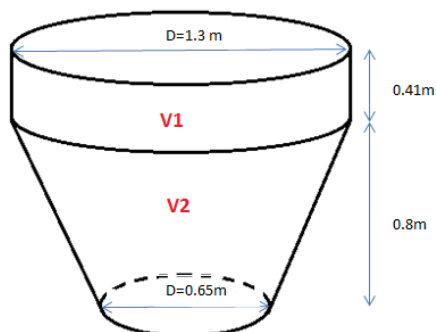


Figura N° 7. 5. Dimensiones de balde de abastecimiento de cemento

Figura N° 7. 6. Acople de unión del balde con gusano

Concluyendo el diseño y fabricación del gusano transportador, nos enfrentábamos a la definición del orden específico de las tolvas de la planta, se tenía el problema de saber cuál sería la mejor forma de distribuir las tolvas (cimento; piedra, arena). Según la geometría del equipo mostrada en la figura N° 7.7. se observa que la tolva 1 es la que forma la base de la mezcla, es decir que en el supuesto “sándwich” la base sería la tolva 1 seguida de la 2 y concluyendo con la 3, por este motivo la mejor ubicación para el cemento era situarla en la tolva central.

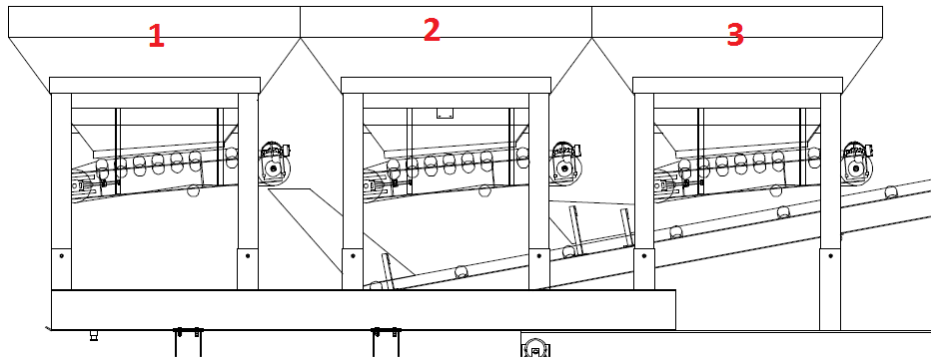


Figura N° 7. 7. Distribución de tolvas en planta de suelos

Como segundo paso se debía definir la arena y piedra, en el momento de realizar la calibración de cada faja se pudo observar que la piedra, cuando se encontraba sola en la faja, era propensa a deslizarse debido a su forma “grande” y a la poca rugosidad con la faja, esto se corregía aumentando “rugosidad” a la faja, que en este caso sería la arena, por lo tanto se determinó que la piedra debía tener el menor recorrido de faja antes de entrar a la tolva de mezcla y que además debía reposar encima del “sándwich” para así evitar su deslizamiento; es así que se determina el orden de las tolvas: 1 arena, 2 cemento y 3 piedra mostrada en la figura 7.8.



Figura N° 7. 8. Orden de las tolvas de la planta

Otra restricción encontrada fue el espaciamiento de salida de las tolvas, durante las pruebas se detectó que la apertura de las tolvas generaba pérdida de material en el cemento y segregación en la piedra, por tal motivo se reguló de la siguiente manera: Apertura de la compuerta de la tolva de piedra para evitar la segregación en los extremos de la abertura y mejorar la dosificación. Cierre de la apertura de la tolva de cemento por ser un material más volátil y evitar la pérdida de material.



Figura N° 7. 9. Apertura de compuerta de tolva

A diferencia de la arena y la piedra que fluía de manera continua dentro de la tolva y las fajas; el cemento se comportaba de una manera distinta. Debido a sus características finas tenía tendencia a adherirse a las paredes de la tolva, así como la rugosidad del chute de descarga; por lo que se tuvieron que realizar los siguientes trabajos en la tolva de cemento:

Forrado de paredes de la tolva con unas planchas de material de acero inoxidable con el fin de disminuir la rugosidad y además para evitar la corrosión por ser un equipo que iba a trabajar al nivel del mar.

Fabricación de guardas de la faja de cemento; con el fin de evitar posibles pérdidas de cemento por los lados de la faja de transmisión de la tolva, se mandó a fabricar unas guardas de metal a medida que irían empernadas a fin de evitar la fuga del material, figura N° 7.10.

Forrado de chute de descarga de cemento; se forró el chute con una geomembrana a fin de que el cemento se pueda desplazar sin mayores problemas y pueda llegar en forma uniforme a la faja transportadora. En la etapa de prueba se identificó que esa “caída” realizaba que el cemento se desperdiciara considerablemente al encontrarse en situaciones de viento fuerte. figura N° 7.11.



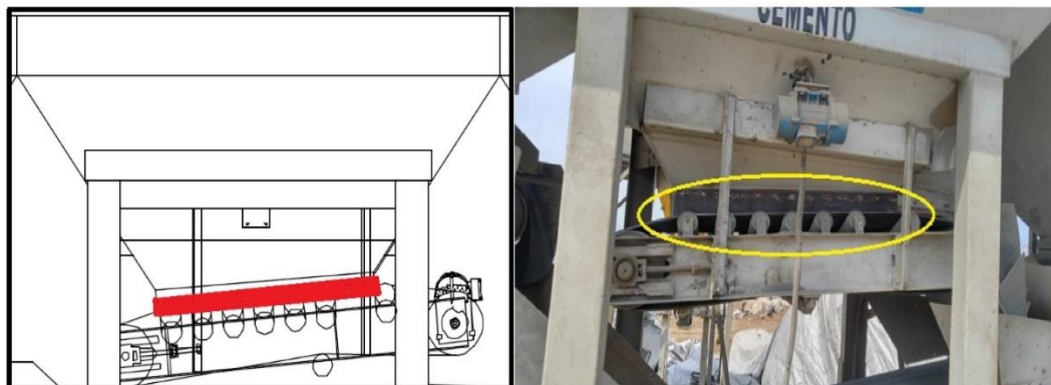


Figura N° 7. 10. Guardas en la faja de cemento

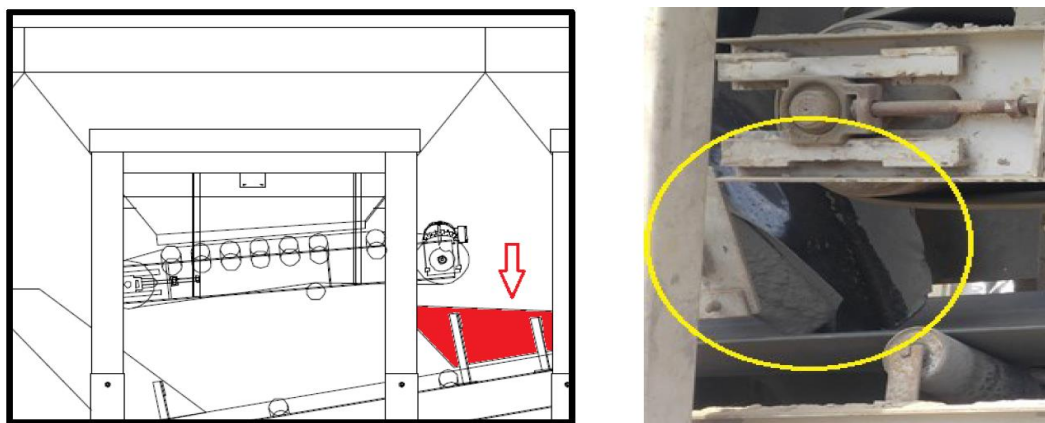


Figura N° 7. 11. Forrado con geomembrana en chute de cemento

### 7.3. CALIBRACIÓN

Una mejora íntegra para la producción de la mezcla de CBM fue la mejora en la calibración de la planta de suelos, debido a que este equipo tiene la precisión de mezclas de suelos y no la precisión necesaria para una base cementada. Esta calibración se logró mediante varias mediciones con diferentes datos tomados desde la cabina de la planta TICEL que el operador y los técnicos pudieron obtener a través de los controles del equipo:

- Caudal de trabajo (Tn/h); proporcionado por la celda de pesaje.
- Frecuencia de trabajo (Hz); proporcionado por los controladores.



Figura N° 7. 12. Controladores de planta de suelos Tichel

La idea general para realizar la calibración de la planta de suelos era tomar datos proporcionados por el equipo y compararlos con datos tomados manualmente desde la faja de transporte en un metro de distancia, pesar el material que se transportó y hacer un promedio de 03 muestras para cada elemento, estos datos fueron obtenidos por personal con ayuda de una balanza electrónica. La figura N° 7.13. muestra las mediciones reales realizadas por los técnicos en la faja de transporte.



Figura N° 7. 13. Calibración de planta de suelos Tisel

Se pudieron tomar los datos necesarios para poder plasmar una gráfica dosificación (Tn/h) vs frecuencia (Hz) y sacar una curva de dosificación real con los datos reales manuales y una curva de dosificación nominal con los datos del equipo, con este gráfico podríamos proyectar la dosificación que se requiere en el proyecto y obtener la frecuencia con la que tenía que trabajar la planta para arrojar la cantidad necesaria de cada componente de la mezcla según el diseño.

En el diseño de mezcla mostrado en el capítulo V se expuso que la cantidad de cemento adecuado para el proyecto era de 6.5%, por tal motivo se realizó la calibración considerando los datos de 6%, 6.5% y 7% de cemento para poder aumentar o disminuir la cantidad de cemento de acuerdo con el desenvolvimiento del proyecto.

La producción proyectada inicial era de 140 toneladas/hora, por lo tanto, la producción de cada elemento según el diseño debía ser de:

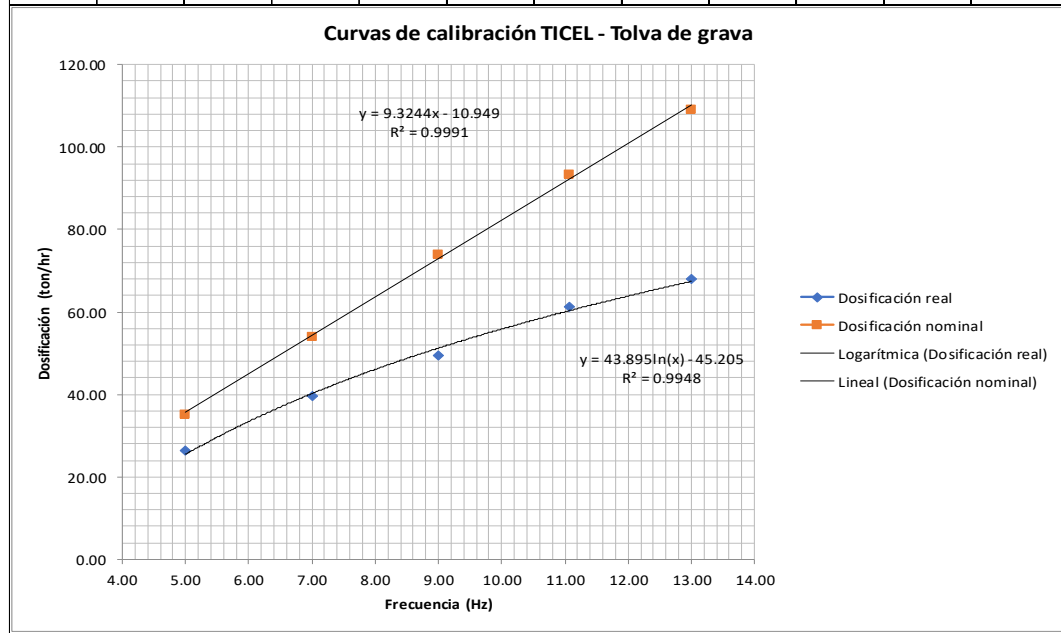
Tabla N° 7. 1. Producción de planta de cada elemento de la mezcla CBM

Calculo	Producción (ton/hr)	Cemento (%)		
		6.0%	6.5%	7.0%
A				
B	Mezcla	140	140	140
C=A*B	Cemento	8.4	9.1	9.8
D=B*(1-A)	Agregado + Piedra	131.6	130.9	130.2
E=D*55%	Grava	72.4	72.0	71.6
F=D-E	Arena	59.2	58.9	58.6
G=B*6%	Agua (OCH=6%)	8.4	8.4	8.4

### 7.3.1. Tablas de calibración de planta de suelos

Tabla N° 7. 2. Calibración faja de piedra  
Fuente: Elaboración propia

CALIBRACIÓN DE PLANTA DE SUELOS TICEL UST 500 - MATERIAL PIEDRA											
Material	Frecuencia y Velocidad				Peso						
	Tolva (Hz)	Promedio (Hz)	Faja (m/hr)	Promedio (m/hr)	Pantalla (ton/hr)	Promedio (ton/hr)	Faja (gr/m)	Tara (gr)	Neto (gr/m)	Promedio (gr/m)	Dosificación (ton/hr)
Grava	11.08	11.08	4015	4015	93.2	93.2	15964	765	15199	15239	61.18
Grava	11.08		4015		93.2		16211	780	15431		
Grava	11.08		4015		93.2		15854	768	15086		
Grava	9.00	9.00	4015	4015	74.0	74.0	12705	765	11940	12301	49.39
Grava	9.00		4015		74.0		12879	780	12099		
Grava	9.00		4015		74.0		13632	768	12864		
Grava	7.00	7.00	4015	4015	54.0	54.0	10115	765	9350	9872	39.63
Grava	7.00		4015		54.0		10537	780	9757		
Grava	7.00		4015		54.0		11276	768	10508		
Grava	5.00	5.00	4015	4015	35.2	35.2	7190	765	6425	6573	26.39
Grava	5.00		4015		35.2		7273	780	6493		
Grava	5.00		4015		35.2		7568	768	6800		
Grava	13.00	13.00	4015	4015	109.2	109.2	17524	765	16759	16948	68.04
Grava	13.00		4015		109.2		17439	780	16659		
Grava	13.00		4015		109.2		18193	768	17425		



En la tabla N° 7.2. se muestra la ecuación de calibración para la faja de piedra, ahora podemos reemplazar la producción requerida y obtenemos la frecuencia en la que debe trabajar el equipo. El Anexo 08 muestra las tablas de calibración de la arena, cemento y agua.

De la tabla N° 7.1. y las curvas de correlación se obtiene la tabla de frecuencias siguiente:

Frecuencias (Hz)	Cemento (%)		
	6.0%	6.5%	7.0%
Cemento	4.9	5.2	5.5
Grava	14.6	14.4	14.3
Arena	9.5	9.4	9.3
Agua	13.8	13.8	13.8

Con estos valores se programó los controles de la planta de suelos y se realizó una verificación en faja por metro lineal, obteniendo los siguientes datos:

Peso (gr/m)	Cemento (%)		
	6.0%	6.5%	7.0%
Cemento	2,092	2,267	2,441
Grava	18,027	17,932	17,836
Arena	14,750	14,671	14,593
Total (gr/ml)	34,869	34,869	34,869

#### 7.4. PAVIMENTADORA

La pavimentadora o también conocida como asfaltadora, máquina de pavimentación, acabador de pavimento, finalizador de asfalto o esparcidora de agregados es una maquinaria de construcción utilizado para colocar una capa de material en carreteras, puentes, estacionamientos, plataformas y otros lugares similares que requieran de una superficie definida sobre el terreno. Coloca el material plano y proporciona una compactación menor antes de que sea compactado por un rodillo o apisonadora posteriormente.

El material es añadido por medio de un volquete o una unidad de transferencia de material en la tolva de la pavimentadora. Entonces, el transportador de banda lleva el material desde la tolva, pasando por las compuertas de flujo, hacia el transportador de tornillo, el cual apila el material y lo dispersa en su cámara, y provee la compactación inicial.

La pavimentadora provee una superficie uniforme y pareja tras el reglón. Para esto utiliza un reglón libre flotante. Éste está colgado al extremo de unos largos brazos laterales horizontales, con esta configuración se reduce el efecto de topología del terreno o base, en la superficie final.

Para coincidir con los cambios de elevación del pavimento final, las asphaltadoras modernas utilizan controles de reglón automáticos, los cuales generalmente controlan el ángulo de ataque del reglón a partir de información recopilada desde un sensor de pavimento. Se utilizan controles adicionales para corregir la pendiente, corona o peralte del pavimento final.

En orden de proveer una superficie pareja, la asphaltadora debe proceder a una velocidad constante y tener un apilamiento consistente de material en frente del reglón. Un incremento en el apilamiento o la velocidad de la asphaltadora causará que el reglón suba, resultando en mayor cantidad de material colocado, pudiendo resultar en una capa más gruesa y una superficie final desigual. Alternativamente, un decremento de material o caída de velocidad causará que el reglón baje y por ende la capa sea más fina.

#### 7.4.1. Especificaciones

La especificación del equipo utilizado en el presente proyecto es Extendidora sobre orugas Vogele Super 1800-2. En la figura N° 7.14. se aprecia un esquema con las dimensiones del equipo en mención. Y en la figura N° 7.15. se muestran fotografías de la pavimentadora utilizada en el proyecto.

La SUPER 1800-2 es la extensora sobre orugas más potente de su clase y maneja una amplia gama de aplicaciones. Con una anchura de trabajo máxima de 10 m y una longitud de máquina de sólo 6 m, esta extensora de VÖGELE es efectiva tanto en autopistas o pavimentos amplios como en rotondas estrechas. El concepto innovador de mando ErgoPlus es fácil de entender y brinda condiciones de trabajo ergonómicas y funcionales. Las características más resaltantes de este modelo son:

- ✓ Anchura máxima de extendido 10 m
- ✓ Rendimiento de extendido hasta 700 t/h
- ✓ Anchura de transporte 2,55 m
- ✓ Velocidad de extendido hasta 24 m/min
- ✓ Velocidad de transporte hasta 4,5 km/h
- ✓ Potente motor PERKINS de 129,6 kW
- ✓ Modo ECO para un funcionamiento silencioso, un bajo consumo de combustible y poco desgaste
- ✓ Gran radiador de varios circuitos con conducción de aire innovadora
- ✓ Sencillo concepto de mando ErgoPlus

## ✓ Techo fijo con grandes toldos

La SUPER 1800-2 es una extendidora sobre orugas accionada por un motor Perkins y fases MIN, ECO y MAX para regularla. La precisa dirección de orugas y el concepto de accionamiento de VÖGELE permiten trabajar en terrenos difíciles. La alimentación es limpia, segura, rápida y la distribución del material es óptima gracias a los accionamientos hidrostáticos. La SUPER 1800-2 ofrece una amplia selección de reglas y variantes de compactación para satisfacer diferentes requisitos.

La tabla N° 7.3. detalla las especificaciones del equipo utilizado para la conformación de CBM y figura N° 7.14. muestra las dimensiones geométricas.

Tabla N° 7. 3. Especificaciones técnicas Vogele Super 1800-2  
Fuente: Manual de usuario Vogele

<b>Accionamiento</b>		Sinfines de distribución:	2, con aletas intercambiables y sentido de rotación reversible
Motor:	motor diésel PERKINS de 6 cilindros, refrigerado por fluido		Diámetro: 400 mm
Tipo:	1106D-E66TA		Accionamiento: accionamientos hidráulicos individuales independientes
Potencia:	Nominal: 129,6 kW a 2000 rpm (según DIN)		Número de revoluciones: hasta 83 rpm regulable progresivamente
	Modo ECO: 125 kW a 1800 rpm		(mando manual o automático)
Depósito de carburante:	300 l		Cota de nivel:
Equipo eléctrico:	24 V		- Estándar: regulables mecánicamente de forma progresiva unos 14 cm
<b>Tren de orugas</b>			- Opción: regulables hidráulicamente de forma progresiva unos 20 cm
Orugas:	con zapatas de goma		(posición más baja 5 cm encima del suelo)
Superficie de apoyo:	2830 x 305 mm		Lubricación:
Suspensión:	rígida		equipo de lubricación central con bomba de engrasado
Dispositivo de tensión:	bloque de resortes		de accionamiento eléctrico
Lubricación de las rodanas:	de por vida	<b>Reglas de extendido</b>	
Accionamiento de traslación:	hidráulico, accionamientos individuales independientes entre sí regulados electrónicamente	SB 250:	anchura básica 2,5 m, anchura máxima (TV/TP1) 10,0 m
Velocidades:	- Extendido: hasta 24 m/min., regulable progresivamente	AB 500-2:	anchura básica 2,55 m, extensible hasta 5,0 m
	- Desplazamiento: hasta 4,5 km/h, regulable progresivamente		anchura máxima (TV/TP1) 8,5 m
Dirección:	por modificación de la velocidad de marcha de las orugas	AB 600-2:	anchura básica 3,0 m, extensible hasta 6,0 m
Freno de servicio:	hidrostático		anchura máxima (TV/TP1) 9,0 m
Freno de estacionamiento:	freno de discos múltiples-accumulador a presión por resorte, sin mantenimiento	Variantes de compactación:	TV, TP1, TP2
<b>Tolva receptora</b>		Espesor de extendido:	hasta 30 cm
Capacidad:	13 t	Calentamiento:	por resistencias eléctricas
Anchura:	3265 mm	Alimentación:	generador de corriente trifásica
Altura de alimentación:	594 mm (fondo de la tolva)	<b>Dimensiones y pesos</b>	
Rodillos de empuje para camiones:	suspendidos oscilantes, desplazables longitudinalmente de 100 mm	Longitud:	Tractor y regla de extendido en posición de transporte:
<b>Grupos de transporte de material</b>			- SB 250 TV/TP1/TP2: 6,0 m
Cintas transportadoras:	2, con listones de arrastre intercambiables y sentido de marcha reversible brevemente		- AB 500-2/AB 600-2 TV: 6,0 m
	Accionamiento: accionamientos hidráulicos individuales independientes		- AB 500-2/AB 600-2 TP1/TP2: 6,1 m
	Velocidad de marcha: hasta 25 m/min, regulable progresivamente (mando manual o automático)	Pesos:	Tractor con regla extensible AB 500-2 TV:
			- en anchura de extendido hasta 5,0 m: 19,3 t
			- en anchura de extendido hasta 8,5 m: 21,9 t
		<b>Opciones</b>	Puerta frontal hidráulica de la tolva receptora. Techo de plástico reforzado con fibra de vidrio. Sistema automático de nivelación NIVELTRONIC Plus® (distintos sensores disponibles). Sensores de ultrasonidos para controlar el nivel de mezcla delante de la regla. Automatismo de dirección. Faros de trabajo de xenón.
			¡Hay más opciones disponibles! Consulte a su distribuidor VÖGELE.

**Legenda:** T = con tãmpor      P1 = con un listón de presión      SB = regla fija  
V = con vibradores      P2 = con dos listones de presión      AB = regla extensible



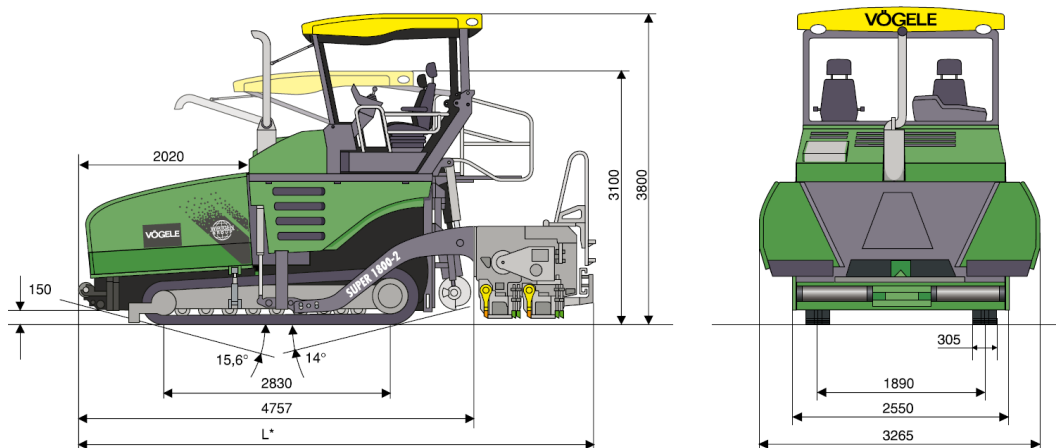


Figura N° 7. 14. Diseño geométrico Vogele Super 1800-2



Figura N° 7. 15. Pavimentadora empleada en el proyecto

**CAPÍTULO VIII. ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

Habiendo concluido el diseño de CBM y calibración de la planta de suelos y, siendo aprobada por la supervisión y el cliente, se procedió con la preparación masiva de la mezcla para la ejecución del pavimento. En este proceso nos encontrábamos con una nueva obligación la cual era controlar la resistencia a la compresión, el porcentaje de compactación y mejorar la productividad de ser posible. A continuación, se describe como se abordó cada tema.

**8.1. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

Para el análisis de la resistencia a la compresión, se tomaron datos continuos y aleatorios de la mezcla que producía la planta de suelos, se elaboraron y ensayaron probetas cilíndricas a los 7 días, dando los resultados mostrados en la tabla N° 8.1.

Tabla N° 8. 1. Ensayos de resistencia a la compresión  
Fuente: Elaboración propia

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION CBM4										
Ítem	# Testigo	Fecha Vaciado	Fecha Rotura	Días	Cemento %	Resistencia (kg/cm2)	% f'c	MPA	Requerida f'c (kg/cm2)	Condición
1	1	1/06/2017	8/06/2017	7	6.50%	170.5	142.1%	16.7	120	Cumple
2	1	3/06/2017	10/06/2017	7	6.50%	171.2	142.7%	16.8	120	Cumple
3	1	6/06/2017	13/06/2017	7	6.50%	135.4	112.8%	13.3	120	Cumple
4	1	8/06/2017	15/06/2017	7	6.50%	139.9	116.6%	13.7	120	Cumple
5	1	11/06/2017	18/06/2017	7	6.50%	135.7	113.1%	13.3	120	Cumple
6	1	13/06/2017	20/06/2017	7	6.50%	145.1	120.9%	14.2	120	Cumple
7	1	16/06/2017	23/06/2017	7	6.50%	147.3	122.7%	14.4	120	Cumple
8	1	18/06/2017	25/06/2017	7	6.50%	144.5	120.4%	14.2	120	Cumple
9	1	19/06/2017	26/06/2017	7	6.50%	176.9	147.4%	17.3	120	Cumple
10	1	20/06/2017	27/06/2017	7	6.50%	146.7	122.3%	14.4	120	Cumple
11	1	23/06/2017	30/06/2017	7	6.50%	193.4	161.2%	19.0	120	Cumple
12	1	24/06/2017	1/07/2017	7	6.50%	165.6	138.0%	16.2	120	Cumple
13	1	27/06/2017	4/07/2017	7	6.50%	189.5	157.9%	18.6	120	Cumple
14	1	30/06/2017	7/07/2017	7	6.50%	182.8	152.3%	17.9	120	Cumple
15	1	3/07/2017	10/07/2017	7	6.50%	153.7	128.1%	15.1	120	Cumple
16	1	5/07/2017	12/07/2017	7	6.50%	166.5	138.8%	16.3	120	Cumple
17	1	6/07/2017	13/07/2017	7	6.50%	155.7	129.8%	15.3	120	Cumple
18	1	9/07/2017	16/07/2017	7	6.50%	147.1	122.6%	14.4	120	Cumple
19	1	12/07/2017	19/07/2017	7	6.50%	133.9	111.5%	13.1	120	Cumple
20	1	13/07/2017	20/07/2017	7	6.50%	173.3	144.4%	17.0	120	Cumple
21	1	14/07/2017	21/07/2017	7	6.50%	152.6	127.2%	15.0	120	Cumple
22	1	15/07/2017	22/07/2017	7	6.50%	166.4	138.7%	16.3	120	Cumple
23	1	18/07/2017	25/07/2017	7	6.50%	147.4	122.8%	14.5	120	Cumple
24	1	19/07/2017	26/07/2017	7	6.50%	161.7	134.8%	15.9	120	Cumple
25	1	20/07/2017	27/07/2017	7	6.50%	144.5	120.4%	14.2	120	Cumple
26	1	22/07/2017	29/07/2017	7	6.50%	153.7	128.1%	15.1	120	Cumple
27	1	24/07/2017	31/07/2017	7	6.50%	157.0	130.8%	15.4	120	Cumple
28	1	26/07/2017	2/08/2017	7	6.50%	157.1	130.9%	15.4	120	Cumple
29	1	27/07/2017	3/08/2017	7	6.50%	131.3	109.4%	12.9	120	Cumple
30	1	29/07/2017	5/08/2017	7	6.50%	183.2	152.7%	18.0	120	Cumple
31	1	30/07/2017	6/08/2017	7	6.50%	176.4	147.0%	17.3	120	Cumple
32	1	31/07/2017	7/08/2017	7	6.50%	128.2	106.8%	12.6	120	Cumple
33	1	1/08/2017	8/08/2017	7	6.50%	159.5	132.9%	15.6	120	Cumple
34	1	4/08/2017	11/08/2017	7	6.50%	175.9	146.5%	17.2	120	Cumple
35	1	6/08/2017	13/08/2017	7	6.50%	180.3	150.2%	17.7	120	Cumple



ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION CBM4										
Ítem	# Testigo	Fecha Vaciado	Fecha Rotura	Días	Cemento %	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	% f'c	MPA	Requerida f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Condición
36	1	8/08/2017	15/08/2017	7	6.50%	136.6	113.8%	13.4	120	Cumple
37	1	10/08/2017	17/08/2017	7	6.50%	141.3	117.8%	13.9	120	Cumple
38	1	10/08/2017	17/08/2017	7	6.20%	161.7	134.8%	15.9	120	Cumple
39	1	13/08/2017	20/08/2017	7	6.20%	144.5	120.4%	14.2	120	Cumple
40	1	14/08/2017	21/08/2017	7	6.20%	148.3	123.6%	14.5	120	Cumple
41	1	15/08/2017	22/08/2017	7	6.20%	148.0	123.3%	14.5	120	Cumple
42	1	16/08/2017	23/08/2017	7	6.20%	143.9	119.9%	14.1	120	Cumple
43	1	17/08/2017	24/08/2017	7	6.20%	144.0	120.0%	14.1	120	Cumple
44	1	18/08/2017	25/08/2017	7	6.20%	137.1	114.2%	13.4	120	Cumple
45	1	19/08/2017	26/08/2017	7	6.20%	137.1	114.3%	13.4	120	Cumple
46	1	22/08/2017	29/08/2017	7	6.20%	127.3	106.1%	12.5	120	Cumple
47	1	24/08/2017	31/08/2017	7	6.20%	152.8	127.3%	15.0	120	Cumple
48	1	25/08/2017	1/09/2017	7	6.20%	138.8	115.7%	13.6	120	Cumple
49	1	27/08/2017	3/09/2017	7	6.20%	150.3	125.3%	14.7	120	Cumple
50	1	29/08/2017	5/09/2017	7	6.20%	138.9	115.8%	13.6	120	Cumple
51	1	2/09/2017	9/09/2017	7	6.20%	135.9	113.3%	13.3	120	Cumple
52	1	2/09/2017	9/09/2017	7	6.00%	131.2	109.3%	12.9	120	Cumple
53	1	3/09/2017	10/09/2017	7	6.00%	133.8	111.5%	13.1	120	Cumple
54	1	6/09/2017	13/09/2017	7	6.00%	133.8	111.5%	13.1	120	Cumple
55	1	7/09/2017	14/09/2017	7	6.00%	129.7	108.1%	12.7	120	Cumple
56	1	8/09/2017	15/09/2017	7	6.00%	138.8	115.7%	13.6	120	Cumple
57	1	11/09/2017	18/09/2017	7	6.00%	138.8	115.7%	13.6	120	Cumple
58	1	12/09/2017	19/09/2017	7	6.00%	130.8	109.0%	12.8	120	Cumple
59	1	14/09/2017	21/09/2017	7	6.00%	128.2	106.8%	12.6	120	Cumple
60	1	16/09/2017	23/09/2017	7	6.00%	137.5	114.6%	13.5	120	Cumple
61	1	18/09/2017	25/09/2017	7	6.00%	132.7	110.6%	13.0	120	Cumple
62	1	19/09/2017	26/09/2017	7	6.00%	129.8	108.2%	12.7	120	Cumple
63	1	22/09/2017	29/09/2017	7	6.00%	123.2	102.6%	12.1	120	Cumple
64	1	23/09/2017	30/09/2017	7	6.00%	132.5	110.4%	13.0	120	Cumple
65	1	24/09/2017	1/10/2017	7	6.00%	132.9	110.7%	13.0	120	Cumple
66	1	27/09/2017	4/10/2017	7	6.00%	131.5	109.6%	12.9	120	Cumple
67	1	28/09/2017	5/10/2017	7	6.00%	130.8	109.0%	12.8	120	Cumple
68	1	30/09/2017	7/10/2017	7	6.00%	132.3	110.3%	13.0	120	Cumple
69	1	2/10/2017	9/10/2017	7	6.00%	136.9	114.1%	13.4	120	Cumple
70	1	4/10/2017	11/10/2017	7	6.00%	135.9	113.3%	13.3	120	Cumple
71	1	7/10/2017	14/10/2017	7	6.00%	134.0	111.7%	13.1	120	Cumple
72	1	10/10/2017	17/10/2017	7	6.00%	128.1	106.8%	12.6	120	Cumple
73	1	11/10/2017	18/10/2017	7	6.00%	143.4	119.5%	14.1	120	Cumple
74	1	13/10/2017	20/10/2017	7	6.00%	126.5	105.4%	12.4	120	Cumple
75	1	14/10/2017	21/10/2017	7	6.00%	131.5	109.6%	12.9	120	Cumple
76	1	15/10/2017	22/10/2017	7	6.00%	136.0	113.4%	13.3	120	Cumple
77	1	17/10/2017	24/10/2017	7	6.00%	127.3	106.1%	12.5	120	Cumple
78	1	19/10/2017	26/10/2017	7	6.00%	134.0	111.6%	13.1	120	Cumple
79	1	22/10/2017	29/10/2017	7	6.00%	134.6	112.2%	13.2	120	Cumple
80	1	26/10/2017	2/11/2017	7	6.00%	135.0	112.5%	13.2	120	Cumple

Por indicación de la gerencia de obra, se fue disminuyendo el porcentaje de cemento gradualmente y evaluando su resistencia, en los datos mostrados se observa que cuando se usó 6% de cemento en la mezcla, también cumplía con la resistencia requerida, por esta razón se determinó que el óptimo diseño era con esta concentración de cemento, se presentó el nuevo diseño y fue aprobado por la supervisión de obra y el cliente. La figura N° 8.1. muestra gráficamente los datos de resistencia a la compresión mientras se varía el porcentaje de cemento, también se observa que todos los “puntos” de resistencia a la compresión están por encima de la requerida.

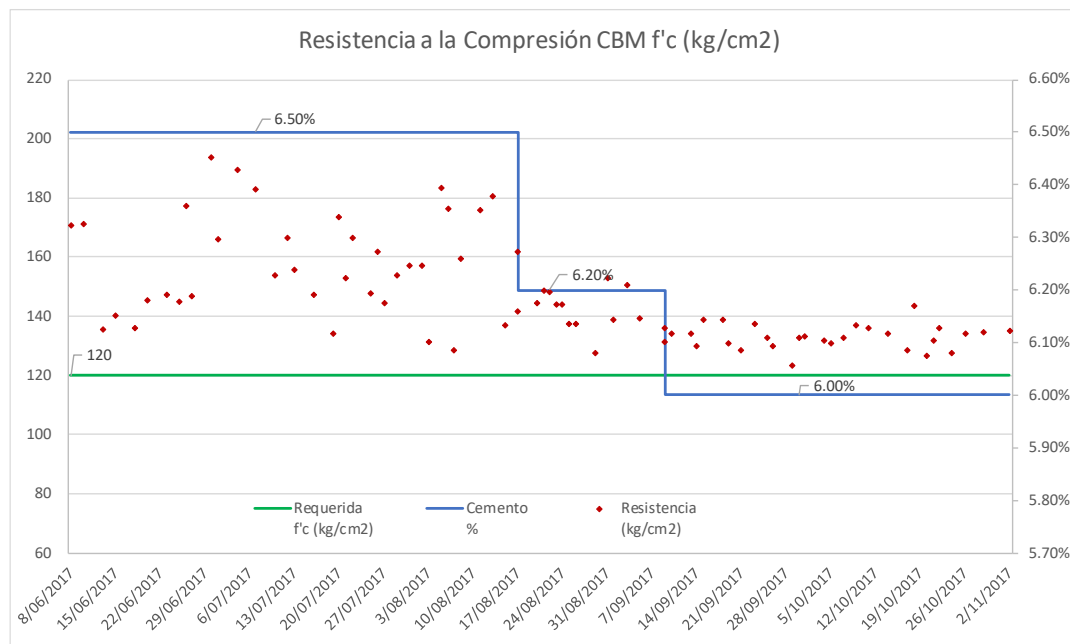


Figura N° 8. 1. Gráfica resistencia a la compresión variando % cemento

Adicional a los ensayos realizados con probetas cilíndricas tomadas desde la planta de suelos, se realizó una verificación con testigos de diamantina realizada por una empresa especialista subcontratada para corroborar el diseño. La figura N° 8.2. muestra el proceso de los ensayos realizados y la figura N°8.3 muestra gráficamente los resultados obtenidos de estos ensayos por testigos de diamantina.

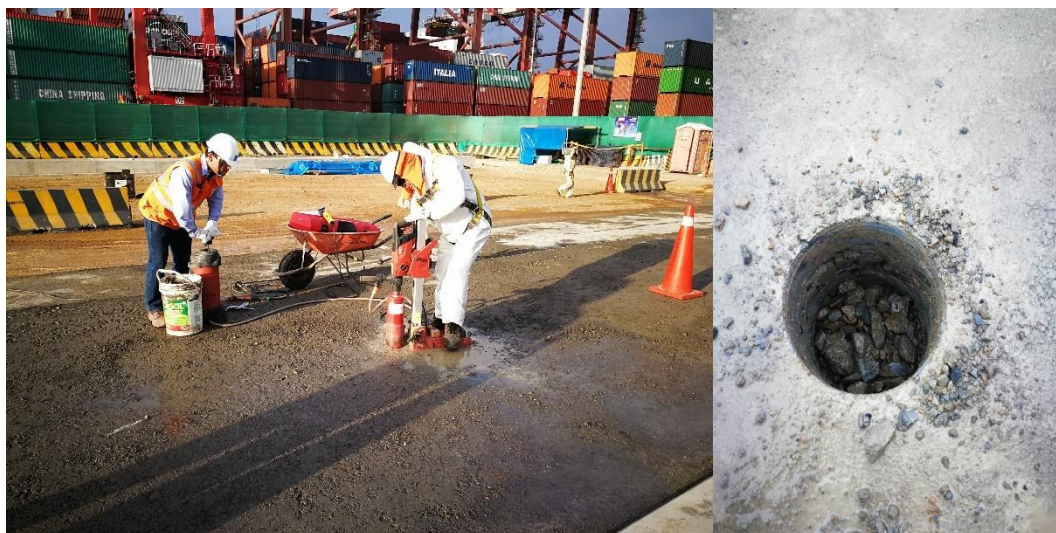


Figura N° 8. 2. Proceso de testigos de diamantinas

En las pruebas diamantinas se priorizó realizar los ensayos para los diseños con 6.2% y 6.0% de cemento, ya que los resultados de 6.5% eran positivos y la idea

era corroborar in situ si disminuyendo el cemento se obtenía resultados positivos. En el Anexo 09 se muestra la tabla de todos los ensayos de testigos de diamantina que se realizaron, los cuales sirven de data del gráfico en mención, en el cual se puede apreciar que existen ciertos valores que no cumplen con la resistencia requerida, sin embargo no son representativos ya que el promedio de ese lote supera la resistencia requerida. Con estas dos verificaciones de diseño, se confirmó que el diseño óptimo era de 6% de cemento, lo cual fue establecido para el saldo del proyecto.

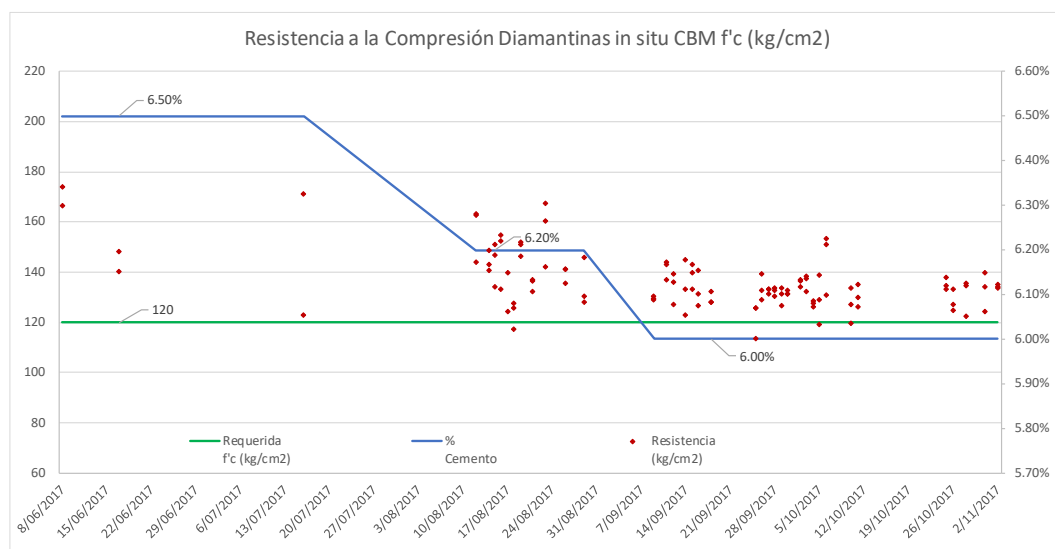


Figura N° 8. 3. Gráfica resistencia a la compresión testigos diamantinos

## 8.2. PORCENTAJE DE COMPACTACIÓN

El porcentaje de compactación es más un control de calidad que un parámetro de diseño, por este motivo solo se usó para corroborar las liberaciones de campo ya sea con densímetro nuclear o con reemplazo de arena. La figura N° 8.4. muestra gráficamente los resultados de los ensayos con densímetro nuclear realizados en todo el proyecto.

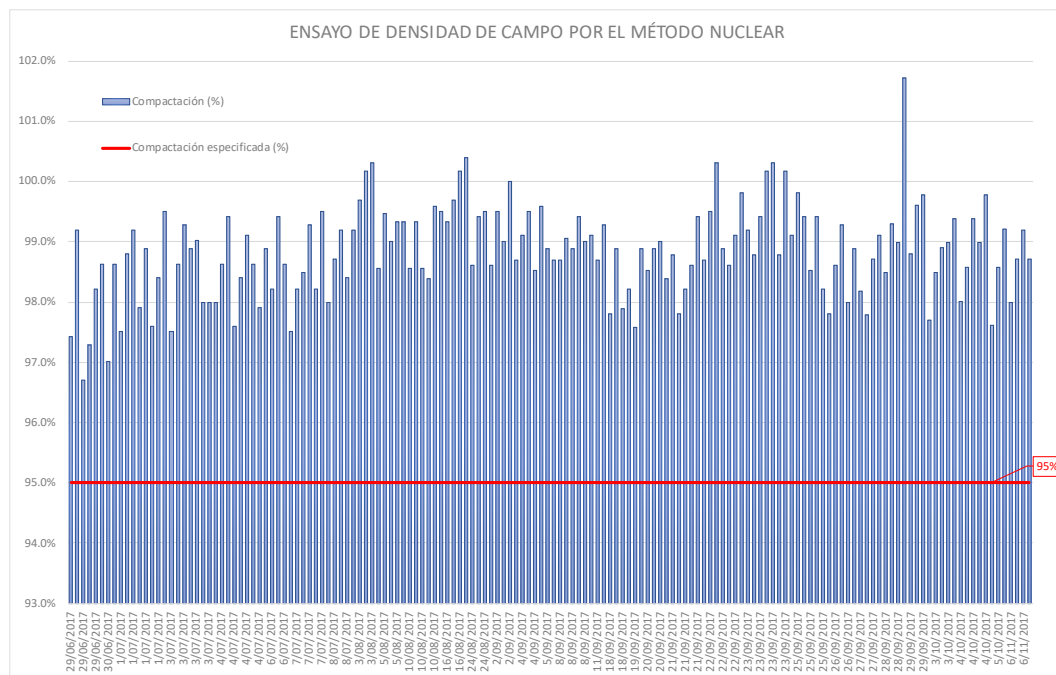


Figura N° 8. 4. Ensayos de densidad de campo

La data que produce esta gráfica esta mostrada en el Anexo 10. En esta información se puede apreciar que la densidad de campo cumple en el 100% de las veces, lo cual corrobora que el diseño del concreto está siendo ayudado por el óptimo contenido de humedad para aumentar su resistencia.

En el proceso de ejecución de los ensayos de densidad se pudo observar que la realización de la prueba cuando el CBM ya había fraguado era innecesaria, puesto que la mezcla ya había obtenido su consistencia dura, y la densidad era muy superior a la solicitada. La realización de la prueba de densidad tenía que ser cuando el CBM todavía no había fraguado, considerándola así como un suelo humedecido en proceso de compactación.

### 8.3. RENDIMIENTOS DE PRODUCCIÓN

En el presente subcapítulo se expone los tiempo y rendimientos que se obtuvieron en el proyecto los cuales fueron útiles para realizar el planeamiento constante de obra y la programación de recursos.

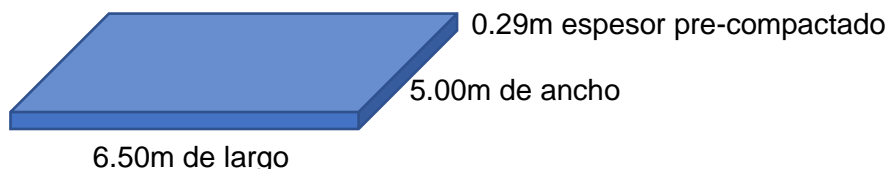
Como primer paso, se obtuvieron mediante mediciones los datos más representativos de los 3 equipos más importantes para la ejecución de CBM: planta de suelos, pavimentadora y rodillo (ver tabla N° 8.2)

Tabla N° 8. 2. Parámetros de operación de equipos de colocación de CBM  
Fuente: Elaboración propia

Pavimentadora	
Velocidad	1m/min
Acabado	Pre-compactado 70%
Revolución alta	2400 rpm
Ancho de pasada	4 - 5 m
Rodillo HAMM	
Capacidad	14 Ton
Compactación en Alta	20 - 30 Hz
Compactación en Baja	40 - 20 Hz
Velocidad	1.5 - 2.4 km/h
Planta de Suelos	
Tiempo preparación - Carguío	9 min

En la ejecución de los tramos de prueba se calculó que el espesor de la capa de mezcla se reducía desde 0.29m a 0.25m, es decir tenía un porcentaje de compresibilidad por rodillos de 86%. Entonces la pavimentadora dejaba el material en una capa de 0.29m para que posteriormente el rodillo deje en el espesor solicitado de 0.25m.

Observando el proceso de conformación con la pavimentadora se obtuvo que con un volquete de 15m<sup>3</sup> de capacidad se realizaban 6.50 metros de una capa de pavimento con un ancho promedio de 5.00 metros.



$$Volumen\ precompactado = 6.5 \times 5.0 \times 0.29 = 9.42\ m^3$$

$$Volumen\ compactado = 6.5 \times 5.0 \times 0.25 = 8.12\ m^3$$

Por la forma de ubicación del volquete respecto al chute de descarga de la planta de suelos (ver figura N° 8.5) no se podía transportar en su capacidad máxima, ya

que el material caía de forma cónica y un porcentaje del volumen del volquete se quedaba con espacios vacíos, es decir, el volquete no transportaba su capacidad prevista de  $15 \text{ m}^3$ , para obtener este volumen se tomó en consideración el tiempo de carguío de un volquete (9 minutos) y el ritmo de producción de la planta.



Figura N° 8. 5. Carguío de mezcla sobre volquetes

El ritmo de producción programado en la planta de suelos era de  $140 \text{ tn/hora}$ , de este dato se obtiene:

$$\text{Producción Planta} = 140 \frac{\text{ton}}{\text{h}} = 140 \frac{\text{ton}}{(60 \text{ min})} = 2.33 \frac{\text{ton}}{\text{min}}$$

$$\text{Masa de la mezcla} = \left( 2.33 \frac{\text{ton}}{\text{min}} \right) (9 \text{ min}) = 21 \text{ ton}$$

$$\text{Volumen en volquete} = \frac{\text{Masa}}{\text{Pe Suelto}} = \frac{21 \text{ ton}}{1.779 \text{ ton/m}^3} = 11.80 \text{ m}^3$$

$$\text{Compresibilidad} = \frac{\text{Volumen compactado}}{\text{Volumen suelto}} = \frac{8.12}{11.80} = 0.69 = 69\%$$

Con este valor de compresibilidad, se podía gestionar los recursos necesarios para alcanzar una producción solicitada en campo, es decir, si el rendimiento requerido por la programación de la obra era realizar  $400 \text{ m}^3$  compactados liberados por día, con el valor calculado podíamos obtener el volumen suelto y por ende las materias primas a solicitar, piedra, arena y cemento; sí como la cantidad de volquetes de acuerdo con el ciclo de transporte.

Otro punto importante que se analizó era definir la ruta crítica en el proceso de conformación de CBM, es decir, calcular si era necesaria la adquisición de una pavimentadora o rodillos adicionales. Para esto era indispensable determinar si la espera en la conformación se debía a la planta de suelos o a la pavimentadora, como se identificó que la planta de suelo producía un volquete en 9min y que la



pavimentadora tenía una velocidad de conformación de 1 metro por minuto, es decir conformaba un volquete en 6.5 minutos, y, asumiendo que proceso de cuadrar los volquetes hacia la posición correcta de la pavimentadora tomaba 30 segundos, entonces la ruta crítica era definida por la planta de suelos (9min > 7min) y que la pavimentadora tenía que “esperar” los volquetes; sin embargo, ese tiempo de holgura que se presenta por cada volquete era necesario en el caso que la pavimentadora tuviese que cambiar de posición hacia otra línea de ejecución o cuando tenía que volver a calibrar las líneas de referencia ya sea por culminar la primera capa y pasar a la segunda capa, o por culminar el área de pavimentación en la que estaba trabajando.

Respecto a los rodillos, la cisterna y la motoniveladora que realizaban el proceso posterior a la pavimentadora, estos equipos podían ser adquiridos con cierta facilidad, por lo tanto, no representaban una restricción al proceso de ejecución de pavimento CBM a comparación de la planta de suelos y la pavimentadora. La figura N° 8.6. muestra todos los equipos en proceso de conformación de CBM.

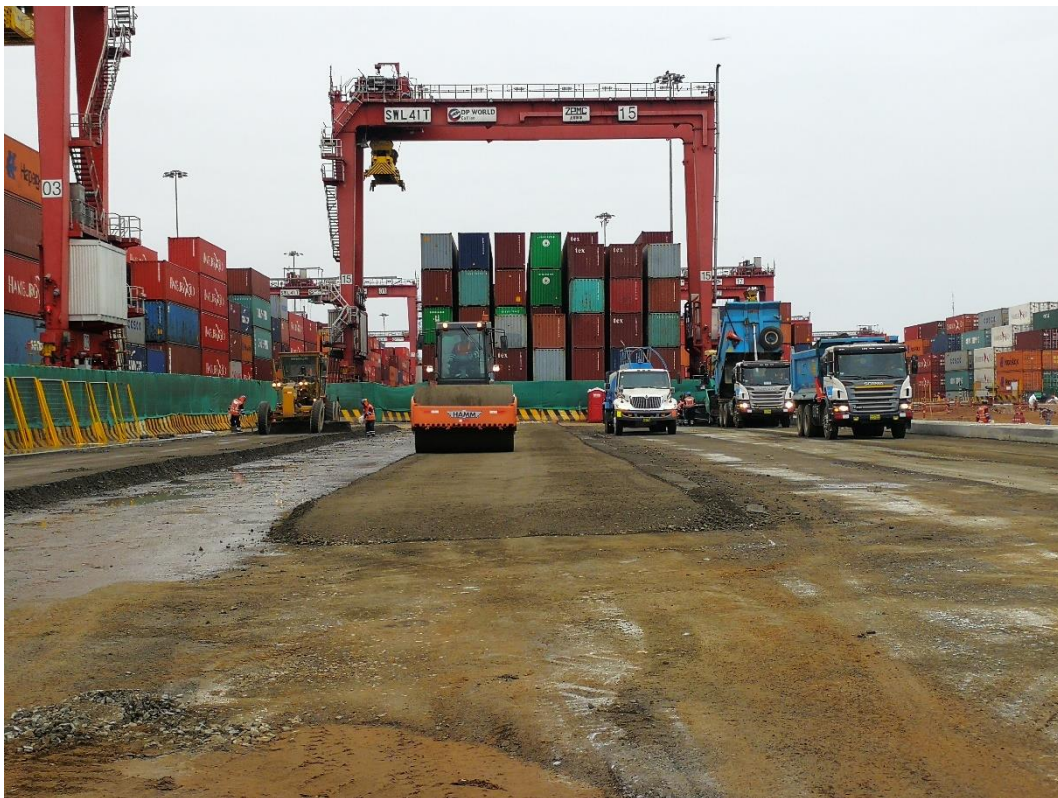


Figura N° 8. 6. Equipos en proceso de conformación de CBM

## CAPÍTULO IX. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo final se procederá a interpretar los datos mostrados en todos los capítulos precedentes, empezando desde las propiedades hasta de los materiales componentes, pasando por su calidad, productividad para finalmente mostrar los resultados de costos obtenidos en el proyecto.

### 9.1. ANALISIS DEL CBM COMO MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN

- Las propiedades de las materias primas, mostradas en las tablas del Capítulo IV, nos muestran materiales adecuados para la fabricación de concreto según las especificaciones técnicas.
- La determinación del tipo de cemento (mostrada en la tabla N° 4.1) fue realizada meramente de forma comercial, ya que los 3 candidatos cumplen con los requerimientos técnicos.
- La determinación de la cantera de agregados fue realizada en base a la distancia respecto al proyecto y a la oferta realizada por el proveedor, en la que incluía un descuento comercial cuando realizaban el contrato con transporte incluido.
- Todas las propiedades de los agregados y el agregado global cumplen con las especificaciones de las normas peruanas e inglesas.
- La proporción del agregado global 45-55 (mostrada en la tabla N° 4.9) se determinó considerando que se requiere la mayor cantidad posible de agregados finos en la mezcla, esto con la finalidad de poder rellenar los espacios vacíos al momento de la compactación.
- Las propiedades más representativas del CBM son la consistencia (considerada como nula) la que define a este tipo de materiales y la resistencia a la compresión que determina la “calidad” del producto, es por esta razón que la resistencia a la compresión es el parámetro que más se controla para poder definir el producto y los usos que se le puede dar.
- Para la realización del diseño de mezcla de CBM es mejor considerar al producto como un suelo a ser compactado, debido a que esto facilita considerablemente su interpretación con respecto a la filosofía de concreto.
- Considerando al CBM como suelo se puede analizar el óptimo contenido de humedad junto con la máxima densidad seca y con estos valores resulta ser más aplicable en el control de campo.



## 9.2. ANÁLISIS DE PRODUCTIVIDAD Y COSTOS

Para realizar este análisis procederemos a efectuar una comparación de las valorizaciones de los equipos involucrados en cada proceso; así como de los costos de implementación incurridos en cada una de ellas; desde el primer mes que fue donde se empezaron a realizar las pruebas de la producción hasta la finalización de trabajos de la base cementada.

En todos los casos, los equipos a utilizar representan gran porcentaje del presupuesto por lo que solo nos dedicaremos a analizar los equipos, ya que el personal y los materiales son similares en gran medida.

Consideraremos y compararemos 03 posibles casos para la fabricación de CBM4:

Alquiler de recicladora (experiencia muelle norte).

Implementación de planta de suelos disponible.

Alquiler de planta de suelos.

### 9.2.1. Alquiler de recicladora.

Los costos por valorizaciones de equipos corresponden a la información obtenida por el personal que laboró en el proyecto muelle norte en el año 2013 mostrándose en resumen en la tabla N° 9.1.

Tabla N° 9. 1. Costos de equipos con alquiler de recicladora  
Fuente: Elaboración propia

ALQUILER DE RECICLADORA					
Equipo	Cantidad	Costo unitario USD/h	Horas Mínimas Mes	Meses	Subtotal USD
Recicladora	1	300.00	180	7	378,000.00
Volquete	3	19.20	150	7	60,480.00
Camión Grúa	1	38.14	150	7	40,047.00
Rodillo	1	19.81	140	7	19,413.80
Motoniveladora	1	38.98	150	7	40,929.00
Total					<b>538,869.80</b>

Debido al método de trabajo de la recicladora, no existe ningún sistema de implementación, por ende no hay costo relacionado a este concepto. Sin embargo, dependiente del rendimiento de producción que se haya definido previamente en el proyecto, se debe considerar que las horas máquina de la motoniveladora o el camión grúa, pueden sobrepasar las horas mínimas, en esa situación el costo total de esta modalidad podría aumentar. Para fines prácticos de comparación vamos a considerar a todos los equipos con las mismas horas mínimas.

## 9.2.2. Implementación de la planta de suelos disponible.

Como se mencionó en capítulos anteriores, la planta de suelos disponible por la empresa contratista, se encontraba en condición de trabajar con normalidad, sin embargo, por fines de calidad, seguridad y producción, se realizaron una serie de implementaciones para poder producir CBM, la Tabla N° 9.2. enlista las implementaciones realizadas a la planta con sus respectivos costos incurridos.

Tabla N° 9. 2. Costos de implementación a planta de suelos disponible  
Fuente: Elaboración propia

Costos de implementación a planta de suelos disponible	USD
Fabricación de mesa para gusano transportador	4,973.98
Planchas inoxidable para tolva central y MO de soldadura	2,771.36
Reparación de faja transportadora	2,897.88
Compra de sistema de pesaje para faja (celdas).	5,854.00
Fabricación de barandas y cubiertas protectoras de seguridad	1,099.13
Subtotal	17,596.35

El uso de una planta de suelos para producir CBM va complementado con el uso de una excavadora de orugas para su abastecimiento de agregados y un grupo electrógeno para su energización, todo esto en cuanto a la preparación de la mezcla. Además, va relacionado con el uso de una esparcidora de agregados para la conformación. Estos equipos también son propiedad del contratista y tiene las tarifas mostradas en la Tabla N° 9.3. en donde además se obtiene el costo total por el uso de esta modalidad.

Tabla N° 9. 3. Costos de equipos con implementación de planta de suelos disponible  
Fuente: Elaboración propia

IMPLEMENTACIÓN PLANTA DE SUELOS DISPONIBLE					
Equipo	Cantidad	Costo unitario USD/h	Horas Mínimas Mes	Meses	Subtotal USD
Planta de suelos TICEL USM500	1	39.52	150	7	41,496.00
Implementación					17,596.35
Esparcidora de agregados	1	79.35	150	7	83,317.50
Excavadora orugas	1	38.73	180	7	48,799.80
Grupo electrógeno	1	10.66	180	7	13,431.60
Volquete	3	19.20	150	7	60,480.00
Camión Grúa	1	38.14	150	7	40,047.00
Rodillo	1	19.81	140	7	19,413.80
Motoniveladora	1	38.98	150	7	40,929.00
Total					<b>365,511.05</b>

Las tarifas ofertadas de los equipos propios del contratista son competitivas con el mercado nacional, obteniendo así los costos previstos más reales posibles independientemente de si los equipos son de la propiedad de la empresa contratista o no.

## 9.2.3. Alquiler de planta de suelos.

La tercera y última opción fue realizar el alquiler de una planta de suelos de terceras empresas, sin embargo, se debía realizar la implementación básica de seguridad y de calidad, en cuanto a las barandas y el gusano transportador para el control del cemento. La tabla N° 9.4. Muestra los costos de implementación incurridos, así como los costos de equipos bajo esta modalidad.

Tabla N° 9. 4. Costo de equipos con alquiler de planta de suelos  
Fuente: Elaboración propia

Costos de implementación a planta de suelos alquilada	USD
Fabricación de mesa para gusano transportador	4,973.98
Fabricación de barandas y cubiertas protectoras de seguridad	1,099.13
Subtotal	6,073.11

ALQUILER DE PLANTA					
Equipo	Cantidad	Costo unitario USD/h	Horas Mínimas Mes	Meses	Subtotal USD
Planta	1	85.00	180	7	107,100.00
Implementación					6,073.11
Esparcidora de agregados	1	79.35	150	7	83,317.50
Excavadora orugas	1	38.73	180	7	48,799.80
Grupo electrógeno	1	10.66	180	7	13,431.60
Volquete	3	19.20	150	7	60,480.00
Camión Grúa	1	38.14	150	7	40,047.00
Rodillo	1	19.81	140	7	19,413.80
Motoniveladora	1	38.98	150	7	40,929.00
Total					<b>419,591.81</b>

## 9.2.4. Análisis de costos

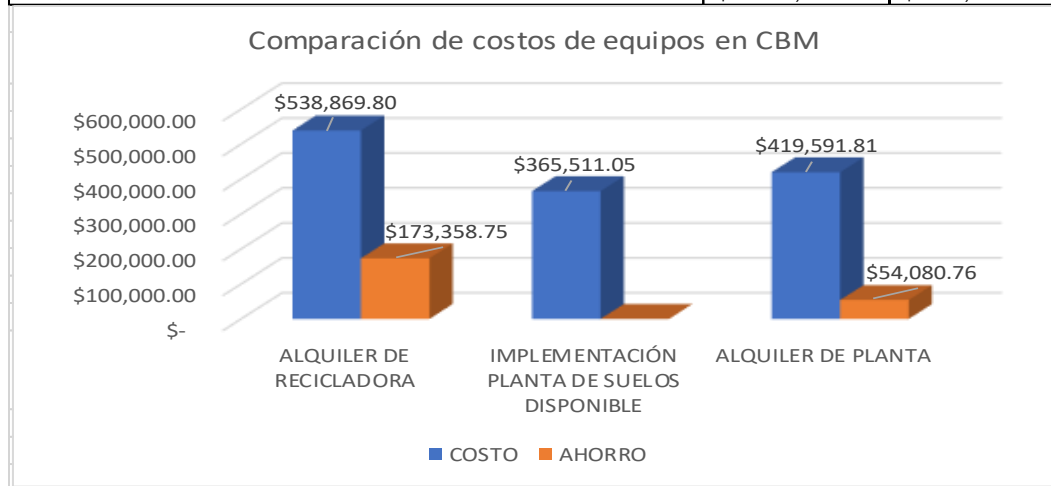
Habiéndose obtenido el costo de cada modalidad de operación que se puede realizar para la producción y conformación de CBM, procederemos a compararlas mediante la Tabla N° 9.5. en la que se observa el costo incurrido de cada método mostrado en color azul y el ahorro respecto al método empleado en el proyecto (Implementación de planta de suelos disponible) mostrado en color naranja.

Como fue mencionado en capítulos precedentes, el presupuesto de la obra fue realizado considerando la metodología empleada en el muelle norte, en la que se utilizó una recicladora y, por ende, para el proyecto se tenía presupuestado 1.85 millones de dólares para toda la colocación de la base cementada, en la Tabla N° 9.6. se puede observar el detalle de la composición consolidada del presupuesto para la partida de base cementada, en la cual se aprecia el monto aplicado para las subpartidas de la actividad; mientras que la tabla N° 9.7. muestra el desglosado de los precios unitarios como costo operativo, en el cual se detalla la mano de obra, equipos, y materiales analizada para cada subpartida.

Tabla N° 9. 5. Tabla comparativa de los métodos de fabricación de CBM

Fuente: Elaboración propia

METODO	COSTO	AHORRO
ALQUILER DE RECICLADORA	\$ 538,869.80	\$ 173,358.75
IMPLEMENTACIÓN PLANTA DE SUELOS DISPONIBLE	\$ 365,511.05	\$ -
ALQUILER DE PLANTA	\$ 419,591.81	\$ 54,080.76

Tabla N° 9. 6. Análisis unitarios de la base cementada  
Fuente: Proyecto ampliación terminal portuario DP World

ANÁLISIS UNITARIOS - BASE CEMENTADA					
Metrado:					25,174.60
Descripción	und	Rend	Costo Recurso	PU	Subtotal USD
Alquiler de terreno para Instalación de Planta	mes	4.0000	1,341.9188	0.2132	5,367.6750
Curado de base cementada - 1ra capa	m2	2.0000	0.8796	1.7591	44,285.3167
Curado de base cementada - 2da capa	m2	2.0000	1.3527	2.7053	68,105.4215
Conformación de base cementada	m3	1.0000	7.9791	7.9791	200,871.1321
Material Base cementada CBM4	m3	1.0650	36.0612	38.4052	966,836.3217
Preparación de suelo cemento	m3	1.0000	10.5999	10.5999	266,847.8149
Transporte de material granular D<1km	m3-km	1.3000	1.0070	1.3091	32,956.4850
Transporte de material granular D>1km	m3	24.7000	0.3485	8.6080	216,704.1339
Corte de juntas p=0.12m	ml	2.6700	0.7218	1.9272	48,517.2526
Total				73.5061	1,850,491.5534

Para un proyecto en el cual se tiene presupuestado USD 200,871.13 para la conformación de base cementada y USD 266,847.81 para la preparación de base cementada, las dos actividades más resaltantes operativamente hablando, que involucra los equipos analizados previamente, Las dos actividades hacen un total de USD 467,718.94 como costo, realizando la implementación de la planta de suelos disponible (método utilizado en el proyecto) se logró ahorrar USD 173,358.75 lo cual equivale aproximadamente al 37% de lo presupuestado. Todo este beneficio económico fue independiente a la utilidad planificada por la construcción.

Tabla N° 9. 7. APU's desconsolidados de la base cementada  
Fuente: Proyecto ampliación terminal portuario DP World

Descripción	Und	Elemen	Cuad	Rend		Costo Recurso	Costo Unitario	Costo Total
						Dolar USA	Dolar USA	Dolar USA
<b>Curado de base cementada - 1ra capa</b>	m2	Rendim: 0.0551	H-H/m2	Durac: 111.89 días			Vol. Met: 50,349.20	
		Avance: 450.00	m2/día	Jornada: 8.00 hh/día			Vol. H-H: 2,774.80	
14 Materiales Consumibles								
Rollo manta plastica 4 micras 100 m t	rollo	1.0000		0.0000		100.0000	0.1000	5,034.9200
Equipo Pulverizador/Curado (20 Lt)	und	2.0000		0.0100		106.4463	0.5322	26,797.4255
Total Rubro:14 - Materiales Consumibles							0.6322	31,832.3455
20 Mano de Obra								
Jefe de Grupo Civil	H-H	0.1000	C	0.0000		6.4312	0.0114	575.6507
Ayudante Civil	H-H	3.0000	C	0.0500		4.4231	0.2359	11,877.3205
Total Rubro:20 - Mano de Obra							0.2473	12,452.9713
COSTO (ANÁLISIS AUXILIAR)							<b>0.8796</b>	<b>44,285.3167</b>
<b>Curado de base cementada - 2da capa</b>	m2	Rendim: 0.0356	H-H/m2	Durac: 111.89 días			Vol. Met: 50,349.20	
		Avance: 450.00	m2/día	Jornada: 8.00 hh/día			Vol. H-H: 1,790.19	
14 Materiales Consumibles								
Emulsion cationica de rotura lenta CSS-1	lt	1.0000		1.0000		1.1954	1.1954	60,187.2078
Equipo Pulverizador/Curado (20 Lt)	und	2.0000		0.0000		106.4463	0.0000	0.0000
Total Rubro:14 - Materiales Consumibles							1.1954	60,187.2078
20 Mano de Obra								
Ayudante Civil	H-H	2.0000	C	0.0400		4.4231	0.1573	7,918.2137
Total Rubro:20 - Mano de Obra							0.1573	7,918.2137
COSTO (ANÁLISIS AUXILIAR)							<b>1.3527</b>	<b>68,105.4215</b>
<b>Conformacion de base cementada</b>	m3	Rendim: 0.1132	H-H/m3	Durac: 118.75 días			Vol. Met: 25,174.60	
		Avance: 212.00	m3/día	Jornada: 8.00 hh/día			Vol. H-H: 6,839.89	
20 Mano de Obra								
Jefe de Grupo - Turno noche	H-H	1.0000	C	0.0400		6.9649	0.2628	6,616.5663
Ayudante civil - turno noche	H-H	1.0000	C	0.0400		4.8196	0.1819	4,578.5027
Vigia - Turno noche	H-H	1.0000	C	0.0400		4.8196	0.1819	4,578.5027
Total Rubro:20 - Mano de Obra							0.6266	15,773.5717
31 Equipo Propio								
Torre de Iluminacion Terex RL4000 / 6 KW	H-M	2.0000		0.0800		2.7057	0.2042	5,140.7930
Rodillo Tandem CC 102 - 2,350 Kg - 30 Hp	H-M	1.0000		0.0400		21.5605	0.8136	20,482.1378
Rodillo Simple Rola 12,200kg de 136Hp (Hamm 3412-HT)	H-M	1.0000		0.0400		34.5538	1.3039	32,825.5653
Total Rubro:31 - Equipo Propio							2.3217	58,448.4961
34 Equipos Terceros								
Camión Cisterna de Agua de 4000 - 5000 Gl 4x4 - Turno noche	H-M	0.5000		0.0200		41.8324	0.7893	19,870.0775
Pavimentadora de Suelos s/Orugas de 600 tn/hr - Turno noche	H-M	1.0000		0.0400		100.7630	3.8024	95,723.3386
Total Rubro:34 - Equipos Terceros							4.5917	115,593.4161
95 Analisis Auxiliar								
Agua para construccion	m3	1.0000		0.1000		4.3916	0.4392	11,055.6483
Total Rubro:95 - Analisis Auxiliar							0.4392	11,055.6483
COSTO (ANÁLISIS AUXILIAR)							<b>7.9791</b>	<b>200,871.1321</b>
<b>Material Base cementada CBM4</b>	m3	Rendim: 284.8170	H-H/m3	Durac: 0.00 días			Vol. Met: 26,810.95	
		Avance: 0.00	m3/día	Jornada: 10.00 hh/día			Vol. H-H: 0.00	
11 Materiales Permanentes								
Cementos Tipo V - Puesto en obra	bol	1.0000		4.2300		6.0035	25.3950	680,863.5750
Piedra para concreto 3/4" (Puesto en planta)	m3	1.0000		0.7100		7.3790	5.2391	140,464.6826
Total Rubro:11 - Materiales Permanentes							30.6341	821,328.2577
14 Materiales Consumibles								
Aditivo retardante	lt	1.0000		1.7100		1.4000	2.3940	64,185.4119
Arena para concreto (Puesto en planta)	m3	1.0000		0.5000		4.7226	2.3613	63,308.0260
Total Rubro:14 - Materiales Consumibles							4.7553	127,493.4379
95 Analisis Auxiliar								
Agua para construccion	m3	1.0000		0.1500		4.3916	0.6719	18,014.6261
Total Rubro:95 - Analisis Auxiliar							0.6719	18,014.6261
COSTO (ANÁLISIS AUXILIAR)							<b>36.0612</b>	<b>966,836.3217</b>
<b>Preparacion de suelo cemento</b>	m3	Rendim: 0.1887	H-H/m3	Durac: 118.75 días			Vol. Met: 25,174.60	
		Avance: 212.00	m3/día	Jornada: 10.00 hh/día			Vol. H-H: 8,101.23	
14 Materiales Consumibles								
Elementos de desgaste - Planta de Suelos	US \$	1.0000		0.3000		1.0000	0.3000	7,552.3800
Total Rubro:14 - Materiales Consumibles							0.3000	7,552.3800
20 Mano de Obra								
Jefe de Grupo Civil	H-H	1.0000	C	0.0500		6.4312	0.3034	7,636.8758
Oficial Civil	H-H	1.0000	C	0.0500		4.9274	0.2324	5,851.1793
Ayudante Civil	H-H	2.0000	C	0.0900		4.4231	0.4173	10,504.7056
Total Rubro:20 - Mano de Obra							0.9531	23,992.7608
31 Equipo Propio								
Grupo Electrógeno Encapsulado Insonorizado 180-220kw	H-M	1.0000		0.0500		20.7709	0.9798	24,665.0007
Dosificadora de cemento	H-M	1.0000		0.0500		10.7890	0.5089	12,811.7657
Silo para cemento 100 ton	H-M	1.0000		0.0500		16.1030	0.7596	19,122.0384
Planta Mezcladora de Suelos Tiel USM500	H-M	1.0000		0.0500		49.5301	2.3363	58,816.1087
Total Rubro:31 - Equipo Propio							4.5846	115,414.9135
34 Equipos Terceros								
Compresora Neumática de 250 PCM	H-M	0.6000		0.0300		18.9743	0.5370	13,518.9826
Transportador helicoidal D=10"	H-M	3.0000		0.1400		8.7386	1.2366	31,130.6784
Cargador Sobre Llantas de 200 - 245 Hp, 3.5 m3	H-M	1.0000		0.0500		63.3594	2.9887	75,238.0995
Total Rubro:34 - Equipos Terceros							4.7623	119,887.7606
COSTO (ANÁLISIS AUXILIAR)							<b>10.5999</b>	<b>266,847.8149</b>
<b>Transporte de material granular D&lt;1km</b>	m3-km	Rendim: 0.0256	H-H/m3-km	Durac: 83.92 días			Vol. Met: 32,726.98	
		Avance: 390.00	m3-km/día	Jornada: 10.00 hh/día			Vol. H-H: 1,771.54	
20 Mano de Obra								
Ayudante Civil	H-H	1.0000	C	0.0300		4.4231	0.1134	3,711.6627
Total Rubro:20 - Mano de Obra							0.1134	3,711.6627
34 Equipos Terceros								
Camión Volquete 6x4 de 15 m3 de 400 - 440 HP	H-M	1.0000		0.0300		34.8504	0.8936	29,244.8224
Total Rubro:34 - Equipos Terceros							0.8936	29,244.8224
COSTO (ANÁLISIS AUXILIAR)							<b>1.0070</b>	<b>32,956.4850</b>
<b>Transporte de material granular D&gt;1km</b>	m3	Rendim: 0.0000	H-H/m3	Durac: 621.81 días			Vol. Met: 621,812.62	
		Avance: 1,000.00	m3/día	Jornada: 10.00 hh/día			Vol. H-H: 6,908.96	
34 Equipos Terceros								
Camión Volquete 6x4 de 15 m3 de 400 - 440 HP	H-M	1.0000		0.0100		34.8504	0.3485	216,704.1339
Total Rubro:34 - Equipos Terceros							0.3485	216,704.1339
COSTO (ANÁLISIS AUXILIAR)							<b>0.3485</b>	<b>216,704.1339</b>
<b>Corte de juntas p=0.12m</b>	ml	Rendim: 0.8582	H-H/ml	Durac: 5.58 días			Vol. Met: 67,216.18	
		Avance: 12,048.19	ml/día	Jornada: 10.00 hh/día			Vol. H-H: 1,244.76	
14 Materiales Consumibles								
DISCO PARA CORTE PC 300 DE 18"	und	1.0000	C	0.0000		354.1913	0.2940	19,760.1291
Accesorio para corte	und	1.0000		1.0000		5,000.0000	0.0744	5,000.0000
Total Rubro:14 - Materiales Consumibles							0.3684	24,760.1291
31 Equipo Propio								
Mini Cargador CAT 246 C - 73 HP	H-M	1.0000		0.0200		21.2062	0.3534	23,757.1235
Total Rubro:31 - Equipo Propio							0.3534	23,757.1235
COSTO (ANÁLISIS AUXILIAR)							<b>0.7218</b>	<b>48,517.2526</b>

## CONCLUSIONES

Los materiales granulares aglutinados (Bound Granular Material BGM), son materiales en los que las partículas están unidas mediante un aglutinante como los bituminosos y el cemento. Los materiales aglutinados hidráulicos son un grupo amplio de materiales que se solidifican al mezclarse con agua, y suelen incluir cemento, cenizas, escoria y otros. El Cement Bound Material (CBM) es un tipo específico de material aglutinado que usa el cemento como aglutinante. La aplicación del CBM varía dependiendo de su resistencia, que puede medirse en términos de CBR, resistencia a la compresión o inclusive de resistencia a la flexión. El comúnmente conocido como suelo estabilizado con cemento o suelo cemento es un tipo específico de CBM que se produce in situ para mejorar algún pavimento.

El proyecto Terminal de Contenedores Muelle Sur en el Terminal Portuario del Callao en Perú consiste en la ampliación del área pavimentada del patio de almacenamiento de contenedores, la remodelación de la zona de gates y balanzas y la remodelación de la zona de aforo físico, junto con otras obras misceláneas. La colocación de base cementada para el pavimento del patio de contenedores fue el gran interés del cliente y consistió en pavimentar 46,568 metros cuadrados con 23,284 metros cúbicos de base cementada CBM.

El producto final Cement Bound Material CBM resulta ser económicamente más rentable y constructivamente más efectivo en comparación con el concreto convencional de baja resistencia para los proyectos que requieran grandes áreas de colocación, puede ser considerado para trabajos de grandes rellenos, cimentaciones masivas, pavimentos, bases de losas, bases cementadas, reparaciones de emergencia, bases de muelles y protecciones de presas y terraplenes.

Realizar una implementación controlada en maquinarias comunes del mercado peruano para la preparación y colocación de Cement Bound Material CBM resulta ser más rentable que usar una maquinaria poco comercial con altos costes de alquiler.

El uso de una recicladora estabilizadora de suelos no es el equipo óptimo para la producción y conformación de Cement Bound Material CBM, en cambio se puede utilizar una planta de suelos especialmente adaptada para la preparación

y una esparcidora de agregados para la colocación, el transporte y compactación si son comunes con volquete y rodillos respectivamente.

El uso de una planta de suelos TICEL USM 500 y una extendidora sobre orugas Vogele Super 1800-2 para la preparación y conformación respectivamente han logrado un ahorro de 173,358.75USD de 467,718.94USD presupuestado inicialmente en el proyecto “Ampliación del Terminal Portuario Muelle Sur Fase 2A - DP World Callao”, lo cual equivale aproximadamente al 37% solo por adaptar un equipo propio.

El estudio de resistencia a la compresión realizado mediante la elaboración y ensayo de probetas cilíndricas de la mezcla producida por la planta de suelos demostró que el diseño óptimo se obtenía con un porcentaje de cemento del 6%, ya que esta concentración cumplía con la resistencia requerida del proyecto. Este resultado fue confirmado mediante pruebas con testigos de diamantina realizadas por una empresa especializada subcontratada, en las cuales se verificó que los diseños con 6% y 6.2% de cemento cumplían con la resistencia requerida, mientras que los resultados obtenidos con diseños con 6.5% de cemento eran positivos, pero no representativos a lo requerido en el proyecto. Por lo tanto, se estableció que el diseño óptimo para el saldo del proyecto era con un porcentaje de cemento del 6%. Estas verificaciones de diseño son importantes para garantizar la calidad y seguridad de la construcción y para cumplir con los requisitos del cliente y la supervisión de obra.

El porcentaje de compactación se utiliza principalmente como un control de calidad y no como un parámetro de diseño en el proyecto en cuestión. La figura N° 8.4. muestra los resultados de los ensayos de densidad de campo realizados con un densímetro nuclear y se puede apreciar que la densidad de campo cumple en el 100% de las veces. Esto confirma que el diseño del concreto está siendo ayudado por el contenido óptimo de humedad para aumentar su resistencia. Además, se observó que la prueba de densidad debería realizarse antes de que el CBM haya fraguado para que sea más efectiva como suelo humedecido en proceso de compactación.

## RECOMENDACIONES

Es muy importante apoyar la investigación en proyectos de construcción cuando se tengan que utilizar materiales, procesos o equipos desconocidos o poco habituales en el país. Estos recursos pueden tener propiedades y características únicas que los hacen adecuados para un proyecto en particular, pero también pueden presentar desafíos en términos de diseño y construcción. Al apoyar la investigación, se puede obtener información valiosa sobre el comportamiento del material en diferentes condiciones y cómo se puede trabajar con él de manera segura y efectiva. Además, la investigación puede llevar a la identificación de nuevos materiales o procesos de construcción que pueden mejorar la eficiencia y la durabilidad del proyecto en cuestión. En última instancia, invertir en investigación en este ámbito puede ahorrar tiempo y dinero, reducir los riesgos y aumentar la calidad de la construcción en general, como el ejemplo el presente proyecto.

El uso de maquinarias de construcción propias en lugar de alquiladas puede tener ciertas ventajas. En primer lugar, el propietario de la maquinaria puede garantizar su mantenimiento y su buen estado, lo que aumenta la confiabilidad y reduce el tiempo de inactividad, al ser maquinarias alquiladas por terceros. Además, el propietario tiene mayor control sobre su disponibilidad y uso, lo que puede resultar en un mejor cumplimiento de plazos y una mayor eficiencia en el proceso de construcción. Otra ventaja importante es la capacidad de personalizar la maquinaria según las necesidades del proyecto y las preferencias del contratista, lo aplicado en el presente proyecto. Sin embargo, es importante tener en cuenta que la adquisición de maquinarias de construcción propias puede requerir una inversión significativa y un mantenimiento constante, lo que puede no ser viable para todos los contratistas. En resumen, si se dispone de los recursos necesarios, el uso de maquinarias de construcción propias y que se puedan adaptar puede ser una opción ventajosa para mejorar la eficiencia y el control en el proceso de construcción, respecto a las maquinarias alquiladas por terceros.

Realizar varias muestras de concentración de cemento es una práctica recomendable para determinar el contenido óptimo en una mezcla. Al realizar múltiples pruebas, se pueden identificar las variables que afectan a la calidad del concreto y hacer ajustes en consecuencia. Además, el contenido óptimo de cemento puede variar en función de las condiciones específicas del proyecto,



como la humedad, la temperatura y la calidad de los materiales utilizados. Por lo tanto, es importante realizar pruebas en diferentes condiciones para asegurarse de que la mezcla de concreto sea resistente, duradera y cumpla con los requisitos del proyecto. La realización de múltiples pruebas también puede ayudar a identificar posibles problemas en la mezcla y evitar errores costosos en la construcción.

Se recomienda encarecidamente que se diseñen los pavimentos considerando tanto la compresión como la flexión del material. En los puertos, los pavimentos están expuestos a cargas de impacto significativas, como el peso de los contenedores, los vehículos de carga y los equipos de manipulación de contenedores. Si bien es cierto que el diseño por compresión es importante para garantizar la capacidad de carga vertical, es igualmente importante considerar el diseño por flexión para resistir las cargas horizontales y las vibraciones que se producen en los puertos. El diseño por flexión implica determinar la deformación máxima que sufre la losa de pavimento en función de las cargas aplicadas y dimensionar adecuadamente la sección transversal y el refuerzo de acero de ser necesario para resistir esas tensiones. Al considerar la flexión en el diseño de los pavimentos portuarios, se puede mejorar su resistencia y durabilidad, reducir el riesgo de daños y minimizar la necesidad de reparaciones y mantenimiento a largo plazo.

Es altamente recomendable que los responsables del proyecto en ejecución entablen comunicación con los responsables del proyecto predecesor, especialmente si se trata de un proyecto similar, como es el caso actual. El conocimiento y la experiencia obtenidos en el proyecto previo pueden ser invaluable para mejorar y optimizar el proyecto actual. Además, los responsables anteriores pueden ofrecer información valiosa sobre los obstáculos que enfrentaron, las soluciones que implementaron y las lecciones que aprendieron. La comunicación abierta y transparente con los responsables del proyecto anterior puede ayudar a evitar errores costosos y acelerar el éxito del proyecto actual.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Concrete Institute. (1999). *Roller-compacted mass concrete* (ACI 207.5R-99). American Concrete Institute.
- Araya, A. A. (2011). *Characterization of Unbound Granular Materials for Pavements* [Tesis de doctorado, Technische Universiteit Delft], TU Delft Repository.  
<https://resolver.tudelft.nl/uuid:1d964e6f-e7e5-4d2a-834b-db9b3504745f>
- Carrillo Vásquez, C. A. (2003). *Algunas consideraciones sobre aspectos relacionados con el concreto compactado con rodillo (CCR) empleado en la construcción de pavimentos*. Ministerio de Obras Públicas, El Salvador.  
<https://www.mop.gob.sv/wp-content/uploads/2010/03/ccr.pdf>
- Consorcio FCC-JJC. (2013). *Especificación técnica: Preparation, fill and compaction of cement bound granular mixture (CBGM)*. Lima, Perú.
- Curasi, D. (2016) *Diseño del concreto compactado con rodillo (CCR), para presas en la región de Puno* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Del Altiplano]. Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional del Altiplano.  
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/5340>
- Department for Transport of the United Kingdom (2014) *Using hydraulically bound mixtures at road Works* (TAL 3/14) [Folleto].  
<https://www.gov.uk/government/publications/hydraulically-bound-mixtures-use-tal-314>
- Díaz, J. A. (2016) *Análisis de los procedimientos constructivos de bases y sub-bases granulares para pavimentos flexibles* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México]. Repositorio Institucional de la UNAM.  
<https://ru.dgb.unam.mx/handle/20.500.14330/TES01000750294>
- Escalaya, M. R. (2006). *Diseño de Mezclas de Concreto Compactado con Rodillo Utilizando Conceptos de Compactación de Suelos* [Tesis posgrado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio Institucional UNI.  
<https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/761>
- Forero, A. M. (2012) *Rehabilitación de pavimentos fisurados por reflexión implementado sistemas de membrana antifisura S.A.M.I.* [Tesis de

pregrado, Pontificia Universidad Javeriana], Repositorio Institucional Javeriano.

<https://repository.javeriana.edu.co/handle/10554/11119>

Hansen, K. D., & Reinhardt, W. G. (1990). *Roller-compacted concrete dams*. McGraw-Hill.

Instituto Español de Cemento y sus Aplicaciones. (2008). *Manual de estabilización de suelos con cemento o cal*. IECA.

<https://www.ieca.es/producto/manual-de-estabilizacion-de-suelos-con-cemento-o-cal/>

National Highways. (2017). *Manual of contract documents for highway works: Volume 1 - Specification for highway works* (Standard No. MCHW). The Stationery Office.

McCormack, A. J. (1997). Subbase. Pavingexpert.

<https://www.pavingexpert.com/subbase#cement-hydraulically-bound-materials>.

Minaya González, S., & Ordóñez Huamán, A. (2006). *Diseño moderno de pavimentos asfálticos*. Universidad Nacional de Ingeniería.

Newman, J., & Choo, B. S. (Eds.). (2003). *Advanced concrete technology*. Elsevier Butterworth-Heinemann.

Rodriguez Andriolo, F. (1998). *The use of roller compacted concrete*. Oficina de Textos.

Erlingsson, S., Rahman, S., & Salour, F. (2017). Characteristic of unbound granular materials and subgrades based on multistage RLT testing. *Transportation Geotechnics*, 13, 28-42.

<https://doi.org/10.1016/j.trgeo.2017.08.009>

Universidad Mayor de San Simón. (2004). *Pavimentos* (Texto guía). Facultad de Ciencias y Tecnología.

U.S. Army Corps of Engineers. (1992). *Engineering and design: Roller-compacted concrete* (EM 1110-2-2006). Department of the Army.

Vögele. (2011). *Programa de productos: Extendedora sobre orugas SUPER 1800-2*. Joseph Vögele AG. <https://www.voegele.info>.

## ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Fotografías del proyecto .....	93
<b>Anexo 2.</b> Límites de granulometría para los agregados ASTM C33 .....	108
<b>Anexo 3.</b> Husos del agregado global según la norma inglesa BS 882 .....	109
<b>Anexo 4.</b> Análisis granulométricos de 3 muestras .....	109
<b>Anexo 5.</b> Métodos para óptimo contenido de humedad .....	114
<b>Anexo 6.</b> Cálculos del óptimo contenido de humedad .....	115
<b>Anexo 7.</b> Hoja de cálculo de resistencias a la compresión .....	121
<b>Anexo 8.</b> Tablas de calibración de planta de suelos .....	122
<b>Anexo 9.</b> Hoja de cálculo de resistencias a la compresión de pruebas diamantinas .....	125
<b>Anexo 10.</b> Tablas de ensayos de densidad de campo.....	127

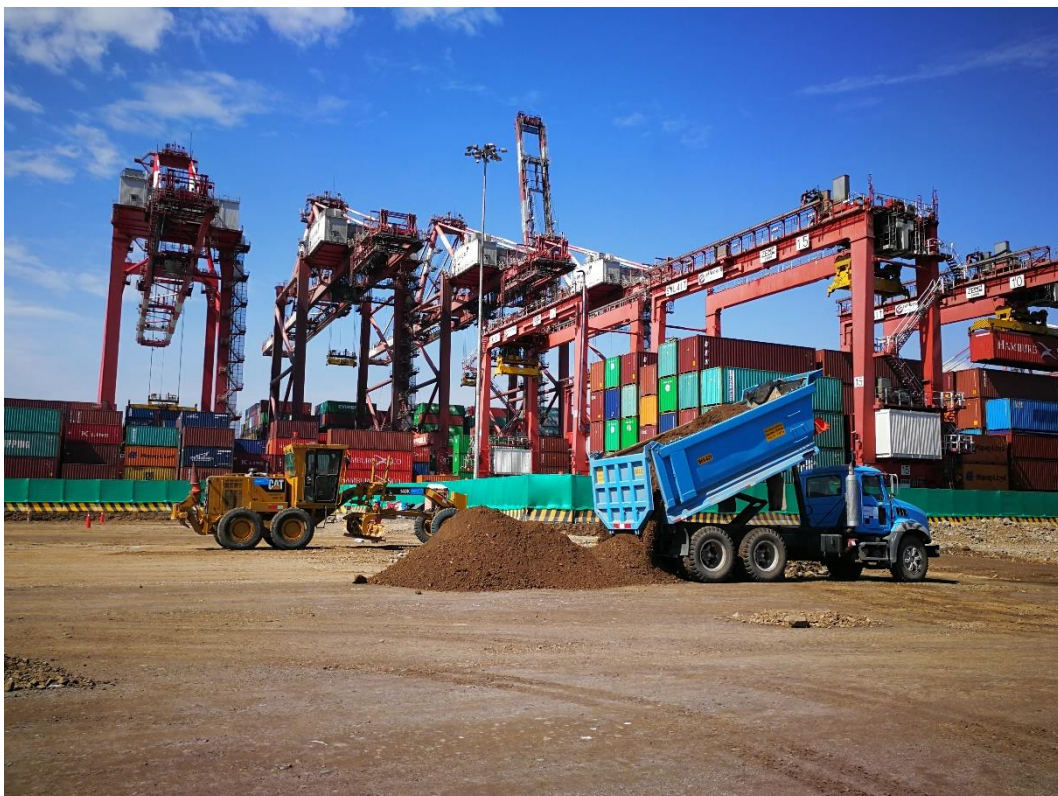
## ANEXOS

### Anexo 01

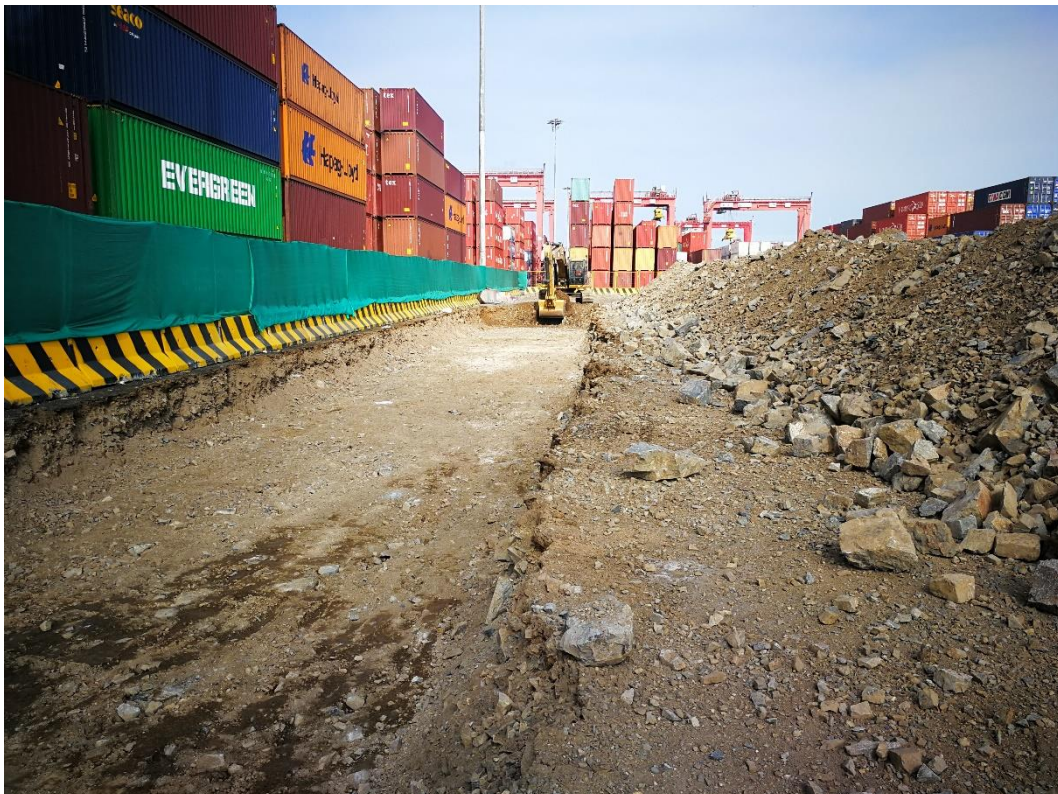
#### Fotografías del proyecto







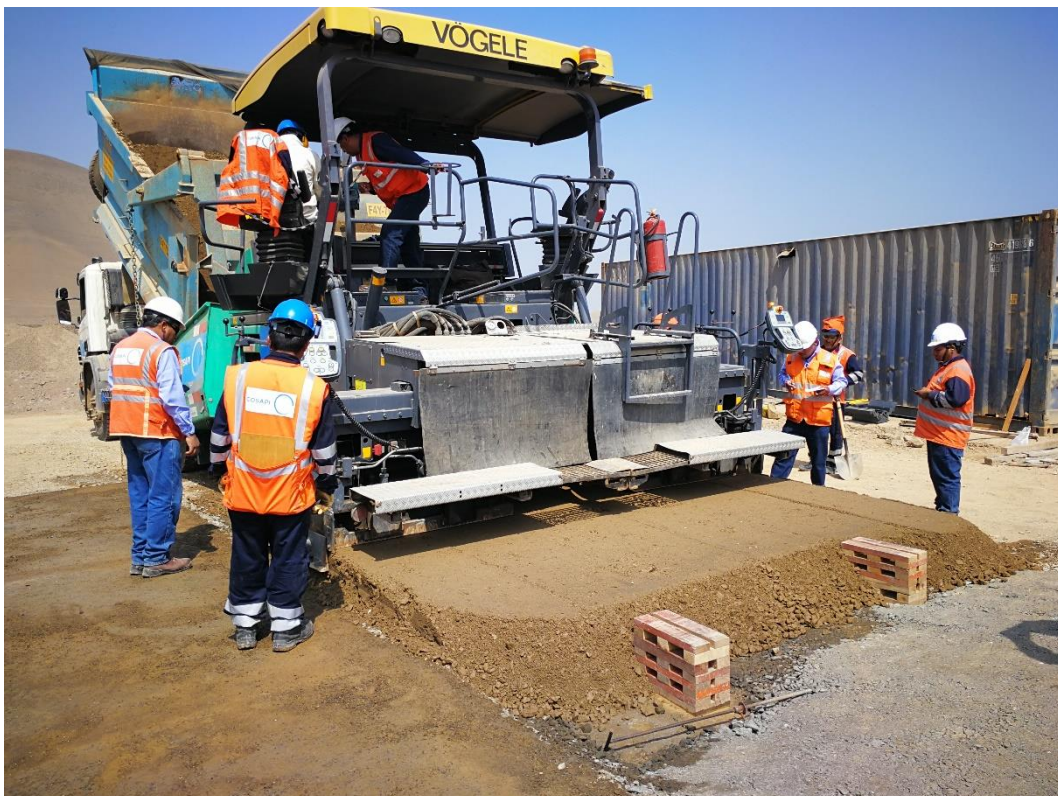




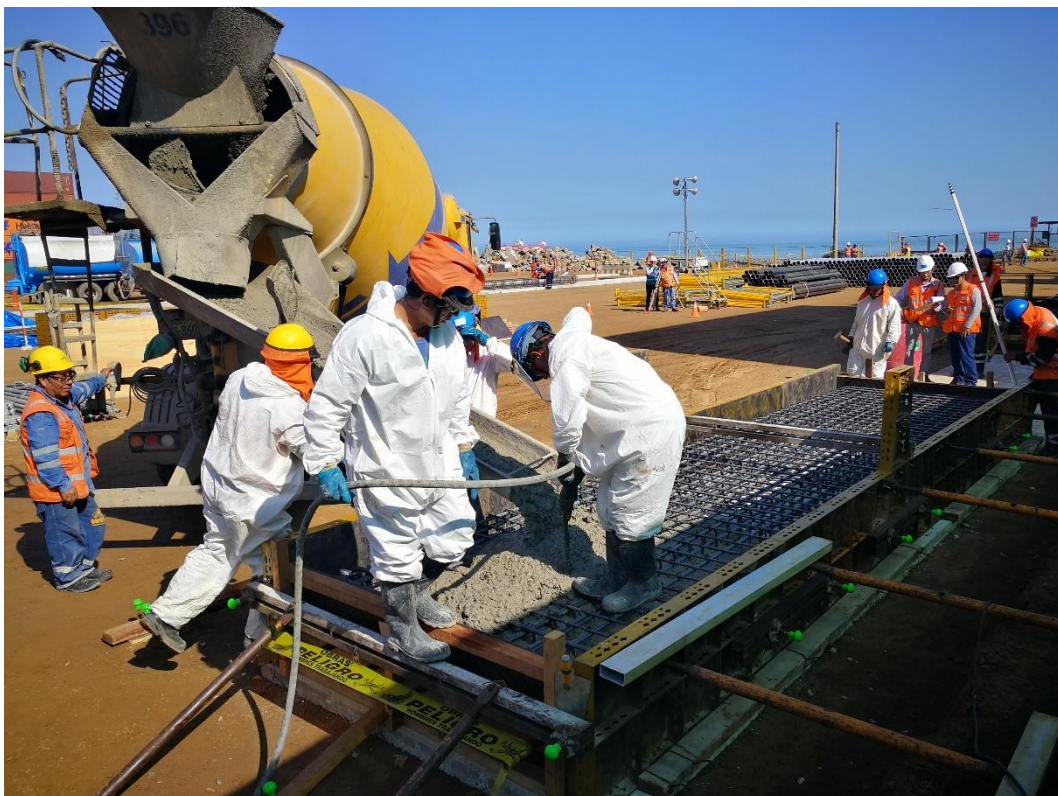








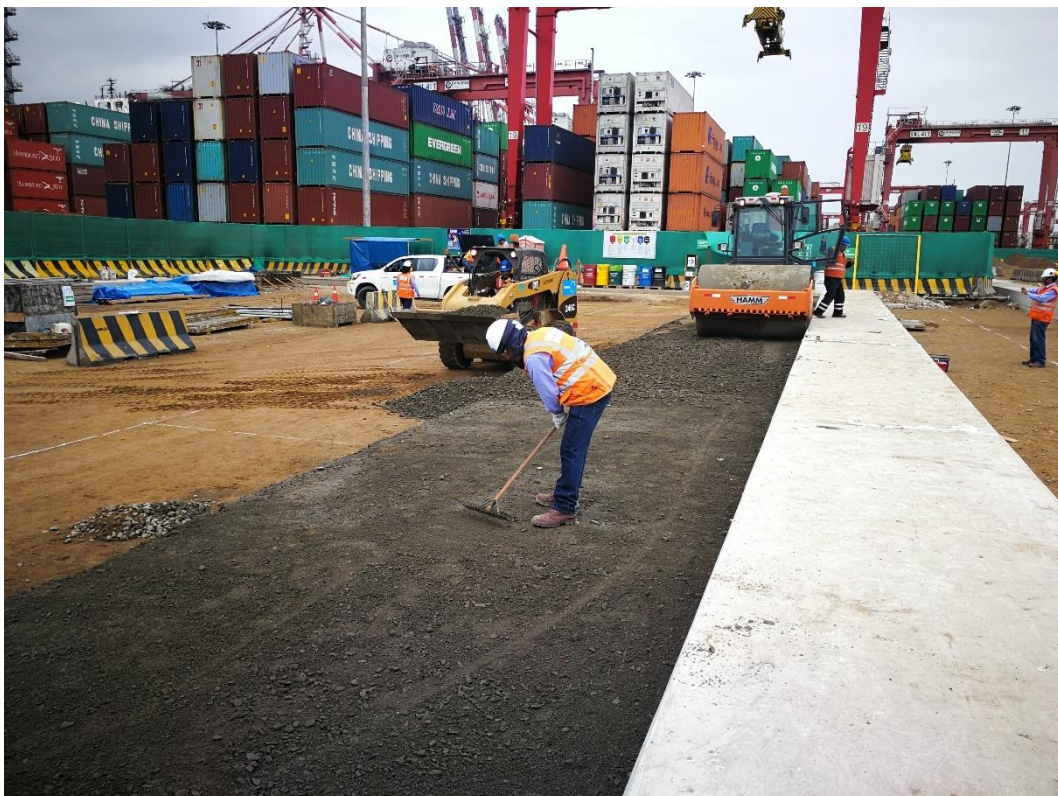


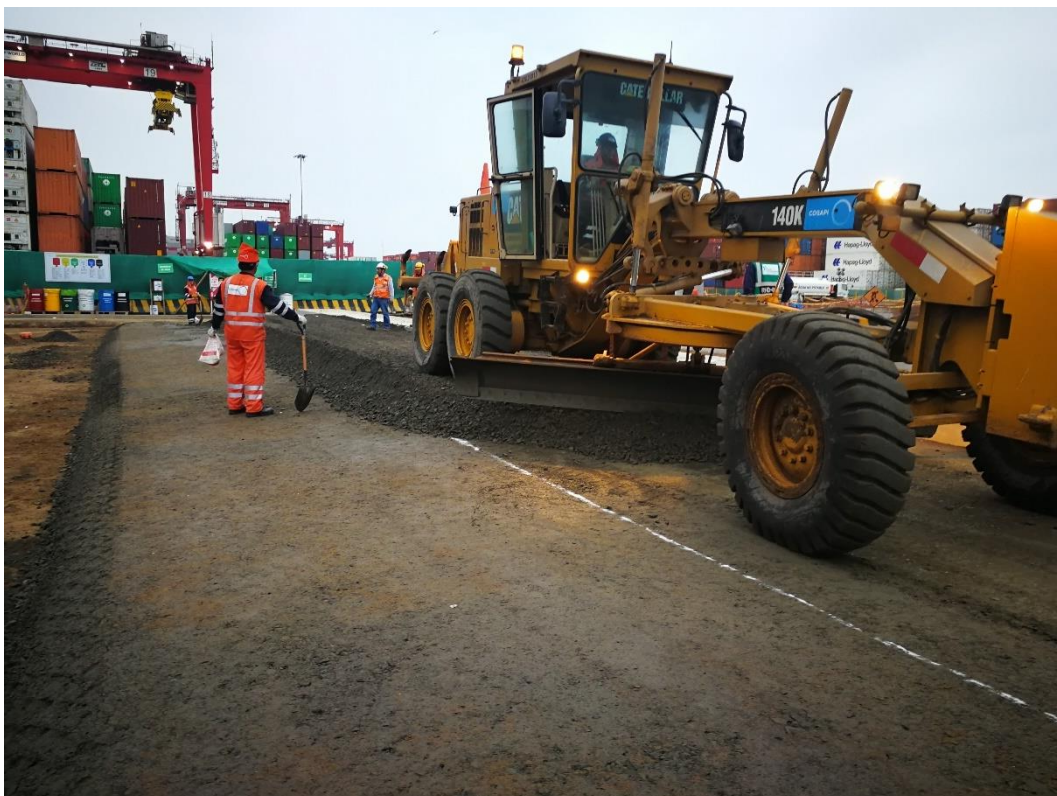




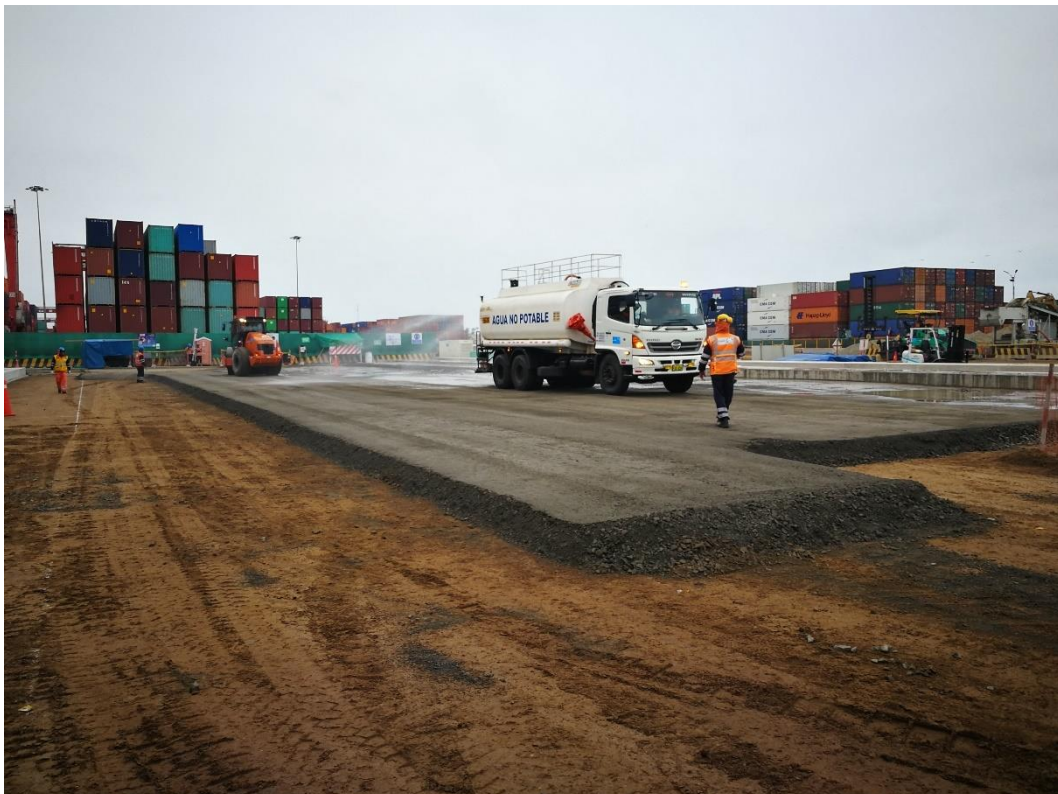




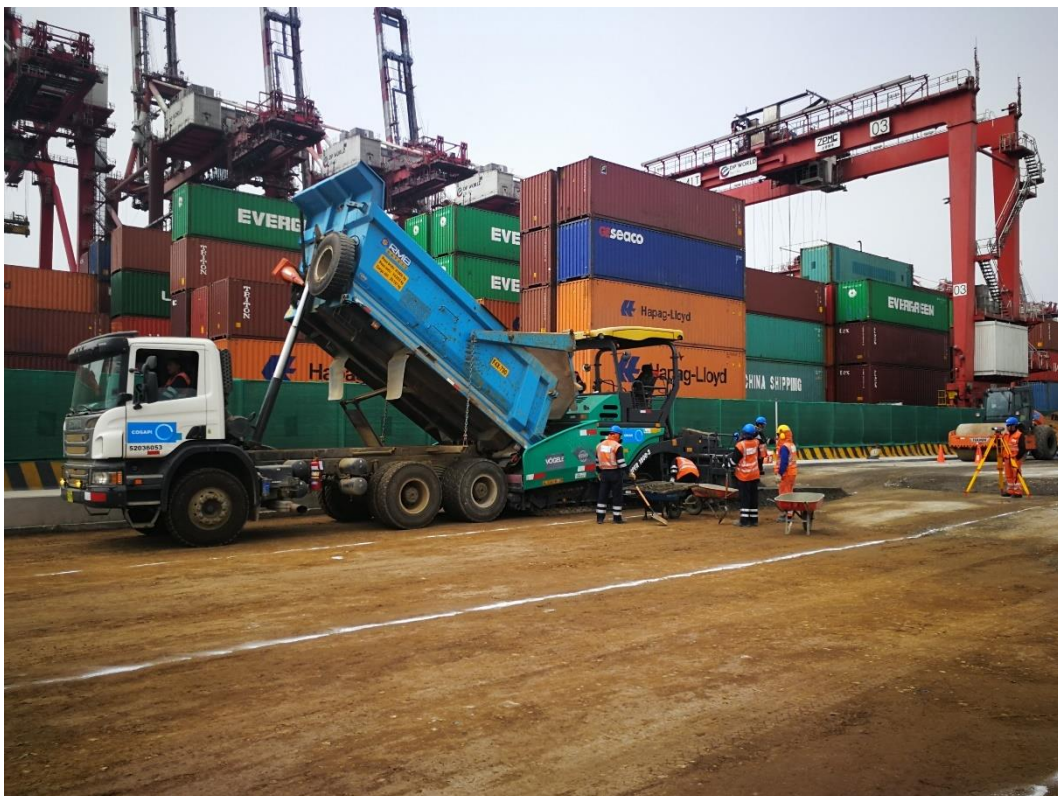




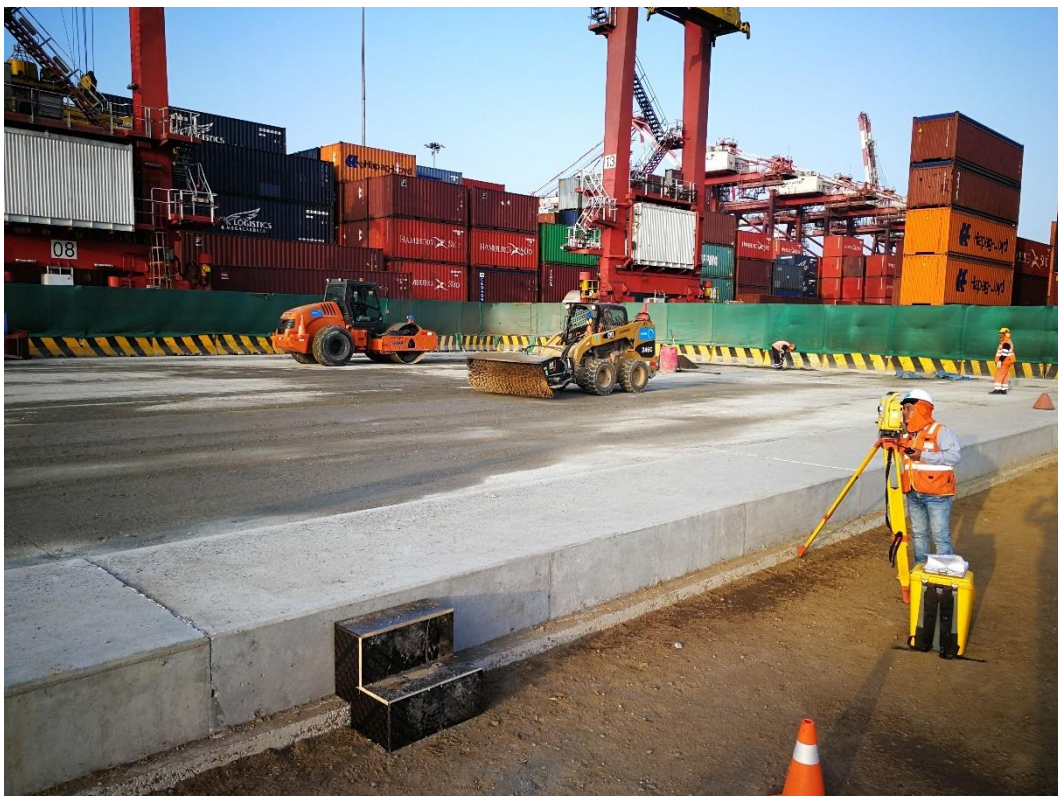




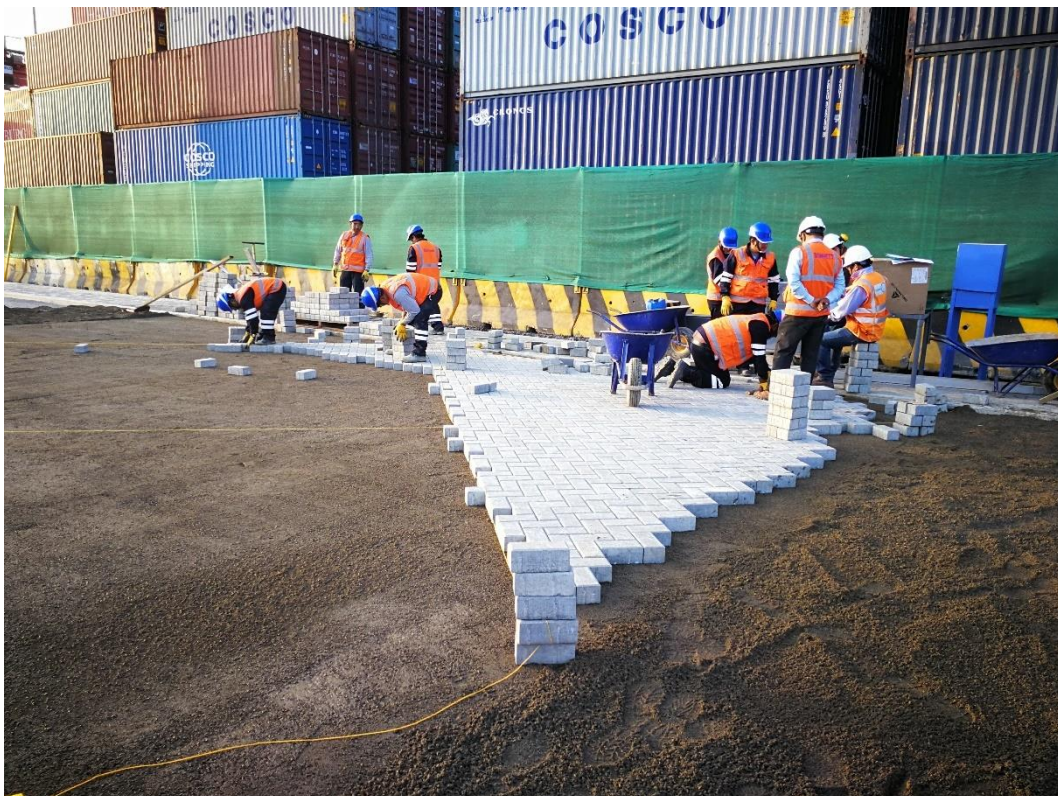
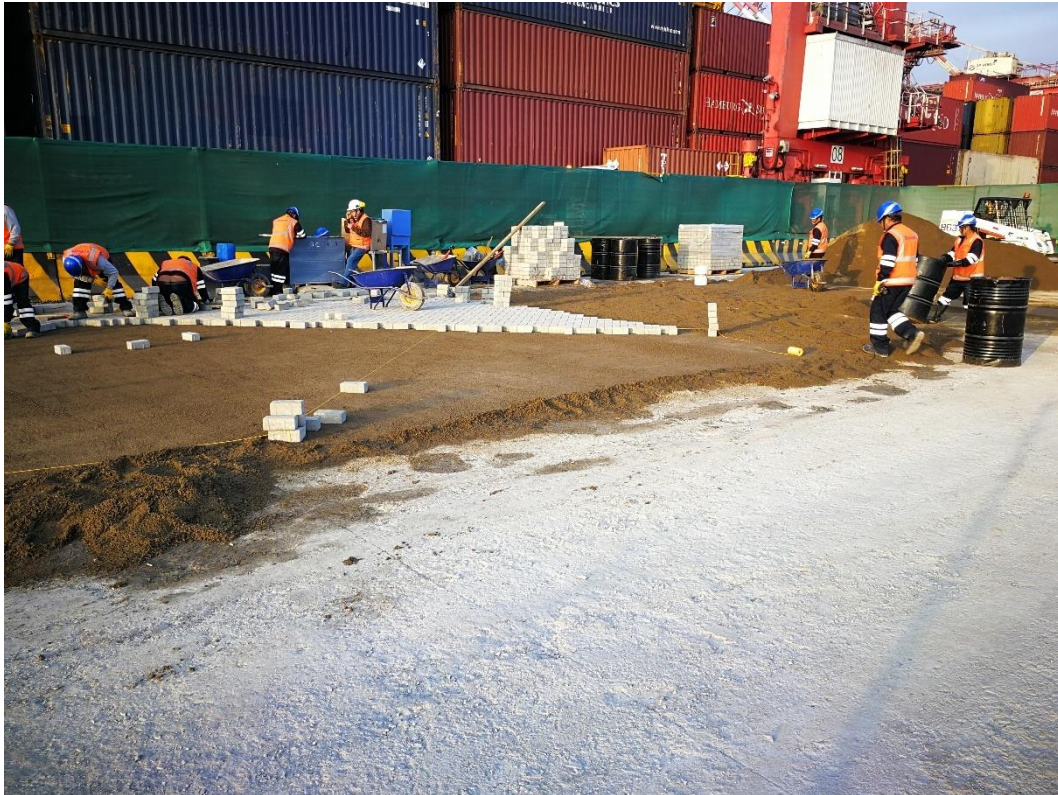




















## Anexo 02

### Límites de granulometría para los agregados ASTM C33

Tamiz	Porcentaje que pasa
3/8" (9.5 mm)	100
Nro. 4 (4.75 mm)	95 a 100
Nro. 8 (2.36 mm)	80 a 100
Nro. 16 (1.18 mm)	50 a 85
Nro. 30 (600 µm)	25 a 60
Nro. 50 (300 µm)	10 a 30
Nro. 100 (150 µm)	2 a 10

Número De Tamaño	Tamaño Nominal (abertura cuadrada)	Cantidades más finas que Cada Tamiz de Laboratorio (Abertura Cuadrada),												
		Porcentaje Masa												
		100 mm (4 pulg)	90 mm (3½ pulg)	75 mm (3 pulg)	63 mm (2½ pulg)	50 mm (2 pulg)	37.5 mm (1½ pulg)	25 mm (1 pulg)	19 mm (¾ pulg)	12.5 mm (½ pulg)	9.5 mm (¾ pulg)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)
1	90 a 37.5 mm	100	90 a 100	...	25 a 60	...	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
2	63 a 37.5 mm	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...	...
3	50 a 25 mm	...	...	...	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...	...
357	50 a 4.75 mm	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	...	0 a 5	...	...
4	37.5 a 19 mm	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	...	0 a 5	...	...	...
467	37.5 a 4.75 mm	...	...	...	...	100	95 a 100	...	35 a 70	...	10 a 30	0 a 5	...	...
5	25 a 12.5 mm	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...	...	...
56	25 a 9.5 mm	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	...	...
57	25 a 4.75 mm	...	...	...	...	...	100	95 a 100	...	25 a 60	...	0 a 10	0 a 5	...
6	19 a 9.5 mm	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	...	...
67	19 a 4.75 mm	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	...	20 a 55	0 a 10	0 a 5	...
7	12.5 a 4.745 mm	...	...	...	...	...	...	...	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	...
8	9.5 a 2.36 mm	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 a 100	10 a 30	0 a 5	0 a 5

### Anexo 03

Husos del agregado global según la norma inglesa BS 882 "Specification for aggregates from natural sources for concrete"

Sieve size	Percentage by mass passing BS sieves for nominal sizes			
	40 mm	20 mm	10 mm	5 mm <sup>a</sup>
50.0 mm	100	—	—	—
37.5 mm	95 to 100	100	—	—
20.0 mm	45 to 80	95 to 100	—	—
14.0 mm	—	—	100	—
10.0 mm	—	—	95 to 100	100
5.00 mm	25 to 50	35 to 55	30 to 65	70 to 100
2.36 mm	—	—	20 to 50	25 to 100
1.18 mm	—	—	15 to 40	15 to 45
600 µm	8 to 30	10 to 35	10 to 30	5 to 25
300 µm	—	—	5 to 15	3 to 20
150 µm	0 to 8 <sup>b</sup>	0 to 8 <sup>b</sup>	0 to 8 <sup>b</sup>	0 to 15

<sup>a</sup> Used mainly in precast concrete products.  
<sup>b</sup> Increased to 10 % for crushed rock sand.

### Anexo 04

Análisis granulométricos de 3 muestras de agregados finos y gruesos por separado.

ANÁLISIS GRANULOMETRICO AGREGADO FINO / MUESTRA 1							
CONCEPTO: AGREGADOS PARA ELABORACIÓN DE CBM							
MATERIAL : AGREGADO FINO							
CANTERA : ROMAÑA							
UBICACIÓN : KM 85 DE LA AV. NESTOR GAMBETA				Peso Muestra: 1427 gr			
TAMIZ	ABERTURA	MATERIAL RETENIDO		% ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES	
	(mm)	(gr.)	(%)	Retenido	Pasa	Inferior	Superior
2 1/2"	63.500				100.0		
2"	50.800				100.0		
1 1/2"	38.100				100.0		
1"	25.400				100.0		
3/4"	19.050				100.0		
1/2"	12.700				100.0		
3/8"	9.525				100.0		
N° 4	4.750	6.9	0.5	0.5	99.5		
N° 10	2.000	486.1	34.1	34.5	65.5		
N° 20	0.840	405.3	28.4	63.0	37.0		
N° 30	0.600	93.5	6.6	69.5	30.5		
N° 40	0.425	78.9	5.5	75.0	25.0		
N° 50	0.300	54.1	3.8	78.8	21.2		
N° 100	0.150	109.9	7.7	86.5	13.5		
N° 200	0.075	65.8	4.6	91.1	8.9		
< N° 200	Fondo	126.4	8.9	100.0	0.0		

ANÁLISIS GRANULOMETRICO AGREGADO FINO / MUESTRA 2							
CONCEPTO: AGREGADOS PARA ELABORACIÓN DE CBM							
MATERIAL : AGREGADO FINO							
CANTERA : ROMAÑA							
UBICACIÓN : KM 85 DE LA AV. NESTOR GAMBETA				Peso Muestra: 1741 gr			
TAMIZ	ABERTURA	MATERIAL RETENIDO		% ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES	
	(mm)	(gr.)	(%)	Retenido	Pasa	Inferior	Superior
2 1/2"	63.500				100.0		
2"	50.800				100.0		
1 1/2"	38.100				100.0		
1"	25.400				100.0		
3/4"	19.050				100.0		
1/2"	12.700				100.0		
3/8"	9.525				100.0		
N° 4	4.750	5.3	0.3	0.3	99.7		
N° 10	2.000	615.7	35.4	35.7	64.3		
N° 20	0.840	492.2	28.3	63.9	36.1		
N° 30	0.600	111.3	6.4	70.3	29.7		
N° 40	0.425	93.9	5.4	75.7	24.3		
N° 50	0.300	64.1	3.7	79.4	20.6		
N° 100	0.150	130.0	7.5	86.9	13.1		
N° 200	0.075	76.7	4.4	91.3	8.7		
< N° 200	Fondo	151.8	8.7	100.0	0.0		

ANÁLISIS GRANULOMETRICO AGREGADO FINO / MUESTRA 3							
CONCEPTO: AGREGADOS PARA ELABORACIÓN DE CBM							
MATERIAL : AGREGADO FINO							
CANTERA : ROMAÑA							
UBICACIÓN : KM 85 DE LA AV. NESTOR GAMBETA				Peso Muestra: 1631 gr			
TAMIZ	ABERTURA	MATERIAL RETENIDO		% ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES	
	(mm)	(gr.)	(%)	Retenido	Pasa	Inferior	Superior
2 1/2"	63.500				100.0		
2"	50.800				100.0		
1 1/2"	38.100				100.0		
1"	25.400				100.0		
3/4"	19.050				100.0		
1/2"	12.700				100.0		
3/8"	9.525				100.0		
N° 4	4.750	9.8	0.6	0.6	99.4		
N° 10	2.000	578.9	35.5	36.1	63.9		
N° 20	0.840	458.3	28.1	64.2	35.8		
N° 30	0.600	114.2	7.0	71.2	28.8		
N° 40	0.425	79.9	4.9	76.1	23.9		
N° 50	0.300	30.9	1.9	78.0	22.0		
N° 100	0.150	133.7	8.2	86.2	13.8		
N° 200	0.075	79.9	4.9	91.1	8.9		
< N° 200	Fondo	145.4	8.9	100.0	0.0		

ANÁLISIS GRANULOMETRICO AGREGADO FINO / PROMEDIO					
CONCEPTO : AGREGADOS PARA ELABORACIÓN DE CBM					
MATERIAL : AGREGADO FINO					
CANTERA : ROMANA					
UBICACIÓN : KM 85 DE LA AV. NESTOR GAMBETA					
TAMIZ	ABERTURA (mm)	M1 (%) Pasa	M2 (%) Pasa	M3 (%) Pasa	PROMEDIO (%) Pasa
2 1/2"	63.500	100.0	100.0	100.0	100.0
2"	50.800	100.0	100.0	100.0	100.0
1 1/2"	38.100	100.0	100.0	100.0	100.0
1"	25.400	100.0	100.0	100.0	100.0
3/4"	19.050	100.0	100.0	100.0	100.0
1/2"	12.700	100.0	100.0	100.0	100.0
3/8"	9.525	100.0	100.0	100.0	100.0
N° 4	4.750	99.5	99.7	99.4	99.5
N° 10	2.000	65.5	64.3	63.9	64.6
N° 20	0.840	37.0	36.1	35.8	36.3
N° 30	0.600	30.5	29.7	28.8	29.7
N° 40	0.425	25.0	24.3	23.9	24.4
N° 50	0.300	21.2	20.6	22.0	21.3
N° 100	0.150	13.5	13.1	13.8	13.5
N° 200	0.075	8.9	8.7	8.9	8.8
< N° 200	Fondo	0.0	0.0	0.0	0.0

ANÁLISIS GRANULOMETRICO AGREGADO GRUESO / MUESTRA 1							
CONCEPTO : AGREGADOS PARA ELABORACIÓN DE CBM							
MATERIAL : AGREGADO GRUESO							
CANTERA : ROMANA							
UBICACIÓN : KM 85 DE LA AV. NESTOR GAMBETA				Peso Muestra: 29239 gr			
TAMIZ	ABERTURA (mm)	MATERIAL RETENIDO		% ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES	
		(gr.)	(%)	Retenido	Pasa	Inferior	Superior
2 1/2"	63.500				100.0		
2"	50.800				100.0		
1 1/2"	38.100	250.0	0.9	0.9	99.1		
1"	25.400	10789.0	36.9	37.8	62.2		
3/4"	19.050	6087.0	20.8	58.6	41.4		
1/2"	12.700	5867.0	20.1	78.6	21.4		
3/8"	9.525	2442.0	8.4	87.0	13.0		
N° 4	4.750	3519.0	12.0	99.0	1.0		
N° 10	2.000	285.0	1.0	100.0	0.0		
N° 20	0.840			100.0	0.0		
N° 30	0.600			100.0	0.0		
N° 40	0.425			100.0	0.0		
N° 50	0.300			100.0	0.0		
N° 100	0.150			100.0	0.0		
N° 200	0.075			100.0	0.0		
< N° 200	Fondo			100.0	0.0		

ANÁLISIS GRANULOMETRICO AGREGADO GRUESO / MUESTRA 2							
CONCEPTO: AGREGADOS PARA ELABORACIÓN DE CBM							
MATERIAL : AGREGADO GRUESO							
CANTERA : ROMAÑA							
UBICACIÓN: KM 85 DE LA AV. NESTOR GAMBETA				Peso Muestra: 25259 gr			
TAMIZ	ABERTURA	MATERIAL RETENIDO		% ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES	
	(mm)	(gr.)	(%)	Retenido	Pasa	Inferior	Superior
2 1/2"	63.500				100.0		
2"	50.800				100.0		
1 1/2"	38.100	200.0	0.8	0.8	99.2		
1"	25.400	6496.0	25.7	26.5	73.5		
3/4"	19.050	4309.0	17.1	43.6	56.4		
1/2"	12.700	5422.0	21.5	65.0	35.0		
3/8"	9.525	2963.0	11.7	76.8	23.2		
N° 4	4.750	5391.0	21.3	98.1	1.9		
N° 10	2.000	478.0	1.9	100.0	0.0		
N° 20	0.840			100.0	0.0		
N° 30	0.600			100.0	0.0		
N° 40	0.425			100.0	0.0		
N° 50	0.300			100.0	0.0		
N° 100	0.150			100.0	0.0		
N° 200	0.075			100.0	0.0		
< N° 200	Fondo			100.0	0.0		

ANÁLISIS GRANULOMETRICO AGREGADO GRUESO / MUESTRA 3							
CONCEPTO: AGREGADOS PARA ELABORACIÓN DE CBM							
MATERIAL : AGREGADO GRUESO							
CANTERA : ROMAÑA							
UBICACIÓN: KM 85 DE LA AV. NESTOR GAMBETA				Peso Muestra: 26060 gr			
TAMIZ	ABERTURA	MATERIAL RETENIDO		% ACUMULADOS		ESPECIFICACIONES	
	(mm)	(gr.)	(%)	Retenido	Pasa	Inferior	Superior
2 1/2"	63.500				100.0		
2"	50.800				100.0		
1 1/2"	38.100	260.0	1.0	1.0	99.0		
1"	25.400	9694.0	37.2	38.2	61.8		
3/4"	19.050	5134.0	19.7	57.9	42.1		
1/2"	12.700	5108.0	19.6	77.5	22.5		
3/8"	9.525	2163.0	8.3	85.8	14.2		
N° 4	4.750	3310.0	12.7	98.5	1.5		
N° 10	2.000	391.0	1.5	100.0	0.0		
N° 20	0.840			100.0	0.0		
N° 30	0.600			100.0	0.0		
N° 40	0.425			100.0	0.0		
N° 50	0.300			100.0	0.0		
N° 100	0.150			100.0	0.0		
N° 200	0.075			100.0	0.0		
< N° 200	Fondo			100.0	0.0		



ANÁLISIS GRANULOMETRICO AGREGADO GRUESO / PROMEDIO					
CONCEPTO : AGREGADOS PARA ELABORACIÓN DE CBM					
MATERIAL : AGREGADO FINO					
CANTERA : ROMANA					
UBICACIÓN : KM 85 DE LA AV. NESTOR GAMBETA					
TAMIZ	ABERTURA (mm)	M1 (%) Pasa	M2 (%) Pasa	M3 (%) Pasa	PROMEDIO (%) Pasa
2 1/2"	63.500	100.0	100.0	100.0	100.0
2"	50.800	100.0	100.0	100.0	100.0
1 1/2"	38.100	99.1	99.2	99.0	99.1
1"	25.400	62.2	73.5	61.8	65.8
3/4"	19.050	41.4	56.4	42.1	46.7
1/2"	12.700	21.4	35.0	22.5	26.3
3/8"	9.525	13.0	23.2	14.2	16.8
Nº 4	4.750	1.0	1.9	1.5	1.5
Nº 10	2.000	0.0	0.0	0.0	0.0
Nº 20	0.840	0.0	0.0	0.0	0.0
Nº 30	0.600	0.0	0.0	0.0	0.0
Nº 40	0.425	0.0	0.0	0.0	0.0
Nº 50	0.300	0.0	0.0	0.0	0.0
Nº 100	0.150	0.0	0.0	0.0	0.0
Nº 200	0.075	0.0	0.0	0.0	0.0
< Nº 200	Fondo	0.0	0.0	0.0	0.0

## Anexo 05

### Métodos para determinación del óptimo contenido de humedad según norma ASTM D-1557.

#### 1. Scope\*

1.1 These test methods cover laboratory compaction methods used to determine the relationship between water content and dry unit weight of soils (compaction curve) compacted in a 4- or 6-in. (101.6 or 152.4 mm) diameter mold with a 10-lbf. (44.5-N) rammer dropped from a height of 18 in. (457 mm) producing a compactive effort of 56,000 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (2,700 kN-m/m<sup>3</sup>).

NOTE 1—Soils and soil-aggregate mixtures should be regarded as natural occurring fine- or coarse-grained soils or composites or mixtures of natural soils, or mixtures of natural and processed soils or aggregates such as silt, gravel, or crushed rock.

NOTE 2—The equipment and procedures are the same as proposed by the U.S. Corps of Engineers in 1945. The modified effort test (see 3.2.2) is sometimes referred to as the Modified Proctor Compaction Test.

1.2 These test methods apply only to soils (materials) that have 30 % or less by mass of their particles retained on the 3/4-in. (19.0-mm) sieve.

NOTE 3—For relationships between unit weights and water contents of soils with 30 % or less by weight of material retained on the 3/4-in. (19.0-mm) sieve to unit weights and water contents of the fraction passing the 3/4-in. (19.0-mm) sieve, see Practice D 4718.

1.3 Three alternative methods are provided. The method used shall be as indicated in the specification for the material being tested. If no method is specified, the choice should be based on the material gradation.

##### 1.3.1 Method A:

1.3.1.1 *Mold*—4-in. (101.6-mm) diameter.

1.3.1.2 *Material*—Passing No. 4 (4.75-mm) sieve.

1.3.1.3 *Layers*—Five.

1.3.1.4 *Blows per layer*—25.

1.3.1.5 *Use*—May be used if 20 % or less by mass of the material is retained on the No. 4 (4.75-mm) sieve.

1.3.1.6 *Other Use*—If this method is not specified, materials that meet these gradation requirements may be tested using Methods B or C.

##### 1.3.2 Method B:

1.3.2.1 *Mold*—4-in. (101.6-mm) diameter.

1.3.2.2 *Material*—Passing 3/8-in. (9.5-mm) sieve.

1.3.2.3 *Layers*—Five.

1.3.2.4 *Blows per layer*—25.

1.3.2.5 *Use*—Shall be used if more than 20 % by mass of the material is retained on the No. 4 (4.75-mm) sieve and 20 % or less by mass of the material is retained on the 3/8-in. (9.5-mm) sieve.

1.3.2.6 *Other Use*—If this method is not specified, materials that meet these gradation requirements may be tested using Method C.

##### 1.3.3 Method C:

1.3.3.1 *Mold*—6-in. (152.4-mm) diameter.

1.3.3.2 *Material*—Passing 3/4-in. (19.0-mm) sieve.

1.3.3.3 *Layers*—Five.

1.3.3.4 *Blows per layer*—56.

1.3.3.5 *Use*—Shall be used if more than 20 % by mass of the material is retained on the 3/8-in. (9.53-mm) sieve and less than 30 % by mass of the material is retained on the 3/4-in. (19.0-mm) sieve.

1.3.4 The 6-in. (152.4-mm) diameter mold shall not be used with Method A or B.

NOTE 4—Results have been found to vary slightly when a material is tested at the same compactive effort in different size molds.

1.4 If the test specimen contains more than 5 % by mass of oversize fraction (coarse fraction) and the material will not be included in the test, corrections must be made to the unit weight and water content of the test specimen or to the appropriate field in place density test specimen using Practice D 4718.

## Anexo 06

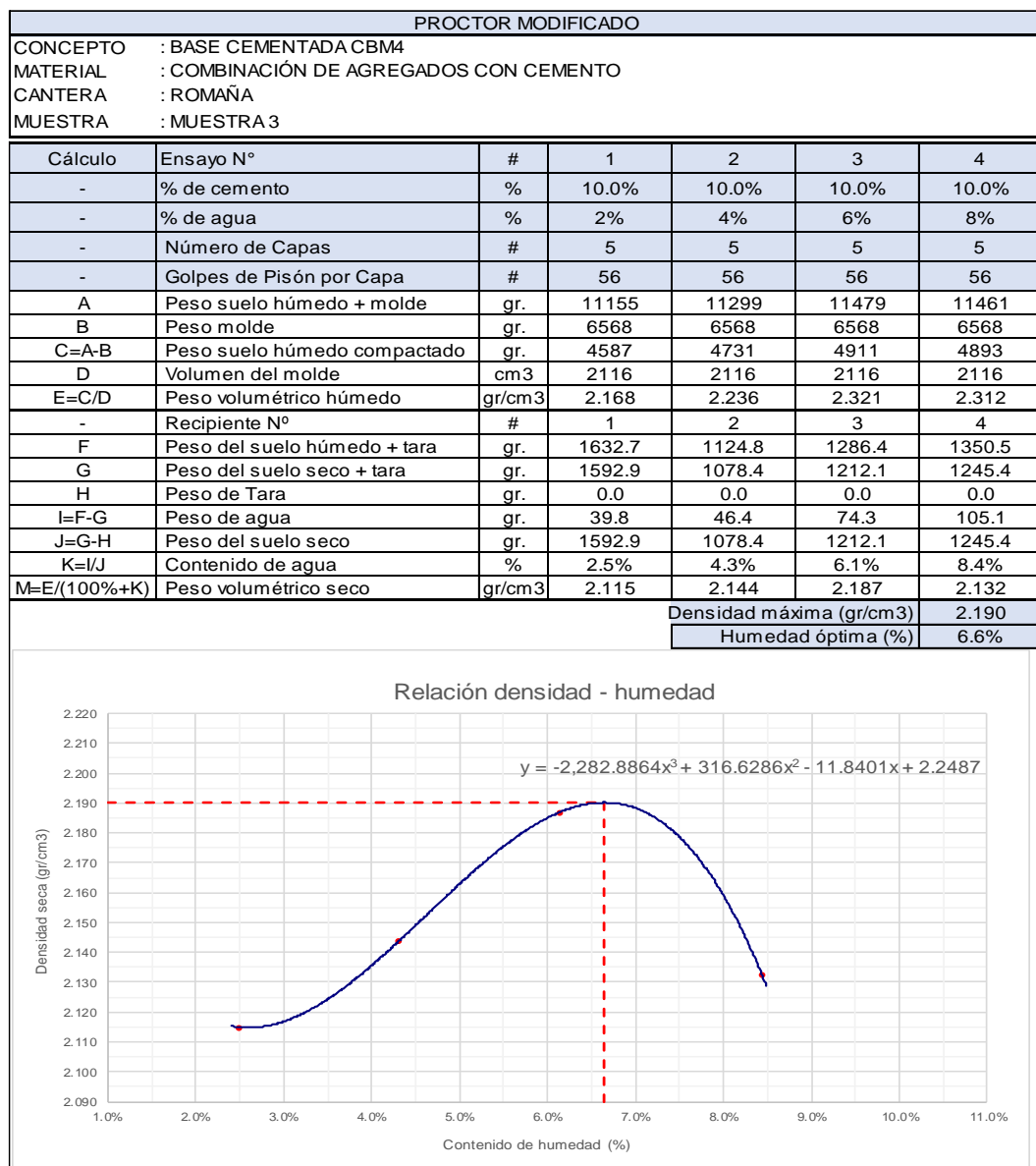
Cálculos del óptimo contenido de humedad para cada dosificación de cemento.

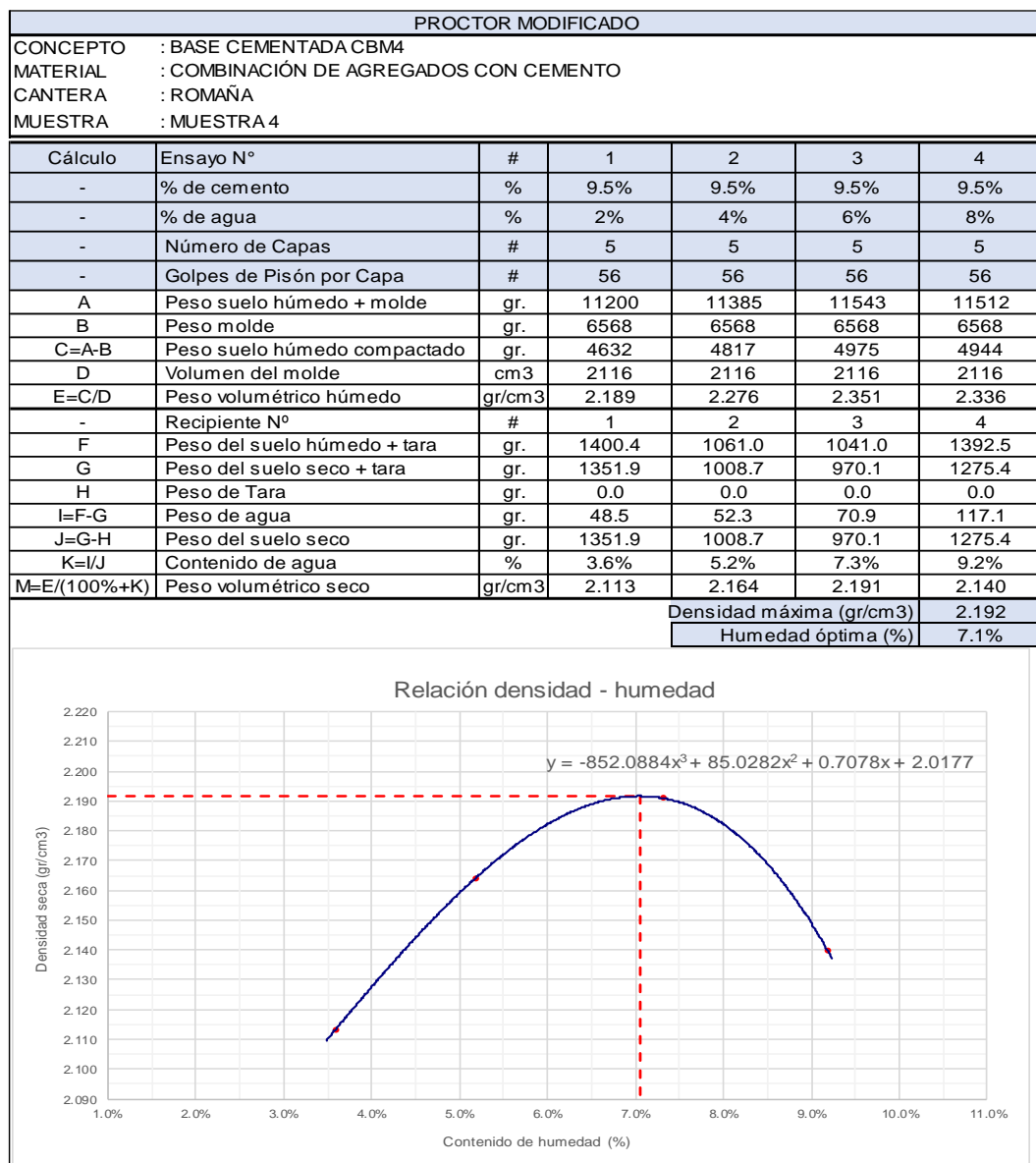
PROCTOR MODIFICADO						
CONCEPTO	: BASE CEMENTADA CBM4					
MATERIAL	: COMBINACIÓN DE AGREGADOS CON CEMENTO					
CANTERA	: ROMAÑA					
MUESTRA	: MUESTRA 2					
Cálculo	Ensayo N°	#	1	2	3	4
-	% de cemento	%	10.5%	10.5%	10.5%	10.5%
-	% de agua	%	2%	4%	6%	8%
-	Número de Capas	#	5	5	5	5
-	Golpes de Pisón por Capa	#	56	56	56	56
A	Peso suelo húmedo + molde	gr.	11140	11316	11405	11423
B	Peso molde	gr.	6568	6568	6568	6568
C=A-B	Peso suelo húmedo compactado	gr.	4572	4748	4837	4855
D	Volumen del molde	cm3	2116	2116	2116	2116
E=C/D	Peso volumétrico húmedo	gr/cm3	2.161	2.244	2.286	2.294
-	Recipiente N°	#	1	2	3	4
F	Peso del suelo húmedo + tara	gr.	1395.5	1298.9	1452.1	1388.4
G	Peso del suelo seco + tara	gr.	1358.8	1238.6	1367.4	1280.8
H	Peso de Tara	gr.	0.0	0.0	0.0	0.0
I=F-G	Peso de agua	gr.	36.7	60.3	84.7	107.6
J=G-H	Peso del suelo seco	gr.	1358.8	1238.6	1367.4	1280.8
K=I/J	Contenido de agua	%	2.7%	4.9%	6.2%	8.4%
M=E/(100%+K)	Peso volumétrico seco	gr/cm3	2.104	2.140	2.153	2.117
Densidad máxima (gr/cm3)						2.153
Humedad óptima (%)						6.4%

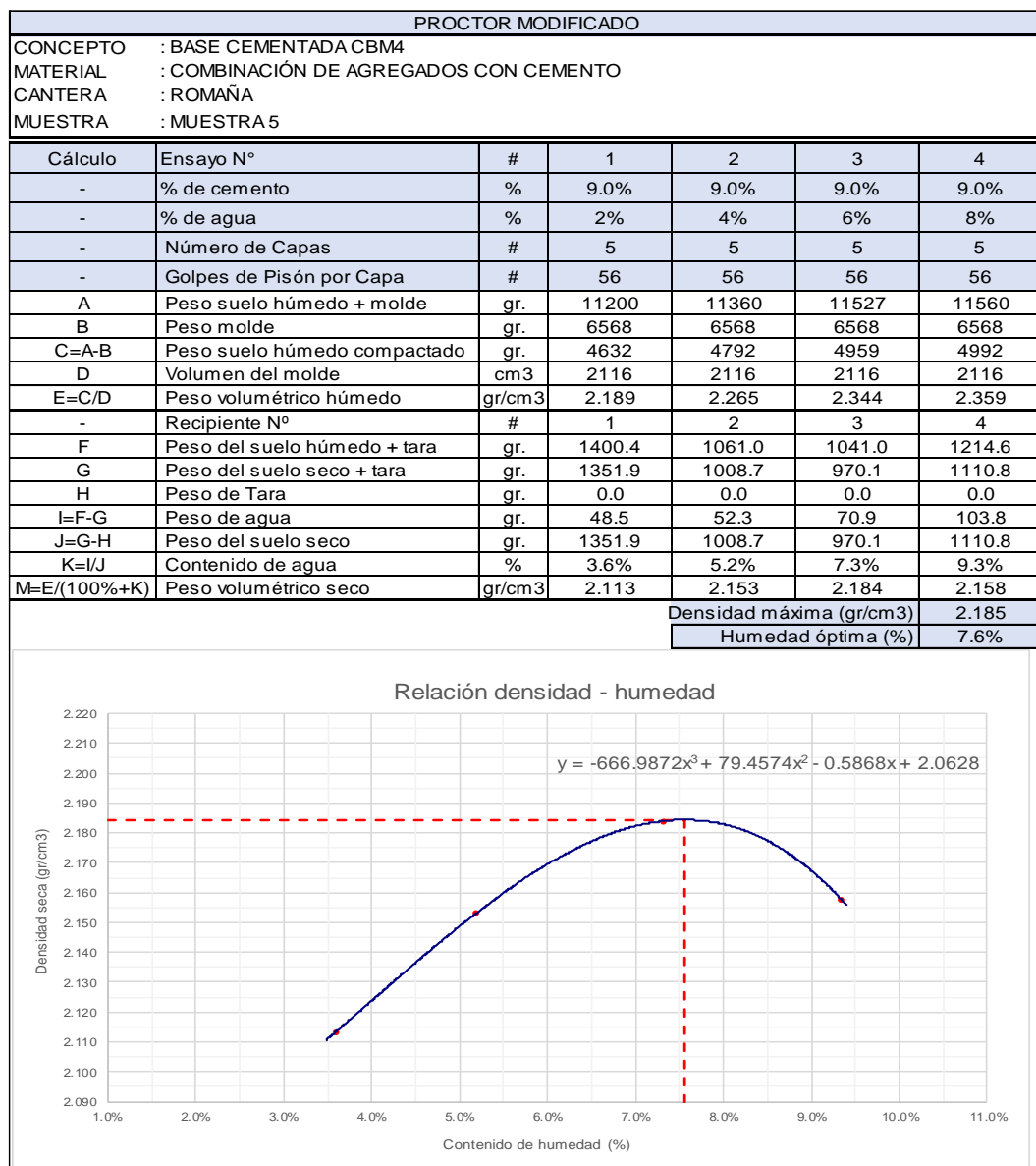
  

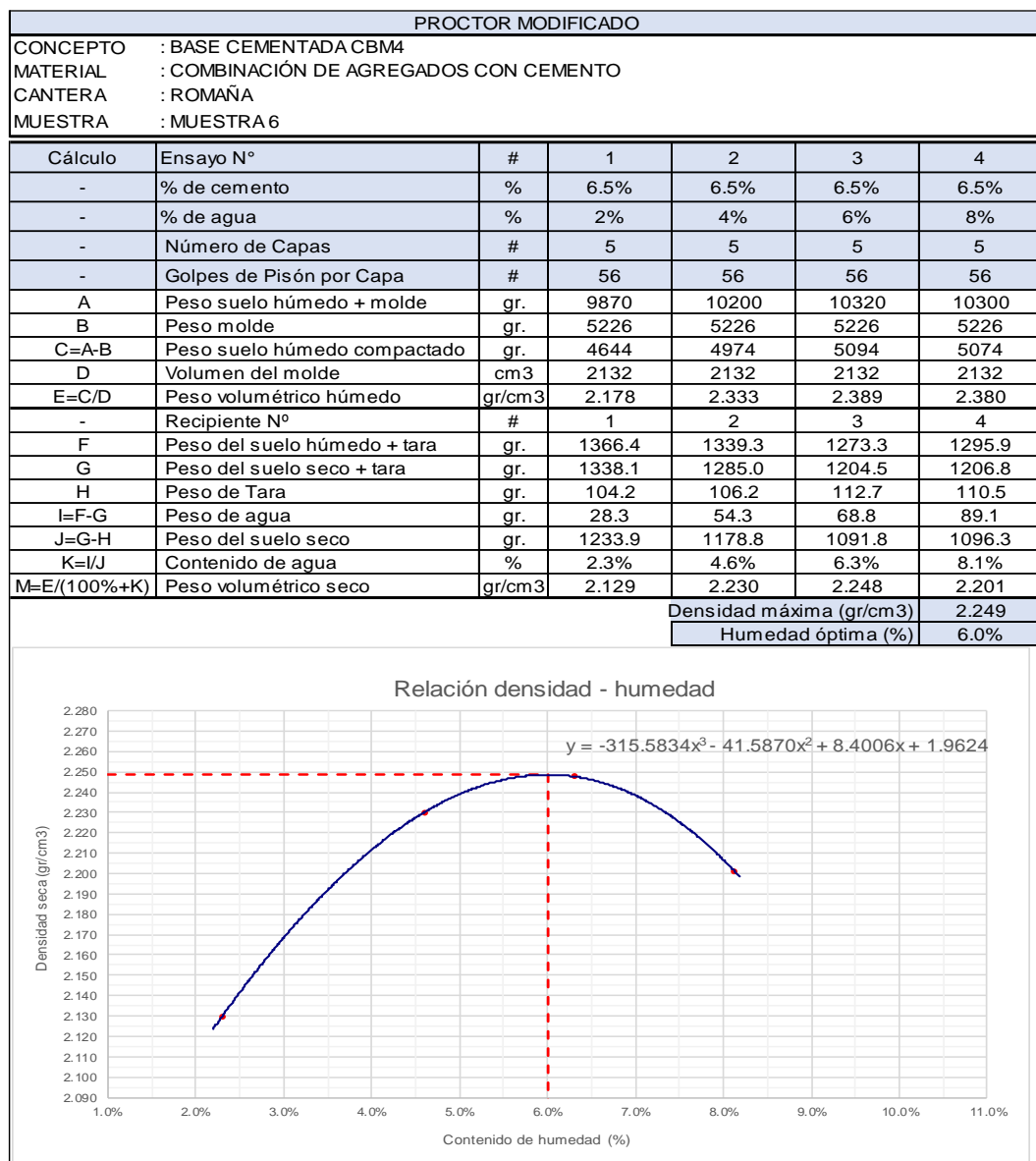
Relación densidad - humedad

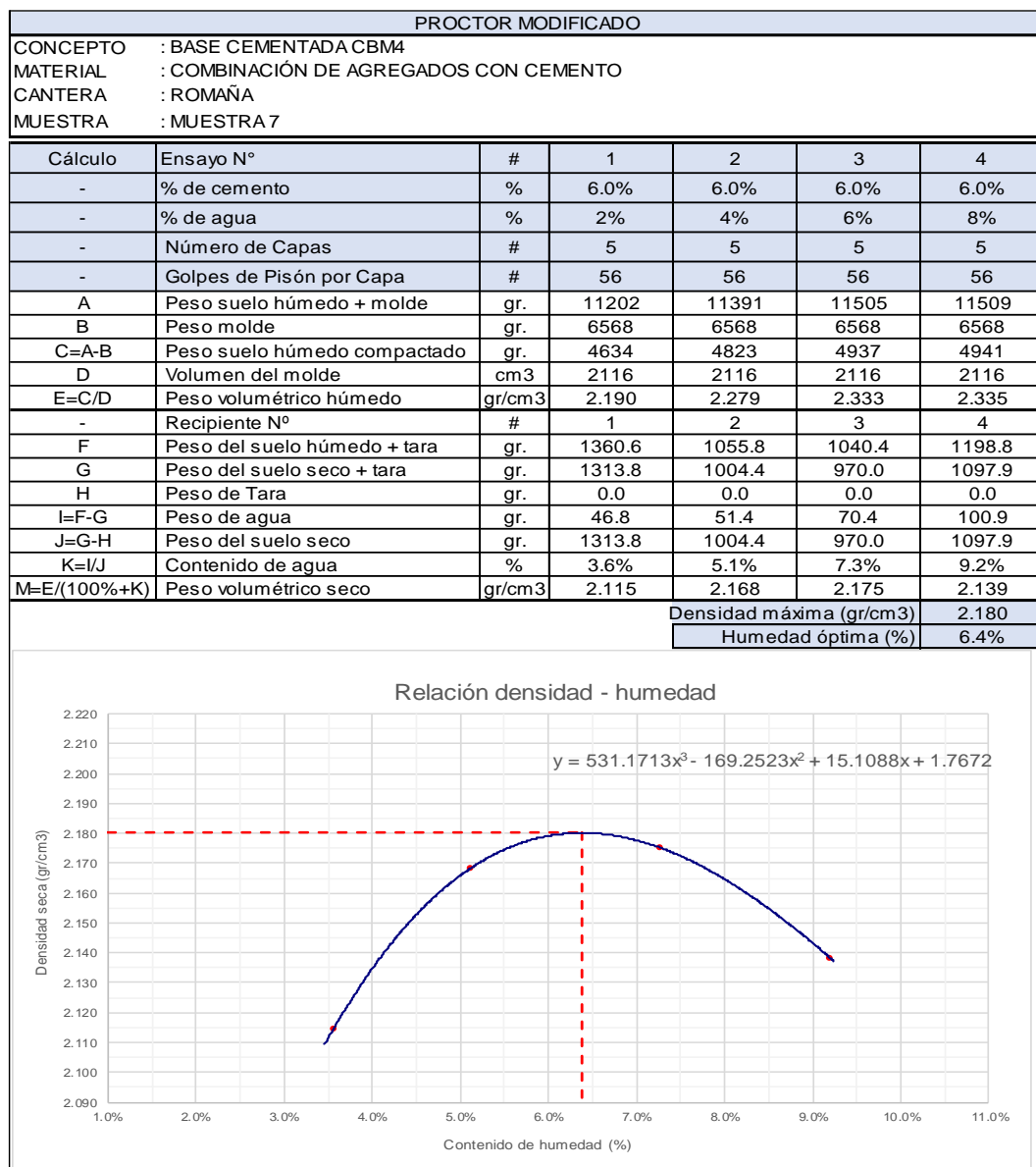
$y = -950.6808x^3 + 111.3633x^2 - 2.5795x + 2.1110$













## Anexo 07

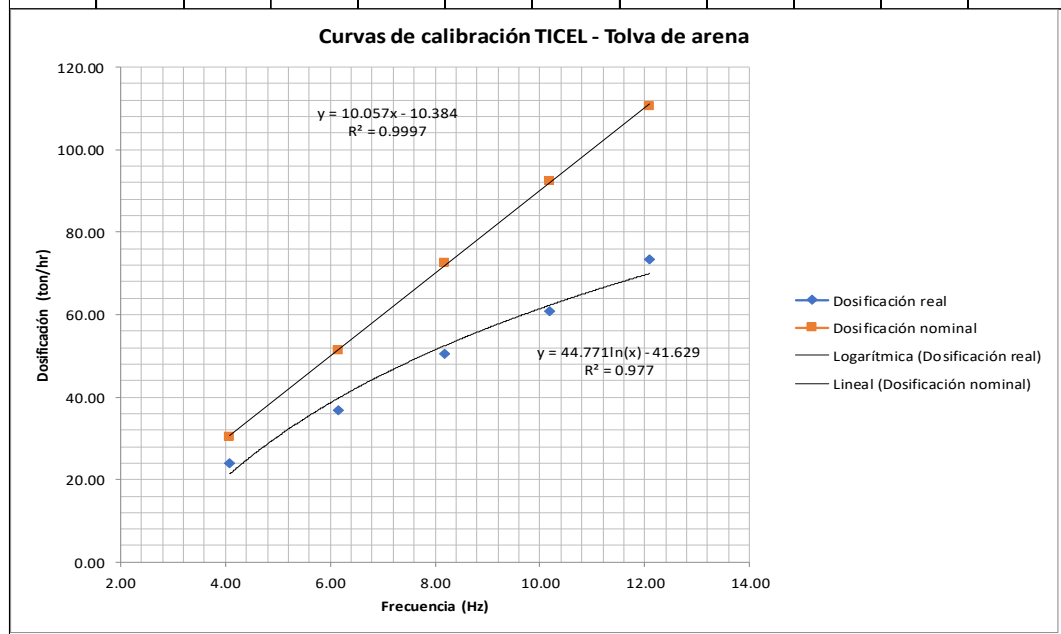
Hoja de cálculo de resistencias a la compresión del diseño en laboratorio.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION CBM4														
Ítem	# Testigo	Fecha Vaciado	Fecha Rotura	Días	% Cemento	Diámetro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga (kgf)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	% f'c	MPA	(kg/cm <sup>2</sup> ) Promedio	MPA Promedio	Requerida f'c kg/cm <sup>2</sup>
1	1	29/04/2017	2/05/2017	3	6.00%	15.16	180.5	17160	95.1	79.2%	9.3	100.1	9.8	120
2	2	29/04/2017	2/05/2017	3	6.00%	15.12	179.6	18860	105.0	87.5%	10.3			120
3	3	29/04/2017	2/05/2017	3	6.00%	15.18	181.0	18150	100.3	83.6%	9.8			120
4	4	29/04/2017	6/05/2017	7	6.00%	15.25	182.7	24100	131.9	110.0%	12.9	126.8	12.4	120
5	5	29/04/2017	6/05/2017	7	6.00%	15.31	184.1	22308	121.2	101.0%	11.9			120
6	6	29/04/2017	6/05/2017	7	6.00%	15.24	182.4	23191	127.1	105.9%	12.5			120
7	1	29/04/2017	2/05/2017	3	6.50%	11.80	109.4	11303	103.4	86.1%	10.1	106.8	10.5	120
8	2	29/04/2017	2/05/2017	3	6.50%	11.80	109.4	12035	110.1	91.7%	10.8			120
9	3	29/04/2017	2/05/2017	3	6.50%	11.80	109.4	11716	107.1	89.3%	10.5			120
10	4	5/05/2017	12/05/2017	7	6.50%	11.80	109.4	16690	152.6	127.2%	15.0	139.3	13.7	120
11	5	5/05/2017	12/05/2017	7	6.50%	11.80	109.4	15181	138.8	115.7%	13.6			120
12	6	5/05/2017	12/05/2017	7	6.50%	11.82	109.7	13870	126.4	105.3%	12.4			120
13	1	23/04/2017	26/04/2017	3	9.00%	15.60	191.1	38290	200.3	166.9%	19.6	185.1	18.1	120
14	2	23/04/2017	26/04/2017	3	9.00%	15.40	186.3	34816	186.9	155.8%	18.3			120
15	3	23/04/2017	26/04/2017	3	9.00%	15.30	183.9	30880	168.0	140.0%	16.5			120
16	4	25/04/2017	2/05/2017	7	9.00%	15.17	180.7	34610	191.5	159.6%	18.8	194.3	19.1	120
17	5	25/04/2017	2/05/2017	7	9.00%	15.30	183.9	35990	195.8	163.1%	19.2			120
18	6	25/04/2017	2/05/2017	7	9.00%	15.20	181.5	35516	195.7	163.1%	19.2			120
19	7	23/04/2017	21/05/2017	28	9.00%	15.30	183.9	42333	230.3	191.9%	22.6	231.3	22.7	120
20	8	23/04/2017	21/05/2017	28	9.00%	15.35	185.1	43150	233.2	194.3%	22.9			120
21	9	23/04/2017	21/05/2017	28	9.00%	15.45	187.5	43200	230.4	192.0%	22.6			120
22	1	23/04/2017	26/04/2017	3	9.50%	15.40	186.3	32770	175.9	146.6%	17.3	216.4	21.2	120
23	2	23/04/2017	26/04/2017	3	9.50%	15.40	186.3	47850	256.9	214.1%	25.2			120
24	3	23/04/2017	26/04/2017	3	9.50%	15.30	183.9	39792	216.4	180.4%	21.2			120
25	4	25/04/2017	2/05/2017	7	9.50%	15.22	181.9	38410	211.1	175.9%	20.7	211.6	20.8	120
26	5	25/04/2017	2/05/2017	7	9.50%	15.22	181.9	37910	208.4	173.6%	20.4			120
27	6	25/04/2017	2/05/2017	7	9.50%	15.16	180.5	38880	215.4	179.5%	21.1			120
28	7	23/04/2017	21/05/2017	28	9.50%	15.30	183.9	45800	249.1	207.6%	24.4	249.0	24.4	120
29	8	23/04/2017	21/05/2017	28	9.50%	15.20	181.5	45112	248.6	207.2%	24.4			120
30	9	23/04/2017	21/05/2017	28	9.50%	15.18	181.0	45090	249.1	207.6%	24.4			120
31	1	24/04/2017	27/04/2017	3	10.00%	15.25	182.7	27630	151.3	126.1%	14.8	187.9	18.4	120
32	2	24/04/2017	27/04/2017	3	10.00%	15.10	179.1	40160	224.3	186.9%	22.0			120
33	3	24/04/2017	27/04/2017	3	10.00%	15.15	180.3	33910	188.1	156.8%	18.4			120
34	4	25/04/2017	2/05/2017	7	10.00%	15.15	180.3	39980	221.8	184.8%	21.7	206.8	20.3	120
35	5	25/04/2017	2/05/2017	7	10.00%	15.22	181.9	36100	198.4	165.4%	19.5			120
36	6	25/04/2017	2/05/2017	7	10.00%	15.30	183.9	36780	200.1	166.7%	19.6			120
37	7	23/04/2017	21/05/2017	28	10.00%	15.15	180.3	48190	267.3	222.8%	26.2	267.5	26.2	120
38	8	23/04/2017	21/05/2017	28	10.00%	15.15	180.3	48220	267.5	222.9%	26.2			120
39	9	23/04/2017	21/05/2017	28	10.00%	15.14	180.0	48180	267.6	223.0%	26.2			120
40	1	24/04/2017	27/04/2017	3	10.50%	15.20	181.5	41210	227.1	189.3%	22.3	194.0	19.0	120
41	2	24/04/2017	27/04/2017	3	10.50%	15.15	180.3	28960	160.7	133.9%	15.8			120
42	3	24/04/2017	27/04/2017	3	10.50%	15.25	182.7	35500	194.4	162.0%	19.1			120
43	4	25/04/2017	2/05/2017	7	10.50%	15.25	182.7	40016	219.1	182.6%	21.5	217.3	21.3	120
44	5	25/04/2017	2/05/2017	7	10.50%	15.23	182.2	41110	225.7	188.1%	22.1			120
45	6	25/04/2017	2/05/2017	7	10.50%	15.30	183.9	38100	207.2	172.7%	20.3			120
46	7	23/04/2017	21/05/2017	28	10.50%	15.30	183.9	55100	299.7	249.7%	29.4	299.8	29.4	120
47	8	23/04/2017	21/05/2017	28	10.50%	15.17	180.7	54440	301.2	251.0%	29.5			120
48	9	23/04/2017	21/05/2017	28	10.50%	15.15	180.3	53800	298.4	248.7%	29.3			120
49	1	24/04/2017	27/04/2017	3	11.00%	15.25	182.7	30180	165.2	137.7%	16.2	185.8	18.2	120
50	2	24/04/2017	27/04/2017	3	11.00%	15.40	186.3	38320	205.7	171.4%	20.2			120
51	3	24/04/2017	27/04/2017	3	11.00%	15.20	181.5	33810	186.3	155.3%	18.3			120
52	4	25/04/2017	2/05/2017	7	11.00%	15.30	183.9	40900	222.5	185.4%	21.8	220.9	21.7	120
53	5	25/04/2017	2/05/2017	7	11.00%	15.10	179.1	36740	205.2	171.0%	20.1			120
54	6	25/04/2017	2/05/2017	7	11.00%	15.25	182.7	42930	235.0	195.9%	23.0			120
55	7	25/04/2017	23/05/2017	28	11.00%	15.30	183.9	57000	310.0	258.4%	30.4	310.9	30.5	120
56	8	25/04/2017	23/05/2017	28	11.00%	15.29	183.6	57100	311.0	259.1%	30.5			120
57	9	25/04/2017	23/05/2017	28	11.00%	15.28	183.4	57140	311.6	259.7%	30.6			120

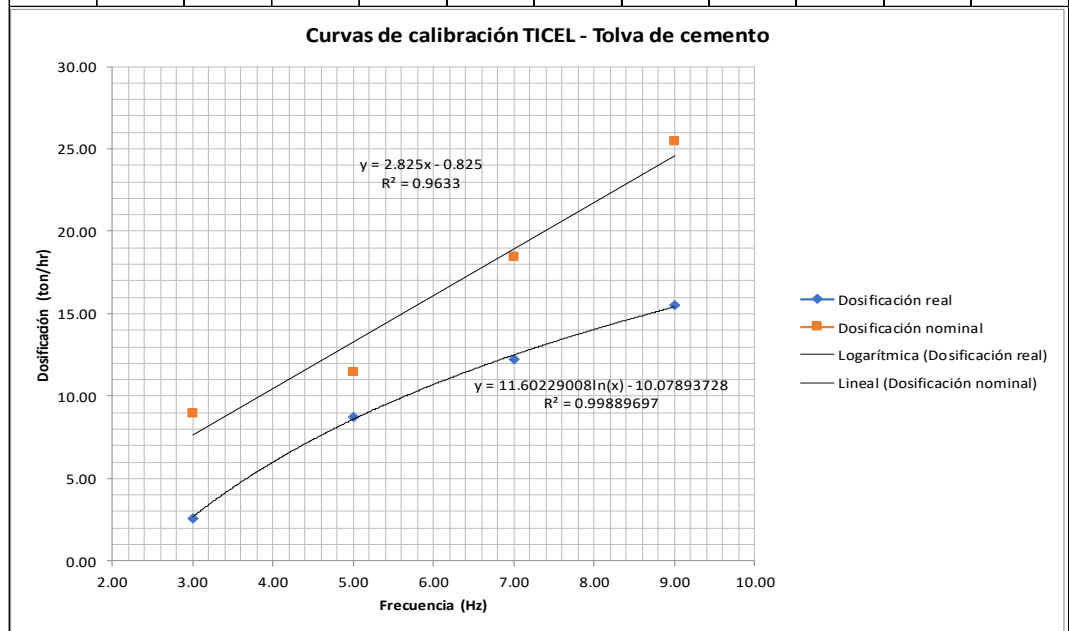
## Anexo 08

Tablas de calibración de planta de suelos.

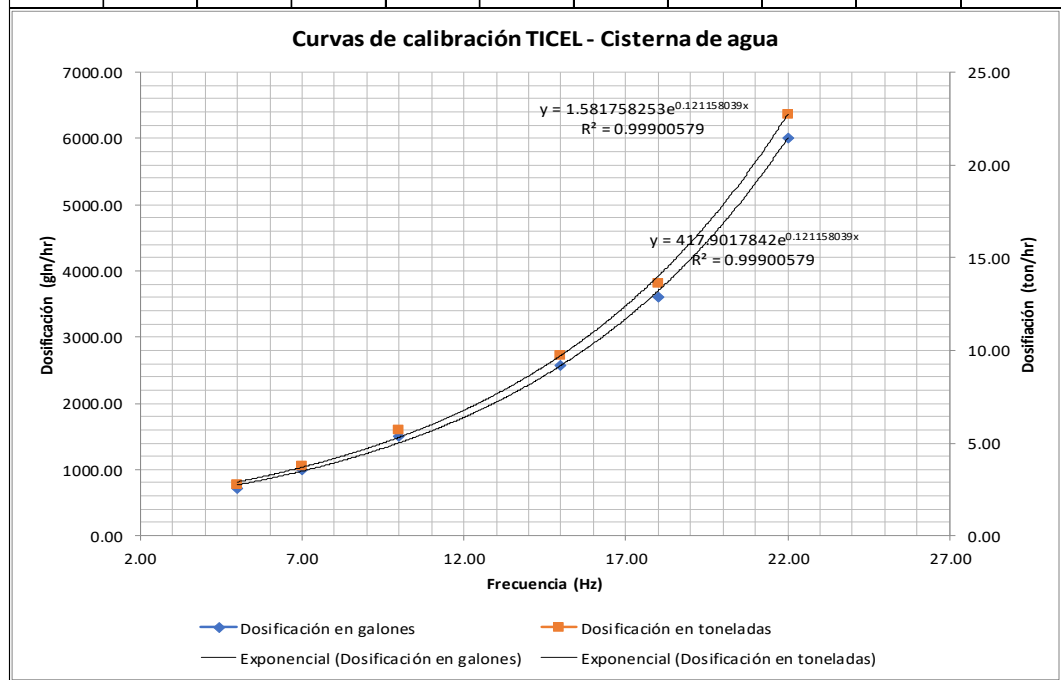
CALIBRACIÓN DE PLANTA DE SUELOS TICEL UST 500 - MATERIAL ARENA											
Material	Frecuencia y Velocidad				Peso						
	Tolva (Hz)	Promedio (Hz)	Faja (m/hr)	Promedio (m/hr)	Pantalla (ton/hr)	Promedio (ton/hr)	Faja (gr/m)	Tara (gr)	Neto (gr/m)	Promedio (gr/m)	Dosificación (ton/hr)
Grava	6.16	6.16	4015	4015	51.2	51.2	10476	765	9711	9158	36.77
Grava	6.16		4015		51.2		9822	780	9042		
Grava	6.16		4015		51.2		9490	768	8722		
Grava	8.18	8.18	4015	4015	72.5	72.5	13469	765	12704	12594	50.56
Grava	8.18		4015		72.5		12747	780	11967		
Grava	8.18		4015		72.5		13878	768	13110		
Grava	10.18	10.18	4015	4015	92.5	92.5	16084	765	15319	15157	60.85
Grava	10.18		4015		92.5		16129	780	15349		
Grava	10.18		4015		92.5		15570	768	14802		
Grava	12.08	12.08	4015	4015	110.5	110.5	19092	765	18327	18296	73.46
Grava	12.08		4015		110.5		19001	780	18221		
Grava	12.08		4015		110.5		19107	768	18339		
Grava	4.08	4.08	4015	4015	30.5	30.5	7104	765	6339	5999	24.09
Grava	4.08		4015		30.5		7037	780	6257		
Grava	4.08		4015		30.5		6169	768	5401		



CALIBRACIÓN DE PLANTA DE SUELOS TICEL UST 500 - MATERIAL CEMENTO											
Material	Frecuencia y Velocidad				Peso						
	Tolva (Hz)	Promedio (Hz)	Faja (m/hr)	Promedio (m/hr)	Pantalla (ton/hr)	Promedio (ton/hr)	Faja (gr/m)	Tara (gr)	Neto (gr/m)	Promedio (gr/m)	Dosificación (ton/hr)
Cemento	5.00	5.00	4015	4015	11.5	11.5	2714	768	1946	2177	8.74
Cemento	5.00		4015		11.5		2883	765	2118		
Cemento	5.00		4015		11.5		3235	768	2467		
Cemento	7.00	7.00	4015	4015	18.5	18.5	3727	765	2962	3050	12.25
Cemento	7.00		4015		18.5		3967	768	3199		
Cemento	7.00		4015		18.5		3755	765	2990		
Cemento	9.00	9.00	4015	4015	25.5	25.5	4654	765	3889	3870	15.54
Cemento	9.00		4015		25.5		4397	768	3629		
Cemento	9.00		4015		25.5		4858	765	4093		
Cemento	3.00	3.00	4015	4015	9.0	9.0	1439.5	765	674.5	659	2.65
Cemento	3.00		4015		9.0		1460	768	692		
Cemento	3.00		4015		9.0		1376	765	611		



CALIBRACIÓN DE PLANTA DE SUELOS TICEL UST 500 - MATERIAL AGUA										
Material	Frecuencia y Tiempo				Dosificación					
	Tolva (Hz)	Promedio (Hz)	Tiempo (s)	Promedio (s)	Patrón (gln)	Promedio (gln)	Patrón (lts)	Promedio (lts)	Dosificación (gln/hr)	Dosificación (ton/hr)
Agua	5.00	5.00	25	25	5.0	5.0	18.9	18.9	720.00	2.73
Agua	5.00		25		5.0		18.9			
Agua	5.00		25		5.0		18.9			
Agua	7.00	7.00	18	18	5.0	5.0	18.9	18.9	1000.00	3.79
Agua	7.00		18		5.0		18.9			
Agua	7.00		18		5.0		18.9			
Agua	10.00	10.00	12	12	5.0	5.0	18.9	18.9	1500.00	5.68
Agua	10.00		12		5.0		18.9			
Agua	10.00		12		5.0		18.9			
Agua	15.00	15.00	7	7	5.0	5.0	18.9	18.9	2571.43	9.73
Agua	15.00		7		5.0		18.9			
Agua	15.00		7		5.0		18.9			
Agua	18.00	18.00	5	5	5.0	5.0	18.9	18.9	3600.00	13.63
Agua	18.00		5		5.0		18.9			
Agua	18.00		5		5.0		18.9			
Agua	22.00	22.00	3	3	5.0	5.0	18.9	18.9	6000.00	22.71
Agua	22.00		3		5.0		18.9			
Agua	22.00		3		5.0		18.9			



## Anexo 09

Hoja de cálculo de resistencias a la compresión de pruebas diamantinas.

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION CBM - DIAMANTINA													
Ítem	# Testi	Fecha Vaciado	Fecha Rotura	Días	% Cemen	Diámetro (cm)	Area (cm2)	Carga (kgf)	Resistencia (kg/cm2)	% f'c	MPA	Requerida f'c (kg/cm2)	Condición
1	1	1/06/2017	8/06/2017	7	6.50%	11.77	108.8	18130	166.6	138.9%	16.3	120	Cumple
2	2	1/06/2017	8/06/2017	7	6.50%	11.81	109.5	19110	174.5	145.4%	17.1	120	Cumple
3	1	10/06/2017	17/06/2017	7	6.50%	11.86	110.5	15530	140.6	117.1%	13.8	120	Cumple
4	2	10/06/2017	17/06/2017	7	6.50%	11.86	110.5	16400	148.5	123.7%	14.6	120	Cumple
5	1	9/07/2017	16/07/2017	7	6.50%	11.67	107.0	13190	123.3	102.8%	12.1	120	Cumple
6	2	9/07/2017	16/07/2017	7	6.50%	11.78	109.0	18660	171.2	142.7%	16.8	120	Cumple
7	1	5/08/2017	12/08/2017	7	6.20%	15.36	185.3	30210	163.0	135.9%	16.0	120	Cumple
8	2	5/08/2017	12/08/2017	7	6.20%	15.33	184.6	30200	163.6	136.3%	16.0	120	Cumple
9	3	5/08/2017	12/08/2017	7	6.20%	15.21	181.7	26180	144.1	120.1%	14.1	120	Cumple
10	1	7/08/2017	14/08/2017	7	6.20%	15.28	183.4	27310	148.9	124.1%	14.6	120	Cumple
11	2	7/08/2017	14/08/2017	7	6.20%	15.22	181.9	26100	143.5	119.5%	14.1	120	Cumple
12	3	7/08/2017	14/08/2017	7	6.20%	15.30	183.9	25890	140.8	117.3%	13.8	120	Cumple
13	1	8/08/2017	15/08/2017	7	6.20%	15.25	182.7	24570	134.5	112.1%	13.2	120	Cumple
14	2	8/08/2017	15/08/2017	7	6.20%	15.08	178.6	26980	151.1	125.9%	14.8	120	Cumple
15	3	8/08/2017	15/08/2017	7	6.20%	15.31	184.1	27030	146.8	122.4%	14.4	120	Cumple
16	1	9/08/2017	16/08/2017	7	6.20%	15.30	183.9	24550	133.5	111.3%	13.1	120	Cumple
17	2	9/08/2017	16/08/2017	7	6.20%	15.23	182.2	27780	152.5	127.1%	15.0	120	Cumple
18	3	9/08/2017	16/08/2017	7	6.20%	15.08	178.6	27650	154.8	129.0%	15.2	120	Cumple
19	1	10/08/2017	17/08/2017	7	6.20%	15.17	180.7	25340	140.2	116.8%	13.7	120	Cumple
20	2	10/08/2017	17/08/2017	7	6.20%	15.22	181.9	22630	124.4	103.7%	12.2	120	Cumple
21	1	11/08/2017	18/08/2017	7	6.20%	15.18	181.0	23140	127.9	106.5%	12.5	120	Cumple
22	2	11/08/2017	18/08/2017	7	6.20%	15.21	181.7	21310	117.3	97.7%	11.5	120	No Cumple
23	3	11/08/2017	18/08/2017	7	6.20%	15.32	184.3	23200	125.9	104.9%	12.3	120	Cumple
24	1	12/08/2017	19/08/2017	7	6.20%	15.18	181.0	27530	152.1	126.8%	14.9	120	Cumple
25	2	12/08/2017	19/08/2017	7	6.20%	15.21	181.7	26620	146.5	122.1%	14.4	120	Cumple
26	3	12/08/2017	19/08/2017	7	6.20%	15.09	178.8	27030	151.1	125.9%	14.8	120	Cumple
27	1	14/08/2017	21/08/2017	7	6.20%	15.24	182.4	24180	132.6	110.5%	13.0	120	Cumple
28	2	14/08/2017	21/08/2017	7	6.20%	15.26	182.9	25000	136.7	113.9%	13.4	120	Cumple
29	3	14/08/2017	21/08/2017	7	6.20%	15.17	180.7	24800	137.2	114.3%	13.5	120	Cumple
30	1	16/08/2017	23/08/2017	7	6.20%	15.19	181.2	30360	167.5	139.6%	16.4	120	Cumple
31	2	16/08/2017	23/08/2017	7	6.20%	15.22	181.9	25880	142.2	118.5%	13.9	120	Cumple
32	3	16/08/2017	23/08/2017	7	6.20%	15.20	181.5	29130	160.5	133.8%	15.7	120	Cumple
33	1	19/08/2017	26/08/2017	7	6.20%	15.19	181.2	25600	141.3	117.7%	13.9	120	Cumple
34	2	19/08/2017	26/08/2017	7	6.20%	15.20	181.5	24610	135.6	113.0%	13.3	120	Cumple
35	3	19/08/2017	26/08/2017	7	6.20%	15.21	181.7	25710	141.5	117.9%	13.9	120	Cumple
36	1	22/08/2017	29/08/2017	7	6.20%	15.04	177.7	25980	146.2	121.9%	14.3	120	Cumple
37	2	22/08/2017	29/08/2017	7	6.20%	15.16	180.5	23580	130.6	108.9%	12.8	120	Cumple
38	3	22/08/2017	29/08/2017	7	6.20%	15.28	183.4	23480	128.0	106.7%	12.6	120	Cumple
39	1	2/09/2017	9/09/2017	7	6.00%	15.15	180.3	23560	130.7	108.9%	12.8	120	Cumple
40	2	2/09/2017	9/09/2017	7	6.00%	15.10	179.1	23100	129.0	107.5%	12.6	120	Cumple
41	3	2/09/2017	9/09/2017	7	6.00%	15.12	179.6	23310	129.8	108.2%	12.7	120	Cumple
42	1	4/09/2017	11/09/2017	7	6.00%	15.14	180.0	25810	143.4	119.5%	14.1	120	Cumple
43	2	4/09/2017	11/09/2017	7	6.00%	15.17	180.7	24800	137.2	114.3%	13.5	120	Cumple
44	3	4/09/2017	11/09/2017	7	6.00%	15.19	181.2	26120	144.1	120.1%	14.1	120	Cumple
45	1	5/09/2017	12/09/2017	7	6.00%	15.17	180.7	24620	136.2	113.5%	13.4	120	Cumple
46	2	5/09/2017	12/09/2017	7	6.00%	15.17	180.7	25220	139.5	116.3%	13.7	120	Cumple
47	3	5/09/2017	12/09/2017	7	6.00%	15.10	179.1	22780	127.2	106.0%	12.5	120	Cumple
48	1	7/09/2017	14/09/2017	7	6.00%	15.18	181.0	26260	145.1	120.9%	14.2	120	Cumple
49	2	7/09/2017	14/09/2017	7	6.00%	15.20	181.5	22320	123.0	102.5%	12.1	120	Cumple
50	3	7/09/2017	14/09/2017	7	6.00%	15.24	182.4	24350	133.5	111.2%	13.1	120	Cumple
51	1	8/09/2017	15/09/2017	7	6.00%	15.19	181.2	25410	140.2	116.8%	13.8	120	Cumple
52	2	8/09/2017	15/09/2017	7	6.00%	15.21	181.7	24280	133.6	111.4%	13.1	120	Cumple
53	3	8/09/2017	15/09/2017	7	6.00%	15.22	181.9	26060	143.2	119.4%	14.0	120	Cumple
54	1	9/09/2017	16/09/2017	7	6.00%	15.17	180.7	23740	131.3	109.5%	12.9	120	Cumple
55	2	9/09/2017	16/09/2017	7	6.00%	15.21	181.7	23090	127.1	105.9%	12.5	120	Cumple
56	3	9/09/2017	16/09/2017	7	6.00%	15.22	181.9	25660	141.0	117.5%	13.8	120	Cumple
57	1	11/09/2017	18/09/2017	7	6.00%	15.25	182.7	23410	128.2	106.8%	12.6	120	Cumple
58	2	11/09/2017	18/09/2017	7	6.00%	15.19	181.2	24010	132.5	110.4%	13.0	120	Cumple
59	3	11/09/2017	18/09/2017	7	6.00%	15.21	181.7	23320	128.3	107.0%	12.6	120	Cumple
60	1	18/09/2017	25/09/2017	7	6.00%	15.21	181.7	22840	125.7	104.8%	12.3	120	Cumple
61	2	18/09/2017	25/09/2017	7	6.00%	15.14	180.0	22680	126.0	105.0%	12.4	120	Cumple
62	3	18/09/2017	25/09/2017	7	6.00%	15.10	179.1	20330	113.5	94.6%	11.1	120	No Cumple
63	1	19/09/2017	26/09/2017	7	6.00%	15.14	180.0	25120	139.5	116.3%	13.7	120	Cumple
64	2	19/09/2017	26/09/2017	7	6.00%	15.24	182.4	24210	132.7	110.6%	13.0	120	Cumple
65	3	19/09/2017	26/09/2017	7	6.00%	15.22	181.9	23520	129.3	107.7%	12.7	120	Cumple
66	1	20/09/2017	27/09/2017	7	6.00%	15.20	181.5	24210	133.4	111.2%	13.1	120	Cumple
67	2	20/09/2017	27/09/2017	7	6.00%	15.22	181.9	24310	133.6	111.3%	13.1	120	Cumple
68	3	20/09/2017	27/09/2017	7	6.00%	15.18	181.0	23810	131.6	109.6%	12.9	120	Cumple
69	1	21/09/2017	28/09/2017	7	6.00%	15.23	182.2	24410	134.0	111.7%	13.1	120	Cumple
70	2	21/09/2017	28/09/2017	7	6.00%	15.18	181.0	23600	130.4	108.7%	12.8	120	Cumple

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESION CBM - DIAMANTINA													
Ítem	# Testi	Fecha Vaciado	Fecha Rotura	Días	% Cement	Diámetro (cm)	Area (cm <sup>2</sup> )	Carga (kgf)	Resistencia (kg/cm <sup>2</sup> )	% f'c	MPA	Requerida fc (kg/cm <sup>2</sup> )	Condición
71	3	21/09/2017	28/09/2017	7	6.00%	15.27	183.1	24310	132.7	110.6%	13.0	120	Cumple
72	1	22/09/2017	29/09/2017	7	6.00%	15.18	181.0	24210	133.8	111.5%	13.1	120	Cumple
73	2	22/09/2017	29/09/2017	7	6.00%	15.20	181.5	23910	131.8	109.8%	12.9	120	Cumple
74	3	22/09/2017	29/09/2017	7	6.00%	15.26	182.9	23180	126.7	105.6%	12.4	120	Cumple
75	1	23/09/2017	30/09/2017	7	6.00%	15.20	181.5	23910	131.8	109.8%	12.9	120	Cumple
76	2	23/09/2017	30/09/2017	7	6.00%	15.18	181.0	24090	133.1	110.9%	13.1	120	Cumple
77	3	23/09/2017	30/09/2017	7	6.00%	15.21	181.7	23880	131.4	109.5%	12.9	120	Cumple
78	1	25/09/2017	2/10/2017	7	6.00%	15.27	183.1	24610	134.4	112.0%	13.2	120	Cumple
79	2	25/09/2017	2/10/2017	7	6.00%	15.28	183.4	25050	136.6	113.8%	13.4	120	Cumple
80	3	25/09/2017	2/10/2017	7	6.00%	15.20	181.5	24880	137.1	114.3%	13.4	120	Cumple
81	1	26/09/2017	3/10/2017	7	6.00%	15.14	180.0	24810	137.8	114.8%	13.5	120	Cumple
82	2	26/09/2017	3/10/2017	7	6.00%	15.18	181.0	23950	132.3	110.3%	13.0	120	Cumple
83	3	26/09/2017	3/10/2017	7	6.00%	15.25	182.7	25300	138.5	115.4%	13.6	120	Cumple
84	1	27/09/2017	4/10/2017	7	6.00%	15.18	181.0	23110	127.7	106.4%	12.5	120	Cumple
85	2	27/09/2017	4/10/2017	7	6.00%	15.16	180.5	23210	128.6	107.2%	12.6	120	Cumple
86	3	27/09/2017	4/10/2017	7	6.00%	15.36	185.3	23410	126.3	105.3%	12.4	120	Cumple
87	1	28/09/2017	5/10/2017	7	6.00%	15.16	180.5	21550	119.4	99.5%	11.7	120	No Cumple
88	2	28/09/2017	5/10/2017	7	6.00%	15.08	178.6	24810	138.9	115.8%	13.6	120	Cumple
89	3	28/09/2017	5/10/2017	7	6.00%	15.09	178.8	23140	129.4	107.8%	12.7	120	Cumple
90	1	29/09/2017	6/10/2017	7	6.00%	15.21	181.7	27880	153.4	127.9%	15.0	120	Cumple
91	2	29/09/2017	6/10/2017	7	6.00%	15.19	181.2	23770	131.2	109.3%	12.9	120	Cumple
92	3	29/09/2017	6/10/2017	7	6.00%	15.22	181.9	27540	151.4	126.1%	14.8	120	Cumple
93	1	3/10/2017	10/10/2017	7	6.00%	15.21	181.7	24320	133.8	111.5%	13.1	120	Cumple
94	2	3/10/2017	10/10/2017	7	6.00%	15.22	181.9	21840	120.0	100.0%	11.8	120	Cumple
95	3	3/10/2017	10/10/2017	7	6.00%	15.20	181.5	23100	127.3	106.1%	12.5	120	Cumple
96	1	4/10/2017	11/10/2017	7	6.00%	15.21	181.7	24610	135.4	112.9%	13.3	120	Cumple
97	2	4/10/2017	11/10/2017	7	6.00%	15.18	181.0	22910	126.6	105.5%	12.4	120	Cumple
98	3	4/10/2017	11/10/2017	7	6.00%	15.19	181.2	23600	130.2	108.5%	12.8	120	Cumple
99	1	18/10/2017	25/10/2017	7	6.00%	15.21	181.7	24200	133.2	111.0%	13.1	120	Cumple
100	2	18/10/2017	25/10/2017	7	6.00%	15.22	181.9	25110	138.0	115.0%	13.5	120	Cumple
101	3	18/10/2017	25/10/2017	7	6.00%	15.26	182.9	24650	134.8	112.3%	13.2	120	Cumple
102	1	19/10/2017	26/10/2017	7	6.00%	15.23	182.2	22790	125.1	104.2%	12.3	120	Cumple
103	2	19/10/2017	26/10/2017	7	6.00%	15.20	181.5	24200	133.4	111.1%	13.1	120	Cumple
104	3	19/10/2017	26/10/2017	7	6.00%	15.21	181.7	23110	127.2	106.0%	12.5	120	Cumple
105	1	21/10/2017	28/10/2017	7	6.00%	15.19	181.2	24420	134.8	112.3%	13.2	120	Cumple
106	2	21/10/2017	28/10/2017	7	6.00%	15.22	181.9	22280	122.5	102.1%	12.0	120	Cumple
107	3	21/10/2017	28/10/2017	7	6.00%	15.20	181.5	24610	135.6	113.0%	13.3	120	Cumple
108	1	24/10/2017	31/10/2017	7	6.00%	15.15	180.3	22480	124.7	103.9%	12.2	120	Cumple
109	2	24/10/2017	31/10/2017	7	6.00%	15.14	180.0	25210	140.0	116.7%	13.7	120	Cumple
110	3	24/10/2017	31/10/2017	7	6.00%	15.36	185.3	24890	134.3	111.9%	13.2	120	Cumple
111	1	26/10/2017	2/11/2017	7	6.00%	15.15	180.3	24360	135.1	112.6%	13.3	120	Cumple
112	2	26/10/2017	2/11/2017	7	6.00%	15.24	182.4	24410	133.8	111.5%	13.1	120	Cumple
113	3	26/10/2017	2/11/2017	7	6.00%	15.27	183.1	24610	134.4	112.0%	13.2	120	Cumple

## Anexo 10

ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO POR EL MÉTODO NUCLEAR - ASTM D 2922													
Ítem	Coordenadas			Fecha	N° Capa	Espesor	Laboratorio		Campo		Compactación (%)	Compactación especificada (%)	Condición
	Norte	Este	Elevación				Densidad Seca Max. (gr/cc)	Óptimo contenido de humedad (%)	Densidad Seca Max. (gr/cc)	Contenido humedad (%)			
1	8666570	265732	2.64	29/06/2017	1	0.25	2.249	6.0	2.191	6.0	97.4%	95%	Cumple
2	8666568	265815	2.64	29/06/2017	1	0.25	2.249	6.0	2.231	6.3	99.2%	95%	Cumple
3	8666565	265831	2.64	29/06/2017	1	0.25	2.249	6.0	2.175	5.2	96.7%	95%	Cumple
4	8666578	265836	2.64	29/06/2017	1	0.25	2.249	6.0	2.188	6.0	97.3%	95%	Cumple
5	8666550	265732	2.64	29/06/2017	1	0.25	2.249	6.0	2.209	5.8	98.2%	95%	Cumple
6	8666560	265740	2.64	29/06/2017	1	0.25	2.249	6.0	2.218	6.1	98.6%	95%	Cumple
7	8666573	265730	2.64	30/06/2017	1	0.25	2.249	6.0	2.182	5.9	97.0%	95%	Cumple
8	8666566	265744	2.89	30/06/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.218	6.3	98.6%	95%	Cumple
9	8666535	265757	2.89	01/07/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.193	5.6	97.5%	95%	Cumple
10	8666546	265749	2.89	01/07/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.222	5.9	98.8%	95%	Cumple
11	8666558	265737	2.89	01/07/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.231	6.2	99.2%	95%	Cumple
12	8666572	265732	2.89	01/07/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.202	6.0	97.9%	95%	Cumple
13	8666568	265726	2.89	01/07/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.224	5.8	98.9%	95%	Cumple
14	8666566	265739	2.89	01/07/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.195	5.5	97.6%	95%	Cumple
15	8666559	265748	2.89	01/07/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.213	5.7	98.4%	95%	Cumple
16	8666550	265737	2.89	01/07/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.238	6.2	99.5%	95%	Cumple
17	8666571	265728	2.64	03/07/2017	1	0.25	2.249	6.0	2.193	6.0	97.5%	95%	Cumple
18	8666558	265733	2.64	03/07/2017	1	0.25	2.249	6.0	2.218	6.2	98.6%	95%	Cumple
19	8666543	265743	2.64	03/07/2017	1	0.25	2.249	6.0	2.233	5.7	99.3%	95%	Cumple
20	8666521	265761	2.64	03/07/2017	1	0.25	2.249	6.0	2.224	6.0	98.9%	95%	Cumple
21	8666500	265798	2.64	03/07/2017	1	0.25	2.249	6.0	2.227	6.3	99.0%	95%	Cumple
22	8666542	265754	2.89	03/07/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.204	5.6	98.0%	95%	Cumple
23	8666524	265765	2.89	03/07/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.204	5.9	98.0%	95%	Cumple
24	8666496	265799	2.89	04/07/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.204	5.7	98.0%	95%	Cumple
25	8666498	265790	2.89	04/07/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.218	6.1	98.6%	95%	Cumple
26	8666550	265720	2.89	04/07/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.236	6.1	99.4%	95%	Cumple
27	8666507	265778	2.89	04/07/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.195	5.9	97.6%	95%	Cumple
28	8666521	265770	2.89	04/07/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.213	6.2	98.4%	95%	Cumple
29	8666522	265761	2.89	04/07/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.229	6.3	99.1%	95%	Cumple
30	8666539	265749	2.89	04/07/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.218	5.8	98.6%	95%	Cumple
31	8666555	265725	2.89	04/07/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.202	6.0	97.9%	95%	Cumple
32	8666485	265835	2.64	06/07/2017	1	0.25	2.249	6.0	2.224	6.4	98.9%	95%	Cumple
33	8666492	265832	2.64	06/07/2017	1	0.25	2.249	6.0	2.209	6.3	98.2%	95%	Cumple
34	8666497	265818	2.64	06/07/2017	1	0.25	2.249	6.0	2.236	6.4	99.4%	95%	Cumple
35	8666505	265814	2.64	06/07/2017	1	0.25	2.249	6.0	2.218	6.2	98.6%	95%	Cumple
36	8666462	265849	2.64	07/07/2017	1	0.25	2.249	6.0	2.193	5.8	97.5%	95%	Cumple
37	8666463	265840	2.64	07/07/2017	1	0.25	2.249	6.0	2.209	6.1	98.2%	95%	Cumple
38	8666472	265843	2.64	07/07/2017	1	0.25	2.249	6.0	2.215	6.2	98.5%	95%	Cumple
39	8666469	265859	2.64	07/07/2017	1	0.25	2.249	6.0	2.233	5.9	99.3%	95%	Cumple
40	8666475	265824	2.64	07/07/2017	1	0.25	2.249	6.0	2.209	6.0	98.2%	95%	Cumple
41	8666486	265823	2.64	07/07/2017	1	0.25	2.249	6.0	2.238	6.3	99.5%	95%	Cumple
42	8666483	265811	2.64	07/07/2017	1	0.25	2.249	6.0	2.204	6.1	98.0%	95%	Cumple
43	8666474	265826	2.89	08/07/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.220	6.3	98.7%	95%	Cumple
44	8666483	265823	2.89	08/07/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.231	6.1	99.2%	95%	Cumple
45	8666489	265804	2.89	08/07/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.213	6.2	98.4%	95%	Cumple
46	8666584	265716	2.89	03/08/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.231	6.4	99.2%	95%	Cumple
47	8666568	265704	2.89	03/08/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.242	6.3	99.7%	95%	Cumple
48	8666520	265722	2.89	03/08/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.253	6.5	100.2%	95%	Cumple
49	8666571	265733	2.89	03/08/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.256	6.2	100.3%	95%	Cumple
50	8666668	265655	2.64	05/08/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.200	6.5	98.6%	95%	Cumple
51	8666663	265655	2.64	05/08/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.220	6.6	99.5%	95%	Cumple
52	8666656	265664	2.64	05/08/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.210	6.4	99.0%	95%	Cumple
53	8666655	265646	2.64	05/08/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.217	6.3	99.3%	95%	Cumple
54	8666667	265637	2.89	10/08/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.217	6.5	99.3%	95%	Cumple
55	8666658	265640	2.89	10/08/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.200	6.0	98.6%	95%	Cumple
56	8666667	265637	2.89	10/08/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.217	6.5	99.3%	95%	Cumple
57	8666658	265640	2.89	10/08/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.200	6.0	98.6%	95%	Cumple
58	8666647	265651	2.89	10/08/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.196	6.3	98.4%	95%	Cumple
59	8666637	265660	2.89	10/08/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.223	6.6	99.6%	95%	Cumple
60	8666690	265665	2.89	16/08/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.221	6.8	99.5%	95%	Cumple
61	8666691	265666	2.89	16/08/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.217	6.4	99.3%	95%	Cumple
62	8666661	265680	2.89	16/08/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.225	6.6	99.7%	95%	Cumple
63	8666651	265697	2.89	16/08/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.236	6.5	100.2%	95%	Cumple
64	8666640	265707	2.89	16/08/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.241	6.7	100.4%	95%	Cumple
65	8666657	265738	2.89	24/08/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.201	6.0	98.6%	95%	Cumple
66	8666672	265718	2.89	24/08/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.219	6.1	99.4%	95%	Cumple
67	8666694	265694	2.89	24/08/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.221	6.0	99.5%	95%	Cumple
68	8666562	265679	2.64	02/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.201	5.8	98.6%	95%	Cumple
69	8666555	265693	2.64	02/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.221	5.7	99.5%	95%	Cumple
70	8666538	265716	2.64	02/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.210	5.9	99.0%	95%	Cumple
71	8666524	265727	2.64	02/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.232	5.6	100.0%	95%	Cumple
72	8666614	265624	2.64	04/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.203	5.7	98.7%	95%	Cumple
73	8666564	265677	2.64	04/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.212	5.9	99.1%	95%	Cumple
74	8666542	265700	2.64	04/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.221	6.0	99.5%	95%	Cumple
75	8666520	265725	2.64	04/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.199	5.6	98.5%	95%	Cumple
76	8666604	265620	2.64	05/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.223	6.0	99.6%	95%	Cumple
77	8666602	265603	2.64	05/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.207	5.8	98.9%	95%	Cumple
78	8666593	265607	2.64	05/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.203	5.9	98.7%	95%	Cumple
79	8666601	265625	2.89	08/09/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.203	5.8	98.7%	95%	Cumple
80	8666592	265651	2.89	08/09/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.211	6.0	99.1%	95%	Cumple



ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO POR EL MÉTODO NUCLEAR - ASTM D 2922												
Ítem	Coordenadas			Fecha	N° Capa	Espesor	Laboratorio		Campo		Compactación especificada (%)	Condición
	Norte	Este	Elevación				Densidad Seca Max. (gr/cc)	Óptimo contenido de humedad (%)	Densidad Seca Max. (gr/cc)	Contenido humedad (%)		
81	8666566	265676	2.89	08/09/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.207	5.9	98.9%	Cumple
82	8666540	265707	2.89	08/09/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.219	5.8	99.4%	Cumple
83	8666523	265731	2.89	08/09/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.210	6.1	99.0%	Cumple
84	8666545	265696	2.89	11/09/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.212	5.9	99.1%	Cumple
85	8666533	265714	2.89	11/09/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.203	5.7	98.7%	Cumple
86	8666518	265726	2.89	11/09/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.216	6.0	99.3%	Cumple
87	8666594	265625	2.64	18/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.183	6.0	97.8%	Cumple
88	8666568	265651	2.64	18/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.207	6.1	98.9%	Cumple
89	8666546	265687	2.64	18/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.185	6.0	97.9%	Cumple
90	8666584	265616	2.64	19/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.192	5.9	98.2%	Cumple
91	8666569	265645	2.64	19/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.178	6.0	97.6%	Cumple
92	8666541	265675	2.64	19/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.207	6.2	98.9%	Cumple
93	8666635	265652	2.64	20/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.199	5.7	98.5%	Cumple
94	8666615	265675	2.64	20/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.207	5.9	98.9%	Cumple
95	8666591	265696	2.64	20/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.210	5.6	99.0%	Cumple
96	8666459	265872	2.89	21/09/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.196	5.7	98.4%	Cumple
97	8666440	265865	2.89	21/09/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.205	5.9	98.8%	Cumple
98	8666453	265811	2.64	21/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.183	6.0	97.8%	Cumple
99	8666445	265859	2.64	21/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.192	5.8	98.2%	Cumple
100	8666622	265641	2.64	21/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.201	5.8	98.6%	Cumple
101	8666596	265668	2.64	21/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.219	5.7	99.4%	Cumple
102	8666583	265696	2.64	21/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.203	5.9	98.7%	Cumple
103	8666632	265643	2.64	22/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.221	5.9	99.5%	Cumple
104	8666609	265668	2.64	22/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.239	5.8	100.3%	Cumple
105	8666586	265694	2.64	22/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.207	5.7	98.9%	Cumple
106	8666637	265648	2.89	22/09/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.201	5.7	98.6%	Cumple
107	8666612	265682	2.89	22/09/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.212	5.5	99.1%	Cumple
108	8666591	265704	2.89	22/09/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.228	5.8	99.8%	Cumple
109	8666632	265949	2.89	23/09/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.214	5.7	99.2%	Cumple
110	8666606	265671	2.89	23/09/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.205	5.5	98.8%	Cumple
111	8666591	265702	2.89	23/09/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.219	5.8	99.4%	Cumple
112	8666622	265645	2.89	23/09/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.236	6.0	100.2%	Cumple
113	8666611	265649	2.89	23/09/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.239	6.1	100.3%	Cumple
114	8666590	265683	2.89	23/09/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.205	5.9	98.8%	Cumple
115	8666580	265686	2.89	23/09/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.236	5.6	100.2%	Cumple
116	8666584	265617	2.64	25/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.212	5.5	99.1%	Cumple
117	8666555	265643	2.64	25/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.228	5.8	99.8%	Cumple
118	8666528	265678	2.64	25/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.219	6.0	99.4%	Cumple
119	8666590	265618	2.89	25/09/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.199	5.7	98.5%	Cumple
120	8666560	265652	2.89	25/09/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.219	5.9	99.4%	Cumple
121	8666537	265685	2.89	25/09/2017	2	0.25	2.232	6.4	2.192	5.5	98.2%	Cumple
122	8666541	265694	2.64	26/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.183	5.8	97.8%	Cumple
123	8666525	265702	2.64	26/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.201	5.9	98.6%	Cumple
124	8666553	265719	2.64	26/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.216	5.7	99.3%	Cumple
125	8666525	265687	2.64	26/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.187	6.0	98.0%	Cumple
126	8666507	265709	2.64	26/09/2017	1	0.25	2.232	6.4	2.207	5.7	98.9%	Cumple
127	8666592	265629	2.89	27/09/2017	2	0.25	2.261	7.1	2.220	6.5	98.2%	Cumple
128	8666567	265664	2.89	27/09/2017	2	0.25	2.261	7.1	2.211	6.6	97.8%	Cumple
129	8666536	265690	2.89	27/09/2017	2	0.25	2.261	7.1	2.232	6.4	98.7%	Cumple
130	8666515	265723	2.89	27/09/2017	2	0.25	2.261	7.1	2.241	6.7	99.1%	Cumple
131	8666583	265628	2.89	28/09/2017	2	0.25	2.261	7.1	2.227	6.7	98.5%	Cumple
132	8666550	265664	2.89	28/09/2017	2	0.25	2.261	7.1	2.245	6.4	99.3%	Cumple
133	8666517	265710	2.89	28/09/2017	2	0.25	2.261	7.1	2.238	6.6	99.0%	Cumple
134	8665741	265620	2.89	29/09/2017	2	0.25	2.261	7.1	2.300	6.9	101.7%	Cumple
135	8666543	265663	2.89	29/09/2017	2	0.25	2.261	7.1	2.234	7.0	98.8%	Cumple
136	8666524	265695	2.89	29/09/2017	2	0.25	2.261	7.1	2.252	6.8	99.6%	Cumple
137	8666506	265711	2.89	29/09/2017	2	0.25	2.261	7.1	2.256	6.7	99.8%	Cumple
138	8666565	265625	2.64	03/10/2017	1	0.25	2.261	7.1	2.209	6.6	97.7%	Cumple
139	8666537	265648	2.64	03/10/2017	1	0.25	2.261	7.1	2.227	6.8	98.5%	Cumple
140	8666529	265673	2.64	03/10/2017	1	0.25	2.261	7.1	2.236	6.5	98.9%	Cumple
141	8666495	265683	2.64	03/10/2017	1	0.25	2.261	7.1	2.238	6.9	99.0%	Cumple
142	8666499	265714	2.64	03/10/2017	1	0.25	2.261	7.1	2.247	7.0	99.4%	Cumple
143	8666567	265598	2.89	04/10/2017	2	0.25	2.261	7.1	2.216	6.4	98.0%	Cumple
144	8666547	265637	2.89	04/10/2017	2	0.25	2.261	7.1	2.229	6.7	98.6%	Cumple
145	8666535	265665	2.89	04/10/2017	2	0.25	2.261	7.1	2.247	6.5	99.4%	Cumple
146	8666510	265683	2.89	04/10/2017	2	0.25	2.261	7.1	2.238	6.6	99.0%	Cumple
147	8666498	265709	2.89	04/10/2017	2	0.25	2.261	7.1	2.256	6.8	99.8%	Cumple
148	8666502	265761	2.64	05/10/2017	1	0.25	2.261	7.1	2.207	6.4	97.6%	Cumple
149	8666468	265795	2.64	05/10/2017	1	0.25	2.261	7.1	2.229	6.7	98.6%	Cumple
150	8666443	265831	2.64	05/10/2017	1	0.25	2.261	7.1	2.243	6.5	99.2%	Cumple
151	8666496	265826	2.89	06/11/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.204	6.3	98.0%	Cumple
152	8666495	265819	2.89	06/11/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.220	6.1	98.7%	Cumple
153	8666490	265828	2.89	06/11/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.231	6.4	99.2%	Cumple
154	8666497	265836	2.89	06/11/2017	2	0.25	2.249	6.0	2.220	6.2	98.7%	Cumple