

**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERIA  
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TEMA:**

**“Diseño Marshall de una mezcla asfáltica con adiciones de  
fibras metálicas”**

**AUTOR:**

**Flor León, Juliana Andrea**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de  
Ingeniera Civil**

**TUTOR:**

**De La Pared Condo, Daniel**

**Guayaquil, Ecuador**

**10 de marzo del 2021**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Flor León, Juliana Andrea**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniera civil**.

**Flor León Juliana Andrea**

f. \_\_\_\_\_  
**De La Pared Condo, Daniel Boanerges**

f. \_\_\_\_\_  
**Alcívar Bastidas, Stefany Esther**

f. \_\_\_\_\_  
**Flor León, Juliana Andrea**

**Guayaquil, a los 10 del mes de marzo del año 2021**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

**FACULTAD DE INGENIERIA  
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Flor León, Juliana Andrea**

### **DECLARO QUE:**

El Trabajo de Titulación, “**Diseño Marshall de una mezcla asfáltica con adiciones de fibras metálicas**” previo a la obtención del título de **Ingeniera Civil** ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 10 del mes de marzo del año 2021**

f. \_\_\_\_\_  
**Flor León, Juliana Andrea**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL  
**FACULTAD DE INGENIERIA**  
**CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

## **AUTORIZACIÓN**

Yo, **Flor León, Juliana Andrea**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación **Diseño Marshall de una mezcla asfáltica con adiciones de fibras metálicas, Diseño Marshall de mezclas asfálticas con adiciones de fibras metálicas**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 10 del mes de marzo del año 2021**

f. \_\_\_\_\_  
**Flor León, Juliana Andrea**

## Urkund Analysis Result

**Analysed Document:** JULIANA\_FLOR\_FINAL.doc (D96383233)  
**Submitted:** 2/24/2021 12:15:00 AM  
**Submitted By:** claglas@hotmail.com  
**Significance:** 3 %

### Sources included in the report:

TRABAJO TITULACION KARLA AYALA Y JOEL HEREDIA.docx (D55118458)  
<http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/239>  
[http://www.corsan.com.mx/productos/view.php?id=7&s=asfalto-ac-20Ecuador,](http://www.corsan.com.mx/productos/view.php?id=7&s=asfalto-ac-20Ecuador)  
<http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/2079/1/>  
Aplicacion\_del\_metodo\_marshall\_y\_granulometria\_superpave\_en\_el\_dise%C3%B1o\_de\_mezcla\_asfaltica\_templada\_con\_emulsion\_asfaltica.pdf

### Instances where selected sources appear:

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a mi familia por siempre confiar en mí y apoyarme a lo largo de mi carrera universitaria. Al Ing. Daniel De La Pared por ser mi tutor, y guiarme a lo largo de todo el proyecto.

También agradezco a la empresa Contruladesa y Hormigones S.A. que me permitió desarrollar el presente trabajo de titulación en sus laboratorios. Las empresas Maconsa S.A., Construcciones Civiles y Metálicas, Inductroc S.A. y Licosá S.A. por haberme facilitado los materiales necesarios para mi trabajo.

**Juliana Flor León**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo se lo dedico a mi familia, principalmente a mis papas, por ser siempre mi guía y apoyo incondicional a lo largo de mi vida.

**Juliana Flor León**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA  
CARRERA INGENIERÍA CIVIL**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_

**Carlos Chón Diaz**

f. \_\_\_\_\_

**Clara Glas Cevallos**

f. \_\_\_\_\_

**Rolando Vila Romano**

# ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	2
CAPÍTULO 1.....	3
1.1 Descripción de la problemática.....	3
1.2 Delimitación del tema .....	3
1.3 Justificación .....	3
1.4 Alcance.....	4
1.5 Objetivos.....	4
1.5.1 Objetivo general.....	4
1.5.2 Objetivos específicos .....	4
CAPÍTULO 2.....	5
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 Asfalto .....	5
2.2 Agregados .....	6
2.2.1 Agregado grueso .....	6
2.2.2 Agregado fino .....	7
2.2.3 Cisco.....	8
2.3 Fibras metálicas.....	8
2.3.1 Fibras metálicas recicladas .....	9
2.3.2 Caracterización de la fibra metálica.....	9
2.4 Normas ecuatorianas para mezclas asfálticas.....	11
2.5 Método Marshall .....	12

2.6 Pruebas de desempeño .....	13
2.6.1 Módulo de rigidez .....	13
2.6.2 Deformación permanente - Creep .....	14
2.6.3 Fatiga.....	14
CAPÍTULO 3.....	15
3.1 Preparación de briquetas en laboratorio .....	15
3.1.1 Factores que influyen en la calidad de la elaboración de briquetas .....	17
3.2 Metodología .....	18
3.3 Contenido de asfalto óptimo.....	19
3.4 Adición de fibra metálica .....	19
CAPÍTULO 4.....	21
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	21
4.1 Análisis físico mecánico de los agregados .....	21
4.1.1 Granulometría .....	21
4.1.2 Abrasión de los Ángeles .....	21
4.1.2.1 Piedra.....	22
4.1.2.2 Cisco .....	23
4.1.3 Resistencia a los sulfatos.....	24
4.1.4 Resumen de resultados de ensayo de laboratorio.....	25
4.2 Porcentaje de asfalto de diseño.....	26
4.3 Comportamiento de mezcla variando % de fibra metálica .....	29
4.3.1 Marshall de asfalto.....	31

4.4 Cántabro seco .....	32
4.5 Cántabro húmedo.....	33
4.6 Permeabilidad .....	34
4.7 Pruebas de desempeño .....	37
4.7.1 Modulo de rigidez .....	37
4.7.2 Deformación permanente – Creep.....	38
4.7.3 Ensayo de Fatiga.....	38
CAPÍTULO 5.....	42
5. Conclusiones y Recomendaciones .....	42
5.1 Conclusiones.....	42
5.2 Recomendaciones.....	44
CAPITULO 6.....	45
6. Referencias .....	45
CAPÍTULO 7.....	47
7. Anexos.....	47

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Especificación granulométrica para mezcla asfáltica - MOP 001 -F-2002.....	11
Tabla 2: Requisitos de mezclas asfálticas en caliente - MOPP 001 -F-200212	
Tabla 3: Dosificación para mezcla asfáltica .....	18
Tabla 4: Resultados obtenidos de la Prueba al Desgaste por medio de Sulfato de Magnesio, para cada muestra .....	24
Tabla 5: Resumen de resultados de ensayos de calidad del agregado grueso .....	25
Tabla 6: Resumen de resultados de ensayos de calidad del agregado fino .	25
Tabla 7: Resultados briquetas, para determinar %óptimo de asfalto.....	26
Tabla 8: Resultados obtenidos a través de los gráficos anteriormente mostrados .....	29
Tabla 9: Resumen de resultados para briquetas con fibra.....	31
Tabla 10: Resumen de resultados de ensayo Cántabro Seco.....	32
Tabla 11: Resultados obtenidos de ensayo Cántabro Húmedo.....	34
Tabla 12: Resumen de resultados de Ensayo de Permeabilidad .....	36
Tabla 13: Resultados obtenidos de ensayo de Modulo de rigidez.....	37
Tabla 14: Resultados de ensayo de deformación permanente - Creep.....	38
Tabla 15: Resultados del ensayo de Fatiga para la muestra Patrón .....	38
Tabla 16: Resultados del ensayo de Fatiga para la muestra con 30% de adición de Fibra Metálica .....	39
Tabla 17: Resumen de ensayos comparativos realizados.....	40
Tabla 18: Resumen de resultados de Pruebas de Desempeño.....	40

Tabla 19: Tabla comparativa de resultados de ensayos.....	43
-----------------------------------------------------------	----

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1:Asfalto proveniente de la planta Inductroc.....	5
Figura 2: Piedra triturada, 3/4" - Fuente: Cantera Licoso.....	6
Figura 3: Arena - Fuente: Cantera Licoso.....	7
Figura 4: Cisco - Fuente: Cantera Licoso .....	8
Figura 5: Torno 9" x 16" - Maconsa .....	9
Figura 6: Viruta obtenida en torno - Maconsa.....	10
Figura 7: Fibra metálica reciclada, "viruta".....	10
Figura 8: Proceso de elaboración de briquetas .....	15
Figura 9: Martillo para elaboración de briquetas.....	16
Figura 10: Briquetas en molde.....	16
Figura 11: Gato hidráulico utilizado para desencofrar briquetas asfálticas ...	17
Figura 12: Máquina de Abrasión de los Ángeles - Esferas de acero .....	22
Figura 13: Muestra#1 - Piedra – Cargas abrasivas según el Método “B” de la norma ASTM C131 .....	23
Figura 14: Muestra #3 - Cisco luego de ensayo de Abrasión de los Ángeles .....	23
Figura 15: Colocación del sulfato de Magnesio durante 5 ciclos .....	24
Figura 16: Curva Granulométrica Combinada .....	25
Figura 17: Gravedad Especifica RICE .....	27
Figura 18: Gravedad Especifica BULK .....	27

Figura 19: Baño María realizado a las briquetas asfálticas antes de la rotura .....	28
Figura 20: Rotura de briquetas asfálticas .....	28
Figura 21: Briquetas con diferentes porcentajes de adición de fibra metálica - (10%, 20%, 30%, 40% y 50%) .....	30
Figura 22: Briquetas en Baño María, a 60 grados, durante 24 horas .....	33
Figura 23: Permeámetro de carga variable.....	35
Figura 24: Núcleo de 4.8cm para ensayo de Permeabilidad .....	36

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Granulometría de Fibra Metálica Reciclada.....	48
Anexo 2: Peso volumétrico Suelto - Fibra Metálica .....	49
Anexo 3: Granulometría de muestra #1: Piedra.....	50
Anexo 4: Granulometría de muestra #2: Arena .....	51
Anexo 5: Granulometría de muestra #3: Cisco .....	52
Anexo 6: Gravedad específica - Porcentaje de Absorción – Peso Volumétrico Suelto – Peso Volumétrico Varillado para la muestra #1: Piedra.....	53
Anexo 7: Gravedad específica - Porcentaje de Absorción – Peso Volumétrico Suelto – Peso Volumétrico Varillado para la muestra #2: Arena .....	54
Anexo 8: Gravedad específica - Porcentaje de Absorción – Peso Volumétrico Suelto – Peso Volumétrico Varillado para la muestra #3: Cisco .....	55
Anexo 9: Abrasión de los Ángeles de la muestra #1: Piedra .....	56
Anexo 10: Abrasión de los Ángeles de la muestra #3: Cisco.....	57
Anexo 11: Prueba al desgaste por medio de Sulfato de Magnesio de muestra #1: Piedra .....	58
Anexo 12: Prueba al desgaste por medio de Sulfato de Magnesio de muestra #2: Arena .....	59
Anexo 13: Prueba al desgaste por medio de Sulfato de Magnesio de muestra #3: Cisco.....	60
Anexo 14: Extracción de asfalto para 5% .....	61
Anexo 15: Marshall de Asfalto para 5%.....	62
Anexo 16: Ensayo de granulometría de Agregado para 5% de asfalto .....	63
Anexo 17: Extracción de asfalto para 5,5% .....	64

Anexo 18: Marshall de Asfalto para 5.5% .....	65
Anexo 19: Ensayo de granulometría de Agregado para 5.5% de asfalto .....	66
Anexo 20: Extracción de asfalto para 6% .....	67
Anexo 21: Marshall de Asfalto para 6%.....	68
Anexo 22: Ensayo de granulometría de Agregado para 6% de asfalto .....	69
Anexo 23: Extracción de asfalto para 6.5% .....	70
Anexo 24: Marshall de Asfalto para 6.5% .....	71
Anexo 25: Ensayo de granulometría de Agregado para 6.5% de asfalto .....	72
Anexo 26: Gráficos: Estabilidad vs Contenido de Asfalto - Flujo vs Contenido de Asfalto - % de Vacíos vs Contenido de Asfalto - Densidad vs Contenido de Asfalto.....	73
Anexo 27: Ensayo Marshall para los diferentes porcentajes de adición de fibra metálica reciclada (10% - 20% - 30% - 40% - 50%) .....	75
Anexo 28: Estabilidad vs Contenido de Fibra - Flujo vs Contenido de Fibra - % de Vacíos vs Contenido de Fibra - Densidad vs Contenido de Fibra .....	80
Anexo 29: Resultados obtenidos de ensayos Modulo de Rigidez para diseño Patrón .....	82
Anexo 30: Resultados obtenidos de ensayos Modulo de Rigidez para diseño con la adición del 30% de Fibra.....	84
Anexo 31: Resultados obtenidos del ensayo de Deformación Permanente – Creep para diseño Patrón.....	86
Anexo 32: Resultados obtenidos del ensayo de Deformación Permanente – Creep para diseño con adición del 30% de Fibra Metálica .....	87
Anexo 33: Resultados obtenidos del ensayo de Fatiga para diseño Patrón .....	88
Anexo 34: Resultados obtenidos del ensayo de Fatiga para diseño con adición de 30% de Fibra Metálica.....	89

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como principal objetivo estudiar la influencia de la incorporación de fibras metálicas recicladas en una mezcla asfáltica. Se realizaron ensayos comparativos entre la mezcla asfáltica patrón y la mezcla asfáltica con las adiciones de las fibras metálicas, para dar a conocer los cambios en el comportamiento de la mezcla. La metodología aplicada es la elaboración de diseños de mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de fibra metálica para identificar y analizar el comportamiento de la mezcla con los diferentes porcentajes de adición; y a su vez cumpliendo con los requerimientos de MTOP (2012). Previamente se realizan ensayos de caracterización de los materiales provenientes de la cantera Licosa. Posteriormente se halló el porcentaje de asfalto del diseño Marshall, obteniendo el diseño patrón. Luego a dicho diseño se le añadió diferentes porcentajes de fibra: 10%, 20%, 30%, 40% y 50%, en función del peso del asfalto. Se evaluó el comportamiento del diseño patrón y los diseños con fibras mediante ensayos de: granulometría, permeabilidad, cántabro seco, cántabro húmedo, ensayos Marshall, y pruebas de desempeño (Módulo de rigidez, Fatiga y Creep); de tal forma que se obtenga la dosificación con mejor respuesta y que cumpla con lo que exige la norma. Todos los ensayos se realizaron bajo normas ASTM.

**Palabras Claves:** *Asfalto, Fibra metálica, Dosificación, ASTM, Mezcla asfáltica, Marshall.*

## ABSTRACT

The main objective of this degree work is to study the influence of the incorporation of recycled metal fibers in an asphalt mix. Comparative tests were carried out between the standard asphalt mixture and the asphalt mixture with the additions of the metallic fibers, to reveal the changes in the behavior of the mixture. The methodology applied is the development of asphalt mix designs with different percentages of metallic fiber to identify and analyze the behavior of the mix with the different percentages of addition, complying with the requirements of MTOP (2012). Characterization tests of the materials from the Licosa quarry are previously carried out. Subsequently, the asphalt percentage of the Marshall design was found, obtaining the standard design. Then different percentages of fiber were added to the previous design: 10%, 20%, 30%, 40% and 50%; in function of the weight of the asphalt. The behavior of the pattern design and the designs with fibers were evaluated by the following tests: granulometry, permeability, dry Cantabrian, wet Cantabrian, Marshall tests, and performance tests (rigidity modulus, fatigue and creep); in order to obtain the dosage with the best response and that complies with the standard requires. All tests were carried out under ASTM standards.

**Keywords:** *Asphalt, Metallic fiber, Dosage, ASTM, Asphalt mix, Marshall.*

## **INTRODUCCIÓN**

Usualmente los ingenieros especializados en pavimentos se concentran netamente en el diseño estructural, en comprobar que los materiales que se utilicen sean los adecuados y cumplan con los parámetros y especificaciones técnicas, en nuestro caso con el MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas), etc. Se busca la utilización de un desecho industrial para poder mejorar las propiedades de la mezcla asfáltica, en caso de que mejore sus propiedades identificar cuales mejora y en qué proporción.

El uso de fibras en pavimentos es una alternativa para fomentar el reciclaje, y de cierta forma contribuir con el medio ambiente y al mismo tiempo mejorar las propiedades de la mezcla asfáltica y la estructura del pavimento; las fibras comunes son las fibras de vidrio, metálicas, de carbono, entre otras. Las fibras más usadas, que incluso se han convertido en un producto comercial son las fibras metálicas. Las fibras metálicas recicladas son los desechos que dejan distintas actividades de metalmecánica. El origen de estos residuos proviene de aceros de gran resistencia, es por esto que surge la idea de implementarlos en el diseño del pavimento flexible.

# **CAPÍTULO 1**

## **1.1 Descripción de la problemática**

El presente trabajo de grado se basó en el diseño de una mezcla asfáltica con adición de fibras metálicas, producto de desechos de trabajos de metalmecánicas. Actualmente en el mercado existen fibras metálicas comerciales que pasan por un proceso de elaboración, a diferencia del tipo de fibra que se propone. La fibra se la obtiene de un torno procedente de la empresa Maconsa, misma que fue caracterizada. El objetivo de esta investigación es proponer una alternativa adicional de diseño de pavimento flexible distinto de los diseños convencionales, que además es sustentable.

## **1.2 Delimitación del tema**

Esta investigación tiene como alcance la elaboración del diseño de una mezcla asfáltica Marshall con adiciones de fibras metálicas, en laboratorio. Los materiales utilizados como piedra, cisco y arena provienen de la cantera Licosá, el asfalto de la planta Inductroc, y la fibra de los tornos usados en la compañía Maconsa.

Para realizar el diseño de las briquetas se utilizará la metodología Marshall, y para determinar su comportamiento, se lo realizó a través de ensayos de laboratorio, tales como: pérdida por desgaste, porcentaje de vacíos, estabilidad, permeabilidad, módulos, etc.

## **1.3 Justificación**

Actualmente en nuestro país existe una gran demanda en la construcción de pavimentos flexibles; por lo cual se pretende brindar una nueva alternativa de diseño de mezcla asfáltica, en la cual se utilice materiales reciclados, en este caso fibra, sin tener que ser procesada.

Mediante la incorporación de fibras se pretende mejorar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica como tal.

Por último, se compararán los resultados del diseño patrón y el diseño con adición de fibra metálica, con el fin de determinar si es que existe mejora.

Contribuir con el medio ambiente es un trabajo de todos, es por esto por lo que se pretende desarrollar técnicas constructivas que promuevan el uso de materiales reciclados, de tal forma que se genere menor volumen de desperdicios, mismos que muchas veces se desechan en botaderos sin ningún tipo de control.

## **1.4 Alcance**

Se estudiará el comportamiento de mezclas asfálticas con adición de fibras metálicas recicladas a partir del peso del asfalto, en diferentes proporciones, con el fin de impulsar la investigación y buscar nuevas alternativas de pavimento flexible.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 Objetivo general**

Analizar el comportamiento de una mezcla asfáltica con adiciones de fibras metálicas y compararlo con una mezcla asfáltica sin adiciones.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Analizar el comportamiento de la mezcla con diferentes porcentajes de fibra.
- Comparar el comportamiento de la mezcla con adiciones y patrón.

## CAPÍTULO 2

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Asfalto

“Es un compuesto liquido elaborado a partir de residuos, consistente en una mezcla de hidrocarburos de alto peso molecular” (Corsan, n.d.). Se lo usa como aglomerante en mezclas asfálticas, ya que posee la característica de ser termoplástico, es decir que se endurece al enfriarse y se ablanda a medida que la temperatura aumenta. El asfalto usado en el presente trabajo proviene de la planta de asfalto Inductroc, ubicada en la ciudad de Guayaquil.



Figura 1:Asfalto proveniente de la planta Inductroc

## 2.2 Agregados

Los agregados para la elaboración de la mezcla asfáltica se dividen en tres fracciones:

- Agregado grueso
- Agregado fino
- Cisko

Los agregados fueron obtenidos de la cantera Licosa, mediante un proceso de trituración de roca.

### 2.2.1 Agregado grueso

Son agregados pétreos obtenidos de un proceso de trituración, el cual debe ser tamizado para ser utilizado; es el material retenido 100% en el tamiz N#4.



Figura 2: Piedra triturada, 3/4" - Fuente: Cantera Licosa

Fuente: Contruladesa S.A.

### **2.2.2 Agregado fino**

“Es el material que pasa 100% el tamiz 3/8” y queda retenido en la malla N°200. Es clasificado generalmente como “arena”.” (Osorio, 2020)



**Figura 3: Arena - Fuente: Cantera Licosa**

Fuente: Contruladesa S.A.

### 2.2.3 Cisco

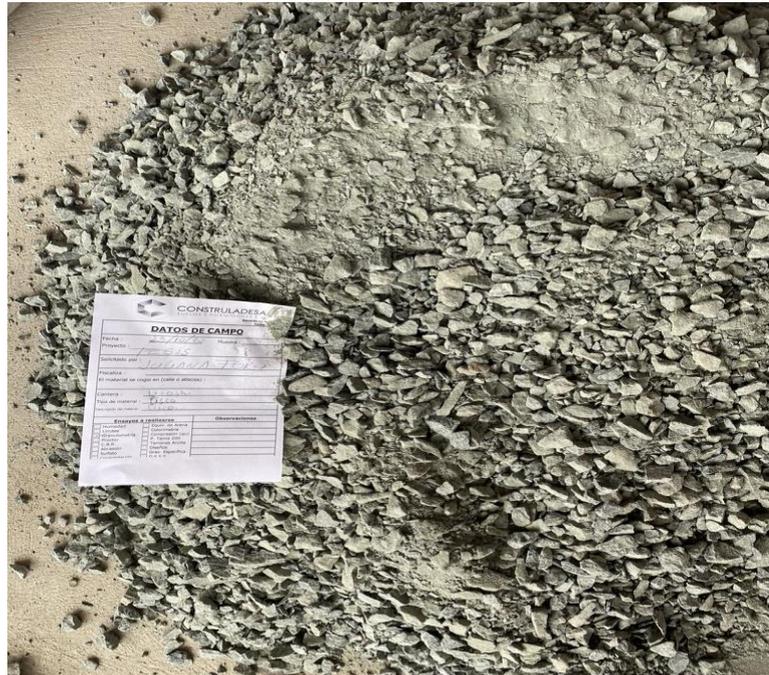


Figura 4: Cisco - Fuente: Cantera Licosá

Fuente: Contruladesa S.A.

## 2.3 Fibras metálicas

“Las fibras metálicas son filamentos de alambre estirados en frío, cortados y deformados” (Prodac). Su uso tiene como objetivo mejorar las propiedades tanto físicas como mecánicas en donde sean utilizadas. En la actualidad existen muchas empresas que elaboran diferentes tipos de fibras a partir de alambres de acero, de distintas formas y longitudes. Generalmente las fibras metálicas han sido usadas en concreto, y se han obtenido resultados exitosos tales como el aumento de la resistencia a la fatiga, a la tracción, etc.; de aquello surge la curiosidad de investigar cual es el efecto de dichas fibras, pero en una mezcla asfáltica.

### **2.3.1 Fibras metálicas recicladas**

Las fibras metálicas recicladas son producto de los desechos de la industria mecánica, más conocidas como “viruta”; mismas que dependerán del tipo de acero y el desgaste que exista. El tipo de viruta dependerá del corte que se realice al metal.

### **2.3.2 Caracterización de la fibra metálica**

La fibra en estudio proviene de un torno utilizado en la empresa Maconsa, para el corte de varillas lisas de 25 mm, 28 mm y 32mm. Posee una sierra de cinta horizontal de 9" x 16" (tools), la cual permite obtener un corte firme en las varillas. La fibra que se obtiene tiene la particularidad de ser uniforme.



**Figura 5: Torno 9" x 16" - Maconsa**



**Figura 6: Viruta obtenida en torno - Maconsa**



**Figura 7: Fibra metálica reciclada, "viruta"**

Realizando la granulometría, se puede decir que se asemeja a un agregado fino, ya que el pasante del tamiz #4 es de 10022.4 gr (100% del material) y retiene 137.5gr. en el tamiz 200. (Ver **Anexo 1**).

A su vez se realizó el peso volumétrico suelto de la muestra, obteniendo una densidad de 985kg/m<sup>3</sup>. (Ver **Anexo 2**)

## 2.4 Normas ecuatorianas para mezclas asfálticas

La mezcla asfáltica debe cumplir una serie de especificaciones, entre ello, la granulometría.

**Tabla 1: Especificación granulométrica para mezcla asfáltica - MOP 001 -F-2002**

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	3/4"	1/2"	3/8"	No4
1" (25.4 mm)	100	--	--	--
3/4" (19.0 mm)	90 - 100	100	--	--
1/2" (12.70mm)	--	90 - 100	100	--
3/8" (9.50 mm)	56 - 80		90 - 100	100
No 4 (4.75 mm)	35 - 65	44 - 74	55- 85	80 - 100
No 8 (2.36 mm)	23 - 49	28 - 58	32 - 67	65 - 100
No 16 (1.18 mm)	--	--	--	40 - 80
No 30 (0.60 mm)	--	--	--	25 - 65
No 50 (0.30 mm)	5 - 19	5 - 21	7 - 23	7 - 40
No 100 (0.15 mm)	--	--	--	3 - 20
No 200 (0.075mm)	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10

En la siguiente tabla se muestran las especificaciones del método Marshall de acuerdo al tipo de tráfico de la vía, en este caso el diseño está enfocado para tráfico “Muy Pesado”.

**Tabla 2: Requisitos de mezclas asfálticas en caliente - MOPP 001 -F-2002**

TIPO DE TRAFICO	Muy Pesado		Pesado		Medio		Liviano	
CRITERIOS MARSHALL	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
No. De Golpes	75		75		50		50	
Estabilidad	2200	----	1800	----	1200	----	1000	2400
Flujo (pulgada/100)	8	14	8	14	8	16	8	16
% de vacios en mezcla								
Capa de Rodadura	3	5	3	5	3	5	3	5
Capa Intermedia	3	8	3	8	3	8	3	8
Capa de Base	3	9	3	9	3	9	3	9
%Vacios Agregados	VER TABLA 405-5.5							
Relacion filler/betun	0.8	1.2	0.8	1.2				
Retenida luego 7 días en agua temperatura								
Capa de Rodadura	70	----	70	----				
Intermedia o base	60	----	60	----				

Para que exista un equilibrio en la mezcla, en cuanto a estabilidad y durabilidad, la norma establece que el porcentaje de vacíos en la mezcla debe estar dentro del rango 3% y 5%.

## 2.5 Método Marshall

Se utilizará el método Marshall para determinar el porcentaje óptimo de asfalto, mismo que está basado en estabilidad y contenido de vacíos.

La estabilidad Marshall es la carga máxima que se le aplica a la briqueta, en compresión, dichas briquetas son de dimensiones estándar. A medida que aumenta el contenido de asfalto, la estabilidad también, hasta que llega a un máximo, después del cual comienza a decrecer. El porcentaje de vacíos en la mezcla tiende a disminuir con el incremento de asfalto.

Por otro lado, el valor del flujo es la deformación que sufre la briqueta a lo largo del diámetro vertical, al momento de medir la estabilidad, y va aumentando conforme crece el porcentaje de asfalto incorporado en la mezcla. Este parámetro determina las deformaciones producidas por la carga vehicular. Cuando la fluencia es elevada, generalmente existen problemas de deformación. Por el contrario, cuando se tienen valores de fluencia bajos y valores de estabilidad altos, se traduce a mezclas frágiles, y muy rígidas.

Este método nos permite diseñar una mezcla asfáltica con las especificaciones adecuadas, dentro de los rangos permitidos.

## **2.6 Pruebas de desempeño**

Para realizar las pruebas de desempeño, se procedió a utilizar el equipo "Nottingham Asphalt Tester" (Valencia, 2005). Sus principales usos radican en la determinación del módulo de rigidez, evalúa la resistencia al agrietamiento por fatiga, resistencia a la deformación permanente, etc.; dichos ensayos están normalizados con metodologías americanas ASTM.

### **2.6.1 Módulo de rigidez**

Se aplica una carga vertical en un plano diametral de la muestra, con el objetivo de medir las deformaciones producidas. Se requiere que la temperatura de ensayo sea 20°C, así mismo el intervalo de tiempo entre carga y carga máxima es de 0.12 segundos, a un nivel de deformación de 5 micrones. Se aplican cinco pulsaciones que luego se promedian mediante un factor de corrección. Los valores que se obtiene en el ensayo tienen rangos establecidos, se consideran tolerables valores entres entre 2500 MPA y 5000 MPA.

## 2.6.2 Deformación permanente - Creep

En este ensayo se determina las deformaciones permanentes bajo compresiones cíclicas uniaxiales. El ciclo de carga aplicada es de 100kPa por segundo, con un lapso de descanso de 1 segundo. El ensayo es realizado a una temperatura constante de 40°C. Se procede a medir el cambio de espesor en la muestra, una vez pasado por 3600 repeticiones de carga.

La norma (Ecuador, 2013), establece que la máxima deformación permanente aceptable en una mezcla asfáltica es menor al 1%, ya que, si sobrepasa este valor, se consideraría que dicha mezcla presentará deformaciones plásticas.

## 2.6.3 Fatiga

Este ensayo requiere la determinación previa del módulo de rigidez con un esfuerzo controlado, se debe tener en cuenta el coeficiente de Poisson, mismo que tiene un valor de 0.35.

Para realizar el ensayo se emplean tensiones controladas, en un rango de (100kPa – 500kPa), de tal forma que se determine el número de repeticiones necesarias para que la muestra falle, para el presente trabajo de titulación se aplicó un esfuerzo de 250kPa. Las pulsaciones tienen un tiempo de carga de 0.12 segundos y se requiere mantener una temperatura de 20°C. (Ing. Rolando Vila Romaní, 2014) Con los datos obtenidos mediante el ensayo, se procede a aplicar la siguiente fórmula para calcula la deformación unitaria a tracción:

$$\epsilon = \frac{\sigma(kPa) * (1 + 3\mu)}{Sm(kPa)}$$

## CAPÍTULO 3

### 3.1 Preparación de briquetas en laboratorio

Las briquetas fueron elaboradas siguiendo la metodología Marshall, inicialmente se procedió a calentar los agregados hasta llegar a la temperatura adecuada, luego se vertió el asfalto y se mezcló de tal forma que todas las partículas estén cubiertas por el material bituminoso. Es importante tener en cuenta la temperatura de mezclado ya que podría alterar sus propiedades, deben estar a temperaturas similares comprendidas entre los 120° C y 160°C, con una diferencia tolerable de 10°C.



Figura 8: Proceso de elaboración de briquetas

Una vez que se llenan las briquetas con la mezcla, se procede a compactarlas mediante 75 golpes a ambas caras, mediante el uso del martillo Marshall.



**Figura 9: Martillo para elaboración de briquetas**



**Figura 10: Briquetas en molde**

Luego de realizar dicho proceso, las briquetas fueron enfriadas y extraídas de los moldes por medio de un gato hidráulico.



**Figura 11: Gato hidráulico utilizado para desencofrar briquetas asfálticas**

### **3.1.1 Factores que influyen en la calidad de la elaboración de briquetas**

En el proceso de elaboración de briquetas intervienen diversos factores que pueden afectar el espécimen. Se debe mantener un constante control de temperatura en la mezcla, esto incluye todo el proceso: en la fase de pesar los materiales, mezclado y compactación.

Las briquetas fueron realizadas con un Martillo Marshall de compactación manual, por lo que, al realizar los golpes, influye directamente la fuerza del laboratorista que lo realiza, es algo que no podrá ser uniforme totalmente. Así mismo al momento de colocar el material en los moldes, se debe evitar segregación de los agregados.

### 3.2 Metodología

Los agregados utilizados para la elaboración de las mezclas asfálticas con adición de fibras metálicas se obtuvieron de la cantera Licosa, y el Ac20 se obtuvo de la planta de asfalto Inductroc, ambas localizadas en la ciudad de Guayaquil. Los ensayos fueron realizados en los laboratorios de la empresa Contruladesa Suelos y Hormigones S.A. con los debidos cuidados de bioseguridad. El procedimiento incluye el diseño de la estructura del agregado, granulometría, selección de contenido de asfalto y finalmente la incorporación de fibras metálicas recicladas, para su posterior comparación.

Inicialmente se realizan los ensayos preliminares a los agregados fino y grueso, de acuerdo con la norma ASTM (ASTM, 2004), para verificar que cumplan con las especificaciones requeridas.

Ensayos realizados:

- Análisis granulométrico (ASTM C136)
- Gravedad específica (ASTM C 127; NTE INEN 856 - 857)
- Absorción (ASTM C 127; NTE INEN 856 – 857)
- Abrasión de los Ángeles (ASTM C 131; NTE INEN 860)
- Desgaste por sulfato (ASTM C 88; NTE INEN 863)

Los resultados obtenidos de los ensayos comprueban que los materiales son aptos para usar en la mezcla asfáltica, ya que, si cumplen con la normativa, por lo tanto, se procede a plantear la dosificación.

**Tabla 3: Dosificación para mezcla asfáltica**

<b>DOSIFICACIÓN DE MEZCLA</b>	
PIEDRA 3/4"	5%
ARENA	35%
CISCO	60%

### **3.3 Contenido de asfalto óptimo**

Utilizando la dosificación previamente establecida, se procede a hallar el contenido de asfalto óptimo. Se realizaron 4 mezclas variando el contenido de asfalto, mismo que se detalla la siguiente forma:

- 1) Mezcla con 5.0 % de asfalto
- 2) Mezcla con 5.5 % de asfalto
- 3) Mezcla con 6.0 % de asfalto
- 4) Mezcla con 6.5 % de asfalto

Se realizarán ensayos a las cuatro mezclas con el fin de obtener un contenido de asfalto con el cual mejore el comportamiento de la misma, es decir el “contenido óptimo”. Por lo tanto, se obtiene el diseño que se lo conoce como “diseño patrón “.

### **3.4 Adición de fibra metálica**

Una vez hallado el diseño patrón se continúa a la siguiente fase, la cual es la inclusión de las fibras metálicas en dicho diseño, con el fin de identificar como varía el comportamiento de la mezcla. Es importante mencionar que el porcentaje de la fibra metálica es en base al peso del asfalto. La fibra metálica utilizada es una viruta fina y uniforme, por lo tanto, se varió el contenido de fibra, en función del peso del asfalto, de la siguiente forma:

- 1) Diseño patrón y 10% de fibra metálica
- 2) Diseño patrón y 20% de fibra metálica
- 3) Diseño patrón y 30% de fibra metálica
- 4) Diseño patrón y 40% de fibra metálica
- 5) Diseño patrón y 50% de fibra metálica

Así mismo, cada grupo de muestras fueron sometido a ensayos Marshall, Cántabro Seco, Cántabro húmedo, ensayo de permeabilidad y pruebas de desempeño, tales como: Módulo de rigidez, ensayo de Fatiga, Creep; con los resultados obtenidos se analizó el comportamiento de cada mezcla, de

tal forma de que se identifique los diferentes comportamientos con las diferentes adiciones.

## **CAPÍTULO 4**

### **ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS**

#### **4.1 Análisis físico mecánico de los agregados**

Los agregados utilizados, tanta piedra  $\frac{3}{4}$ ", cisco y arena provienen de la Cantera Licosá.

##### **4.1.1 Granulometría**

Se realizó la clasificación granulométrica mediante el tamizado del material, por las mallas de clasificación. La curva granulométrica hallada se encuentra dentro de los límites superiores e inferiores determinadas por la norma, tanto para la piedra (Ver **Anexo 3**), arena (Ver **Anexo 4**), y cisco (Ver **Anexo 5**).

En cuanto a la muestra 1, correspondiente a la piedra se procedió a tamizar por el tamiz  $\frac{3}{4}$ ".

##### **4.1.2 Abrasión de los Ángeles**

La normativa (NTE INEN 0860) exige que el desgaste por abrasión no puede ser mayor al 40%.



**Figura 12: Máquina de Abrasión de los Ángeles - Esferas de acero**

Los agregados usados en la mezcla asfáltica, deben ser lo suficientemente resistentes para ser capaz de soportar, tanto en el proceso constructivo y cuando se encuentre en servicio, es decir bajo la acción de tráfico vehicular.

#### **4.1.2.1 Piedra**

Una vez realizado el análisis granulométrico, se determina que el tipo de método a utilizar es el "B", el cual consiste en usar 11 cargas abrasivas, durante 15 minutos en la máquina de abrasión de ángeles. El resultado por desgaste abrasivo del material dio un 14.76%, mismo que cumple el requerimiento impuesto por la normativa. (Ver **Anexo 9**)



**Figura 13: Muestra#1 - Piedra – Cargas abrasivas según el Método “B” de la norma ASTM C131**

#### **4.1.2.2 Cisco**

Para la muestra #3, se empleó el “Método C”, en el cual se usan 8 esferas de acero, y así mismo tiene una duración de 15 minutos. Se obtuvo como resultado, 20.46%, lo cual está dentro del rango permitido. (Ver **Anexo 10**)



**Figura 14: Muestra #3 - Cisco luego de ensayo de Abrasión de los Ángeles**

### 4.1.3 Resistencia a los sulfatos

La prueba al desgaste por medio de sulfato de magnesio según la norma ASTM C88, consiste en utilizar un agente químico (magnesio) durante 5 ciclos. Mediante el análisis granulométrico se determinó los pesos según los tamices.



Figura 15: Colocación del sulfato de Magnesio durante 5 ciclos

Una vez completado el 5to ciclo, se procedió a pesar nuevamente y calcular el desgaste por sulfato de la muestra #1, muestra #2 y muestra #3. (Ver **Anexo 11, Anexo 12, Anexo 13**) La norma exige que el desgaste no puede ser mayor al 20%. A continuación, se detallan los resultados obtenidos para cada una de las muestras:

Tabla 4: Resultados obtenidos de la Prueba al Desgaste por medio de Sulfato de Magnesio, para cada muestra

PRUEBA AL DESGASTE POR MEDIO DE SULFATO DE MAGNESIO		
MUESTRA #1	MUESTRA #2	MUESTRA #3
<i>PIEDRA</i>	<i>ARENA</i>	<i>CISCO</i>
<b>0.07%</b>	<b>3.88%</b>	<b>0.78%</b>
<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>	<b>CUMPLE</b>

#### 4.1.4 Resumen de resultados de ensayo de laboratorio

Tabla 5: Resumen de resultados de ensayos de calidad del agregado grueso

MUESTRA	PROCEDENCIA	SULFATO DE MAGNESIO (%)	ABRASION DE LOS ANGELES (%)	GRAVEDAD DSSS Kg/m <sup>3</sup>	ABSORCION (%)	Peso Volumetrico Suelto (P.V.S.) - ASTM C29 (kg/m <sup>3</sup> )	Peso Volumetrico Varillado (P.V.V.) - ASTM C29 (kg/m <sup>3</sup> )
PIEDRA	CANTERA LICOSA	0.07	14.76	2915	1.32	15.62	17.2
CISCO	CANTERA LICOSA	0.78	20.46	2935.9	0.8	18.11	-
ESPECIFICACIONES		< 20	< 40				

Tabla 6: Resumen de resultados de ensayos de calidad del agregado fino

MUESTRA	PROCEDENCIA	SULFATO DE MAGNESIO (%)	GRAVEDAD DSSS Kg/m <sup>3</sup>	ABSORCION (%)	Peso Volumetrico Suelto (P.V.S.) - ASTM C29 (kg/m <sup>3</sup> )
ARENA	CANTERA LICOSA	3.88	2656.7	1.63	1657
ESPECIFICACIONES		< 20			

Los materiales utilizados para la elaboración de la mezcla asfáltica procedente de la cantera Licoso, cumplen con las especificaciones estipuladas por la norma.

A continuación, se puede observar la granulometría utilizada en la elaboración de briquetas, misma que se encuentra dentro de los rangos permitidos por el MOP.

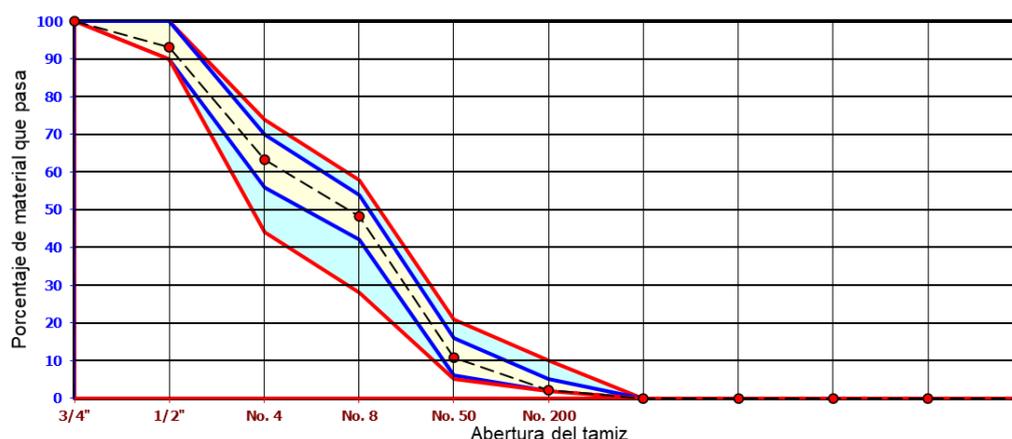


Figura 16: Curva Granulométrica Combinada

## 4.2 Porcentaje de asfalto de diseño

Se utiliza el Método Marshall para la obtención del contenido óptimo de asfalto para la granulometría especificada; con el fin de cumplir con los requerimientos de desempeño, durabilidad y trabajabilidad. Para cada porcentaje de asfalto se realizó la respectiva extracción de asfalto, Ensayo de granulometría de agregado para asfalto y Marshall de Asfalto. (Ver **Anexos 14-25**).

**Tabla 7: Resultados briquetas, para determinar %óptimo de asfalto**

<b>PORCENTAJE DE ASFALTO</b>	<b>DENSIDAD</b>	<b>VACIOS (%)</b>	<b>ESTABILIDAD</b>	<b>FLUJO</b>
<b>5%</b>	2382	7.9	2148	10
<b>5.50%</b>	2405	6.68	2277	11
<b>6%</b>	2425	4.83	2382	13
<b>6.50%</b>	2399	3.37	2180	14

Con los resultados se procede a realizar la gráfica para cada uno de los parámetros descritos en la tabla anterior, con el objetivo de observar su comportamiento, como este va variando según el porcentaje de asfalto. (**Ver anexo 26**)

- Contenido de vacíos de la mezcla asfáltica

Se procede a obtener las “Gravedades Especificas (BULK) y (RICE):



**Figura 17: Gravedad Especifica RICE**



**Figura 18: Gravedad Especifica BULK**

- **Ensayo de Estabilidad Marshall**

Se introducen las briquetas en baño maría a una temperatura de 60°C durante 30 minutos para luego ser ensayadas. Este ensayo se lo ejecuta con la finalidad de determinar la resistencia a la deformación de la mezcla.



**Figura 19: Baño María realizado a las briquetas asfálticas antes de la rotura**



**Figura 20: Rotura de briquetas asfálticas**

Se determino el contenido óptimo de asfalto mediante el promedio numérico del contenido de asfaltos indicados en cada una de las tablas mostradas.

**Tabla 8: Resultados obtenidos a través de los gráficos anteriormente mostrados**

<b>FLUJO</b>	5.75%
<b>DENSIDAD</b>	6.50%
<b>VACIOS</b>	6.10%
<b>ESTABILIDAD</b>	5.20%

Realizando un promedio, se obtiene que el porcentaje óptimo de asfalto según el diseño Marshall es 5.9%, así obteniendo el diseño PATRÓN. Este método se lo utiliza con el fin de obtener las mejores propiedades de la mezcla, y garantiza que todos los parámetros se encuentren dentro de los rangos permitidos.

### **4.3 Comportamiento de mezcla variando % de fibra metálica**

Al diseño patrón previamente obtenido, se procede a incorporar distintos porcentajes de fibra metálica reciclada, con el fin de determinar los cambios en el comportamiento de la mezcla asfáltica, (10%, 20%, 30%, 40% y 50%).



Figura 21: Briquetas con diferentes porcentajes de adición de fibra metálica - (10%, 20%, 30%, 40% y 50%)

### 4.3.1 Marshall de asfalto

Se procedió a realizar el ensayo Marshall de asfalto con los diferentes porcentajes de fibra (Ver **Anexo 27** y **Anexo 28**), obteniendo los siguientes resultados:

**Tabla 9: Resumen de resultados para briquetas con fibra**

PORCENTAJE DE FIBRA	DENSIDAD	VACIOS (%)	ESTABILIDAD	FLUJO
10%	2413	4.04	2469	11.00
20%	2423	3.93	2636	11.67
30%	2438	3.85	2798	11.67
40%	2384	3.79	1778	11.67
50%	2379	3.53	1648	11.67

En base al grafico de la estabilidad, se determinó el punto más alto de la curva, siendo el 28% de adición de fibra, aproximándolo a los porcentajes utilizados, se encuentra más cercano al 30%, esto indica que con dicho porcentaje el comportamiento de la mezcla mejora.

Con el 30% de fibra metálica reciclada, se obtiene un porcentaje de vacíos de 3,85% lo cual se acerca bastante a 4%. La densidad y el porcentaje de vacíos están directamente relacionadas, ya que mientras más densa es la mezcla, se tiene un menor porcentaje de vacíos, y viceversa. Para un 30% de fibra, la densidad es de 2438 kg/m<sup>3</sup>, la mayor obtenida en comparación con los otros porcentajes de fibra metálica. Se debe tener en cuenta que debe haber un equilibrio y no puede haber excesos de ningún tipo; contenidos altos de vacío, van a perjudicar de cierta forma la mezcla, ya que puede entrar el agua o aire, contribuyendo al deterioro de la misma. Así mismo, si el porcentaje de vacíos es muy bajo se produce un exceso de asfalto, mismo que tiende a sobresalir en la superficie del pavimento.

En cuanto al parámetro estabilidad se obtuvo 2798 lb; se puede decir que es el pico de la curva, es un valor que se encuentra dentro del rango permitido. Cabe recalcar que, si se obtienen valores de estabilidad altos, son “sinónimo” de pavimentos muy rígidos, es decir que tienen menor durabilidad.

El flujo obtenido es de 11,67” / 100, lo cual indica que se encuentra en el promedio del intervalo establecido por la norma; las mezclas que poseen alta fluencia tienden a ser muy plásticas y por ende se deforman más rápido. Para valores bajos de flujo, se obtienen mezclas frágiles y muy regidas.

#### 4.4 Cántabro seco

Evalúa el desgaste a través de la máquina de abrasión de los ángeles, para la caracterización mecánica de la muestra. Se elaboraron 2 briquetas del diseño patrón y 2 para el diseño con 30% de fibra metálica reciclada, a una temperatura ambiente de 25 grados centígrados. Se introdujeron dichas muestras al tambor de abrasión a 33 revoluciones por minuto hasta conseguir las 330 revoluciones por minuto, es decir 10 minutos. La norma establece que el desgaste no puede ser mayor al 25%.

Tabla 10: Resumen de resultados de ensayo Cántabro Seco

<b>CÁNTABRO SECO</b>					
	<b>No</b>	<b>PESO ANTES DE ENSAYO</b>	<b>PESO DESPUES DEL ENSAYO</b>	<b>%PÉRDIDAS</b>	<b>PROMEDIO</b>
<b>PATRÓN</b>	1	1267	1256	0,87%	1,10%
	2	1275	1258	1,33%	
<b>30% FIBRA</b>	1	1259	1250	0,71%	0,44%
	2	1251	1249	0,16%	

Ambos tipos de muestra se encuentran dentro del rango permitido, es decir menor al 25% de desgaste. Para el diseño Patrón el desgaste es de 1,10 %, mientras que la mezcla con el 30% de fibra, su desgaste es de 0,44%. Es decir que existe menor perdida con la incorporación de la fibra, por lo cual podemos afirmar una mejora en la mezcla en sus propiedades mecánicas.

#### 4.5 Cántabro húmedo

Mediante el ensayo de cántabro húmedo se determina la pérdida por cohesión que sufre la mezcla debido a la acción del agua.

Así mismo se utilizaron dos muestras para patrón y dos muestras con la fibra, inicialmente se colocan las briquetas en baño maría durante 24 horas a 60 grados centígrados, luego se procede a dejarlas en reposo 24 horas a temperatura ambiente. Se pesan las briquetas, para finalmente introducirlas al tambor de abrasión durante 10 minutos. Luego se procede a pesar nuevamente. La norma establece que el porcentaje de desgaste no puede ser mayor al 35%.



Figura 22: Briquetas en Baño María, a 60 grados, durante 24 horas

Tabla 11: Resultados obtenidos de ensayo Cántabro Húmedo

CÁNTABRO HÚMEDO					
	No	PESO ANTES DE ENSAYO	PESO DESPUES DEL ENSAYO	%PÉRDIDAS	PROMEDIO
<b>PATRÓN</b>	1	2730	1880	31,14%	32,11%
	2	2705	1810	33,09%	
<b>30% FIBRA</b>	1	2720	1999	26,51%	26,17%
	2	2710	2010	25,83%	

Para ambos casos, las pérdidas se mantienen menor al 35% que es lo permitido. Pero la mezcla con la adición de fibra metálica muestra menores pérdidas en comparación con el diseño patrón, es decir menor porcentaje de desgaste, siendo 26,17%. Por lo cual también nos permite afirmar un mejor comportamiento en la mezcla.

#### 4.6 Permeabilidad

Es un ensayo que mide las características hidráulicas de la muestra. Es importante determinar que tan permeable es la mezcla asfáltica, si la capacidad permeable de la muestra aumenta, quiere decir que existe gran contenido de vacíos. Para medir este parámetro, se utiliza un permeámetro de carga variable.



**Figura 23: Permeámetro de carga variable**

Se realizaron un núcleo para el diseño Patrón y uno para la mezcla con el 30% de fibra, ambos tienen un diámetro de 4.8 cm. El objetivo del ensayo es aplicar una carga de agua llenando la probeta, luego se procede a abrir la válvula que se encuentra en la parte inferior central del permeámetro, y se mide el tiempo en el cual el agua desciende.



**Figura 24: Núcleo de 4.8cm para ensayo de Permeabilidad**

A continuación, se muestran los resultados del ensayo de Permeabilidad:

**Tabla 12: Resumen de resultados de Ensayo de Permeabilidad**

<b>Nº NUCLEOS</b>	<b>LONGITUD DEL NÚCLEO (mm)</b>	<b>DIÁMETRO DEL NÚCLEO (mm)</b>	<b>DIÁMETRO DE LA PROBETA (mm)</b>	<b>LECTURA INICIAL (ml)</b>	<b>LECTURA FINAL (ml)</b>	<b>TIEMPO (seg)</b>	<b>PERMEABILIDAD D (mm<sup>3</sup>/seg)</b>
<b>30% de FIBRA</b>	65.00	48.00	50.00	500.00	499.00	7200.00	<b>0.0000085</b>
<b>PATRON</b>	63.00	48.00	50.00	500.00	498.00	7200.00	<b>0.0000165</b>

Se obtienen resultados satisfactorios para ambos diseños, la permeabilidad obtenida es casi mínima, se puede decir que la adición del 30% de fibra metálica reciclada no afecta la impermeabilidad de la mezcla asfáltica, se consigue una mezcla sellada, lo cual es lo que se busca al diseñar pavimentos asfálticos; de tal forma que el agua no atraviese el pavimento y afecte las capas granulares.

## 4.7 Pruebas de desempeño

### 4.7.1 Modulo de rigidez

Se usaron tres briquetas patrón y tres briquetas con la adición del 30% de fibra metálica. Luego se procedió a realizar el ensayo de módulo de rigidez, así obteniendo los resultados. (Ver Anexo 29 y Anexo 30)

Tabla 13: Resultados obtenidos de ensayo de Modulo de rigidez

PATRÓN		30 % FIBRA	
MUESTRAS	MÓDULO DE RIGIDEZ 20 °C (MPa)	MUESTRAS	MÓDULO DE RIGIDEZ 20 °C (MPa)
1	2408	1	1896
2	2910	2	2315
3	3259	3	2096
<b>PROMEDIO</b>	<b>2859</b>	<b>PROMEDIO</b>	<b>2102</b>
<b>DES. ESTANDAR</b>	<b>428</b>	<b>DES. ESTANDAR</b>	<b>210</b>
<b>COEF. VARIACIÓN</b>	<b>15.0</b>	<b>COEF. VARIACIÓN</b>	<b>10.0</b>

El cabezal del equipo aplica cinco pulsaciones a cada briqueta, de ello se obtiene el módulo de rigidez, mismo que es promediado y ajustado mediante un factor de corrección. Los rangos permitidos oscilan los 2500 MPA a 5000 MPA. Es importante mencionar que las mezclas asfálticas con módulos de rigidez menores a 2500 MPA generalmente tienden a ser muy blandas, lo cual se traduce a ahuellamientos en el pavimento. Mientras que las mezclas asfálticas con módulos mayores a 5000 MPA, tienden a ser rígidas, en un pavimento se produciría lo que se conoce como “piel de cocodrilo”.

Con el diseño patrón se obtiene un módulo de 2859 MPA, con una desviación estándar de 428 MPA, mismo que origina un coeficiente de variación del 15%, por lo que se puede afirmar que es tolerable, ya que se encuentra dentro del rango permitido. Por otro lado, el resultado obtenido para las muestras con 30% de adición de fibra metálica, es de 2102 MPA, con una desviación estándar de 210 MPA, originando un coeficiente de

variación de 10%; lo cual no es satisfactorio, esto significa que la mezcla asfáltica probablemente presente problemas de ahuellamiento, su vida útil no sería la ideal.

#### 4.7.2 Deformación permanente – Creep

En el **Anexo 31** y **Anexo 32** se presentan los resultados del ensayo de deformación permanente.

**Tabla 14: Resultados de ensayo de deformación permanente - Creep**

PATRÓN		30 % FIBRA	
MUESTRAS	CREEP DINÁMICO (%)	MUESTRAS	CREEP DINÁMICO (%)
1	1.294	1	1.045

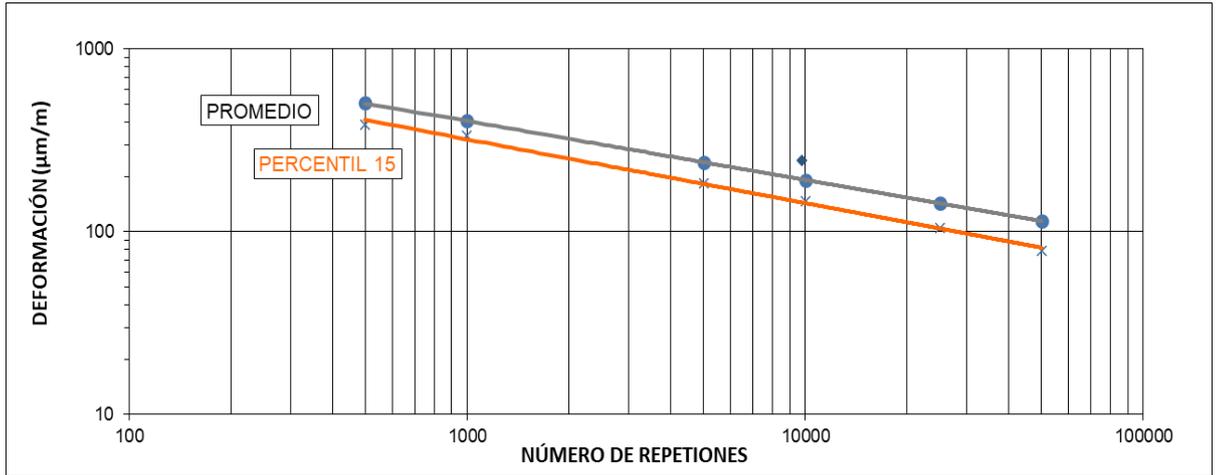
Podemos observar que la mezcla patrón muestra resultados no satisfactorios ya que presenta un Creep dinámico mayor al 1%, por lo tanto, la mezcla presentara deformaciones plásticas. Por otro lado, el diseño con adición del 30% de fibra metálica muestra un resultado próximo al 1% lo cual es el límite para que la mezcla sea considerada aceptable.

#### 4.7.3 Ensayo de Fatiga

Los resultados obtenidos mediante el ensayo de fatiga se muestran en el **Anexo 33** y **Anexo 34**.

**Tabla 15: Resultados del ensayo de Fatiga para la muestra Patrón**

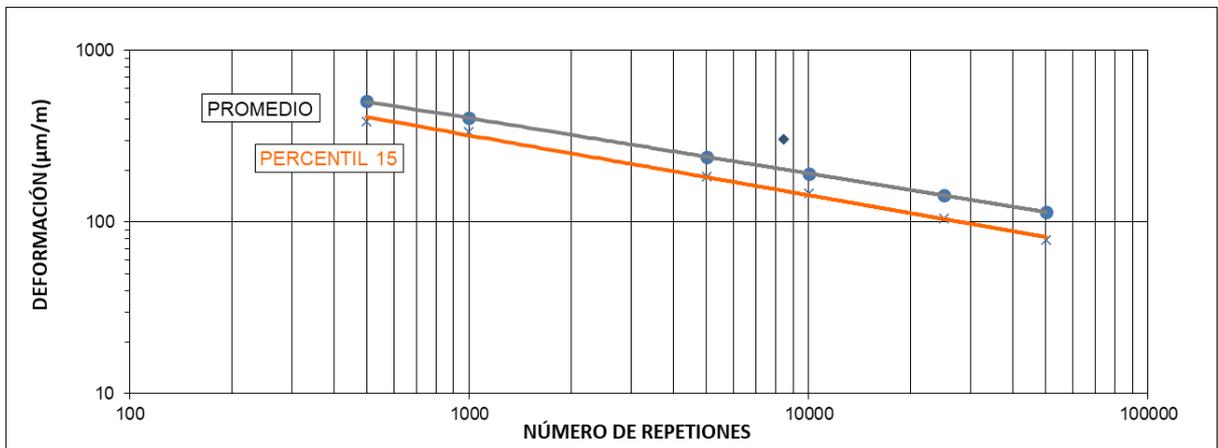
PATRÓN			
ESFUERZO (Kpa)	REPETICIONES	DEFORMACIÓN (µm/m)	MÓDULO RIGIDEZ (Mpa)
250	9801	245	2096



**Ilustración 1: Gráfico del resultado del ensayo de Fatiga para muestra Patrón**

**Tabla 16: Resultados del ensayo de Fatiga para la muestra con 30% de adición de Fibra Metálica**

30 % de FIBRA			
ESFUERZO (Kpa)	REPETICIONES	DEFORMACIÓN (µm/m)	MÓDULO RIGIDEZ (Mpa)
250	8424	303	1694



**Ilustración 2: Gráfico del resultado del ensayo de Fatiga para muestra con 30% de adición de Fibra Metálica**

El criterio exige que las curvas que estén por encima de la curva promedio, presenten un comportamiento adecuado y satisfactorio frente a la fatiga. Analizando las gráficas, en su eje en "x" se encuentran los números de

repeticiones, y en el eje en “y” la deformación, misma que se determinó a través de la fórmula previamente expuesta. Ambas muestras se encuentran por encima de la curva promedio, lo cual es un resultado satisfactorio y cumple con los criterios, pero la mezcla asfáltica con la adición de fibras metálicas presenta un mejor comportamiento frente a la fatiga, ya que es la superior, presenta una deformación mayor, de 303  $\mu\text{m/m}$ , lo cual significa que tiene una gran capacidad de resistir repeticiones de la deformación, sin fisurarse o agrietarse.

#### 4. 4.6 Comparación de resultados obtenidos

En la tabla a continuación se muestra un resumen de los resultados realizado a la mezcla patrón y la mezcla con incorporación de fibra metálica que mejor respuesta tuvo, 30%.

**Tabla 17: Resumen de ensayos comparativos realizados**

	DENSIDAD	VACÍOS (%)	ESTABILIDAD (LB)	FLUJO	CÁNTABRO SECO	CÁNTABRO HUMEDO	PERMEABILIDAD (mm <sup>3</sup> /seg)
<b>PATRÓN</b>	2410	4,22	2364	11	1,10%	32,11%	0.0000165
<b>30% FIBRA</b>	2438	3,85	2798	11,67	0,44%	26,17%	0.0000085

**Tabla 18: Resumen de resultados de Pruebas de Desempeño**

	MÓDULO DE RIGIDEZ (MPA)	ENSAYO DE FATIGA	ENSAYO DE DEFORMACIÓN PERMANENTE – CREEP (%)
<b>PATRÓN</b>	2859	245	1.294
<b>30% FIBRA</b>	2102	303	1.045

Todos los parámetros cumplen los rangos permitidos establecidos por la norma; en cuanto a la densidad, se puede observar un incremento con la incorporación de la fibra, por consiguiente, el porcentaje de vacíos disminuye, existe una diferencia de 0,37%. El flujo incrementa levemente, pero igual manteniéndose en un promedio del intervalo permitido.

La estabilidad aumenta, con la adición del 30% de fibra metálica, lo cual es un resultado satisfactorio. Por otro lado, los ensayos realizados para determinar el desgaste, también presentan un mejor comportamiento la mezcla con incorporación de fibras, ya que disminuye sus pérdidas.

En cuanto a la permeabilidad, a pesar de que para ambos diseños se tiene permeabilidad casi nula, se obtuvo una mejor respuesta para el diseño con 30% de adición de fibra metálica reciclada; lo cual es satisfactorio y se traduce a que se tendrá una mezcla asfáltica sellada y contribuye a el desalojo de las aguas superficiales sobre el pavimento flexible.

Los ensayos de fatiga y deformación permanente resultaron satisfactorios para el diseño con adición del 30% de fibra metálica reciclada. Lo cual significa que se tiene una mezcla asfáltica capaz de soportar un gran número de repeticiones, es decir que tiene una gran capacidad de deformación. A diferencia de los valores obtenidos en el ensayo de módulo rigidez, los cuales no fueron satisfactorios para la muestra con adición del 30% de fibra; para este ensayo, el diseño patrón obtuvo resultados tolerables.

## **CAPÍTULO 5**

### **5. Conclusiones y Recomendaciones**

#### **5.1 Conclusiones**

Se evaluó el comportamiento de las muestras patrón y muestras con el 30 % de fibra metálica mediante la realización de distintos ensayos. En cuanto al ensayo de cántabro seco y cántabro húmedo, se tiene un menor desgaste en el diseño con fibra metálica.

Los resultados obtenidos en los ensayos Marshall muestran un mejor comportamiento en el diseño con 30% de fibra metálica, la estabilidad para ambos diseños cumple con las especificaciones para tráfico pesado, el valor mínimo exige que sea 2200lb. Sin embargo, el diseño con fibras, la estabilidad incrementa, es decir que su desempeño estructural es mejor. A su vez, los resultados obtenidos en el flujo muestran que hay un aumento mínimo en el diseño con fibra, ambos se encuentran dentro del rango permitido, el cual es entre (8- 14)"/100. El porcentaje de vacíos para el diseño con fibras es de 3.85%, lo cual es satisfactorio y se acerca al 4% que es lo que se pretende buscar en una mezcla asfáltica.

Se realizó pruebas de desempeño como módulo de rigidez, en la cual se mostró que el diseño patrón tuvo resultados tolerables, dentro del rango permitido, mientras que el diseño con fibra metálica resultó ser inadecuado, quiere decir que el pavimento presentara problemas de ahuellamiento, lo cual no es lo ideal.

Por otro lado, en cuanto al ensayo de fatiga, ambos diseños cumplen con lo requerido, se encuentran por encima de la curva promedio. Sin embargo, el diseño con 30% de fibra metálica muestra una mayor deformación, y se encuentra más alejada de los límites, lo cual quiere decir que tendrá un mejor comportamiento a la fatiga.

Los resultados obtenidos se los considera inicialmente satisfactorios a pesar que en los ensayos de módulo de rigidez no sean mejores que la muestra sin adiciones. La adición de la fibra como se menciona anteriormente proporciona un incremento en la estabilidad de la muestra. A continuación, se muestran los resultados obtenidos en los ensayos realizados para ambos diseños, siendo el módulo de rigidez el único no satisfactorio.

**Tabla 19: Tabla comparativa de resultados de ensayos**

	DENSIDAD	VACIOS (%)	ESTABILIDAD AD (LB)	FLUJO	CANTABRO SECO (%)	CANTABRO HÚMEDO (%)	PERMEABILIDAD AD(mm3/seg)	MÓDULO DE RIGIDEZ (MPA)	ENSAYO DE FATIGA	ENSAYO DE DEFORMACIÓN PERMANENTE CREEP (%)
<b>PATRÓN</b>	2410	4.22	2364	11	1.10	32.11	0.0000165	2859	245	1.294
<b>30% FIBRA</b>	2438	3.85	2798	11.67	0.44	26.17	0.0000085	2102	303	1.045
<b>DIFERENCIA (%)</b>	1.15%	9.61%	15.51%	5.74%	60.00%	22.70%	94.12%	36.01%	19.14%	23.83%

Se expone el porcentaje de diferencia de los resultados obtenidos entre el diseño patrón y diseño con adición del 30% de fibra metálica reciclada; cabe recalcar que los resultados obtenidos fueron satisfactorios y tolerables, la adición de la fibra metálica en la mezcla es beneficiosa, mejora su comportamiento en distintos aspectos, se obtienen menores pérdidas por desgaste, mayor estabilidad en la mezcla, menor permeabilidad, mayor densidad, menor porcentaje de vacíos, aproximándose al ideal que es 4%, mayor capacidad de deformación. Por otro lado, el ensayo de módulo de rigidez fue el único que no cumplió con la adición del 30% de fibra metálica, sin embargo, es importante mencionar que esto no determina su funcionalidad, ya que influyen muchos factores al realizar el ensayo, que pudieron afectar los resultados, por lo cual se recomienda continuar con la investigación.

## 5.2 Recomendaciones

Se recomienda realizar más ensayos con más porcentajes de fibra metálica reciclada, para obtener un panorama más claro del comportamiento del mismo. A su vez se debería realizar el ensayo de TSR (Tensile Strength Ratio) para analizar y evaluar la pérdida de resistencia de la mezcla en agua.

También se debería continuar con la investigación, utilizando otro tipo de fibra metálica reciclada, producto de diferentes tornos, una que tenga una granulometría distinta, de tal forma que se amplíe el campo de estudio.

A su vez también se recomienda realizar más ensayos de deformación permanente (Creep), debido a que solo se uso una muestra de cada mezcla.

## CAPÍTULO 6

### 6. Referencias

- ASTM. (2004). *Standard Test Method for Effect of Moisture on Asphalt Concrete Paving Mixtures* . West Conshocken .
- Corsan. (s.f.). *Corsan Energeticos*. Obtenido de Corsan Energeticos: [www.corsan.com.mx/productos/view.php?id=7&s=asfalto-ac-20](http://www.corsan.com.mx/productos/view.php?id=7&s=asfalto-ac-20)
- Ecuador, M. T. (2013). Volumen N2 - Libro a Norma para Estudios y Diseños Viales . En N. E.-1. MTOP, *Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador* (pág. 382). Quito.
- Osorio, J. D. (2020). <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/tipos-de-agregados-y-su-influencia-en-mezcla-de-concreto>. Obtenido de Productos especiales en la construcción, la nueva tendencia de la industria.
- Prodac. (s.f.). "Soluciones confiables para el mundo minero". En Prodac, *Catalogo Minería*. Peru: [www.prodac.com.pe](http://www.prodac.com.pe).
- RODO, J. (s.f.).
- Thenoux, G. &. (2002). Analisis de casos de ahuellamiento en mezclas asfálticas chilenas .
- tools, J. (s.f.). *JET*. Obtenido de JET: <https://www.jettools.com/us/en/p/hbs-916-9-x-16-horizontal-bandsaw/414468>
- Valencia, E. D.-F. (2005). *Automatización de ensayos dinámicos del laboratorio de pavimentos en el equipo N.A.T. (Nottingham Asphalt Tester) de la Pontificia Universidad Javeriana*. Bogotá : Pontificia Universidad Javeriana .

Vila Romani, P. -I. (2014). Pruebas adicionales a las mezclas asfálticas en el Ecuador. Una necesidad imperiosa. 31.

## **CAPÍTULO 7**

### **7. Anexos**

## Anexo 1: Granulometría de Fibra Metálica Reciclada



**CONSTRULADESA**  
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Contratista :  
Solicitado por : JULIANA FLOR  
Proyecto : TESIS DE GRADO  
Localización : TORINO MACONSA  
Desc. / material : FIBRA METALICA  
Profundidad :

Fiscaliza :  
Muestra :  
Fecha : 23/10/2020

<b>ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN GRANULOMETRÍA (ASTM D422)</b>						
TAMIZ INEN (ASTM)	Masa retenida parcial	Masa retenida acumulada	% Masa Retenida	% Masa Retenida Acumulada	% que pasa	
<b>SERIE GRUESA</b>						
75 mm (3")						
50 mm (2")						
37,5 mm (1 1/2")						
25,0 mm (1")						
19,0 mm (3/4")						
12,5 mm (1/2")						
9,5 mm (3/8")						
4,75 mm (No. 4)						
Pasa (No. 4)						
<b>SERIE FINA</b>						
2,36 mm (No. 8)	57.4	57.4	0.6	0.6	99.4	
2 mm (No. 10)	106.1	163.6	1.1	1.6	98.4	
1,18 mm (No. 16)	2,035.8	2,199.4	20.3	21.9	78.1	
850 μm (No. 20)	2,244.6	4,444.0	22.4	44.3	55.7	
600 μm (No. 30)	1,740.0	6,184.0	17.4	61.7	38.3	
425 μm (No. 40)	1,322.4	7,506.4	13.2	74.9	25.1	
300 μm (No. 50)	1,531.2	9,037.6	15.3	90.2	9.8	
250 μm (No. 60)	379.3	9,416.9	3.8	94.0	6.0	
150 μm (No. 100)	412.4	9,829.3	4.1	98.1	1.9	
75 μm (No. 200)	137.5	9,966.7	1.4	99.4	0.6	
Pasa 75 μm	55.7	10,022.4	0.6	100.0	0.0	
<b>Σ =</b>	10,022.4					

D<sub>10</sub> = mm Cu =  
D<sub>30</sub> = mm Cc =  
D<sub>60</sub> = mm

MASA INICIAL = gr.  
grava = 0.0 %  
Arena media = 99.4 %  
Finos = 0.6 %

## Anexo 2: Peso volumétrico Suelto - Fibra Metálica



**CONSTRULAI**  
SUELOS Y HORMIGO

Contratista	:		
Solicitado por	:	<u>JULIANA FLOR</u>	
Obra	:	<u>TESIS DE GRADO</u>	
Localización	:		
Fiscaliza	:		
Fuente del material	:	<u>CANTERA LICOSA</u>	
Descrip. del material	:	<u>FIBRA METALICA</u>	
Fecha	:	<u>23/10/2020</u>	Muestra:

<b><u>PESO VOLUMÉTRICO SUELTO (P.V.S.) - ASTM C29</u></b>			
A = Peso del recipiente	=	<u>3,880.00</u>	gr
B = Peso del recipiente + la muestra	=	<u>4,810.00</u>	gr
C = Volumen del recipiente	=	<u>0.000944</u>	m3
P.V.S. =	$\frac{B - A}{C} \div 1.000 =$	$\frac{4810 - 3880}{0.000944} \div 1.000$	
P.V.S. =	<u>985</u>		Kg/m3

### Anexo 3: Granulometría de muestra #1: Piedra



**CONSTRULADESA**  
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Contratista :  
Solicitado por : JULIANA FLOR  
Proyecto : TESIS DE GRADO  
Localización : CANTERA LICOSA  
Desc. / material : PIEDRA 3/4  
Profundidad :

Fiscaliza :  
Muestra : 1  
Fecha : 23/10/2020

<b>ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN GRANULOMETRÍA (ASTM D422)</b>						
TAMIZ INEN (ASTM)	Masa retenida parcial	Masa retenida acumulada	% Masa Retenida	% Masa Retenida Acumulada	% que pasa	
<b>SERIE GRUESA</b>						
75 mm (3")						
50 mm (2")						
37,5 mm (1 1/2")						
25,0 mm (1")	0.0				100.0	
19,0 mm (3/4")	1,327.2	1,327.2	13.1	13.1	86.9	
12,5 mm (1/2")	7,912.8	9,240.0	77.9	90.9	9.1	
9,5 mm (3/8")	835.8	10,075.8	8.2	99.1	0.9	
4,75 mm (No. 4)	63.0	10,138.8	0.6	99.8	0.2	
Pasa (No. 4)						
<b>SERIE FINA</b>						
2,36 mm (No. 8)	6.5	10,145.3	0.1	99.8	0.2	
2 mm (No. 10)	0.8	10,146.2	0.0	99.8	0.2	
1,18 mm (No. 16)	1.1	10,147.2	0.0	99.9	0.1	
850 μm (No. 20)	0.8	10,148.0	0.0	99.9	0.1	
600 μm (No. 30)	0.6	10,148.7	0.0	99.9	0.1	
425 μm (No. 40)	0.2	10,148.9	0.0	99.9	0.1	
300 μm (No. 50)	0.6	10,149.5	0.0	99.9	0.1	
250 μm (No. 60)	0.8	10,150.4	0.0	99.9	0.1	
150 μm (No. 100)	0.8	10,151.2	0.0	99.9	0.1	
75 μm (No. 200)	2.5	10,153.7	0.0	99.9	0.1	
Pasa 75 μm	8.6	10,162.3	0.1	100.0	0.0	
<b>Σ =</b>	10,162.3					

D<sub>10</sub>=            mm    Cu=  
D<sub>30</sub>=            mm    Cc=  
D<sub>60</sub>=            mm

MASA INICIAL =            gr.  
                                         grava =    99.8    %  
                                         Arena gruesa =    0.1    %  
                                         Finos =    0.1    %

Revisión de formato: 02  
Fecha: 02/01/18

## Anexo 4: Granulometría de muestra #2: Arena



**CONSTRULADESA**  
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Contratista :  
Solicitado por : JULIANA FLOR  
Proyecto : TESIS DE GRADO  
Localización : CANTERA LICOSA  
Desc. / material : ARENA  
Profundidad :

Fiscaliza :  
Muestra : 2  
Fecha : 23/10/2020

<b>ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN GRANULOMETRÍA (ASTM D422)</b>						
TAMIZ INEN (ASTM)	Masa retenida parcial	Masa retenida acumulada	% Masa Retenida	% Masa Retenida Acumulada	% que pasa	
<b>SERIE GRUESA</b>						
75 mm (3")						
50 mm (2")						
37,5 mm (1 1/2")						
25,0 mm (1")	0.0				100.0	
19,0 mm (3/4")	43.2	43.2	0.4	0.4	99.6	
12,5 mm (1/2")	502.2	545.4	5.1	5.5	94.5	
9,5 mm (3/8")	329.4	874.8	3.4	8.9	91.1	
4,75 mm (No. 4)	583.2	1,458.0	5.9	14.8	85.2	
Pasa (No. 4)						
<b>SERIE FINA</b>						
2,36 mm (No. 8)	928.8	2,386.8	9.5	24.3	75.7	
2 mm (No. 10)	194.4	2,581.2	2.0	26.3	73.7	
1,18 mm (No. 16)	923.4	3,504.6	9.4	35.7	64.3	
850 μm (No. 20)	1,058.4	4,563.0	10.8	46.4	53.6	
600 μm (No. 30)	1,987.2	6,550.2	20.2	66.6	33.4	
425 μm (No. 40)	1,193.4	7,743.6	12.1	78.8	21.2	
300 μm (No. 50)	939.6	8,683.2	9.6	88.4	11.6	
250 μm (No. 60)	415.8	9,099.0	4.2	92.6	7.4	
150 μm (No. 100)	448.2	9,547.2	4.6	97.1	2.9	
75 μm (No. 200)	135.0	9,682.2	1.4	98.5	1.5	
Pasa 75 μm	145.8	9,828.0	1.5	100.0	0.0	
<b>Σ =</b>	9,828.0					

MASA INICIAL = gr.  
grava = 14.8 %  
Arena media = 83.7 %  
Finos = 1.5 %

D<sub>10</sub> = mm Cu =  
D<sub>30</sub> = mm Cc =  
D<sub>60</sub> = mm

Revisión de formato: 02  
Fecha: 02/01/18

## Anexo 5: Granulometría de muestra #3: Cisco



**CONSTRULADESA**  
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Contratista :  
Solicitado por : JULIANA FLOR  
Proyecto : TESIS DE GRADO  
Localización : CANTERA LICOSA  
Desc. / material : CISCO  
Profundidad :

Fiscaliza :  
Muestra : 3  
Fecha : 23/10/2020

<b>ENSAYOS DE CLASIFICACIÓN GRANULOMETRÍA (ASTM D422)</b>						
TAMIZ INEN (ASTM)	Masa retenida parcial	Masa retenida acumulada	% Masa Retenida	% Masa Retenida Acumulada	% que pasa	
<b>SERIE GRUESA</b>						
75 mm (3")						
50 mm (2")						
37,5 mm (1 1/2")						
25,0 mm (1")						
19,0 mm (3/4")	0.0				100.0	
12,5 mm (1/2")	398.4	398.4	4.1	4.1	95.9	
9,5 mm (3/8")	1,608.0	2,006.4	16.4	20.5	79.5	
4,75 mm (No. 4)	3,163.2	5,169.6	32.3	52.8	47.2	
Pasa (No. 4)						
--						
2,36 mm (No. 8)	1,838.4	7,008.0	18.8	71.5	28.5	
2 mm (No. 10)	192.0	7,200.0	2.0	73.5	26.5	
1,18 mm (No. 16)	648.0	7,848.0	6.6	80.1	19.9	
850 µm (No. 20)	331.2	8,179.2	3.4	83.5	16.5	
600 µm (No. 30)	336.0	8,515.2	3.4	86.9	13.1	
425 µm (No. 40)	120.0	8,635.2	1.2	88.1	11.9	
300 µm (No. 50)	177.6	8,812.8	1.8	90.0	10.0	
250 µm (No. 60)	91.2	8,904.0	0.9	90.9	9.1	
150 µm (No. 100)	254.4	9,158.4	2.6	93.5	6.5	
75 µm (No. 200)	393.6	9,552.0	4.0	97.5	2.5	
Pasa 75 µm	244.8	9,796.8	2.5	100.0	0.0	
<b>Σ =</b>	9,796.8					

D<sub>10</sub>=            mm    Cu=  
D<sub>30</sub>=            mm    Cc=  
D<sub>60</sub>=            mm

MASA INICIAL =            gr.  
                                         grava =    52.8    %  
                                         Arena gruesa =    44.7    %  
                                         Finos =    2.5    %

Revisión de formato: 02  
Fecha: 02/01/18

**Anexo 6: Gravedad específica - Porcentaje de Absorción – Peso Volumétrico Suelto –  
Peso Volumétrico Varillado para la muestra #1: Piedra**



Contratista : Solicitado por : <u>JULIANA FLOR</u> Obra : <u>TESIS DE GRADO</u> Localización : Fiscaliza : Fuente del material : <u>CANTERA LICOSA</u> Descripción del material : <u>PIEDRA</u> Fecha : <u>23/10/2020</u>	Muestra: 1
<b>Datos:</b> A = Peso en el aire de la muestra secada en estufa = <u>987.00</u> gr B = Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca = <u>1.000.00</u> gr Peso de la canastilla sumergida + material = <u>1.830.00</u> gr Peso de la canastilla sumergida = <u>1.173</u> gr C = Peso de la muestra, sumergida en agua = <u>657</u> gr	
<b><u>GRAVEDAD ESPECÍFICA DE MASA SATURADA CON SUPERFICIE SECA (ASTM C127)</u></b>	
Gravedad específica de masa con superficie seca	$= \frac{B}{B - C} \times 1000 = \frac{1.000.00}{1000 - 657} \times 1000$
Gravedad específica de masa con superficie seca	$= \frac{1.000.00}{343} \times 1000$
Gravedad específica de masa con superficie seca	= <u>2.915</u> Kg/m <sup>3</sup>
<b><u>PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (ASTM C127)</u></b>	
Porcentaje de absorción	$= \frac{B - A}{A} \times 100 = \frac{1000 - 987}{987.00} \times 100$
Porcentaje de absorción	$= \frac{13.00}{987.00} \times 100$
Porcentaje de absorción	= <u>1.32%</u>
<b><u>PESO VOLUMÉTRICO SUELTO (P.V.S.) - ASTM C29</u></b>	
A = Peso del recipiente	= <u>6.698.00</u> gr
B = Peso del recipiente + la muestra	= <u>10.016.00</u> gr
C = Volumen del recipiente	= <u>0.002124</u> m <sup>3</sup>
P.V.S. =	$\frac{B - A}{C} \div 1.000 = \frac{10016 - 6698}{0.002124} \div 1.000$
P.V.S. =	= <u>1.562</u> Kg/m <sup>3</sup>
<b><u>PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO (P.V.V.) - ASTM C29</u></b>	
A = Peso del recipiente	= <u>6.698.00</u> gr
B = Peso del recipiente + la muestra	= <u>10.352.00</u> gr
C = Volumen del recipiente	= <u>0.002124</u> m <sup>3</sup>
P.V.V. =	$\frac{B - A}{C} \div 1.000 = \frac{10352 - 6698}{0.002124} \div 1.000$
P.V.V. =	= <u>1.720</u> Kg/m <sup>3</sup>

Revisión de formato: 01  
Fecha: 02/01/18

**Anexo 7: Gravedad específica - Porcentaje de Absorción – Peso Volumétrico Suelto –  
Peso Volumétrico Varillado para la muestra #2: Arena**



Contratista	:		
Solicitado por	:	<u>JULIANA FLORES</u>	
Obra	:	<u>TESIS DE GRADO</u>	
Localización	:		
Fiscaliza	:		
Fuente del material	:	<u>CANTERA LICOSA</u>	
Descrip. del material	:	<u>ARENA DE RIO</u>	
Fecha	:	<u>23/10/2020</u>	Muestra: 2
<b>Datos:</b>			
A = Peso de la muestra (SSS)	=	<u>500.00</u>	gr
B = Peso picnómetro + agua	=	<u>782.10</u>	gr
C = Peso + agua + arena	=	<u>1,093.90</u>	gr
D = Peso seco en la estufa	=	<u>492.00</u>	gr
<b><u>GRAVEDAD ESPECIFICA DE MASA SATURADA CON SUPERFICIE SECA (ASTM C128)</u></b>			
Gravedad específica de masa con superficie seca	=	$\frac{A}{B + A - C} \times 1000 = \frac{500.00}{782.1 + 500 - 1093.9} \times 1000$	
Gravedad específica de masa con superficie seca	=	$\frac{500.00}{188.20} \times 1000$	
Gravedad específica de masa con superficie seca	=	<u>2,657</u>	Kg/m <sup>3</sup>
<b><u>PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (ASTM C128)</u></b>			
Porcentaje de absorción	=	$\frac{A - D}{D} \times 100 = \frac{500 - 492}{492.00} \times 100$	
Porcentaje de absorción	=	$\frac{8.00}{492.00} \times 100$	
Porcentaje de absorción	=	<u>1.63%</u>	
<b><u>PESO VOLUMÉTRICO SUELTO (P.V.S.) - ASTM C29</u></b>			
A = Peso del recipiente	=	<u>6,698.00</u>	gr
B = Peso del recipiente + la muestra	=	<u>10,218.00</u>	gr
C = Volumen del recipiente	=	<u>0.002124</u>	m <sup>3</sup>
P.V.S.	=	$\frac{B - A}{C} \div 1.000 = \frac{10218 - 6698}{0.002124} \div 1.000$	
P.V.S.	=	<u>1,657</u>	Kg/m <sup>3</sup>

**Anexo 8: Gravedad específica - Porcentaje de Absorción – Peso Volumétrico Suelto –  
Peso Volumétrico Varillado para la muestra #3: Cisco**



**CONSTRULAI**  
SUELOS Y HORMIGO

Contratista : Solicitado por : <u>JULIANA FLOR</u> Obra : <u>TESIS DE GRADO</u> Localización : Fiscaliza : Fuente del material : <u>CANTERA LICOSA</u> Descripción del material : <u>CISCO</u> Fecha : <u>23/10/2020</u>	Muestra:																				
<p><b>Datos:</b></p> <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 60%;">A = Peso en el aire de la muestra secada en estufa</td> <td style="width: 5%; text-align: center;">=</td> <td style="width: 15%; text-align: right;">987.00</td> <td style="width: 10%; text-align: center;">gr</td> </tr> <tr> <td>B = Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca</td> <td style="text-align: center;">=</td> <td style="text-align: right;">1,000.00</td> <td style="text-align: center;">gr</td> </tr> <tr> <td>Peso de la canastilla sumergida + material</td> <td style="text-align: center;">=</td> <td style="text-align: right;">1,830.00</td> <td style="text-align: center;">gr</td> </tr> <tr> <td>Peso de la canastilla sumergida</td> <td style="text-align: center;">=</td> <td style="text-align: right;">1,173</td> <td style="text-align: center;">gr</td> </tr> <tr> <td>C = Peso de la muestra, sumergida en agua</td> <td style="text-align: center;">=</td> <td style="text-align: right;">657</td> <td style="text-align: center;">gr</td> </tr> </table>		A = Peso en el aire de la muestra secada en estufa	=	987.00	gr	B = Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca	=	1,000.00	gr	Peso de la canastilla sumergida + material	=	1,830.00	gr	Peso de la canastilla sumergida	=	1,173	gr	C = Peso de la muestra, sumergida en agua	=	657	gr
A = Peso en el aire de la muestra secada en estufa	=	987.00	gr																		
B = Peso en el aire de la muestra saturada con superficie seca	=	1,000.00	gr																		
Peso de la canastilla sumergida + material	=	1,830.00	gr																		
Peso de la canastilla sumergida	=	1,173	gr																		
C = Peso de la muestra, sumergida en agua	=	657	gr																		
<p><b>GRAVEDAD ESPECIFICA DE MASA SATURADA CON SUPERFICIE SECA (ASTM C127)</b></p>																					
Gravedad específica de masa con superficie seca	=	$\frac{B}{B - C}$	x 1000 =	$\frac{1,000.00}{1000 - 657}$	x 1000																
Gravedad específica de masa con superficie seca	=	$\frac{1,000.00}{343}$	x 1000																		
Gravedad específica de masa con superficie seca	=	2,915	Kg/m <sup>3</sup>																		
<p><b>PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (ASTM C127)</b></p>																					
Porcentaje de absorción	=	$\frac{B - A}{A}$	x 100 =	$\frac{1000 - 987}{987.00}$	x 100																
Porcentaje de absorción	=	$\frac{13.00}{987.00}$	x 100																		
Porcentaje de absorción	=	1.32%																			
<p><b>PESO VOLUMÉTRICO SUELTO (P.V.S.) - ASTM C29</b></p>																					
A = Peso del recipiente	=	6,698.00	gr																		
B = Peso del recipiente + la muestra	=	10,016.00	gr																		
C = Volumen del recipiente	=	0.002124	m <sup>3</sup>																		
P.V.S.	=	$\frac{B - A}{C}$	÷ 1.000 =	$\frac{10016 - 6698}{0.002124}$	÷ 1.000																
P.V.S.	=	1,562 Kg/m <sup>3</sup>																			
<p><b>PESO VOLUMÉTRICO VARILLADO (P.V.V.) - ASTM C29</b></p>																					
A = Peso del recipiente	=	6,698.00	gr																		
B = Peso del recipiente + la muestra	=	10,352.00	gr																		
C = Volumen del recipiente	=	0.002124	m <sup>3</sup>																		
P.V.V.	=	$\frac{B - A}{C}$	÷ 1.000 =	$\frac{10352 - 6698}{0.002124}$	÷ 1.000																
P.V.V.	=	1,720 Kg/m <sup>3</sup>																			

Revisión de formato: 01  
Fecha: 02/01/18

## Anexo 9: Abrasión de los Ángeles de la muestra #1: Piedra



**CONSTRULADESA**  
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

### **ABRASIÓN DE LOS ANGELES**

Fecha : 23/10/2020  
Contratista :  
Solicitado por : JULIANA FLOR  
Obra : TESIS DE GRADO  
Localización :  
Fiscaliza :  
Fuente del Material : CANTERA LICOSA  
Descripción : PIEDRA  
Muestra : 1

MALLAS		PESO ANTES DEL ENSAYO	PESO DESPUÉS POR TAMIZ Nº 12	% DE PERDIDA
PASA	RETIENE			
1 1/2"	1"			
1"	3/4"			
3/4"	1/2"	2500.00		
1/2"	3/8"	2500.00		
3/8"	1/4"			
1/4"	Nº 4			
Nº 4	Nº 8			
<b>TOTAL</b>		<b>5000.00</b>	<b>4262.00</b>	<b>14.76</b>

$$\% \text{ DE PERDIDA} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 =$$

**% DE PERDIDA : 14.76**

**OBSERVACIONES : NORMA A.S.T.M. C-131, CLASIFICACIÓN B, 11 CARGAS ABRASIVAS, TIEMPO 15 MIN.**

Revisión del formato: 01  
Fecha: 06/01/18

## Anexo 10: Abrasión de los Ángeles de la muestra #3: Cisco



**CONSTRULADESA**  
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

### **ABRASIÓN DE LOS ANGELES**

Fecha : 23/10/2020  
Contratista :  
Solicitado por : JULIANA FLOR  
Obra : TESIS DE GRADO  
Localización :  
Fiscaliza :  
Fuente del Material : CANTERA LICOSA  
Descripción : CISCO  
Muestra : 3

MALLAS		PESO ANTES DEL ENSAYO	PESO DESPUÉS POR TAMIZ Nº 12	% DE PERDIDA
PASA	RETIENE			
1 1/2"	1"			
1"	3/4"			
3/4"	1/2"			
1/2"	3/8"			
3/8"	1/4"	2500.00		
1/4"	Nº 4	2500.00		
Nº 4	Nº 8			
	<b>TOTAL</b>	<b>5000.00</b>	<b>3977.00</b>	<b>20.46</b>

$$\% \text{ DE PERDIDA} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 =$$

**% DE PERDIDA : 20.46**

**OBSERVACIONES : NORMA A.S.T.M. C-131, CLASIFICACIÓN C, 8 CARGAS ABRASIVAS, TIEMPO 15 MIN.**

Revisión del formato: 01  
Fecha: 06/01/18

Anexo 11: Prueba al desgaste por medio de Sulfato de Magnesio de muestra #1: Piedra



**CONSTRULADESA**  
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Contratista :  
Solicitado por : JULIANA FLOR  
Obra : TESIS DE GRADO  
Localización :  
Fiscaliza :  
Fuente Material : CANTERA LICOSA  
Descripción : PIEDRA  
Muestra : 1

Fecha : September 11, 2020

**PRUEBA AL DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO  
POR MEDIO DE SULFATO DE MAGNESIO**

TAMIZ		GRANULOMERÍA PESO ACUMULADO	RETENIDO PARCIAL %	PESO ANTES DEL ENSAYO gr.	PESO DESPUÉS DEL ENSAYO gr.	PERDIDA REAL %	PÉRDIDA CORREGIDA %
PASA	RETIENE						
2 1/2*	1 1/2*						
1 1/2*	3/4*	632.00					
3/4*	3/8*	4,166.00	8.22	1,000.00	992.00	0.80	0.07
3/8*	Nº 4*	30.00					
<b>TOTAL</b>		4839.20				<b>Σ=</b>	0.07

PORCENTAJE DE DESGASTE ( % ) :	0.07
<b>OBSERVACIONES</b>	
NORMA A SEGUIR :	INEN 863 CUMPLE

NOTA : NORMA INEN 863 SIMILAR ASTM C88

Revisión de formato: 01  
Fecha: 08/01/18

## Anexo 12: Prueba al desgaste por medio de Sulfato de Magnesio de muestra #2: Arena



**CONSTRULAI**  
SUELOS Y HORMIGO

Contratista :  
Solicitado por : JULIANA FLOR  
Obra : TESIS DE GRADO  
Localización :  
Fiscaliza :  
Fuente del Material : CANTERA LICOSA  
Descripción : ARENA  
Muestra : 2

Fecha : September 11, 2020

### **PRUEBA AL DESGASTE DEL AGREGADO FINO POR MEDIO DE SULFATO DE MAGNESIO**

TAMIZ		GRANULOMETRÍA PESO ACUMULADO	RETENIDO PARCIAL %	PESO ANTES DEL ENSAYO gr.	PESO DESPUÉS DEL ENSAYO gr.	PÉRDIDA REAL %	PÉRDIDA CORREGIDA %
PASA	RETIENE						
	3/8"						
3/8"	Nº 4	216.00	5.93	100.00	98.30	1.70	0.10
Nº 4	Nº 8	560.00	9.45	100.00	97.90	2.10	0.19
Nº 8	Nº 16	974.00	11.37	100.00	98.70	1.30	0.14
Nº 16	Nº 30	2102.00	30.99	100.00	90.80	9.20	2.85
Nº 30	Nº 50	2892.00	21.70	100.00	97.20	2.80	0.60
Nº 50	Nº 100	3316.00	11.65				
Nº 100							
<b>TOTAL</b>		3640.00				Σ =	3.88

<b>PORCENTAJE DE DESGASTE ( % ) :</b>	3.88
<b>OBSERVACIONES</b>	
NORMA A SEGUIR :	INEN 863 <b>CUMPLE</b>

NOTA : NORMA INEN 863 SIMILAR ASTM C88

Revisión de formato: 01  
Fecha: 08/01/18

Anexo 13: Prueba al desgaste por medio de Sulfato de Magnesio de muestra #3: Cisco



**CONSTRULAI**  
SUELOS Y HORMIGO

Contratista :  
Solicitado por : JULIANA FLOR  
Obra : TESIS DE GRADO  
Localización :  
Fiscaliza :  
Fuente Material : CANTERA LICOSA  
Descripción : CISCO  
Muestra : 3

Fecha : September 11, 2020

**PRUEBA AL DESGASTE DEL AGREGADO GRUESO  
POR MEDIO DE SULFATO DE MAGNESIO**

TAMIZ		GRANULOMERÍA PESO ACUMULADO	RETENIDO PARCIAL %	PESO ANTES DEL ENSAYO gr.	PESO DESPUÉS DEL ENSAYO gr.	PERDIDA REAL %	PÉRDIDA CORREGIDA %
PASA	RETIENE						
2 1/2"	1 1/2"						
1 1/2"	3/4"						
3/4"	3/8"	836.00	16.41	1,000.00	992.00	0.80	0.13
3/8"	Nº 4"	1,318.00	32.29	300.00	294.00	2.00	0.65
<b>TOTAL</b>		<b>4082.00</b>				<b>Σ =</b>	<b>0.78</b>

<b>PORCENTAJE DE DESGASTE ( % ) :</b>	<b>0.78</b>
<b>OBSERVACIONES</b>	
<b>NORMA A SEGUIR :</b>	<b>INEN 863 CUMPLE</b>

NOTA : NORMA INEN 863 SIMILAR ASTM C88

Revisión de formato: 01  
Fecha: 08/01/18

## Anexo 14: Extracción de asfalto para 5%



**CONSTRULADESA**  
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

### **EXTRACCIÓN DE ASFALTO**

Solicitado por : JULIANA FLOR

Obra : TESIS DE GRADO

Fiscaliza

Localización : INDUTROC

Descripción : ASFALTO 5%

Temperatura : 145° C (asfalto puesto en obra)

Muestra : 5% DE ASFALTO

Fecha : 29/10/2020

Contrato :

**W<sub>1</sub> = PESO ANTES DE LA EXTRACCIÓN =** 1,000 gr  
(antes de la extracción)

Peso de filtro Nº 1 = \_\_\_\_\_

Peso de filtro Nº 2 = \_\_\_\_\_

Peso de filtro Nº 3 = \_\_\_\_\_

**E<sub>1</sub> =** 14.1

**W<sub>2</sub> = PESO DESPUES DE LA EXTRACCIÓN =** 948 gr

Peso de filtro Nº 1 = \_\_\_\_\_

Peso de filtro Nº 2 = \_\_\_\_\_

Peso de filtro Nº 3 = \_\_\_\_\_

**E<sub>2</sub> =** 15

**W<sub>3</sub> = E<sub>2</sub> - E<sub>1</sub> =** 0.9

**W<sub>4</sub> = VOLUMEN DE DISOLVENTE EMPLEADO (cc) =** 3,000.00 x 0.001 = 3

$$\% \text{ ASFALTO} = \frac{W_1 - (W_2 + W_3 + W_4)}{W_1} \times 100$$

**% ASFALTO = 4.81 %**

**NORMA: ASTM D2172**

Revisión de formato: 01  
Fecha: 07/01/18

## Anexo 15: Marshall de Asfalto para 5%



### MARSHALL DE ASFALTO

Solicitado por : JULIANA FLOR  
 Obra : TESIS DE GRADO  
 Fiscaliza :  
 Localización : INDUTROC  
 Descripción : ASFALTO 5%  
 Temperatura : 145° C

Muestra : 5% DE ASFALTO  
 Fecha : 29/10/2020  
 Contrato :

**NORMA: ASTM D6927**

BRIQUETA N°	EXTRACC. ASFALTO	P E S O S (gr.)			VOLUMEN cm <sup>3</sup>	GRAV. ESP. (BULK) Briqueta (Kg/m3)	GRAV. ESP. (RICE) (Kg/m3)	VACIOS %	ESTABILIDAD		CORRECCIÓN LIBRAS	FACTOR CORRECCIÓN	FLUJO (Pulg/100)
		AIRE	AGUA	S.S.S.					DIAL	ANILLO			
1	4.81 %	1290.0	758.0	1294.0	536.0	2406.7			261.00	2487	2313	0.93	10
2		1291.0	749.0	1294.5	546.0	2364.5			233.00	2222	1978	0.89	10
3		1258.0	730.0	1260.0	530.0	2373.6			240.00	2290	2152	0.94	10
<b>PROMEDIO</b>						<b>2382</b>	2564	<b>7.10</b>			<b>2148</b>		<b>10</b>

Revisión de formato: 01  
 Fecha: 07/01/18

Anexo 16: Ensayo de granulometría de Agregado para 5% de asfalto



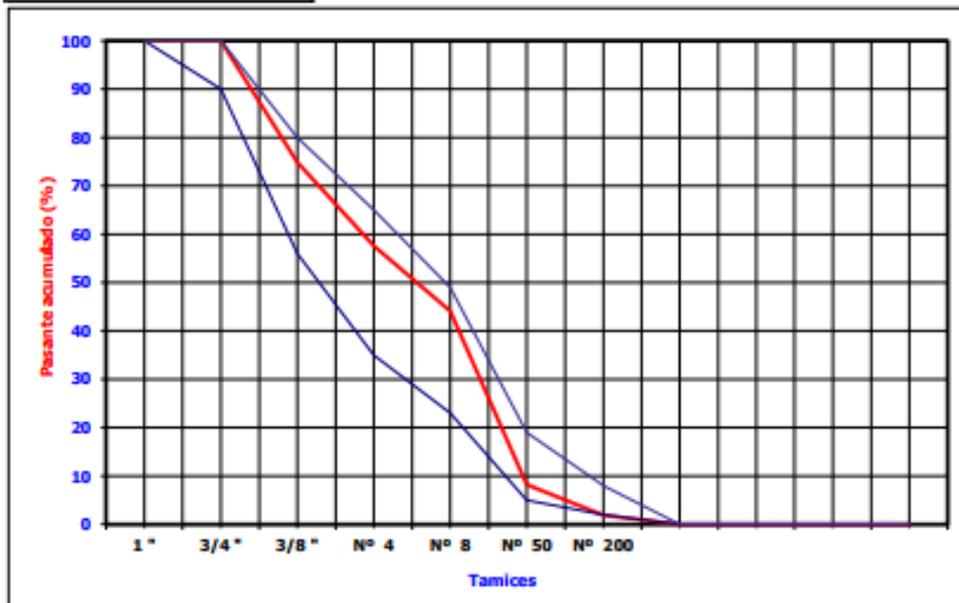
**CONSTRULADESA**  
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : JULIANA FLOR  
 Obra : TESIS DE GRADO  
 Fiscaliza :  
 Localización : INDUTROC  
 Descripción : 5% DE ASFALTO  
 Fecha : 29/10/2020

Muestra : ---- Contrato :

**ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADO PARA ASFALTO  
 PREPARADO EN PLANTA**

						Tamaño máximo 3/4
Tamiz INEN (ASTM)		Pesos retenidos	% Retenidos Parciales	% Retenidos Acumulados	% Pasantes Acumulados	Especificaciones
Nº	mm					
2"	50	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.0	0.00	0.00	0.00	100.00	100
3/4"	19.0	0.00	0.00	0.00	100.00	90 a 100
1/2"	12.5	112.00	11.81	11.81	88.19	
3/8"	9.5	126.00	13.29	25.11	74.89	56 a 80
No. 4	4.75	164.00	17.30	42.41	57.59	35 a 65
No. 8	2.36	128.00	13.50	55.91	44.09	23 a 49
No. 16	1.18	116.00	12.24	68.14	31.86	
No. 30	0.60	144.00	15.19	83.33	16.67	
No. 50	0.30	80.00	8.44	91.77	8.23	5 a 19
No. 100	0.15	34.00	3.59	95.36	4.64	
No. 200	0.075	26.00	2.74	98.10	1.90	2 a 8
FONDO		18.00	1.90	100.00	0.00	
<b>Σ =</b>		948.00				



Revisión de formato: 01  
 Fecha: 07/01/18

## Anexo 17: Extracción de asfalto para 5,5%



**CONSTRULADESA**  
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

### **EXTRACCIÓN DE ASFALTO**

Solicitado por : JULIANA FLOR  
Obra : TESIS DE GRADO  
Fiscaliza :  
Localización : INDUTROC  
Descripción : 5,5 % ASFALTO  
Temperatura : 140° C (asfalto puesto en obra)

Muestra : 5.5% ASFALTO  
Fecha : 29/10/2020  
Contrato :

**W<sub>1</sub> = PESO ANTES DE LA EXTRACCIÓN =** 1,000 gr  
(antes de la extracción)  
Peso de filtro N° 1 = \_\_\_\_\_  
Peso de filtro N° 2 = \_\_\_\_\_  
Peso de filtro N° 3 = \_\_\_\_\_  
**E<sub>1</sub> =** 14.2

**W<sub>2</sub> = PESO DESPUES DE LA EXTRACCIÓN =** 943 gr  
Peso de filtro N° 1 = \_\_\_\_\_  
Peso de filtro N° 2 = \_\_\_\_\_  
Peso de filtro N° 3 = \_\_\_\_\_  
**E<sub>2</sub> =** 15.2

**W<sub>3</sub> = E<sub>2</sub> - E<sub>1</sub> =** 1

**W<sub>4</sub> = VOLUMEN DE DISOLVENTE EMPLEADO (cc) =** 3,000.00 x 0.001 = 3

$$\% \text{ ASFALTO} = \frac{W_1 - (W_2 + W_3 + W_4)}{W_1} \times 100$$

**% ASFALTO = 5.30 %**

**NORMA: ASTM D2172**

Revisión de formato: 01  
Fecha: 07/01/18

## Anexo 18: Marshall de Asfalto para 5.5%



**CONSTRULAI**  
SUELOS Y HORMIGO

### MARSHALL DE ASFALTO

**Solicitado por** : JULIANA FLOR  
**Obra** : TESIS DE GRADO  
**Fiscaliza**  
**Localización** : INDUTROC  
**Descripción** : 5,5% DE ASFALTO  
**Temperatura** : 140° C

**Muestra** : 5.5% ASFALTO  
**Fecha** : 29/10/2020  
**Contrato** :

**NORMA: ASTM D6927**

BRIQUETA Nº	EXTRACC. ASFALTO	P E S O S (gr.)			VOLUMEN cm <sup>3</sup>	GRAV. ESP. (BULK) Briqueta (Kg/m <sup>3</sup> )	GRAV. ESP. (RICE) (Kg/m <sup>3</sup> )	VACIOS %	ESTABILIDAD		CORRECCIÓN LIBRAS	FACTOR CORRECCIÓN	FLUJO (Pulg/100)
		AIRE	AGUA	S.S.S.					DIAL	ANILLO			
1	5.30 %	1272.0	744.5	1275.0	531.0	2395.5			265.00	2525	2374	0.94	11
2		1237.7	725.0	1239.0	514.0	2408.0			222.00	2119	2098	0.99	11
3		1232.0	723.0	1234.0	511.0	2411.0			250.00	2384	2360	0.99	11
<b>PROMEDIO</b>						<b>2405</b>	2535	<b>5.15</b>			<b>2277</b>		<b>11</b>

Revisión de formato: 01  
Fecha: 07/01/18

## Anexo 19: Ensayo de granulometría de Agregado para 5.5% de asfalto

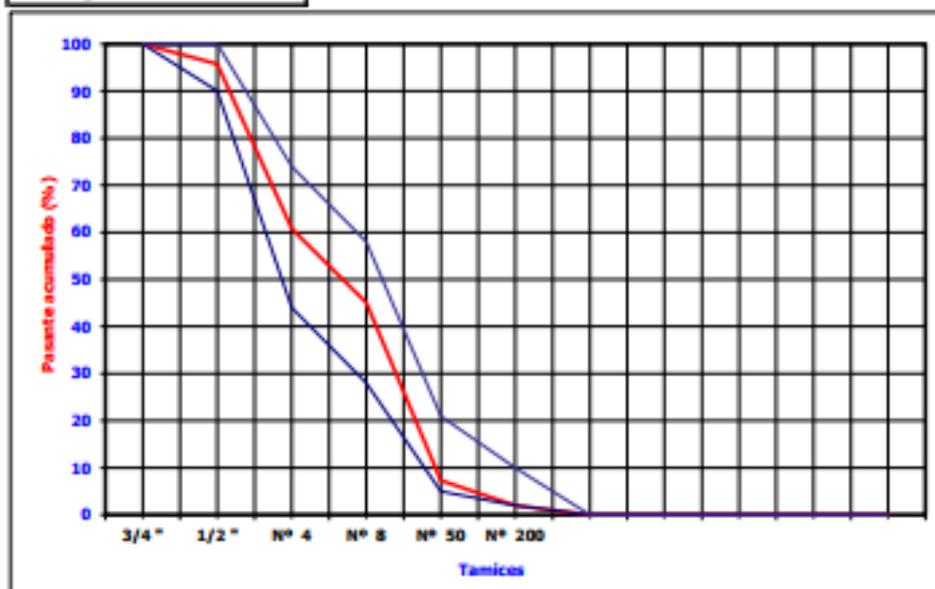


**CONSTRULADESA**  
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : JULIANA FLOR  
 Obra : TESIS DE GRADO  
 Fiscaliza :  
 Localización : INDUTROC  
 Descripción : 5,5 % ASFALTO  
 Fecha : 29/10/2020 Muestra : --- Contrato :

### **ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADO PARA ASFALTO PREPARADO EN PLANTA**

Tamiz INEN (ASTM)		Pesos retenidos	% Retenidos Parciales	% Retenidos Acumulados	% Pasantes Acumulados	Tamaño máximo 1/2
Nº	mm					Especificaciones
2"	50	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.0	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.0	0.00	0.00	0.00	100.00	100
1/2"	12.5	40.00	4.24	4.24	95.76	90 a 100
3/8"	9.5	140.00	14.85	19.09	80.91	
No. 4	4.75	190.00	20.15	39.24	60.76	44 a 74
No. 8	2.36	148.00	15.69	54.93	45.07	28 a 58
No. 16	1.18	130.00	13.79	68.72	31.28	
No. 30	0.60	152.00	16.12	84.84	15.16	
No. 50	0.30	74.00	7.85	92.68	7.32	5 a 21
No. 100	0.15	28.00	2.97	95.65	4.35	
No. 200	0.075	22.00	2.33	97.99	2.01	2 a 10
FONDO		19.00	2.01	100.00	0.00	
<b>g =</b>		943.00				



Revisión de formato: 01  
Fecha: 07/01/18

## Anexo 20: Extracción de asfalto para 6%



**CONSTRULADESA**  
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

### **EXTRACCIÓN DE ASFALTO**

Solicitado por : JULIANA FLOR  
Obra : TESIS DE GRADO  
Fiscaliza :  
Localización : INDUCTROC  
Descripción : ASFALTO 6%  
Temperatura : 145° C (asfalto puesto en obra)

Muestra : 6% DE ASFALTO  
Fecha : 29/10/2020  
Contrato :

**W<sub>1</sub> = PESO ANTES DE LA EXTRACCIÓN =** 1,000 gr  
Peso de filtro N° 1 = \_\_\_\_\_ (antes de la extracción)  
Peso de filtro N° 2 = \_\_\_\_\_  
Peso de filtro N° 3 = \_\_\_\_\_  
  
E<sub>1</sub> = 14

**W<sub>2</sub> = PESO DESPUES DE LA EXTRACCIÓN =** 937 gr  
Peso de filtro N° 1 = \_\_\_\_\_  
Peso de filtro N° 2 = \_\_\_\_\_  
Peso de filtro N° 3 = \_\_\_\_\_  
  
E<sub>2</sub> = 15.2

**W<sub>3</sub> = E<sub>2</sub> - E<sub>1</sub> =** 1.2

**W<sub>4</sub> = VOLUMEN DE DISOLVENTE EMPLEADO (cc) =** 3,000.00 x 0.001 = 3

$$\% \text{ ASFALTO} = \frac{W_1 - (W_2 + W_3 + W_4)}{W_1} \times 100$$

**% ASFALTO = 5.88 %**

**NORMA: ASTM D2172**

Revisión de formato: 01  
Fecha: 07/01/18

## Anexo 21: Marshall de Asfalto para 6%



**CONSTRULAI**  
SUELOS Y HORMIGO

### MARSHALL DE ASFALTO

**Solicitado por** : JULIANA FLOR  
**Obra** : TESIS DE GRADO  
**Fiscaliza**  
**Localización** : INDUCTROC  
**Descripción** : ASFALTO 6%  
**Temperatura** : 145° C (asfalto puesto en obra)

**Muestra** : 6% DE ASFALTO  
**Fecha** : 29/10/2020  
**Contrato** :

**NORMA: ASTM D6927**

BRIQUETA Nº	EXTRACC. ASFALTO	P E S O S (gr.)			VOLUMEN cm <sup>3</sup>	GRAV. ESP. (BULK) Briqueta (Kg/m3)	GRAV. ESP. (RICE) (Kg/m3)	VACIOS %	ESTABILIDAD		CORRECCIÓN LIBRAS	FACTOR CORRECCIÓN	FLUJO (Pulg/100)
		AIRE	AGUA	S.S.S.					DIAL	ANILLO			
1	5.88 %	1265.0	746.0	1267.0	521.0	2428.0			262.00	2498	2423	0.97	13
2		1283.0	759.0	1285.0	526.0	2439.2			286.00	2725	2589	0.95	13
3		1264.0	741.5	1266.0	525.0	2407.6			233.00	2222	2133	0.96	13
<b>PROMEDIO</b>						<b>2425</b>	2529	<b>4.10</b>			<b>2382</b>		<b>13</b>

Revisión de formato: 01  
 Fecha: 07/01/18

## Anexo 22: Ensayo de granulometría de Agregado para 6% de asfalto



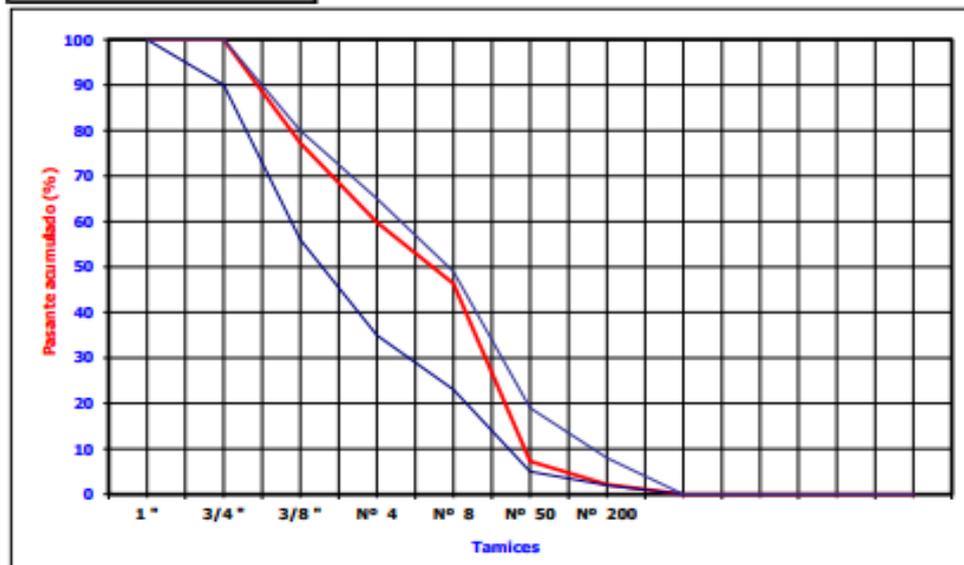
**CONSTRULADESA**  
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : JULIANA FLOR  
Obra : TESIS DE GRADO  
Fiscaliza :  
Localización : INDUCTROC  
Descripción : ASFALTO 6%  
Fecha : 29/10/2020

Muestra : ---- Contrato :

### **ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADO PARA ASFALTO PREPARADO EN PLANTA**

Tamiz INEN (ASTM)		Pesos retenidos	% Retenidos Parciales	% Retenidos Acumulados	% Pasantes Acumulados	Especificaciones
Nº	mm					
2"	50	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.0	0.00	0.00	0.00	100.00	100
3/4"	19.0	0.00	0.00	0.00	100.00	90 a 100
1/2"	12.5	105.00	11.21	11.21	88.79	
3/8"	9.5	108.00	11.53	22.73	77.27	56 a 80
No. 4	4.75	164.00	17.50	40.23	59.77	35 a 65
No. 8	2.36	126.00	13.45	53.68	46.32	23 a 49
No. 16	1.18	112.00	11.95	65.64	34.36	
No. 30	0.60	178.00	19.00	84.63	15.37	
No. 50	0.30	76.00	8.11	92.74	7.26	5 a 19
No. 100	0.15	26.00	2.77	95.52	4.48	
No. 200	0.075	22.00	2.35	97.87	2.13	2 a 8
FONDO		20.00	2.13	100.00	0.00	
<b>Σ =</b>		937.00				



Revisión de formato: 01  
Fecha: 07/01/18

## Anexo 23: Extracción de asfalto para 6.5%



**CONSTRULADESA**  
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

### **EXTRACCIÓN DE ASFALTO**

Solicitado por : JULIANA FLOR  
Obra : TESIS DE GRADO  
Fiscaliza :  
Localización : INDUCTROC  
Descripción : ASFALTO 6.5%  
Temperatura : 145° C (asfalto puesto en obra)

Muestra : ASFALTO 6.5%  
Fecha : 29/10/2020  
Contrato :

**W<sub>1</sub> = PESO ANTES DE LA EXTRACCIÓN =** 1,000 gr  
Peso de filtro Nº 1 = \_\_\_\_\_ (antes de la extracción)  
Peso de filtro Nº 2 = \_\_\_\_\_  
Peso de filtro Nº 3 = \_\_\_\_\_  
**E<sub>1</sub> =** 14.1

**W<sub>2</sub> = PESO DESPUES DE LA EXTRACCIÓN =** 932 gr  
Peso de filtro Nº 1 = \_\_\_\_\_  
Peso de filtro Nº 2 = \_\_\_\_\_  
Peso de filtro Nº 3 = \_\_\_\_\_  
**E<sub>2</sub> =** 15.5

**W<sub>3</sub> = E<sub>2</sub> - E<sub>1</sub> =** 1.4

**W<sub>4</sub> = VOLUMEN DE DISOLVENTE EMPLEADO (cc) =** 3,000.00 x 0.001 = 3

$$\% \text{ ASFALTO} = \frac{W_1 - (W_2 + W_3 + W_4)}{W_1} \times 100$$

**% ASFALTO =** 6.36 %

**NORMA: ASTM D2172**

Revisión de formato: 01  
Fecha: 07/01/18

## Anexo 24: Marshall de Asfalto para 6.5%



### MARSHALL DE ASFALTO

**Solicitado por** : JULIANA FLOR  
**Obra** : TESIS DE GRADO  
**Fiscaliza**  
**Localización** : INDUCTROC  
**Descripción** : ASFALTO DE 6.5%  
**Temperatura** : 145° C (asfalto puesto en obra)

**Muestra** : : ASFALTO DE 6.5%  
**Fecha** : 29/10/2020  
**Contrato** :

**NORMA: ASTM D6927**

BRIQUETA Nº	EXTRACC. ASFALTO	P E S O S (gr.)			VOLUMEN cm <sup>3</sup>	GRAV. ESP. (BULK) Briqueta (Kg/m3)	GRAV. ESP. (RICE) (Kg/m3)	VACIOS %	ESTABILIDAD		CORRECCIÓN LIBRAS	FACTOR CORRECCIÓN	FLUJO (Pulg/100)
		AIRE	AGUA	S.S.S.					DIAL	ANILLO			
1	6.36 %	1242.1	724.5	1243.0	519.0	2393.3			230.00	2195	2129	0.97	14
2		1144.7	665.5	1145.7	480.0	2384.8			224.00	2138	2352	1.10	15
3		1343.0	789.3	1344.0	555.0	2419.8			248.00	2365	2058	0.87	14
<b>PROMEDIO</b>						<b>2399</b>	2487	<b>3.53</b>			<b>2180</b>		<b>14</b>

Revisión de formato: 01  
 Fecha: 07/01/18

## Anexo 25: Ensayo de granulometría de Agregado para 6.5% de asfalto

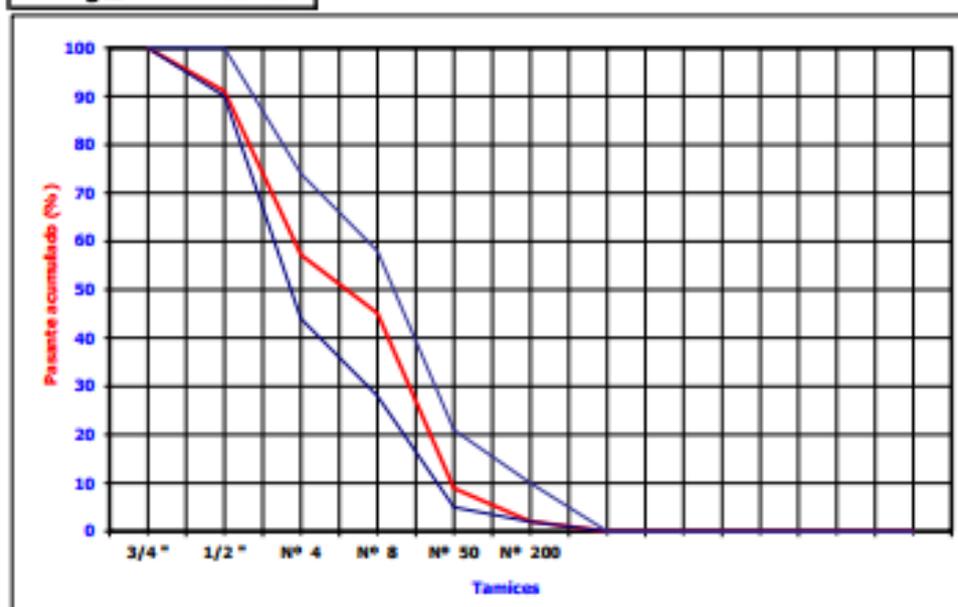


**CONSTRULADESA**  
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

Solicitado por : JULIANA FLOR  
 Obra : TESIS DE GRADO  
 Fiscaliza :  
 Localización : INDUCTROC  
 Descripción : ASFALTO 6.5%  
 Fecha : 29/10/2020 Muestra : --- Contrato :

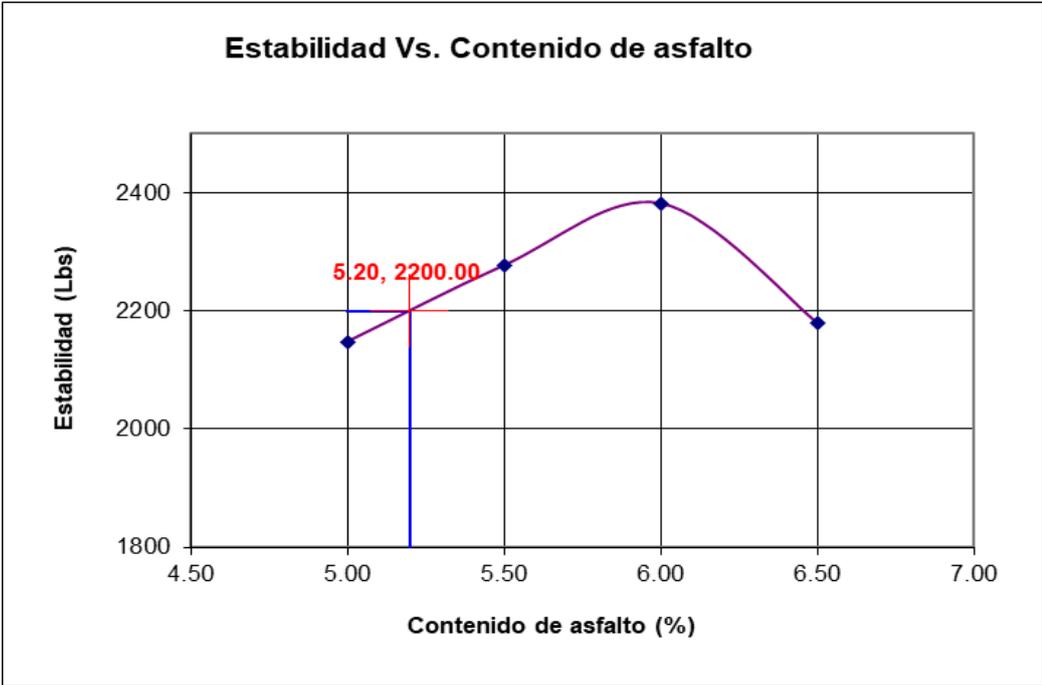
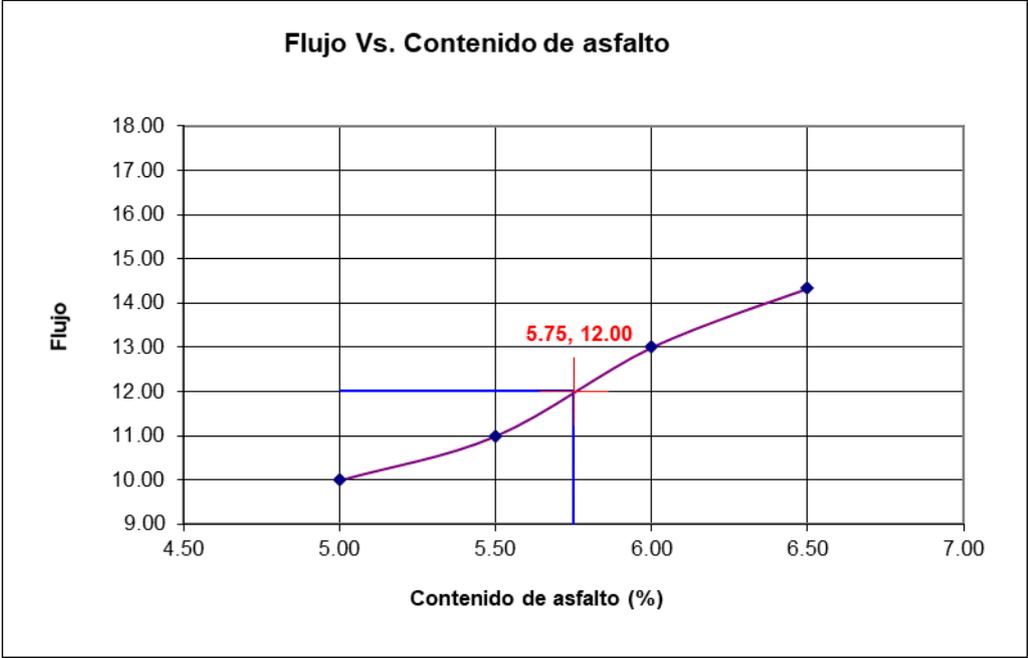
### ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADO PARA ASFALTO PREPARADO EN PLANTA

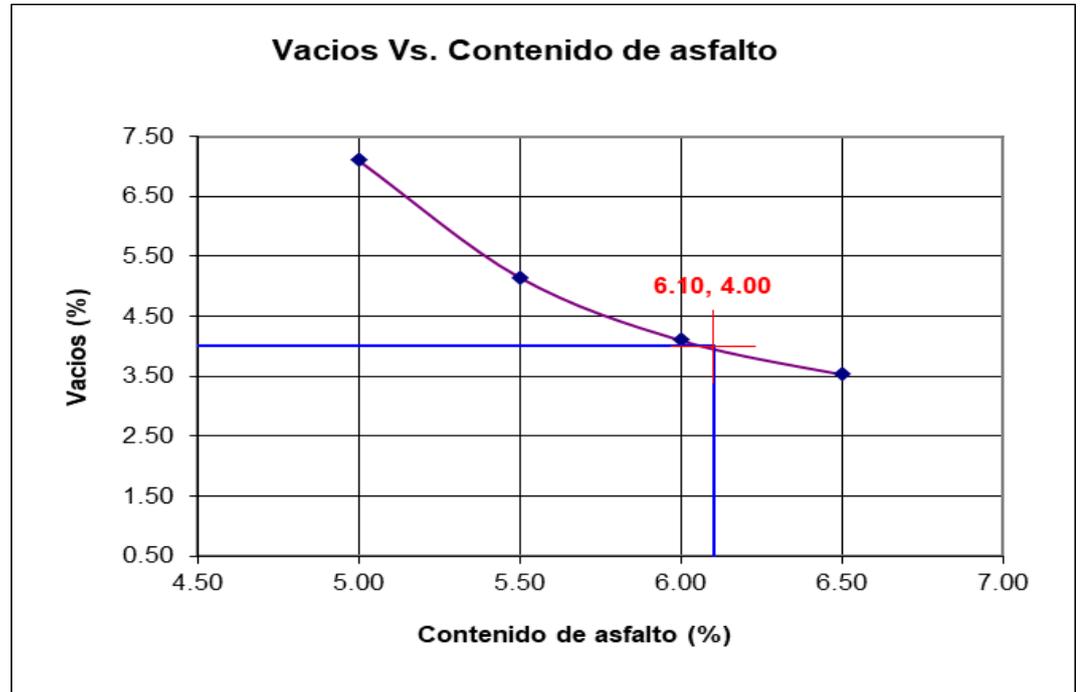
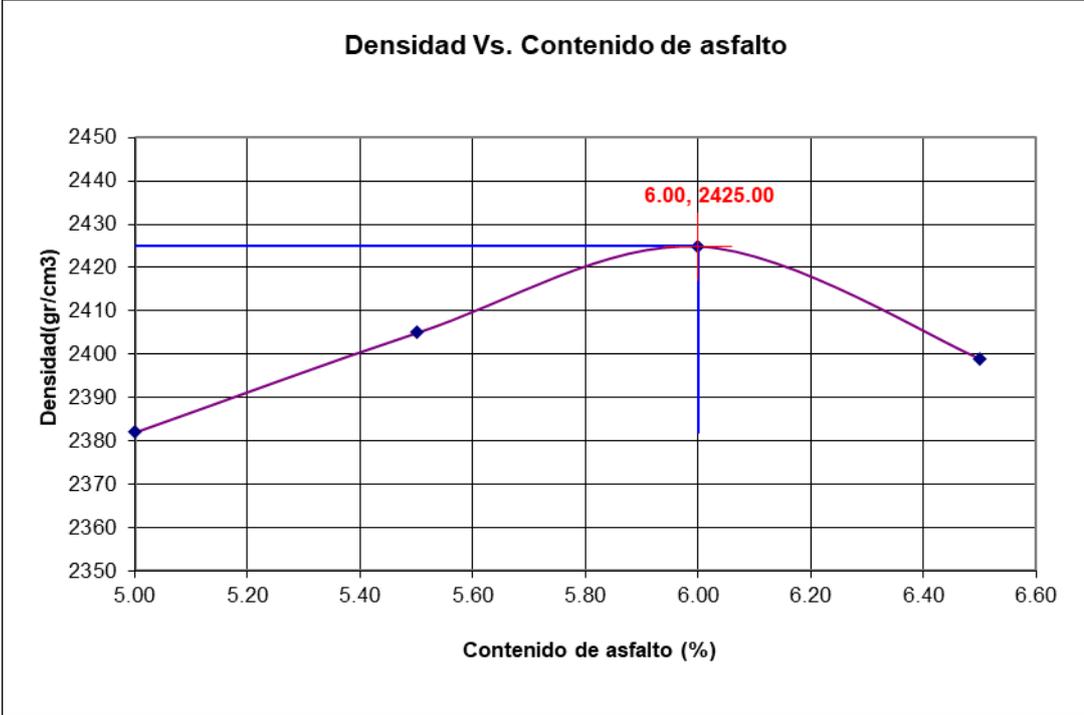
						Tamaño máximo 1/2"
Tamiz INEN (ASTM)		Pesos retenidos	% Retenidos Parciales	% Retenidos Acumulados	% Pasantes Acumulados	Especificaciones
Nº	mm					
2"	50	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.0	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.0	0.00	0.00	0.00	100.00	100
1/2"	12.5	84.00	9.01	9.01	90.99	90 a 100
3/8"	9.5	120.00	12.88	21.89	78.11	
No. 4	4.75	195.00	20.92	42.81	57.19	44 a 74
No. 8	2.36	112.00	12.02	54.83	45.17	28 a 58
No. 16	1.18	96.00	10.30	65.13	34.87	
No. 30	0.60	146.00	15.67	80.79	19.21	
No. 50	0.30	96.00	10.30	91.09	8.91	5 a 21
No. 100	0.15	40.00	4.29	95.39	4.61	
No. 200	0.075	24.00	2.58	97.96	2.04	2 a 10
FONDO		19.00	2.04	100.00	0.00	
<b>g =</b>		932.00				



Revisión de formato: 01  
 Fecha: 07/01/18

**Anexo 26: Gráficos: Estabilidad vs Contenido de Asfalto - Flujo vs Contenido de Asfalto - % de Vacíos vs Contenido de Asfalto - Densidad vs Contenido de Asfalto**





**Anexo 27: Ensayo Marshall para los diferentes porcentajes de adición de fibra metálica reciclada  
(10% - 20% - 30% - 40% - 50%)**



**MARSHALL DE ASFALTO**

**Solicitado por** : JULIANA FLOR  
**Obra** : TESIS DE GRADO  
**Fiscaliza**  
**Localización**  
**Descripción** : ADICION 10% DE FIBRA  
**Temperatura** : 145° C

**Muestra** : 10% de Fibra Metalica  
**Fecha** : 11/October/2020  
**Contrato** :

**NORMA: ASTM D6927**

BRIQUETA Nº	P E S O S (gr.)			VOLUMEN cm <sup>3</sup>	GRAV. ESP. (BULK) Briqueta (Kg/m3)	GRAV. ESP. (RICE) (Kg/m3)	VACIOS %	ESTABILIDAD		CORRECCIÓN LIBRAS	FACTOR CORRECCIÓN	FLUJO (Puig/100)
	AIRE	AGUA	S.S.S.					DIAL	ANILLO			
1	1278.0	744.0	1279.0	535.0	2389			275.00	2620	2437	0.93	12
2	1257.5	736.0	1258.0	522.0	2409			265.00	2525	2424	0.96	11
3	1250.5	733.0	1245.0	512.0	2442			270.00	2573	2547	0.99	10
<b>PROMEDIO</b>					<b>2413</b>	2515	<b>4.04</b>			<b>2469</b>		<b>11</b>

Revisión de formato: 01  
Fecha: 07/01/18



**CONSTRULADESA**  
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

## **MARSHALL DE ASFALTO**

**Solicitado por** : JULIANA FLOR  
**Obra** : TESIS DE GRADO  
**Fiscaliza**  
**Localización**  
**Descripción** : ADICION 20% DE FIBRA  
**Temperatura** : 145° C

**Muestra** : 20% de Fibra Metalica  
**Fecha** : 11/October/2020  
**Contrato** :

**NORMA: ASTM D6927**

BRIQUETA Nº	P E S O S (gr.)			VOLUMEN cm <sup>3</sup>	GRAV. ESP. (BULK) Briqueta (Kg/m3)	GRAV. ESP. (RICE) (Kg/m3)	VACIOS %	ESTABILIDAD		CORRECCIÓN LIBRAS	FACTOR CORRECCIÓN	FLUJO (Pulg/100)
	AIRE	AGUA	S.S.S.					DIAL	ANILLO			
1	1224.5	707.5	1226.5	519.0	2359			286.00	2725	2643	0.97	12
2	1255.0	710.0	1230.0	520.0	2413			279.00	2658	2578	0.97	11
3	1198.0	689.0	1169.4	480.0	2496			256.00	2441	2685	1.10	12
<b>PROMEDIO</b>					<b>2423</b>	2522	<b>3.93</b>			<b>2636</b>		<b>11.67</b>

Revisión de formato: 01  
Fecha: 07/01/18



**CONSTRULADESA**  
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

## **MARSHALL DE ASFALTO**

**Solicitado por** : JULIANA FLOR  
**Obra** : TESIS DE GRADO  
**Fiscaliza**  
**Localización**  
**Descripción** : ADICION 30% DE FIBRA  
**Temperatura** : 145° C

**Muestra** : 30% de Fibra Metalica  
**Fecha** : 11/October/2020  
**Contrato** :

**NORMA: ASTM D6927**

BRIQUETA N°	P E S O S (gr.)			VOLUMEN cm <sup>3</sup>	GRAV. ESP. (BULK) Briqueta (Kg/m3)	GRAV. ESP. (RICE) (Kg/m3)	VACIOS %	ESTABILIDAD		CORRECCIÓN LIBRAS	FACTOR CORRECCIÓN	FLUJO (Pulg/100)
	AIRE	AGUA	S.S.S.					DIAL	ANILLO			
1	1181.2	708.5	1185.5	477.0	2476			298.00	2838	3179	1.12	12
2	1303.1	762.0	1303.4	541.0	2409			275.00	2620	2384	0.91	11
3	1297.5	763.8	1298.0	534.0	2430			320.00	3045	2832	0.93	12
<b>PROMEDIO</b>					<b>2438</b>	2536	<b>3.85</b>			<b>2798</b>		<b>11.67</b>

Revisión de formato: 01  
Fecha: 07/01/18



**CONSTRULADESA**  
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

## **MARSHALL DE ASFALTO**

**Solicitado por** : JULIANA FLOR  
**Obra** : TESIS DE GRADO  
**Fiscaliza**  
**Localización**  
**Descripción** : ADICION 40% DE FIBRA  
**Temperatura** : 145° C

**Muestra** : 40% de Fibra Metalica  
**Fecha** : 11/December/2020  
**Contrato** :

**NORMA: ASTM D6927**

BRIQUETA Nº	P E S O S (gr.)			VOLUMEN cm <sup>3</sup>	GRAV. ESP. (BULK) Briqueta (Kg/m3)	GRAV. ESP. (RICE) (Kg/m3)	VACIOS %	ESTABILIDAD		CORRECCIÓN LIBRAS	FACTOR CORRECCIÓN	FLUJO (Pulg/100)
	AIRE	AGUA	S.S.S.					DIAL	ANILLO			
1	1240.0	723.0	1242.0	519.0	2389			192.00	1833	1778	0.97	12
2	1246.5	722.0	1251.0	529.0	2356			190.00	1814	1723	0.95	11
3	1261.0	739.0	1263.0	524.0	2406			200.00	1910	1834	0.96	12
<b>PROMEDIO</b>					<b>2384</b>	2478	<b>3.79</b>			<b>1778</b>		<b>11.67</b>

Revisión de formato: 01  
Fecha: 07/01/18



**CONSTRULADESA**  
SUELOS Y HORMIGONES S.A.

## **MARSHALL DE ASFALTO**

**Solicitado por** : JULIANA FLOR  
**Obra** : TESIS DE GRADO  
**Fiscaliza**  
**Localización**  
**Descripción** : ADICION 50% DE FIBRA  
**Temperatura** : 145° C

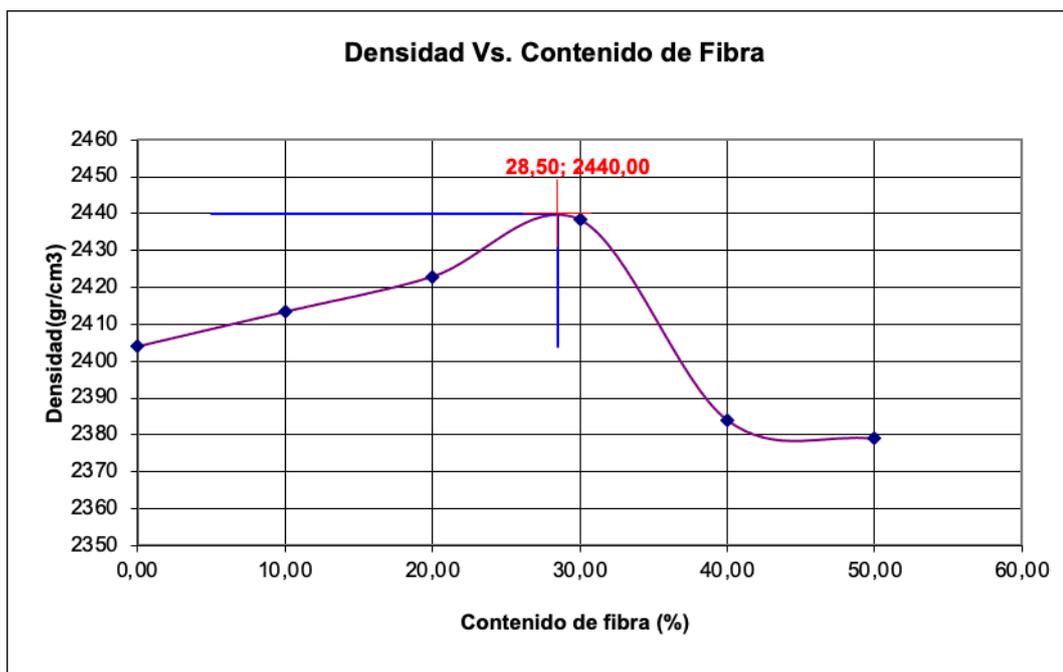
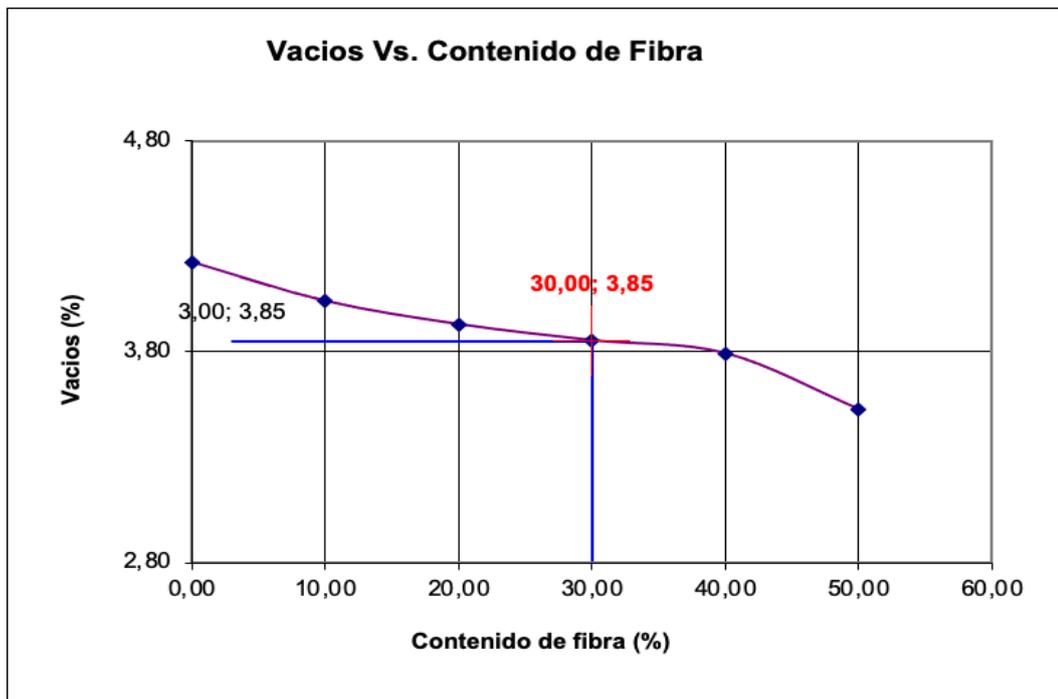
**Muestra** : 50% de Fibra Metalica  
**Fecha** : 11/December/2020  
**Contrato** :

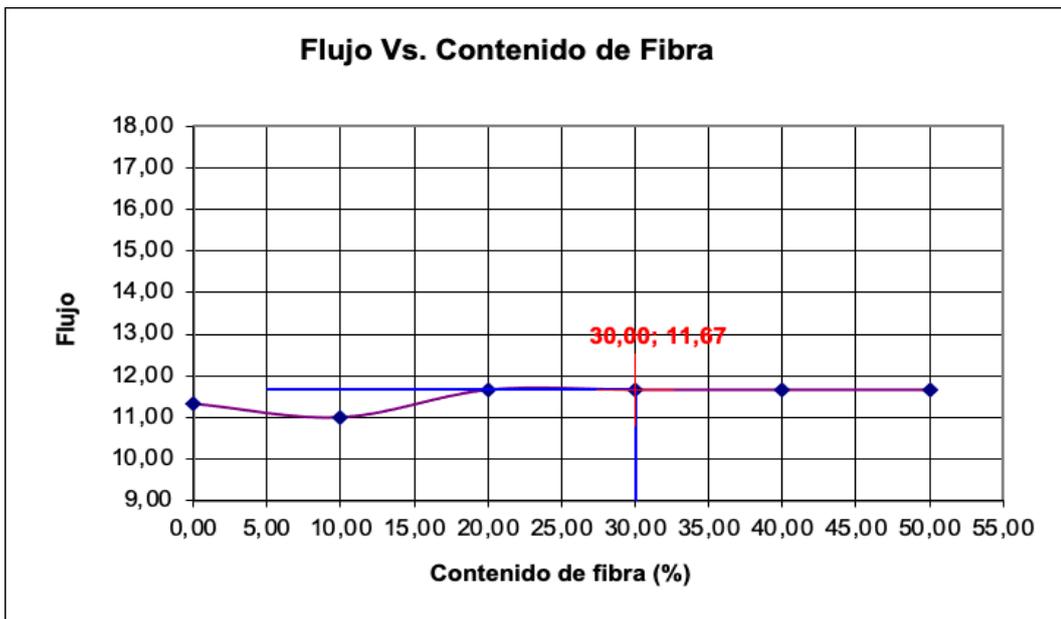
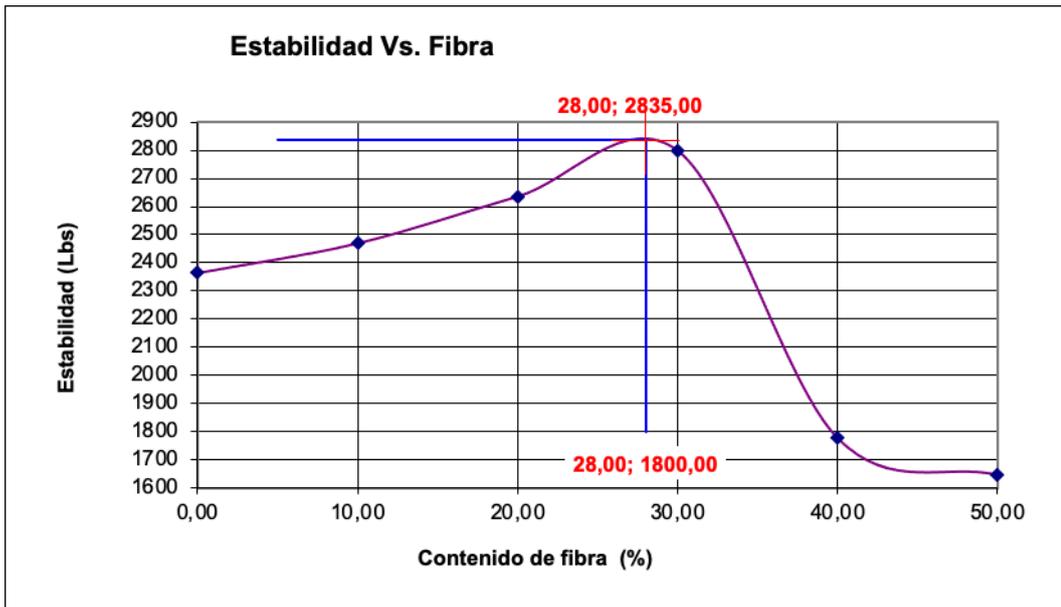
**NORMA: ASTM D6927**

BRIQUETA Nº	P E S O S (gr.)			VOLUMEN cm <sup>3</sup>	GRAV. ESP. (BULK) Briqueta (Kg/m3)	GRAV. ESP. (RICE) (Kg/m3)	VACIOS %	ESTABILIDAD		CORRECCIÓN LIBRAS	FACTOR CORRECCIÓN	FLUJO (Puig/100)
	AIRE	AGUA	S.S.S.					DIAL	ANILLO			
1	1297.5	752.0	1302.0	550.0	2359			184.00	1757	1546	0.88	11
2	1293.0	751.0	1295.0	544.0	2377			204.00	1948	1753	0.90	12
3	1200.5	705.0	1205.0	500.0	2401			167.00	1597	1645	1.03	12
<b>PROMEDIO</b>					<b>2379</b>	2466	<b>3.53</b>			<b>1648</b>		<b>11.67</b>

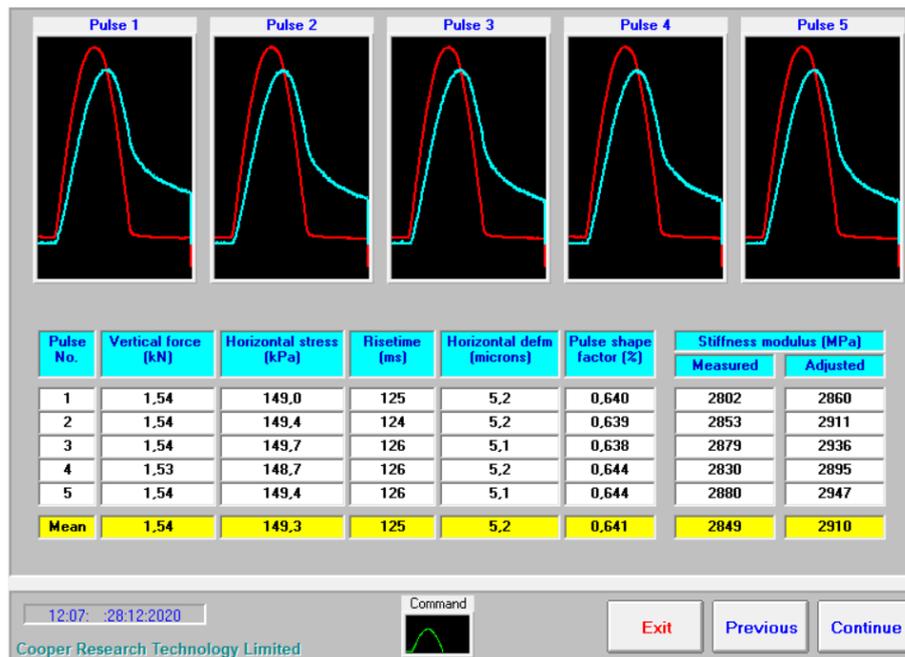
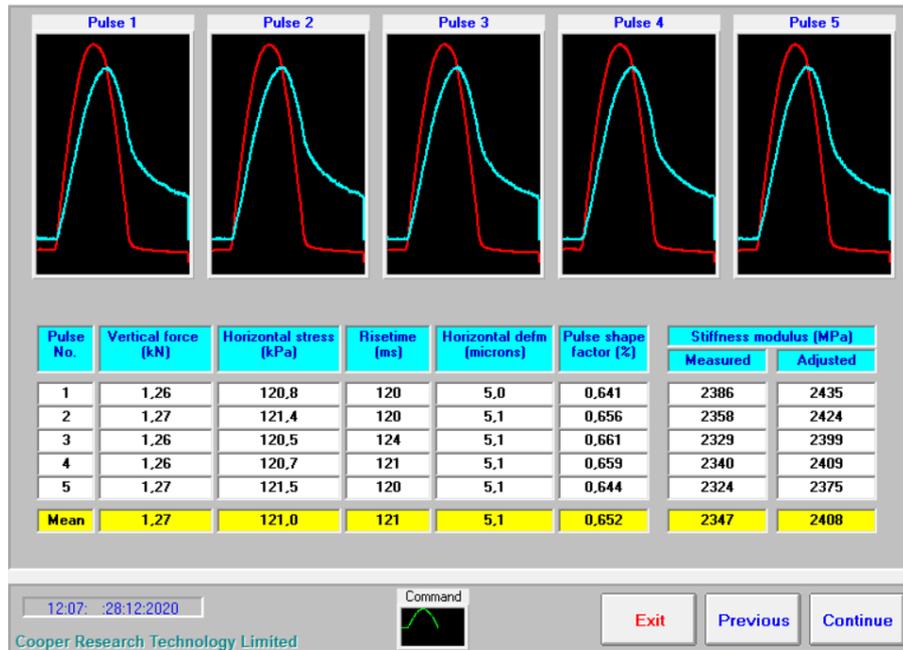
Revisión de formato: 01  
Fecha: 07/01/18

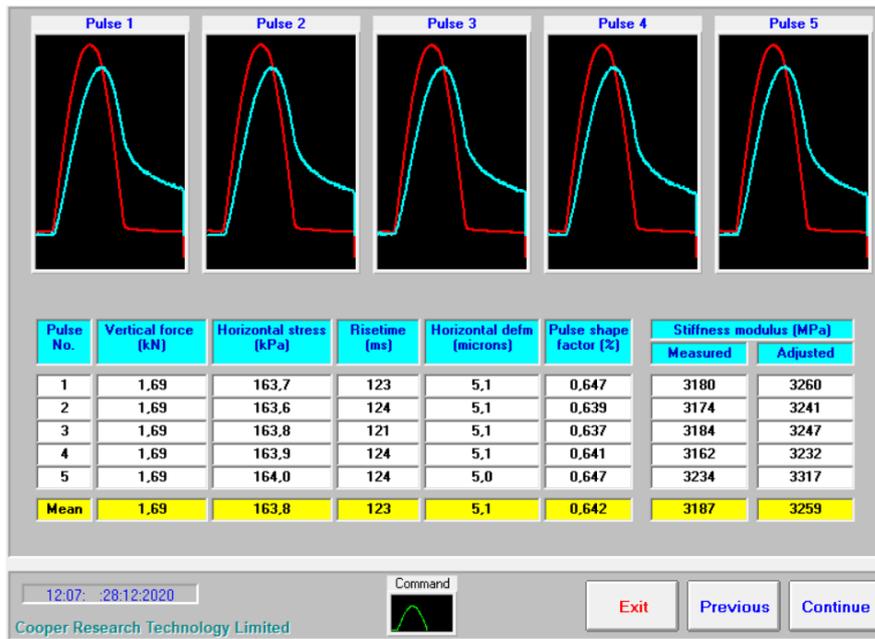
**Anexo 28: Estabilidad vs Contenido de Fibra - Flujo vs Contenido de Fibra - % de Vacíos vs Contenido de Fibra - Densidad vs Contenido de Fibra**



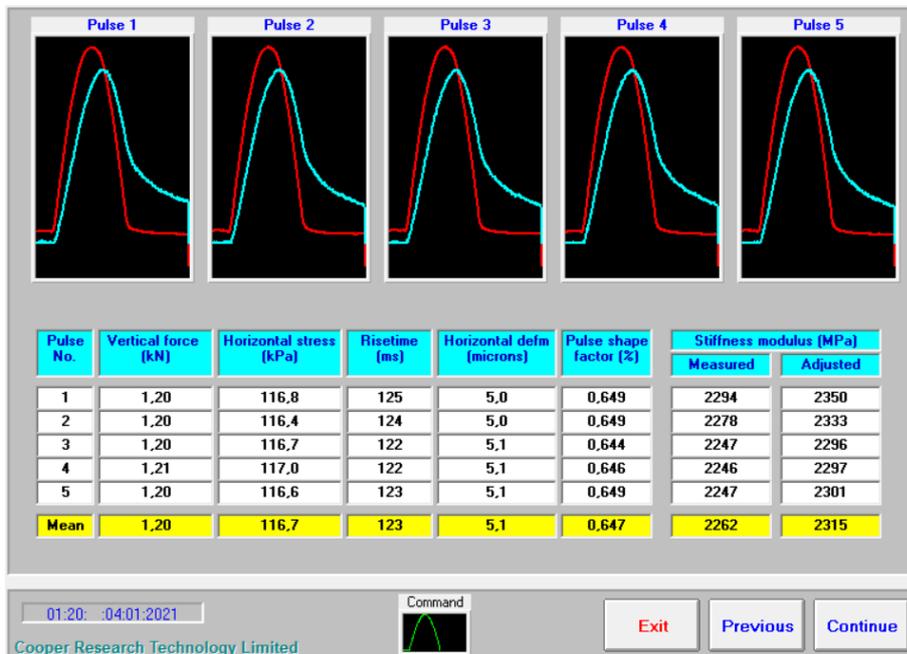
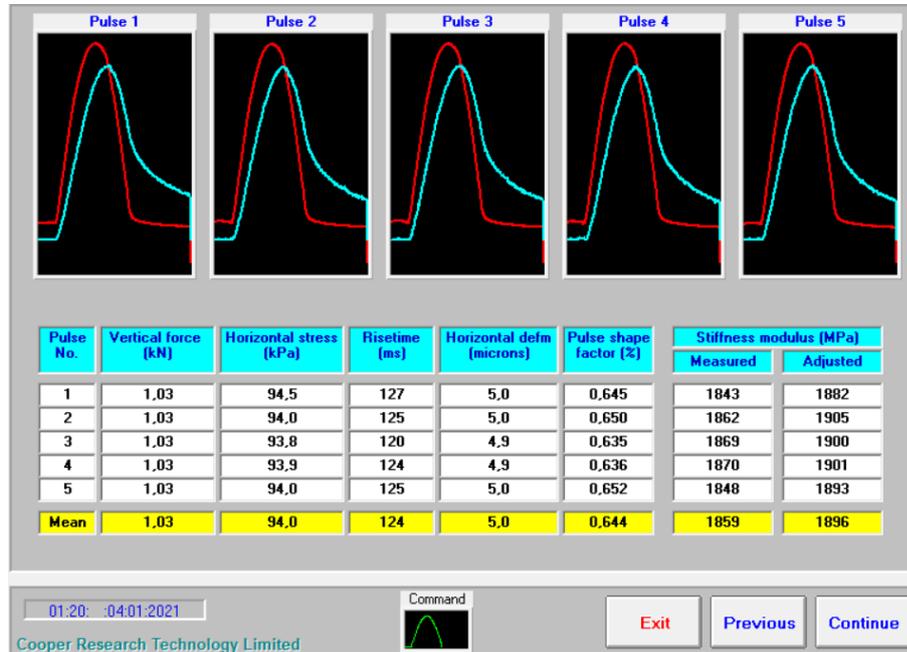


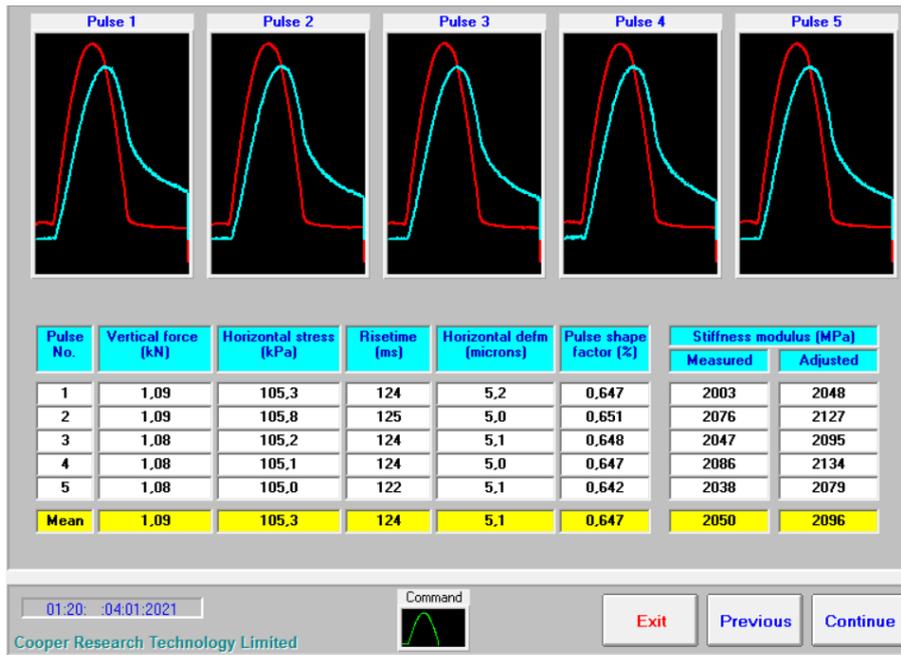
## Anexo 29: Resultados obtenidos de ensayos Modulo de Rigidez para diseño Patrón



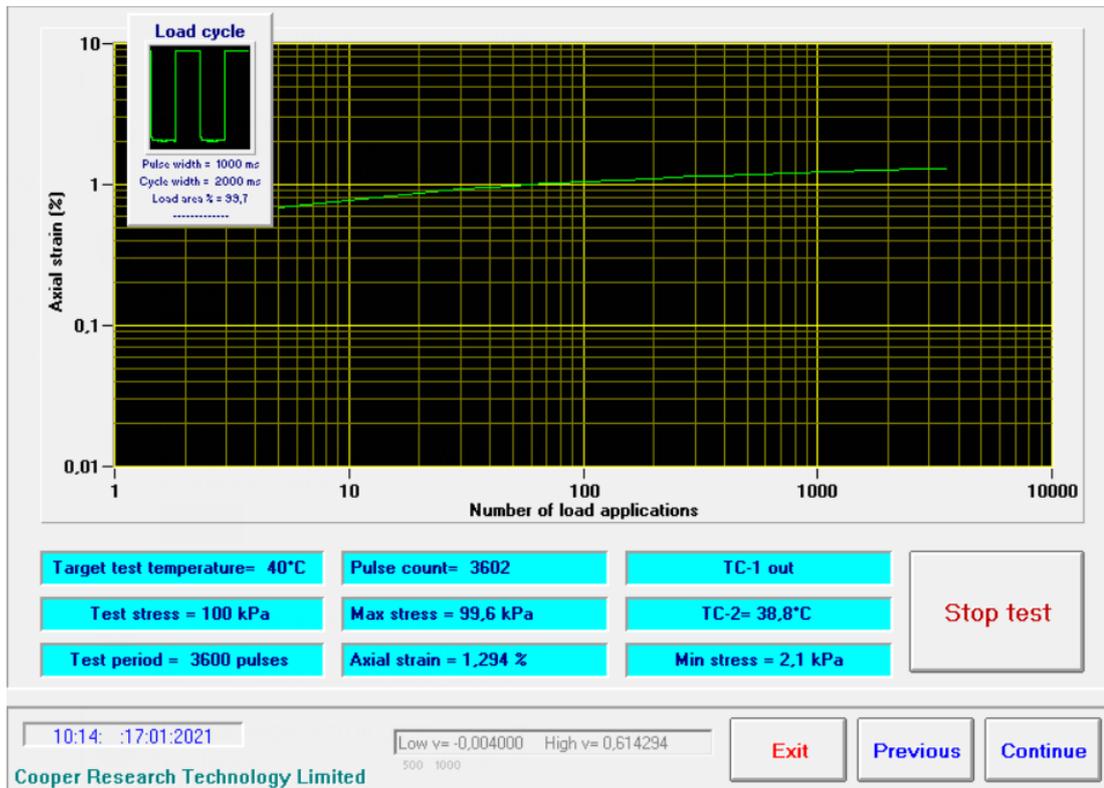


## Anexo 30: Resultados obtenidos de ensayos Modulo de Rigidez para diseño con la adición del 30% de Fibra

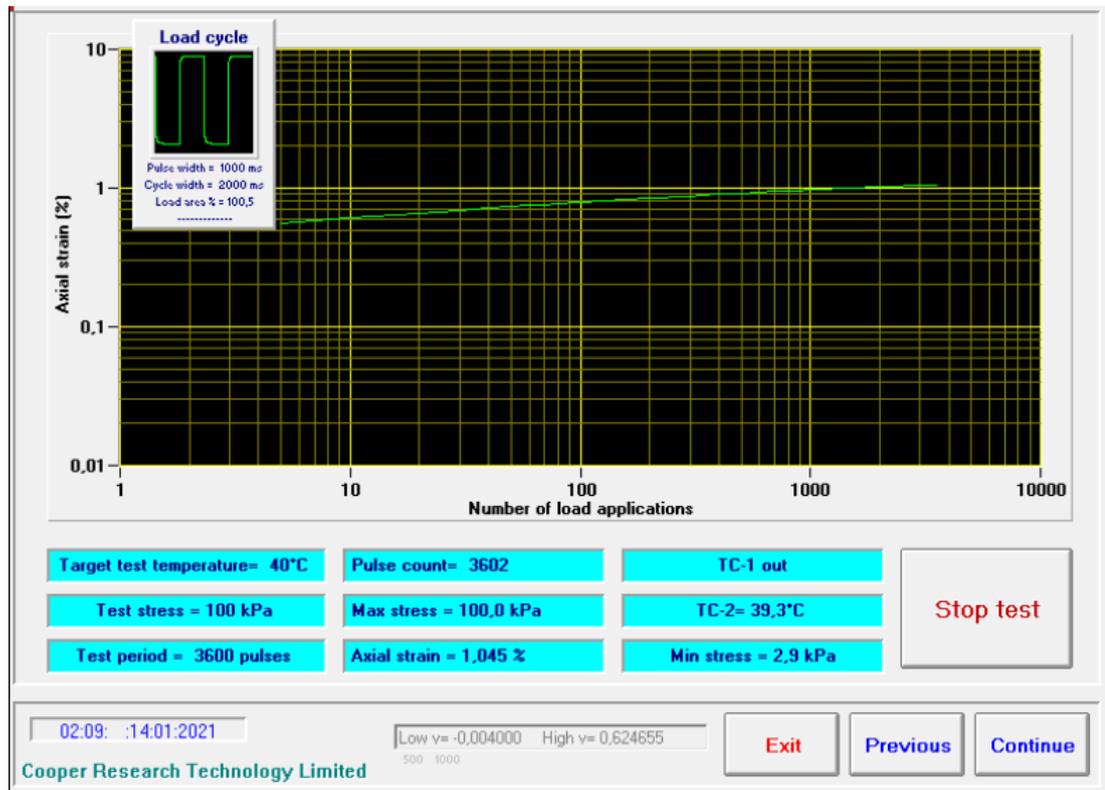




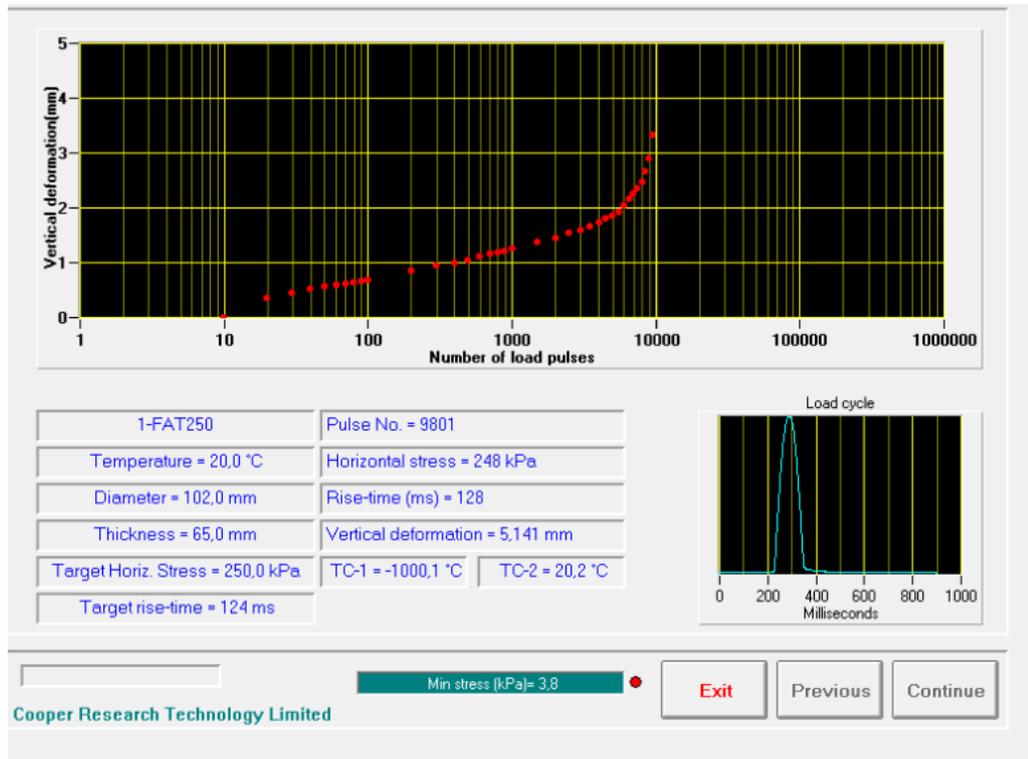
## Anexo 31: Resultados obtenidos del ensayo de Deformación Permanente – Creep para diseño Patrón



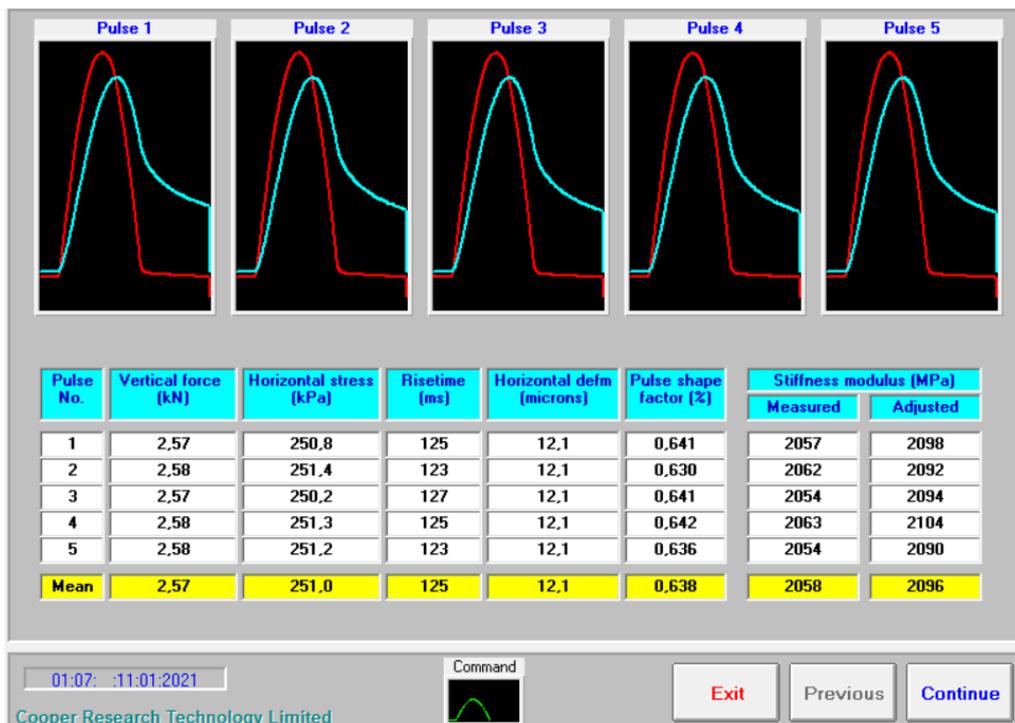
## Anexo 32: Resultados obtenidos del ensayo de Deformación Permanente – Creep para diseño con adición del 30% de Fibra Metálica



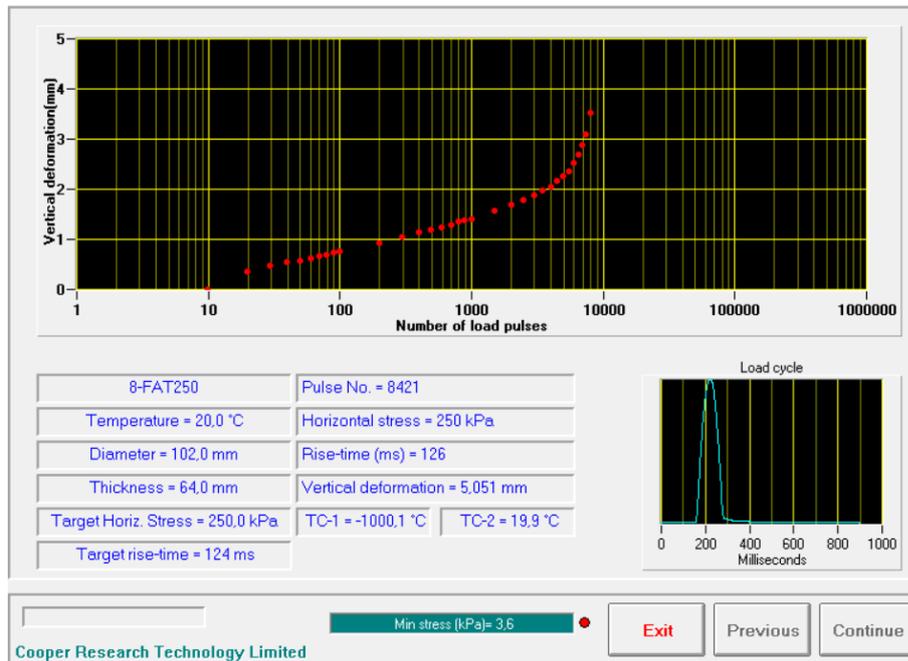
## Anexo 33: Resultados obtenidos del ensayo de Fatiga para diseño Patrón



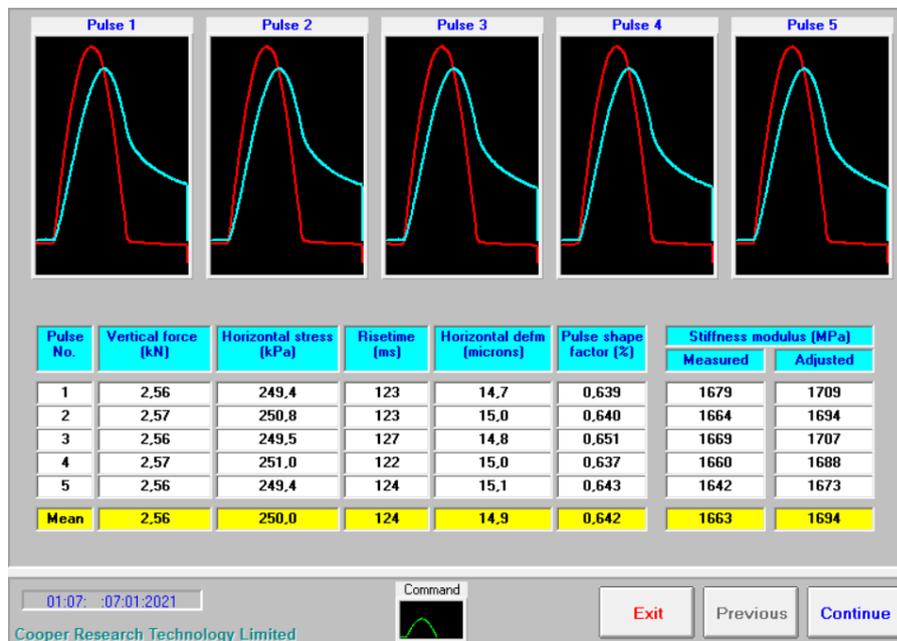
- Modulo de rigidez de esfuerzos controlados



## Anexo 34: Resultados obtenidos del ensayo de Fatiga para diseño con adición de 30% de Fibra Metálica



- Modulo de rigidez de esfuerzos controlados





## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Flor León, Juliana Andrea**, con C.C: # 0924984826 autora del trabajo de titulación: “**Diseño Marshall de una mezcla asfáltica con adiciones de fibras metálicas**” previo a la obtención del título de **Ingeniera Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **10 de marzo de 2021**

f. \_\_\_\_\_

**Flor León, Juliana Andrea**

**C.C: 0924984826**



## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

<b>TEMA Y SUBTEMA:</b>	Diseño Marshall de una mezcla asfáltica con adiciones de fibras metálicas		
<b>AUTOR(ES)</b>	Juliana Andrea Flor León		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	De La Pared Condo, Daniel		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Facultad de Ingeniería		
<b>CARRERA:</b>	Ingeniería Civil		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Ingeniera Civil		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	10 de marzo de 2021	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	89
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Mezcla asfáltica, Marshall, Fibra metálica reciclada		
<b>PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:</b>	<i>Asfalto, Fibra metálica, Dosificación, ASTM, Mezcla asfáltica, Marshall.</i>		
<b>RESUMEN/ABSTRACT</b>			
<p>El presente trabajo de titulación tiene como principal objetivo estudiar la influencia de la incorporación de fibras metálicas recicladas en una mezcla asfáltica. Se realizaron ensayos comparativos entre la mezcla asfáltica patrón y la mezcla asfáltica con las adiciones de las fibras metálicas, para dar a conocer los cambios en el comportamiento de la mezcla. La metodología aplicada es la elaboración de diseños de mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de fibra metálica para identificar y analizar el comportamiento de la mezcla con los diferentes porcentajes de adición; y a su vez cumpliendo con los requerimientos de MTOP (2012). Previamente se realizan ensayos de caracterización de los materiales provenientes de la cantera Licosá. Posteriormente se halló el porcentaje de asfalto del diseño Marshall, obteniendo el diseño patrón. Luego a dicho diseño se le añadió diferentes porcentajes de fibra: 10%, 20%, 30%, 40% y 50%, en función del peso del asfalto. Se evaluó el comportamiento del diseño patrón y los diseños con fibras mediante ensayos de: granulometría, permeabilidad, cántabro seco, cántabro húmedo, ensayos Marshall, y pruebas de desempeño (Módulo de rigidez, Fatiga y Creep); de tal forma que se obtenga la dosificación con mejor respuesta y que cumpla con lo que exige la norma. Todos los ensayos de realizaron bajo normas ASTM.</p>			
<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593-996960603	<b>E-mail:</b> julianaflor_28@hotmail.com	
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):</b>	<b>Nombre: Glas Cevallos, Clara</b>		
	<b>Teléfono:</b> +593-4-2206956		
	<b>E-mail:</b> clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>			
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>			
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>			
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>			