

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACIÓN DE GRANULOMETRÍA SHILSTONE Y  
CURVA DE LA TARÁNTULA, MEDIANTE EL ENSAYO  
DE LA CAJA, EN MEZCLAS DE CONCRETO  
HIDRÁULICO PARA PAVIMENTO RÍGIDO EN EL  
SALVADOR**

PRESENTADO POR:

**ROXANA GERALDINA URQUILLA LÓPEZ  
ADONAY DE JESÚS VÁSQUEZ PÉREZ  
INGRID XIOMARA VIVAS BONILLA**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO(A) CIVIL**

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO DE 2021.

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR :**

**MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

**SECRETARIO GENERAL:**

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**DECANO :**

**Ph.D. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA**

**SECRETARIO :**

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**

**DIRECTOR :**

**ING. ANÍBAL RODOLFO ORTIZ**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO(A) CIVIL**

Título :

**EVALUACIÓN DE GRANULOMETRÍA SHILSTONE Y CURVA  
DE LA TARÁNTULA, MEDIANTE EL ENSAYO DE LA CAJA,  
EN MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA  
PAVIMENTO RÍGIDO EN EL SALVADOR**

Presentado por :

**ROXANA GERALDINA URQUILLA LÓPEZ  
ADONAY DE JESÚS VÁSQUEZ PÉREZ  
INGRID XIOMARA VIVAS BONILLA**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores :

**ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES  
ING. DAVID SALVADOR CEA CARRANZA  
(Asesor Externo)**

San Salvador, mayo de 2021

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores :

**ING. DILBER ANTONIO SÁNCHEZ VIDES**

**ING. DAVID SALVADOR CEA CARRANZA**  
**(Asesor Externo)**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios todopoderoso, por guiarnos e iluminarnos en este camino que decidimos emprender, donde el camino no fue fácil. Sin embargo, con esfuerzo, sacrificio y dedicación, nos permitió culminar con éxito este Trabajo de Graduación y nuestra carrera universitaria.

A la Universidad de El Salvador, por formarnos, capacitarnos y darnos las herramientas necesarias para enfrentar la vida laboral y ser profesionales que aporten positivamente en el desarrollo del país.

A los profesionales de la Universidad de El Salvador y de la empresa HOLCIM, que brindaron su ayuda desinteresada durante el desarrollo del Trabajo de Graduación y que, con sus conocimientos y colaboración, enriquecieron este trabajo, especialmente a:

Ing. Dilber Sánchez

Ing. David Cea

Ing. Mauricio Valencia

Ing. Ranulfo Cárcamo

Ing. Evelio López.

A los colaboradores en el taller de carpintería:

Sr. Víctor Balcáceres (Matocho)

Sr. Santamaría (Jefe de mantenimiento)

Y a los colaboradores en el taller de ingeniería mecánica:

Lic. Julio Quintanilla

Ing. Mauricio Polanco

Ing. Óscar Marroquín (director de la Escuela de Ingeniería Mecánica).

A las empresas e instituciones que nos brindaron su apoyo de manera desinteresada y oportuna:

Cantera San Diego (Ing. Saúl Cea)

Ministerio de Obras Públicas (Instituto de acceso a la información).

**Los autores.**

## DEDICATORIA

**A DIOS:** por darme la vida y sabiduría para lograr esta meta. Gracias porque nunca me has desamparado y siempre me has guiado con tu luz.

**A MI MADRE:** Marta Gladys López, por ser un ejemplo de lucha para mí, por inculcarme siempre buenos valores, por brindarme su amor y apoyo incondicional a cada momento. Gracias por todo, mamá

**A MI PADRE:** Rafael Humberto Urquilla (Q.D.D.G) por animarme a seguir siempre adelante a lograr mis metas y por confiar en mí.

**A MI TIA:** Martha Concepción Rivera, por su apoyo en todo este proceso y por creer en mí, gracias por todo.

**A MI NOVIO:** Josué Mejía López, por su amor y comprensión, por creer siempre en mí y brindarme su apoyo a cada momento.

**A MIS HERMANAS Y HERMANO:** Karlita, Marthita y Alexis por darme ánimos de seguir adelante cuando más lo necesitaba y por todo el apoyo que me brindaron.

**A MIS ABUELOS:** Lidia Urquilla y Luis Martínez por su amor y sabios consejos que me han ayudado mucho a lo largo de mi vida.

**A MI EQUIPO:** Xiomara Vivas y Adonay Pérez por todos los momentos buenos y malos que atravesamos desarrollando esta investigación. Gracias por su apoyo y su amistad.

**ROXANA URQUILLA LÓPEZ**

## **DEDICATORIA**

### **A Dios Todopoderoso:**

Por brindarme la oportunidad de culminar un esfuerzo grande en mi vida y darme la gracia y sabiduría tan necesaria para poder alcanzar con éxito esta carrera que sin su ayuda no hubiese podido terminar; por regalarme bendiciones en el transcurso del camino y en medio de dificultades que marcaron mi vida, doy gracias por la salud y bienestar en todo el transcurso del proceso. Por todas las experiencias buenas y malas, estaré siempre agradecido con mi Dios grande.

### **A mis padres:**

Adolfo Vásquez Benítez y Martha Alicia Perez de Vásquez, por el apoyo incondicional en todo el proceso de la carrera que fue el pilar fundamental en todos estos años.

### **A mis compañeras:**

Xiomara Vivas y Roxana Urquilla, por su tiempo, comprensión, amistad y paciencia para poder trabajar en equipo y poder terminar el proceso de graduación.

**Adonay Vásquez**

## DEDICATORIA

Primeramente, a Dios, que sin su inmensa misericordia no hubiera podido llegar hasta acá. Me regaló sabiduría para poder culminar mi carrera universitaria y fuerzas cuando quise rendirme. Con su ayuda e iluminación estoy donde estoy.

A mis padres, por todo el esfuerzo y sacrificio que han hecho para que yo pueda tener una educación. Por acompañarme y apoyarme en las decisiones que he tomado a lo largo de mi vida y ser siempre ese pilar en el cual apoyarme.

A mi hermana mayor, porque siempre fue mi modelo a seguir en todos los aspectos de la vida y que siempre me ha brindado apoyo incondicional. A mi hermana menor, que me enseñó enfrentarme a la vida y fue un constante apoyo en mis noches de desvelos y mi público cuando necesitaba prepararme para mis exposiciones.

A mi abuela, a esa sabia mujer que desde mi niñez dedicaba su tiempo a enseñarme lo más básico de mis estudios y a su manera, me enseñó las matemáticas. A esa mujer que nunca ha perdido la fe en mí y me alienta a sacar lo mejor de mí.

A mi mejor amiga, a Dios gracias por habernos juntado, has sido una de las mejores personas que he conocido y te agradezco todas las veces que me ayudaste a estudiar y que me obligabas a estudiar para mis parciales. Gracias por siempre apoyarme y alegrarme en mis días de estrés y cansancio.

A mis compañeros de tesis, porque ha sido largo el camino, pero llegamos juntos y hemos trabajado muy duro para poder culminar nuestros estudios. Hubo discusiones y dificultades entre nosotros, pero no me cabe duda que serán unos grandes profesionales y que puedo contar con ustedes. Primero Dios sigamos trabajando juntos.

A los amigos que hice a lo largo de mi carrera, “los de industrial y los de civil” y a mis amigos y compañeros de civil. Amigos con los que compartí noches de desvelo para parciales, con los que compartí decepciones y alegrías. Muchas gracias porque cada uno de ustedes de alguna u otra manera contribuyeron a cosechar este triunfo. Los llevo en mi corazón.

*“Porque toda casa es hecha por alguno; pero el que hizo todas las cosas es Dios”  
(Hebreros 3, 4)*

**Xiomara Vivas**

## INDICE DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>V</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>VII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>XIII</b>
<b>CAPÍTULO I:..... GENERALIDADES</b>	<b>1</b>
.....	<b>1</b>
1.1. <i>INTRODUCCIÓN</i> .....	2
1.2. <i>ANTECEDENTES</i> .....	3
1.3. <i>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</i> .....	6
1.4. <i>OBJETIVOS</i> .....	9
1.4.1. <i>OBJETIVO GENERAL</i> .....	9
1.4.2. <i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</i> .....	9
1.5. <i>ALCANCES</i> .....	11
1.6. <i>LIMITACIONES</i> .....	12
1.7. <i>JUSTIFICACIÓN</i> .....	13
<b>CAPÍTULO II:..... GENERALIDADES DEL CONCRETO</b>	<b>15</b>
.....	<b>15</b>
2.1. <i>INTRODUCCIÓN</i> .....	16
2.2. <i>HISTORIA DEL CONCRETO</i> .....	17
2.3. <i>CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO</i> .....	17
2.4. <i>PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y</i> <i>ENDURECIDO</i> .....	18
2.5. <i>TIPOS DE CONCRETO</i> .....	18
2.6. <i>COMPONENTES DEL CONCRETO</i> .....	19
2.6.1. <i>CEMENTO</i> .....	19
2.6.2. <i>AGREGADOS</i> .....	23
2.6.3. <i>AGUA</i> .....	27
2.6.4. <i>ADITIVOS</i> .....	28
2.7. <i>ENSAYOS A LOS AGREGADOS</i> .....	30
2.7.1. <i>INTRODUCCIÓN</i> .....	30
2.7.2. <i>REDUCCIÓN DE MUESTRAS DE AGREGADO A TAMAÑO DE</i> <i>ENSAYO</i> .....	30

2.7.3. MATERIAL MÁS FINO QUE 0,075 MM (MALLA NO.200) POR LAVADO DEL MATERIAL.....	31
2.7.4. GRAVEDAD ESPECÍFICA, DENSIDAD Y ABSORCIÓN EN AGREGADO FINO.....	31
2.7.5. CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD .....	32
2.7.6. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO .....	32
2.7.7. PESOS VOLUMÉTRICOS Y VACÍOS.....	33
2.8. ENSAYOS AL CONCRETO.....	33
2.8.1. CONCRETO FRESCO .....	34
2.8.2. CONCRETO ENDURECIDO.....	35
2.9. CONCRETO POR DESEMPEÑO.....	36
2.9.1. PRUEBA DE VIBRACIÓN BOLA DE KELLY .....	38
2.9.2. PRUEBA DEL SUPER MEDIDOR DE AIRE (SAM) .....	40
2.9.3. MÉTODO DE MADUREZ.....	43
2.9.4. ENSAYO DE LA CAJA .....	46
<b>CAPÍTULO III:.....MEZCLAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS</b>	<b>54</b>
3.1. GENERALIDADES DE PAVIMENTOS RÍGIDOS .....	55
3.2. DEFINICIÓN DE UN PAVIMENTO RÍGIDO .....	56
3.3. ESTRUCTURA.....	56
3.4. COMPONENTES DEL CONCRETO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS ...	57
3.4.1. CEMENTO TIPO PORTLAND.....	58
3.4.2. AGREGADO FINO .....	58
3.4.3. AGREGADO GRUESO .....	59
3.4.4. AGUA .....	60
3.4.5. ADITIVOS.....	60
3.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS.....	61
3.6. RECOMENDACIONES GRANULOMÉTRICAS.....	62
3.7. METODOLOGÍA DE DISEÑO DE CONCRETO .....	86
<b>CAPÍTULO IV: ..... TRABAJO DE LABORATORIO</b>	<b>94</b>
4.1. INTRODUCCIÓN.....	95
4.2. METODOLOGÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL .....	95
4.3. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO EXPERIMENTAL EN EL LABORATORIO	97
4.4. FASES DE LA METODOLOGÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL .....	98

4.5. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO .....	184
<b>CAPÍTULO V: .....</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>
.....	<b>189</b>
5.1 INTRODUCCIÓN.....	190
5.2 CONCLUSIONES.....	191
5.3 RECOMENDACIONES.....	193
<b>ANEXOS .....</b>	<b>202</b>
ANEXOS A: .....	203
ANEXOS B: .....	214

## INTRODUCCIÓN

En este Trabajo de Graduación, se presentan fundamentos teóricos y prácticos relacionados con la distribución de agregados en pavimentos de concreto hidráulico con los cuales se busca mejorar sus características físicas y mecánicas. Por lo tanto, se ha realizado este trabajo de Graduación denominado **“EVALUACIÓN DE GRANULOMETRÍA SHILSTONE Y CURVA DE LA TARÁNTULA, MEDIANTE EL ENSAYO DE LA CAJA, EN MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTO RÍGIDO EN EL SALVADOR”**.

Como ya es sabido, existen muchos métodos que sirven para establecer los límites granulométricos adecuados que se utilizan en las mezclas de concreto para Pavimentos Rígidos. Hasta la fecha los métodos granulométricos más conocidos y utilizados son métodos tales como Fuller, Power 45 y Shilstone, este último es el método más recientemente utilizado en el país.

Con la finalidad de mejorar la optimización y calidad del concreto para Pavimentos Rígidos, el experto en concreto Ph. D Tyler Ley ha desarrollado diversas investigaciones en la búsqueda de un nuevo método granulométrico. Nuevos métodos de prueba del concreto que ayuden a la optimización de las mezclas de concreto y a mejorar sus características, tanto físicas como mecánicas. En función de estas investigaciones realizadas por el Ph. D Tyler Ley y sus colaboradores, se ha desarrollado este Trabajo de Graduación el cual muestra un nuevo método granulométrico conocido como Curva de la Tarántula, que busca una mejor distribución granulométrica que los métodos antes mencionados. Inicialmente se presentan los antecedentes referentes a los pavimentos de concreto hidráulico,

consecutivamente los objetivos que son la base fundamental de la investigación y los cuales se pretenden alcanzar a medida avanza la investigación, además se expone la justificación, alcances y limitaciones, los cuales plantean una idea más clara de lo desarrollado en este Trabajo de Graduación. Asimismo, se presenta toda la información teórica necesaria para este Trabajo de Graduación, con sus respectivas fuentes bibliográficas.

Se hace uso de normas técnicas para evaluar y calificar los agregados para el desarrollo de los ensayos de laboratorio, que demuestran los parámetros estipulados y que garanticen el cumplimiento de las hipótesis que hacen necesario este Trabajo de Graduación. Se presentan los parámetros de diseño de mezclas de concreto de la carretera CA-04S, los cuales serán reproducidos y servirán de base para la elaboración de nuevos diseños óptimos con ayuda de las recomendaciones granulométricas de la curva de la Tarántula.

Se realiza un análisis de resultados de los ensayos realizados a los agregados, al concreto fresco y endurecido (únicamente resistencia a la Flexión), además de verificar las ventajas y desventajas que poseen ambos métodos granulométricos. Finalmente se obtienen las conclusiones de acuerdo a los objetivos planteados en este Trabajo de Graduación.

# **CAPÍTULO I:**

# **GENERALIDADES**

## **1.1. INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se presentan los criterios que definen el enfoque principal de este Trabajo de Graduación denominado “EVALUACIÓN DE GRANULOMETRÍA SHILSTONE Y CURVA DE LA TARÁNTULA, MEDIANTE EL ENSAYO DE LA CAJA, EN MEZCLAS DE CONCRETO HIDRÁULICO PARA PAVIMENTO RÍGIDO EN EL SALVADOR”.

Primeramente, se muestran los antecedentes que dieron lugar a la realización del Ensayo de la Caja y que dio lugar a la creación de la “Curva de la Tarántula”. Seguidamente, se presenta el planteamiento del problema en donde se explica en que consiste esta investigación. Luego se presentan los objetivos que básicamente son los puntos clave que se pretenden alcanzar con este Trabajo de Graduación. Asimismo, se presentan los alcances, es decir, la metodología a utilizar para lograr nuestros objetivos, los cuales se alcanzarán por medio de ensayos de laboratorio a los agregados y concreto. Además, se muestran las limitaciones, es decir los aspectos de la investigación que no podrán cubrirse, ya que se escapan de las posibilidades. Finalmente, se presenta la Justificación y se refiere a las razones principales por los cuales se desarrolla esta investigación, además de la importancia que tiene al realizarse.

## **1.2. ANTECEDENTES**

Desde que los hombres aprendieron a vivir en comunidad y en asentamientos estables, la búsqueda de materiales y procesos constructivos para conseguir una pavimentación más confortable y duradera ha sido una inquietud constante.

Desde piedras naturales, pasando por adoquines de madera, arcilla prensada a mano y cocida, han sido muchos los tipos de materiales empleados en la pavimentación a lo largo de los siglos. Al principio los criterios eran fundamentalmente prácticos y, una vez resueltos éstos, fueron complementados por criterios más refinados en los que la belleza y el diseño cobraron mayor relevancia.

Hasta la fecha existen diferentes tipos de pavimentos de los cuales los principales son los Pavimentos Flexibles (Asfalto) y Pavimentos Rígidos (concreto hidráulico). Como ya se mencionó anteriormente, este trabajo de graduación se enfoca en el estudio de Pavimentos Rígidos, principalmente en la distribución óptima de sus agregados, los cuales son base fundamental para la calidad y funcionamiento del concreto para pavimentos.

En El Salvador, el diseño de mezclas de concreto hidráulico para pavimentos ha tomado mayor importancia en los últimos años, debido a que un buen diseño de concreto hidráulico y una buena distribución granulométrica de agregados, representan ventajas tales como durabilidad de las obras, capacidad de carga, resistencias a edades tempranas entre otros.

Es muy importante conseguir la mezcla óptima en las proporciones adecuadas de agregados de diferentes tamaños, cemento y agua. Cabe aclarar que no hay una mezcla óptima que sirva para todos los casos. Para establecer la dosificación adecuada en cada caso se debe tener en cuenta la resistencia mecánica, factores asociados a la fabricación y puesta en obra, así como el tipo de ambiente a que estará sometido.

Hay muchos métodos para dosificar previamente el concreto, pero son solo orientativos. Las proporciones definitivas de cada uno de los componentes se suelen establecer mediante ensayos de laboratorio, realizando correcciones a lo obtenido en los métodos teóricos.

Los agregados son parte esencial de las mezclas de concreto ya que abarca aproximadamente el 70% de su volumen total, por ello es de vital importancia establecer lineamientos que especifiquen su distribución granulométrica, el tamaño máximo nominal de los agregados y sus características físicas y mecánicas, pues afectan las proporciones relativas del concreto, tales como la demanda de agua y de cemento, trabajabilidad, bombeabilidad, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto. Este Trabajo de Graduación pretende evaluar el desempeño en mezclas de concreto hidráulico utilizando las recomendaciones de optimización granulométrica de la combinación de agregados para un concreto.

Para esta investigación se utilizarán las granulometrías Shilstone (1990) y Curva de la Tarántula (2016), las cuales emiten recomendaciones para la combinación de agregados. Ambas granulometrías presentan gráficas correspondientes a la granulometría óptima de los agregados que componen la mezcla de concreto. Durante los últimos años, Shilstone ha sido el método más utilizado para la combinación de agregados para pavimentos rígidos en El Salvador.

La Curva de la Tarántula aún no ha sido utilizada en diseños de mezclas de concreto para pavimentos en El Salvador, puesto que es un método muy reciente, el cual aún está en fase de prueba. Este método ha sido desarrollado en Estados Unidos, y ha sido aplicado en un tramo de prueba que es la cubierta de un puente de La Guardia Airport ubicado en New York, EEUU. Estas investigaciones están basadas en análisis realizados en los diseños de mezclas de concreto utilizando diferentes especificaciones granulométricas para obtener una combinación óptima de los agregados y así poder reducir la cantidad de cemento a utilizar, mejorar su calidad y disminuir costos.

Shilstone se auxilia del Ensayo de Revenimiento (Cono de Abrams, 1918) para medir que las condiciones del concreto sean las adecuadas al momento de colocarlo, sin embargo, no proporciona toda la información necesaria. Del análisis de la curva de la tarántula nacen otras alternativas de ensayo para medir el desempeño del concreto y que como ya se mencionó, aún están en proceso de aprobación. Entre estos ensayos están: Ensayo de la Bola de Kelly, Ensayo

Súper Medidor de Aire, Ensayo de Madurez, Ensayo de Factor de Formación y Ensayo de la Caja según norma AASHTO PP-84 apéndice X3 (Sólo este método se realizará en el Trabajo de Graduación). Este ensayo, permite medir las condiciones del concreto y obtener más información tales como: la trabajabilidad de concreto, la superficie y facilidad de colocación del concreto, entre otros.

### **1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Un parámetro importante para la implementación de la dosificación en un concreto para pavimento rígido, es la granulometría. De manera que se categoriza como uno de los aspectos más importantes en un diseño de mezclas de concreto hidráulico. Existen diversas especificaciones sobre las granulometrías óptimas que se pueden utilizar para garantizar un mejor desempeño de los agregados en las mezclas de concreto rígido.

En la capa de rodadura, este parámetro granulométrico se considera como la columna principal en el diseño de la mezcla de concreto hidráulico, principalmente porque será la encargada de transmitir los efectos de carga a las siguientes carpetas que componen el pavimento. Se tiene en cuenta las condiciones extremas a las cuales se verá sometida esa estructura de concreto, tales como abrasión, desgaste, esfuerzos de flexión, que pondrán a prueba el diseño del pavimento rígido.

Se define esqueleto granular, al conjunto de materiales inertes del concreto. Estos son los agregados finos y gruesos, y se considera optimizado cuando las

proporciones entre los agregados finos y gruesos son las mejores para producir una mezcla específica, según “La Tecnología del Concreto” del escritor Pablo Portugal Barriga.

Actualmente las recomendaciones granulométricas que exigen los propietarios de proyectos en El Salvador, son las de la granulometría Shilstone, que según la investigación realizada por estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad de El Salvador, en el año 2013, denominada «Evaluación y comparación de módulos de ruptura para mezclas de concreto hidráulico utilizados en pavimentos rígidos aplicando granulometría Fuller y Shilstone» aporta beneficios tales como, la optimización granulométrica, en la cual busca mejorar las propiedades mecánicas del concreto fresco y endurecido.

En cuanto a la granulometría de la curva de la tarántula, que es una granulometría que surge a raíz de múltiples investigaciones realizadas en los Estados Unidos de América por el Ph.D Tyler Ley, plantea los beneficios de una mejor optimización de agregados en su granulometría para dar una mayor adherencia entre agregados, que hacen que el concreto tenga menor cantidad de vacíos y mayor estabilidad en su estado fresco, mejorando de esta manera la resistencia mecánica, la colocación en estado fresco y aportando una mejor textura en el acabado.

Partiendo de estos puntos, se plantea la necesidad de evaluar y comparar ambas granulometrías Shilstone y Curva de la tarántula, ya que no se cuenta con

estudios e investigaciones de esta última en El Salvador, que determinen cuál de éstas proporcionan mejores valores de desempeño. Asimismo, investigar cómo la curva de la tarántula hace posible confirmar las ventajas que este nuevo método granulométrico posee en cuanto a la trabajabilidad y resistencia para poder hacer uso de esta nueva recomendación granulométrica.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la granulométrica Shilstone y Curva de la Tarántula, mediante el ensayo de la caja, en mezclas de concreto hidráulico para pavimento rígido en El Salvador.

### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Investigar los conceptos básicos de los agregados gruesos y finos y cómo influyen en la elaboración de mezclas de concreto de peso normal e hidráulico.
- Verificar la calidad de los agregados a utilizar, a través de los ensayos de gravedad específica, Densidad Bulk, análisis granulométrico, absorción y contenido de humedad.
- Reproducir el diseño de mezcla de concreto hidráulico utilizado en Carretera CA04S Tramo II “Inicio By Pass de La Libertad”.
- Diseñar mezclas de concreto hidráulico, considerando la combinación de diferentes granulometrías, manteniendo fijos los criterios del diseño original como el tipo de cemento, revenimiento, módulo de ruptura, relación agua/cemento.
- Evaluar las propiedades físicas y mecánicas en las mezclas de concreto elaboradas, mediante el ensayo de la caja, revenimiento y resistencia a la flexión.

- Interpretar el comportamiento de las mezclas de concreto hidráulico, con base en los resultados obtenidos de los ensayos realizados al concreto en estado fresca y endurecido, al utilizar dos tipos de granulometrías diferentes; siendo estas la granulometría Shilstone y Curva de la Tarántula.

## 1.5. ALCANCES

- Se realizarán ensayos basados en norma ASTM, que garanticen la calidad de los agregados; los cuales comprenden: análisis granulométrico, pesos volumétricos y vacíos, gravedad específica y absorción de agregado, contenido de humedad.
- Se realizará el diseño de la mezcla de concreto con base a la curva granulométrica de la tarántula, basados en los criterios de diseño de pavimentos construidos mediante granulometría Shilstone, tomando en cuenta los siguientes criterios: tipo de cemento, relación A/C, tamaño máximo nominal de agregado, asentamiento en obra y Módulo de ruptura.
- Se realizarán ensayos al concreto fresco, tales como: método de ensayo estándar para la medición de la temperatura al concreto fresco, práctica para la elaboración de especímenes de concreto y curado en laboratorio.
- Se realizará la evaluación del concreto fresco, por medio del ensayo de la caja y revenimiento, para las granulometrías Shilstone, como también, la granulometría de la curva de la tarántula, bajo las mismas condiciones de curado y ensayos de resistencia.
- Se hará el ensayo de resistencia a la flexión del concreto endurecido en laboratorio para la obtención del módulo de ruptura (Mr).
- Se harán comparaciones con los resultados obtenidos de los ensayos realizados al concreto fresco y endurecido, a las mezclas de concreto hechas con granulometría Shilstone y curva de la tarántula.

## 1.6. LIMITACIONES

- La información de diseños de mezclas de concreto para pavimentos construidos recientemente en El Salvador, son de carácter confidencial, por lo tanto, se utilizará parcialmente la información, para la realización de la investigación.
- No se construirán tramos de prueba para llevar a cabo en esta investigación, por lo que solo se basará en pruebas de laboratorio.
- La granulometría de la curva de tarántula, en El Salvador es desconocida; por lo que la información se retomará de investigaciones internacionales, y se ajustará a las condiciones climáticas y materiales de nuestro país.
- Se utilizará el ensayo de la caja, para determinar las propiedades físicas del concreto en estado fresco, ya que no contamos con la facilidad de utilizar otros equipos más precisos.
- No se realizarán todos los ensayos de desempeño al concreto fresco, tales como: bola de Kelly, súper medidor de aire, método de madurez y factor de formación por falta de instrumentos para realizar los ensayos.

## **1.7. JUSTIFICACIÓN**

La granulometría, en un diseño de mezcla de concreto, es importante para que se logre una mezcla económica. También influye en la trabajabilidad y la facilidad de colocación del concreto.

Las mezclas de concreto necesitan tener trabajabilidad, durabilidad y resistencia. La trabajabilidad es una de las propiedades más importante, ya que, si una mezcla de concreto no cuenta con una buena trabajabilidad, se dificulta construir elementos estructurales, por lo que es crítico realizar un buen diseño de mezcla de concreto.

En El Salvador, desde el 2013, se comienzan investigaciones sobre la granulometría Shilstone, para más adelante, utilizarla en los diseños de mezclas de concreto para pavimentos rígidos.

En el año 2013, en Estados Unidos se comenzó a desarrollar otra investigación derivada de Shilstone, conocida como curva de la tarántula, desarrollada por el Ph. D Tyler Ley con colaboración de Ph. D Daniel Cook y M.S. Ashkan Ghaeezadeh.

El desarrollo de esta investigación es muy importante, ya que en El Salvador no existen estudios de mezclas de concreto hidráulico bajo las recomendaciones granulométricas de esta investigación.

Se busca que esta granulometría reduzca los costos de colocación en los proyectos de construcción de pavimentos rígidos, ya que el uso de agregados en el concreto, hace posible la reducción de la cantidad de vacíos que minimicen los costos de colocación de la mezcla y en el vibrado del proceso constructivo, y esta metodología pretende aumentar la cantidad de agregados, a la vez que se disminuye el volumen de la pasta. También se puede mejorar la resistencia, la durabilidad, la trabajabilidad y se puede tener un mejor control en las mezclas de concreto.

Con la realización y elaboración de diseño de mezcla con granulometría Shilstone se llevará a cabo una evaluación comparativa, la cual, pretende identificar qué influencia tienen las especificaciones granulométricas en el diseño de mezclas de concreto hidráulico para pavimentos rígidos, realizando ensayos de desempeño mediante el ensayo de la caja. Los resultados obtenidos de las dosificaciones serán analizados y comparados para determinar cuál de estas presenta mejores resultados de trabajabilidad, ya que a través de esta propiedad se pretende concluir cuál es más factible utilizar.

# **CAPÍTULO II: GENERALIDADES DEL CONCRETO**

## **2.1. INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se presenta una reseña del avance que ha alcanzado la tecnología del concreto, para obtener en la actualidad diferentes tipos de arreglos que hacen de este, un elemento estructural indispensable en la construcción de edificaciones y obras de paso. Se hace un resumen de los inicios del concreto, con su respectiva generalidad.

Por otra parte, se menciona los elementos principales que constituyen a una mezcla de concreto, tales como, agregado grueso, agregado fino, agua, material cementante y los aditivos que intervienen en las características que este posea.

Se presentan términos que caracterizan a un concreto en estado fresco, tales como la segregación, exudación, manejabilidad, plasticidad que resultan perjudiciales para un desarrollo sano de la resistencia del elemento de concreto en una obra, ya que, si no se tienen en cuenta esta terminología, podría poner en riesgo la calidad del concreto en el lugar de aplicación.

Por otra parte, se presentan los términos de resistencia a la compresión y a flexión, los cuales son términos que describen la calidad de un concreto y cómo poder medirla. Estos términos son importantes porque del resultado de estos ensayos, que determinan sus características de resistencia, depende la calidad del proyecto del cual se hace uso.

## **2.2. HISTORIA DEL CONCRETO**

Los orígenes de concreto se remontan a siglos A. de C., como por ejemplo en Roma, cuando utilizaron mezclas de caliza calcinada, tobas volcánicas y piedras, para construir algunas de las estructuras que hoy todavía subsisten, como el Panteón o Iglesia de Santa María de los Mártires, cuya cúpula, de 44 metros de claro, es de concreto simple; la cúpula está aligerada por medio de casetones.

En 1817, Vicat, propuso por primera vez el procedimiento de fabricación del cemento, que en términos generales se sigue utilizando hoy en día. Sin embargo, fue Joseph Aspdin, quien, en 1824, obtuvo la patente para fabricarlo.

El concreto reforzado se debe fundamentalmente al francés Freyssinet, quien empezó fabricando postes para transmisión de energía eléctrica, a principios de 1933.

## **2.3. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO**

La calidad del concreto depende en gran medida de la calidad de la pasta. En un concreto elaborado adecuadamente, cada partícula de agregado está completamente cubierta con pasta y también todos los espacios entre partículas de agregados.

Las propiedades del concreto en estado fresco (plástico) y endurecido, se pueden modificar agregando aditivos al concreto, usualmente en forma líquida, durante su dosificación.

#### **2.4. PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO Y ENDURECIDO**

Algunas propiedades que más se conocen en el concreto en estado fresco y endurecido son:

- Mezclado
- Manejabilidad
- Segregación
- Exudación
- Resistencia a la Compresión
- Módulo de elasticidad
- Resistencia a la flexión
- Durabilidad

#### **2.5. TIPOS DE CONCRETO**

Existen muchos tipos de concreto y cada tipo se encuentra diseñado para una determinada aplicación que se le da al concreto en la construcción, como los cimientos, columnas, vigas, losas, muros de contención, bases nucleares, etc. Conocidos, también, como concretos especiales, debido a que son hechos específicamente para casos que no son de uso general.

Los concretos especiales, son aquellos que tienen propiedades no ordinarias o aquéllos producidos por técnicas poco comunes. Debido a las necesidades diarias de la vida, el concreto ha ido creciendo rápidamente en el mundo.

A continuación, se mencionan algunos tipos de concreto que son de mucha utilidad al momento de construir elementos que requieren concretos especiales o de alto desempeño.

- Concreto de peso ligero
- Concreto Sin Finos
- Concreto de Alto Peso Volumétrico
- Concreto de Alta Resistencia
- Concreto Compactado con Rodillo (CCR)
- Concreto Lanzado

## **2.6. COMPONENTES DEL CONCRETO**

El concreto se fabrica mezclando homogéneamente: cemento, agua, arena y grava, y en algunos casos, aditivos. A continuación, se describen las funciones de cada uno de los componentes dentro del concreto, sus características y cualidades para obtener un concreto de buena calidad.

### **2.6.1. CEMENTO**

El cemento se fabrica de la mezcla de materias primas, cuidadosamente seleccionadas, a fin de producir un material terminado, cuyos componentes se pueden mostrar en la figura 2.1.

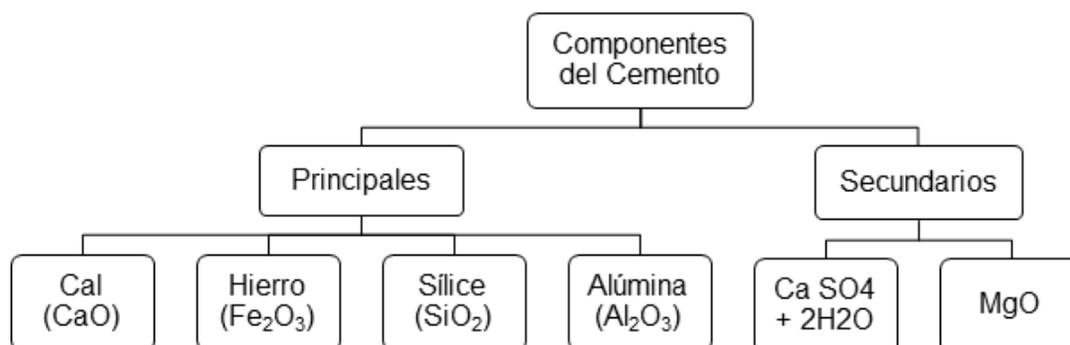


FIGURA 2.1: COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL CEMENTO

### 2.6.1.1. Composición química del cemento

En la fabricación del clinker de cemento portland, durante la calcinación, el calcio se combina con otros componentes de la mezcla cruda para formar cuatro compuestos principales que corresponden al 90% de la masa del cemento. Durante la molienda, se añaden yeso (4% hasta 6%) u otra fuente de sulfato de calcio y otros auxiliares de molienda.

Compuestos Básicos	Fórmula Químico	Abreviatura
Silicato Tricálcico	$3\text{CaO SiO}_2 = \text{C}_3\text{S}$	Alita
Silicato Dicálcico	$2\text{CaO SiO}_2 = \text{C}_2\text{S}$	Belita
Aluminato Tricálcico	$3 \text{CaO Al}_2\text{O}_3 = \text{C}_3\text{A}$	Aluminato

Aluminoferrito Tetracálcico	$4\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \text{ Fe}_2\text{O}_3 = \text{C}_4\text{AF}$	Ferrita
-----------------------------	---	---------

TABLA 2.1: COMPUESTOS BÁSICOS DEL CEMENTO PORTLAND,

FUENTE: AUTOR PROPIO

En presencia del agua, los cuatro compuestos se hidratan para formar nuevos compuestos que constituyen la infraestructura de la pasta de cemento endurecido en el concreto:

- Los silicatos de calcio,  $\text{C}_3\text{S}$  y  $\text{C}_2\text{S}$ , que constituyen cerca del 75% del peso del cemento, se hidratan para formar los compuestos de hidróxido de calcio e hidrato de silicato de calcio (gel de tobermorita).
- El  $\text{C}_3\text{A}$  reacciona con el agua y con el hidróxido de calcio para formar el hidrato de aluminato tetracálcico.
- El  $\text{C}_4\text{AF}$  reacciona con el agua para formar hidrato de Aluminoferrito de calcio.
- El  $\text{C}_3\text{A}$ , el yeso y el agua se pueden combinar para formar el hidrato sulfoaluminato de calcio.

### 2.6.1.2. Tipos de cemento Portland

De acuerdo a la norma **ASTM C 150 “Especificaciones Estándar para Cemento Portland”**, se estipulan ocho tipos de cementos:

TABLA 2.2: CARACTERÍSTICAS DE LOS CEMENTOS PORTLAND.

FUENTE: ASTM C150

Tipo	Descripción	Características Opcionales
I	Uso General	1,5
II	Uso General; Calor de hidratación moderado y Resistencia moderada a los sulfatos	1,4,5
III	Alta resistencia inicial	1,2,3,5
IV	Bajo calor de hidratación	5
V	Alta resistencia a los sulfatos	5,6
Características Opcionales 1. Aire incluido IA, IIA, IIIA. 2. Resistencia moderada a los sulfatos: C3A máximo, 8% 3. Alta resistencia a los sulfatos: C3A máximo, 5% 4. Calor de hidratación moderado; calor máximo de 290 KJ/Kg (70 cal/g) a los 7 días, o la suma de C3S y C3A, máximo 58% 5. Alcali bajo: máximo de 0.6%, expresando como NaO equivalente 6. El límite de resistencia alternativa de sulfatos está basado en el ensayo de expansión de barras de mortero.		

### 2.6.1.3. CEMENTOS HIDRÁULICOS

Los cementos hidráulicos se fraguan y endurecen por su reacción química con el agua. También se mantienen duros y estables bajo el agua, se usan en todos los aspectos de la construcción con concreto. En los años 90 se crearon las especificaciones de desempeño para los cementos hidráulicos ASTM C1157. La **ASTM C1157** presenta siete tipos de cemento hidráulicos.

Tipo	Características y uso
<b>GU</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Es de uso general</li> <li>● Aplicación: en concreto incluye pavimentos, pisos, edificios en concreto armado, puentes, tuberías, productos de concreto prefabricado y otras aplicaciones donde se usa el cemento <b>tipo I</b></li> </ul>
<b>HE</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Proporciona alta resistencia en edades tempranas, usualmente menos de una semana.</li> <li>● Aplicación: la misma manera que el cemento portland <b>tipo III</b></li> </ul>
<b>MS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Se emplea donde sean importantes las precauciones contra el ataque moderado por los sulfatos</li> <li>● Aplicación: en estructuras de drenaje, donde las concentraciones de los sulfatos en el agua subterránea son mayores que las normales, pero no llegan a severas.</li> </ul>
<b>HS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Se emplea en concretos expuestos a la acción severa de los sulfatos, principalmente donde el suelo o el agua subterránea tiene altas concentraciones de sulfatos.</li> <li>● Aplicación: La misma que el cemento portland <b>tipo V</b></li> </ul>
<b>HS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Se usa donde el concreto necesite tener un calor de hidratación moderado y se deba controlar el aumento de temperatura.</li> <li>● Aplicación: la misma manera que el cemento portland <b>tipo II</b></li> </ul>
<b>LH</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Se usa donde la tasa y la cantidad del calor generado por la hidratación deban ser minimizadas. Este cemento desarrolla resistencia en una tasa más lenta que los otros tipos de cementos.</li> <li>● Aplicación: en estructuras de concreto masivo donde se deba minimizar el aumento de la temperatura resultante del calor generado durante el endurecimiento, este se usa igual que el cemento portland <b>tipo IV</b></li> </ul>

TABLA 2.3: CLASIFICACIÓN DE CEMENTOS HIDRÁULICOS.

FUENTE: ASTM C1157

## 2.6.2. AGREGADOS

### Generalidades de los agregados

Los agregados minerales son partículas de forma irregular que tienen como origen la roca. Se encuentran en la naturaleza como arena, grava, piedra o rocas que pueden triturarse en partículas. Son también subproductos o material de

desecho de algún proceso industrial u operación de minería. Todos se derivan de la roca por efecto de las fuerzas de la naturaleza; o en el caso de la piedra triturada por un proceso de manufactura.

### **Clasificación de los agregados**

Las normas sobre agregados comprenden agregados ordinarios (ASTM C33), tamaños recomendados de las existencias de agregados para construcción de carreteras (ASTM D 448) y agregados livianos (ASTM C330 y ASTM C 332). Se requiere, por lo general, que los agregados sean limpios, duros, sanos y durables, y que los tamaños de las partículas estén comprendidos entre los límites establecidos según.

### **TAMAÑO DE SUS PARTÍCULAS**

Los agregados se dividen por el tamaño de sus partículas en dos grandes categorías:

**AGREGADO GRUESO:** El agregado grueso (grava), se refiere a partículas de agregado mayores de 4.75 mm (malla No. 4)

**AGREGADO FINO:** El término agregado fino (arena), se refiere a partículas de agregado menores de 4.75 mm, pero mayores de 75 micras (malla No. 200), y resulta de la desintegración natural y de la abrasión de la roca o del procesado de piedra caliza deleznable.

## **IMPORTANCIA DE LOS AGREGADOS**

La importancia de utilizar el tipo y la calidad correctos de agregado, no se puede subestimar debido a que los agregados fino y grueso ocupan cerca del 60% al 75% del volumen del concreto (70% a 85% de la masa). La influencia de este material en las propiedades del concreto tiene efectos importantes no sólo en el acabado y calidad final del concreto, sino también:

- Sobre la trabajabilidad y consistencia al estado plástico, así como sobre la durabilidad, resistencia, propiedades elásticas y térmicas, cambios volumétricos y peso unitario del concreto endurecido.
- Actúan como material de relleno, haciendo más económica la mezcla.
- Los agregados, en combinación con la pasta fraguada, proporcionan parte de la resistencia del concreto.
- Cuando la mezcla de concreto pasa del estado plástico al estado endurecido durante el proceso de fraguado, los agregados controlan los cambios volumétricos de la pasta evitando que se generen agrietamientos por retracción plástica, los cuales pueden afectar la resistencia del concreto.

## **FUNCIÓN DE LOS AGREGADOS**

Entre las funciones principales de los agregados, se pueden señalar las siguientes:

- a. En la pasta, forman una trabazón de tal manera que se genera una superficie de adherencia que disminuye los cambios de volumen y se disminuye el volumen total que puede sufrir contracción
- b. Proveen una masa de partículas aptas para resistir la acción de cargas aplicadas, abrasión, paso de humedad y acción climática.
- c. Son un relleno relativamente económico para el material cementante, si se toma en cuenta que los agregados son más económicos que el cemento.
- d. Reducen los cambios de volumen resultantes de los procesos de fraguado y endurecimiento, así como los cambios de humedad en la pasta de cemento.
- e. En estado plástico, el agregado fino (arena) y la pasta actúan como lubricantes de las partículas más gruesas para que el concreto pueda ser mezclado, transportado, colocado, compactado y terminado en forma adecuada.
- f. Aportan parte de la resistencia propia a la resistencia a la compresión del concreto.

### **2.6.3. AGUA**

#### **Aplicaciones del agua**

En relación con su empleo en concreto, el agua tiene dos diferentes aplicaciones: como ingrediente en la elaboración de las mezclas y como medio de curado de las estructuras recién construidas. En el primer caso es de uso interno como agua de mezclado y en el segundo se emplea exteriormente como curado del concreto.

Como componente del concreto convencional, el agua suele representar aproximadamente entre 10 y 25 % del volumen del concreto recién mezclado, dependiendo del tamaño máximo de agregado que se utilice y del revenimiento que se requiera.

#### **Requisitos de calidad**

El ASTM C 1602/C 1602M “Especificación para el agua de mezcla utilizada en la fabricación de concreto de cemento hidráulico” provee una guía en el uso del agua no potable o reciclada. Según esta norma se definen las siguientes fuentes de agua:

- Agua combinada: Una mezcla de dos o más fuentes de agua combinadas juntas, antes o durante su introducción en la mezcla.
- Estabilizadores de hidratación de la mezcla: serie amplia de retardadores de mezcla que controlan la hidratación del cemento en aplicaciones de manejo del concreto y del agua que retorna de la producción del concreto.

- No potable: las fuentes de agua que no se ajustan para el consumo humano o que contienen cantidades de sustancias que la decoloran o le den olor o sabor cuestionable, pero que no contienen agua de las operaciones de producción del concreto
- Agua potable: agua aceptable para consumo humano.
- Agua proveniente de las operaciones de producción del concreto: agua recuperada del proceso de producción de concreto de cemento hidráulico

#### **2.6.4. ADITIVOS**

##### **Definición**

Son materiales orgánicos o inorgánicos que se añaden a la mezcla durante o luego de formada la pasta de cemento y que modifican en forma dirigida algunas características del proceso de hidratación, el endurecimiento e incluso la estructura interna del concreto.

##### **Clasificación de los aditivos para concreto**

Para el desarrollo de los diferentes tipos de aditivos, la norma ASTM C 494 “Especificación Estándar de Aditivos Químicos para Concreto”, nos da algunos tipos:

**Aditivos acelerantes**

Sustancias que reducen el tiempo normal de endurecimiento de la pasta de cemento y/o aceleran el tiempo normal de desarrollo de la resistencia.

**Aditivos incorporadores de aire**

Son usados para retener intencionalmente burbujas microscópicas de aire en el concreto. Optimiza eficientemente la durabilidad de los concretos que se encuentren expuestos a la humedad durante los ciclos de congelación y deshielo.

**Aditivos reductores de agua – plastificantes**

Son compuestos orgánicos e inorgánicos que permiten emplear menor agua de la que se usaría en condiciones normales en el concreto, produciendo mejores características de trabajabilidad y también de resistencia al reducirse la Relación Agua/Cemento. Usualmente reducen el contenido de agua por lo menos en un 5% a 10%.

**Aditivos superplastificantes**

Son reductores de agua-plastificantes especiales en los que el efecto aniónico se ha multiplicado notablemente.

**Aditivos retardantes**

Tienen como objetivo incrementar el tiempo de endurecimiento normal del concreto, con miras a disponer de un período de plasticidad mayor que facilite el proceso constructivo.

## **2.7. ENSAYOS A LOS AGREGADOS**

### **2.7.1. INTRODUCCIÓN**

En el siguiente apartado, se hace un resumen de los ensayos necesarios para poder realizar el diseño de mezclas de concreto; los cuales garantizan la calidad del agregado, que es el fundamental en el diseño, para alcanzar la durabilidad y resistencia deseada ante las condiciones más severas que estará expuesto. Dichos ensayos están bajo especificaciones de las normas ASTM (Asociación Americana de Ensayo de Materiales) y AASHTO (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes).

El ensayo más representativo es el de revenimiento por medio de la caja, los cuales determina la apariencia granulométrica del concreto, la trabajabilidad y la cantidad de vacíos, además determina cada una de estas características de forma visual.

### **2.7.2. REDUCCIÓN DE MUESTRAS DE AGREGADO A TAMAÑO DE ENSAYO.**

Método de Ensayo Estándar para Reducción de Muestras de Agregados a Tamaño de Ensayo, ASTM C702-98.

Este ensayo brinda el procedimiento para reducir la muestra obtenida en el campo o producida en el laboratorio a un tamaño conveniente para realizar la cantidad necesaria de ensayos que describen el material y midan la calidad al mismo, de manera que la porción más pequeña de la muestra tenga una alta probabilidad en representar a la muestra más grande y así al total aportado.

### **2.7.3. MATERIAL MÁS FINO QUE 0,075 MM (MALLA NO.200) POR LAVADO DEL MATERIAL**

Método de Prueba Estándar para Materiales más Finos que 0.075 mm (malla N° 200) en Agregados Minerales mediante lavado, ASTM C117.

Este ensayo permite la determinación por lavado de la cantidad de material más fino que la malla de 0.075 mm (N°200) en agregados. Las partículas de arcilla y otras partículas de agregados que se dispersan por el agua de lavado y los materiales solubles en agua, se remueven de los agregados durante el ensayo.

### **2.7.4. GRAVEDAD ESPECÍFICA, DENSIDAD Y ABSORCIÓN EN AGREGADO FINO**

Método de ensayo estándar para Densidad, Gravedad Específica y Absorción de Agregados Finos, ASTM C128-07a

Este ensayo permite la determinación de la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado grueso (sin incluir el volumen de los vacíos entre las

partículas), la gravedad específica (densidad relativa) y la absorción del agregado grueso. Dependiendo del procedimiento utilizado: se obtiene la densidad seca al horno (Dbs), densidad saturada-superficie-seca (Dbss) y densidad aparente (Ds),  $\text{kg/m}^3$ . De igual modo, la cualidad adimensional gravedad específica (densidad relativa), se expresa como gravedad específica seca al horno (Gbs).

#### **2.7.5. CONTENIDO TOTAL DE HUMEDAD**

Método de ensayo estándar para medir el contenido total de humedad en agregados mediante secado, ASTM C566-97.

Este método de ensayo incluye la determinación del porcentaje de humedad evaporable en una muestra de agregado por secado, incluye la humedad en la superficie y la humedad en los poros del agregado. Ciertos agregados pueden contener agua que está químicamente combinada con los minerales en el agregado. Tal agua no es evaporable y no está incluida en el porcentaje determinado por este método de ensayo.

#### **2.7.6. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**

Especificación estándar para análisis granulométrico de agregados finos y gruesos, ASTM C136

Esta especificación define los requisitos para granulometría y calidad de los agregados finos y gruesos (distinto de los agregados liviano o pesado) para utilizar en concreto.

### **2.7.7. PESOS VOLUMÉTRICOS Y VACÍOS**

Método de ensayo estándar para Densidad Bulk y Vacíos en los agregados, ASTM C29/C29M-09.

Este método de ensayo cubre la determinación de la densidad bruta (peso unitario) del agregado en una condición compacta o suelta y calcula los vacíos entre las partículas en el agregado fino, grueso o una mezcla de ellos, basado en la misma determinación.

### **2.8. ENSAYOS AL CONCRETO**

Los ensayos al concreto son el primer paso del desarrollo constructivo que marcará la pauta para un veredicto de calidad y durabilidad de las estructuras construidas con este material. Si se le da la importancia que corresponde, esto permite tomar decisiones para optimizar desempeños y una buena ejecución de los procesos constructivos.

## **2.8.1. CONCRETO FRESCO**

### **2.8.1.1 ELABORACIÓN DE MEZCLA DE CONCRETO**

Elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio, ASTM C192.

Esta práctica provee los requerimientos normalizados para la preparación de materiales, mezclas de concreto, elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayo bajo condiciones de laboratorio. Si la preparación del espécimen se controla como se indica, la información desarrollada se puede utilizar para los siguientes propósitos: a) Proporcionar las mezclas para concreto b) Evaluar las diferentes mezclas y materiales c) Correlación con ensayos no destructivos d) Probar especímenes con propósitos de investigación. Los resultados del ensayo de especímenes de concreto hechos y curados utilizando esta práctica se usan ampliamente. Pueden ser la base para los ensayos de aceptación de concreto de proyectos, evaluación de investigaciones y otros estudios.

Este ensayo es aplicable a cilindros (15×30 cm) y vigas (15×15×50 cm) de concreto, sin embargo, para esta investigación en específico se realizarán especímenes de vigas de concreto, para determinar la resistencia a la flexión.

### **2.8.1.2 ENSAYO DE REVENIMIENTO**

Método de ensayo estándar para Revenimiento del Concreto Fresco, ASTM C143-10.

Este método de ensayo cubre la determinación del revenimiento de concreto de cemento hidráulico, tanto en laboratorio como en campo.

El ensayo de revenimiento se realiza para monitorear la consistencia de una muestra de concreto fresco. Bajo condiciones de laboratorio y con un estricto control de los materiales del concreto, se ha encontrado una relación directa entre la cantidad de agua y el revenimiento de una mezcla de concreto.

### **2.8.2. CONCRETO ENDURECIDO**

El concreto es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión, dependiendo de las propiedades tanto físicas, químicas, mecánicas de sus componentes y de la interacción de cada uno de ellos.

Se le conoce al concreto endurecido como aquel que tras el proceso de hidratación ha pasado del estado plástico al estado rígido.

### 2.8.2.1. RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Resistencia a la Flexión del Concreto (Usando viga simple con carga a los tercios del claro), ASTM C 78.

El ensayo tiene como objetivo determinar la resistencia a flexión del concreto endurecido, mediante la aplicación uniforme de carga en una probeta prismática a través de dos rodillos que transmiten la presión perpendicular a la probeta apoyada sobre dos rodillos.

El esfuerzo de tensión máxima que se alcanza teóricamente en las fibras del fondo de la viga de prueba se llama **Módulo de Rotura** y resulta de gran utilidad en proyectos de losas para pavimentos y pistas de aterrizajes en aeropuertos.

## 2.9. CONCRETO POR DESEMPEÑO

La práctica actual para una mezcla de concreto es requerir especificaciones relevantes de resistencia y durabilidad, y que al mismo tiempo proporcione suficiente trabajabilidad para la aplicación deseada. Producir una mezcla de concreto que cumpla con estos requerimientos puede ser difícil de alcanzar y altamente iterativo (ACI 309, 2008). Aunque existan ensayos para evaluar la resistencia y la durabilidad de una mezcla de concreto, solo algunos ensayos confiables pueden evaluar la trabajabilidad en el concreto fresco.

Shilstone dice lo siguiente sobre la prueba de revenimiento, "la prueba de revenimiento debe de reconocerse por lo que es: una medida de la capacidad de una mezcla determinada de concreto para hundirse" (Shilstone 1989). La prueba de remodelación de Powers (Powers 1968), la prueba del aparato VeBe (Wong et al. 2001) y otras pruebas vibratorias similares (Wong et al. 2001) miden la capacidad de una mezcla de cambiar formas bajo vibración. La mezcla debe poder consolidarse por vibración, pero también ser lo suficientemente rígida para que sus bordes se sostengan mientras deja la pavimentadora.

La Administración Federal de Carreteras (FHWA, por sus siglas en inglés "The Federal Highway Administration"), 18 departamentos estatales de transporte y 4 asociaciones nacionales que representan a la industria de pavimentación de concreto en Estados Unidos, se han unido para financiar el proyecto "Mezclas de alto desempeño" (PEM, por sus siglas en inglés "Performance Engineered Mixtures").

El objetivo del proyecto PEM, es llevar nuevas tecnologías a las agencias estatales y ayudar a los estados a adoptar los métodos de prueba que los ayudarán a cumplir la promesa de una durabilidad concreta.

Los métodos de prueba incluidos en el paraguas de PEM, se detallarán a continuación.

Cabe aclarar que, para este trabajo de graduación, los siguientes métodos de ensayo serán únicamente teóricos, a excepción del ensayo de la caja, que será teórico y práctico.

### **2.9.1. PRUEBA DE VIBRACIÓN BOLA DE KELLY**

Método estándar de prueba para la penetración vibratoria de bolas de Kelly (V-Kelly) en concreto de cemento Portland fresco, AASHTO TP 129-18.



*FIGURA 2.2: PRUEBA PARA LA PENETRACIÓN VIBRATORIA DE BOLA DE KELLY,*

*FUENTE: CP TECH CENTER*

#### **Objetivo del ensayo:**

Examinar la trabajabilidad y la respuesta a la vibración de una mezcla de concreto.

**Descripción del ensayo:**

Este método de prueba describe el procedimiento para determinar la consistencia del concreto fresco midiendo la profundidad de penetración de una masa metálica en concreto plástico bajo la fuerza de la gravedad y evaluando cuantitativamente la capacidad de respuesta a la vibración de las mezclas de concreto seco, como se desea de una mezcla adecuada para pavimento de encofrado.

El tiempo de duración del ensayo se estima de 10 minutos.

**Equipo:**

- Se conecta un vibrador de  $\frac{3}{4}$  pulg. a un hemisferio de 6 pulg. de diámetro, que juntos pesan 30 lb.
- La pelota también está unida a un vástago graduado estabilizado por un marco de acero ajustable.
- La velocidad del vibrador se controla a 8,000 vpm.

**Descripción general del procedimiento de prueba:**

1. La muestra de concreto se vierte uniformemente en un recipiente y se nivela.
2. La bola se baja hasta que toca la superficie del concreto. La lectura en el tallo es célebre.

3. Luego se permite que la pelota descienda lentamente hacia el concreto usando solo su peso. Cuando deja de moverse, se registra la lectura.
4. Se inicia el vibrador y se registran lecturas de profundidad cada 6 segundos durante 36 segundos bajo vibración.
5. La muestra se vuelve a mezclar y la prueba se repite dos veces.
6. Se desarrolla una gráfica de profundidad promedio versus raíz cuadrada del tiempo. La pendiente de la trama es reportada como el índice V-Kelly en unidades.

### 2.9.2. PRUEBA DEL SUPER MEDIDOR DE AIRE (SAM)

Método estándar de prueba para la caracterización del sistema vacío de aire de concreto recién mezclado mediante el método de presión secuencial, AASHTO TP 118.



FIGURA 2.3: BOMBA DE AIRE, FUENTE: CP TECH CENTER

### Alcance del ensayo:

Este método cubre la determinación del contenido de aire y el número de métrica de aire del sistema (SAM) de concreto recién mezclado a partir de la observación del cambio en el volumen de concreto con un cambio secuencial en la presión de prueba.

Este método no es aplicable a los concretos hechos con agregados livianos, escoria de alto horno enfriada por aire, u otros agregados con alta porosidad.

Este método de prueba tampoco es aplicable al concreto fresco no plástico, como se usa comúnmente en la fabricación de unidades de tubería y mampostería de concreto.

El SAM puede completarse entre 8 a 10 minutos con la bomba de aire. Si se utiliza el Extensor de presión de aire controlado, puede completarse entre 4 a 6 minutos.

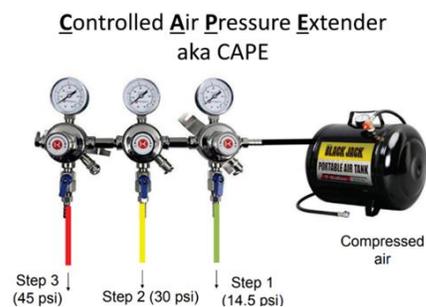


FIGURA 2.4: EXTENSOR DE PRESIÓN DE AIRE CONTROLADO, FUENTE: CP TECH CENTER

**Descripción general del procedimiento de prueba:**

1. Llenar, consolidar y nivelar con un plato:
  - a. 3 ascensores iguales: 25 barras por cada levantamiento.
  - b. Deje que salgan todas las burbujas de aire.
  - c. Cierre ambas válvulas mientras llena.
2. Golpee el cucharón con mazo de goma después de cada elevación.
3. Limpie el borde del cubo y la junta tórica de la tapa a fondo.
4. Calibrador cero.
5. Coloque y cierre la tapa.
6. Llene SAM con agua a través de la llave de paso:
  - a. Incline el medidor mientras lo llena con agua.
  - b. Inflar a 14.5 psi y ecualizar
  - b. Inflar a 30.0 psi y ecualizar
  - c. Inflar a 45.0 psi y ecualizarTolerancia de +/- 0.005 psi en cada presión.
7. Comience la prueba SAM y siga las instrucciones en el medidor:
  - a. Incline el medidor mientras lo llena con agua.
  - b. Incline el medidor mientras lo llena con agua.
  - c. Incline el medidor mientras lo llena con agua.
8. Purga, abrir las llaves.  
Repetir el paso 6 y 7.

### 2.9.3. MÉTODO DE MADUREZ

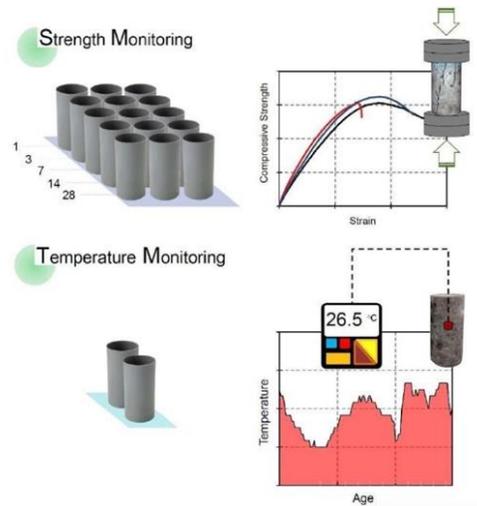
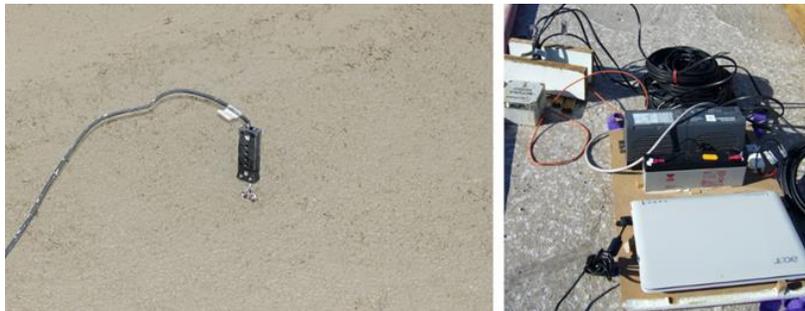


FIGURA 2.5: FUENTE: GUÍA PARA ELABORAR CURVA DE MADUREZ

El enfoque de madurez proporciona un medio simple y útil para estimar la ganancia de resistencia del concreto en edades tempranas (generalmente menos de 14 días) (Crawford 1997 *Guide to nondestructive testing of Concrete*). Con mucho, su mayor beneficio es que permite a los ingenieros evaluar la resistencia en el lugar de una estructura de pavimento de concreto. Esta valiosa información puede ser útil para ayudar a determinar el tiempo apropiado para abrir un pavimento al tráfico. Además, los costos por pruebas de aseguramiento de calidad se reducen porque el monitoreo de madurez requiere menos vigas o cilindros que otros métodos (American Concrete Pavement Association [ACPA] 2002).

**Equipo:**

En recientes años se ha visto un desarrollo significativo en el uso de microprocesadores para aplicaciones de madurez en pavimentos. Los microprocesadores son pequeños, autoalimentados y autónomos dispositivos integrados en el concreto plástico que registra y almacena automáticamente temperaturas concretas a intervalos de tiempo definidos por el usuario. Los datos pueden ser descargados por el usuario en cualquier momento, algunos incluso por medios inalámbricos.



*FIGURA 2.6: FUENTE: APLICACIÓN DEL MÉTODO DE MADUREZ PARA LA ESTIMACIÓN DEL PLAZO DE DESCIMBRADO DE FORJADOS CONSTRUIDOS CON SISTEMAS INDUSTRIALIZADOS*

**Procedimiento general del método de madurez:**

El proceso de la prueba de madurez esencialmente consiste en dos pasos: desarrollar la curva de calibración de madurez y la medición de la madurez del concreto en el lugar. Con esta información, la resistencia del concreto en el lugar puede ser monitoreada y evaluada.

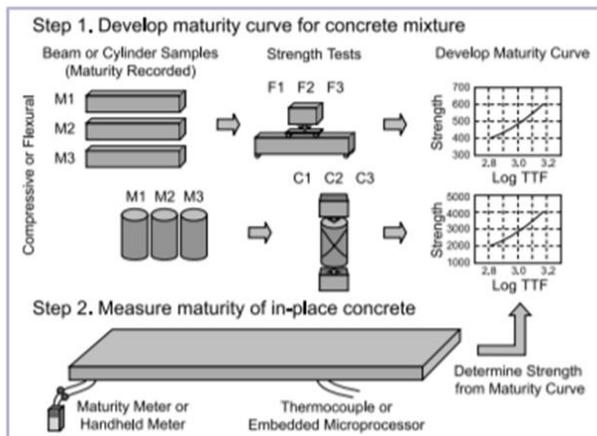


FIGURA 2.7: DESARROLLO DE CURVA DE MADUREZ POR MEZCLA DE CONCRETO,  
FUENTE: CP TECH CENTER.

**Pasos generales para desarrollar una curva de madurez (Crawford 1997; ACPA 2002):**

1. Realizar especímenes de vigas o cilindros de acuerdo con ASTM C192, asegurándose de probar el contenido de aire y revenimiento. Generalmente, se prefiere hacer cilindros porque son más fáciles de manejar. Preparar entre 12 y 15 especímenes.
2. Incrustar 1 o 2 sensores de temperatura (microprocesadores) en el medio de un cilindro o viga de prueba. Este espécimen será utilizado para monitorear la madurez.
3. Curar los especímenes restantes de acuerdo con ASTM C192.
4. Ensayar por lo menos 2 especímenes en un rango de tiempo para conocer la resistencia. Comúnmente, se ensayan a 1, 3, 7, 14 y 28 días. La resistencia

promedio se computariza por cada par de espécimen, y su correspondiente valor de madurez es anotado por cada edad ensayada.

5. Trazar los resultados de la resistencia promedio como una función de los valores de madurez correspondientes, y dibujar la mejor curva de ajuste a través de los puntos. Esta curva puede ser utilizada para estimar la resistencia del concreto en el lugar.

#### **2.9.4. ENSAYO DE LA CAJA**

Práctica estándar para el desarrollo de mezclas de concreto para pavimento de alto desempeño. AASHTO PP 84 APÉNDICE X3.



*FIGURA 2.8: ENSAYO DE LA CAJA, FUENTE: AUTORES PROPIOS*

Un problema de ejecución común en las mezclas de concreto que se colocan en una pavimentadora es la falta de respuesta de la mezcla a la consolidación (Huang 2003). Otro problema de ejecución común en pavimentos con concreto fresco es la caída de los bordes, que es una deformación de los bordes después de que el concreto fresco se coloca, consolida y extruye de una pavimentadora.

Con el fin de imitar de cerca la consolidación de una pavimentadora y dar a conocer los posibles problemas de la caída de los bordes, se desarrolló una prueba de laboratorio para evaluar el desempeño de una mezcla a una cantidad estándar de vibración y posteriormente que sus bordes se mantengan bajo su peso.

Una pavimentadora usa un vibrador hidráulico para producir la vibración de alta amplitud y baja frecuencia para consolidar el concreto. Para minimizar los impactos del contenido de aire, se recomienda que el vibrador de la pavimentadora tenga un rango de frecuencia entre 5,000 a 8,000 vpm con una velocidad menor que 910 mm (36 pulg) por minuto (ACI 309 2008, Huang 2003). El diámetro de estos vibradores, típicamente son de 57 mm (2.25 pulg) con un espaciamiento promedio de 300 a 400 mm (12 a 16 pulg) y se colocan en la parte superior del concreto. Sin embargo, para este ensayo no es posible utilizar un vibrador hidráulico de ese diámetro y que sea fácil de implementar, por lo que se opta por un vibrador eléctrico de cabeza cuadrada de 25 mm (1 pulg).

Otro de los ajustes que se hace en el ensayo es que, en lugar de una sola dirección horizontal de un vibrador en la pavimentadora, se usa una ruta vertical bidireccional para consolidar el concreto. Para obtener una energía comparable con una ruta bidireccional, se ajusta el tiempo para proporcionar al concreto una cantidad similar de consolidación.

El ensayo de la caja proporciona información que el ensayo de revenimiento no da, como:

- La respuesta al vibrado.
- Capacidad de llenado de la mezcla de concreto (evitar los vacíos internos)
- La capacidad de que los bordes de la mezcla de concreto se mantengan en los bordes (cohesividad).

**Se conforma por:**

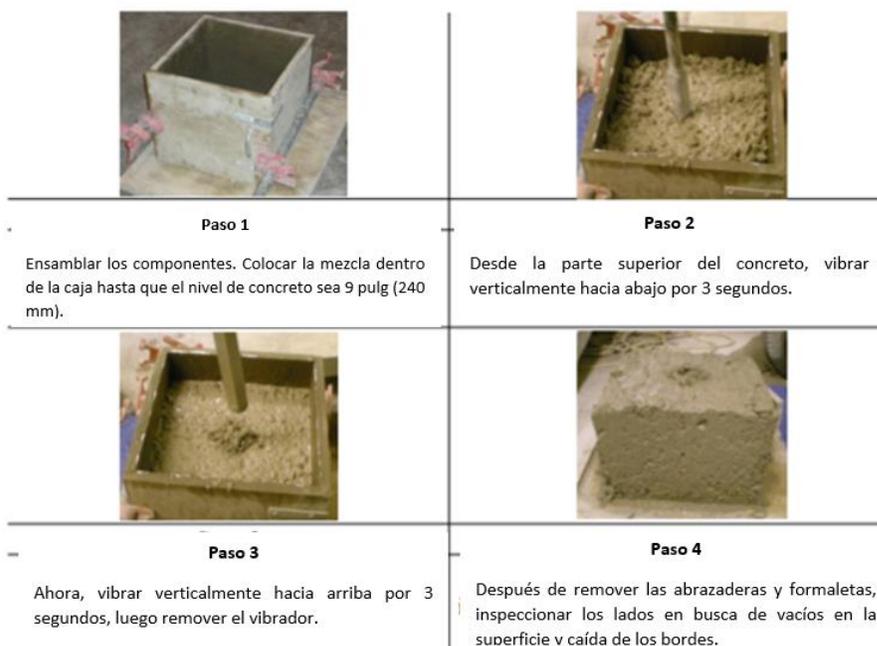
- Tablas de madera, que al ponerlas juntas forman una caja de 12 pulg x 12 pulg x 12 pulg (1ft<sup>3</sup>), con un espesor de 0.5 pulg y 2 soportes en forma de L en 2 esquinas de 2 pulg.
- Una plataforma de madera donde se coloca la caja.
- Un vibrador de cabeza cuadrada de 1 pulg es utilizado para consolidar el concreto.



*FIGURA 2.9: CAJA ENSAMBLADA. FUENTE: AUTORES PROPIOS*

**Procedimiento:**

- Humedecer las formaletas con aceite para encofrado y ensamblar los componentes del ensayo de la caja sobre una superficie plana y nivelada.
- El concreto se debe colocar uniformemente a mano dentro de la caja hasta alcanzar una altura de 240 mm (9.5 pulg).
- Un vibrador de cabeza cuadrada de 1 pulg a 12,500 vibraciones por minuto es usado para consolidar el concreto al insertarlo perpendicularmente en el centro de la caja. No tocar la plataforma.
- El vibrador se baja por 3 segundos al fondo de la caja y luego se levanta a la superficie por 3 segundos.
- Inmediatamente, las abrazaderas se retiran de las paredes laterales de la caja y las paredes en forma de L se separan en dirección vertical. Se debe tener el cuidado de que el concreto no se adhiera a las formaletas.
- Clasificar visualmente los 4 lados basándose en la cantidad de vacíos.
- Medir la caída de los bordes de los 4 lados usando un borde recto y una cinta métrica.



*FIGURA 2.10: PASOS A SEGUIR PARA REALIZAR EL ENSAYO DE LA CAJA, FUENTE:*

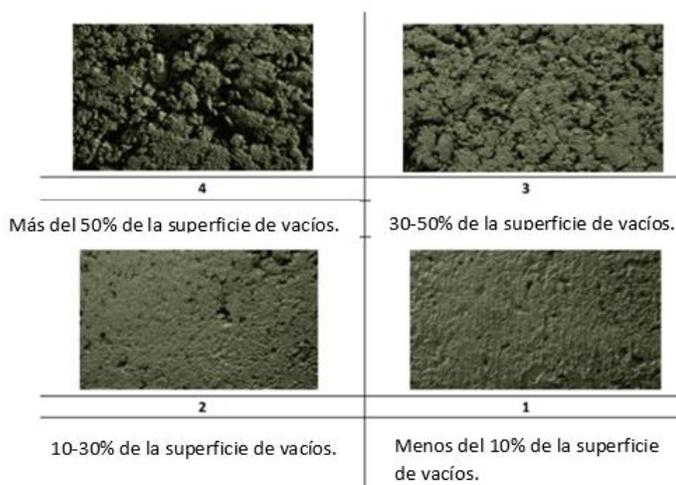
*TYLER LEY*

La respuesta de una mezcla de concreto a la vibración puede evaluarse por los vacíos de la superficie observados en los lados de la caja.

Si una mezcla responde bien a la vibración, los vacíos generales de la superficie deberían ser mínimos porque las ondas de vibración podrían transferirse a través del concreto y eliminar estos vacíos (ASTM C 494-05). Sin embargo, si los lados de la mezcla de concreto tienen grandes cantidades de vacíos en la superficie, significa que no respondió bien a la vibración.

### ESCALA DE CLASIFICACIÓN:

El promedio de los vacíos en la superficie para cada uno de los 4 lados se estima con la siguiente clasificación:



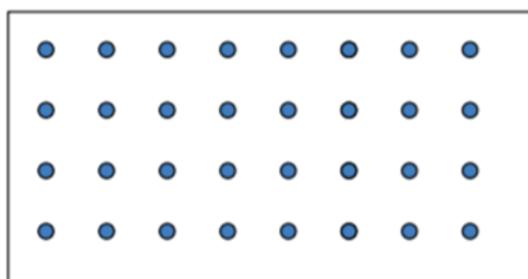
*FIGURA 2.11: ESCALA DE CLASIFICACIÓN DEL ENSAYO DE LA CAJA, FUENTE: TYLER LEY*

El promedio de los 4 lados con 10 – 30% de vacíos en la superficie, o una clasificación de 2 para una mezcla, se considera como una buena respuesta a la vibración y una cantidad aceptable de vacíos. Si la mezcla de concreto tiene una clasificación de 3 o de 4 significa que respondió mal a la vibración, por lo que se deberá regresar la mezcla a la concreteira, agregar aditivo (reductor de agua) o pasta para mejorar la trabajabilidad, y realizar la prueba otra vez. Esos pasos se realizarán hasta que su clasificación sea de 2.

### CLASIFICACIÓN VISUAL:

En lugar de simple observación de la cantidad de vacíos en la superficie, se puede utilizar un proceso más sistemático.

Se puede utilizar una placa de acrílico (polimetilmetacrilato, PMMA) con círculos impresos en ella y sostenerlo en la superficie, examinando cada círculo para ver si hay algún vacío.



*FIGURA 2.12: REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA PLACA DE ACRÍLICO, FUENTE:  
TYLER LEY*

Contando los puntos donde hay vacíos, se puede estimar rápidamente la cantidad de vacíos en la superficie. Actualmente, esta técnica se sigue perfeccionando.

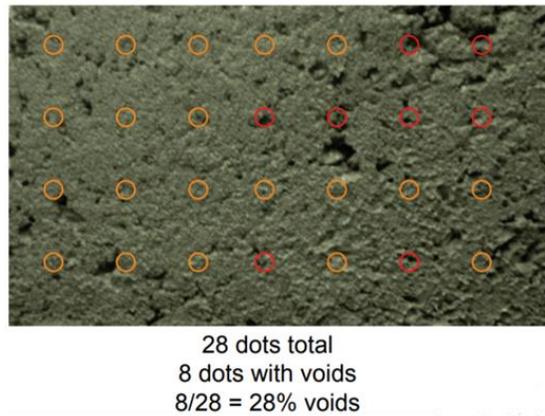


FIGURA 2.13: EJEMPLO DE LA CLASIFICACIÓN VISUAL,

FUENTE: TYLER LEY

Los círculos rojos significan los vacíos en la superficie y los círculos anaranjados significan una representación de los círculos impresos en la placa. Este procedimiento tarda alrededor de 30 segundos por lado.

Por último, la superficie y el fondo de la caída de los bordes se puede medir a los 5 mm (0.25 pulg) más cercanos, colocando una regla en una esquina y usando una cinta métrica de forma horizontal para encontrar la longitud del punto de extrusión más alto.

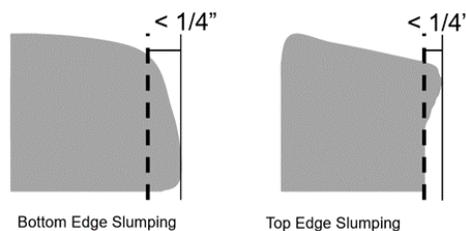


FIGURA 2.14: MEDICIÓN DE LA CAÍDA DE LOS BORDES, FUENTE: TYLER LEY

# **CAPÍTULO III: MEZCLAS DE CONCRETO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS**

### 3.1. GENERALIDADES DE PAVIMENTOS RÍGIDOS

#### Tipos de pavimento

Los pavimentos se dividen en flexibles y rígidos. El comportamiento de los mismos al aplicarles cargas es muy diferente, tal como puede verse en la figura 3.1.

3.1.

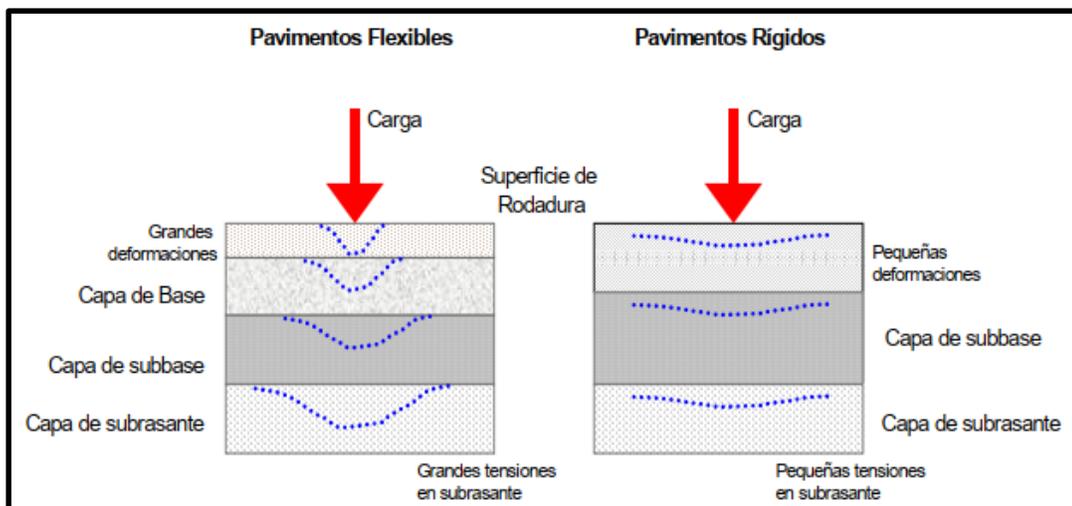


FIGURA 3.1: ESQUEMA DEL COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS. FUENTE: MANUAL CENTROAMERICANO PARA DISEÑO DE PAVIMENTOS (SIECA).

En un **pavimento rígido**, debido a la consistencia de la superficie de rodadura, se produce una buena distribución de las cargas, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.

Lo contrario sucede en un **pavimento flexible**, la superficie de rodadura al tener menos rigidez, se deforma más y se producen mayores tensiones en la subrasante.

En este trabajo de graduación solamente se hará referencia a los pavimentos rígidos, específicamente enfocado en la capa de rodadura.

### **3.2. DEFINICIÓN DE UN PAVIMENTO RÍGIDO**

Los pavimentos rígidos consisten en losas de concreto simple o armadas, construidas en el sitio sobre una subbase granular, la cual puede o no ser estabilizada. El conjunto se puede apoyar en una capa subrasante (opcional) o directamente en el terreno natural, convenientemente preparado.

La losa, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, absorbe gran parte de los esfuerzos que se ejercen sobre el pavimento, lo que produce una buena distribución de las cargas de rueda, dando como resultado tensiones muy bajas en la subrasante.

### **3.3. ESTRUCTURA**

Los elementos que integran un pavimento rígido son:

**Subrasante:** es la capa de terreno de una carretera que soporta la estructura de pavimento y que se extiende hasta una profundidad que no afecte la carga de diseño que corresponde al tránsito previsto. esta capa puede estar formada en

corte o relleno y una vez compactada debe tener las secciones transversales y pendientes especificadas en los planos finales de diseño.

**Subbase:** es la capa de la estructura de pavimento destinada fundamentalmente a soportar, transmitir y distribuir con uniformidad las cargas aplicadas a la superficie de rodadura de pavimento, de tal manera que la capa de subrasante la pueda soportar absorbiendo las variaciones inherentes a dicho suelo que puedan afectar a la subbase.

**Superficie de rodadura:** es la capa superior de la estructura de pavimento, construida con concreto hidráulico, por lo que, debido a su rigidez y alto módulo de elasticidad, basan su capacidad portante en la losa, más que en la capacidad de la subrasante, dado que no usan capa de base.

Los pavimentos rígidos pueden dividirse en tres tipos:

- Concreto hidráulico simple
- Concreto hidráulico reforzado
- Concreto hidráulico reforzado continuo

### **3.4. COMPONENTES DEL CONCRETO PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS**

El concreto, como bien se ha definido en el capítulo anterior, está formado por una mezcla homogénea de cemento, agua, agregados finos y gruesos y aditivos,

en el caso que se requieran. A continuación, se describen los componentes del concreto con sus especificaciones:

### **3.4.1. CEMENTO TIPO PORTLAND**

Los cementos hidráulicos deben ajustarse a las normas AASHTO M 85 o su equivalente ASTM C 150 (Especificaciones Estándar para Cemento Portland) y a las normas AASHTO M 240 o su equivalente ASTM C 595 (Especificaciones Estándar para cementos hidráulicos mezclados).

Para la construcción de pavimentos rígidos se emplea el cemento Portland Tipo 1, si las especificaciones de los planos no indican lo contrario.

### **3.4.2. AGREGADO FINO**

Debe consistir en arena natural o manufacturada, compuesta de partículas duras y durables, de acuerdo a AASHTO M 6 (Agregado fino para cemento de concreto hidráulico), clase B y ASTM C 33.

Diferentes fuentes de suministro de agregado fino, no se mezclará ni almacenará en la misma pila. El agregado fino cuando se prueba por tamices de laboratorio, se ajustará a los requerimientos de la tabla 3.1.

Tamiz	Porcentaje que pasa
9.5 mm ( $\frac{3}{8}$ in.)	100
4.75 mm (No. 4)	95 a 100

2.36 mm (No. 8)	80 a 100
1.18 mm (No. 16)	50 a 85
600 $\mu\text{m}$ (No. 30)	25 a 60
300 $\mu\text{m}$ (No. 50)	10 a 30
150 $\mu\text{m}$ (No. 100)	2 a 10

TABLA 3.1: REQUERIMIENTOS DE CLASIFICACIÓN. FUENTE: AASHTO M 6.

### 3.4.3. AGREGADO GRUESO

Deben consistir en gravas o piedras trituradas, trituradas parcialmente o sin triturar, procesadas adecuadamente para formar un agregado clasificado, de acuerdo con AASHTO M 80 (Agregado grueso para cemento de concreto hidráulico) y ASTM C 33.

En la tabla 3.2 se muestra los usos típicos para el agregado conforme a los requisitos para diversas clases:

Usos típicos	Exposición al clima	Clase del agregado
Concreto arquitectónico, puente, cubiertas, otros usos donde la desfiguración de la superficie es objetable.	grave	A
	Moderado	B
	despreciable	C
Pavimentos de concreto, aceras donde un número moderado de grietas pueden ser tolerables.	grave	B
	moderado	C
	despreciable	D
Concreto oculto no expuesto a la intemperie: zapatas, elementos estructurales cubiertos por revestimiento, etc.	_____	E

TABLA 3.2: USOS TÍPICOS DE AGREGADOS. FUENTE: AASHTO M 80.

#### **3.4.4. AGUA**

Como se vio en el capítulo anterior de manera más extendida, el agua para mezclado y curado del concreto o para el lavado de los agregados, debe ser potable, limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceite, álcalis, material orgánico y otras sustancias que puedan ser nocivas para el concreto o el acero. El agua de mar, tampoco debe ser utilizada para concreto hidráulico.

#### **3.4.5. ADITIVOS**

El uso de aditivos para concreto, tiene por objeto mantener y mejorar la composición y rendimiento de la mezcla de concreto básica.

- a) **Ceniza Volante:** Se ha usado ceniza volante para mezclas del sistema de pavimentos de concreto de apertura rápida, pero generalmente como un aditivo y no como sustituto del cemento Portland y debe cumplir con los estipulado en AASHTO M 295 (Cenizas volantes de carbón y puzolanas naturales en bruto o calcinadas para su uso en el concreto).
- b) **Aditivos Químicos:** Son aquellos que sin cambiar las características naturales del concreto hidráulico para pavimentos, ayudan en los diferentes procesos de construcción.

### 3.5. CARACTERÍSTICAS DE LOS PAVIMENTOS RÍGIDOS

Las características principales que rigen la conformación de un concreto para pavimento rígido son las de revenimiento, relación agua/cemento, contenido de aire, temperatura y las condiciones climatológicas, que generalmente rigen al concreto normal, bajo las condiciones de diseño o las especificaciones técnicas que el proyecto establezca, dependiendo de la necesidad de este, para garantizar la calidad del proyecto.

**Revenimiento:** es una medida de la fluidez con la que una mezcla de concreto puede desplazarse por el efecto de la cantidad de agua que esta posea. Está relacionada con la trabajabilidad, pero no es un sinónimo de ésta.

Relación agua/cemento: se determina no sólo por los requisitos de la resistencia que la mezcla poseerá, sino también por otros factores como la durabilidad y las propiedades del acabado que se le quiera dar al elemento.

**Contenido de aire:** la norma ASTM C 173, cubre la determinación del contenido de aire de concreto fresco que contenga cualquier tipo de agregados, ya sean densos, celulares o de peso ligero. Existen dispositivos que miden esta propiedad, como el medidor de aire.

**Temperatura:** La temperatura es un factor importante a la hora de la colocación de concreto, ya que se puede dar una pérdida de revenimiento debido a las altas temperaturas.

El ensayo de medición de temperatura del concreto se realiza de acuerdo al procedimiento establecido por la Norma ASTM C 1064/C 1064M. La temperatura máxima comúnmente requerida en las especificaciones de obras construidas en ambientes calurosos es de 32°C.

**Condiciones climatológicas:** las condiciones climatológicas influyen en la colocación de concreto, ya que si no se tiene presente el ambiente en el cual se está colocando podríamos tener una pérdida de humedad que afecta la relación agua/cemento de la mezcla y tratándose de un concreto con revenimiento bajo, esto provocaría problemas serios al momento de la colocación en obra.

Se recomienda que, dado un cambio en la temperatura del concreto en la etapa de descarga, se verifiquen los esfuerzos para controlar la temperatura colocando hielo en cantidades mínimas para garantizar la durabilidad, y evitar las grietas de contracción plástica que podrían surgir en el momento del secado.

### **3.6. RECOMENDACIONES GRANULOMÉTRICAS**

Debido a las muchas variables involucradas en la producción de concreto, la última evaluación de los materiales de concreto se hace cuando el concreto es mezclado, colocado y acabado, bajo las condiciones del sitio de la obra. Sin embargo, existen métodos de evaluación que pueden ser usados para identificar áreas con problemas potenciales de los materiales definidos proporcionados antes de mezclar y colocar el concreto.

Para el análisis apropiado, se pone énfasis especial en los contenidos de los agregados combinados y el mortero. La optimización de los materiales de agregado combinado no solamente mejora las características de resistencia y durabilidad a largo plazo del concreto, sino que también puede mejorar sustancialmente las características de colocación durante la construcción.

Para maximizar la distribución uniforme de granulometría de los agregados combinados, puede ser necesario combinar tres o más agregados individuales. Generalmente esto incluye un agregado grueso, un agregado fino y la adición de un agregado intermedio, típicamente para compensar las deficiencias en los tamaños de las partículas retenidas en las mallas de  $\frac{3}{8}$  de pulg hasta el N° 8.

Muchos métodos de combinación de agregados han sido usados a través de los años para producir un proporcionamiento óptimo en el concreto, desde las partículas más grandes a las más pequeñas.

### **3.6.1. OPTIMIZACIÓN DE GRADACIÓN DE AGREGADOS**

Los agregados son los constituyentes más importantes en el concreto, ya que le dan una estructura. Tienen efectos en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido.

Como se ha mencionado anteriormente, los agregados ocupan aproximadamente del 70% al 80% del volumen del concreto, beneficiando a la mezcla reduciendo la contracción y en la economía del concreto.

En cambio, el cemento es el material más costoso, formando cerca del 55% al 65% del total del costo de la producción del concreto comparado con los otros materiales. En las mezclas de concreto, el cemento forma del 25% al 35% del volumen total. Esta es la razón por la que el concreto es costoso.

El contenido de pasta se necesita para llenar todos los vacíos entre los agregados, buscando una completa consolidación del concreto y actuando como lubricante para hacer la mezcla viable. El exceso de pasta en la mezcla de concreto no ofrece ningún beneficio, de hecho, puede ser perjudicial y resultar en características indeseables como:

- Aumento de contracción, resultando en agrietamiento.
- Mayor permeabilidad.
- Mayor calor de hidratación
- Aumento de costo.

Sin embargo, disminuir el contenido de pasta trae ciertos beneficios, como tener un concreto más económico, más resistente, más trabajable, más durable, con mejor acabado. Esta optimización es ventajosa por razones económicas y técnicas. Su objetivo es aumentar el volumen del agregado, al mismo tiempo que disminuye el volumen de la pasta de cemento necesario para proporcionar una trabajabilidad suficiente.

Utilizar la optimización de técnicas de gradación de agregados, implica minimizar el contenido de pasta sin dejar de producir una mezcla viable. Este contenido puede reducirse de un 12% a 15% del volumen total del concreto, al mismo tiempo que la combinación de agregados bien graduados mejoran las propiedades del concreto, como:

- **Durabilidad:** en pavimentos, un enfoque de gradación optimizado puede lograr larga vida al disminuir el contenido de pasta.
- **Cantidad de pasta:** se obtiene una baja permeabilidad; reducción del calor de hidratación; también se reduce la contracción térmica y de secado.
- **Mezclas manejables:** responden al vibrado sin segregación; mantiene los bordes; y se logra una superficie de vacíos mínima.
- **Suavidad:** reduce el acabado manual; se tienen bordes más estables; y responde uniformemente al vibrado.
- **Economía:** reducen los costos del material (menos cemento); al reducir el trabajo manual hay una disminución en el costo de construcción.
- **Resistencia:** eficiencia de la pasta por el incremento del área superficial.

Las mezclas de concreto con una baja trabajabilidad, son difíciles de vibrar y corren el riesgo de segregación y crea una vibración de baja calidad, lo que

conlleva a agregar agua para compensar esa baja trabajabilidad, aumentando la relación agua/cemento, y posiblemente afectar la durabilidad y resistencia.

En caso contrario, al utilizar agregados bien graduados en las mezclas, se tiene una respuesta favorable al vibrado, esto puede llevar a ahorros significativos durante la construcción, ya que, se necesita menos esfuerzo para consolidar y dar un buen acabado y tienen la probabilidad que duren más tiempo.

La optimización de agregado realmente ganó tracción en 1980 cuando James Shilstone comenzó una investigación acerca de técnicas de optimización de gradación de agregados, buscando soluciones a los problemas que en esa época presentaban las mezclas de concreto.

En su investigación, menciona que la optimización es tomada informalmente en consideración antes y durante la construcción con una base no cuantitativa de “agregar media bolsa de cemento”, “quitar cierta cantidad de roca y reemplazarla con arena”, o agregar aditivo de reductor de agua de alto rango. Prácticas que en la actualidad todavía se ven. Por el contrario, cuando las mezclas son optimizadas en una base cuantitativa, la productividad en la construcción mejorará, la durabilidad aumenta y los materiales junto con los costos de producción se reducen.

Una de las conclusiones a las que Shilstone llegó en esa época fue la siguiente:

*“Actualmente las normas ASTM y similares límites de gradación de agregados no contribuyen a la optimización de mezclas, tales estándares no abordan gradaciones de mezclas. Los agregados que no cumplan con los requerimientos para gradación de ASTM C 33, pero de otra manera son aceptables bajo estándares de calidad, pueden usarse con la misma facilidad para producir concreto de alta calidad si pueden ser controladas para producir una composición consistente y bien graduada”.*

Bajo esta conclusión, se pueden sacar ventajas de usar una gradación de agregados combinada:

- a) No rechazar un agregado aceptable solo porque no cumple algunos tamaños de tamices.
- b) Ahorrar tiempo y esfuerzo en asegurarse que la gradación cumpla con la especificación, en vez de centrarse en cada tamiz individual.
- c) Considerar el rendimiento de la gradación combinada de todos los agregados para mejorar el desempeño de la mezcla de concreto.

Es por eso que Shilstone desarrolló una investigación con varios métodos o técnicas para la optimización de gradación de agregados, basados en otros autores.

### 3.6.2. TÉCNICAS DE GRADACIÓN DE AGREGADOS

La gradación de los agregados se clasifica en:

- ✓ Continuo
- ✓ Discontinuo
- ✓ Abierta
- ✓ Uniforme

El primero de ellos se considera como el mejor, el que cumple todas las expectativas de gradación, según la gradación de agregado basada en los métodos que aplica al agregado, tales como: carta de Power 0.45, la carta de factor de grosor de agregado.

Otra alternativa sugiere que se debe de probar y minimizar la cantidad de partículas finas para dar mayor realce a la densidad y alcanzar esa densidad en la mezcla por medio de los agregados. Esto se logra con el peso volumétrico seco de la roca y la arena como determina la norma ASTM C29/C29m.

La disposición de partículas con el efecto de forma, textura y angulosidad, conducirá a un cierto tipo de gradación, que depende del porcentaje utilizado de diferentes tamaños de agregado. De esta manera la Administración Federal de Carreteras o FHWA (Con sus siglas en inglés Federal Highway Administration), propone 4 tipos de gradaciones que se observan en la mezcla de concreto:

1) **Gradación continua:** es la curva que más se acerca a la línea del 0.45 de potencia, en la carta de Power 45, y representa el máximo valor de densidad de la mezcla. La mayoría de diseños de mezclas de tipo asfáltica tienden a acercarse a esta línea. Por lo tanto, en un concreto es eficaz estar lo más cerca de la máxima densidad. En la Figura 3.3, literal a), se muestran las disposiciones de las partículas, que muestran un contacto de partícula con partícula, bajo contenido de huecos y una alta densidad.

2) **Gradación discontinua:** es agregado con un tamaño intermedio pequeño o faltante. Usando este tipo de gradación conducirá a la segregación. Muestra una disposición de partículas que no es grano a grano, mayor contenido de vacío y menor densidad en la mezcla.

3) **Gradación abierta:** es la gradación de agregado que contiene pequeñas cantidades de partículas. La mezcla tiene vacíos entre partículas grandes que no se llenan con los tamaños pequeños. La disposición de este agregado tiene contacto de grano a grano, alto contenido de vacío, bajo pero variable densidad.

4) **Gradación uniforme:** la mayoría de las partículas tienen el mismo tamaño. La disposición en este tipo tiene contacto de grano a grano, alto contenido de vacíos y densidad baja pero variable.

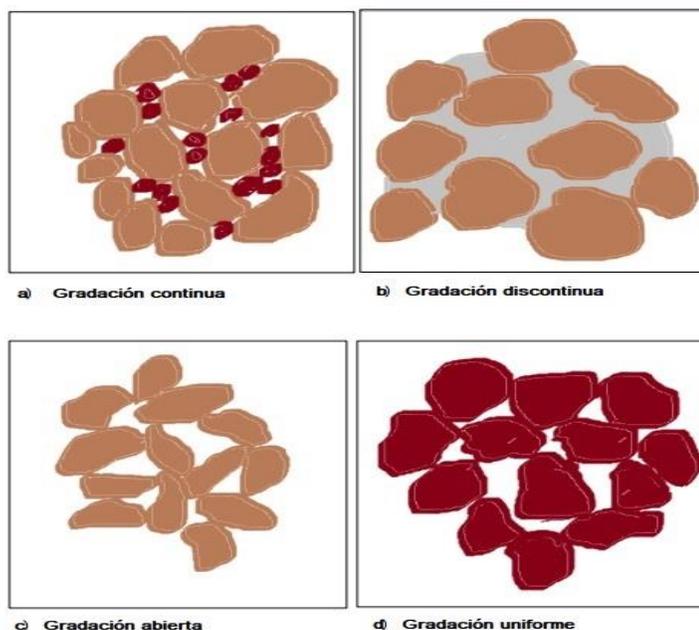


FIGURA 3.2: SE MUESTRAN LOS DIFERENTES TIPOS DE GRADACIÓN.

FUENTE: FHWA.

### **Arreglo de partículas de agregado en diferentes curvas de gradación.**

Esta técnica de reducir la cantidad de vacíos no es nueva, en el siglo pasado se comenzaron los esfuerzos por optimizar la gradación del agregado y de tal manera disminuir a una relación de vacíos baja, que conduciría a utilizar menos cemento en la mezcla de concreto.

La gradación del agregado es el principal agente que afecta las propiedades del concreto en lo que es la resistencia, módulo de elasticidad, contracción y fluencia. Si la gradación es la mejor se da una envoltura óptima teórica en los agregados y por lo tanto se disminuye la cantidad de mortero.

Los métodos más utilizados para obtener una gradación de agregados son los siguientes:

### 3.6.1.1. Máxima densidad de agregados

Este método fue utilizado por primera vez por Fuller y Thompson. Luego se descubrió que la curva no aportaba el cálculo de una densidad máxima y mucho menos una resistencia máxima en la mezcla, debido a que las partículas interactúan entre el mismo agregado, agua y cemento y no son empaquetadas solamente ellas, por lo tanto, Tobot y Richart establecieron la ecuación de máxima densidad.

Donde:

$$P = \left(\frac{d}{D}\right)^n$$

P: cantidad más fina que el tamaño (d)

d: tamaño de la partícula

D: tamaño máximo de la partícula

n: exponente que regula la distribución de los tamaños de partículas.

Por otra parte, Fuller estableció el valor de n como 0.5 para lograr una densidad máxima en mezclas de concreto. Fue ajustado posteriormente por Good y Lufsey en 1965 a 0.45 para mezclas de asfalto. La gráfica de potencia 0.45 se basa en la teoría dada por Fuller.

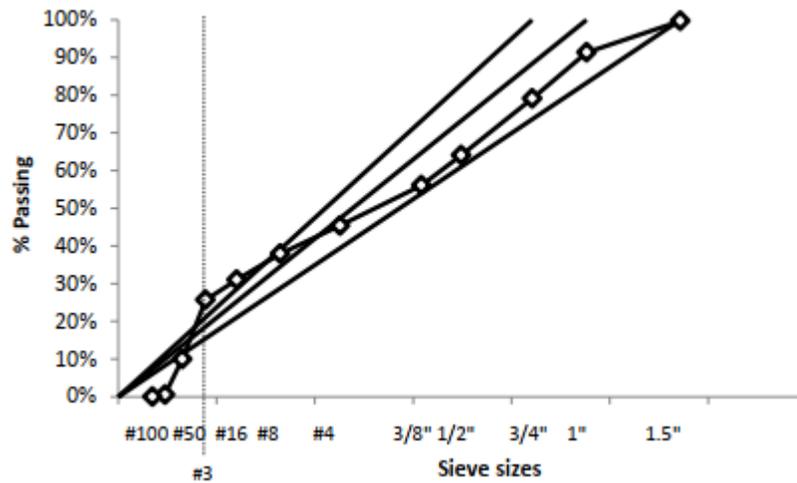


FIGURA 3.3: GRÁFICO DE LA POTENCIA DE 0.45.

El eje horizontal representa el tamaño del tamiz elevado a 0.45 de potencia, el eje vertical representa el porcentaje que pasa.

### 3.6.1.2. Carta de Factor de Grosor

Para predecir las características de la mezcla de concreto se requiere la comparación del factor de grosor y del factor de trabajabilidad, tal como se muestra en la figura 3.4.

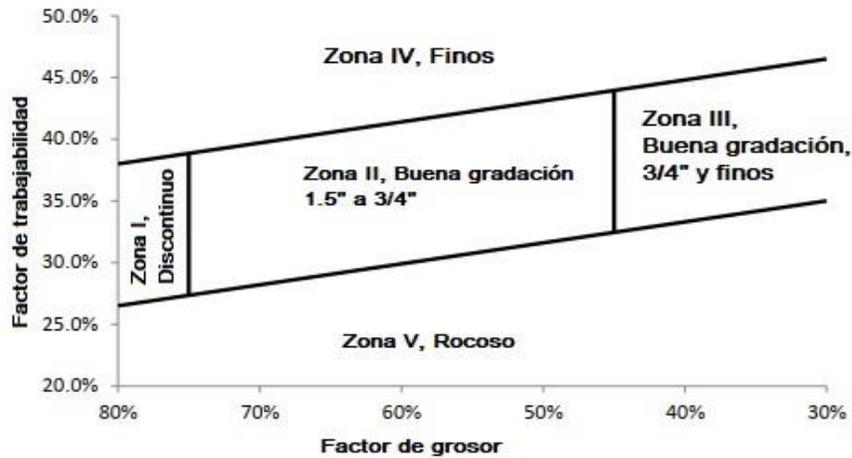


FIGURA 3.4: CARTA SHILSTONE DE FACTOR DE GROSOR Y TRABAJABILIDAD

En la carta se representa el factor de grosor y se grafica de manera horizontal en la carta, el cual es calculado con la siguiente fórmula:

Donde:

$$CF = \frac{Q}{I} \times 100 (\%)$$

Q: porcentaje acumulado retenido sobre el tamiz de 3/8", (agregado de tamaño grueso).

I: porcentaje acumulado retenido en el tamiz # 8, (agregado de tamaño intermedio).

En la parte vertical de la carta, se grafica el factor de trabajabilidad. Que se determina de la siguiente manera:

$$WF = W + \left( \frac{2.5 * (C - 325)}{56} \right)$$

Donde:

C: contenido de material cementante (Kg/m<sup>3</sup>).

W: porcentaje que pasa el tamiz #8.

Con el factor de grosor, se puede identificar lo siguiente:

- Al aumentar las cantidades de tamaño de agregado intermedio o fino, la mezcla presentará mayor trabajabilidad y el factor de grosor disminuirá.
- Al aumentar la cantidad de agregado grueso, disminuye la trabajabilidad y aumenta el factor de grosor.

En el gráfico de Shilstone, el rango del factor de grosor está dentro del 30% y el 80%

Con respecto al factor de trabajabilidad en el que interviene el contenido de material cementante y el material que pasa el tamiz N°8, se ubicaría el punto hacia arriba o hacia abajo dependiendo de la ecuación, antes mencionada.

Las zonas del factor de grosor identifican regiones (Figura) donde al ser graficados las mezclas de concreto tendrán características generalmente previsibles:

**Zona I:** indica que es una mezcla que contiene vacíos y tiene un alto potencial para la segregación durante la colocación y/o la consolidación debido a una deficiencia en partículas intermedias. Estas mezclas probablemente no son cohesivas, por lo tanto, puede ocurrir la segregación. Mezclas graficadas en esta zona pueden causar grietas locales, formación de ampollas, exfoliación y descamación.

**Zona II:** indica una mezcla óptima para concreto con tamaño máximo nominal del agregado de 50 mm (2 pulg) a 19 mm (3/4 pulg.) Las mezclas de esta zona generalmente producen concretos consistentes de alta calidad.

Las mezclas que se trazan cerca de la barra de la tendencia o cerca de los límites de las zonas I y IV requieren un estrecho control y ajustes en las proporciones, ya que pequeñas variaciones en las cantidades consecutivas pueden dar como resultado que el agregado sea trazado fuera de la Zona II.

**Zona III:** es una extensión de la Zona II, indica una mezcla óptima para agregados con tamaños máximos nominales de menos de 19 mm (3/4 pulg.).

**Zona IV:** indica cantidad excesiva de finos y un alto potencial para la segregación durante la consolidación y acabado. Tales mezclas producirán resistencias variables, tienen alta permeabilidad, y están expuestas a la contracción, que generalmente contribuye al desarrollo de la formación de grietas, deformaciones por alabeo, astillamiento y descamación. Que no son deseables.

**Zona V:** indica una mezcla que tiene una cantidad excesiva de agregado grueso e intermedio y no es plástico.

### **3.6.1.3. Carta del porcentaje retenido**

Shilstone también ha promovido el uso de un método de graduación representado mediante el uso de un porcentaje individual retenido (IPR) vs el tamaño de cada tamiz. Con esto, es fácil determinar qué tamaños son excesivos o deficientes. Los agregados para que sean satisfactorios deberán de cumplir con la especificación ASTM C 33.

El objetivo principal de este gráfico es mantener la gradación dentro de los límites. El porcentaje que retiene el tamiz N°30 y que sea menor que el tamaño máximo nominal debe estar dentro de un rango de 8% y 18% u 8% y 22%.

El gráfico de retenidos muestra los tamaños de material que se han retenido en cada tamiz con su respectivo tamaño. La función principal de este método es limitar la cantidad máxima y mínima de agregado a un límite superior de 18% retenido y un mínimo de 8%. Si este límite se cumple la gradación es una de las mejores para el diseño del concreto.

La Figura 3.5 ilustra gráficamente la distribución de las partículas de agregado en una gráfica del porcentaje de agregado retenido para cada tamaño de tamiz (Shilstone 1990).

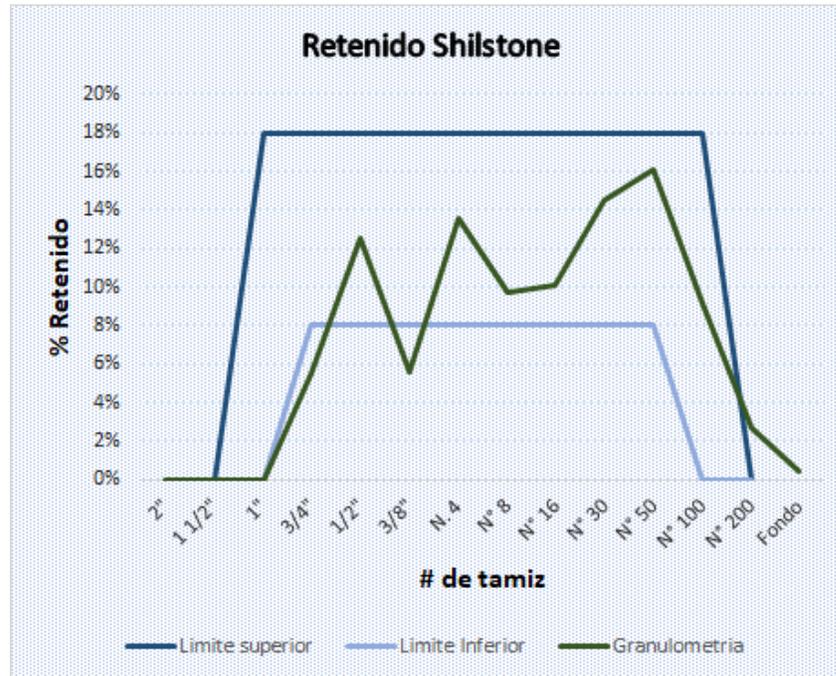


FIGURA 3.5: CARTA DE PORCENTAJE RETENIDO EN CADA UNA DE LAS MALLAS

Este procedimiento proporciona una tolerancia de la uniformidad aceptable de la distribución del total de las partículas del agregado combinado, que se encuentra en la mezcla. Lo límites de la tolerancia recomendados por el comité ACI 302 (Guide for Concrete Floor and Slab Construction) se definen a continuación:

Agregados grandes:

- Que sus límites se encuentren entre 8% y 18% del porcentaje retenido.
- Tamaño máximo nominal 1½ pulgadas (38 mm) retenidos en cada tamiz debajo del tamaño máximo y sobre el tamiz N° 100 (150 μm)

Agregados pequeños:

- Que sus límites se encuentren entre 8% y 22% del porcentaje retenido.
- Tamaño máximo nominal de 1 o 3/4 de pulgadas (25 o 19 mm) retenidos en cada tamiz debajo del tamaño máximo y sobre el tamiz N° 100 (150  $\mu\text{m}$ ).

Esta distribución de agregados combinados ha resultado satisfactoria en la reducción de la demanda de agua que además proporciona una buena trabajabilidad. El rango ideal del porcentaje de material retenido en cada uno; para los tamices N° 30 y N° 50 (600 y 300  $\mu\text{m}$ ) debe ser de 8 a 15%. Con frecuencia, se requiere un tercer agregado para lograr esta graduación (Shilstone 1990).

Por lo general, una mezcla bien graduada tendrá de 0 a 4% retenido en el tamiz de tamaño máximo y de 1.5 a 5.0% en el tamiz N° 100 (150  $\mu\text{m}$ ). Esta distribución del tamaño de partículas es adecuada para partículas en forma redonda o en forma cúbica en los tamices de tamaño N° 4 a N° 16 (4.75- 1.18 mm). Sin embargo, si los agregados disponibles para estos tamaños están astillados, angulosos o alargados, entonces del 4 al 8% del material retenido en cualquier tamiz sería apropiado. Las proporciones de mezcla deben ajustarse cada vez que la granulometría de los agregados individuales varía durante el curso de la obra.

Las limitaciones en los materiales disponibles a nivel local pueden dar lugar a una necesidad en las desviaciones de las recomendaciones óptimas antes mencionadas. Las siguientes limitaciones siempre se deben imponer:

- No permita que el porcentaje retenido en dos tamices de tamaños adyacentes caigan por debajo del 5%.
- No permita que el porcentaje retenido en tres tamaños de tamices adyacentes caigan por debajo del 8%, y
- Cuando el porcentaje retenido en cada uno de los dos tamaños de tamices adyacentes es menor que 8%, el porcentaje total retenido en cualquiera de estos tamices y el tamiz exterior adyacente deben ser por lo menos un 13%. Por ejemplo, si tanto el tamiz N° 4 y N° 8 (4.75 y 2.36 mm) tienen un 6% retenido cada uno, entonces:
  - a) El total retenido en los tamices 3/8" y N° 4 (9.5 y 4.75 mm) deben estar en menos de 13%, y
  - b) El total retenido en los tamices N° 8 y N° 16 (2.36 y 1.18 mm) deben ser por lo menos un 13%. Se debe prestar especial atención a los casos en los que la suma del porcentaje retenido en dos tamices adyacentes es menos del 13 por ciento del agregado total.

Aunque las especificaciones granulométricas discutidas en los párrafos anteriores imponen límites sobre el porcentaje del agregado retenido en cada

malla, esto debe ser únicamente una guía, ya que puede no ser fácilmente obtenible con los recursos locales disponibles.

En el año 1933, Weymouth describió la importancia de los tamaños en grupo comparados contra los tamaños de tamices individuales. Si existe una deficiencia en un tamiz, pero exceso en un tamiz adyacente, los dos tamaños son un grupo y ellos se equilibran entre sí. Cuando hay una deficiencia en partículas sobre cada uno de los dos tamaños de tamices adyacentes, pero abundancia en los tamices adyacentes a cada uno, los tamaños adyacentes tienden a equilibrar el valle de dos puntos. Si hay tres tamaños adyacentes deficientes, hay un problema que debe ser corregido.

#### **3.6.1.4. Gráfica de la Carta Power 45**

La curva de la potencia de 0.45 es una representación gráfica del tamaño del tamiz frente al porcentaje de agregado pasando ese tamaño. Sin embargo, el tamaño del tamiz se eleva a la potencia de 0.45. Esta curva fue desarrollada por la industria del asfalto, y luego la curva fue adoptada por la industria del concreto en 1907, cuando se descubrió que podría obtenerse una mezcla de concreto de alta densidad de empaque. Por lo tanto, crea la densidad máxima y la cantidad mínima de huecos en una mezcla.

El gráfico muestra una línea recta y media que se extiende desde el origen hasta el tamaño máximo del agregado representando una calificación óptima. Las líneas arriba y abajo de la línea media, son una guía desde el origen hasta un

tamaño superior y un tamaño inferior al agregado máximo. Ninguna gradación seguirá perfectamente la línea media recta, sin embargo, mientras la gradación caiga dentro de las dos líneas externas, la clasificación tendrá una alta densidad de empaque. la gradación que cae por debajo de la línea inferior significa que la mezcla será dura debido a la falta de materiales finos. Una gradación más fina caería por encima de la línea superior y supondría una alta demanda de aditivos reductores de agua, pero que ayuda a obtener más capacidad de trabajabilidad por la cantidad de finos.

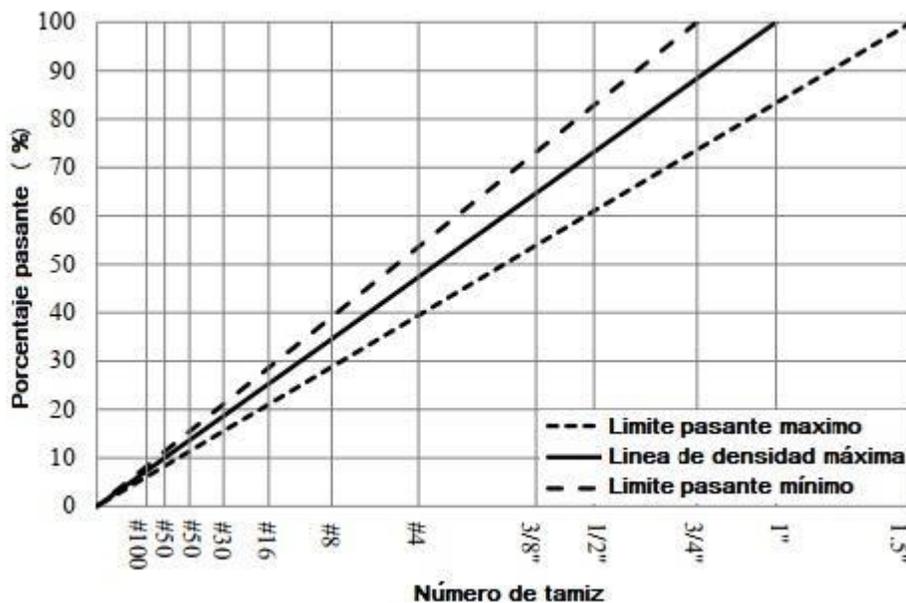


FIGURA 3.6: GRÁFICA POWER 45

### 3.6.3. GRANULOMETRÍA DE LA CURVA DE LA TARÁNTULA

#### 3.6.3.1. ANTECEDENTES

El concreto graduado optimizado ha sido un tema ampliamente discutido a través de la historia del concreto. Dado que los agregados representan más del 70% del volumen en una mezcla, la gradación es crítica para la resistencia, trabajabilidad y durabilidad del concreto. Debido a estas razones se desarrolló una investigación dividida en varias fases: **“Investigation of Optimized Graded Concrete for Oklahoma”** Fase 1 y Fase 2, estas fases se desarrollaron entre los años 2011 y 2015.

Durante su búsqueda desarrollaron un nuevo método de ensayo de trabajabilidad para pavimentos de concreto llamado “Ensayo de la caja (Box Test)”, ya que, según esta investigación, uno de los obstáculos más grandes que impiden el desarrollo de parámetros y directrices de los agregados, proviene del hecho que sólo unos pocos métodos de prueba son capaces de proporcionar datos cuantitativos sobre la trabajabilidad del concreto. Este método de ensayo lo utilizaron para evaluar varios métodos de diseño optimizados graduadas.

Después de encontrar algunas deficiencias en los métodos de diseño actuales, desarrollaron un nuevo conjunto de recomendaciones de diseño y especificaciones. Luego de 4 años intensos diseñando alrededor de cuatro mil mezclas de concreto y ensayar más de 800 mezclas, la **“Curva de la Tarántula”**

fue desarrollada como una herramienta para el proporcionamiento de agregados de la mayoría de las aplicaciones del concreto.

### 3.6.3.2. CURVA DE LA TARÁNTULA Y SUS LIMITES

La curva de la tarántula provee para cada tamiz un límite máximo recomendado y un límite mínimo sugerido. La gradación combinada debe estar dentro de los límites de cada tamaño de tamiz. La Figura 3.7 muestra el tamaño de tamiz individual recomendado y los límites de proporción de una gradación combinada.

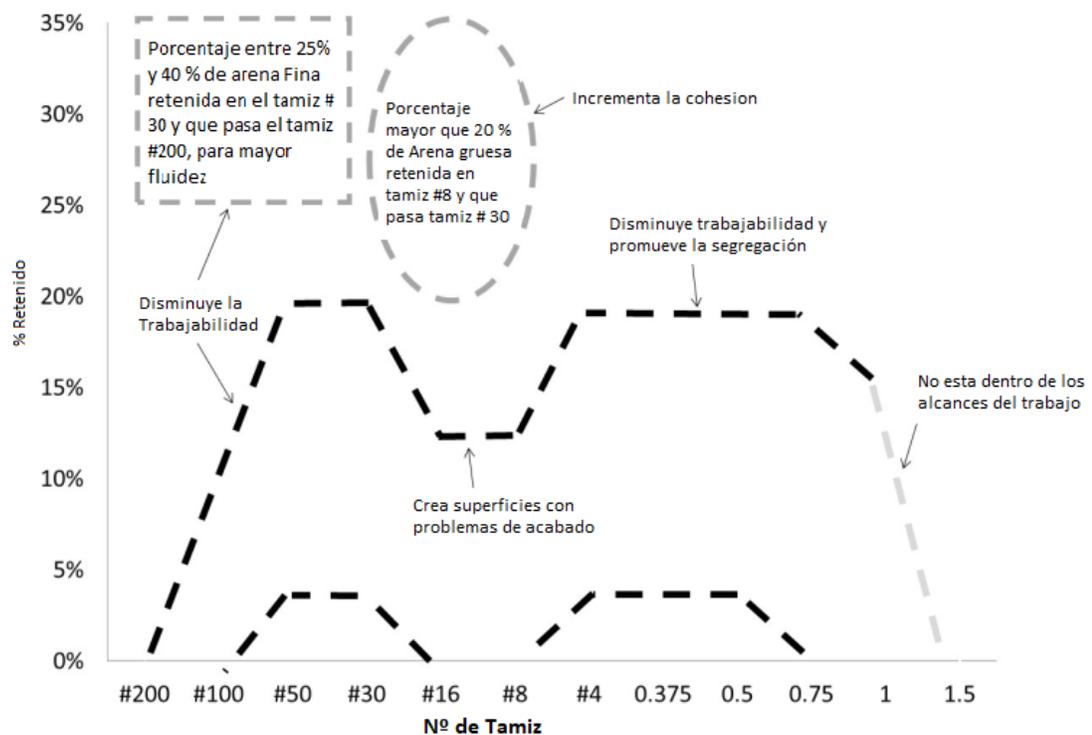


FIGURA 3.7: DESCRIPCIÓN LÍMITES DE LA “CURVA DE LA TARÁNTULA”.

FUENTE: INVESTIGATION OF OPTIMIZED GRADED CONCRETE FOR OKLAHOMA-PHASE2

**Límites de Agregado Grueso:** Si un solo tamaño de tamiz del agregado grueso (# 4 y más grande) retiene más del 20%, la trabajabilidad del concreto tenderá a disminuir y la segregación aumentará.

Sin embargo, una gradación con bajas cantidades en uno o dos tamaños de tamiz no necesariamente afecta el desempeño del concreto. Sin embargo, se hace difícil permanecer dentro de los límites máximos si falta una gradación o si tiene una pequeña cantidad en un tamiz adyacente.

**Límites de arena gruesa (#8 a #30):** Se demostró que la arena gruesa afecta la cohesión y el acabado superficial de la mezcla. Por ejemplo, si la mezcla no tiene suficiente volumen de agregado grueso, lo más probable es que la mezcla se segregara. Se sugiere retener un valor mínimo del 20% en la arena gruesa (# 8 hasta el # 30).

**Límites de arena fina (#30 a #200):** La cantidad de arena fina provee el acabado, consolidación. Se recomiendan los rangos prácticos de volumen de arena fina (# 30 a # 200) para concreto fluido del 25% al 40%.

**Problemas de acabado superficial:** Si la mezcla tiene un alto contenido de arena gruesa, se producirán problemas de acabado superficial. Los problemas de acabado se forman si contienen más del 20% del tamiz N° 8, arriba del 16% del tamiz N° 16 y más del 12% entre los tamices N° 8 y N° 16.

**Cohesión:** Si existen bajas cantidades de arena gruesa (Nº8 a Nº30), la mezcla tenderá a segregar. Se recomiendan las siguientes cantidades mínimas de arena gruesa las cuales podrían crear una cohesión adecuada:

- 4% en el tamiz # 16 con 15% del tamiz # 30
- 12% en el tamiz # 8 con 15% del tamiz # 30
- 2% en los tamices # 8 y # 16 con 15% de # 30.

### **3.6.3.3. Aplicaciones prácticas**

Se debe tener en cuenta que a medida que estos límites propuestos se cumplen o se rompen, el potencial de una mezcla de concreto no deseable o defectuosa aumenta considerablemente. La curva de tarántula y los límites de arena fina y arena gruesa proporcionan un rango conservador para proporcionar el agregado para concreto fluido. Al usar estos criterios, puede permitir reducciones en el cemento, el agua, los aditivos o los tres en una mezcla. Esto ayudará a mejorar la sostenibilidad, la economía y la durabilidad a largo plazo del concreto.

Cabe señalar que los límites sugeridos se eligieron para proporcionar una recomendación segura independientemente de las fuentes agregados investigadas.

### **3.7. METODOLOGÍA DE DISEÑO DE CONCRETO**

#### **3.7.1. MÉTODO ACI 211**

El procedimiento para la dosificación de mezclas que se expondrán en este apartado, es aplicable para concreto de peso normal.

La estimación de los pesos de las mezclas de concreto requeridos implica una secuencia de pasos lógicos y directos que, de hecho, ajustan las características de los materiales disponibles a una mezcla adecuada para el trabajo.

**Paso 1:** Selección de revenimiento. Si el revenimiento no está especificado, la norma presenta diferentes valores de revenimiento para tipos de construcción a seleccionar. Los rangos del revenimiento que se muestran aplican cuando se usa vibración para consolidar el concreto.

**Paso 2:** Elección del tamaño máximo del agregado. El tamaño máximo de agregado debe ser el mayor disponible económicamente y guardar relación con las dimensiones de la estructura. En ningún caso el tamaño máximo debe exceder de:

- a)  $1/5$  de la menor dimensión entre los costados de las cimbras.
- b)  $1/3$  del espesor de las losas.
- c)  $3/4$  del espaciamiento mínimo libre entre varillas o alambres individuales de refuerzo, paquetes de varillas, cables o ductos pretensados.

**Paso 3:** Estimación del agua de mezclado y el contenido de aire. La cantidad de agua por volumen unitario de concreto requerida para producir el revenimiento, depende del tamaño máximo, de la forma de la partícula, la granulometría de los agregados y de la cantidad de aire incluido. No le afecta significativamente el contenido de cemento.

**Paso 4:** Selección de la relación agua-cemento (A/C). Se determina no sólo por los requisitos de resistencia, sino también por otros factores como la durabilidad y las propiedades del acabado. Valores aproximados y relativamente conservadores para concreto elaborado con cemento Portland Tipo 1.

**Paso 5:** Cálculo del contenido de cemento. La cantidad de cemento por volumen unitario de concreto se determina con el paso 3 y 4 del procedimiento, que son el contenido de agua y la relación a/c. La cantidad de cemento se obtiene de dividir la cantidad de agua de mezclado entre la relación a/c.

**Paso 6:** Estimación del contenido de agregado grueso. Los agregados del mismo tamaño máximo nominal y granulometría, producen concretos de trabajabilidad satisfactoria cuando se emplea un volumen dado de agregado grueso por volumen unitario de concreto, con base en el Peso Unitario Seco Varillado (P.V.S). El factor seleccionado se multiplica con el valor del P.V.S para obtener la cantidad de agregado grueso.

**Paso 7:** Estimación del contenido de agregado fino. Para calcular la cantidad de agregado fino, se determina por diferencia. Puede emplearse cualquiera de los procedimientos siguientes:

- Método de Peso del concreto por unidad de volumen.
- Método de volumen absoluto ocupado por los ingredientes del concreto.

**NOTA:** Para el diseño de mezclas de concreto de este trabajo de graduación, los pasos 6 y 7 no se realizarán según ACI, sino que las cantidades de agregados se obtendrán según Volumen Absoluto.

**Paso 8:** Ajustes por contenido de humedad: Se debe considerar la humedad de los agregados que se utilizarán para el concreto. El agua de mezclado será corregida dependiendo de los valores de humedad y absorción que tengan los agregados, así:

- Si  $\text{Absorción} > \text{Humedad}$ , el agregado absorberá agua del agua de mezclado, por lo tanto, es necesario agregar una cantidad de agua equivalente a la diferencia entre la absorción y la humedad de los agregados.
- Si  $\text{Absorción} < \text{Humedad}$ , el agregado aportará agua al agua de mezclado, por lo tanto, es necesario quitar una cantidad de agua equivalente a la diferencia entre la absorción y la humedad de los agregados.

### 3.7.2. RECOMENDACIONES DE LA INVESTIGACIÓN PARA EL DISEÑO DE CONCRETO

#### **Diseño de mezcla mediante la curva de la tarántula**

A continuación, se muestra una nueva metodología de diseño de mezcla, la cual es recomendada por el Ph. D Tyler Ley y consiste en diseñar mezclas basándose en los agregados. Y propone los siguientes pasos:

1. Encontrar el contenido de cemento basado en la forma, textura, granulometría de los agregados, etc.
2. Elegir la relación A/C (Agua/Material cementantes) para durabilidad o resistencia.
3. Encontrar el contenido de agua.
4. Elegir el contenido de aire.
5. Seleccionar la proporción de agregados que cumplen los parámetros dentro de la curva de la tarántula.
6. Realizar pruebas de laboratorio.

Elementos necesarios para el diseño:

- Gravedad específica de todos los materiales.
- Análisis de tamices de agregados (Granulometría)
- Observación visual de la forma y limpieza de los agregados

- Hoja de cálculo.

A continuación, se describe de forma específica cada uno de los pasos anteriormente mencionados:

1. Encontrar el contenido de cemento: Primero, suponer que el material a utilizar es de una muy buena fuente de roca y arena y que su combinación está dentro de los límites de la curva de la tarántula. Los ajustes necesarios se realizarán después. Se elige la cantidad de cemento de acuerdo a la trabajabilidad deseada.

Aplicación	Revenimiento	Contenido de Cemento (Lb)
Pavimento antideslizante o Muro	<2"	470
Concreto para superficies planas colocados a mano, con camión o mezclador	4"	517
Cubierta de puentes, aceras o concreto estructural	6"	564
Concreto altamente fluido para jaulas de armaduras congestionadas	8"	611

TABLA 3.3: SELECCIÓN DEL REVENIMIENTO POR EL TIPO DE ESTRUCTURA.

FUENTE: ACI 211.

## CORRECCIONES DE CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

Cemento (Lb) % Pasta

Si los agregados ligeramente fuera de la curva de la Tarántula	+47	+1.5%
Si los agregados significativamente fuera de la curva de la Tarántula	+94	+3%
Si los agregados gruesos están sucios	+47	+1.5%

Si los agregados gruesos poseen forma irregular	+47	+1.5%
Si los agregados finos poseen forma irregular	+47	+1.5%

*TABLA 3.4: ADICIÓN DE PASTA DE CEMENTO EN LA MEZCLA, SEGÚN LAS DIFERENTES CONDICIONES.*

*¿Qué es el agregado grueso sucio?*

Durante el proceso de trituración, las partículas muy pequeñas pueden adherirse a la superficie de los agregados gruesos que dificultan que la pasta se adhiera a la roca. Además, el aumento del área superficial aumenta la demanda de agua.

*¿Cómo sabemos si estamos ligeramente fuera de la tarántula?*

Se sale ligeramente, si la combinación granulométrica está en un punto fuera de los límites de la curva granulométrica por <2%. Si la combinación granulométrica está fuera de dos o más puntos o si es mayor o igual al 2% entonces se necesita más cemento. Si se encuentra en la categoría incorrecta, es posible que la pasta adicional no lo salve y que necesite obtener un conjunto diferente de agregados.

*¿Qué son los agregados gruesos de forma irregular?*

Se requieren agregados con forma cúbica en el concreto, se pueden tolerar algunas partículas planas y alargadas, pero no demasiadas. La mejor manera de medir esto es con la norma ASTM D 4791. Se requiere menos del 15% en una proporción de 1:3.

*¿Qué es arena de forma irregular?*

La arena de fuentes naturales tiene una forma redondeada; Sin embargo, la arena triturada no lo es. Esta arena triturada o arena fabricada puede usarse en el concreto si tiene las características correctas.

2. Elegir relación A/C para mayor durabilidad o resistencia: ACI 318 proporciona una idea de cómo obtener esta relación “Agua/Material Cementante”.
3. Encontrar el contenido de agua.

$$\text{Contenido de agua} = \text{Contenido de cemento} \times (A/C)$$

4. Elegir contenido de aire: mientras que ACI 318 y ACI 211 especifican el contenido de aire basado en el tamaño máximo nominal del agregado, Tyler Ley recomienda usar solo el 6% o lo requerido según especificación. Si no se requiere aire, asumir 2%.
5. Proporción de agregados dentro de la curva de tarántula: Ahora hemos elegido todos nuestros otros ingredientes además de los agregados, pero lo hemos hecho teniendo en cuenta las características de los agregados. Queremos elegir nuestros agregados, ya que están dentro de la curva de tarántula y no en el borde probablemente funcionarán, pero nuestras gradaciones de agregados variarán y, por lo tanto, queremos permitir cierta flexibilidad en nuestro diseño.

Para hacer esto, generalmente comienzo con una hoja de cálculo y miro las gradaciones de los agregados en un gráfico de porcentaje retenido.

Intentó elegir fuentes que no tienen mucha superposición o al menos noto la superposición.

Luego, elijo una cantidad inicial de cada tipo de agregado e itero hasta dentro de la tarántula.

6. Durante el procesamiento por lotes de prueba, se debe encontrar la dosificación del aditivo para obtener la trabajabilidad deseada. Si su mezcla requiere una dosis muy grande de aditivos, entonces probablemente deba repetir el proceso con más aglutinante en la mezcla.

Debe verificar su trabajabilidad, resistencia y durabilidad.

Limitaciones del método según Ph. D Tyler Ley (Autor):

Este método de diseño es muy joven y, por lo tanto, evoluciona rápidamente.

También debe observar de cerca sus características de gradación y agregados.

Se necesita una hoja de cálculo, por ahora.

# **CAPÍTULO IV: TRABAJO DE LABORATORIO**

#### **4.1. INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se presenta el proceso a seguir en el laboratorio para la elaboración de mezclas de concreto con diferentes granulometrías, además se elaborarán viguetas de concreto que serán evaluadas a 7, 14 y 28 días.

Con esto se busca identificar que las mezclas de concreto posean las características físicas adecuadas y así mismo el concreto ya endurecido, que se comprobará a través de viguetas.

Inicialmente, se definirán los materiales que se utilizarán, además se definirán algunos parámetros los cuales serán constantes en nuestras mezclas y las cuales servirán para diseñar.

Seguidamente se verificarán las propiedades físicas de los agregados y se procederá a realizar combinaciones granulométricas a través de los gráficos de Shilstone y Curva de la Tarántula. Estas combinaciones nos servirán para realizar diseños de concreto óptimos.

Luego se elaborarán las mezclas de acuerdo a los diseños establecidos, se realizarán pruebas al concreto fresco y se elaborarán los especímenes de prueba.

#### **4.2. METODOLOGÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL**

Para llevar a cabo esta actividad, de deberá realizar ensayos a cada uno de los agregados con los que se harán las combinaciones granulométricas y

posteriormente, los diseños de mezclas; así como también se realizarán ensayos a las mezclas de concreto hidráulico para pavimentos en su estado fresco y endurecido.

Con el objetivo de tener un orden cronológico de los estados del concreto, estas actividades se pueden dividir de la siguiente manera:

- *Fase 1: Selección de los materiales que componen al concreto.*
- *Fase 2: Ensayos de calidad a los agregados.*
- *Fase 3: Combinaciones granulométricas con las granulometrías individuales obtenidas.*
- *Fase 4: Diseño de mezclas de concreto con base en las combinaciones granulométricas.*
- *Fase 5: Hechura de mezclas de concreto hidráulico y elaboración de especímenes.*
- *Fase 6: Ensayos al concreto en estado fresco.*
- *Fase 7: Ensayos al concreto en estado endurecido.*
- *Fase 8: Análisis de resultados.*

Todos los ensayos se llevarán a cabo en las instalaciones del laboratorio de Pavimentos de la Escuela de Ingeniería Civil, en la Universidad de El Salvador.

Estas fases serán realizadas por los autores del presente trabajo de graduación, con la colaboración del personal técnico del laboratorio y la asesoría de los docentes interno y externo.

A continuación, se detalla con una descripción en qué consisten cada una de estas fases para poder desarrollar el trabajo experimental, tomando en cuenta el control de calidad en agregados y luego, en concreto fresco y endurecido.

#### **4.3. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO EXPERIMENTAL EN EL LABORATORIO**

La **fase I** consiste en seleccionar el tipo de material que se va utilizar en las mezclas de concreto hidráulico, además de describir las características de los componentes a utilizar: cemento, agregados, agua y aditivo. A partir de estas características que deben cumplir los materiales, procedemos a la **fase II** donde se deberán realizar las diferentes pruebas de laboratorio a los agregados que se utilizarán en la mezcla de concreto hidráulico para determinar algunas de sus propiedades físicas. Luego en la **fase III** se realizarán las combinaciones granulométricas basadas en la combinación de agregados Shilstone y la recomendación granulométrica denominada Curva de la Tarántula, donde se seleccionará la curva más adecuada para diseñar las mezclas. En la **fase IV** se procederá a diseñar las mezclas de concreto habiendo cumplido las especificaciones granulométricas Shilstone y Curva de la Tarántula. También es importante mencionar que algunas de las características del concreto como

resistencia, relación agua/cemento y cantidad de cemento, poseerán las mismas características físicas y además su valor será constante en todas las mezclas a realizar, de tal forma que las únicas variables a tomar en cuenta serán los porcentajes de grava y arena y su granulometría correspondiente; finalmente los diseños de mezcla serán reproducidos en la **fase V** y se procederá a elaborar los especímenes de viguetas de concreto, cumpliendo con las respectivos ensayos al concreto fresco (revenimiento, ensayo de la caja) que es la **fase VI**. Cumpliéndose con estas propiedades se realizarán los especímenes de viguetas para ser evaluados a los 7 y 28 días efectuando de esta manera la **fase VII** que consiste en los ensayos al concreto endurecido, finalmente se tabularán los resultados y se analizarán cumpliéndose la **fase VIII** análisis de resultados. Con los resultados obtenidos en cada mezcla de concreto se procederá a hacer las comparaciones entre cada una de ellas y se establecerán las respectivas conclusiones.

#### **4.4. FASES DE LA METODOLOGÍA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL**

A continuación, se explicará cada una de las fases que se realizarán en el laboratorio para el desarrollo del trabajo de graduación. Tomando en cuenta el control de calidad de los agregados, concreto fresco y concreto endurecido.

##### ***FASE 1: SELECCIÓN DE LOS MATERIALES***

En este apartado, se detalla de manera específica los materiales a emplearse para el desarrollo del trabajo de graduación.

Los materiales que se utilizarán para elaborar las mezclas de concreto hidráulico son: agregado grueso, agregado fino, cemento, agua y aditivos.

### **AGREGADOS:**

Los agregados gruesos y finos, serán suministrados por La Cantera S.A de C.V ubicada en San Diego, La Libertad. Los agregados gruesos son de origen basáltico y se distinguen por su alta homogeneidad, gran resistencia al desgaste y resistencia a la compresión.

Los agregados están bajo la norma ASTM C-33 y las granulometrías se realizan con base en ASTM C-136.

- Para el agregado grueso, La Cantera proporcionó 4 granulometrías diferentes; siendo estas Grava #57, Grava #8, Grava #67 y Grava #7.
- Para el agregado fino, se utilizará arena natural o del río Tihuapa y también se evaluará la arena triturada que brinda La Cantera.

### **CEMENTO:**

Para las mezclas de concreto hidráulico, se emplea cemento bajo norma ASTM C1157 Tipo HE. Este cemento posee propiedades de ganancia de resistencia a edades tempranas. Por su desempeño, se utiliza mucho en la construcción de pavimentos rígidos. El cemento será suministrado por la Planta Cementera de Holcim El Salvador en Santa Ana.

**AGUA:**

Se deberá de usar agua potable, cumpliendo con los requisitos de la norma ASTM C94/C94M (Especificaciones estándar con el cumplimiento de concreto premezclado) libre de olor, color, sabor. El agua de la Universidad de El Salvador, proviene de la red pública de ANDA.

**ADITIVOS:**

Para este trabajo de graduación, se utilizará un aditivo Retardante de fraguado y un aditivo Reductor de Agua. Para el Retardante de fraguado se usará RB928 y para el Reductor de Agua se usará MEGAFLOW (reductor de agua de alto rango), según la especificación ASTM C 494 (Especificación Estándar de aditivos químicos para concreto).

***FASE 2: ENSAYOS DE CALIDAD A LOS AGREGADOS***

Se presentan los resultados obtenidos de los ensayos a los agregados, comenzando desde la obtención de los materiales hasta las granulometrías individuales de dichos agregados ensayados.

**ASTM D 75-87: “Muestreo de Agregados”**

La Cantera S.A de C.V, está situada en el Km 57.5 de la Carretera del Litoral, San Diego, en la Libertad a 2 Km al oriente del Puerto de La Libertad. Los agregados se obtienen mediante explosiones controladas y planificadas para

disminuir el volumen de la roca natural en el lugar, luego es transportada por cargadores de hasta ocho toneladas de capacidad en adelante, para luego ser triturados por las máquinas con quijadas. Luego de la trituración, el material selecto es transportado por bandas, las cuales acumulan los materiales ya procesados y por tamaños específicos de mallas, en grandes volcanes para su posterior distribución al mercado nacional.



FIGURA 4.1: Extracción de material rocoso para agregados. Fuente: La Cantera S.A. de C.V.

Para la realización de todos los ensayos se tomó una muestra representativa, la cual está almacenada en acopio en La Cantera S.A. de C.V. Los encargados de la realización de pruebas a los agregados disponen una hora para realizar el muestreo.

**ASTM C117: “Material más fino que 0.075mm (malla N°200) por lavado de material”**



FIGURA 4.2: Lavado de agregado grueso pasado por el tamiz N°200

La siguiente tabla representa los datos del porcentaje de material más fino que pasa la malla N° 200 de los agregados lavados:

Agregado	Masa Cte antes de lavado (B)	Masa Cte después de lavado (C)	% finos
Grava #57	13691.3	13641	0.37
Grava #67	6349.2	6310	0.62
Grava #7	2573.9	2555.5	0.71
Grava #8	4103.7	4075	0.70
Arena Triturada	419.6	384.6	8.34
Arena natural	404.2	398	1.53

TABLA 4.1: Porcentaje de material más fino que pasa la malla N° 200.

Utilizando la ecuación:

$$A = \left( \frac{B - C}{B} \right) \times 100$$

Donde:

A= Porcentaje de material más fino

B= Masa seca original  
 C= Masa seca después de lavado

**ASTM C127-07/C128-07: “Método de Ensayo Estándar para Densidad, Gravedad Específica y Absorción de agregados gruesos y finos”**

La masa mínima de la muestra de ensayo a ser usada, se muestra en tabla 4.2:

<b>Tamaño Nominal mm(pulg)</b>	<b>Máximo</b>	<b>Masa Mínima de la muestra de ensayo, kg (lb)</b>
12.5 (1/2) o menos		2 (4.4)
19.0 (3/4)		3 (6.6)
25 (1)		4 (8.8)
37.5 (1 1/2)		5 (11)
50 (2)		8 (18)

TABLA 4.2: Masa mínima de la muestra de ensayo según el Tamaño máximo nominal



FIGURA 4.3: Secado con franela de agregado grueso

Las siguientes tablas, contienen los datos calculados de los agregados ensayados en el laboratorio:

TABLA 4.3: Gravedad Específica, Densidad y Absorción Grava #57

Grava	<b>57</b>
Peso de grava saturada con superficie seca (Kg) <b>(B)</b>	5,800.0
Peso de grava sumergida ( Kg) <b>(C)</b>	3,554.2
Peso seco de grava (Kg) <b>(A)</b>	5,728.6
<b>Gravedad Específica (seca)</b>	<b>2.55</b>
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2544.43</b>
<b>Absorción %</b>	<b>1.2</b>

TABLA 4.4: Gravedad Específica, Densidad y Absorción Grava #67

Grava	<b>67</b>
Peso de grava saturada con superficie seca (Kg) <b>(B)</b>	4,289.1
Peso de grava sumergida ( Kg) <b>(C)</b>	2,623.1
Peso seco de grava (Kg) <b>(A)</b>	4,237.1
<b>Gravedad Específica (seca)</b>	<b>2.54</b>
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2,536.92</b>
<b>Absorción %</b>	<b>1.2</b>

TABLA 4.5: Gravedad Específica, Densidad y Absorción Grava #8

Grava	<b>8</b>
Peso de grava saturada con superficie seca ( Kg)	3,070.3
Peso de grava sumergida ( Kg)	1,880.8
Peso seco de grava (Kg)	3,030.4
<b>Gravedad Específica (seca)</b>	<b>2.55</b>
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2,541.26</b>
<b>Absorción %</b>	<b>1.3</b>

TABLA 4.6: Gravedad Específica, Densidad y Absorción Grava #7

Grava	<b>7</b>
Peso de grava saturada con superficie seca (Kg) ( <b>B</b> )	2,705.5
Peso de grava sumergida ( Kg) ( <b>C</b> )	1,674.1
Peso seco de grava (Kg) ( <b>A</b> )	2,669.3
<b>Gravedad Específica (seca)</b>	<b>2.68</b>
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2,581.57</b>
<b>Absorción %</b>	<b>1.4</b>

TABLA 4.7: Fórmulas para calcular Gravedad Específica, Densidad y Absorción.  
Fuente: ASTM C127-07

	<b>Fórmula</b>
<b>Gravedad Específica</b>	$G_s = \frac{A}{B - C}$
<b>Densidad</b>	$\rho = \frac{997.5A}{B - C}$
<b>Absorción</b>	$abs = \frac{B - C}{A} \times 100$



FIGURA 4.4: Procedimiento para obtener condición saturado superficialmente seco con agregado fino.



FIGURA 4.5: Procedimiento para eliminar el aire atrapado usando Picnómetro.

Las siguientes tablas, contienen los datos calculados de los agregados ensayados en el laboratorio:

TABLA 4.8: Gravedad Específica, Densidad y Absorción de la Arena Natural

<b>Arena</b>	<b>Natural</b>
Masa del picnómetro lleno de agua (kg) <b>(B)</b>	1,481
Masa de la muestra saturada superficialmente seca (kg) <b>(S)</b>	508.2
Masa del picnómetro lleno con la muestra y agua (kg) <b>(C)</b>	1,781.2
Masa de muestra secada al horno (kg) <b>(A)</b>	490.8
<b>Gravedad Específica (seca)</b>	<b>2.36</b>
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2,353.72</b>
<b>Absorción %</b>	<b>3.5</b>

TABLA 4.9: Gravedad Específica, Densidad y Absorción de la Arena Triturada

<b>Arena</b>	<b>Triturada</b>
Masa del picnómetro lleno de agua (kg) ( <b>B</b> )	1,481
Masa de la muestra saturada superficialmente seca (kg) ( <b>S</b> )	509.4
Masa del picnómetro lleno con la muestra y agua (kg) ( <b>C</b> )	1,792.7
Masa de muestra secada al horno (kg) ( <b>A</b> )	498.4
<b>Gravedad Específica (seca)</b>	<b>2.52</b>
<b>Densidad (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>2,514.69</b>
<b>Absorción %</b>	<b>2.2</b>

TABLA 4.10: Fórmulas para calcular Gravedad Específica, Densidad y Absorción de Agregados Finos. Fuente: ASTM C 128-07

	<b>Fórmula</b>
<b>Gravedad Específica</b>	$G_s = \frac{A}{B + S - C}$
<b>Densidad</b>	$\rho = \frac{997.5A}{B + S - C}$
<b>Absorción</b>	$abs = \frac{S - A}{A} \times 100$

**ASTM C136-06: “Método de Ensayo Estándar para Análisis por tamiz de agregados gruesos y finos”.**

#### **Especificaciones para Agregado Fino:**

El tamaño de la muestra de ensayo, después de secado, debe ser 300 g como mínimo.

El Agregado fino tendrá una granulometría dentro de los límites prescritos en la norma ASTM C33; véase la siguiente Tabla:

TABLA 4.11: Límites de Graduación del Agregado Fino. Fuente: ASTM C33

GRADUACIÓN DEL AGREGADO FINO				
Abertura de Malla		Porcentaje que Pasa		
<b>(9.51 mm)</b>	3/8 in		100	
<b>(4.75 mm)</b>	Nº 4	95	a	100
<b>(2.36 mm)</b>	Nº 8	80	a	100
<b>(1.18 mm)</b>	Nº 16	50	a	85
<b>(600 µm)</b>	Nº 30	25	a	60
<b>(300 µm)</b>	Nº 50	10	a	30
<b>(150 µm)</b>	Nº 100	2	a	10

El tamaño de la muestra de ensayo de agregado grueso será conforme a lo siguiente:

TABLA 4.12: Tamaño de la muestra de ensayo de agregado grueso. Fuente: ASTM C33

Tamaño máximo nominal. mm (pulg.)		Tamaño de la muestra de ensayo, mínimo kg. (lb)
9.5	(3/8)	1 (2)
12.5	(1/2)	2 (4)
19.0	(3/4)	5 (11)
25.0	(1)	10 (22)
37.5	(1 1/2)	15 (33)
50	(2)	20 (44)
63	(2 1/2)	35 (77)
75	(3)	60 (130)
90	(3 1/2)	100 (220)
100	(4)	150 (330)
125	(5)	300 (660)

Los requisitos de la norma ASTM C 33 para granulometría de agregados gruesos, permiten un amplio rango de granulometrías y una diversidad de tamaños granulométricos, como aparece a continuación:

TABLA 4.13: REQUISITOS DE GRANULOMETRÍA PARA AGREGADO GRUESO. FUENTE: ASTM C 33

Tamaño nominal (mallas con aberturas cuadradas)	CANTIDADES MENORES QUE PASAN CADA MALLA DE LABORATORIO (ABERTURAS CUADRADAS), % EN PESO.												
	100 mm 4"	90 mm 3.54"	75 mm 3"	63 mm 2.5"	50 mm 2"	37.5 mm 1.5"	25 mm 1"	19 mm 3/4 "	12.5 mm 1/2 "	9.5mm 3/8 "	4.75 mm No 4	2.36 mm No 8	1.18 mm No 16
3.5 a 1.5 "	100	90 a 100	-	25 a 60	-	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
2.5 a 1.5 "	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-	-
2 a 1 "	-	-	-	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
2 " a No 4	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	-	0 a 5	-	-
1.5 a 3/4 "	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-
1.5 " a No 4	-	-	-	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-
1 a 1/2 "	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-	-	-
1 a 3/8 "	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	-	-
1 " a No 4	-	-	-	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-
3/4 a 3/8"	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	-	-
3/4" a No 4	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	-	25 a 55	0 a 10	0 a 5	-
1/2" a No 4	-	-	-	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-
3/8" a No 8	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

TABLA 4.14: Información requerida y forma de cálculo para granulometría de agregados. Fuente: ASTM C136

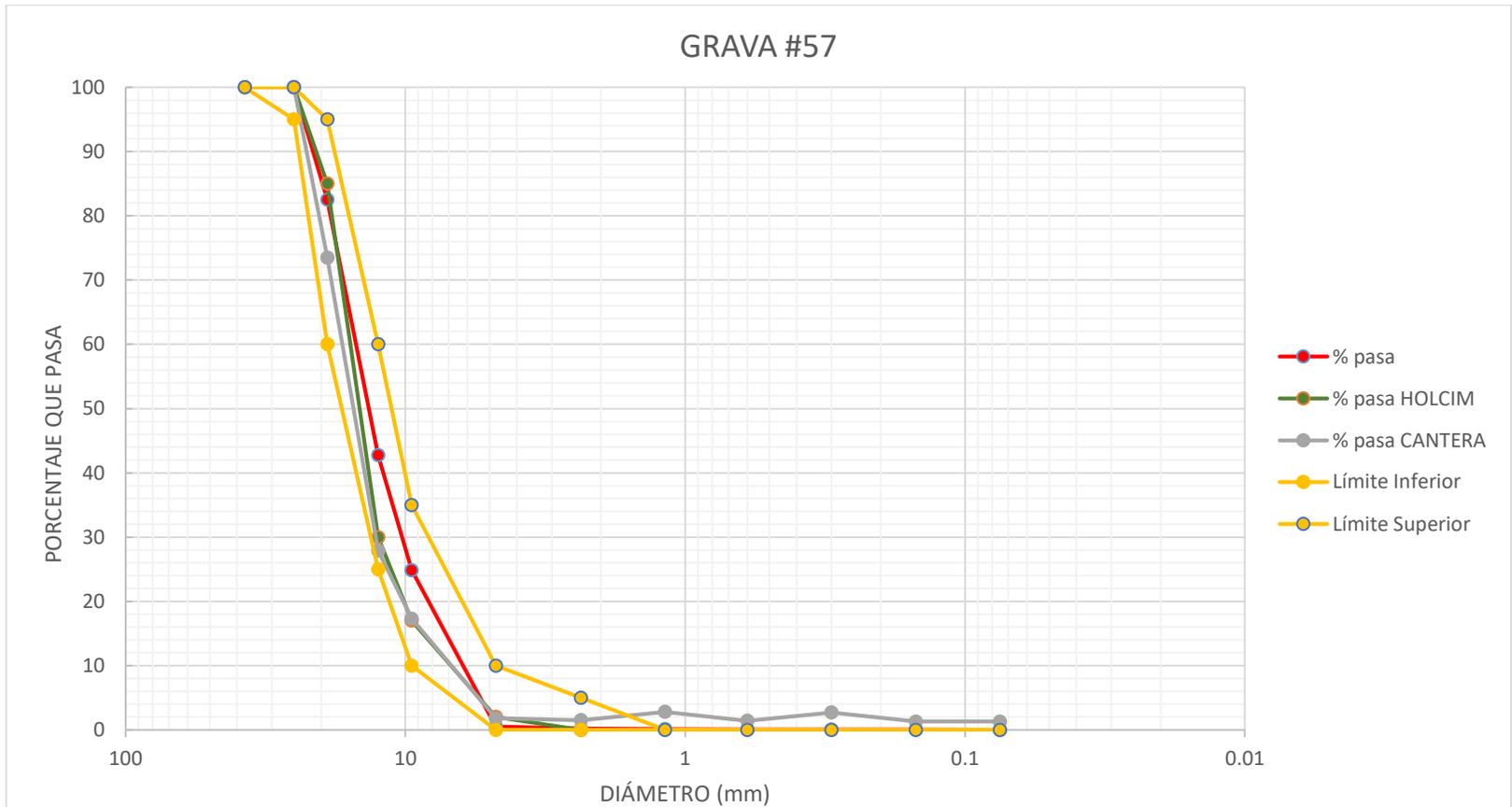
MALLA	PESO RETENIDO PARCIAL	% PARCIAL RETENIDO	% ACUMULADO RETENIDO	% QUE PASA
<b>xi</b>	W1	$(W1/w_{total}) \times 100 = p1$	P1	100 – P1
<b>xi</b>	W2	$(W2/w_{total}) \times 100 = p2$	P1 + P2	100 – (P1 + P2)
<b>xi</b>	W3	$(W3/w_{total}) \times 100 = p3$	P1 + P2 + P3	100 – (P1 + P2 + P3)
<b>xi</b>	W4	$(W4/w_{total}) \times 100 = p4$	P1 + P2 + ...P4	100 – (P1 + P2 + ...P4)
<b>xi</b>	W5	$(W5/w_{total}) \times 100 = p5$	P1 + P2 + ...P5	100 – (P1 + P2 + ...P5)
<b>xi</b>	W6	$(W6/w_{total}) \times 100 = p6$	P1 + P2 + ...P6	100 – (P1 + P2 + ...P6)
<b>xi</b>	W7	$(W7/w_{total}) \times 100 = p7$	P1 + P2 + ...P7	100 – (P1 + P2 + ...P7)
<b>xi</b>	Wn	$(Wn/w_{total}) \times 100 = pn$	P1 + P2 + ...Pn	100 – (P1 + P2 + ...Pn)
<b>Totales</b>	Wtotal		100	

A continuación, se muestran las tablas y gráficos de las granulometrías a los agregados gruesos y finos, hechos en el laboratorio.

TABLA 4.15: Granulometría del agregado grueso #57

malla (N°)	abertura (mm)	masa retenida (g)	masa retenida compensada (g)	Porcentaje Retenido %		porcentaje acumulado que pasa %	Porcentaje ASTM C 33		Porcentaje HOLCIM	Porcentaje CANTERA
				Parcial	Acumulado		Límite Inferior	Límite Superior		
1 1/2"	37.5	0	0	0	0	100	100	100	100	
1"	25	0	0	0	0	100.00	95	100	100	100
3/4"	19	2389.6	2389.6	17.50	17.50	82.50	60	95	85	73.5
1/2"	12.5	5430	5431.4	39.77	57.26	42.74	25	60	30	27.9
3/8"	9.5	2442.2	2442.2	17.88	75.14	24.86	10	35	17	17.3
N° 4	4.75	3327.4	3327.4	24.36	99.50	0.50	0	10	2	1.8
N° 8	2.36	44.5	44.5	0.33	99.83	0.17	0	5	0	1.5
N° 16	1.18	8.5	8.5	0.06	99.89	0.11	0.00	0		2.8
N° 30	0.6	4.6	4.6	0.03	99.92	0.08	0.00	0		1.4
N° 50	0.3	3	3	0.02	99.95	0.05	0.00	0		2.7
N° 100	0.15	3	3	0.02	99.97	0.03	0.00	0		1.3
N° 200	0.075	3.7	3.7	0.03	99.99	0.01	0.00	0		1.3
Fondo		0.7	0.7	0.01	100.00	0.00				
suma		13657.2	13658.6	100						

error %	0.01
---------	------

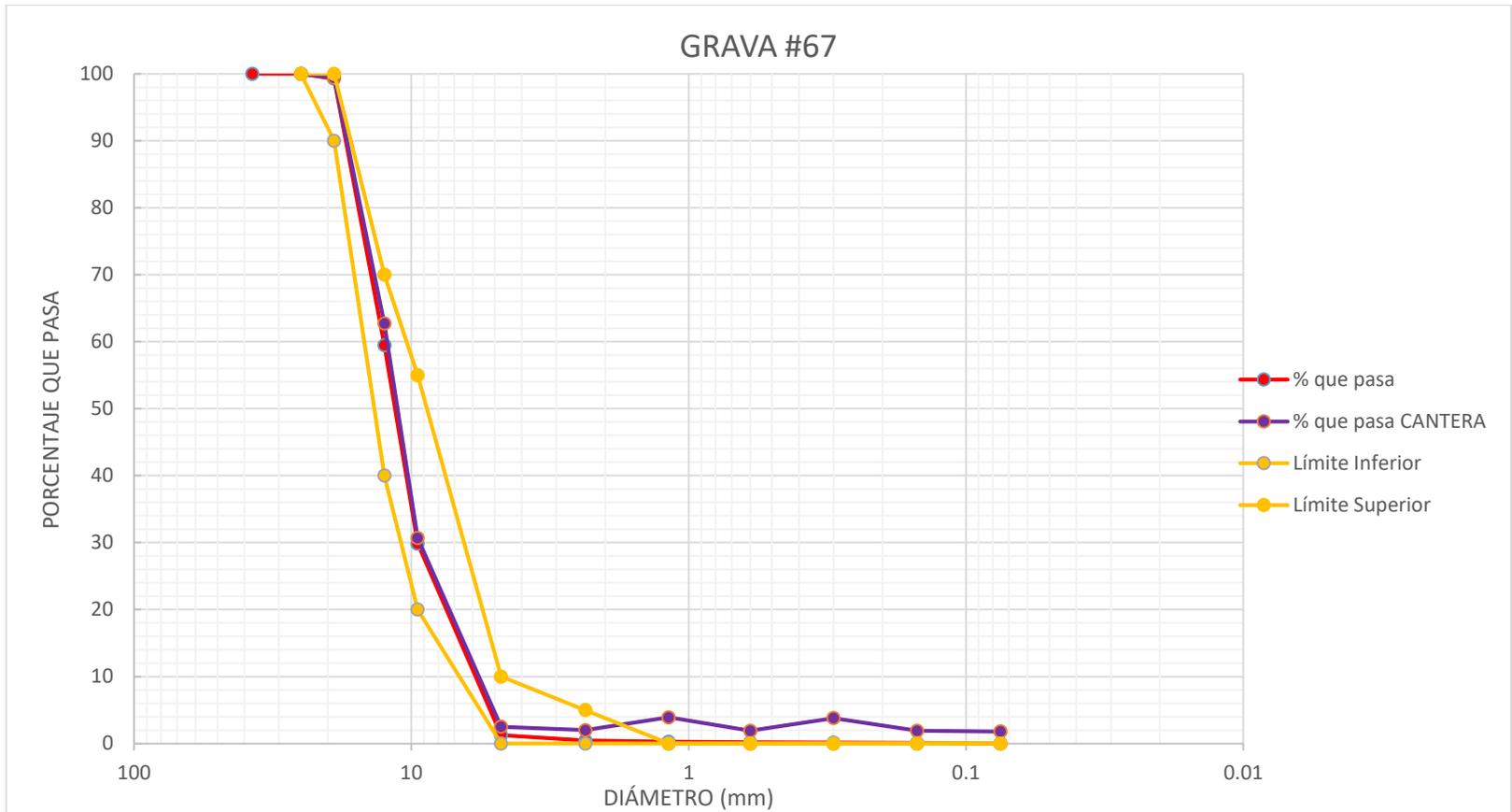


GRAFICA 4.1: Distribución granulométrica de la grava #57, con los porcentajes que pasan de Holcim y La Cantera

TABLA 4.16: Granulometría del Agregado Grueso #67

malla (N°)	abertura (mm)	masa retenida (g)	masa retenida compensada (g)	Porcentaje Retenido %		porcentaje acumulado que pasa %	Porcentaje ASTM C 33		Porcentaje Cantera
				Parcial	Acumulado		Límite Inferior	Límite Superior	
1 1/2"	37.5	0	0	0	0	100	100	100	
1"	25	0	0	0	0	100.00	100	100	100
3/4"	19	46.5	46.5	0.74	0.74	99.26	90	100	99.4
1/2"	12.5	2514.4	2515.2	39.78	40.51	59.49	40	70	62.7
3/8"	9.5	1874.5	1874.5	29.64	70.16	29.84	20	55	30.7
N° 4	4.75	1806.9	1806.9	28.57	98.73	1.27	0	10	2.5
N° 8	2.36	53.2	53.2	0.84	99.57	0.43	0	5	2
N° 16	1.18	10.6	10.6	0.17	99.74	0.26	0	0	3.9
N° 30	0.6	5.1	5.1	0.08	99.82	0.18	0.00	0	1.9
N° 50	0.3	3	3	0.05	99.87	0.13	0.00	0	3.8
N° 100	0.15	3.3	3.3	0.05	99.92	0.08	0.00	0	1.9
N° 200	0.075	4.5	4.5	0.07	99.99	0.01	0.00	0	1.8
Fondo		0.6	0.6	0.01	100.00	0.00	0.00	0	
suma		6322.6	6323.4	100					

error %	0.01
---------	------

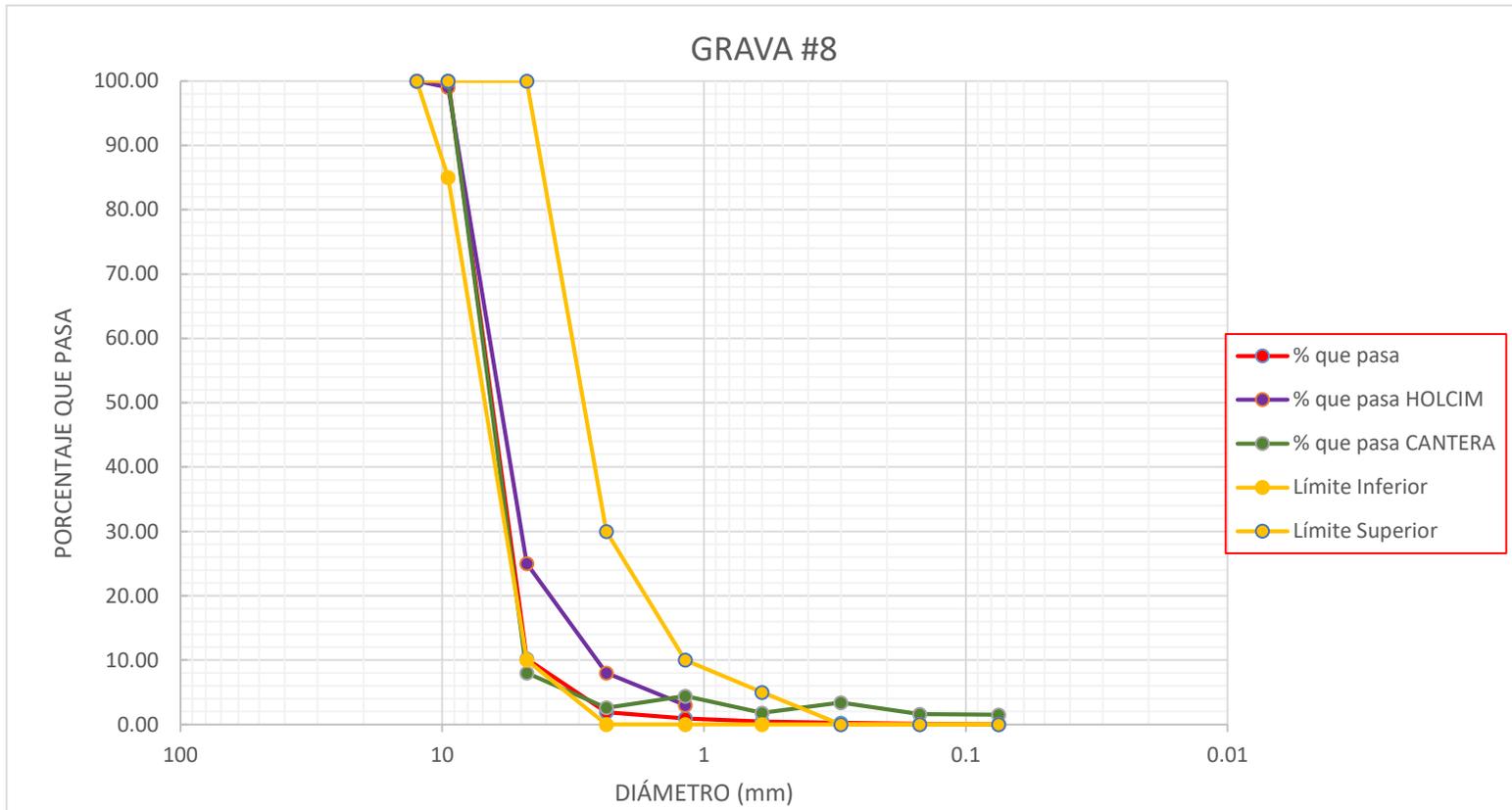


GRAFICA 4.2: Distribución granulométrica de la grava #67, con los porcentajes que pasan de Holcim y La Cantera

TABLA 4.17: Granulometría del Agregado Grueso #8

malla (N°)	abertura (mm)	masa retenida (g)	masa retenida compensada (g)	Porcentaje Retenido %		porcentaje acumulado que pasa %	Porcentaje ASTM C 33		Porcentaje HOLCIM	Porcentaje CANTERA
				Parcial	Acumulado		Límite Inferior	Límite Superior		
<b>1 1/2"</b>	37.5	0	0	0	0	100	100	100		
<b>1"</b>	25	0	0	0	0	100.00	100	100		
<b>3/4"</b>	19	0	0	0.00	0.00	100.00	100	100		
<b>1/2"</b>	12.5	0	0	0.00	0.00	100.00	100	100	100	
<b>3/8"</b>	9.5	0	0	0.00	0.00	100.00	85	100	99	100
<b>N° 4</b>	4.75	3666.2	3666.9	89.81	89.81	10.19	10	30	25	8
<b>N° 8</b>	2.36	337.9	337.9	8.28	98.09	1.91	0	10	8	2.6
<b>N° 16</b>	1.18	39.4	39.4	0.97	99.05	0.95	0	5	3	4.4
<b>N° 30</b>	0.6	19.5	19.5	0.48	99.53	0.47	0.00	0		1.8
<b>N° 50</b>	0.3	9.5	9.5	0.23	99.76	0.24	0.00	0		3.4
<b>N° 100</b>	0.15	5.5	5.5	0.13	99.90	0.10	0.00	0		1.6
<b>N° 200</b>	0.075	3.6	3.6	0.09	99.99	0.01	0.00	0		1.5
<b>Fondo</b>		0.5	0.5	0.01	100.00	0.00	0.00	0		
<b>suma</b>		4082.1	4082.8	100						

error %	0.02
---------	------

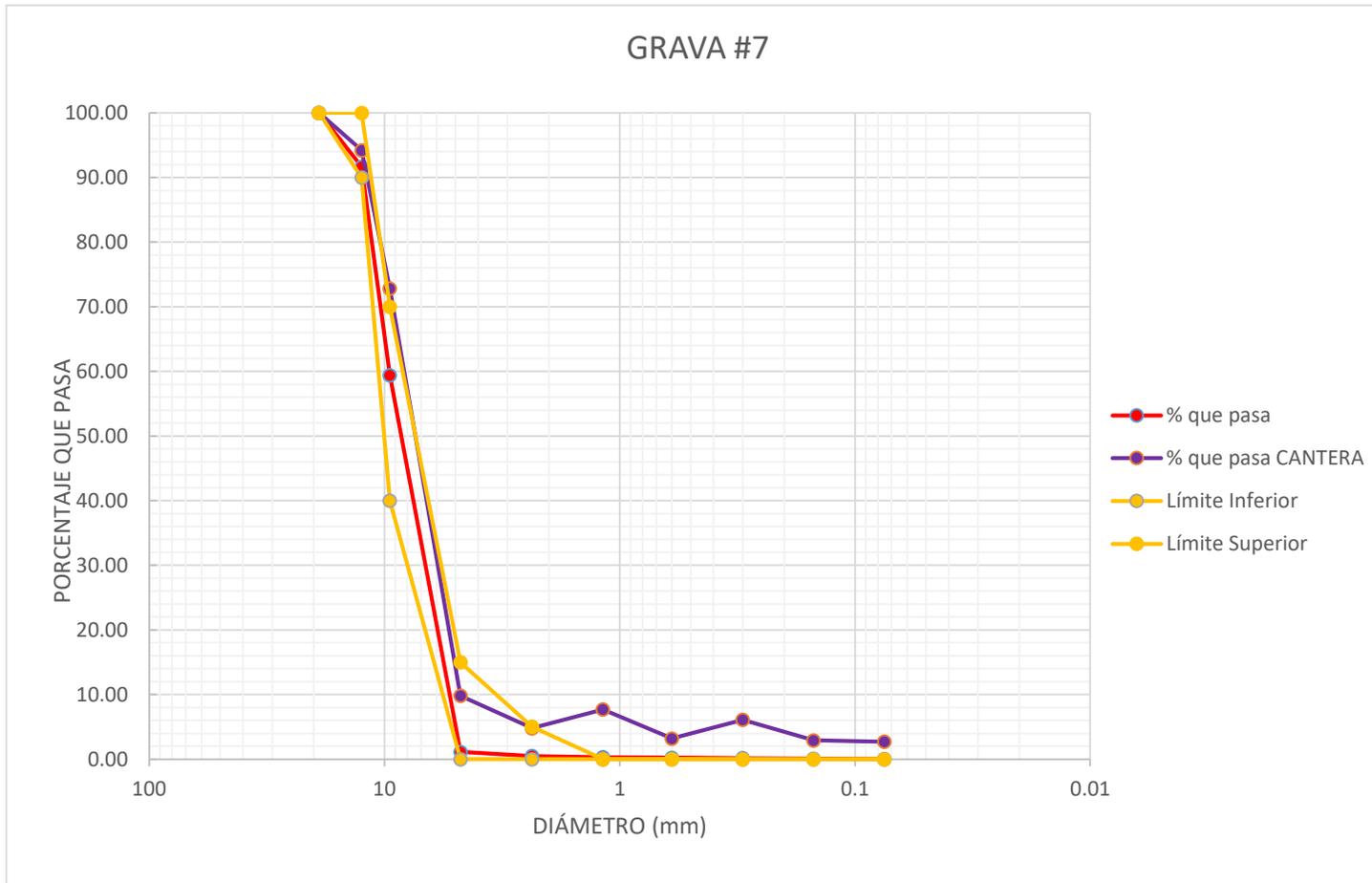


GRAFICA 4.3: Distribución granulométrica de la grava #8, con los porcentajes que pasan de Holcim y La Cantera

TABLA 4.18: Granulometría del Agregado Grueso # 7

malla (N°)	abertura (mm)	masa retenida (g)	masa retenida compensada (g)	Porcentaje Retenido %		porcentaje acumulado que pasa %	Porcentaje estándar según ASTM C 33		Porcentaje CANTERA
				Parcial	Acumulado		Límite Inferior	Límite Superior	
<b>1 1/2"</b>	37.5	0	0	0	0	100	100	100	
<b>1"</b>	25	0	0	0	0	100.00	100	100	
<b>3/4"</b>	19	0	0	0.00	0.00	100.00	100	100	100
<b>1/2"</b>	12.5	213.7	213.7	8.34	8.34	91.66	90	100	94.2
<b>3/8"</b>	9.5	826.1	826.1	32.24	40.58	59.42	40	70	72.8
<b>N° 4</b>	4.75	1493	1493.8	58.29	98.87	1.13	0	15	9.8
<b>N° 8</b>	2.36	16.7	16.7	0.65	99.52	0.48	0	5	4.8
<b>N° 16</b>	1.18	4.3	4.3	0.17	99.69	0.31	0	0	7.7
<b>N° 30</b>	0.6	2.3	2.3	0.09	99.78	0.22	0.00	0	3.2
<b>N° 50</b>	0.3	1.5	1.5	0.06	99.84	0.16	0.00	0	6.1
<b>N° 100</b>	0.15	1.8	1.8	0.07	99.91	0.09	0.00	0	2.9
<b>N° 200</b>	0.075	2	2	0.08	99.99	0.01	0.00	0	2.7
<b>Fondo</b>		0.3	0.3	0.01	100.00	0.00	0.00	0	
<b>suma</b>		2561.7	2562.5	100					

error %	0.03
---------	------

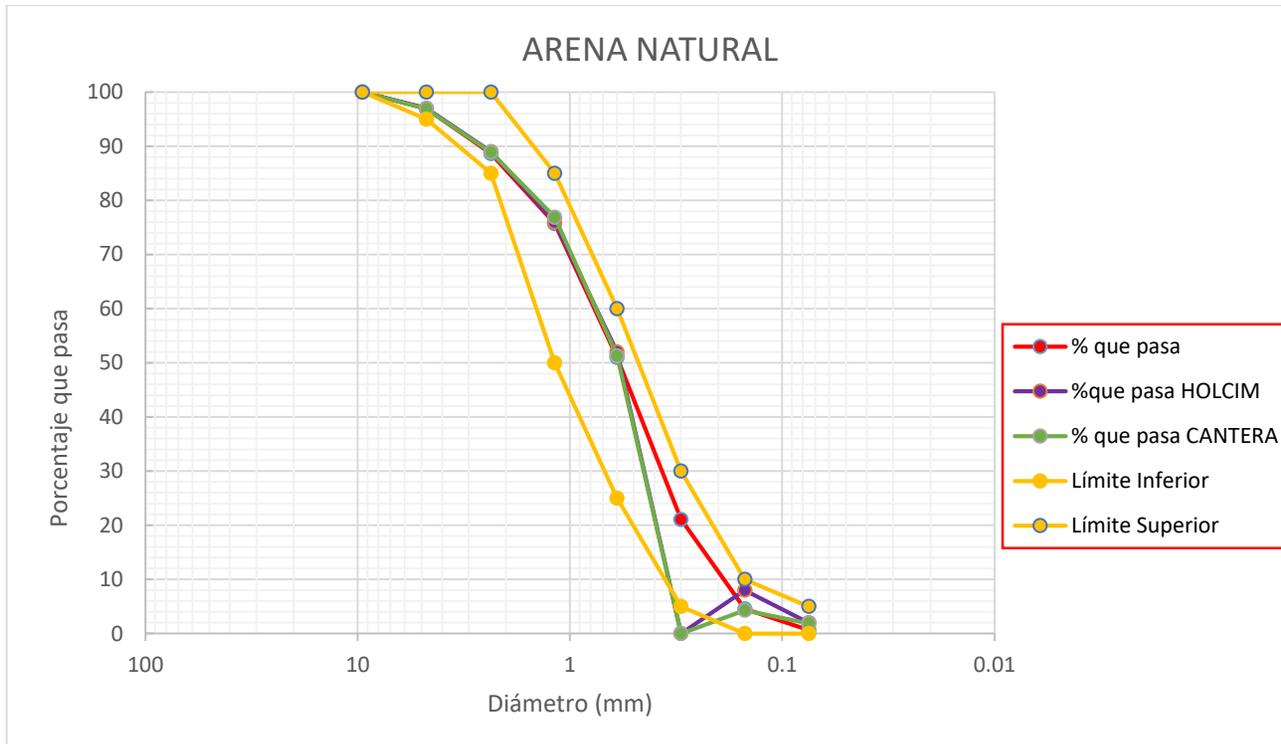


GRAFICA 4.4: Distribución granulométrica de la grava #7, con los porcentajes que pasan de Holcim y La Cantera

TABLA 4.19: Granulometría de Agregado Fino, Arena Natural

malla (N°)	abertura (mm)	masa retenida (g)	masa retenida compensada (g)	Porcentaje Retenido %		porcentaje acumulado que pasa %	Porcentaje ASTM C 33		Porcentaje HOLCIM	Porcentaje CANTERA
				Parcial	Acumulado		Mínimo	Máximo		
3/8"	9.5	0	0	0.00	0.00	100.00	100.00	100	100	100
N° 4	4.75	12.2	12.2	3.06	3.06	96.94	95.00	100	97	96.9
N° 8	2.36	33.1	33.1	8.30	11.36	88.64	85.00	100	89	88.9
N° 16	1.18	51.6	51.6	12.94	24.29	75.71	50.00	85	76	76.9
N° 30	0.6	98.6	98.6	24.72	49.01	50.99	25.00	60	52	51.3
N° 50	0.3	119.2	119.3	29.91	78.92	21.08	5.00	30	27	16
N° 100	0.15	65.9	65.9	16.52	95.44	4.56	0.00	10	8	4.3
N° 200	0.075	15.6	15.6	3.91	99.35	0.65	0.00	5	2	1.9
pasa N° 200		2.6	2.6	0.65	100.00	0.00			0	0
suma		398.8	398.9	100.00						

error %	0.03
---------	------

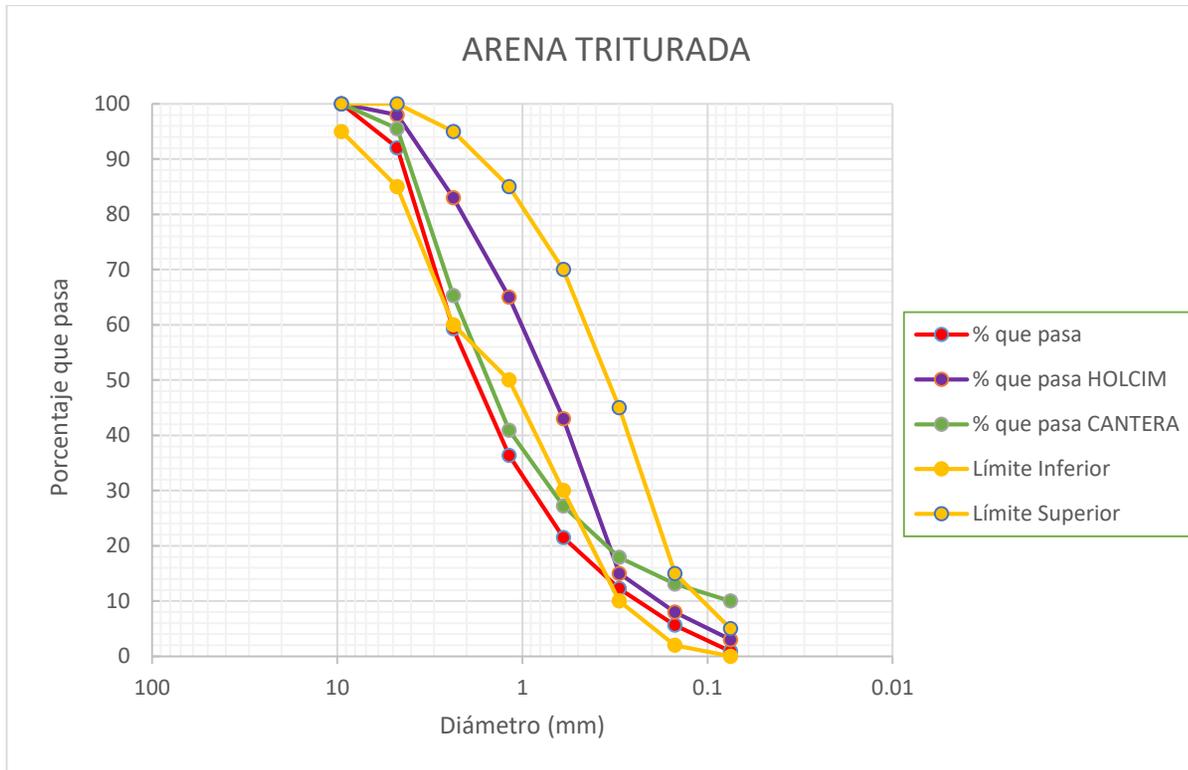


GRAFICA 4.5: Distribución Granulométrica de la Arena Natural, con los porcentajes que pasan de Holcim y LA CANTERA

TABLA 4.20: Granulometría de Agregado Fino, Arena Triturada

malla (N°)	abertura (mm)	masa retenida (g)	masa retenida compensada (g)	Porcentaje Retenido %		porcentaje acumulado que pasa %	Porcentaje ASTM C 33		Porcentaje HOLCIM	Porcentaje CANTERA
				Parcial	Acumulado		Mínimo	Máximo		
3/8"	9.5	0	0	0.00	0.00	100.00	95.00	100	100	100
N° 4	4.75	30.6	30.6	7.94	7.94	92.06	85.00	100	98	95.5
N° 8	2.36	125.1	126.3	32.78	40.72	59.28	60.00	95	83	65.3
N° 16	1.18	88.4	88.4	22.94	63.66	36.34	50.00	85	65	40.9
N° 30	0.6	57.1	57.1	14.82	78.48	21.52	30.00	70	43	27.2
N° 50	0.3	35.7	35.7	9.27	87.75	12.25	10.00	45	15	17.9
N° 100	0.15	25.5	25.5	6.62	94.37	5.63	2.00	15	8	13.1
N° 200	0.075	18.2	18.2	4.72	99.09	0.91	0.00	5	3	10
pasa N° 200		3.5	3.5	0.91	100.00	0.00			0	0
suma		384.1	385.3	100.00						

error %	0.31
---------	------



GRAFICA 4.6: Distribución granulométrica de la Arena Triturada, con porcentajes que pasan de Holcim y LA CANTERA

### ***FASE 3: COMBINACIONES GRANULOMÉTRICAS POR MÉTODOS SHILSTONE Y CURVA DE LA TARÁNTULA.***

Para esta fase, se hace uso de la hoja electrónica en Microsoft Excel. Esta hoja nos proporciona la combinación de agregados utilizando la metodología Shilstone y Curva de la tarántula, por medio de las granulometrías individuales determinadas en los análisis realizados anteriormente en la fase 2, que garantizan las cantidades retenidas en cada tamiz y que sirve para determinar el porcentaje a cada agregado para asegurar que cumple con los parámetros establecidos en cada metodología.

También se proporciona el análisis de la granulometría combinada por medio de la carta Shilstone para determinar el factor de grosor y trabajabilidad de la mezcla, además se presenta la curva de máxima densidad que otorga la curva de la Power 45 para verificar aspectos que poseerá la mezcla de concreto.

Las primeras combinaciones se realizan utilizando los porcentajes del diseño original, los cuales se muestran en el siguiente apartado, siendo 34.5% para Agregado Fino, distribuyéndose en 60% en el primer agregado fino (Arena Natural) y 40% en el segundo agregado fino (Arena Triturada). Para agregado grueso se utiliza el 65.5%, distribuyéndose en 84% del primer agregado grueso y 16% en el segundo agregado grueso.

Se utilizan estos porcentajes como punto de partida para hacer las combinaciones granulométricas con base en las granulometrías individuales

realizada por los autores del trabajo de graduación, para luego, por prueba y error, utilizar diferentes porcentajes y de esa manera llegar a las combinaciones granulométricas más óptimas a utilizar en el diseño de mezclas de concreto hidráulico.

Los agregados finos, Arena Natural y Arena Triturada, se mantienen constantes en cada una de las combinaciones. Los agregados gruesos son variantes. Los agregados finos y gruesos estarán sujetos a modificaciones en los porcentajes de volumen.

## COMBINACIONES DE AGREGADOS CON PORCENTAJES ORIGINALES Y VARIADOS

Agregado 1: Grava #67, Arena Natural; Agregado 2: Grava #7, Arena Triturada

TABLA 4.21: Distribución de agregado grueso #67 y #7 con agregado fino Arena Natural y Triturada, porcentajes del diseño original

Tamaño de Tamiz	AGREGADO FINO				AGREGADO GRUESO				cemento (kg)	400
	34.50%				65.50%					
	Agregado Fino 1		Agregado Fino 2		Agregado Grueso 1		Agregado Grueso 2		Retenido Integral	
	60.00%		40.00%		84%		16%		% Retenido Integral	% Retenido Parcial
	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	% Retenido Integral	% Retenido Parcial
2"	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%
1 1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%
1"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%
3/4"	0.00	0.0%	0.00	0	46.50	0.7%	0.00	0.0%	0%	0%
1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	2515.20	40.5%	213.70	8.3%	23%	23%
3/8"	0.00	0.0%	0.00	0	1874.50	70.2%	826.10	40.6%	43%	20%
N. 4	12.20	3.1%	30.60	7.97%	1806.90	98.7%	1493.80	98.9%	66%	24%
N° 8	33.10	11.4%	125.10	40.54%	53.20	99.6%	16.70	99.5%	73%	7%
N° 16	51.60	24.3%	88.40	63.55%	10.60	99.7%	4.30	99.7%	79%	6%
N° 30	98.60	49.0%	57.10	78.42%	5.10	99.8%	2.30	99.8%	86%	7%
N° 50	119.30	78.9%	35.70	87.71%	3.00	99.9%	1.50	99.8%	94%	8%
N° 100	65.90	95.4%	25.50	94.35%	3.30	99.9%	1.80	99.9%	98%	4%
N° 200	15.60	99.3%	18.20	99.09%	4.50	100.0%	2.00	100.0%	100%	2%
Fondo	2.60	100.0%	3.50	100.00%	0.60	100.0%	0.30	100.0%	100%	0%
<b>TOTAL</b>	<b>398.90</b>	<b>2.62</b>	<b>384.10</b>	<b>3.73</b>	<b>6323.40</b>		<b>2562.50</b>		<b>59%</b>	<b>30.2%</b>

FG

FT

Resultado 4.1: Retenido integral y limites Shilstone

Retenido Integral		Retenido Shilstone	
% Retenido Integral	% Retenido Parcial	%Retenido Superior	%Retenido Inferior
0%	0%	0%	0%
0%	0%	0%	0%
0%	0%	22%	0%
0%	0%	22%	8%
23%	23%	22%	8%
43%	20%	22%	8%
66%	24%	22%	8%
73%	7%	22%	8%
79%	6%	22%	8%
86%	7%	22%	8%
94%	8%	22%	8%
98%	4%	22%	0%
100%	2%	0%	0%
100%	0%	0%	0%



Grafico 4.1: Gráfico de Porcentaje de Retenidos para grava #67 y #7

<b>Factor de Grosor</b>	<b>59</b>
<b>Factor de Trabajabilidad</b>	<b>30.2</b>

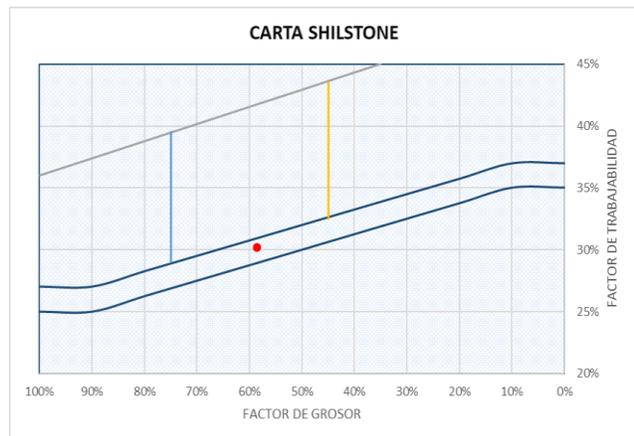


Grafico 4.2: Carta de Factor de Grosor, FG=59 y FT=30.2 para grava #67 y #7

Resultado 4.2: Retenido integral y límites de curva Power

% Retenido Integral	% Pasa Integral	(d / D) <sup>e</sup>
		e = 0.45
		D = 19
		% Grafico Power
0%	100%	100%
0%	100%	100%
0%	100%	100%
0%	100%	100%
23%	77%	83%
43%	57%	73%
66%	34%	54%
72%	28%	39%
78%	22%	29%
85%	15%	21%
93%	7%	15%
97%	3%	11%
99%	1%	0%
99%	1%	0%

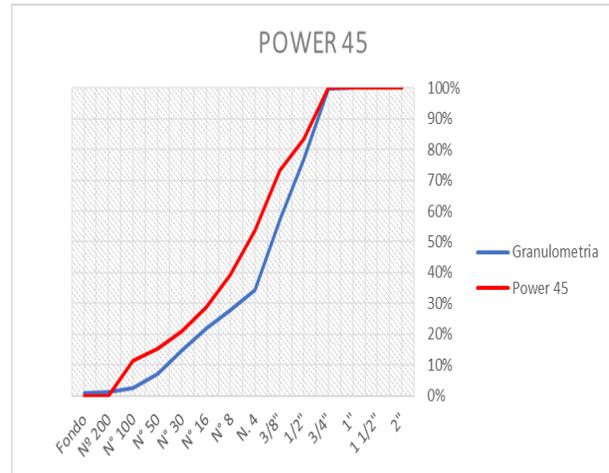


Gráfico 4.3: Curva Power 45 para grava #67 y #7

Resultado 4.3: Retenido integral y límites tarántula

Retenido Integral		Retenido Tarántula	
% Retenido Integral	% Retenido Parcial	%Retenido Superior	%Retenido Inferior
0%	0%	0%	0%
0%	0%	16%	0%
0%	0%	20%	0%
23%	23%	20%	4%
43%	20%	20%	4%
66%	24%	20%	4%
73%	7%	12%	0%
79%	6%	12%	0%
86%	7%	20%	4%
94%	8%	20%	4%
98%	4%	10%	0%
100%	2%	2%	0%
100%	0%	0%	0%

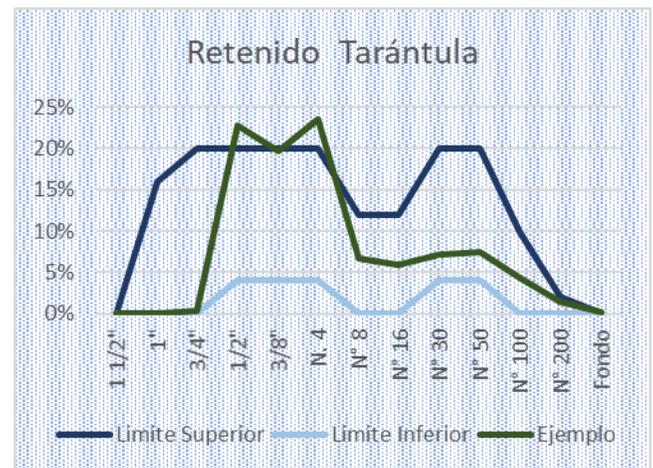


Gráfico 4.4: Curva de la Tarántula para grava #67 y #7

Combinación de agregados:

Agregado 1: Grava #67, Arena Natural; Agregado 2: Grava #7, Arena Triturada

TABLA 4.22: Distribución de agregado grueso #67 y #7 con agregado fino Arena Natural y Triturada, porcentajes modificados

Tamaño de Tamiz	AGREGADO FINO				AGREGADO GRUESO				cemento (kg)	400
	53.00%				47.00%					
	Agregado Fino 1		Agregado Fino 2		Agregado Grueso 1		Agregado Grueso 2		Retenido Integral	
	55.00%		45.00%		84%		16%		% Retenido Integral	% Retenido Parcial
	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	% Retenido Integral	% Retenido Parcial
2"	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%
1 1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%
1"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%
3/4"	0.00	0.0%	0.00	0	46.50	0.7%	0.00	0.0%	0%	0%
1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	2515.20	40.5%	213.70	8.3%	17%	16%
3/8"	0.00	0.0%	0.00	0	1874.50	70.2%	826.10	40.6%	31%	14%
N. 4	12.20	3.1%	30.60	7.97%	1806.90	98.7%	1493.80	98.9%	49%	18%
N° 8	33.10	11.4%	125.10	40.54%	53.20	99.6%	16.70	99.5%	60%	11%
N° 16	51.60	24.3%	88.40	63.55%	10.60	99.7%	4.30	99.7%	69%	9%
N° 30	98.60	49.0%	57.10	78.42%	5.10	99.8%	2.30	99.8%	80%	11%
N° 50	119.30	78.9%	35.70	87.71%	3.00	99.9%	1.50	99.8%	91%	11%
N° 100	65.90	95.4%	25.50	94.35%	3.30	99.9%	1.80	99.9%	97%	6%
N° 200	15.60	99.3%	18.20	99.09%	4.50	100.0%	2.00	100.0%	100%	2%
Fondo	2.60	100.0%	3.50	100.00%	0.60	100.0%	0.30	100.0%	100%	0%
<b>TOTAL</b>	<b>398.90</b>	<b>2.62</b>	<b>384.10</b>	<b>3.73</b>	<b>6323.40</b>		<b>2562.50</b>		<b>51%</b>	<b>43.6%</b>

FG

FT

Resultado 4.4: Retenido integral y limites Shilstone

Retenido Integral		Retenido Shilstone	
% Retenido Integral	% Retenido Parcial	%Retenido Superior	%Retenido Inferior
0%	0%	0%	0%
0%	0%	0%	0%
0%	0%	22%	0%
0%	0%	22%	8%
17%	16%	22%	8%
31%	14%	22%	8%
49%	18%	22%	8%
60%	11%	22%	8%
69%	9%	22%	8%
80%	11%	22%	8%
91%	11%	22%	8%
97%	6%	22%	0%
100%	2%	0%	0%
100%	0%	0%	0%

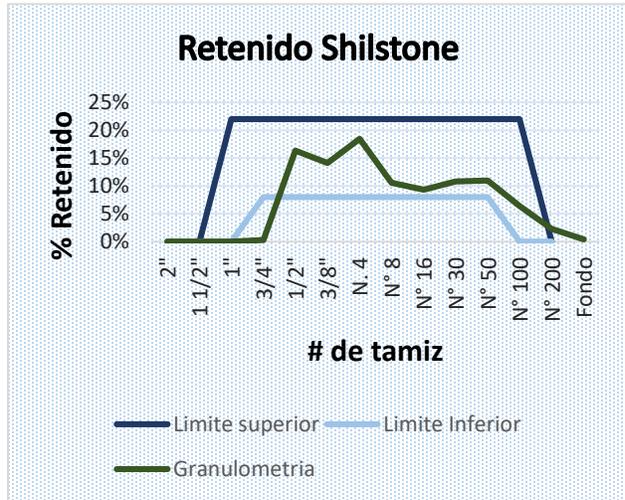


Gráfico 4.5: Gráfico de Porcentaje de Retenidos para grava #67 y #7 con porcentajes modificados

<b>Factor de Grosor</b>	<b>51</b>
<b>Factor de Trabajabilidad</b>	<b>43.6</b>

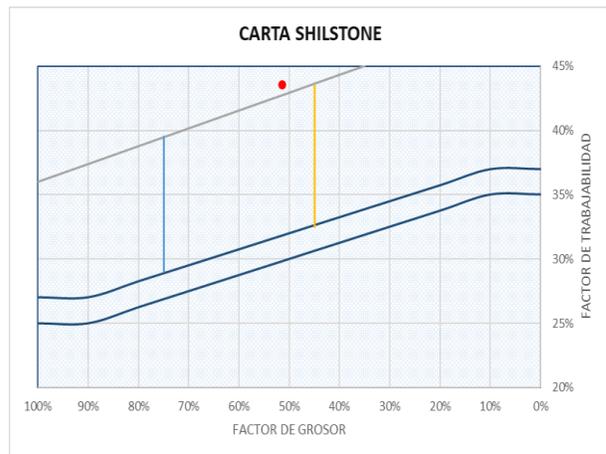


Gráfico 4.6: Carta de Factor de Grosor, FG=51 y FT=43.6 para grava #67 y #7

Resultado 4.5: Retenido integral y límites de curva Power

% Retenido Integral	% Pasa Integral	(d / D) <sup>e</sup>
		e = 0.45
		D = 19
		% Grafico Power
0%	100%	100%
0%	100%	100%
0%	100%	100%
0%	100%	100%
17%	83%	83%
31%	69%	73%
49%	51%	54%
59%	41%	39%
68%	32%	29%
79%	21%	21%
90%	10%	15%
97%	3%	11%
99%	1%	0%
99%	1%	0%

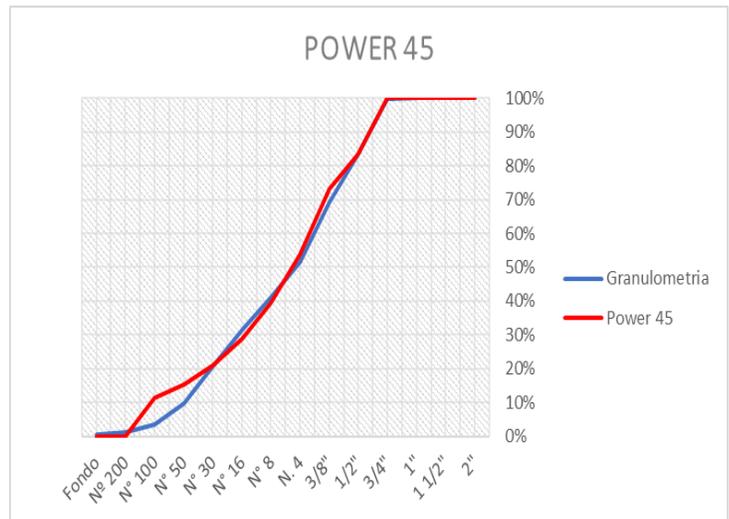


Gráfico 4.7: Curva Power 45 para grava #67 y #7 con porcentajes modificados

Resultado 4.6: Retenido integral y límites tarántula

Retenido Integral		Retenido Tarántula	
% Retenido Integral	% Retenido Parcial	%Retenido Superior	%Retenido Inferior
0%	0%	0%	0%
0%	0%	16%	0%
0%	0%	20%	0%
17%	16%	20%	4%
31%	14%	20%	4%
49%	18%	20%	4%
60%	11%	12%	0%
69%	9%	12%	0%
80%	11%	20%	4%
91%	11%	20%	4%
97%	6%	10%	0%
100%	2%	2%	0%
100%	0%	0%	0%

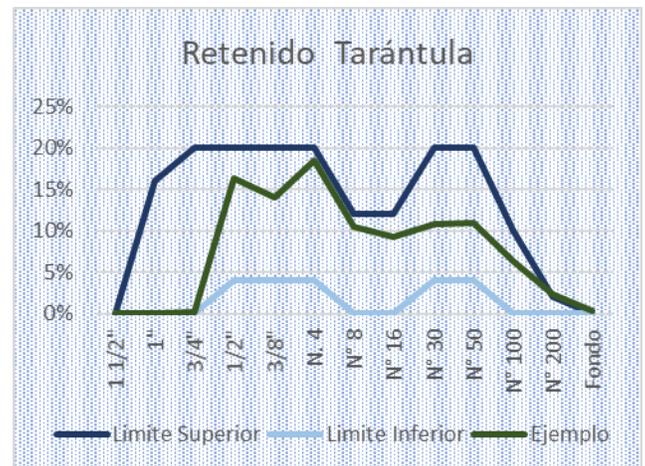


Gráfico 4.8: Curva de la Tarántula para grava #67 y #7 con porcentajes modificados

Combinación de agregados:

Agregado 1: Grava #67, Arena Natural; Agregado 2: Grava #8, Arena Triturada

TABLA 4.23: Distribución de agregado grueso #67 y #8 con agregado fino Arena Natural y Triturada, porcentajes del diseño original

		AGREGADO FINO				AGREGADO GRUESO					
		34.50%				65.50%				cemento (kg)	400
		Agregado Fino 1		Agregado Fino 2		Agregado Grueso 1		Agregado Grueso 2		Retenido Integral	
		60.00%		40.00%		84%		16%		Retenido Integral	
Tamaño de Tamiz	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	% Retenido Integral	% Retenido Parcial	
2"	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%	
1 1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%	
1"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%	
3/4"	0.00	0.0%	0.00	0	46.50	0.7%	0.00	0.0%	0%	0%	
1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	2515.20	40.5%	0.00	0.0%	22%	22%	
3/8"	0.00	0.0%	0.00	0	1874.50	70.2%	0.00	0.0%	39%	16%	
N. 4	12.20	3.1%	30.60	7.97%	1806.90	98.7%	3666.90	89.8%	65%	27%	
N° 8	33.10	11.4%	125.10	40.54%	53.20	99.6%	337.90	98.1%	73%	8%	
N° 16	51.60	24.3%	88.40	63.55%	10.60	99.7%	39.40	99.1%	79%	6%	
N° 30	98.60	49.0%	57.10	78.42%	5.10	99.8%	19.50	99.5%	86%	7%	
N° 50	119.30	78.9%	35.70	87.71%	3.00	99.9%	9.50	99.8%	94%	8%	
N° 100	65.90	95.4%	25.50	94.35%	3.30	99.9%	5.50	99.9%	98%	4%	
N° 200	15.60	99.3%	18.20	99.09%	4.50	100.0%	3.60	100.0%	100%	2%	
Fondo	2.60	100.0%	3.50	100.00%	0.60	100.0%	0.50	100.0%	100%	0%	
<b>TOTAL</b>	<b>398.90</b>	<b>2.62</b>	<b>384.10</b>	<b>3.73</b>	<b>6323.40</b>		<b>4082.80</b>		<b>53%</b>	<b>30.3%</b>	
									FG	FT	

Resultado 4.7: Retenido integral y limites Shilstone

Retenido Integral		Retenido Shilstone	
% Retenido Integral	% Retenido Parcial	%Retenido Superior	%Retenido Inferior
0%	0%	0%	0%
0%	0%	0%	0%
0%	0%	22%	0%
0%	0%	22%	8%
22%	22%	22%	8%
39%	16%	22%	8%
65%	27%	22%	8%
73%	8%	22%	8%
79%	6%	22%	8%
86%	7%	22%	8%
94%	8%	22%	8%
98%	4%	22%	0%
100%	2%	0%	0%
100%	0%	0%	0%

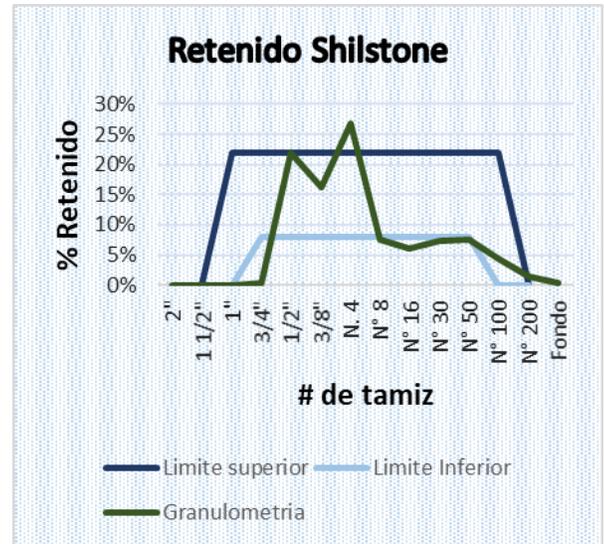


Grafico 4.9: Porcentaje de Retenidos para grava #67 y #8

<b>Factor de Grosor</b>	<b>53</b>
<b>Factor de Trabajabilidad</b>	<b>30.3</b>

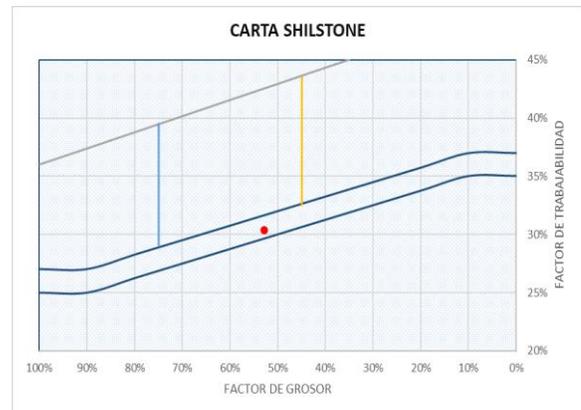


Grafico 4.10: Carta de Factor de Grosor FG=53 y FT=30.3 para grava #67 y #8

Resultado 4.8: Retenido integral y límites de curva Power

% Retenido Integral	% Pasa Integral	(d/D) <sup>e</sup>
		e = 0.45
		D = 19
		% Grafico Power
0%	100%	100%
0%	100%	100%
0%	100%	100%
0%	100%	100%
22%	78%	83%
39%	61%	73%
65%	35%	54%
73%	27%	39%
79%	21%	29%
86%	14%	21%
94%	6%	15%
98%	2%	11%
100%	0%	0%
100%	0%	0%



Gráfico 4.11: Curva Power 45 para grava #67 y #8

Resultado 4.9: Retenido integral y límites tarántula

Retenido Integral		Retenido Tarántula	
% Retenido Integral	% Retenido Parcial	%Retenido Superior	%Retenido Inferior
0%	0%	0%	0%
0%	0%	16%	0%
0%	0%	20%	0%
22%	22%	20%	4%
39%	16%	20%	4%
65%	27%	20%	4%
73%	8%	12%	0%
79%	6%	12%	0%
86%	7%	20%	4%
94%	8%	20%	4%
98%	4%	10%	0%
100%	2%	2%	0%
100%	0%	0%	0%

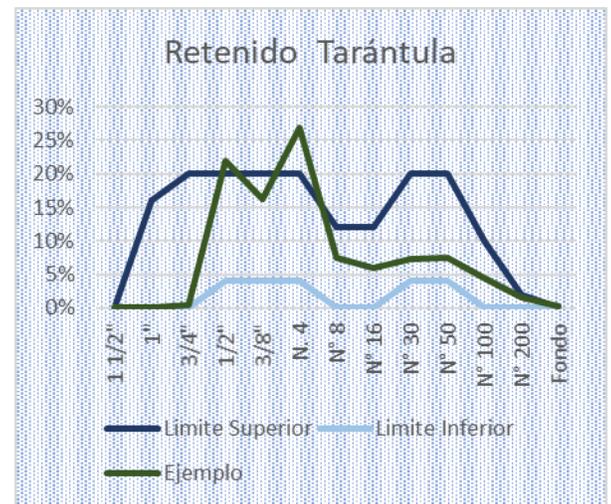


Gráfico 4.12: Curva de la Tarántula para grava #67 y #8

## Combinación de agregados

Agregado 1: Grava #67, Arena Natural; Agregado 2: Grava #8, Arena Triturada

TABLA 4.24: Distribución de agregado grueso #67 y #8 con agregado fino Arena Natural y Triturada, porcentajes modificados

Tamaño de Tamiz	AGREGADO FINO				AGREGADO GRUESO				Retenido Integral	% Retenido Parcial		
	56.00%				44.00%						cemento (kg)	400
	Agregado Fino 1		Agregado Fino 2		Agregado Grueso 1		Agregado Grueso 2				% Retenido Integral	% Retenido Parcial
	55.00%		45.00%		84%		16%					
Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	% Retenido Integral	% Retenido Parcial			
2"	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%		
1 1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%		
1"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%		
3/4"	0.00	0.0%	0.00	0	46.50	0.7%	0.00	0.0%	0%	0%		
1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	2515.20	40.5%	0.00	0.0%	15%	15%		
3/8"	0.00	0.0%	0.00	0	1874.50	70.2%	0.00	0.0%	26%	11%		
N. 4	12.20	3.1%	30.60	7.97%	1806.90	98.7%	3666.90	89.8%	46%	20%		
Nº 8	33.10	11.4%	125.10	40.54%	53.20	99.6%	337.90	98.1%	57%	12%		
Nº 16	51.60	24.3%	88.40	63.55%	10.60	99.7%	39.40	99.1%	67%	10%		
Nº 30	98.60	49.0%	57.10	78.42%	5.10	99.8%	19.50	99.5%	79%	11%		
Nº 50	119.30	78.9%	35.70	87.71%	3.00	99.9%	9.50	99.8%	90%	12%		
Nº 100	65.90	95.4%	25.50	94.35%	3.30	99.9%	5.50	99.9%	97%	7%		
Nº 200	15.60	99.3%	18.20	99.09%	4.50	100.0%	3.60	100.0%	100%	2%		
Fondo	2.60	100.0%	3.50	100.00%	0.60	100.0%	0.50	100.0%	100%	0%		
<b>TOTAL</b>	<b>398.90</b>	<b>2.62</b>	<b>384.10</b>	<b>3.73</b>	<b>6323.40</b>		<b>4082.80</b>		<b>45%</b>	<b>45.9%</b>		

FG

FT

Resultado 4.10: Retenido integral y límites Shilstone

Retenido Integral		Retenido Shilstone	
% Retenido Integral	% Retenido Parcial	%Retenido Superior	%Retenido Inferior
0%	0%	0%	0%
0%	0%	0%	0%
0%	0%	22%	0%
0%	0%	22%	8%
15%	15%	22%	8%
26%	11%	22%	8%
46%	20%	22%	8%
57%	12%	22%	8%
67%	10%	22%	8%
79%	11%	22%	8%
90%	12%	22%	8%
97%	7%	22%	0%
100%	2%	0%	0%
100%	0%	0%	0%

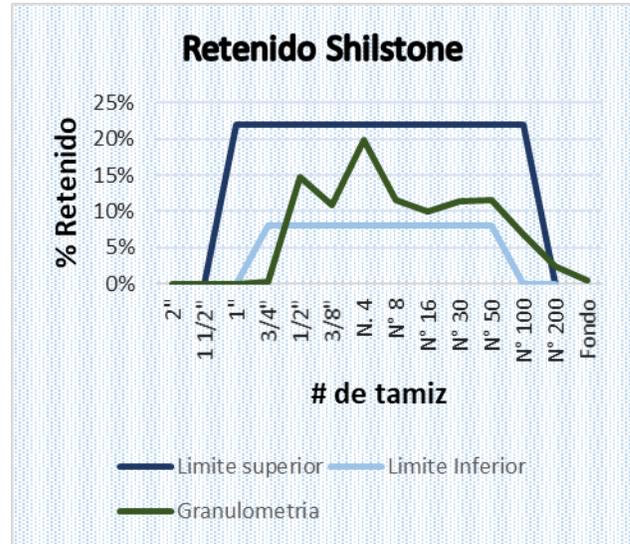


Grafico 4.13: Porcentaje de Retenidos para grava #67 y #8 con porcentajes modificados

<b>Factor de Grosor</b>	<b>51</b>
<b>Factor de Trabajabilidad</b>	<b>45.9</b>

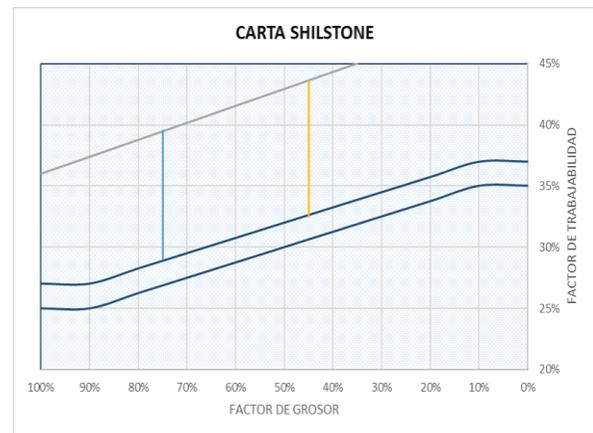


Grafico 4.14: Carta de Factor de Grosor, FG=45 y FT=45.9 para grava #67 y #8

Resultado 4.11: Retenido integral y límites de curva Power 45

% Retenido Integral	% Pasa Integral	(d/D) <sup>e</sup>	
		e = 0.45	
		D = 19	
		% Grafico Power	
0%	100%	100%	
0%	100%	100%	
0%	100%	100%	
0%	100%	100%	
15%	85%	83%	
26%	74%	73%	
46%	54%	54%	
57%	43%	39%	
66%	34%	29%	
78%	22%	21%	
90%	10%	15%	
97%	3%	11%	
100%	0%	0%	
100%	0%	0%	

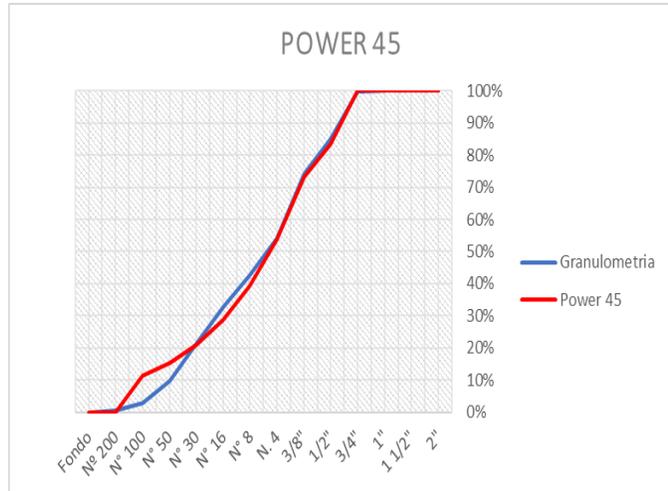


Gráfico 4.15: Curva Power 45 para grava #67 y #8

Resultado 4.12: Retenido integral y límites tarántula

Retenido Integral		Retenido Tarántula	
% Retenido Integral	% Retenido Parcial	% Retenido Superior	% Retenido Inferior
0%	0%	0%	0%
0%	0%	16%	0%
0%	0%	20%	0%
15%	15%	20%	4%
26%	11%	20%	4%
46%	20%	20%	4%
57%	12%	12%	0%
67%	10%	12%	0%
79%	11%	20%	4%
90%	12%	20%	4%
97%	7%	10%	0%
100%	2%	2%	0%
100%	0%	0%	0%



Gráfico 4.16: Curva de la Tarántula para grava #67 y #8 con porcentajes modificados

Combinación de agregados:

Agregado 1: Grava #57, Arena Natural; Agregado 2: Grava #67, Arena Triturada

TABLA 4.25: Distribución de agregado grueso #57 y #67 con agregado fino Arena Natural y Triturada, porcentajes del diseño original.

Tamaño de Tamiz	AGREGADO FINO				AGREGADO GRUESO				cemento (kg)	400		
	34.50%				65.50%							
	Agregado Fino 1		Agregado Fino 2		Agregado Grueso 1		Agregado Grueso 2				Retenido Integral	
	60.00%		40.00%		84%		16%				% Retenido Integral	% Retenido Parcial
Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	% Retenido Integral	% Retenido Parcial			
2"	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%		
1 1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%		
1"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%		
3/4"	0.00	0.0%	0.00	0	2389.60	17.5%	46.50	0.7%	10%	10%		
1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	5431.40	57.3%	2515.20	40.5%	36%	26%		
3/8"	0.00	0.0%	0.00	0	2442.20	75.1%	1874.50	70.2%	49%	13%		
N. 4	12.20	3.1%	30.60	7.97%	3327.40	99.5%	1806.90	98.7%	67%	18%		
Nº 8	33.10	11.4%	125.10	40.54%	44.50	99.8%	53.20	99.6%	73%	6%		
Nº 16	51.60	24.3%	88.40	63.55%	8.50	99.9%	10.60	99.7%	79%	6%		
Nº 30	98.60	49.0%	57.10	78.42%	4.60	99.9%	5.10	99.8%	86%	7%		
Nº 50	119.30	78.9%	35.70	87.71%	3.00	99.9%	3.00	99.9%	94%	7%		
Nº 100	65.90	95.4%	25.50	94.35%	3.00	100.0%	3.30	99.9%	98%	4%		
Nº 200	15.60	99.3%	18.20	99.09%	3.70	100.0%	4.50	100.0%	100%	1%		
Fondo	2.60	100.0%	3.50	100.00%	0.70	100.0%	0.60	100.0%	100%	0%		
<b>TOTAL</b>	<b>398.90</b>	<b>2.62</b>	<b>384.10</b>	<b>3.73</b>	<b>13658.60</b>		<b>6323.40</b>		<b>66%</b>	<b>30.0%</b>		

FG

FT

Resultado 4.13: Retenido integral y limites Shilstone

Retenido Integral		Retenido Shilstone	
% Retenido Integral	% Retenido Parcial	%Retenido Superior	%Retenido Inferior
0%	0%	0%	0%
0%	0%	0%	0%
0%	0%	22%	0%
10%	10%	22%	8%
36%	26%	22%	8%
49%	13%	22%	8%
67%	18%	22%	8%
73%	6%	22%	8%
79%	6%	22%	8%
86%	7%	22%	8%
94%	7%	22%	8%
98%	4%	22%	0%
100%	1%	0%	0%
100%	0%	0%	0%

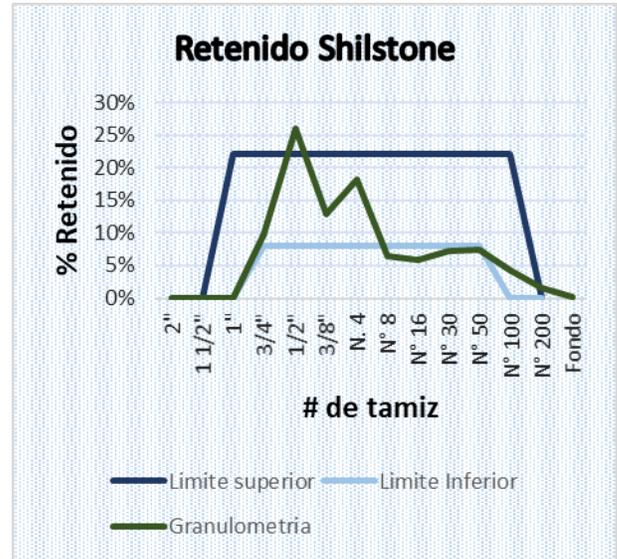


Grafico 4.17: Porcentaje de Retenidos para grava #57 y #67

<b>Factor de Grosor</b>	<b>66</b>
<b>Factor de Trabajabilidad</b>	<b>30</b>

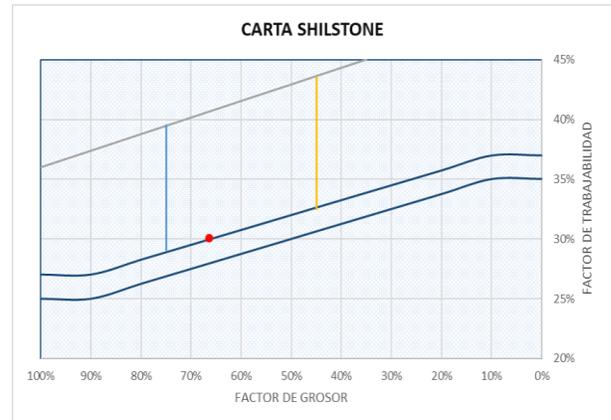


Grafico 4.18: Carta de Factor de Grosor, FG=66 y FT=30 para grava #57 y #67

Resultado 4.14: Retenido integral y límites de curva Power 45

% Retenido Integral	% Pasa Integral	(d / D) <sup>e</sup>
		e = 0.45
		D = 25.4
		% Grafico Power
0%	100%	100%
0%	100%	100%
0%	100%	100%
10%	90%	88%
36%	64%	73%
49%	51%	64%
63%	37%	47%
69%	31%	34%
75%	25%	25%
82%	18%	18%
90%	10%	14%
94%	6%	10%
95%	5%	0%
96%	4%	0%

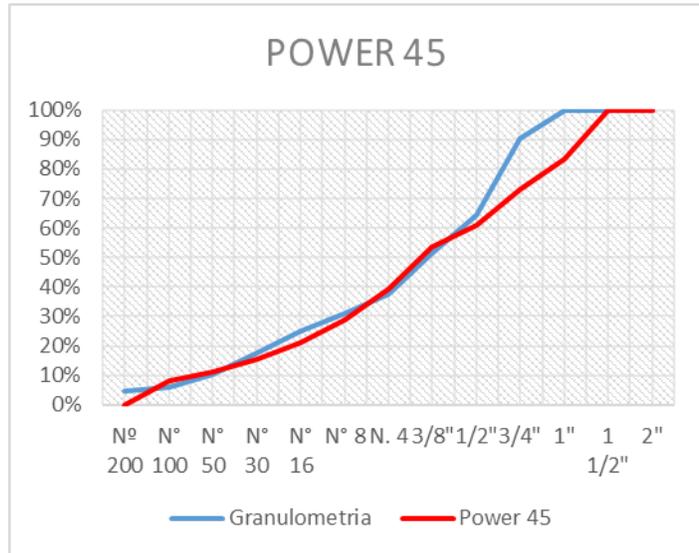


Grafico 4.19: Curva Power 45 para grava #57 y #67

Resultado 4.15: Retenido integral y limites tarántula

Retenido Integral		Retenido Tarántula	
% Retenido Integral	% Retenido Parcial	%Retenido Superior	%Retenido Inferior
0%	0%	0%	0%
0%	0%	16%	0%
10%	10%	20%	0%
36%	26%	20%	4%
49%	13%	20%	4%
67%	18%	20%	4%
73%	6%	12%	0%
79%	6%	12%	0%
86%	7%	20%	4%
94%	7%	20%	4%
98%	4%	10%	0%
100%	1%	2%	0%
100%	0%	0%	0%

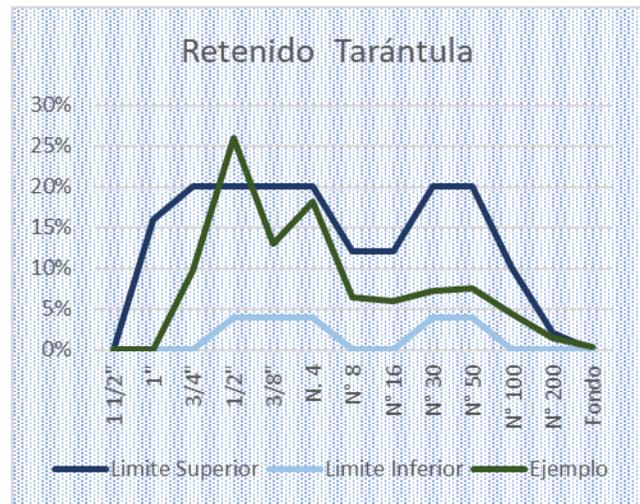


Grafico 4.20: Curva de la Tarántula para grava #57 y #67

Combinación de agregados:

Agregado 1: Grava #57, Arena Natural; Agregado 2: Grava #67, Arena Triturada

TABLA 4.26: Distribución de agregado grueso #67 y #8 con agregado fino Arena Natural y Triturada, porcentajes modificados.

		AGREGADO FINO				AGREGADO GRUESO					
		53.00%				47.00%				cemento (kg)	400
		Agregado Fino 1		Agregado Fino 2		Agregado Grueso 1		Agregado Grueso 2			
		55.00%		45.00%		75%		25%		Retenido Integral	
Tamaño de Tamiz	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	% Retenido Integral	% Retenido Parcial	
2"	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%	
1 1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%	
1"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%	
3/4"	0.00	0.0%	0.00	0	2389.60	17.5%	46.50	0.7%	6%	6%	
1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	5431.40	57.3%	2515.20	40.5%	25%	19%	
3/8"	0.00	0.0%	0.00	0	2442.20	75.1%	1874.50	70.2%	35%	10%	
N. 4	12.20	3.1%	30.60	7.97%	3327.40	99.5%	1806.90	98.7%	49%	15%	
Nº 8	33.10	11.4%	125.10	40.54%	44.50	99.8%	53.20	99.6%	60%	10%	
Nº 16	51.60	24.3%	88.40	63.55%	8.50	99.9%	10.60	99.7%	69%	9%	
Nº 30	98.60	49.0%	57.10	78.42%	4.60	99.9%	5.10	99.8%	80%	11%	
Nº 50	119.30	78.9%	35.70	87.71%	3.00	99.9%	3.00	99.9%	91%	11%	
Nº 100	65.90	95.4%	25.50	94.35%	3.00	100.0%	3.30	99.9%	97%	6%	
Nº 200	15.60	99.3%	18.20	99.09%	3.70	100.0%	4.50	100.0%	100%	2%	
Fondo	2.60	100.0%	3.50	100.00%	0.70	100.0%	0.60	100.0%	100%	0%	
<b>TOTAL</b>	<b>398.90</b>	<b>2.62</b>	<b>384.10</b>	<b>3.73</b>	<b>13658.60</b>		<b>6323.40</b>		<b>58%</b>	<b>43.5%</b>	

FG

FT

Resultado 4.16: Retenido integral y limites Shilstone

Retenido Integral		Retenido Shilstone	
% Retenido Integral	% Retenido Parcial	%Retenido Superior	%Retenido Inferior
0%	0%	0%	0%
0%	0%	0%	0%
0%	0%	22%	0%
6%	6%	22%	8%
25%	19%	22%	8%
35%	10%	22%	8%
49%	15%	22%	8%
60%	10%	22%	8%
69%	9%	22%	8%
80%	11%	22%	8%
91%	11%	22%	8%
97%	6%	22%	0%
100%	2%	0%	0%
100%	0%	0%	0%

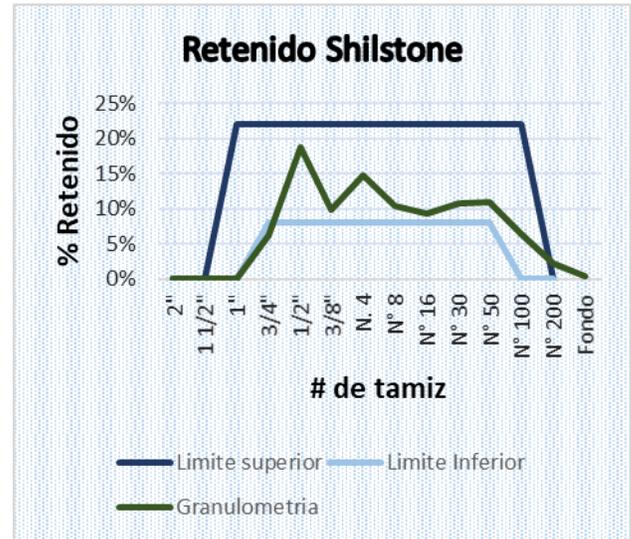


Grafico 4.21: Porcentaje de Retenidos para grava #57 y #67 con porcentajes modificados

<b>Factor de Grosor</b>	<b>58</b>
<b>Factor de Trabajabilidad</b>	<b>43.5</b>

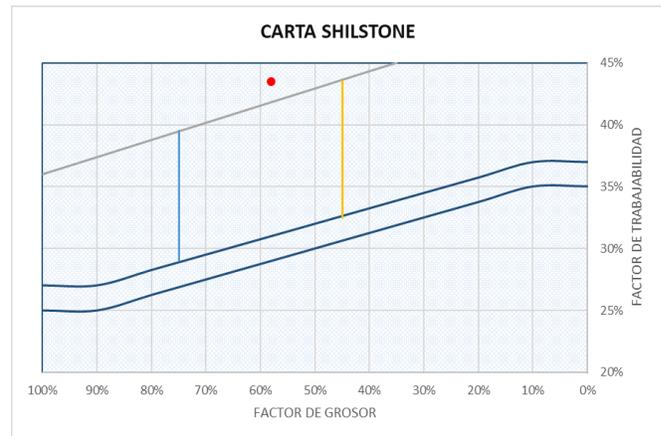


Grafico 4.22: Carta de Factor de Grosor, FG=58 y FT=43.5 para grava #57 y #67

Resultado 4.17: Retenido integral y límites de curva Power 45

% Retenido Integral	% Pasa Integral	(d / D) <sup>e</sup>
		e = 0.45
		D = 25.4
		% Graco Power
0%	100%	100%
0%	100%	100%
0%	100%	100%
6%	94%	88%
25%	75%	73%
35%	65%	64%
45%	55%	47%
55%	45%	34%
64%	36%	25%
75%	25%	18%
86%	14%	14%
93%	7%	10%
95%	5%	0%
95%	5%	0%

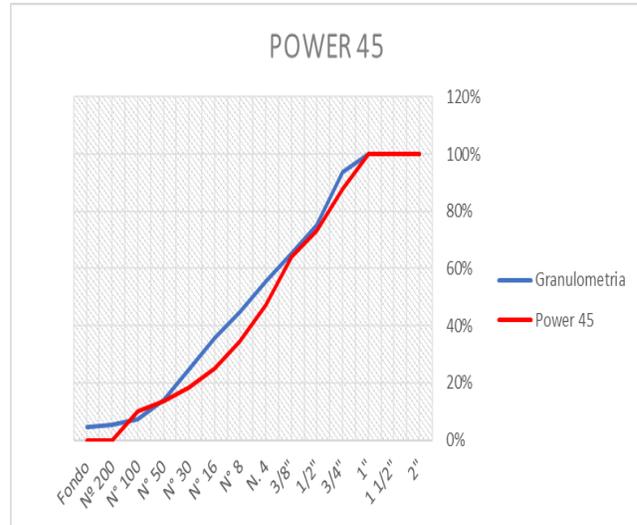


Gráfico 4.23: Curva Power 45 para grava #57 y #67 con porcentajes modificados

Resultado 4.18: Retenido integral y límites tarántula

Retenido Integral		Retenido Tarántula	
% Retenido Integral	% Retenido Parcial	% Retenido Superior	% Retenido Inferior
0%	0%	0%	0%
0%	0%	16%	0%
6%	6%	20%	0%
25%	19%	20%	4%
35%	10%	20%	4%
49%	15%	20%	4%
60%	10%	12%	0%
69%	9%	12%	0%
80%	11%	20%	4%
91%	11%	20%	4%
97%	6%	10%	0%
100%	2%	2%	0%
100%	0%	0%	0%

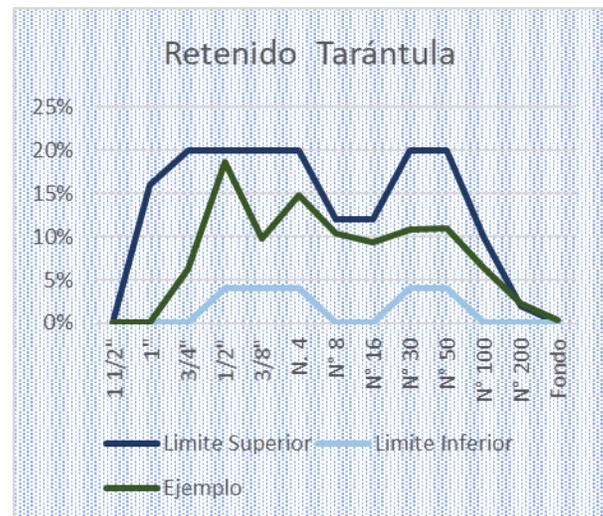


Gráfico 4.24: Curva de la Tarántula para grava #57 y #67 con porcentajes modificados

Combinación de agregados:

Agregado 1: Grava #7, Arena Natural; Agregado 2: Grava #8, Arena Triturada

TABLA 4.27: Distribución de agregado grueso #7 y #8 con agregado fino Arena Natural y Triturada, porcentajes del diseño original

Tamaño de Tamiz	AGREGADO FINO				AGREGADO GRUESO				cemento (kg)	400		
	34.50%				65.50%							
	Agregado Fino 1		Agregado Fino 2		Agregado Grueso 1		Agregado Grueso 2				Retenido Integral	% Retenido Parcial
	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado				
	60.00%		40.00%		84%		16%					
2"	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%		
1 1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%		
1"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%		
3/4"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%		
1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	213.70	8.3%	0.00	0.0%	5%	5%		
3/8"	0.00	0.0%	0.00	0	826.10	40.6%	0.00	0.0%	22%	18%		
N. 4	12.20	3.1%	30.60	7.97%	1493.80	98.9%	3666.90	89.8%	66%	43%		
N° 8	33.10	11.4%	125.10	40.54%	16.70	99.5%	337.90	98.1%	73%	7%		
N° 16	51.60	24.3%	88.40	63.55%	4.30	99.7%	39.40	99.1%	79%	6%		
N° 30	98.60	49.0%	57.10	78.42%	2.30	99.8%	19.50	99.5%	86%	7%		
N° 50	119.30	78.9%	35.70	87.71%	1.50	99.8%	9.50	99.8%	94%	8%		
N° 100	65.90	95.4%	25.50	94.35%	1.80	99.9%	5.50	99.9%	98%	4%		
N° 200	15.60	99.3%	18.20	99.09%	2.00	100.0%	3.60	100.0%	100%	2%		
Fondo	2.60	100.0%	3.50	100.00%	0.30	100.0%	0.50	100.0%	100%	0%		
<b>TOTAL</b>	<b>398.90</b>	<b>2.62</b>	<b>384.10</b>	<b>3.73</b>	<b>2562.50</b>		<b>4082.80</b>		<b>31%</b>	<b>30.4%</b>		

FG

FT

Resultado 4.19: Retenido integral y limites Shilstone

Retenido Integral		Retenido Shilstone	
% Retenido Integral	% Retenido Parcial	%Retenido Superior	%Retenido Inferior
0%	0%	0%	0%
0%	0%	0%	0%
0%	0%	22%	0%
0%	0%	22%	8%
5%	5%	22%	8%
22%	18%	22%	8%
66%	43%	22%	8%
73%	7%	22%	8%
79%	6%	22%	8%
86%	7%	22%	8%
94%	8%	22%	8%
98%	4%	22%	0%
100%	2%	0%	0%
100%	0%	0%	0%

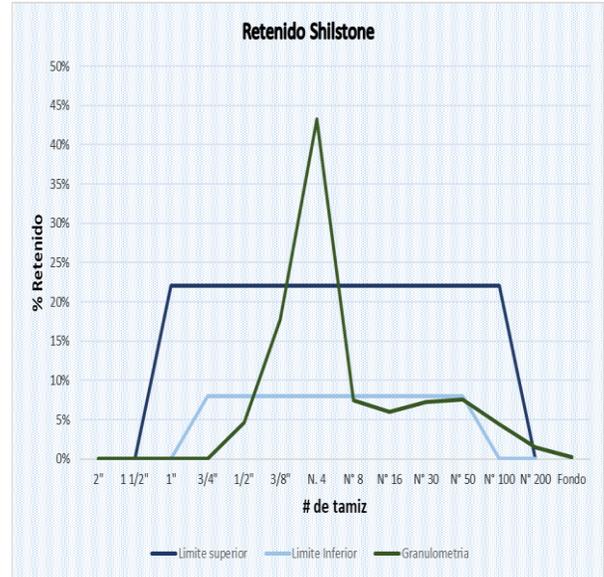


Gráfico 4.25: Porcentajes Retenidos para grava #7 y #8

<b>Factor de Grosor</b>	<b>31</b>
<b>Factor de Trabajabilidad</b>	<b>30.4</b>

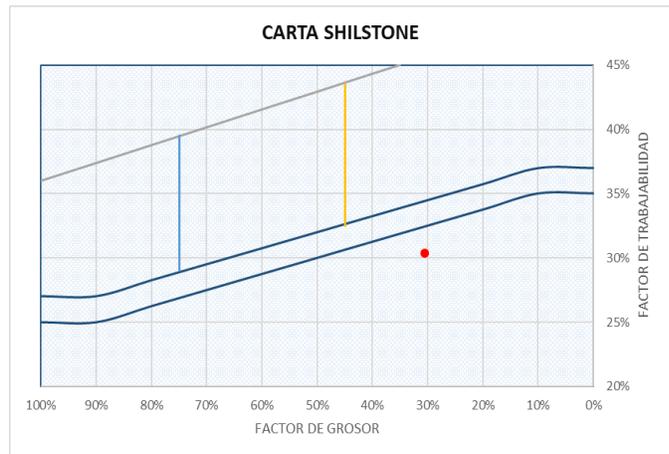


Gráfico 4.26: Carta de Factor de Grosor FG=31 y FT=30.4 para grava #7 y #8

Resultado 4.20: Retenido integral y límites de curva Power 45

% Retenido Integral	% Pasa Integral	(d/D) <sup>e</sup>
		e = 0.45
		D = 12.7
% Grafico Power		
0%	100%	100%
0%	100%	100%
0%	100%	100%
0%	100%	100%
5%	95%	100%
22%	78%	88%
66%	34%	64%
73%	27%	47%
79%	21%	34%
86%	14%	25%
94%	6%	18%
98%	2%	14%
100%	0%	0%
100%	0%	0%

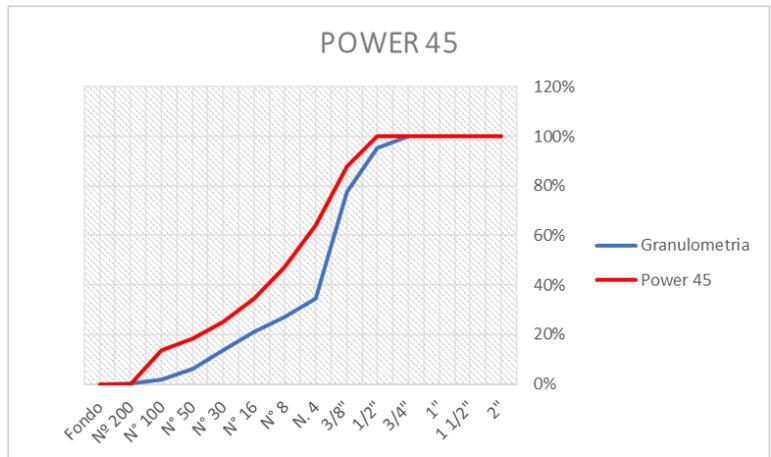


Gráfico 4.27: Curva Power 45 para grava #7 y #8

Resultado 4.21: Retenido integral y límites tarántula

Retenido Integral		Retenido Tarántula	
% Retenido Integral	% Retenido Parcial	%Retenido Superior	%Retenido Inferior
0%	0%	0%	0%
0%	0%	16%	0%
0%	0%	20%	0%
5%	5%	20%	4%
22%	18%	20%	4%
66%	43%	20%	4%
73%	7%	12%	0%
79%	6%	12%	0%
86%	7%	20%	4%
94%	8%	20%	4%
98%	4%	10%	0%
100%	2%	2%	0%
100%	0%	0%	0%

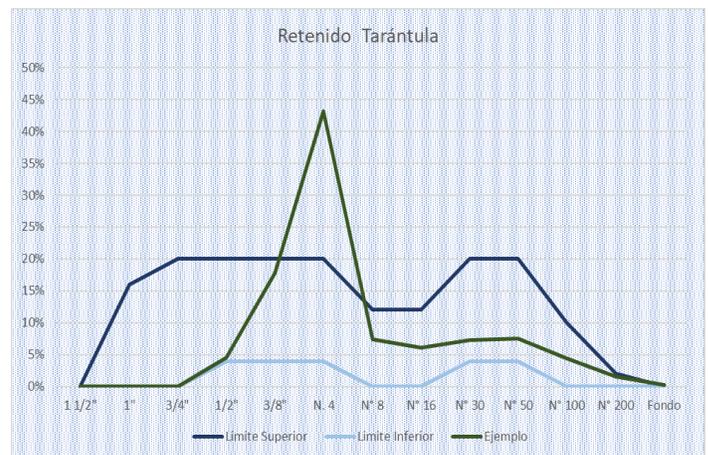


Gráfico 4.28: Curva de la Tarántula para grava #7 y #8

Combinación de agregados:

Agregado 1: Grava #7, Arena Natural; Agregado 2: Grava #8, Arena Triturada

TABLA 4.28: Distribución de agregado grueso #7 y #8 con agregado fino Arena Natural y Triturada, porcentajes modificados

Tamaño de Tamiz	AGREGADO FINO				AGREGADO GRUESO				cemento (kg)	400		
	65.00%				35.00%							
	Agregado Fino 1		Agregado Fino 2		Agregado Grueso 1		Agregado Grueso 2				Retenido Integral	% Retenido Parcial
	70.00%		30.00%		90%		10%					
Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	% Retenido Integral	% Retenido Parcial			
2"	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%		
1 1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%		
1"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%		
3/4"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%		
1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	213.70	8.3%	0.00	0.0%	3%	3%		
3/8"	0.00	0.0%	0.00	0	826.10	40.6%	0.00	0.0%	13%	10%		
N. 4	12.20	3.1%	30.60	7.97%	1493.80	98.9%	3666.90	89.8%	37%	24%		
N° 8	33.10	11.4%	125.10	40.54%	16.70	99.5%	337.90	98.1%	48%	11%		
N° 16	51.60	24.3%	88.40	63.55%	4.30	99.7%	39.40	99.1%	58%	10%		
N° 30	98.60	49.0%	57.10	78.42%	2.30	99.8%	19.50	99.5%	73%	14%		
N° 50	119.30	78.9%	35.70	87.71%	1.50	99.8%	9.50	99.8%	88%	15%		
N° 100	65.90	95.4%	25.50	94.35%	1.80	99.9%	5.50	99.9%	97%	9%		
N° 200	15.60	99.3%	18.20	99.09%	2.00	100.0%	3.60	100.0%	100%	3%		
Fondo	2.60	100.0%	3.50	100.00%	0.30	100.0%	0.50	100.0%	100%	0%		
<b>TOTAL</b>	<b>398.90</b>	<b>2.62</b>	<b>384.10</b>	<b>3.73</b>	<b>2562.50</b>		<b>4082.80</b>		<b>27%</b>	<b>55.5%</b>		

FG

FT

Resultado 4.22: Retenido integral y límites Shilstone

Retenido Integral		Retenido Shilstone	
% Retenido Integral	% Retenido Parcial	%Retenido Superior	%Retenido Inferior
0%	0%	0%	0%
0%	0%	0%	0%
0%	0%	22%	0%
0%	0%	22%	8%
3%	3%	22%	8%
13%	10%	22%	8%
37%	24%	22%	8%
48%	11%	22%	8%
58%	10%	22%	8%
73%	14%	22%	8%
88%	15%	22%	8%
97%	9%	22%	0%
100%	3%	0%	0%
100%	0%	0%	0%

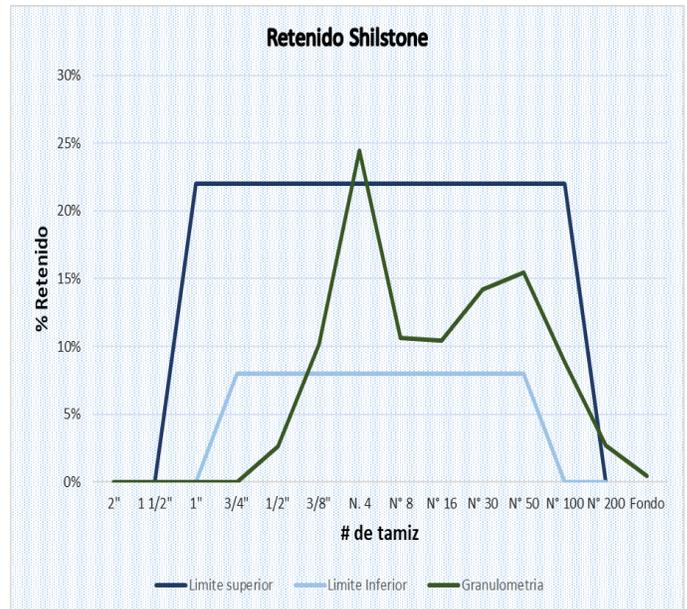


Gráfico 4.29: Porcentajes Retenidos con grava #7 y #8 con porcentajes modificados

<b>Factor de Grosor</b>	<b>27</b>
<b>Factor de Trabajabilidad</b>	<b>55.5</b>

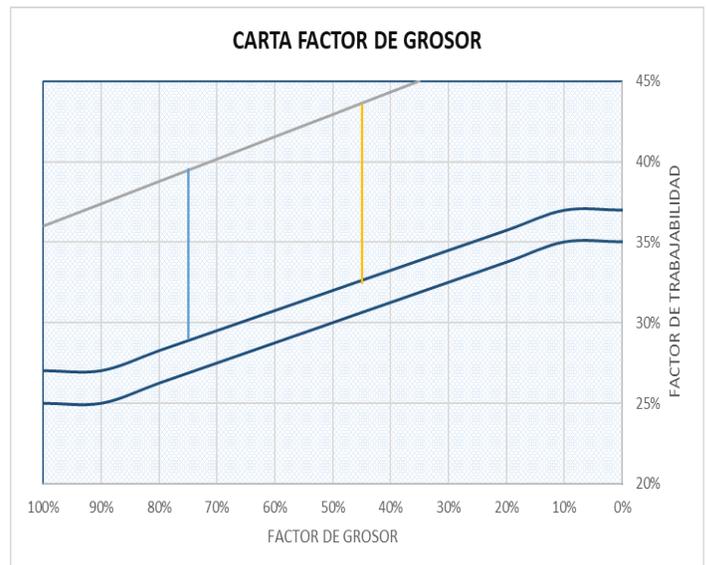


Gráfico 4.30: Carta de Factor de Grosor, FG=27 y FT=52 para grava #7 y #8 con porcentajes modificados

Resultado 4.23: Retenido integral y límites de curva Power 45

% Retenido Integral	% Pasa Integral	(d/D) <sup>e</sup>
		e = 0.45
		D = 12.7
% Grafico Power		
0%	100%	100%
0%	100%	100%
0%	100%	100%
0%	100%	100%
3%	97%	100%
13%	87%	88%
37%	63%	64%
48%	52%	47%
58%	42%	34%
73%	27%	25%
88%	12%	18%
97%	3%	14%
100%	0%	0%
100%	0%	0%

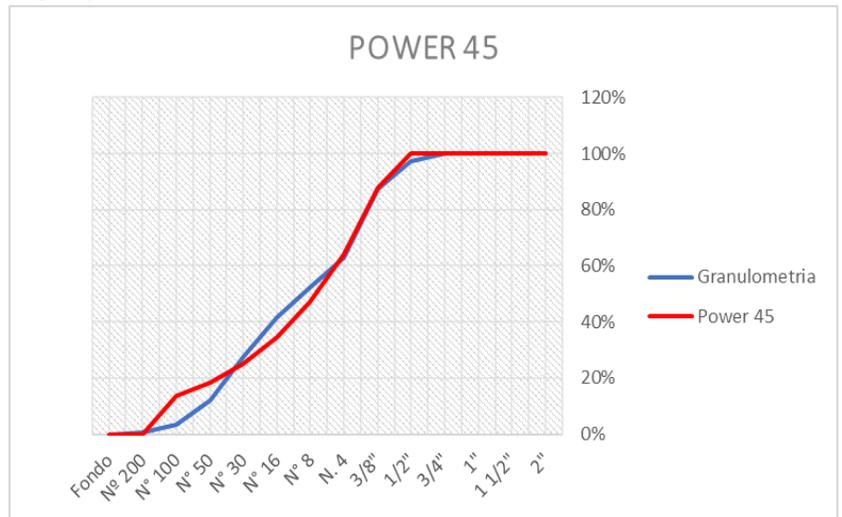


Gráfico 4.31: Curva Power 45 para grava #7 y #8 con porcentajes modificados

Resultado 4.24: Retenido integral y límites tarántula

Retenido Integral		Retenido Tarántula	
% Retenido Integral	% Retenido Parcial	%Retenido Superior	%Retenido Inferior
0%	0%	0%	0%
0%	0%	16%	0%
0%	0%	20%	0%
3%	3%	20%	4%
13%	10%	20%	4%
37%	24%	20%	4%
48%	11%	12%	0%
58%	10%	12%	0%
73%	14%	20%	4%
88%	15%	20%	4%
97%	9%	10%	0%
100%	3%	2%	0%
100%	0%	0%	0%

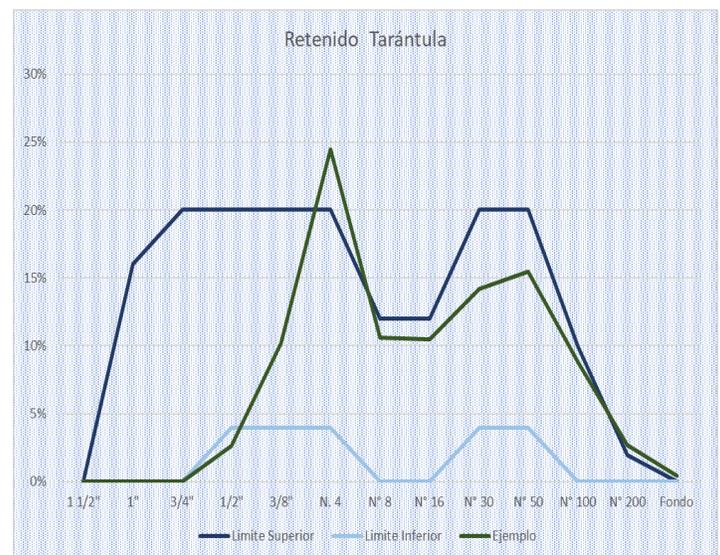


Gráfico 4.32: Curva de la tarántula para grava #7 y #8 con porcentajes modificados

Combinación de agregados:

Agregado 1: Grava #57, Arena Natural; Agregado 2: Grava #7, Arena Triturada

TABLA 4.29: Distribución de agregado grueso #57 y #7 porcentajes de diseño original

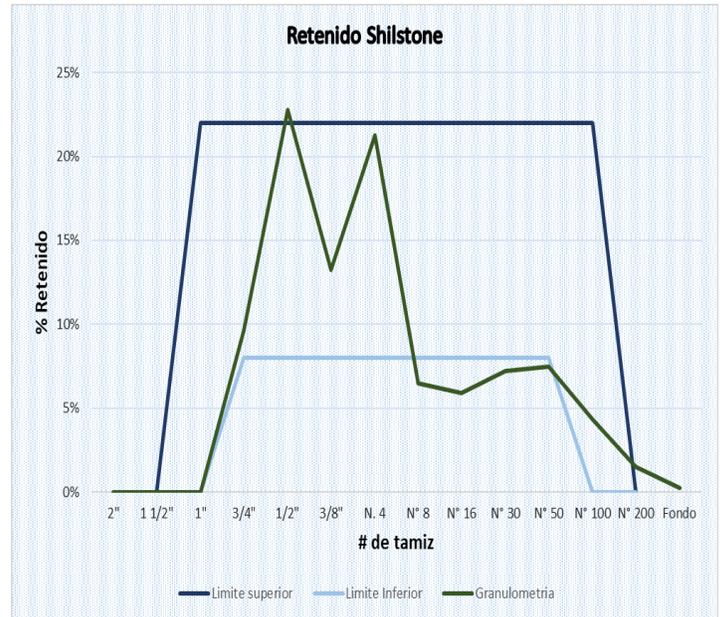
Tamaño de Tamiz	AGREGADO FINO				AGREGADO GRUESO				cemento (kg)	400
	34.50%				65.50%					
	Agregado Fino 1		Agregado Fino 2		Agregado Grueso 1		Agregado Grueso 2		Retenido Integral	
	60.00%		40.00%		84%		16%		% Retenido Integral	% Retenido Parcial
	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	% Retenido Integral	% Retenido Parcial
2"	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%
1 1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%
1"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%
3/4"	0.00	0.0%	0.00	0	2389.60	17.5%	0.00	0.0%	10%	10%
1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	5431.40	57.3%	213.70	8.3%	32%	23%
3/8"	0.00	0.0%	0.00	0	2442.20	75.1%	826.10	40.6%	46%	13%
N. 4	12.20	3.1%	30.60	7.97%	3327.40	99.5%	1493.80	98.9%	67%	21%
N° 8	33.10	11.4%	125.10	40.54%	44.50	99.8%	16.70	99.5%	73%	6%
N° 16	51.60	24.3%	88.40	63.55%	8.50	99.9%	4.30	99.7%	79%	6%
N° 30	98.60	49.0%	57.10	78.42%	4.60	99.9%	2.30	99.8%	86%	7%
N° 50	119.30	78.9%	35.70	87.71%	3.00	99.9%	1.50	99.8%	94%	7%
N° 100	65.90	95.4%	25.50	94.35%	3.00	100.0%	1.80	99.9%	98%	4%
N° 200	15.60	99.3%	18.20	99.09%	3.70	100.0%	2.00	100.0%	100%	1%
Fondo	2.60	100.0%	3.50	100.00%	0.70	100.0%	0.30	100.0%	100%	0%
<b>TOTAL</b>	<b>398.90</b>	<b>2.62</b>	<b>384.10</b>	<b>3.73</b>	<b>13658.60</b>		<b>2562.50</b>		<b>62%</b>	<b>30.0%</b>

FG

FT

Resultado 4.25: Retenido integral y limites Shilstone

Retenido Integral		Retenido Shilstone	
% Retenido Integral	% Retenido Parcial	%Retenido Superior	%Retenido Inferior
0%	0%	0%	0%
0%	0%	0%	0%
0%	0%	22%	0%
10%	10%	22%	8%
32%	23%	22%	8%
46%	13%	22%	8%
67%	21%	22%	8%
73%	6%	22%	8%
79%	6%	22%	8%
86%	7%	22%	8%
94%	7%	22%	8%
98%	4%	22%	0%
100%	1%	0%	0%
100%	0%	0%	0%



Factor de Grosor	60
Factor de Trabajabilidad	30

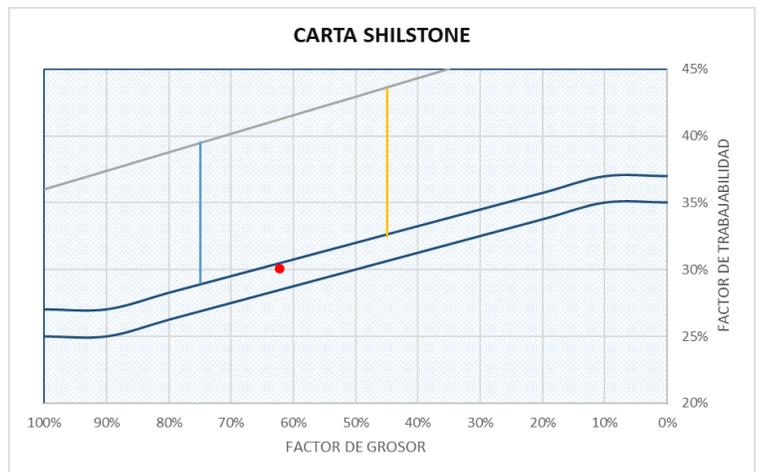


Grafico 4.34: Carta de Factor de Grosor, FG=60 y FT=30 para grava #57 y #7

on

Resultado 4.26: Retenido integral y límites de curva Power 45

% Retenido Integral	% Pasa Integral	(d / D) °
		e = 0.45
		D = 25.4
% Grafico Power		
0%	100%	100%
0%	100%	100%
0%	100%	100%
10%	90%	88%
32%	68%	73%
46%	54%	64%
66%	34%	47%
72%	28%	34%
78%	22%	25%
86%	14%	18%
93%	7%	14%
97%	3%	10%
99%	1%	0%
99%	1%	0%

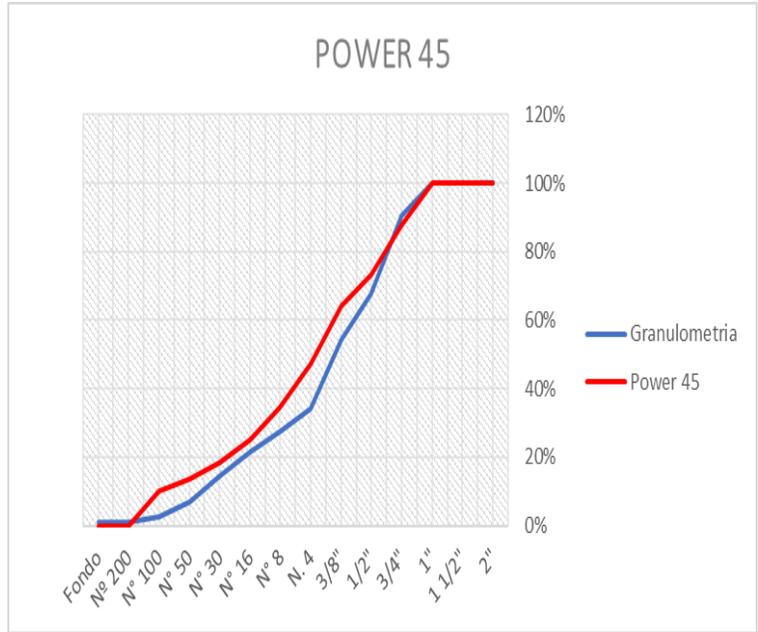
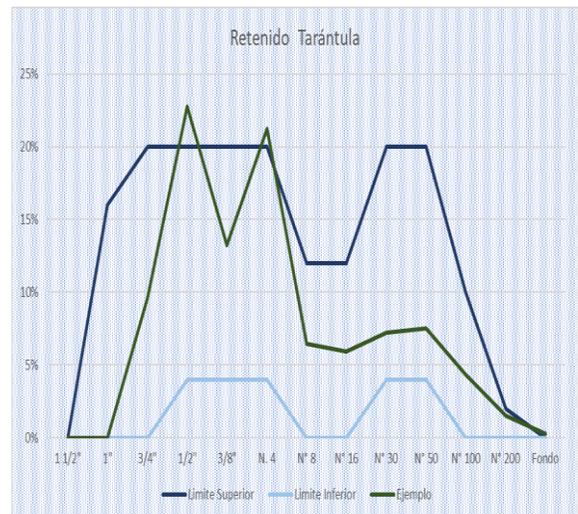


Gráfico 4.35: original  
Gráfico 4.36: Curva de la Tarántula para grava #57 y #7 con porcentajes del diseño original del diseño

Resultado 4.27: Retenido integral y límites tarántula

Retenido Integral		Retenido Tarántula	
% Retenido Integral	% Retenido Parcial	%Retenido Superior	%Retenido Inferior
0%	0%	0%	0%
0%	0%	16%	0%
10%	10%	20%	0%
32%	23%	20%	4%
46%	13%	20%	4%
67%	21%	20%	4%
73%	6%	12%	0%
79%	6%	12%	0%
86%	7%	20%	4%
94%	7%	20%	4%
98%	4%	10%	0%
100%	1%	2%	0%
100%	0%	0%	0%



Combinación de agregados:

Agregado 1: **Grava #57, Arena Natural**; Agregado 2: **Grava #7, Arena Triturada**

TABLA 4.30: Distribución de agregado grueso #57 y #7 con porcentajes modificados

		AGREGADO FINO				AGREGADO GRUESO					
		51.00%				49.00%				cemento (kg)	400
		Agregado Fino 1		Agregado Fino 2		Agregado Grueso 1		Agregado Grueso 2			
		60.00%		40.00%		83%		17%		Retenido Integral	
Tamaño de Tamiz	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	% Retenido Integral	% Retenido Parcial	
2"	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%	
1 1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%	
1"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%	
3/4"	0.00	0.0%	0.00	0	2389.60	17.5%	0.00	0.0%	7%	7%	
1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	5431.40	57.3%	213.70	8.3%	24%	17%	
3/8"	0.00	0.0%	0.00	0	2442.20	75.1%	826.10	40.6%	34%	10%	
N. 4	12.20	3.1%	30.60	7.97%	3327.40	99.5%	1493.80	98.9%	51%	17%	
N° 8	33.10	11.4%	125.10	40.54%	44.50	99.8%	16.70	99.5%	61%	9%	
N° 16	51.60	24.3%	88.40	63.55%	8.50	99.9%	4.30	99.7%	69%	9%	
N° 30	98.60	49.0%	57.10	78.42%	4.60	99.9%	2.30	99.8%	80%	11%	
N° 50	119.30	78.9%	35.70	87.71%	3.00	99.9%	1.50	99.8%	91%	11%	
N° 100	65.90	95.4%	25.50	94.35%	3.00	100.0%	1.80	99.9%	97%	6%	
N° 200	15.60	99.3%	18.20	99.09%	3.70	100.0%	2.00	100.0%	100%	2%	
Fondo	2.60	100.0%	3.50	100.00%	0.70	100.0%	0.30	100.0%	100%	0%	
<b>TOTAL</b>	<b>398.90</b>	<b>2.62</b>	<b>384.10</b>	<b>3.73</b>	<b>13658.60</b>		<b>2562.50</b>		<b>56%</b>	<b>42.7%</b>	

FG

FT

Resultado 4.28: Retenido integral y limites Shilstone

Retenido Integral		Retenido Shilstone	
% Retenido Integral	% Retenido Parcial	%Retenido Superior	%Retenido Inferior
0%	0%	0%	0%
0%	0%	0%	0%
0%	0%	22%	0%
7%	7%	22%	8%
24%	17%	22%	8%
34%	10%	22%	8%
51%	17%	22%	8%
61%	9%	22%	8%
69%	9%	22%	8%
80%	11%	22%	8%
91%	11%	22%	8%
97%	6%	22%	0%
100%	2%	0%	0%
100%	0%	0%	0%

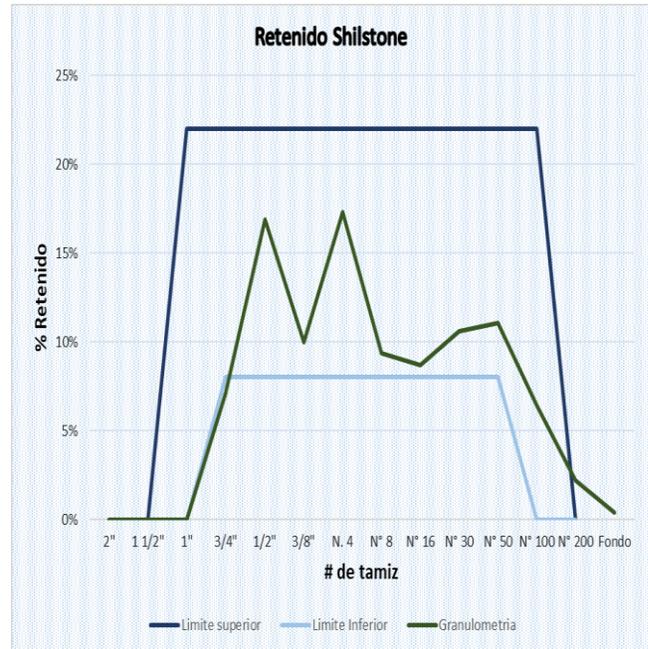


Grafico 4.37: Porcentajes Retenidos para grava #57 y #7 con porcentajes modificados

<b>Factor de Grosor</b>	<b>56</b>
<b>Factor de Trabajabilidad</b>	<b>42.7</b>

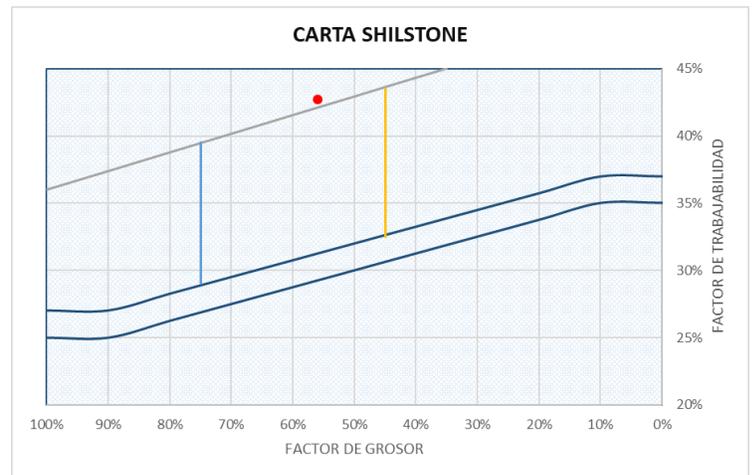


Grafico 4.38: Cata de Factor de Grosor, FG=56 y FT=42.7 para grava #57 y #7 con porcentajes modificados

Resultado 4.29: Retenido integral y límites de curva Power 45

% Retenido Integral	% Pasa Integral	(d/D) <sup>e</sup>
		e = 0.45
		D = 25.4
% Grafico Power		
0%	100%	100%
0%	100%	100%
0%	100%	100%
7%	93%	88%
24%	76%	73%
34%	66%	64%
51%	49%	47%
60%	40%	34%
69%	31%	25%

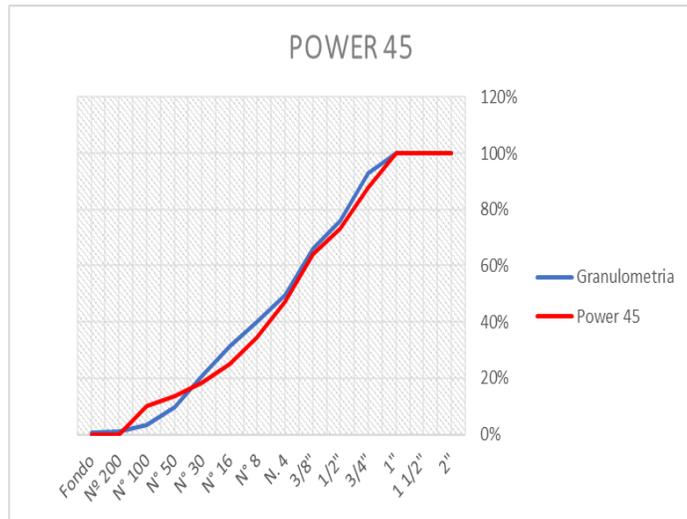


Gráfico 4.39: Curva Power 45 para grava #57 y #7 con porcentajes modificados

> 75%	< 17%	107%
90%	10%	14%
97%	3%	10%
99%	1%	0%
99%	1%	0%

Resultado 4.30: Retenido integral y límites tarántula

Retenido Integral		Retenido Tarántula	
% Retenido Integral	% Retenido Parcial	% Retenido Superior	% Retenido Inferior
0%	0%	0%	0%
0%	0%	16%	0%
7%	7%	20%	0%
24%	17%	20%	4%
34%	10%	20%	4%
51%	17%	20%	4%
61%	9%	12%	0%
69%	9%	12%	0%
80%	11%	20%	4%
91%	11%	20%	4%
97%	6%	10%	0%
100%	2%	2%	0%
100%	0%	0%	0%



Gráfico 4.40: Curva de la Tarántula para grava #57 y #7 con porcentajes modificados

Combinación de agregados:

Agregado 1: **Grava #57, Arena Natural**; Agregado 2: **Grava #8, Arena Triturada**

TABLA 4.31: Distribución de agregado grueso #57 y #8 con porcentajes de diseño original

Tamaño de Tamiz	AGREGADO FINO				AGREGADO GRUESO				cemento (kg)	400
	34.50%				65.50%					
	Agregado Fino 1		Agregado Fino 2		Agregado Grueso 1		Agregado Grueso 2			
	60.00%		40.00%		84%		16%			
	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	% Retenido Integral	% Retenido Parcial
2"	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%
1 1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%
1"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%
3/4"	0.00	0.0%	0.00	0	2389.60	17.5%	0.00	0.0%	10%	10%
1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	5431.40	57.3%	0.00	0.0%	32%	22%
3/8"	0.00	0.0%	0.00	0	2442.20	75.1%	0.00	0.0%	41%	10%
N. 4	12.20	3.1%	30.60	7.97%	3327.40	99.5%	3666.90	89.8%	66%	25%
N° 8	33.10	11.4%	125.10	40.54%	44.50	99.8%	337.90	98.1%	73%	7%
N° 16	51.60	24.3%	88.40	63.55%	8.50	99.9%	39.40	99.1%	79%	6%
N° 30	98.60	49.0%	57.10	78.42%	4.60	99.9%	19.50	99.5%	86%	7%
N° 50	119.30	78.9%	35.70	87.71%	3.00	99.9%	9.50	99.8%	94%	8%
N° 100	65.90	95.4%	25.50	94.35%	3.00	100.0%	5.50	99.9%	98%	4%
N° 200	15.60	99.3%	18.20	99.09%	3.70	100.0%	3.60	100.0%	100%	1%
Fondo	2.60	100.0%	3.50	100.00%	0.70	100.0%	0.50	100.0%	100%	0%
<b>TOTAL</b>	<b>398.90</b>	<b>2.62</b>	<b>384.10</b>	<b>3.73</b>	<b>13658.60</b>		<b>4082.80</b>		<b>57%</b>	<b>30.2%</b>

FG

FT

Resultado 4.31: Retenido integral y limites Shilstone

Retenido Integral		Retenido Shilstone	
% Retenido Integral	% Retenido Parcial	%Retenido Superior	%Retenido Inferior
0%	0%	0%	0%
0%	0%	0%	0%
0%	0%	22%	0%
10%	10%	22%	8%
32%	22%	22%	8%
41%	10%	22%	8%
66%	25%	22%	8%
73%	7%	22%	8%
79%	6%	22%	8%
86%	7%	22%	8%
94%	8%	22%	8%
98%	4%	22%	0%
100%	1%	0%	0%
100%	0%	0%	0%

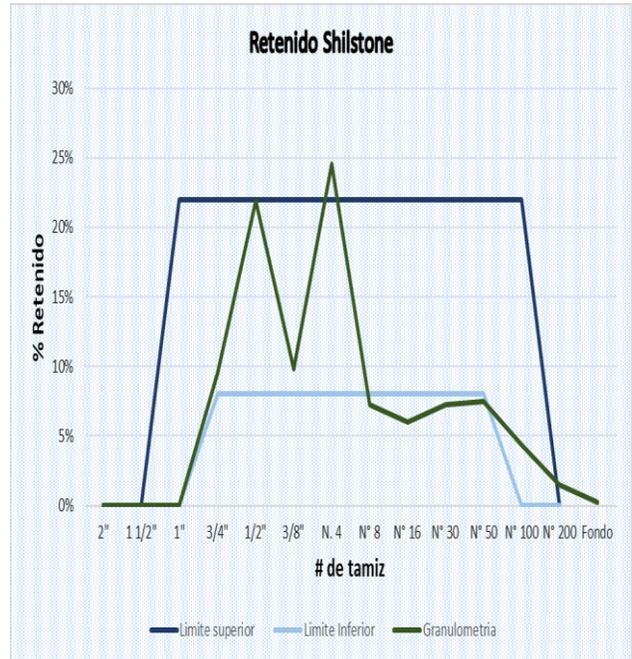


Grafico 4.41: Porcentajes Retenidos para grava #57 y #8 con porcentajes del diseño original

<b>Factor de Grosor</b>	<b>57</b>
<b>Factor de Trabajabilidad</b>	30.2

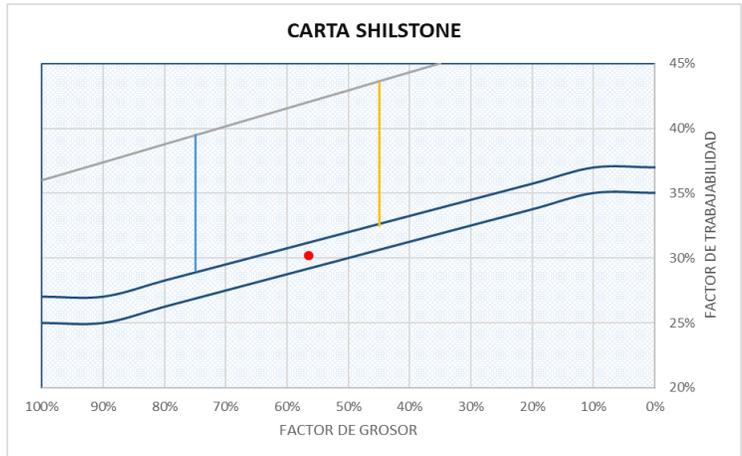


Grafico 4.42: Carta de Factor de Grosor, FG=57 y FT=30.2 para grava #57 y #8 con porcentajes del diseño original

Resultado 4.32: Retenido integral y límites de curva Power 45

% Retenido Integral	% Pasa Integral	(d/D) <sup>e</sup>
		e = 0.45
		D = 25.4
% Grafico Power		
0%	100%	100%
0%	100%	100%
0%	100%	100%
10%	90%	88%
32%	68%	73%
41%	59%	64%
66%	34%	47%
73%	27%	34%
79%	21%	25%
86%	14%	18%
94%	6%	14%
98%	2%	10%
100%	0%	0%
100%	0%	0%

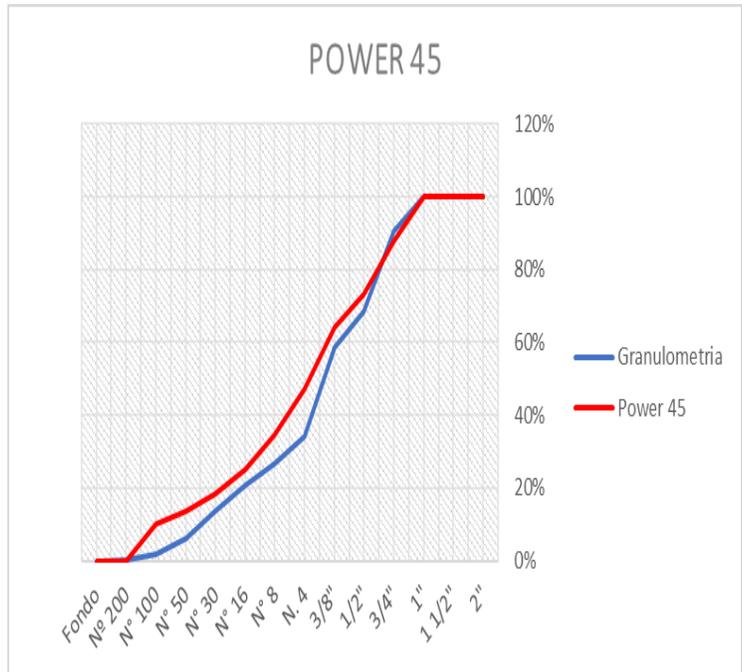


Gráfico 4.43: Curva Power 45 para grava #57 y #8 con porcentajes del diseño original

Resultado 4.33: Retenido integral y límites tarántula

Retenido Integral		Retenido Tarántula	
% Retenido Integral	% Retenido Parcial	%Retenido Superior	%Retenido Inferior
0%	0%	0%	0%
0%	0%	16%	0%
10%	10%	20%	0%
32%	22%	20%	4%
41%	10%	20%	4%
66%	25%	20%	4%
73%	7%	12%	0%
79%	6%	12%	0%
86%	7%	20%	4%
94%	8%	20%	4%
98%	4%	10%	0%
100%	1%	2%	0%
100%	0%	0%	0%

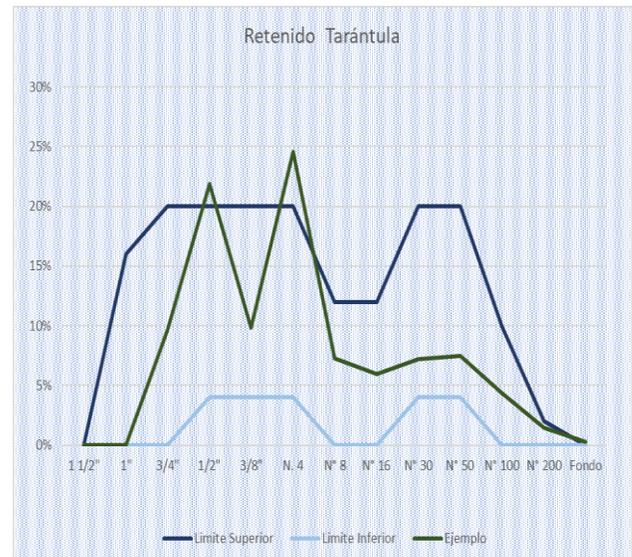


Gráfico 4.44: Curva de la Tarántula para grava #57 y #8 con porcentajes del diseño original

Combinación de agregados:

Agregado 1: **Grava #57, Arena Natural**; Agregado 2: **Grava #8, Arena Triturada**

TABLA 4.32: Distribución de agregado grueso #57 y #8 con porcentajes modificados

		AGREGADO FINO				AGREGADO GRUESO					
		38.00%				62.00%				cemento (kg)	400
		Agregado Fino 1		Agregado Fino 2		Agregado Grueso 1		Agregado Grueso 2		Retenido Integral	
		65.00%		35.00%		85%		15%		Retenido Integral	
Tamaño de Tamiz	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	% Retenido Integral	% Retenido Parcial	
2"	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%	
1 1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%	
1"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%	
3/4"	0.00	0.0%	0.00	0	2389.60	17.5%	0.00	0.0%	9%	9%	
1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	5431.40	57.3%	0.00	0.0%	30%	21%	
3/8"	0.00	0.0%	0.00	0	2442.20	75.1%	0.00	0.0%	40%	9%	
N. 4	12.20	3.1%	30.60	7.97%	3327.40	99.5%	3666.90	89.8%	63%	23%	
N° 8	33.10	11.4%	125.10	40.54%	44.50	99.8%	337.90	98.1%	70%	7%	
N° 16	51.60	24.3%	88.40	63.55%	8.50	99.9%	39.40	99.1%	76%	6%	
N° 30	98.60	49.0%	57.10	78.42%	4.60	99.9%	19.50	99.5%	84%	8%	
N° 50	119.30	78.9%	35.70	87.71%	3.00	99.9%	9.50	99.8%	93%	9%	
N° 100	65.90	95.4%	25.50	94.35%	3.00	100.0%	5.50	99.9%	98%	5%	
N° 200	15.60	99.3%	18.20	99.09%	3.70	100.0%	3.60	100.0%	100%	2%	
Fondo	2.60	100.0%	3.50	100.00%	0.70	100.0%	0.50	100.0%	100%	0%	
<b>TOTAL</b>	<b>398.90</b>	<b>2.62</b>	<b>384.10</b>	<b>3.73</b>	<b>13658.60</b>		<b>4082.80</b>		<b>57%</b>	<b>33.4%</b>	

FG

FT

Resultado 4.34: Retenido integral y limites Shilstone

Retenido Integral		Retenido Shilstone	
% Retenido Integral	% Retenido Parcial	%Retenido Superior	%Retenido Inferior
0%	0%	0%	0%
0%	0%	0%	0%
0%	0%	22%	0%
9%	9%	22%	8%
30%	21%	22%	8%
40%	9%	22%	8%
63%	23%	22%	8%
70%	7%	22%	8%
76%	6%	22%	8%
84%	8%	22%	8%
93%	9%	22%	8%
98%	5%	22%	0%
100%	2%	0%	0%
100%	0%	0%	0%

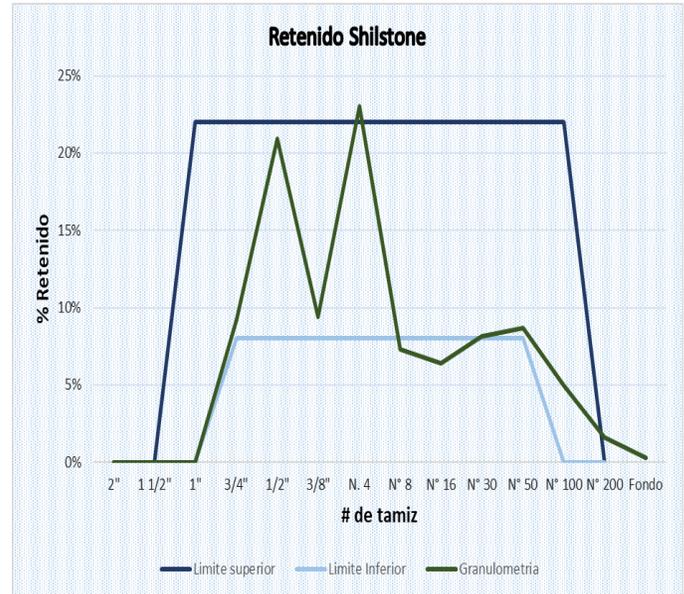


Gráfico 4.45: porcentajes Retenidos para grava #57 y #8 con porcentajes modificados

<b>Factor de Grosor</b>	<b>57</b>
<b>Factor de Trabajabilidad</b>	<b>33.4</b>

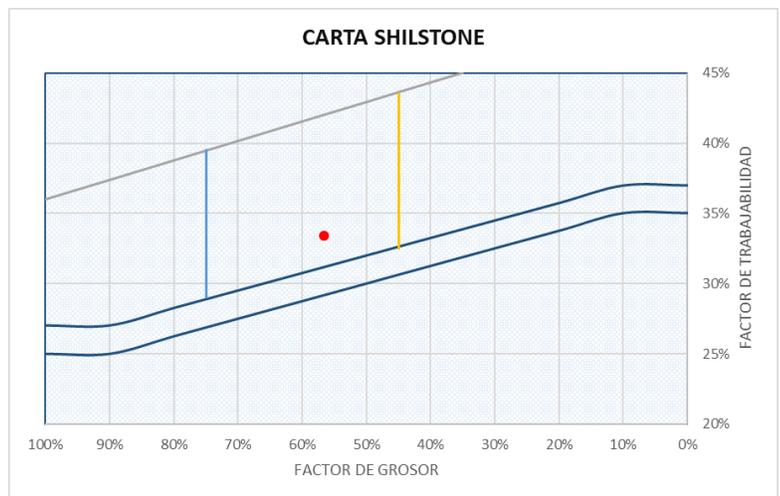


Gráfico 4.46: Carta de Factor de Grosor, FG=57 y FT=33.4 para grava #57 y #8 con porcentajes modificados

Resultado 4.35: Retenido integral y límites de curva Power 45

% Retenido Integral	% Pasa Integral	(d / D) °
		e = 0.45
		D = 25.4
% Grafico Power		
0%	100%	100%
0%	100%	100%
0%	100%	100%
9%	91%	88%
30%	70%	73%
40%	60%	64%
63%	37%	47%
70%	30%	34%
76%	24%	25%
84%	16%	18%
93%	7%	14%
98%	2%	10%
100%	0%	0%
100%	0%	0%

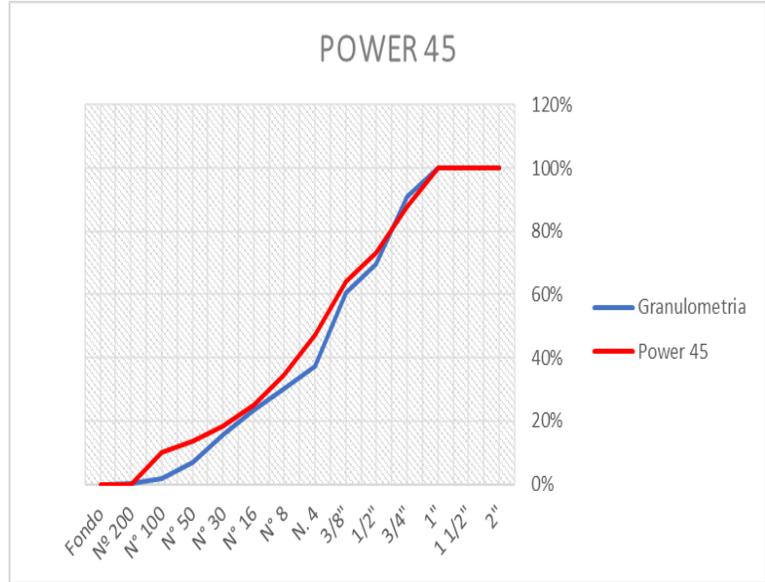


Gráfico 4.47: Curva Power 45 para grava #57 y #8 con porcentajes modificados

Resultado 4.36: Retenido integral y límites tarántula

Retenido Integral		Retenido Tarántula	
% Retenido Integral	% Retenido Parcial	% Retenido Superior	% Retenido Inferior
0%	0%	0%	0%
0%	0%	16%	0%
9%	9%	20%	0%
30%	21%	20%	4%
40%	9%	20%	4%
63%	23%	20%	4%
70%	7%	12%	0%
76%	6%	12%	0%
84%	8%	20%	4%
93%	9%	20%	4%
98%	5%	10%	0%
100%	2%	2%	0%
100%	0%	0%	0%



Gráfico 4.48: Curva de la Tarántula para grava #57 y #8 con porcentajes modificados

De los 6 agregados proporcionados por LA CANTERA, se realizan 12 combinaciones iniciales, utilizando 4 agregados (2 agregados finos fijos y 2 agregados gruesos variables) en cada una. Se presentan los gráficos de Porcentaje de Retenidos, Carta de Factor de Grosor, Curva Power 45 y Curva de la Tarántula.

De estas combinaciones se puede observar que, en el gráfico de Porcentaje Retenidos más de dos puntos están afuera de los límites superior e inferior. No supone rechazo, sin embargo, en las mezclas de concreto hidráulico, estas combinaciones pueden afectar en la trabajabilidad, durabilidad, resistencia, e incluso puede ocurrir segregación.

Para la Carta de Factor de Grosor, la mayoría cae en la Barra de Tendencias. Esto indica que se requiere un control más estrecho y ajustes de las proporciones, ya que las pequeñas variaciones pueden resultar en que el agregado sea trazado fuera de la zona II. Otras combinaciones caen en la Zona II, la cual representa mezclas óptimas para un tamaño máximo nominal mayor de  $\frac{3}{4}$ ". Otras combinaciones caen en la Zona V, indicando que hay una cantidad excesiva de agregado grueso e intermedio.

La Curva de Power 45, muestra que las combinaciones están por debajo del límite máximo, esto indica que la mezcla de concreto puede ser dura debido a la falta de materiales finos.

En el caso de la Curva de la Tarántula, las gráficas de las combinaciones granulométricas, muestran que las mallas  $\frac{1}{2}$ " y N°4 retienen más del 20%, lo que indica que la trabajabilidad del concreto tenderá a disminuir y la segregación aumentará. En cuanto a los agregados finos, estos están entre los límites permitidos.

Se puede apreciar que para que la mayoría de puntos estén dentro de los límites de las gráficas mencionadas, se utiliza un porcentaje arriba del 50% para agregado fino. Este porcentaje, en una mezcla de concreto hidráulico, no es recomendable ya que demanda mayor cantidad de agua para producir un revenimiento determinado, se tienen mezclas más cohesivas y requieren mayor cantidad de cemento para mantener la relación agua/cemento.

La combinación granulométrica más aceptable es la del agregado grueso #57 y #8, ya que, con un valor menor al 40%, los puntos están cerca de los límites de las gráficas. Por lo tanto, esta combinación granulométrica es la que se tomará para buscar la combinación más óptima para los diseños de mezcla de concreto hidráulico para pavimentos.

## COMBINACIONES GRANULOMÉTRICAS CON GRANULOMETRÍA SHILSTONE (GRAVA #57 Y #8)

TABLA 4.33: Combinación granulométrica de grava #57 y #8 con porcentajes de volúmenes para Fino 40% y Grueso 60%

		AGREGADO FINO				AGREGADO GRUESO							
		40.00%				60.00%				cemento (kg)	400		
		Agregado Fino 1		Agregado Fino 2		Agregado Grueso 1		Agregado Grueso 2		Retenido Integral		Retenido Shilstone	
		72.00%		28.00%		82%		18%		% Retenido Integral	% Retenido Parcial	%Retenido Superior	%Retenido Inferior
Tamaño de Tamiz	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	% Retenido Integral	% Retenido Parcial	%Retenido Superior	%Retenido Inferior	
2"	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%	0%	0%	
1 1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%	0%	0%	
1"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%	22%	0%	
3/4"	0.00	0.0%	0.00	0	2389.60	17.5%	0.00	0.0%	9%	9%	22%	8%	
1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	5431.40	57.3%	0.00	0.0%	28%	20%	22%	8%	
3/8"	0.00	0.0%	0.00	0	2442.20	75.1%	0.00	0.0%	37%	9%	22%	8%	
N. 4	12.20	3.1%	30.60	7.97%	3327.40	99.5%	3666.90	89.8%	60%	23%	22%	8%	
Nº 8	33.10	11.4%	125.10	40.54%	44.50	99.8%	337.90	98.1%	68%	7%	22%	8%	
Nº 16	51.60	24.3%	88.40	63.55%	8.50	99.9%	39.40	99.1%	74%	6%	22%	8%	
Nº 30	98.60	49.0%	57.10	78.42%	4.60	99.9%	19.50	99.5%	83%	9%	22%	8%	
Nº 50	119.30	78.9%	35.70	87.71%	3.00	99.9%	9.50	99.8%	92%	10%	22%	8%	
Nº 100	65.90	95.4%	25.50	94.35%	3.00	100.0%	5.50	99.9%	98%	6%	22%	0%	
Nº 200	15.60	99.3%	18.20	99.09%	3.70	100.0%	3.60	100.0%	100%	2%	0%	0%	
Fondo	2.60	100.0%	3.50	100.00%	0.70	100.0%	0.50	100.0%	100%	0%	0%	0%	
<b>TOTAL</b>	<b>398.90</b>	<b>2.62</b>	<b>384.10</b>	<b>3.73</b>	<b>13658.60</b>		<b>4082.80</b>		<b>55%</b>	<b>35.8%</b>			

FG

FT

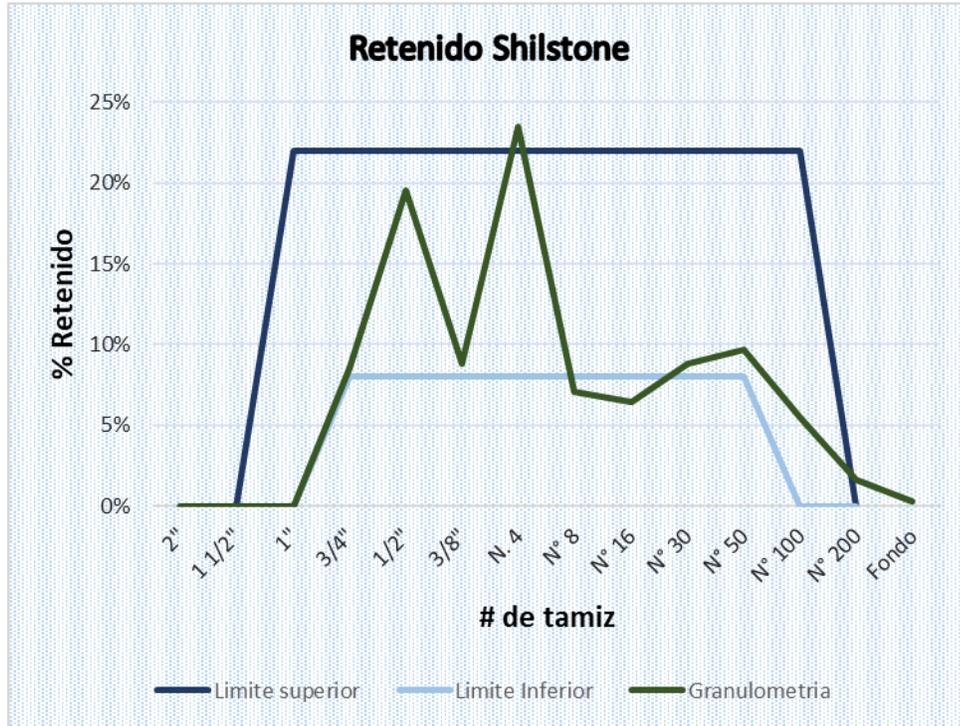


Grafico 4.49: Porcentajes Retenidos para grava #57 y #8 con porcentajes de volúmenes para Fino #40 y Grueso #60

<b>Factor de Grosor</b>	<b>55</b>
<b>Factor de Trabajabilidad</b>	<b>35.8</b>

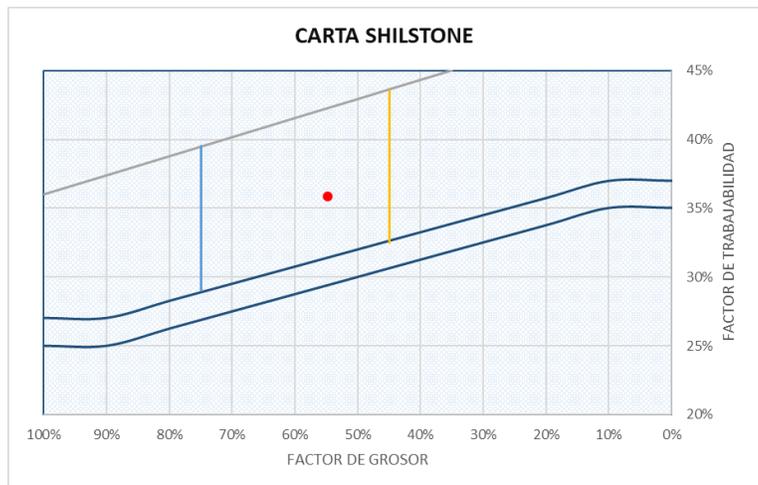


Grafico 4.50: Carta de Factor de Grosor, FG=56 y FT=32 para porcentajes de volúmenes para fino 40% y grueso 60%

Resultado 4.37: Retenido integral y límites de curva Power 45

% Retenido Integral	% Pasa Integral	(d / D) °
		e = 0.45
		D = 25.4
		% Grafico Power
0%	100%	100%
0%	100%	100%
0%	100%	100%
9%	91%	88%
28%	72%	73%
37%	63%	64%
60%	40%	47%
68%	32%	34%
74%	26%	25%
83%	17%	18%
92%	8%	14%
98%	2%	10%
100%	0%	0%
100%	0%	0%

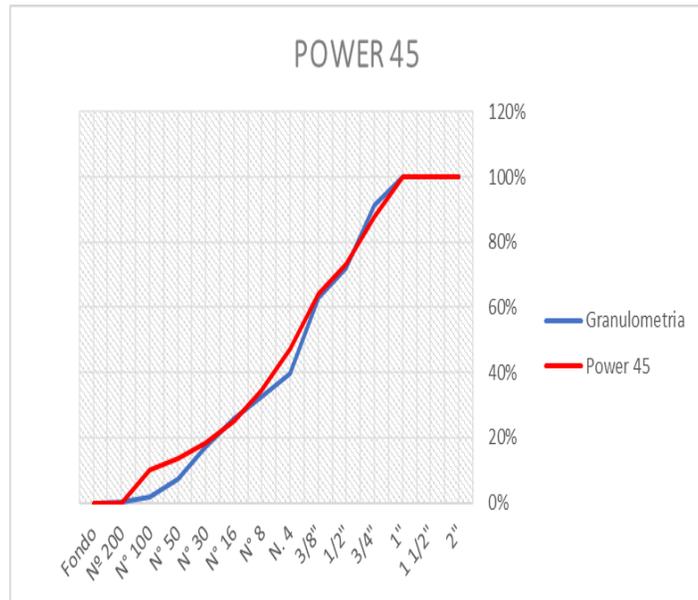


Gráfico 4.51: Curva Power 45 con porcentajes de volúmenes para fino 40% y grueso 60%

Resultado 4.38: Retenido integral y límites tarántula

Retenido Integral		Retenido Tarántula	
% Retenido Integral	% Retenido Parcial	% Retenido Superior	% Retenido Inferior
0%	0%	0%	0%
0%	0%	16%	0%
9%	9%	20%	0%
28%	20%	20%	4%
37%	9%	20%	4%
60%	23%	20%	4%
68%	7%	12%	0%
74%	6%	12%	0%
83%	9%	20%	4%
92%	10%	20%	4%
98%	6%	10%	0%
100%	2%	2%	0%
100%	0%	0%	0%

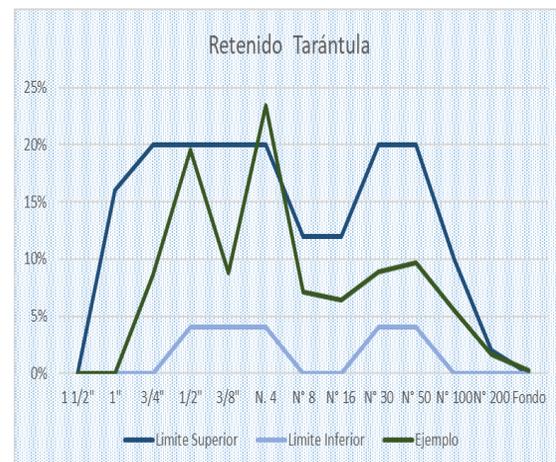


Gráfico 4.52: Curva de la Tarántula con porcentajes de volúmenes para fino 40% y grueso 60%

TABLA 4.34: Combinación granulométrica de grava #57 y #8 con porcentajes de volúmenes para Fino de 44.8% y Grueso de 55.2%

		AGREGADO FINO				AGREGADO GRUESO							
		44.80%				55.20%				cemento (kg)	400		
		Agregado Fino 1		Agregado Fino 2		Agregado Grueso 1		Agregado Grueso 2		Retenido Integral		Retenido Shilstone	
		46.00%		54.00%		91%		9%		% Retenido Integral	% Retenido Parcial	%Retenido Superior	%Retenido Inferior
Tamaño de Tamiz	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	% Retenido Integral	% Retenido Parcial	%Retenido Superior	%Retenido Inferior	
2"	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%	0%	0%	
1 1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%	0%	0%	
1"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%	22%	0%	
3/4"	0.00	0.0%	0.00	0	2389.60	17.5%	0.00	0.0%	9%	9%	22%	8%	
1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	5431.40	57.3%	0.00	0.0%	29%	20%	22%	8%	
3/8"	0.00	0.0%	0.00	0	2442.20	75.1%	0.00	0.0%	38%	9%	22%	8%	
N. 4	12.20	3.1%	30.60	7.97%	3327.40	99.5%	3666.90	89.8%	57%	19%	22%	8%	
N° 8	33.10	11.4%	125.10	40.54%	44.50	99.8%	337.90	98.1%	67%	10%	22%	8%	
N° 16	51.60	24.3%	88.40	63.55%	8.50	99.9%	39.40	99.1%	75%	8%	22%	8%	
N° 30	98.60	49.0%	57.10	78.42%	4.60	99.9%	19.50	99.5%	84%	9%	22%	8%	
N° 50	119.30	78.9%	35.70	87.71%	3.00	99.9%	9.50	99.8%	93%	8%	22%	8%	
N° 100	65.90	95.4%	25.50	94.35%	3.00	100.0%	5.50	99.9%	98%	5%	22%	0%	
N° 200	15.60	99.3%	18.20	99.09%	3.70	100.0%	3.60	100.0%	100%	2%	0%	0%	
Fondo	2.60	100.0%	3.50	100.00%	0.70	100.0%	0.50	100.0%	100%	0%	0%	0%	
<b>TOTAL</b>	<b>398.90</b>	<b>2.62</b>	<b>384.10</b>	<b>3.73</b>	<b>13658.60</b>		<b>4082.80</b>		<b>56%</b>	<b>36.2%</b>			

FG

FT

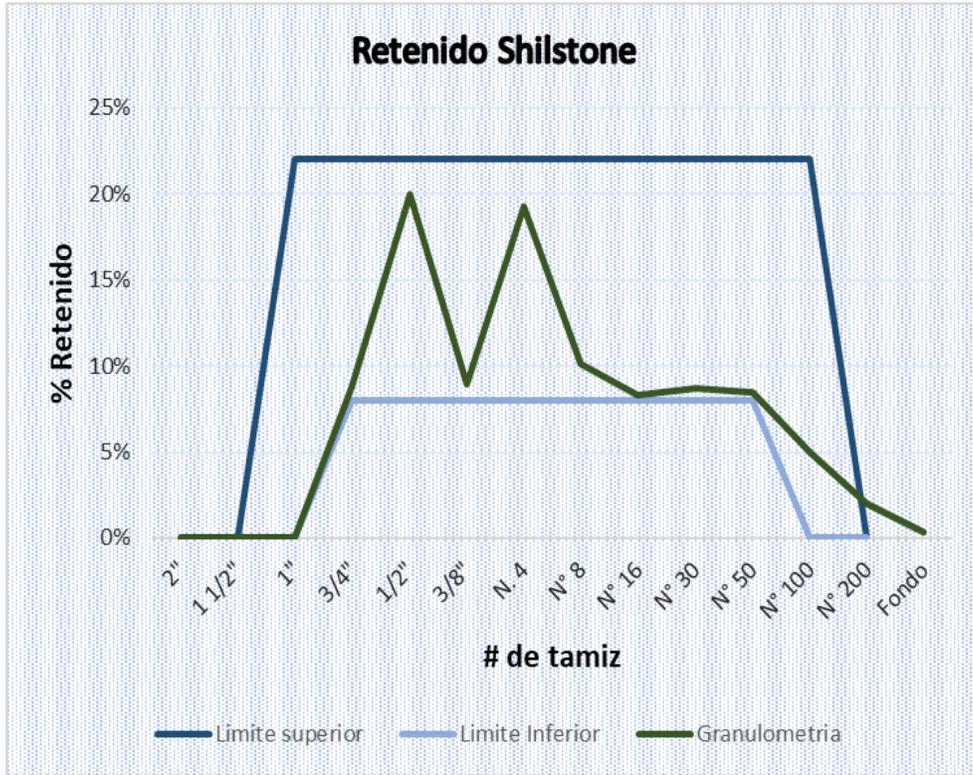


Grafico 4.53: Porcentajes Retenidos con porcentajes de volúmenes para fino 44.8% y grueso 55.2%

<b>Factor de Grosor</b>	<b>56</b>
<b>Factor de Trabajabilidad</b>	<b>36.2</b>

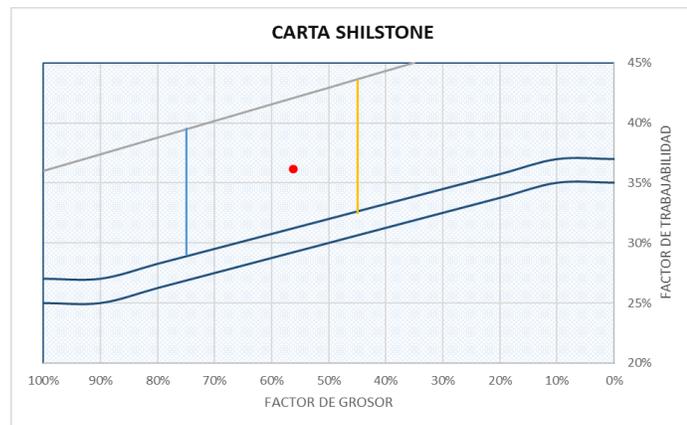


Grafico 4.54: Carta de Factor de Grosor, FG=56 y FT=36.2 con porcentajes de volúmenes para fino 44.8% y grueso 55.2%

Resultado 4.39: Retenido integral y límites de curva Power 45

Retenido Integral	% Pasa Integral	(d/D) <sup>e</sup>
		e = 0.45
		D = 25.4
		% Grafico Power
0%	100%	100%
0%	100%	100%
0%	100%	100%
9%	91%	88%
29%	71%	73%
38%	62%	64%
57%	43%	47%
67%	33%	34%
75%	25%	25%
84%	16%	18%
93%	7%	14%
98%	2%	10%
100%	0%	0%
100%	0%	0%

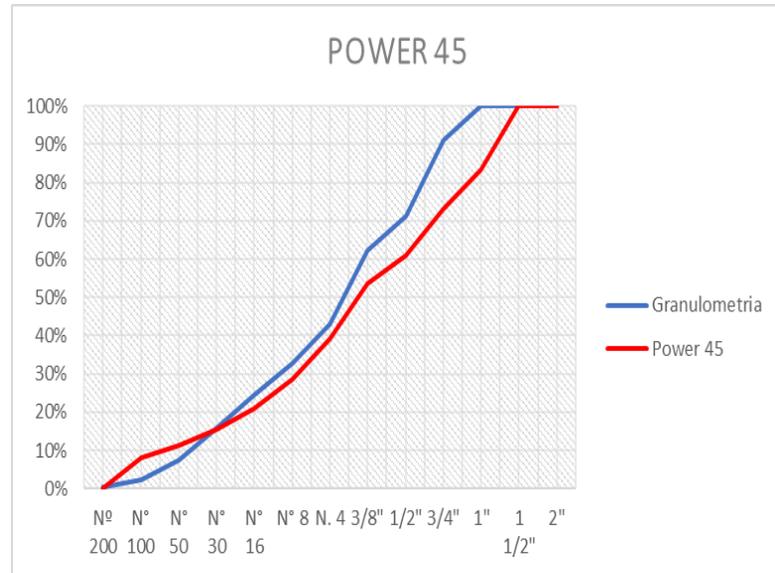


Gráfico 4.55: Curva Power 45 con porcentajes de volúmenes para fino 44.8% y grueso 55.2%

Resultado 4.40: Retenido integral y límites tarántula

Retenido Integral		Retenido Tarántula	
% Retenido Integral	% Retenido Parcial	%Retenido Superior	%Retenido Inferior
0%	0%	0%	0%
0%	0%	16%	0%
9%	9%	20%	0%
29%	20%	20%	4%
38%	9%	20%	4%
57%	19%	20%	4%
67%	10%	12%	0%
75%	8%	12%	0%
84%	9%	20%	4%
93%	8%	20%	4%
98%	5%	10%	0%
100%	2%	2%	0%
100%	0%	0%	0%



Gráfico 4.56: Curva de la Tarántula con porcentajes de volúmenes para fino 44.8% y grueso 55.2%

En las combinaciones granulométricas anteriores, se puede observar que los puntos están dentro de los límites Superior e Inferior de la gráfica de Porcentajes Retenidos (Shilstone) utilizando un porcentaje menor al 50% del volumen del agregado fino. Permittedose que uno o dos puntos se encuentren fuera de los límites.

De estas combinaciones granulométricas, se selecciona la del porcentaje de volumen de agregado fino de 44.8%, distribuyéndose en 46% de Arena Natural y 54% Arena Triturada, y porcentaje de volumen de agregado grueso de 55.2%, distribuyéndose en 91% de grava #57 y 9% de grava #8.

Aun cuando todos los puntos de la gráfica están dentro de los límites, estos se encuentran cerca de los bordes. El porcentaje de volumen de agregado fino, puede influir en las mezclas de concreto en que ocurra segregación, en utilizar más aditivo reductor de agua para conservar la relación agua/cemento y puede afectar el acabado final. Al realizar las mezclas de concreto hidráulico en el laboratorio y aplicarle los ensayos al concreto fresco (revenimiento, ensayo de la caja) se demostrará si la combinación seleccionada es la más adecuada o se deberá hacer ajustes.

Los gráficos de la Carta de Factor de Grosor, muestran que las combinaciones granulométricas se encuentran en la Zona II, siendo esta la óptima e indica que, por lo general producen concretos consistentes de alta calidad.

La Curva de la Tarántula se muestra con fines comparativos a la gráfica de Porcentajes Retenidos.

### **COMBINACIONES GRANULOMÉTRICAS MEDIANTE CURVA DE LA TARÁNTULA (GRAVA #57 Y #8)**

A continuación, se presentan granulometrías evaluadas mediante Curva de la Tarántula, Factor de Grosor, Power 45 y Porcentaje de Retenidos (Shilstone).

Se mostrarán combinaciones granulométricas, todas ellas con un porcentaje de finos mayor a 40% y agregados gruesos menor que 60%, debido que, si se aumenta la cantidad de agregado grueso, presenta exceso de agregado de ½ pulgada y N° 4. Además, se muestra una breve descripción en cada uno de los gráficos.

TABLA 4.35: Combinación granulométrica de grava #57 y #8 con porcentajes de volúmenes para fino 38.5% y grueso 61.5%

Tamaño de Tamiz	Abertura de tamiz	AGREGADO FINO				AGREGADO GRUESO				Retenido Integral		Retenido Tarantula	
		38.5%				61.5%							
		Agregado Fino 1		Agregado Fino 2		Agregado Grueso 1		Agregado Grueso 2		% Retenido Integral	% Retenido Parcial	%Retenido Superior	%Retenido Inferior
		60%		40%		85%		15%					
		Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado				
1 1/2"	37.5 mm	0.00	0.0%	0.00	0.00%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%	0%	0%
1"	25.0 mm	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%	16%	0%
3/4"	19.0 mm	0.00	0.0%	0.00	0.0%	2389.60	17.5%	0.00	0.0%	9%	9%	20%	0%
1/2"	12.5 mm	0.00	0.0%	0.00	0.0%	5431.40	57.3%	0.00	0.0%	30%	21%	20%	4%
3/8"	9.5 mm	0.00	0.0%	0.00	0.0%	2442.20	75.1%	0.00	0.0%	39%	9%	20%	4%
N. 4	4.75 mm	12.20	3.1%	30.60	8.0%	3327.40	99.5%	3666.90	89.8%	62%	23%	20%	4%
Nº 8	2.36 mm	33.10	11.4%	125.10	40.5%	44.50	99.8%	337.90	98.1%	70%	8%	12%	0%
Nº 16	1.18 mm	51.60	24.3%	88.40	63.6%	8.50	99.9%	39.40	99.1%	77%	7%	12%	0%
Nº 30	600 µm	98.60	49.0%	57.10	78.4%	4.60	99.9%	19.50	99.5%	85%	8%	20%	4%
Nº 50	300 µm	119.30	78.9%	35.70	87.7%	3.00	99.9%	9.50	99.8%	93%	8%	20%	4%
Nº 100	150 µm	65.90	95.4%	25.50	94.4%	3.00	100.0%	5.50	99.9%	98%	5%	10%	0%
Nº 200	75 µm	15.60	99.3%	18.20	99.1%	3.70	100.0%	3.60	100.0%	100%	2%	2%	0%
Fondo		2.60	100.0%	3.50	100.0%	0.70	100.0%	0.50	100.0%	100%	0%	0%	0%
Sumas		398.90	2.62	384.10	3.73	13658.60		4082.80		56%	33.2%	cemento (kg)	400

FG

FT

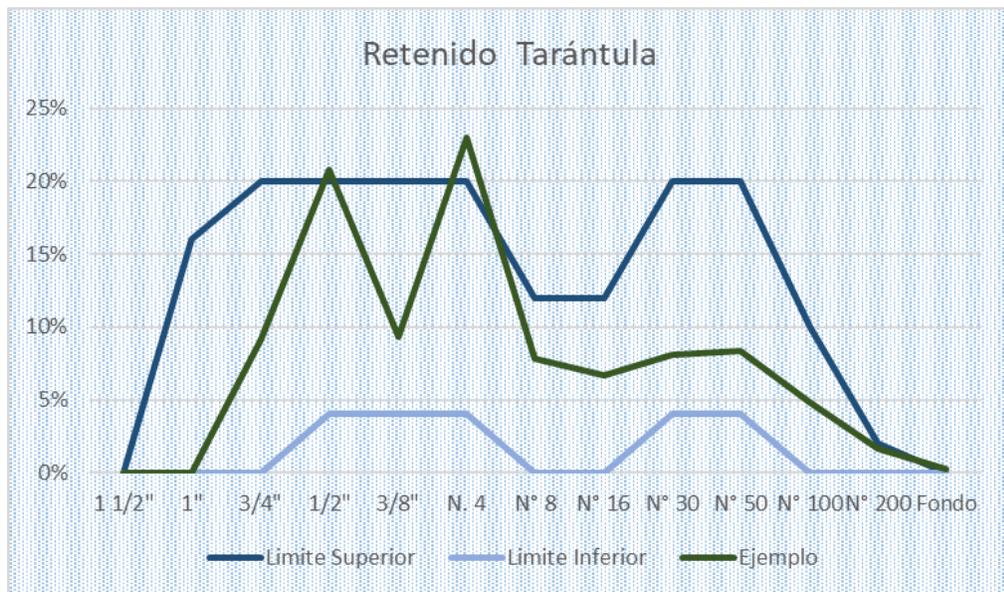


Gráfico 4.57: Retenido integral y límites tarántula

<b>Factor de Grosor</b>	<b>56</b>
<b>Factor de Trabajabilidad</b>	<b>33.2</b>

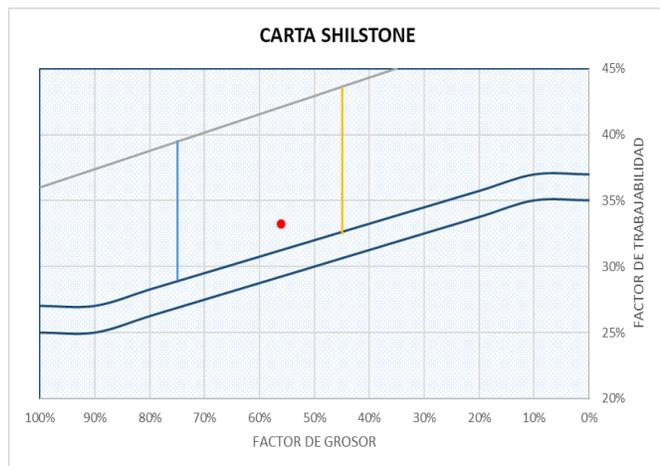


Gráfico 4.58: Carta de Factor de Grosor

Resultado 4.41: Retenido integral y límites de curva Power 45

% Retenido Integral	% Pasa Integral	(d / D) <sup>e</sup>
		e = 0.45
		D = 25.4
		% Grafico Power
0%	100%	100%
0%	100%	100%
0%	100%	100%
8%	92%	88%
37%	63%	73%
44%	56%	64%
61%	39%	47%
66%	34%	34%
72%	28%	25%
81%	19%	18%
91%	9%	14%
97%	3%	10%
100%	0%	0%
100%	0%	0%

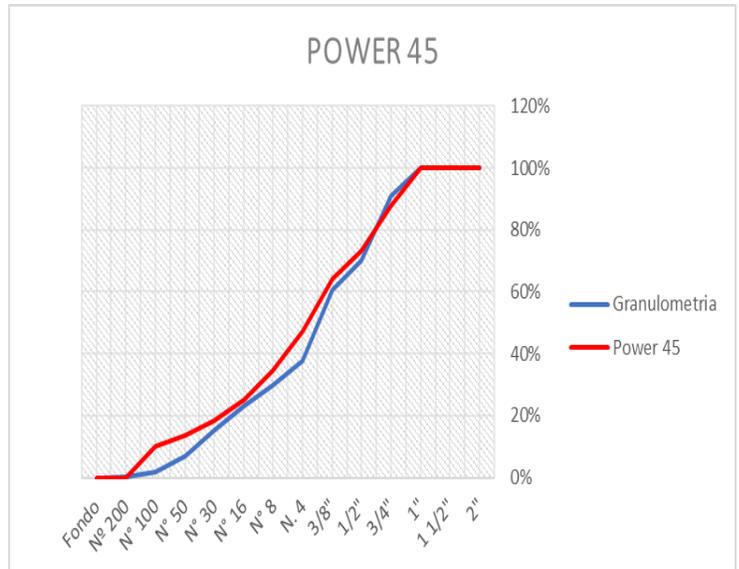


Gráfico 4.59: Porcentajes Retenidos de Power 45

Resultado 4.42: Retenido integral y límites Shilstone

Retenido Integral		Retenido Shilstone	
% Retenido Integral	% Retenido Parcial	%Retenido Superior	%Retenido Inferior
0%	0%	0%	0%
0%	0%	0%	0%
0%	0%	22%	0%
9%	9%	22%	8%
30%	21%	22%	8%
39%	9%	22%	8%
62%	23%	22%	8%
70%	8%	22%	8%
77%	7%	22%	8%
85%	8%	22%	8%
93%	8%	22%	8%
98%	5%	22%	0%
100%	2%	0%	0%
100%	0%	0%	0%

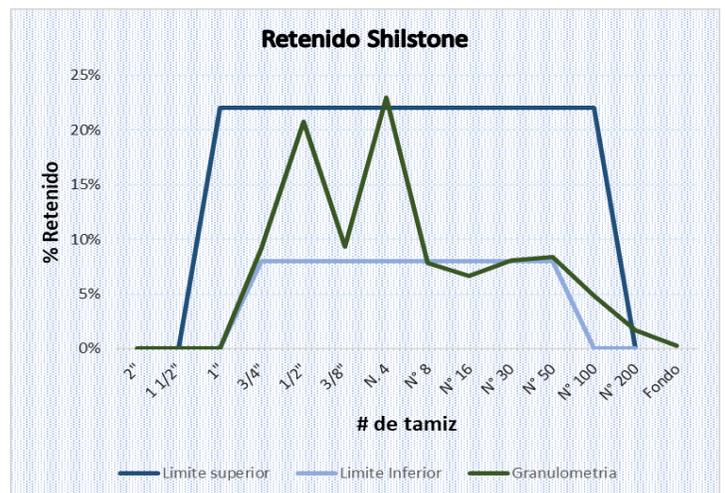


Gráfico 4.60: Retenido integral y límites Shilstone

TABLA 4.36: Combinación granulométrica en grava #57 y #8 con porcentajes de volúmenes para fino 45% y grueso 55%

Tamaño de Tamiz	Abertura de tamiz	AGREGADO FINO				AGREGADO GRUESO				Retenido Integral		Retenido Tarántula	
		45.0%				55.0%				% Retenido Integral	% Retenido Parcial	% Retenido Superior	% Retenido Inferior
		Agregado Fino 1		Agregado Fino 2		Agregado Grueso 1		Agregado Grueso 2					
		75%	25%	91%	9%								
		Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado				
1 1/2"	37.5 mm	0.00	0.0%	0.00	0.00%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%	0%	0%
1"	25.0 mm	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%	16%	0%
3/4"	19.0 mm	0.00	0.0%	0.00	0.0%	2389.60	17.5%	0.00	0.0%	9%	9%	20%	0%
1/2"	12.5 mm	0.00	0.0%	0.00	0.0%	5431.40	57.3%	0.00	0.0%	29%	20%	20%	4%
3/8"	9.5 mm	0.00	0.0%	0.00	0.0%	2442.20	75.1%	0.00	0.0%	38%	9%	20%	4%
N. 4	4.75 mm	12.20	3.1%	30.60	8.0%	3327.40	99.5%	3666.90	89.8%	56%	19%	20%	4%
Nº 8	2.36 mm	33.10	11.4%	125.10	40.5%	44.50	99.8%	337.90	98.1%	63%	7%	12%	0%
Nº 16	1.18 mm	51.60	24.3%	88.40	63.6%	8.50	99.9%	39.40	99.1%	70%	7%	12%	0%
Nº 30	600 µm	98.60	49.0%	57.10	78.4%	4.60	99.9%	19.50	99.5%	80%	10%	20%	4%
Nº 50	300 µm	119.30	78.9%	35.70	87.7%	3.00	99.9%	9.50	99.8%	91%	11%	20%	4%
Nº 100	150 µm	65.90	95.4%	25.50	94.4%	3.00	100.0%	5.50	99.9%	98%	6%	10%	0%
Nº 200	75 µm	15.60	99.3%	18.20	99.1%	3.70	100.0%	3.60	100.0%	100%	2%	2%	0%
Fondo		2.60	100.0%	3.50	100.0%	0.70	100.0%	0.50	100.0%	100%	0%	0%	0%
Sumas		398.90	2.62	384.10	3.73	13658.60		4082.80		59%	40.1%	cemento (kg)	400

FG

FT

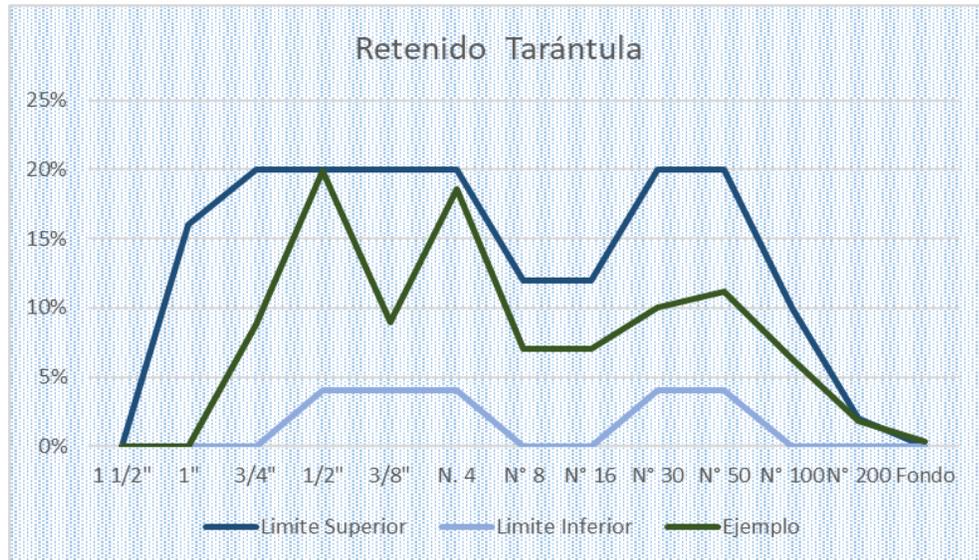


Grafico 4.61: Retenido integral y límites tarántula

<b>Factor de Grosor</b>	<b>59</b>
<b>Factor de Trabajabilidad</b>	<b>40.1</b>

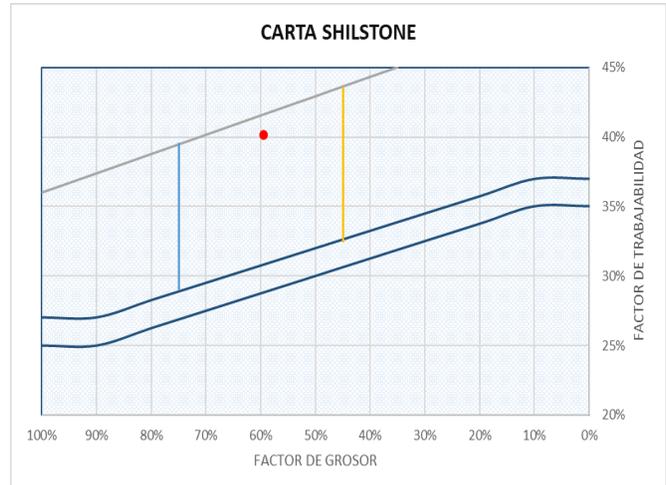


Grafico 4.62: Carta Shilstone con porcentajes de 59% y 40.1 %

Resultado 4.43: Retenido integral y límites de curva Power 45

% Retenido Integral	% Pasa Integral	(d / D) <sup>e</sup>
		e = 0.45
		D = 25.4
		% Grafico Power
0%	100%	100%
0%	100%	100%
0%	100%	100%
8%	91%	88%
27%	69%	73%
36%	59%	64%
53%	44%	47%
61%	38%	34%
68%	31%	25%
79%	21%	18%
91%	9%	14%
98%	2%	10%
100%	0%	0%
100%	0%	0%

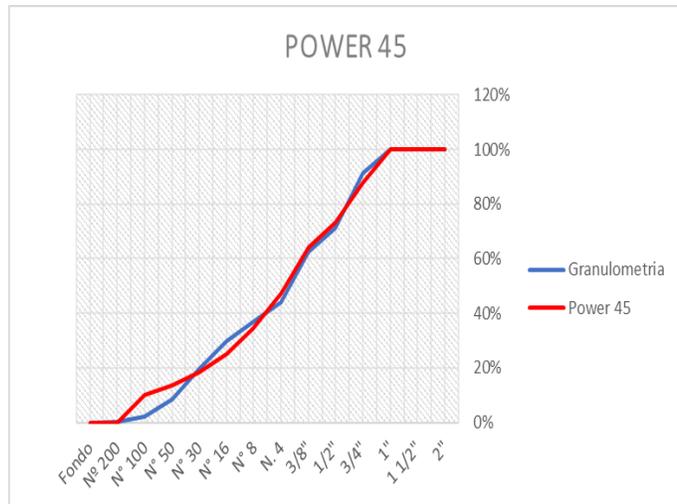


Grafico 4.63: Porcentaje Retenidos de Power 45.

Resultado 4.44: Retenido integral y limites Shilstone

Retenido Integral		Retenido Shilstone	
% Retenido Integral	% Retenido Parcial	%Retenido Superior	%Retenido Inferior
0%	0%	0%	0%
0%	0%	0%	0%
0%	0%	22%	0%
8%	8%	22%	8%
27%	19%	22%	8%
36%	8%	22%	8%
53%	18%	22%	8%
61%	7%	22%	8%
68%	7%	22%	8%
79%	11%	22%	8%
91%	12%	22%	8%
98%	7%	22%	0%
100%	2%	0%	0%
100%	0%	0%	0%

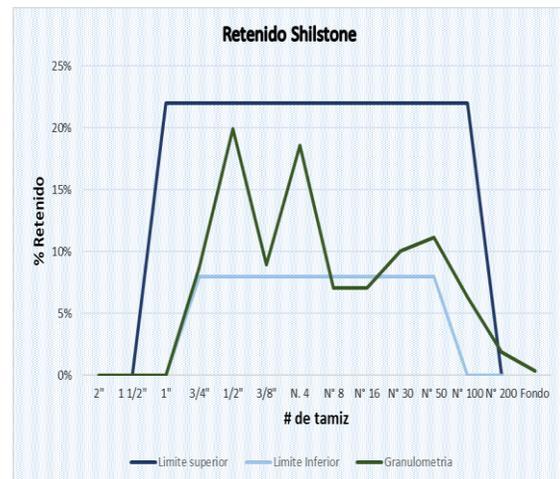


Grafico 4.64: Retenido integral y límites shilstone

Se observa que hay una buena distribución en cuanto se refiere a agregado fino, sin embargo, hay excedente de agregado grueso en las mallas  $\frac{3}{4}$ " y N°4, con lo cual podría generar segregación dentro de las mezclas de concreto y dificultar el acabado final.

A medida que se aumenta el porcentaje de agregados finos y se disminuye el de agregado grueso, los puntos, en el gráfico de la Curva de la Tarántula, se van acomodando dentro de los límites superior e inferior.

De las combinaciones granulométricas anteriores, se escoge para el diseño de mezclas de concreto hidráulico la del porcentaje de volumen de fino de 45%, distribuyéndose en 75% de Arena Natural y 25% de Arena Triturada, y para agregado grueso se utiliza un 55% del volumen, distribuyéndose en 91% de grava #57 y 9% de grava #8. Las mezclas se realizarán en el laboratorio y se le aplicarán los ensayos al concreto fresco (revenimiento y ensayo de la caja) y de los resultados dependerá el ajuste o modificación de los porcentajes para obtener una combinación granulométrica óptima.

En la Carta de Factor de Grosor, se puede ver que las combinaciones caen en la Zona II y algunas con tendencia a la Zona V, que indican una mezcla óptima, pero posee más grueso que finos.

Según Curva Power 45, se muestra una buena distribución granulométrica con mayor cantidad de grueso.

El gráfico de Porcentaje de Retenidos (Shilstone) se muestra con fines comparativos a la gráfica de la Curva de la Tarántula.

### Límites inferior y superior sugeridos para combinación de agregados

Para poder determinar que la mezcla de concreto hidráulico este cumpliendo con los gráficos de Carta de Factor de Grosor, Carta Power 45, Porcentajes Retenidos y Curva de la Tarántula, se ve la necesidad de poder tener un gráfico que guíe más rápido al diseño granulométrico sin necesidad de utilizar fórmulas que conlleven a un porcentaje cercano a la curva de diseño.

Se crea la hoja de cálculo titulado “Combinada” en el libro de Excel el cual incluye la mejor curva granulométrica, tanto para Shilstone como para tarántula. Estos datos se toman de manera teórica, observando que cumplan con los retenidos de ambos, y cumpliendo por Carta de Factor de Grosor y Power 45 a la vez.

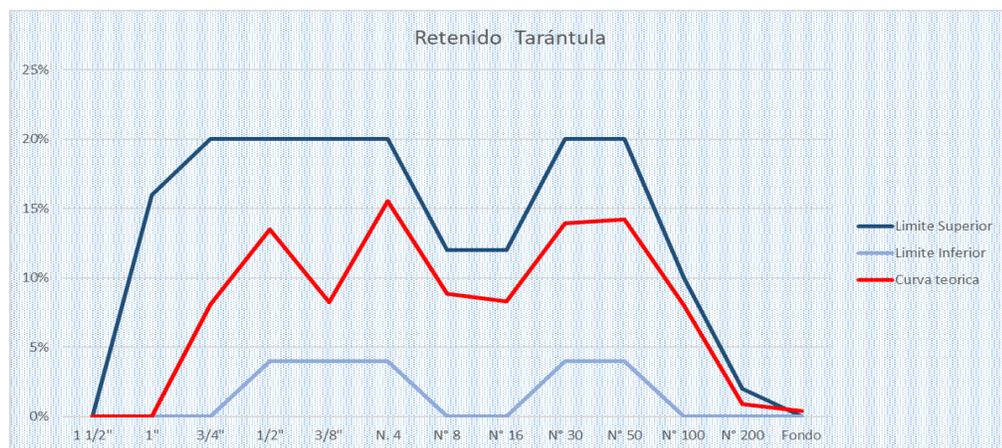


Grafico 4.65: Gráfico con representación teórica de la curva de la tarántula

Se transforma el porcentaje retenido integral de “la curva teórica” de la curva de la Tarántula a porcentaje pasante como se muestra en la tabla, para luego ser representada en la gráfica “Comparación de curva de la tarántula” y se nombra como curva óptima. Con ella se buscará obtener una combinada casi cercana a la línea roja.

Tamaño de tamiz	% Combinado ajustado Tarantula
2"	100%
1 1/2"	99%
1"	91%
3/4"	85%
1/2"	67%
3/8"	58%
N. 4	45%
N° 8	39%
N° 16	31%
N° 30	18%
N° 50	4%
N° 100	1%
N° 200	1%

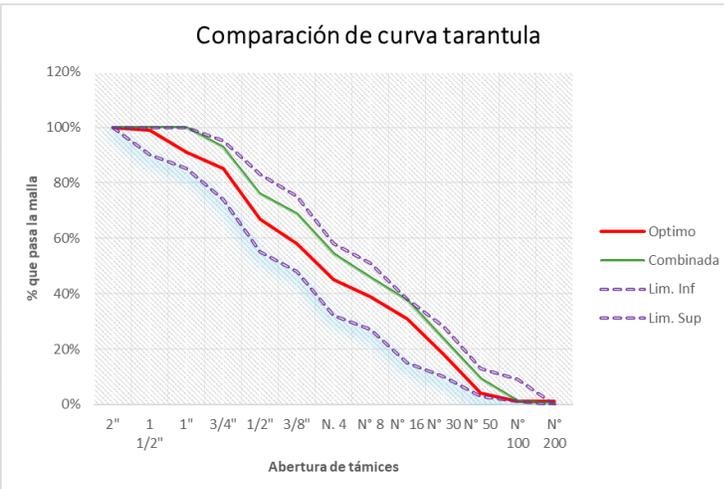


Grafico 4.66: Datos para la conformación de la curva óptima del gráfico de comparación de la curva de la tarántula

A medida la curva combinada se acerque más a la línea óptima, se dice que la combinación granulométrica estará más cerca de cumplir con los parámetros de Curva de la Tarántula, Carta de Factor de Grosor y Power 45. Sin embargo, se muestran dos límites, superior e inferior, que indican que a medida la curva combinada se salga de estos límites, la combinación granulométrica se encuentra

lejos de cumplir con las exigencias de la Curva de la Tarántula y con las otras Cartas.

La tabla siguiente, muestra los datos del gráfico con sus respectivos límites ajustados y transformados a la gráfica de comparación de la Curva de la Tarántula, de esta manera se puede tener la certeza que a medida la curva combinada esté más cerca a la óptima, mayor será la probabilidad de que la combinación cumpla con los parámetros.

Para el caso de la combinación granulométrica de los agregados arena natural, arena triturada, grava #57 y grava #8, se utilizaron los porcentajes de 45% para agregados finos y 55% para agregados gruesos, y como resultado se obtiene la tabla transformada a pasante para la representación de la comparación de la curva.

	<b>33.75%</b>	<b>11.25%</b>	<b>50.050%</b>	<b>4.950%</b>					
Tamaño de tamiz	Agregado fino 1	Agregado fino 2	Agregado grueso 1	Agregado grueso 2	%Combinado que pasa	% Combinado ajustado Tarantula	%Combinado ajustado Shilstone	Lim. Inf	Lim. Sup
2"	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	<b>100.0%</b>	<b>100%</b>	<b>100%</b>	100%	100%
1 1/2"	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	<b>100.0%</b>	<b>99%</b>	<b>100%</b>	90%	100%
1"	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%	<b>100.0%</b>	<b>91%</b>	<b>92%</b>	85%	100%
3/4"	100.0%	100.0%	82.5%	100.0%	<b>91.2%</b>	<b>85%</b>	<b>80%</b>	74%	95%
1/2"	100.0%	100.0%	42.7%	100.0%	<b>71.3%</b>	<b>67%</b>	<b>68%</b>	<b>55%</b>	<b>83%</b>
3/8"	100.0%	100.0%	24.9%	100.0%	<b>62.4%</b>	<b>58%</b>	<b>57%</b>	<b>48%</b>	<b>75%</b>
N. 4	96.9%	92.0%	0.5%	10.2%	<b>43.8%</b>	<b>45%</b>	<b>44%</b>	32%	58%
N° 8	88.6%	59.5%	0.2%	1.9%	<b>36.8%</b>	<b>39%</b>	<b>37%</b>	<b>27%</b>	<b>51%</b>
N° 16	75.7%	36.4%	0.1%	0.9%	<b>29.8%</b>	<b>31%</b>	<b>28%</b>	15%	38%
N° 30	51.0%	21.6%	0.1%	0.5%	<b>19.7%</b>	<b>18%</b>	<b>17%</b>	10%	28%
N° 50	21.1%	12.3%	0.1%	0.2%	<b>8.5%</b>	<b>4%</b>	<b>3%</b>	<b>3%</b>	<b>13%</b>
N° 100	4.6%	5.6%	0.0%	0.1%	<b>2.2%</b>	<b>1%</b>	<b>1%</b>	1%	9%
N° 200	0.7%	0.9%	0.0%	0.0%	<b>0.3%</b>	<b>1%</b>	<b>0%</b>	0%	0%
Fondo	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	<b>0.0%</b>				

TABLA 4.37: Combinación granulométrica de agregado fino 45% y agregado grueso 55%, agregado fino 1: arena natural de Tihuapa, agregado fino 2: arena triturada, agregado grueso 1: grava #57 y agregado grueso 2: grava #8.

Los resultados obtenidos en esta combinación, se muestran en el gráfico siguiente:

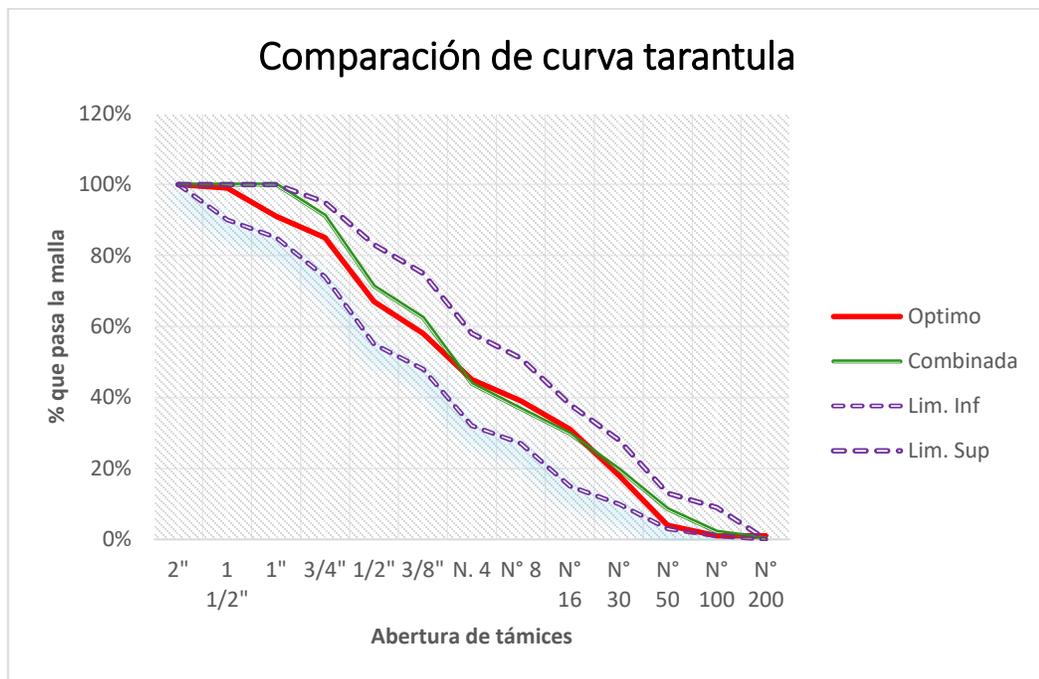


Grafico 4.67: Granulométrica de agregado fino 45% y agregado grueso 55%, agregado fino 1: arena natural de Tihuapa, agregado fino 2: arena triturada, agregado grueso 1: grava #57 y agregado grueso 2: grava #8.

Para el caso de buscar una combinación granulométrica para Porcentajes Retenidos (Shilstone) se tiene la misma tabla, pero con el siguiente gráfico, que funciona igual que para Curva de la Tarántula:

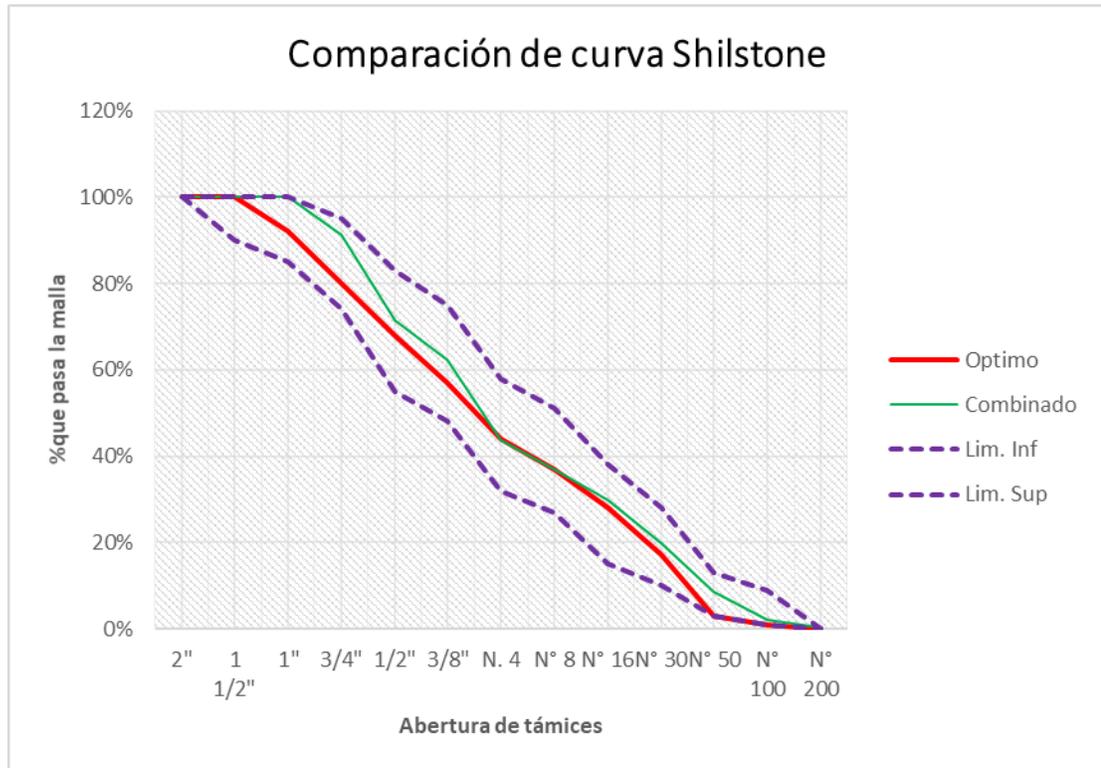


Grafico 4.68: referencia para la combinación Shilstone

#### 4.5. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

Para el trabajo de graduación, se escogió el pavimento rígido “Ampliación de la Carretera CA04S, tramo II: entre km 22.36 (salida sur de Zaragoza) y km 31.86 (inicio By Pass de La Libertad) Estaciones 15+800 a 21+300” de El Salvador. (Unidad de Acceso a la Información Pública del MOP).

Los parámetros que se mantienen constantes son:

TABLA 4.38: Parámetros de diseño. Fuente: Holcim

<b>Requisito</b>	<b>Detalle</b>
Tipo de Cemento	ASTM C1157 Tipo HE
Relación a/c	0.45
Tamaño Nominal de Agregado	Nº57 (25 mm)
Asentamiento en Obra:	Valor
Mínimo	25 mm (1")
Nominal	50 mm (2")
Máximo	75 mm (3")

A continuación, se presentan los datos de la combinación granulométrica del diseño original con 2 agregados gruesos (Grava #57 y Grava #8) y 2 agregados finos (Arena Natural y Arena Triturada) con gráficas de Carta de Factor de Grosor, Porcentaje Retenidos, Power 45 y Curva de la Tarántula

TABLA 4.39: Combinación granulométrica con grava #57, grava #8, Arena Natural y Triturada. Fuente: Holcim y autores del trabajo de graduación

		AGREGADO FINO				AGREGADO GRUESO					
		34.50%				65.50%				cemento (kg)	400
		Agregado Fino 1		Agregado Fino 2		Agregado Grueso 1		Agregado Grueso 2		Retenido Integral	
		60.00%		40.00%		84%		16%		% Retenido Integral	% Retenido Parcial
Tamaño de Tamiz	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	Peso Retenido	% Retenido Acumulado	% Retenido Integral	% Retenido Parcial	
2"	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%	
1 1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%	
1"	0.00	0.0%	0.00	0	0.00	0.0%	0.00	0.0%	0%	0%	
3/4"	0.00	0.0%	0.00	0	2080.00	14.8%	0.00	0.0%	8%	8%	
1/2"	0.00	0.0%	0.00	0	7790.00	70.2%	0.00	0.0%	39%	31%	
3/8"	0.00	0.0%	0.00	0	1830.00	83.3%	31.40	0.8%	46%	7%	
N. 4	12.90	2.9%	16.40	3.53%	2040.00	97.8%	2768.50	75.3%	63%	17%	
N° 8	36.90	11.0%	63.10	17.12%	250.00	99.6%	614.30	91.8%	69%	6%	
N° 16	60.30	24.4%	81.40	34.64%	0.00	99.6%	181.10	96.7%	75%	6%	
N° 30	105.10	47.7%	105.30	57.31%	0.00	99.6%	0.00	96.7%	83%	8%	
N° 50	114.60	73.1%	130.40	85.38%	0.00	99.6%	0.00	96.7%	92%	9%	
N° 100	87.40	92.4%	31.90	92.25%	0.00	99.6%	0.00	96.7%	97%	5%	
N° 200	34.10	100.0%	36.00	100.00%	60.00	100.0%	123.30	100.0%	100%	3%	
Fondo	0.00	100.0%	0.00	100.00%	0.00	100.0%	0.00	100.0%	100%	0%	
<b>TOTAL</b>	<b>451.30</b>	<b>2.51</b>	<b>464.50</b>	<b>2.90</b>	<b>14050.00</b>		<b>3718.60</b>		<b>66%</b>	<b>34.3%</b>	

FG

FT

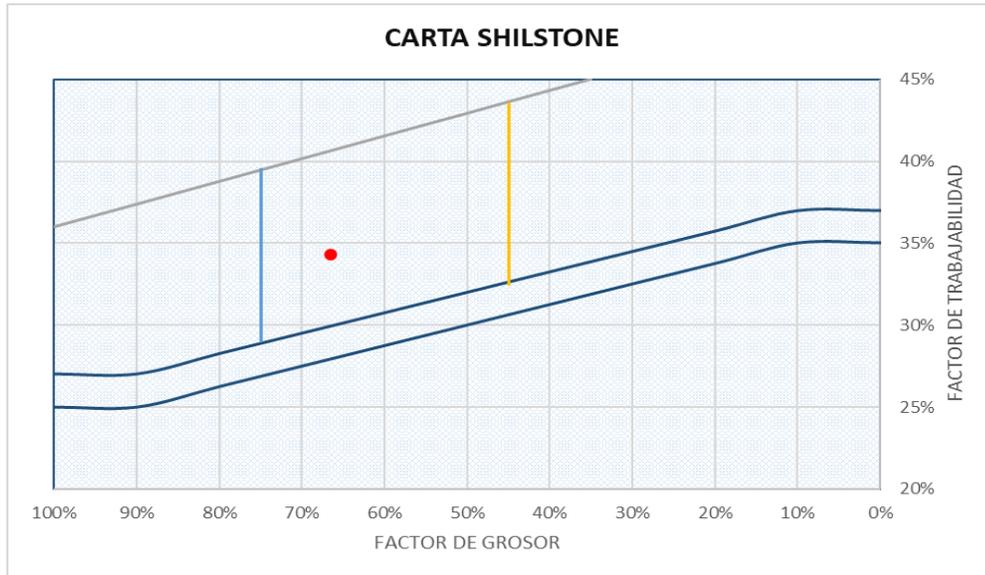


Gráfico 4.69: Carta Shilstone con porcentajes de diseño real

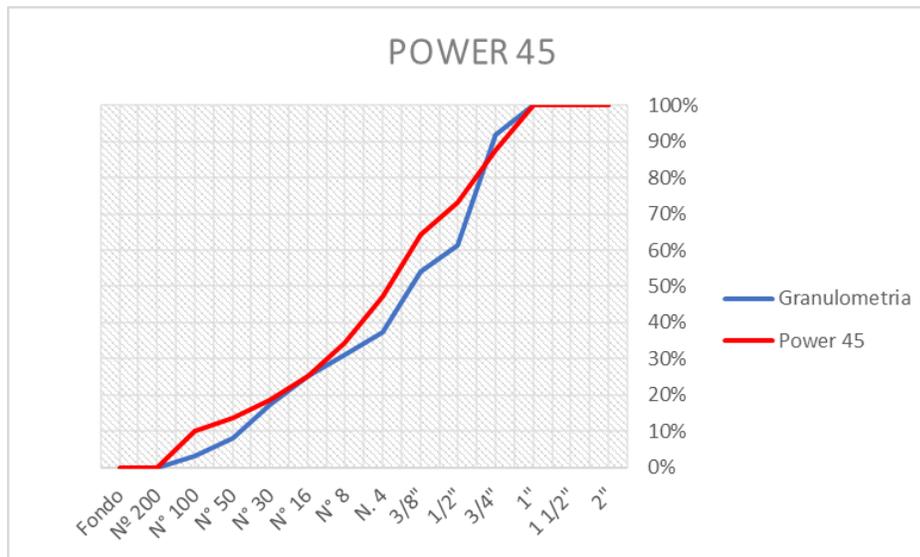


Gráfico 4.70: Power 45 con datos de diseño real

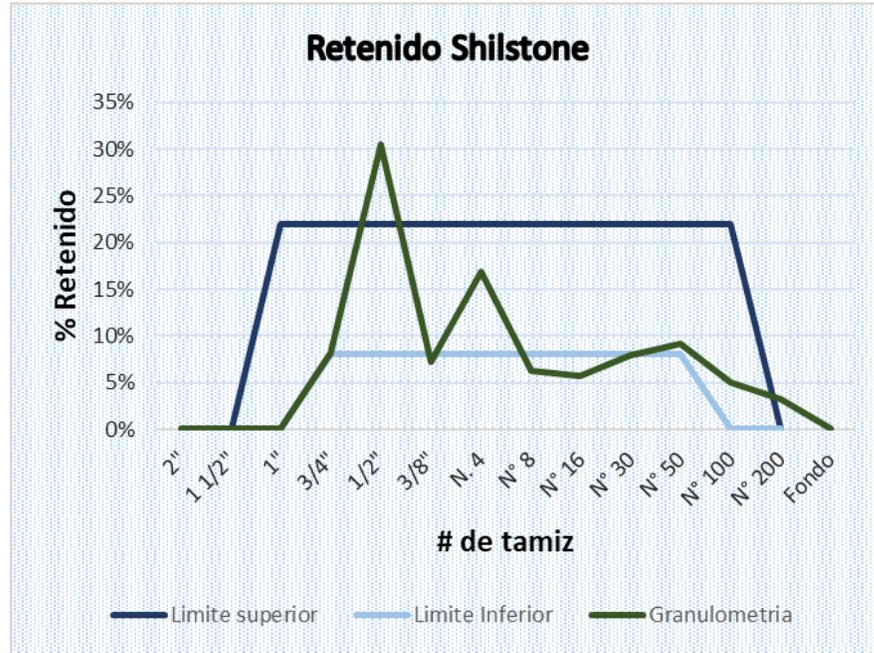


Grafico 4.71: Retenido Shilstone con datos de diseño real

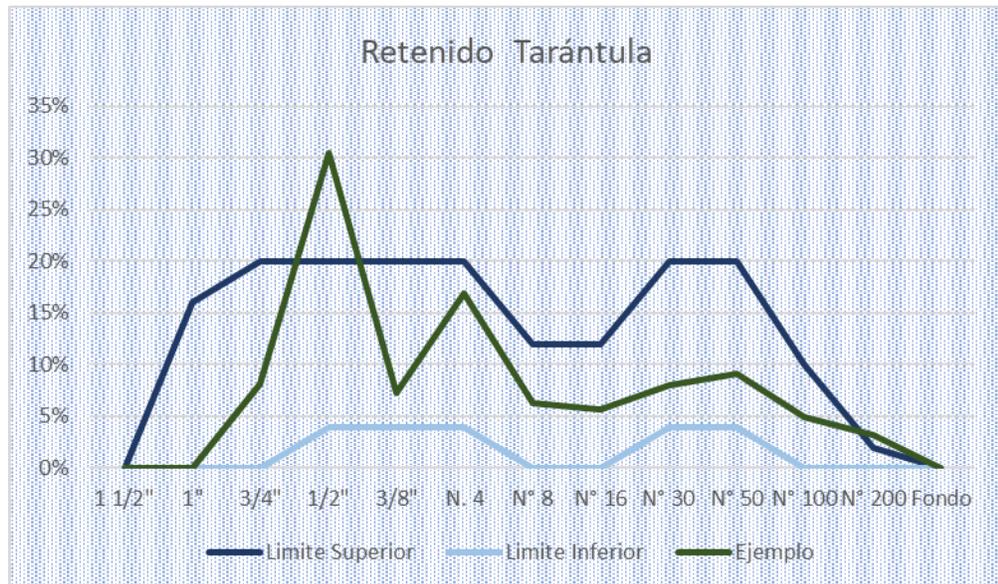


Grafico 4.72: Retenida tarántula con porcentajes de diseño real

Para finalizar, se presenta la información sobre la dosificación final del diseño original para las mezclas de concreto hidráulico para pavimentos:

TABLA 4.40: Dosificación final para diseño de mezclas de concreto hidráulico para pavimentos. Fuente: Holcim

<b>Material</b>	<b>Identificación</b>	<b>Cantidad Final</b>	<b>Unidad</b>
<b>Cemento</b>	C1157 HE	400	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Adición</b>	0	0	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Agua</b>	ANDA	175	L/m <sup>3</sup>
<b>Agregado Fino</b>			
<b>Agregado Fino 1</b>	Arena Natural	360	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Agregado Fino 2</b>	Arena Triturada	240	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Agregado Grueso</b>			
<b>Agregado Grueso 1</b>	Grava #57	950	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Agregado Grueso 2</b>	Grava #8	180	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Aditivos</b>			
<b>Aditivo 1</b>	IMIX RB 928	0.80	L/m <sup>3</sup>
<b>Aditivo 2</b>	Megaflow	2.80	L/m <sup>3</sup>
<b>Fibras</b>			
<b>Fibra 1</b>	Imifiber A	0.50	Kg/m <sup>3</sup>
<b>Sumas</b>		2310	Kg/m <sup>3</sup>

**CAPÍTULO V:**  
**CONCLUSIONES Y**  
**RECOMENDACIONES**

## 5.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo abarca lo referente a conclusiones y recomendaciones de este Trabajo de Graduación y los cuales están íntimamente relacionados con los objetivos de la misma.

Las conclusiones se clasifican de acuerdo con las fases de desarrollo que incluye los ensayos de laboratorio que se realizaron a los agregados para verificar su calidad; así mismo se concluye en lo referente a los porcentajes de agregados y límites granulométricos de Shilstone y Curva de la Tarántula. Debido al COVID-19 no se pudo elaborar las mezclas de concreto y por ende no fue posible realizar las pruebas relacionadas al concreto.

De igual manera se presentan recomendaciones en base a la investigación, a fin de proveer un apoyo para una mejor utilización de la Granulometría Shilstone y recomendaciones granulométricas de la Curva de la Tarántula.

## 5.2 CONCLUSIONES

- Se elaboró una caja de madera y una de metal para realizar ensayos al concreto fresco y observar sus propiedades físicas como respuesta al vibrado, cohesión y volumen de vacíos. Sin embargo, debido a la pandemia del Covid 19 no se llevaron a cabo.
- Se realizaron ensayos para evaluar la calidad de los agregados gruesos y finos que componen las mezclas de concreto, los cuales cumplen con las normas establecidas en esta investigación y hace posible la utilización de estos para la elaboración de los diseños de mezcla de concreto hidráulico para pavimento.
- Al realizar las combinaciones granulométricas, se observa un elevado porcentaje en la malla N°4 y en la malla de  $\frac{1}{2}$ ", provocando que los puntos se encuentren fuera de los límites superior de las gráficas de Porcentaje Retenidos (Shilstone) y Curva de la Tarántula. Sin embargo, la gráfica de Porcentajes Retenidos no es el parámetro final para determinar si un diseño de mezcla de concreto será óptimo, ya que, combinando Carta de Factor de Grosor, gráfico de Porcentajes Retenidos y Curva Power 45, se hace una aproximación del comportamiento de la mezcla de concreto en estado fresco.
- El porcentaje de volumen de agregado grueso y fino que se utiliza en el diseño original es del 65.5% y 34.5% respectivamente. Sin embargo, en las combinaciones granulométricas realizadas por los autores, se aumentó

el porcentaje de volumen del agregado fino a más del 40% y así permitir que todos los puntos se encuentren dentro de los límites Superior e inferior tanto del gráfico de Porcentajes Retenidos como de la Curva de la Tarántula. Un porcentaje tan elevado de agregado fino puede afectar una mezcla de concreto en su trabajabilidad, puede provocar segregación, aumento de la cantidad de agua y por ende la relación agua/cemento, por lo que se requiere utilizar el ensayo de la caja para evaluar las características del concreto en su estado fresco y determinar si la combinación granulométrica es la adecuada.

- La utilización de la herramienta de las hojas electrónicas de EXCEL facilita el desarrollo de las combinaciones de agregados y hace que se tenga una mayor posibilidad de obtener un gran número de diseños. De igual manera se tiene mejor control de las deficiencias que una mezcla de concreto pueda tener debido a las combinaciones de los agregados.

### 5.3 RECOMENDACIONES

- Se recomienda a futuros grupos de estudiantes a darle continuidad a este trabajo de graduación y realizar los diseños de mezclas de concreto hidráulico, sus respectivos ensayos y si es posible, elaborar un tramo de prueba. Quedan a disposición 2 cajas que se elaboraron para los ensayos al concreto fresco, así como los agregados gruesos y finos y los datos del diseño original. Debido a la pandemia Covid 19, se imposibilitó el acceso a la Universidad de El Salvador, por lo que, el trabajo de graduación queda finalizado hasta las posibles combinaciones granulométricas para granulometría Shilstone y Curva de la Tarántula.
- Debido a la pandemia Covid 19, se imposibilitó el acceso a la Universidad de El Salvador, por ende, al laboratorio de Pavimentos, por lo que no se pudieron elaborar las mezclas de concreto hidráulico y sus respectivos ensayos. Como consecuencia, el trabajo de graduación queda finalizado hasta las posibles combinaciones granulométricas para granulometría Shilstone y Curva de la Tarántula para sus respectivos diseños de mezclas de concreto hidráulico. Se invita a futuros grupos de estudiantes a darle continuidad a este trabajo de graduación y realizar los diseños, sus respectivos ensayos y si es posible, elaborar un tramo de prueba. Quedan a disposición 2 cajas que se elaboraron para los ensayos al concreto

fresco, así como los agregados gruesos y finos y los datos del diseño original.

- Hacer una comparación entre las mezclas de concreto ensayadas con las cajas de madera y de acero para determinar de mejor manera las características y diferencias que estas puedan poseer entre una y otra.
- Utilizar la hoja electrónica proporcionada en la investigación para verificar que la combinación de agregados es la correcta y que este instrumento sea utilizado con toda libertad por los estudiantes que retomen la investigación.
- Se recomienda una producción mejorada de granulometrías que faciliten la elaboración de mezclas de concreto hidráulico para pavimentos que se encuentren dentro de los límites de la Curva de la Tarántula, ya que las granulometrías que se utilizan actualmente en el país, dificulta que todos los puntos estén dentro de los límites Superior e Inferior de las granulometrías Shilstone y Curva de la Tarántula.

**REFERENCIAS  
BIBLIOGRÁFICAS**

**LIBROS:**

- Richardson, D. (enero 2005). "Aggregate Gradation Optimization - Literature Search". University of Missouri - Rolla.
- Coronado, J. (noviembre 2002). "Manual Centroamericano para Diseño de Pavimentos". Secretaria de Integración Económica Centroamericana (SIECA).
- Snyder, M. (septiembre 2011). "Guide to Dowel Load Transfer Systems for Joined Concrete Roadway Pavements". Iowa State University.  
<https://rosap.nrl.bts.gov/view/dot/23728>
- Garber, S., Rasmussen, R. & Harrington, D. (agosto 2011). "Guide to Cement-Based Integrated Pavement Solutions". Iowa State University.  
<http://publications.iowa.gov/11903/>
- Harrington, D., Fick, G. (mayo 2014). "Guide to concrete overlays: Sustainable solutions for resurfacing and rehabilitating existing pavements". 3ra edición. National Concrete Pavement Technology Center.  
[https://www.researchgate.net/publication/297762830\\_Guide\\_to\\_Concrete\\_Overlays\\_Sustainable\\_Solutions\\_for\\_Resurfacing\\_and\\_Rehabilitating\\_Existing\\_Pavements\\_3rd\\_edition](https://www.researchgate.net/publication/297762830_Guide_to_Concrete_Overlays_Sustainable_Solutions_for_Resurfacing_and_Rehabilitating_Existing_Pavements_3rd_edition)
- Gross, J., Harrington, D., Wiegand, P. & Cackler, T. (noviembre 2014). *Guidance for improving foundation layers to increase pavement*

*performance on Local Roads*. National Concrete Pavement Technology Center (CPTC). <https://core.ac.uk/reader/38901496>

### **TRABAJOS DE GRADUACIÓN:**

- Abdulkareem, B. (2012). "Optimization of Aggregate Gradation and Concrete Maturity". Oklahoma State University.
- Cook, D., Ghaeezadeh, A., Ley, T. & Russell B. (octubre 2013). "Investigation of Optimize Graded Concrete for Oklahoma - Phase 1". Oklahoma State University.
- Cook, D., Seader, J., Ley, T. & Russell B. (octubre 2015). "Investigation of Optimize Graded Concrete for Oklahoma - Phase 2". Oklahoma State University.
- Díaz, F., Granadeño, F. & Santos, E. (octubre 2013). "Evaluación y Comparación de módulos de ruptura para mezclas de concreto hidráulico utilizados en pavimentos rígidos aplicando granulometría Fuller y Shilstone". Universidad Nacional de El Salvador.
- Anaya, R., Miranda, A. & Quintanilla, E. (abril 2016). "Evaluación de las propiedades mecánicas de diseño de mezclas de concreto hidráulico empleando granulometrías combinadas". Universidad Nacional de El Salvador.

**REVISTA/ARTÍCULO:**

- Dean, A. (10 julio 2018). “Tarantula Curve – Mix Designs & Enhancing Aggregates”. International Society for Concrete Pavements (ISCP). <https://www.concretepavements.org/2018/07/10/website-videos-paper-tarantula-curve-mix-designs-enhancing-aggregates/>
- Taylor, P. (julio 2015). “Blended Aggregates for Concrete Mixture Optimization”. Federal Highway Administration (FHWA). <https://www.fhwa.dot.gov/pavement/concrete/pubs/hif15019.pdf>
- Sarath, D., Ashok, P. (febrero, 2018). “Optimization of Aggregate Gradation and its Effects on Properties of Normal Strength Concrete (M20)”. International Journal for Scientific Research & Development, volumen 6. <http://www.ijserd.com/articles/IJSRDV6I21855.pdf>
- Cramer, S., Hall, M. & Parry, J. (1995). “Effect of Optimized Total Aggregate Gradation on Portland Cement Concrete for Wisconsin Pavements”. Transportation Research Record (1478). pp 100-106. <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1995/1478/1478-013.pdf>
- Ley, T., Cook, D. (octubre 2014). “Aggregate Gradations for Concrete Pavement Mixtures”. Institute for Transportation de Iowa State University. <https://intrans.iastate.edu/app/uploads/2018/08/MAPbriefOctober2014.pdf>
- Shilstone Sr., J. M., Shilstone Jr., J. M. (2002). “Performance-Based Concrete Mixtures and Specifications for today”.

- Castilla, R. (noviembre 2016). “El ABC del concreto autocompactable 50”.  
<https://silo.tips/download/el-abc-del-concreto-autocompactable-50>
- Wang, X., Taylor, P., Yurdakul, E., & Wang, X. (septiembre 2018). “An innovative approach to concrete mixture proportioning”. ACI Materials Journal, N° 115-M68, pp. 749–759.  
[https://www.researchgate.net/publication/326494963\\_An\\_Innovative\\_Approach\\_to\\_Concrete\\_Mixture\\_Proportioning](https://www.researchgate.net/publication/326494963_An_Innovative_Approach_to_Concrete_Mixture_Proportioning)

#### **PAGINA WEB:**

- Ley, T., Cook, D. Aggregate Proportioning and specifications. Tarantula Curve. <https://tarantulacurve.com>
- “Performance - Engineered Mixtures (PEM)”. National Concrete Pavement Technology Center. <https://cptechcenter.org/performance-engineered-mixtures-pem/>
- (junio 2009). “Gradation and Size”. Pavement interactive. <https://pavementinteractive.org/reference-desk/materials/aggregate/gradation-and-size/>

#### **WEBINARS:**

- Taylor, P. (febrero 2015). “Performance Engineered Mixtures” [Webinar]. National Concrete Pavement Technology Center.

- Sheehan, M. “Optimized Gradation for Concrete Paving Mixtures” [Webinar]. National Concrete Pavement Technology Center.
- McMullen, K., Hayes, Ch. (febrero 2018). “Optimized Aggregate Gradation and Mixture Design. Specifications and Spreadsheet” [Webinar]. Wisconsin Concrete Pavement Association.
- Ley, T., Cook, D., Ghaeezadeh, A. “Development of the Tarantula Curve” [Webinar].

#### **VIDEO:**

- Tyler Ley [Usuario]. (17 junio 2018). Tarantula Curve Method and Mix Design [Video]. Youtube. [https://www.youtube.com/watch?v=V-r4-9OcuY&list=PLRq6Z9d0kCT\\_A5z\\_xwSMIt5ta2mGSMpEb](https://www.youtube.com/watch?v=V-r4-9OcuY&list=PLRq6Z9d0kCT_A5z_xwSMIt5ta2mGSMpEb)

#### **COMITÉ:**

- ACI 211.1-91: Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete.

#### **NORMAS:**

- ASTM C 33 “Especificación Estándar de Agregados para Concreto”
- ASTM D 75 “Práctica estándar para Muestreo de Agregados”
- ASTM C702 “Método de Ensayo Estándar para Reducción de Muestras de agregados a Tamaño de Ensayo”

- ASTM C117 “Material más fino que 0.075 mm (malla #200) por lavado del material”
- ASTM C127/C128 “Método de ensayo estándar para Densidad, Gravedad Específica y Absorción de agregados gruesos y finos”
- ASTM C 136 “Método de ensayo estándar para la determinación granulométrica de agregados finos y gruesos”
- AASHTO PP 84-18 “Standard Practice for Developing Performance Engineered Concrete Pavement Mixtures” Appendice X3.

# **ANEXOS**

**ANEXOS A:  
ENSAYOS DE CALIDAD DE LOS AGREGADOS**



**INCONSULT S.A. DE C.V.**  
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO Y FINO  
MÉTODO INC-PT-013 *(Procedimiento Análisis Granulométrico de Agregados)*

Revisión: 0      código: **INC-PT-013-FO1**

**INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO**

PROYECTO: CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES

UBICACIÓN: PLANTA SAN DIEGO, LA LIBERTAD

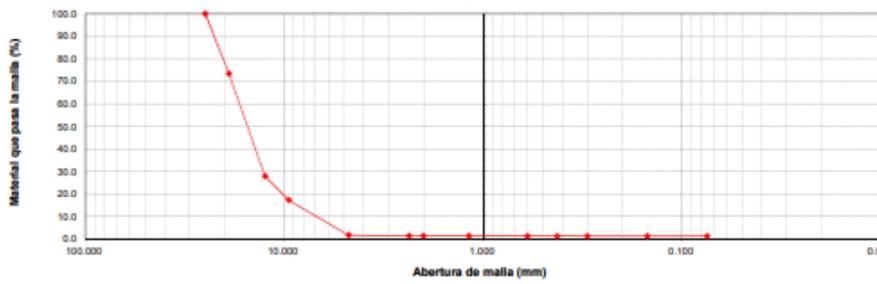
PROCEDENCIA: GRAVA #1 PROCEDENTE DE LA CANTERA, PLANTA SAN DIEGO, LA LIBERTAD

CODIGO DE MUESTRA: 027      SOLICITA: LA CANTERA, S.A. DE C.V.

Peso Bruto(g)	6225.0	Retenido N°4, g	5,866.0	Fecha muestreo	13-ene-2020	% Gravas	98.2	<b>MATERIAL LAVADO (INC-PT-014)</b>	
Tara(g)	252.0	Pasa N° 4, g	107.0	Fecha ensayo	21-ene-2020	% Arenas	0.5	lavado referido, 5895.0	
Humedad, %	0.00	% pasa N° 4	1.8	Realizó	D. Gómez	% Finos	1.3	lavado pasa N° 200, g 78.0	
P. Neto, g	5,973.0			Revisó	Ing. Funes	TOTAL, %	100.0	Finos por lavado, % 1.3	

Malla	Pul.	mm	Material retenido parcial (g)	Material retenido (%)	Retenido acumulado (%)	Material que pasa la malla (%)	Metodo para lavar material		Variables Clasificacion	
							%Humedad (INC-PT-016)			
3"		75.000					Muestra No.	1	D60, mm	
2 1/2"		63.500					Peso Suelo Hum. + Tara, gr	500.0	D30, mm	
2"		50.000					Peso Suelo Seco + Tara, gr	500.0	D10, mm	
1 1/2"		37.500					Peso Tara, gr	200.0	Cc	
1"		25.000				100.0	Agua %	0.00	Cu	
3/4"		19.000	1581.0	26.5	26.5	73.5	Modulo de Finura	6.7	Error%±	0.00
1/2"		12.500	2723.0	45.6	72.1	27.9	<b>CLASIFICACIONES</b>			
3/8"		9.500	636.0	10.6	82.7	17.3	ASTM D 2487:		AASHTO M 145:	
N°.4		4.750	926.0	15.5	98.2	1.8	<b>OBSERVACIONES</b>			
N°.8		2.360	19.0	0.3	98.5	1.5	Tamaño de la muestra de ensayo fue tomada conforme a INC-PT-009 Las mallas utilizadas para el ensayo corresponden a las utilizadas para clasificación de suelos Este formato fue preparado conforme a INC-PT-013-EXT1 Equipo utilizado: Balanza marca: OHAUS, código: INC-EQ-093; Horno eléctrico marca: ELE, código: INC-EQ-050, Tamices verificados, charolas de aluminio, frasco lavador, recipiente plastico para mezclados. Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido parcialmente o totalmente, excepto con autorización previa por escrito de INCONSULT, S.A. de C.V.			
N°.10		2.000	2.0	0.0	98.6	1.4				
N°.16		1.180	2.0	0.0	98.6	1.4				
N°.30		0.600	2.0	0.0	98.6	1.4				
N°.40		0.425	1.0	0.0	98.6	1.4				
N°.50		0.300	1.0	0.0	98.7	1.3				
N° 100		0.150	1.0	0.0	98.7	1.3				
No.200		0.075	1.0	0.0	98.7	1.3				
Fondo			78.0	1.3	100.0	0.0				
Totales			5973.0	100						

**CURVA GRANULOMÉTRICA**





## ENSAYO DE PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS (ASTM D 4791)

PROYECTO: CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES  
 PROCEDENCIA: GRAVA #1 PROCEDENTE DE LA CANTERA, PLANTA SAN DIEGO, LA LIBERTAD  
 ENSAYADO POR: D.Gomez

FECHA DE ENSAYO: 17-01-20  
 CRITERIO DE PLANAS Y ALARGADAS UTILIZADO: 3 EN 1

GRAVA #1

Malla No.		% Retenido parcial según granulometría	# de Partículas a ensayarse total	# de Partículas Planas por fracción	# de Partículas Planas en la muestra	# de Partículas Largas en la muestra	# de Partículas Alargadas en la muestra	Partículas Planas y alargadas en la muestra
3"	75.000							
2 1/2"	63.500							
2"	50.000	0.0						
1 1/2"	37.500	0.0						
1"	25.000	0.0						
3/4"	19.000	26.5						
1/2"	12.500	45.6						
3/8"	9.500	10.6	100	14	1.5%	12	1.3%	2.8%
Nº.4	4.750	15.5						
Nº.8	2.360	0.3						
Nº.10	2.000	0.0						
Nº.16	1.180	0.0						
Nº.30	0.600	0.0						
Nº 40	0.425	0.0						
Nº 50	0.300	0.0						
Nº 100	0.150	0.0						
No.200	0.075	0.0						
Fondo								
Totales								2.8%

  
 Ing. Nelson Alberto Funes Monroy  
 Gerente Técnico

ingenieros consultores  
 asociados s.a. de c.v.



**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**ENSAYOS DE SANIDAD UTILIZANDO SULFATO DE SODIO ( ASTM C 88 - 91, AASHTO T 104-99 )**

PROYECTO: **CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES**

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA: GRAVA #1 PROCEDENTE DE LA CANTERA, PLANTA SAN DIEGO, LA LIBERTAD

FECHAS: Ingreso **30-ene-20** Realizó: **D.Gomez**  
 Final de ensayo **04-feb-20** Revisó: **Ing.Funes**

**EXAMEN CUANTITATIVO**

Tamaño de la malla		Granulometría original de la muestra, % R.Parcial	Peso de la fracción de ensayo antes del ensayo, g	Peso de la fracción de ensayo después del ensayo, g	% que pasa la malla designada después del ensayo	Porcentaje en pérdida de peso
mm	Nº					

**ENSAYO DE SANIDAD DE AGREGADO GRUESO**

<4.75	<N°8					
9.5 a 4.75	3/8" a N° 4	15.5	300	298.4	0.53	0.08
12.5 a 9.5	1/2" a 3/8"	10.6	331.4	330.4	0.30	0.03
19.0 a 12.5	3/4" a 1/2"	45.6	501.9	500.7	0.24	0.11
25.0 a 19.0	1" a 3/4"	26.5	1000	990.3	0.97	0.26
37.5 a 25.0	1 1/2" a 1"	---	---	---	---	---
50.0 a 37.5	2" a 1 1/2"	---	---	---	---	---

**PERDIDA TOTAL DESPUES DE 5 CICLOS, %: 0.48**

SANIDAD EN SULFATO DE SODIO

Gs. SOLUCIÓN: **1.166**

Nota: Este ensayo aplica para grava #3, grava #2, grava 3/4", grava 1/2", grava 3/8"

  
 Ing. Nelson Alberto Funes Monroy  
 Gerente Técnico

Ingenieros consultores  
asociados s.a. de c.v.



**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE AGREGADOS, ASTM C127, T-85-1**

PROYECTO: **CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES**

SOLICITA: **LA CANTERA, S.A. DE C.V.**

Estacion:

Lateral: ---  
 Revisó: Ing. Funes

Realizó: C.Meja

**GRAVA #1**

Especimen No.	Procedencia	Peso Seco (g)	Peso Sumergido (g)	Peso SSS (g)	Porcentaje de Absorcion	Gravedad Especifica Seca	Gravedad Especifica SSS	Fecha Ensayo
1	GRAVA #1 PROCEDENTE DE LA CANTERA, PLANTA SAN DIEGO, LA LIBERTAD	4853.0	3044.0	4955	2.10	2.540	2.593	31-ene-20

Nota: Este ensayo aplica para el ensayo de grava #3, grava #2, grava 3/4", grava 1/2", grava 3/8"

  
 Ing. Nelson Alberto Funes Monroy  
 Gerente Técnico

Ingenieros consultores  
asociados s.a. de c.v.



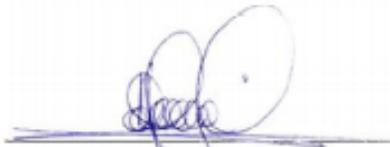
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES  
DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE DESGASTE  
ASTM C-535**

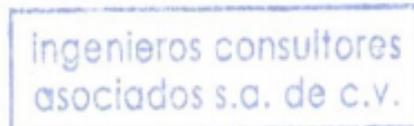
SOLICITA: LA CANTERA, S.A. DE C.V.  
 PROYECTO: CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES  
 RECEPCIÓN: 13 de enero de 2020

MUESTRA No.	<b>1</b>
GRAVA:	<b>#1</b>
PROCEDENCIA	<b>LA CANTERA, PLANTA SAN DIEGO, LA LIBERTAD</b>
ENSAYO DE GRADUACIÓN	<b>"3"</b>
PESO INICIAL grs.	<b>5,015</b>
PESO RETENIDO MALLA #12 grs.	<b>3,952</b>
DIFERENCIA grs.	<b>1063</b>
% DE DESGASTE	<b>21.2</b>

OBSERVACIONES: Muestreo realizado por el interesado en **LA CANTERA, PLANTA SAN DIEGO, LA LIBERTAD.**

Nota: Este ensayo aplica para grava #3, grava #2, grava 3/4", grava 1/2", grava 3/8"

  
 Ing. Nelson Alberto Funes Monroy  
 Gerente Técnico

  
 ingenieros consultores  
 asociados s.a. de c.v.





## ENSAYO DE PARTICULAS PLANAS Y ALARGADAS (ASTM D 4791)

PROYECTO: CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES  
 PROCEDENCIA: GRAVA 3/8" PROCEDENTE DE LA CANTERA, PLANTA SAN DIEGO, LA LIBERTAD  
 ENSAYADO POR: D. Gomez

FECHA DE ENSAYO: 17-01-20  
 CRITERIO DE PLANAS Y ALARGADAS UTILIZADO: 3 EN 1

GRAVA 3/8"

Malla No.		% Retenido parcial según granulometría	# de Partículas a ensayarse total	# de Partículas Planas por fracción	# de Partículas Planas en la muestra	# de Partículas Largas en la muestra	# de Partículas Alargadas en la muestra	Partículas Planas y alargadas en la muestra
3"	75.000							
2 1/2"	63.500							
2"	50.000	0.0						
1 1/2"	37.500	0.0						
1"	25.000	0.0						
3/4"	19.000	0.6						
1/2"	12.500	0.0						
3/8"	9.500	0.0						
Nº.4	4.750	92.0	100	17	15.6%	11	10.1%	25.8%
Nº.8	2.360	5.4						
Nº.10	2.000	0.2						
Nº.16	1.180	0.4						
Nº.30	0.600	0.3						
Nº.40	0.425	0.1						
Nº.50	0.300	0.0						
Nº.100	0.150	0.1						
No.200	0.075	0.1						
Fondo								
<b>Totales</b>								<b>25.8%</b>

  
 Ing. Nelson Alberto Funes Monroy  
 Gerente Técnico

ingenieros consultores  
 asociados s.a. de c.v.



**INCONSULT S.A. DE C.V.**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO Y FINO**  
**MÉTODO INC-PT-013 (Procedimiento Análisis Granulométrico de Agregados)**

Revisión: 0

código: INC-PT-013-FO1

**INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO**

PROYECTO: CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES

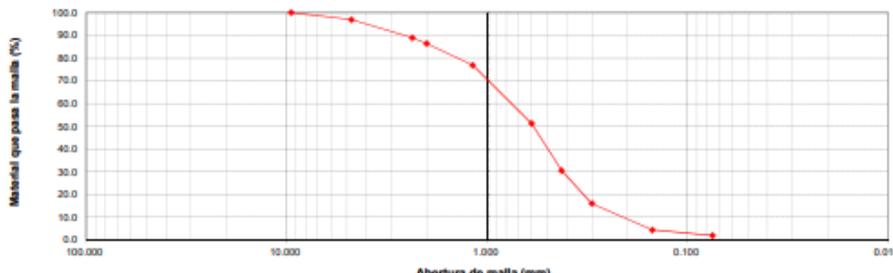
UBICACIÓN: PLANTA TIHUAPA, LA LIBERTAD

PROCEDENCIA: ARENA NATURAL PROCEDENTE DE LA CANTERA, PLANTA TIHUAPA, LA LIBERTAD

CODIGO DE MUESTRA: 033 SOLICITA: LA CANTERA, S.A. DE C.V.

Peso Bruto(g)	1635.6	Retenido Nº4, g	41.3	Fecha muestreo	13-ene-2020	% Gravos	3.1	<b>MATERIAL LAVADO (INC-PT-014)</b>	
Tara(g)	250.0	Pasa Nº 4, g	1,302.8	Fecha ensayo	21-ene-2020	% Arenas	95.0	lavado retenido, g 1318.1	
Humedad, %	3.09	% pasa Nº 4	96.9	Realizó	D. Gómez	% Finos	1.9	lavado pasa Nº 200, g 26.0	
P. Neto, g	1,344.1			Revisó	Ing. Funes	TOTAL, %	100.0	Finos por lavado, % 1.9	
Malla		Material retenido parcial (g)	Material retenido (%)	Retenido acumulado (%)	Material que pasa la malla (%)	Metodo para lavar material		Variables Clasificación	
Pul.	mm					%Humedad (INC-PT-014)			
3"	75.000					Muestra No.	1	D60, mm	
2 1/2"	63.500					Peso Suelo Hum. + Tara, gr	480.7	D30, mm	
2"	50.000					Peso Suelo Seco + Tara, gr	467.8	D10, mm	
1 1/2"	37.500					Peso Tara, gr	50.0	Cc	
1"	25.000					Agua %	3.09	Cu	
3/4"	19.000					Modulo de Finura:	2.7	Emax%	0.00
1/2"	12.500					<b>CLASIFICACIONES</b>			
3/8"	9.500				100.0	ASTM D 2487:		AASHTO M 145:	
Nº.4	4.750	41.3	3.1	3.1	96.9	<b>OBSERVACIONES</b>			
Nº.8	2.360	107.5	8.0	11.1	88.9	Tamaño de la muestra de ensayo fue tomada conforme a INC-PT-009 Las mallas utilizadas para el ensayo corresponden a las utilizadas para clasificación de suelos Este formato fue preparado conforme a INC-PT-013-EXT1 Equipo utilizado: Balanza marca: OHAUS, código: INC-EQ-093; Horno eléctrico marca: ELE, código: INC-EQ-050, Tamices verificados, charolas de aluminio, frasco lavador, recipiente plastico para mezclado. Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido parcialmente o totalmente, excepto con autorización previa por escrito de INCONSULT, S.A. de C.V.			
Nº.10	2.000	34.4	2.6	13.6	86.4				
Nº.16	1.180	127.5	9.5	23.1	76.9				
Nº.30	0.600	344.5	25.6	48.7	51.3				
Nº.50	0.300	195.7	14.6	84.0	16.0				
Nº 100	0.150	156.4	11.6	95.7	4.3				
No.200	0.075	32.4	2.4	98.1	1.9				
Fondo		26.0	1.9	100.0	0.0				
Totales		1344.1	100						

**CURVA GRANULOMÉTRICA**





**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**ENSAYOS DE SANIDAD UTILIZANDO SULFATO DE SODIO ( ASTM C 88 - 91, AASHTO T 104-99 )**

PROYECTO: **CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES**

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA: **ARENA NATURAL PROCEDENTE DE LA CANTERA, PLANTA TIHUAPA, LA LIBERTAD**

FECHAS: Ingreso **30-ene-20** Realizó: **D.Gomez**  
 Final de ensayo **04-feb-20** Revisó: **Ing.Funes**

**EXAMEN CUANTITATIVO**

Tamaño de la malla		Granulometría original de la muestra, % R.Parcial	Peso de la fracción de ensayo antes del ensayo, g	Peso de la fracción de ensayo después del ensayo, g	% que pasa la malla designada después del ensayo	Porcentaje en pérdida de peso
mm	Nº					

SANIDAD EN SULFATO DE SODIO

Gs. solución: **1.166**

ENSAYO DE SANIDAD DE AGREGADO FINO						
<0.150	<Nº100	---	---	---	---	---
0.300 a 0.150	Nº 50 a Nº 100	11.6	100	98.6	1.40	0.16
0.600 a 0.300	Nº 30 a Nº 50	35.3	100	85.8	14.20	5.01
1.800 a 0.600	Nº 16 a Nº 30	25.6	100	94.4	5.60	1.43
2.360 a 1.180	Nº 8 a Nº 16	12.1	100	92.4	7.60	0.92
4.750 a 2.360	Nº 4 a Nº 8	8	100	90.5	9.50	0.76
9.500 a 4.750	Nº 3/8 a Nº 4					
<b>PERDIDA TOTAL, % :</b>						<b>8.29</b>

SANIDAD EN SULFATO DE SODIO

Gs. solución: **1.166**

Ing. Nelson Alberto Funes Munroy  
 Gerente Técnico

Ingenieros consultores  
asociados s.a. de c.v.



**INCONSULT S.A. DE C.V.**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE AGREGADOS FINOS ( ASTM C 128 )**

PROYECTO: **CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES**

SOLICITA: **LA CANTERA S.A. DE C.V.**

Estación:

Lateral: ---  
Revisó: Ing. Funes

Realizó: C.Meja

MATERIAL:

Gs bulk (s) 23/23°C = A / (B-S-C)  
 Gs bulk (sss) 23/23°C = S / (B-S-C)  
 Gs ap., 23/23°C = A / (B-A-C)  
 Absorción, % = [(S-A) / A] \* 100

En donde:  
 A : Peso seco al horno, g  
 B : Peso del picnómetro lleno con agua a la temperatura de ensayo, g  
 S : Peso de la muestra en condición SSS, g  
 C : Peso del picnómetro + agua + muestra hasta la marca de aflojo, g

TEMP. DE ENSAYO, °C : 23  
 Gs agua a temp. De ensayo 0.997077

Especimen No.	Procedencia	Peso Seco (g), A	Peso picnom+agua (g), B	Peso Mosa (g), S	Peso pic+agua+Mosa (g), C	Absorción, %	Gs bulk (s) 25/25°C	Gs bulk (sss) 25/25°C	Gs ap., 25/25°C	Fecha Ensayo
1	ARENA NATURAL PROCEDENTE DE LA CANTERA, PLANTA TIHUAPA, LA LIBERTAD	484.1	1278.9	500	1577.10	3.3	2.399	2.478	2.604	30 ene-20
2		484.6	1278.9	500	1576.80	3.2	2.398	2.474	2.596	
<b>PROMEDIO</b>						<b>3.2</b>	<b>2.398</b>	<b>2.478</b>	<b>2.600</b>	

**OBSERVACIONES**

Tamaño de la muestra fue tomada conforme al requerimiento de la sección 7 de la norma ASTM C128

Equipo utilizado: Balanza marca OHAUS, modelo: SN, código: EQ-INC-0001; Horno eléctrico marca QUINCY LAB, modelo: 21-350E, código: EQ-INC-0020; Picnómetro para uso con procedimiento gravimétrico de 500 cm<sup>3</sup> de capacidad. Mide cónico de chapa de 0.8 mm espesor mínimo y 40 ± 3 mm de diámetro inferior en su base menor, 90 ± 3 mm de diámetro inferior en una base mayor y 75 ± 3 mm de altura, pison con una masa de 340 ± 15 g y terminado en uno de sus extremos en una superficie plana para el apisonado de 25 ± 3 mm de diámetro.

Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido parcialmente o totalmente, excepto con autorización previa por escrito de INCONSULT, S.A. de C.V.



**INCONSULT S.A. DE C.V.**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADO GRUESO Y FINO**  
**MÉTODO INC-PT-013 (Procedimiento Análisis Granulométrico de Agregados)**

Fecha de aprobación: 02/01/2019 Revisión: 0 código: INC-PT-013-FO1

**INFORME DE ENSAYO DE LABORATORIO**

PROYECTO: CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES

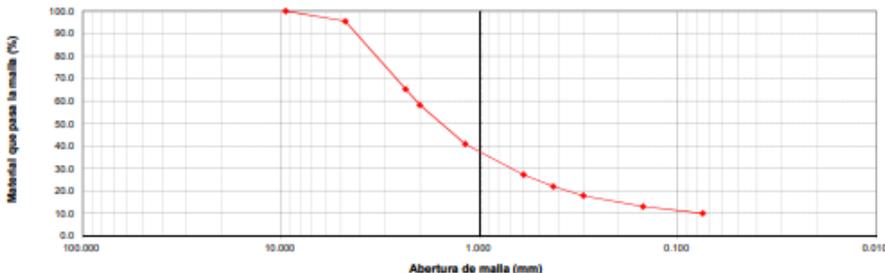
UBICACIÓN: PLANTA SAN DIEGO, LA LIBERTAD

PROCEDENCIA: ARENA TRITURADA PROCEDENTE DE LA CANTERA, PLANTA SAN DIEGO, LA LIBERTAD

CODIGO DE MUESTRA: 032 SOLICITA: LA CANTERA, S.A. DE C.V.

Peso Bruto(g)	1836.4	Retenido Nº4, g	71.3	Fecha muestreo	13-ene-2020	% Gravas	4.5	<b>MATERIAL LAVADO (INC-PT-014)</b>	
Tara(g)	251.3	Pasa Nº 4, g	1,513.8	Fecha ensayo	21-ene-2020	% Arenas	85.5	lavado retenido, g	1426.2
Humedad, %	0.00	% pasa Nº 4	95.5	Realizó	D. Gómez	% Finos	10.0	lavado pasa Nº 200, g	158.9
P. Neto, g	1,585.1			Revisó	Ing. Funes	TOTAL, %	100.0	Finos por lavado, %	10.0
Malla		Material retenido parcial (g)	Material retenido (%)	Retenido acumulado (%)	Material que pasa la malla (%)	Método para lavar material			
Pul.	mm					%Humedad (INC-PT-014)		Variables Clasificación	
3"	75.000					Muestra No.	1	D60, mm	
2 1/2"	63.500					Peso Suelo Hum. + Tara, gr	500.0	D30, mm	
2"	50.000					Peso Suelo Seco + Tara, gr	500.0	D10, mm	
1 1/2"	37.500					Peso Tara, gr	145.7	Cc	
1"	25.000					Agua %	0.00	Cu	
3/4"	19.000					Modulo de Finura:	3.4	tra%*	0.00
1/2"	12.500					<b>CLASIFICACIONES</b>			
3/8"	9.500				100.0	<b>ASTM D 2487:</b>		<b>AASHTO M 145:</b>	
Nº.4	4.750	71.3	4.5	4.5	95.5	<b>OBSERVACIONES</b>			
Nº.8	2.360	478.7	30.2	34.7	65.3	Tamaño de la muestra de ensayo fue tomada conforme a INC-PT-009 Las mallas utilizadas para el ensayo corresponden a las utilizadas para clasificación de suelos Este formato fue preparado conforme a INC-PT-013-EXT1 Equipo utilizado: Balanza marca: OHAUS, código: INC-EQ-093; Horno eléctrico marca: ELE, código: INC-EQ-050, Tamices verificados, charolas de aluminio, frasco lavador, recipiente plastico para mezclada. Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido parcialmente o totalmente, excepto con autorización previa por escrito de INCONSULT, S.A. de C.V.			
Nº.10	2.000	112.4	7.1	41.8	58.2				
Nº.16	1.180	274.6	17.3	59.1	40.9				
Nº.30	0.600	216.2	13.6	72.8	27.2				
Nº.40	0.425	82.6	5.2	78.0	22.0				
Nº.50	0.300	65.0	4.1	82.1	17.9				
Nº 100	0.150	77.2	4.9	86.9	13.1				
No.200	0.075	48.2	3.0	90.0	10.0				
Fondo		158.9	10.0	100.0	0.0				
Totales		1585.1	100						

**CURVA GRANULOMÉTRICA**





**INCONSULT S.A. DE C.V.**  
**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**

**ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCION DE AGREGADOS FINOS ( ASTM C 128 )**

PROYECTO: **CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES**

SOLICITA: **LA CANTERA S.A. DE C.V.**

Estación:

Lateral: ---  
Revisó: Ing. Funes

Realizó: C.Meja

**MATERIAL:**

Gs bulk (s) 23/23°C = A / (B+S-C)  
Gs bulk (sss) 23/23°C = S / (B+S-C)  
Gs ap. 23/23°C = A / (B+A-C)  
Absorción, % = [(S-A) / A] \* 100

En donde:  
A: Peso seco al horno, g  
B: Peso del picnómetro lleno con agua a la temperatura de ensayo, g  
S: Peso de la muestra en condición SSS, g  
C: Peso del picnómetro + agua + muestra hasta la marca de aforo, g

TEMP. DE ENSAYO, °C: 23  
Gs agua a temp. De ensayo 0.997077

Expecimen No.	Procedencia	Peso Seco (g), A	Peso picnom+agua (g), B	Peso Mss (g), S	Peso pic+agua-Mss (g), C	Absorción, %	Gs bulk (s) 25/25°C	Gs bulk (sss) 25/25°C	Gs ap., 25/25°C	Fecha Ensayo
1	ARENA TRITURADA PROCEDENTE DE LA CANTERA, PLANTA SAN DIEGO, LA LIBERTAD	486.0	1278.9	500	1582.10	2.9	2.470	2.541	2.659	29-ene-20
2		485.6	1278.9	500	1581.70	3.0	2.462	2.535	2.656	
<b>PROMEDIO</b>						<b>2.9</b>	<b>2.466</b>	<b>2.538</b>	<b>2.658</b>	

OBSERVACIONES: Nota: Este ensayo aplica para el ensayo de Grava 0 y Arena Triturada

Tamaño de la muestra fue tomada conforme al requerimiento de la sección 7 de la norma ASTM C128

Equipo utilizado: Balanza marca: OHAUS, modelo: S/N, código: EQ-INC-0001; Horno eléctrico marca: QUINCY LAB, modelo: 21-350E, código: EQ-INC-0020. Picnómetro para uso con procedimiento gravimétrico de 500 cm3 de capacidad, Molde conico de chapa de 0.8 mm espesor mínimo y 40 ± 3 mm de diámetro interior en su base menor, 90 ± 3 mm de diámetro interior en una base mayor y 75 ± 3 mm de altura, pison con una masa de 340 ± 15 g y terminado en uno de sus extremos en una superficie plana para el apisonado de 25 ± 3 mm de diámetro.

Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido parcialmente o totalmente, excepto con autorización previa por escrito de INCONSULT, S.A. de C.V.



**LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES**  
**ENSAYOS DE SANIDAD UTILIZANDO SULFATO DE SODIO ( ASTM C 88 - 91, AASHTO T 104-99 )**

PROYECTO **CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES**

IDENTIFICACION DE LA MUESTRA : ARENA TRITURADA PROCEDENTE DE LA CANTERA, PLANTA SAN DIEGO, LA LIBERTAD

FECHAS : Ingreso 30-ene-20 Realizó: D.Gomez  
Final de ensayo 04-feb-20 Revisó: Ing.Funes

**EXAMEN CUANTITATIVO**

Tamaño de la malla		Granulometría original de la muestra, % R.Parcial	Peso de la fracción de ensayo antes del ensayo, g	Peso de la fracción de ensayo después del ensayo, g	% que pasa la malla designada después del ensayo	Porcentaje en pérdida de peso
mm	Nº					

SANIDAD EN SULFATO DE SODIO

Gs. SOLUCIÓN: **1.166**

ENSAYO DE SANIDAD DE AGREGADO FINO						
<0.150	<Nº100	---	---	---	---	---
0.300 a 0.150	Nº 50 a Nº 100	6.5	100	90	10.00	0.65
0.600 a 0.300	Nº 30 a Nº 50	9.3	100	90.7	9.30	0.86
1.800 a 0.600	Nº 16 a Nº 30	13.6	100	91.2	8.80	1.20
2.360 a 1.180	Nº 8 a Nº 16	24.4	100	91.5	8.50	2.07
4.750 a 2.360	Nº 4 a Nº 8	30.2	100	87.1	12.90	3.90
9.500 a 4.750	Nº 3/8 a Nº 4					
<b>PERDIDA TOTAL, % :</b>						<b>8.68</b>

SANIDAD EN SULFATO DE SODIO

Gs. SOLUCIÓN: **1.166**

Nota: Este ensayo aplica para el ensayo de Grava 0 y Arena Triturada

Ing. Nelson Alberto Funes Munroy  
 Gerente Técnico

Ingenieros consultores  
asociados s.a. de c.v.

**ANEXOS B:**

**ENSAYOS DE CALIDAD DE LOS AGREGADOS**



imagen 1 Visita a La Cantera SA de CV



imagen 2 Trabajo de laboratorio



imagen 3 Caja de madera y caja de metal para "Ensayo de La Caja"