



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

TÍTULO:

**“Aplicación de pruebas de desempeño a mezclas asfálticas
producidas en diferentes plantas de la región Amazónica.”**

AUTORES:

**JOSE ARTURO ORMAZABAL DELGADO
FREDDY XAVIER JALUFF ARIAS**

**Trabajo de grado
Previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL**

TUTOR:

Ing. Rolando Vila Romaní, PhD.

**Guayaquil, Ecuador
2014**



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

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por **JOSE ARTURO ORMAZABAL DELGADO Y FREDDY XAVIER JALUFF ARIAS** como requerimiento parcial para la obtención del Título de **Ingeniero Civil**.

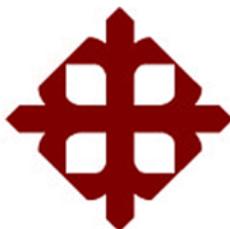
TUTOR

Ing. Rolando Vila Romani, PhD.

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Mario Dueñas Rossi

Guayaquil, a los 29 días del mes de Agosto del año 2014



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

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Jose Arturo Ormazabal Delgado y
Freddy Xavier Jaluff Arias**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación “**Aplicación de pruebas de desempeño a mezclas asfálticas producidas en diferentes plantas de la región Amazónica.**” previa a la obtención del Título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra total autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 29 días del mes de Agosto del año 2014

LOS AUTORES:

JOSE ARTURO ORMAZABAL DELGADO FREDDY XAVIER JALUFF ARIAS



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Jose Arturo Ormazabal Delgado y
Freddy Xavier Jaluff Arias**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “**Aplicación de pruebas de desempeño a mezclas asfálticas producidas en diferentes plantas de la región Amazónica**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 29 días del mes de Agosto del año 2014

LOS AUTORES:

JOSE ARTURO ORMAZABAL DELGADO FREDDY XAVIER JALUFF ARIAS

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por otorgarme sabiduría, voluntad y conocimiento para llevar a cabo este trabajo de titulación, al Doctor Vila por ayudarnos en todo momento brindando y compartiendo sus saberes con nosotros, a mi familia por apoyarme y a todos en el laboratorio de carreteras (suelos y asfaltos) de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil por brindarnos su mano siempre.

José Arturo Ormazabal D.

Agradezco a Dios, por darme la fuerza y fe para culminar esta etapa de mi vida. A mi familia y amigos por el apoyo incondicional brindado en todo momento y de manera especial al Ing. Rolando Vila Romaní, por su apoyo y confianza durante todo el trabajo de titulación

Freddy Xavier Jaluff A.

DEDICATORIA

Se la dedico a mi hija Anna Victoria gracias por llegar a mi vida, a mi esposa y a mis padres José y Bélgica.

José Arturo Ormazabal D.

Este logro se lo dedico a mi madre, María de Lourdes Arias y a mi padre, Freddy Jaluff Acosta por estar siempre conmigo, por su dedicación, sacrificio y amor.

Y

A mis hermanas Gabriela y Sofía son mi orgullo y motivación.

Freddy Xavier Jaluff A.

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Rolando Vila Romaní, PhD.
PROFESOR TUTOR

Ing. Gustavo García Caputi
OPONENTE



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

CALIFICACIÓN

**Ing. Rolando Vila Romaní, PhD.
PROFESOR TUTOR**

ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO.....	3
CAPÍTULO 1 – CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS EN LA REGIÓN AMAZÓNICA.....	4
Introducción.....	4
Plantas seleccionadas.....	5
Tipología de la Mezcla.....	6
Elaboración briquetas Marshall.....	7
Identificación.....	10
Tabla briquetas a ensayar.....	11
Dimensiones de las muestras.....	12
Tabla de registro espesores promedios planta 1.....	14
Tabla de registro espesores promedios planta 2.....	15
Tabla de registro espesores promedios planta 3.....	16
Tabla de registro espesores promedios planta 4.....	17
Tabla de registro espesores promedios planta 5.....	18
CAPÍTULO 2 – ENSAYOS GENERALES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, CONTROL DE CALIDAD PRUEBAS CONVENCIONALES.....	19
Introducción.....	19
Granulometría.....	19
Gravedad específica “bulk” o densidad.....	20
Gravedad y densidad teórica máxima Rice.....	21
Porcentaje de asfalto.....	21
Porcentaje de vacíos.....	22

Aplicación de pruebas de desempeño.....	22
Ensayos en el NU-10 NAT.....	23
Módulo de rigidez mediante deformación controlada.....	24
Módulo de rigidez mediante carga controlada.....	26
Ensayo de fatiga.....	27
Deformación permanente (creep dinámico).....	29
CAPÍTULO 3 – ENSAYOS Y RESULTADOS.....	31
Introducción.....	31
Granulometría en agregados extraídos planta 1.....	31
Granulometría en agregados extraídos planta 2.....	32
Granulometría en agregados extraídos planta 3.....	33
Granulometría en agregados extraídos planta 4.....	34
Granulometría en agregados extraídos planta 5.....	35
Porcentaje de asfalto en muestras asfálticas resultados.....	36
Extracción de asfalto planta 1.....	36
Extracción de asfalto planta 2.....	37
Extracción de asfalto planta 3.....	37
Extracción de asfalto planta 4.....	38
Extracción de asfalto planta 5.....	38
Densidad teórica máxima Rice resultados.....	39
Densidad teórica máxima Rice planta 1.....	39
Densidad teórica máxima Rice planta 2.....	39
Densidad teórica máxima Rice planta 3.....	40
Densidad teórica máxima Rice planta 4.....	40
Densidad teórica máxima Rice planta 5.....	41

Gravedad específica “bulk” y porcentaje de vacíos resultados.....	42
Gravedad específica y porcentaje de vacíos planta 1.....	42
Gravedad específica y porcentaje de vacíos planta 2.....	45
Gravedad específica y porcentaje de vacíos planta 3.....	48
Gravedad específica y porcentaje de vacíos planta 4.....	51
Gravedad específica y porcentaje de vacíos planta 5.....	54
Pruebas de desempeño.....	57
Módulo de rigidez mediante deformación controlada.....	58
Ensayo de módulo de rigidez mediante carga controlada y fatiga.....	61
Compresión uniaxial cíclica, deformación permanente (creep dinámico).....	72
CAPÍTULO 4 – ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	74
Porcentaje de asfalto en muestras.....	74
Granulometría en agregados extraídos.....	74
Densidad teórica máxima ensayo Rice.....	74
Gravedad específica “bulk” o densidad.....	75
Porcentaje de vacíos.....	75
Módulo de rigidez mediante deformación controlada.....	76
Fatiga.....	78
Deformación permanente (creep dinámico).....	79
Conclusiones y recomendaciones.....	81
Recomendaciones.....	83
Bibliografía.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Denominación y plantas seleccionadas.....	5
Tabla 2: Muestras provistas y elaboradas.....	6
Tabla 3: Tabla identificación de muestras.....	5
Tabla 4: Registro de espesores planta 1.....	14
Tabla 5: Registro de espesores planta 2.....	15
Tabla 6: Registro de espesores planta 3.....	16
Tabla 4: Registro de espesores planta 4.....	17
Tabla 4: Registro de espesores planta 5.....	18
Tabla 9: Tabla 405-5.1 MOP-001-F2002.....	20
Tabla 10: Granulometría planta 1.....	31
Tabla 11: Granulometría planta 2.....	32
Tabla 12: Granulometría planta 3.....	33
Tabla 13: Granulometría planta 4.....	34
Tabla 14: Granulometría planta 5.....	35
Tabla 15: Extracción de asfalto de la planta 1.....	36
Tabla 16: Extracción de asfalto de la planta 2.....	37
Tabla 17: Extracción de asfalto de la planta 3.....	37
Tabla 18: Extracción de asfalto de la planta 4.....	38
Tabla 19: Extracción de asfalto de la planta 5.....	38
Tabla 20: Densidad máxima teórica Rice planta 1.....	39
Tabla 21: Densidad máxima teórica Rice planta 2.....	39
Tabla 22: Densidad máxima teórica Rice planta 3.....	40
Tabla 23: Densidad máxima teórica Rice planta 4.....	40

Tabla 24: Densidad máxima teórica Rice planta 5.....	41
Tabla 25: Gravedad específica bulk y porcentaje vacíos planta 1.....	42
Tabla 26: Gravedad específica bulk y porcentaje vacíos planta 2.....	45
Tabla 27: Gravedad específica bulk y porcentaje vacíos planta 3.....	48
Tabla 28: Gravedad específica bulk y porcentaje vacíos planta 4.....	51
Tabla 29: Gravedad específica bulk y porcentaje vacíos planta 5.....	54
Tabla 30: Elección de muestras para pruebas de desempeño.....	57
Tabla 31: Módulos de rigidez mediante deformación controlada todas las plantas	58
Tabla 32: Módulo de rigidez promedio y energía de compactación 35 golpes...59	
Tabla 33: Módulo de rigidez promedio y energía de compactación 50 golpes...59	
Tabla 34: Módulo de rigidez promedio y energía de compactación 75 golpes...59	
Tabla 35: Módulo bajo carga controlada y fatiga planta 1.....	62
Tabla 36: Módulo bajo carga controlada y fatiga planta 2.....	64
Tabla 37: Módulo bajo carga controlada y fatiga planta 3.....	66
Tabla 38: Módulo bajo carga controlada y fatiga planta 4.....	68
Tabla 39: Módulo bajo carga controlada y fatiga planta 5.....	70
Tabla 40: Resultados ensayo creep dinámico.....	72
Tabla 41: Rice plantas de la región amazónica.....	74
Tabla 42: Resultados de los ensayos gravedad especifica “bulk”.....	75
Tabla 43: Porcentaje de vacíos promedios.....	76
Tabla 44: Módulo de rigidez promedio, en (MPa).....	76
Tabla 45: Comparación módulos promedios y porcentajes de vacíos.....	77
Tabla 46: Porcentaje de deformación axial y porcentaje de vacíos.....	79

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Fig.1: Mezcla asfáltica suelta.....	8
Fig.2: Molde y pedestal Marshall.....	8
Fig.3: Molde, pedestal y martillo Marshall.....	9
Fig.4: Elaboración briquetas Marshall.....	9
Fig.5: Etiquetado briquetas plantas varias.....	10
Fig.6: Etiquetado briquetas plantas varias.....	10
Fig.7: Inicio medición muestras.....	12
Fig.8: Inicio medición espesores.....	13
Fig.9: Nat NU-10 equipo para ensayos.....	23
Fig.10: Ingreso de datos programa (stiffness micron).....	24
Fig.11: Calibración transductores.....	25
Fig.12: Resultado de ensayo.....	25
Fig.13: Pantalla módulo bajo carga controlada.....	26
Fig.14: Ingreso de datos ensayo de fatiga.....	27
Fig.15: Final ensayo fatiga curva # de repeticiones.....	28
Fig.16: Inicio ensayo creep dinámico.....	29
Fig.17: Calibración transductores creep dinámico.....	30
Fig.18: Final ensayo creep dinámico.....	30
Fig.19: Curva granulométrica planta 1.....	32
Fig.20: Curva granulométrica planta 2.....	33
Fig.21: Curva granulométrica planta 3.....	34
Fig.22: Curva granulométrica planta 4.....	35
Fig.23: Curva granulométrica planta 5.....	36

Fig.24: Gravedades específicas planta 1.....	43
Fig.25: Porcentaje de vacíos planta 1.....	43
Fig.26: Porcentaje de vacíos promedios planta 1.....	44
Fig.27: Gravedades específicas planta 2.....	46
Fig.28: Porcentaje de vacíos planta 2.....	46
Fig.29: Porcentaje de vacíos promedios planta 2.....	47
Fig.30: Gravedades específicas planta 3.....	49
Fig.31: Porcentaje de vacíos planta 3.....	49
Fig.32: Porcentaje de vacíos promedios planta 3.....	50
Fig.33: Gravedades específicas planta 4.....	52
Fig.34: Porcentaje de vacíos planta 4.....	52
Fig.35: Porcentaje de vacíos promedios planta 4.....	53
Fig.36: Gravedades específicas planta 5.....	55
Fig.37: Porcentaje de vacíos planta 5.....	55
Fig.38: Porcentaje de vacíos promedios planta 5.....	56
Fig.39: Módulo de rigidez promedio 35 golpes.....	60
Fig.40: Módulo de rigidez promedio 50 golpes.....	60
Fig.41: Módulo de rigidez promedio 75 golpes.....	61
Fig.42: Relación carga vs número de repeticiones planta 1.....	62
Fig.43: Relación deformación vs número de repeticiones planta 1.....	63
Fig.44: Relación carga vs número de repeticiones planta 2.....	65
Fig.45: Relación deformación vs número de repeticiones planta 2.....	65
Fig.46: Relación carga vs número de repeticiones planta 3.....	66
Fig.47: Relación deformación vs número de repeticiones planta 3.....	67
Fig.48: Relación carga vs número de repeticiones planta 4.....	69

Fig.49: Relación deformación vs número de repeticiones planta 4.....	69
Fig.50: Relación carga vs número de repeticiones planta 1.....	71
Fig.51: Relación deformación vs número de repeticiones planta 1.....	71
Fig.52: Relación porcentaje de deformación axial vs energía de compactación.....	73
Fig.53: Relación del modulo rigidez y porcentaje de vacíos.....	77
Fig.54: Relación carga vs número de repeticiones.....	78
Fig.55: Porcentaje de deformación axial y vacíos.....	80

RESUMEN

Esta investigación es acerca de la aplicación de pruebas de desempeño a mezclas asfálticas producidas en la región amazónica, se determinará características que se encuentran relacionadas entre sí, se estudiará módulos de rigidez, deformación por tracción inicial, compresión uniaxial cíclica y ensayos de fatiga, obteniéndolos a través de equipos que evalúan el desempeño.

Se encontrarán parámetros asociados con fallas comunes de la mezcla asfáltica (fisuras, deformaciones plásticas, etc.) se analizan conceptos básicos del comportamiento a través de ensayos de laboratorio y se emitirán conclusiones y recomendaciones sobre los controles de calidad que se deben hacer a las mezclas producidas en la actualidad.

INTRODUCCIÓN

Las deformaciones plásticas junto con las fisuras son las fallas más importantes e incidentes en los pavimentos a nivel nacional, reducen la vida útil de los mismos estableciendo cada vez más seguido los respectivos mantenimientos o la reposición completa de las capas de rodaduras asfálticas.

Este trabajo de titulación forma parte de un estudio a nivel nacional de las mezclas asfálticas producidas en las diferentes regiones del país, con el fin de caracterizarlas, obtener similitudes, defectos y generar recomendaciones que permitan mejorar los controles de calidad que se realizan en la actualidad; los cuales son deficientes ya que se limitan a comprobar, controlar el diseño de la mezcla su tendido y compactación mas no su comportamiento desde el punto de vista desempeño.

Se simulara en laboratorio comportamiento reales de las mezclas estudiadas para observar que sucedería en el sitio donde serian colocadas.

Las pruebas a realizarse serán obtención de módulos bajo deformación controlada, módulos rigidez ,ensayos de fatiga usando tensión indirecta y compresión uniaxial cíclica (creep dinámico).

Estas pruebas de desempeño toman en cuenta las propiedades reológicas de las mezclas basadas en un análisis dinámico del comportamiento tensión-deformación en especímenes de mezclas asfálticas.

El equipo a usar para las pruebas de desempeño es el (NAT) Nottingham Asphalt Tester modelo NU-10 desarrollado por la empresa Cooper Research Technology, que permite realizar pruebas reológicas. El NAT aplica cargas mediante un sistema neumático con servo-control y pistón , midiéndose la fuerza aplicada por los transductores de carga. Con el mismo se pueden realizar diferentes tipos de pruebas como módulos de rigidez bajo deformación

o carga controlada, compresión cíclica uniaxial sin confinamiento (creep dinámico) y pruebas de fatiga bajo dispositivo de tracción indirecta.

Para la realización de estas pruebas en general se consideran las metodologías dadas por el fabricante del equipo, que coinciden con los del Comité Europeo de Normalización (CEN 2000) respecto a la configuración de cargas y al sistema de medición y control.

OBJETIVO

Determinar, a través de pruebas de desempeño, comportamientos de la mezcla compactada en laboratorio, obtener características de las mezclas ensayadas de la Región Amazónica usando módulos de rigidez, compresión cíclica uniaxial sin confinamiento (creep dinámico) y fatiga bajo carga controlada usando tracción indirecta, para generar recomendaciones que mejoren cada día más los controles de calidad que se realizan actualmente a las mezclas asfálticas.

CAPÍTULO 1 – CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS EN LA REGIÓN AMAZÓNICA

Introducción

Este estudio se realizará con 5 plantas de la región amazónica del Ecuador, las mezclas a usar son diseños de tamaño máximo nominal (12mm) ½” mezclas muy comunes en la producción a nivel nacional generalmente tendidas en carpetas de 5,08 cm (2”) de espesor.

Se realizarán 5 briquetas tipo Marshall variando la energía de compactación , empleando 35, 50 y 75 golpes por cara. Las mezclas en la región estudiada son del tipo aluvial para su elaboración se usan material triturado de ríos (canto rodado) más arena de río y cemento asfáltico de grado AC-20 proveniente de la refinería de Esmeraldas.

A las briquetas provistas de estas 5 plantas se les realizará pruebas de desempeño usando el equipo NU – 10 NAT que se encuentra en el Laboratorio de Carreteras (Suelos y Asfaltos) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, para poder establecer consideraciones y emitir conclusiones.

Plantas seleccionadas.

Se ubicó a través del corredor Amazónico 5 plantas productoras de mezcla asfáltica que estén en diferentes provincias, muchas de éstas empresas no producen mezcla todo el año lo hacen esporádicamente y para temas mantenimientos o recapeos a nivel municipal.

- YUTZUPUNGO-TENA
- PUYO
- MORONA SANTIAGO
- COCA ORELLANA
- MACAS

Posterior para facilitar la elaboración de los ensayos se uso la siguiente denominación Planta 1,2,3,4,5.

PLANTA 1	MACAS (MC)	FOPECA
PLANTA 2	YUTZUPUNGO - TENA (TE)	MUNICIPIO
PLANTA 3	PUYO (PU)	MUNICIPIO
PLANTA 4	MORONA SANTIAGO (MS)	DPM
PLANTA 5	COCA - ORLLENA	EM VIAL

Tabla 1: Denominación y plantas seleccionadas.

TIPOLOGÍA DE LA MEZCLA.

Las briquetas a usar fueron elaboradas usando método Marshall se varió la energía de compactación como se mencionó antes en la introducción, siendo éstas 35, 50 y 75 golpes, obteniéndose 5 muestras por cada número de golpes.

Las briquetas provistas por empresas constructoras privadas y estatal de la región amazónica fueron de las planta 1 , 4 y 5 y las elaboradas planta 2 y 3.

Son mezclas compuestas por agregados aluviales triturados y arena de río se estudia la composición de las mezclas, donde la dosificación empleada ha sido informada por el personal de las plantas, para verificar esto se realizó un análisis de granulométrico posterior.

MUESTRAS PROVISTAS	MUESTRAS ELABORADAS
PLANTA 1 MACAS (MC)	PLANTA 2 YUTZUPUNGO - TENA (TE)
PLANTA 4 MORONA SANTIAGO (MS)	PLANTA 3 PUYO (PU)
PLANTA 5 COCA - ORELLANA (CC)	

Tabla 2:Muestras provistas y elaboradas.

Elaboración de briquetas Marshall.

Las 45 muestras provistas y las 30 elaboradas con la mezcla asfáltica de las empresas de la región amazónica fueron elaboradas mediante método Marshall que usa moldes cilíndricos normalizados, briquetas de 64mm de alto y 102mm diámetro. Estos valores son los idealmente recomendados, ya en la práctica al momento de enfriar la muestra hay que controlar que no se dilaten o expandan.

Pasos para la elaboración:

- 1) Se obtuvo de la planta asfáltica el material a temperatura entre 140° a 150° C para la elaboración de la briqueta
- 2) Se coloca la mezcla en el molde Marshall previamente engrasado se rellena en capas hasta obtener la altura de compactación deseada
- 3) Se ubica el molde en el pedestal de compactación, a una temperatura de 130°C se procedió a compactación se deja caer el martillo Marshall en caída libre de una altura determinada por el método y se aplica la variación de golpes por cara según muestra (35, 50 y 75) golpes.
- 4) Se quita la base del molde y deja la muestra a temperatura ambiente y la colocamos en agua enfriando la briqueta y así mantener sus dimensiones sin deformación.



Fig.1: Mezcla asfáltica suelta.



Fig.2: Molde y pedestal Marshall



Fig.3: Molde, pedestal y martillo Marshall



Fig.4:Elaboracion briqueta Marshall

Identificación .

Una vez extraída la muestra de los moldes , se realiza la identificación de las mismas para su posterior análisis y envió hasta el laboratorio a ensayar



Fig.5: Etiquetado de briquetas planta 1 y 2.



Fig. 1: Etiquetado de briquetas planta 3.

Tablas de las briquetas a ensayar .

A continuación, se presenta las tablas de las 5 plantas seleccionadas con sus respectivas muestras e identificación.

PLANTA 1 MACAS (MC)	1 - MC - 35	2 - MC - 35	3 - MC - 35	4 - MC - 35	5 - MC - 35	6 - MC - 35
	1 - MC - 50	2 - MC - 50	3 - MC - 50	4 - MC - 50	5 - MC - 50	6 - MC - 50
	1 - MC - 75	2 - MC - 75	3 - MC - 75	4 - MC - 75	5 - MC - 75	6 - MC - 75
PLANTA 2 YUTZUPUNGO - TENA (TE)	1 - TE - 35	2 - TE - 35	3 - TE - 35	4 - TE - 35	5 - TE - 35	6 - TE - 35
	1 - TE - 50	2 - TE - 50	3 - TE - 50	4 - TE - 50	5 - TE - 50	6 - TE - 50
	1 - TE - 75	2 - TE - 75	3 - TE - 75	4 - TE - 75	5 - TE - 75	6 - TE - 75
PLANTA 3 PUYO (PU)	1 - PU - 35	2 - PU - 35	3 - PU - 35	4 - PU - 35	5 - PU - 35	NO HUBO ESPÉCIMEN
	1 - PU - 50	2 - PU - 50	3 - PU - 50	4 - PU - 50	5 - PU - 50	
	1 - PU - 75	2 - PU - 75	3 - PU - 75	4 - PU - 75	5 - PU - 75	
PLANTA 4 MORONA SANTIAGO (MS)	1 - MS - 35	2 - MS - 35	3 - MS - 35	4 - MS - 35	5 - MS - 35	6 - MS - 35
	1 - MS - 50	2 - MS - 50	3 - MS - 50	4 - MS - 50	5 - MS - 50	6 - MS - 50
	1 - MS - 75	2 - MS - 75	3 - MS - 75	4 - MS - 75	5 - MS - 75	6 - MS - 75
PLANTA 5 COCA - ORELLANA (CC)	1 - CC - 35	2 - CC - 35	3 - CC - 35	4 - CC - 35	5 - CC - 35	6 - CC - 35
	1 - CC - 50	2 - CC - 50	3 - CC - 50	4 - CC - 50	5 - CC - 50	6 - CC - 50
	1 - CC - 75	2 - CC - 75	3 - CC - 75	4 - CC - 75	5 - CC - 75	6 - CC - 75

Tabla 1: Tabla identificación de muestras.

Dimensiones de las muestras

Una vez etiquetadas las muestras procedemos a tomar las espesores de las mismas a pesar que estas fueron hechos en moldes de similar dimensiones ya que cumplen normas (ASTM D6926).

Se realiza este proceso para verificar las medidas que las muestras fueron entregadas para la elaboración de este trabajo de titulación.

- 1) Se procede a medir el espesor de la briqueta en 3 posiciones con un calibrador y se obtiene el promedio
- 2) Se procede a comprobar diámetros.



Fig. 7: Inicio medición muestras.



Fig. 8 : Inicio medición espesores.

Tabla de registro espesores promedios de briquetas pertenecientes a la planta 1.

Registramos los datos a continuación en la Tabla 4.

PLANTA	No. DE MUESTRA	ENERGÍA DE COMPACTACIÓN (GOLPES)	MUESTRA	ESPESOR (mm)
MACAS	1	35	1 - MC - 35	67
	2	35	2 - MC - 35	61
	3	35	3 - MC - 35	60
	4	35	4 - MC - 35	65
	5	35	5 - MC - 35	65
	6	35	6 - MC - 35	65
	1	50	1 - MC - 50	61
	2	50	2 - MC - 50	62
	3	50	3 - MC - 50	61
	4	50	4 - MC - 50	61
	5	50	5 - MC - 50	62
	6	50	6 - MC - 50	62
	1	75	1 - MC - 75	61
	2	75	2 - MC - 75	61
	3	75	3 - MC - 75	61
	4	75	4 - MC - 75	61
	5	75	5 - MC - 75	61
	6	75	6 - MC - 75	61

Tabla 4: Registro espesores planta 1

Tabla de registro espesores promedios de briquetas pertenecientes a la planta 2.

Registramos los datos a continuación en la Tabla 5.

PLANTA	No. DE MUESTRA	ENERGÍA DE COMPACTACIÓN (GOLPES)	MUESTRA	ESPESOR (mm)
YUTZUPUNGO - TENA	1	35	1 - TE - 35	66
	2	35	2 - TE - 35	65
	3	35	3 - TE - 35	65
	4	35	4 - TE - 35	65
	5	35	5 - TE - 35	64
	6	35	6 - TE - 35	64
	1	50	1 - TE - 50	63
	2	50	2 - TE - 50	62
	3	50	3 - TE - 50	62
	4	50	4 - TE - 50	61
	5	50	5 - TE - 50	62
	6	50	6 - TE - 50	61
	1	75	1 - TE - 75	61
	2	75	2 - OR - 75	61
	3	75	3 - OR - 75	61
	4	75	4 - OR - 75	62
	5	75	5 - OR - 75	63
	6	75	6 - OR - 75	62

Tabla 5: Registro de espesores planta 2

Tabla de registro espesores promedios de briquetas pertenecientes a la planta 3.

Registramos los datos a continuación en la Tabla 6.

PLANTA	No. DE MUESTRA	ENERGÍA DE COMPACTACIÓN (GOLPES)	MUESTRA	ESPESOR (mm)
PUYO	1	35	1 - PU - 35	57
	2	35	2 - PU - 35	60
	3	35	3 - PU - 35	57
	4	35	4 - PU - 35	60
	5	35	5 - PU - 35	59
	1	50	1 - PU - 50	57
	2	50	2 - PU - 50	60
	3	50	3 - PU - 50	58
	4	50	4 - PU - 50	57
	5	50	5 - PU - 50	59
	1	75	1 - PU - 75	55
	2	75	2 - PU - 75	56
	3	75	3 - PU - 75	55
4	75	4 - PU - 75	57	
5	75	5 - PU - 75	55	

Tabla 6: Registro de espesores planta 3

Tabla de registro espesores promedios de briquetas pertenecientes a la planta 4.

Registramos los datos a continuación en la Tabla 7.

PLANTA	No. DE MUESTRA	ENERGÍA DE COMPACTACIÓN (GOLPES)	MUESTRA	ESPESOR (mm)
MORONA - SANTIAGO	1	35	1 - MS - 35	67
	2	35	2 - MS - 35	63
	3	35	3 - MS - 35	63
	4	35	4 - MS - 35	65
	5	35	5 - MS - 35	67
	6	35	6 - MS - 35	64
	1	50	1 - MS - 50	68
	2	50	2 - MS - 50	63
	3	50	3 - MS - 50	65
	4	50	4 - MS - 50	62
	5	50	5 - MS - 50	60
	6	50	6 - MS - 50	63
	1	75	1 - MS - 75	67
	2	75	2 - MS - 75	64
	3	75	3 - MS - 75	65
	4	75	4 - MS - 75	65
	5	75	5 - MS - 75	66
	6	75	6 - MS - 75	68

Tabla 7: Registro de espesores planta 4

Tabla de registro espesores promedios de briquetas pertenecientes a la planta 5.

Registramos los datos a continuación en la Tabla 8.

PLANTA	No. DE MUESTRA	ENERGÍA DE COMPACTACIÓN (GOLPES)	MUESTRA	ESPESOR (mm)
COCA - ORELLANA	1	35	1 - CC - 35	61
	2	35	2 - CC - 35	60
	3	35	3 - CC - 35	63
	4	35	4 - CC - 35	61
	5	35	5 - CC - 35	62
	6	35	6 - CC - 35	62
	1	50	1 - CC - 50	63
	2	50	2 - CC - 50	62
	3	50	3 - CC - 50	60
	4	50	4 - CC - 50	62
	5	50	5 - CC - 50	61
	6	50	6 - CC - 50	60
	1	75	1 - CC - 75	60
	2	75	2 - CC - 75	61
	3	75	3 - CC - 75	60
	4	75	4 - CC - 75	61
	5	75	5 - CC - 75	60
	6	75	6 - CC - 75	62

Tabla 8: Registro de espesores planta 5

CAPÍTULO 2 – ENSAYOS GENERALES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, CONTROL DE CALIDAD PRUEBAS CONVENCIONALES.

Introducción.

En este capítulo se procede a evaluar y obtener información de la mezcla, usando ensayos y procedimientos debidamente normados ASTM, AASTHO, MOP-F2002 para el control de la calidad de las mezclas asfálticas, todos los cuales corresponden a pruebas convencionales.

A continuación se presenta un breve resumen con su respectivos conceptos de las pruebas convencionales más usadas para determinar la calidad de la mezcla.

Todos los juegos de briquetas de las plantas estudiadas fueron ensayadas a estas pruebas convencionales que sirven para determinar características definidas que se relacionarán en capítulos después con el desarrollo de este trabajo de titulación en las pruebas de desempeño.

Se realizaron toma de medidas, pesos, cálculo de densidades, granulometrías, extracción de porcentaje de asfalto, gravedades específicas bulk y densidad máxima teórica (rice)

Granulometría.

Los agregados que se emplean para la elaboración de la mezcla asfáltica deben cumplir con requisitos que se establecen en numeral 811.2 MOP- 001 F- 2002, también su granulometría combinada o gradación debe corresponder a exigencias estrictas para el diseño y producción según lo indicado en las Especificaciones MTOP- 001 F- 2002, en su Tabla 405-5.1.

Tabla 405-5.1.

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	¾"	½"	3/8"	Nº4
1" (25.4 mm.)	100	--	--	--
¾" (19.0 mm.)	90 - 100	100	--	--
½" (12.7 mm.)	--	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 (0.075 mm.)	2 - 8	2 - 10	2 - 10	2 - 10

Tabla 9: tabla 405-5.1 MOP-001-F2002

Gravedad específica "Bulk" o densidad.

Se realiza la toma de densidades o gravedad específica Bulk, en las briquetas considerando los procedimientos de las normas ASTM D 1188 y AASHTO T275. Se procede al peso de las briquetas es necesario el peso seco, peso en agua y peso superficialmente seco para el cálculo con la siguiente fórmula.

$$Densidad = \frac{Peso\ Seco}{Volumen}$$

$$Densidad = \frac{Peso\ seco}{Peso\ superficialmente\ seco - Peso\ en\ agua}$$

Gravedad y Densidad teórica máxima Rice.

Se determina tomando una muestra secada en el horno en condición suelta, pesándola y luego sumergiéndola en un baño de agua a 25°C, se aplica vacío durante 15 min y el volumen de la muestra se calcula restando el peso húmedo del seco. Ensayo RICE, utilizando las normas ASTM D 2041, y AASHTO T 209.

$$RICE = \frac{PESO\ MEZCLA\ SUELTA}{PESO + AGUA(PESO\ FRASCO + AGUA + MATERIAL - PESO\ MEZCLA\ SUELTA)}$$

Porcentaje de Asfalto.

Para la determinación del porcentaje de asfalto en las briquetas ensayadas, se utilizó el procedimiento de trabajo aplicando normativas ASTM D 2172, AASHTO T164, con la centrifuga la cual separa el asfalto de la mezcla mediante la utilización de solventes químicos(tricloruro de metileno) y anillos filtrantes.

Luego, se determina pesos en diferentes etapas del procedimiento y se llega a la determinación del porcentaje requerido.

Porcentaje de Vacíos.

Los porcentajes de vacíos en la mezcla son pequeñas partículas de aire que se encuentran entre los agregados impregnados de asfalto. Se utilizará la norma ASTM D 3203 y AASHTO T 269, para el cálculo de las mismas.

Usando los valores previamente calculados como Bulk, Rice obtenemos el porcentaje de vacíos.

$$\% \text{ Vacios} = 100 \times \left\{ 1 - \frac{\text{Densidad Bulk}}{\text{Densidad Maxima Teorica}} \right\}$$

Aplicación de Pruebas Desempeño.

Los ensayos anterior mencionados: granulometrías, densidad bulk, rice, porcentaje asfalto y vacíos junto con estabilidad y flujo Marshall son las pruebas convencionales usadas tanto por constructores y fiscalizadores para el control normal de la mezcla producida en planta cumpliendo los requisitos especificados en la tabla 405.5.4 de las normas MOP-001-F2002 ESPECIFICACIONES GENERALES PARA LA CONSTRUCCION DE CAMINOS Y PUENTES , también especifica que:

“En las vías con tráfico catalogado muy pesado, las mezclas asfálticas a emplearse para la capa de rodadura deben ser sometidas además a un estudio detallado que incluya:

- Determinación de la curva reológicas, es decir , la variación del módulo elástico de la mezcla a diferentes temperaturas
- Evaluación de su comportamiento ante las deformaciones plásticas
- Evaluación de su comportamiento a la fatiga.”

Por esta razón se ve la necesidad de analizar las mezclas asfálticas mediante pruebas de desempeño ya que las prestaciones a las cuales las vías están sometidas cada día son más altas.

Analizándolos desde el punto de vista de la reología que es la ciencia que determina los comportamientos visco-elásticos , esfuerzos deformación para ciertas condiciones de presión y temperaturas.

Se realizaran las siguientes pruebas de desempeño:

- 1) Obtención de Módulos Bajo Cargas y Deformación Controlada
- 2) Fatiga
- 3) Creep Dinámico

Ensayos en el NU-10 NAT

En Nottingham Asphalt Tester NU-10, es una máquina para pruebas de desempeño la cual permite aplicar cargas mediante un sistema neumático (presión aire) con un servo-control midiendo fuerzas y presión ejercidas a través de los transductores que son colocados dependiendo de tipo de ensayo que se esté realizando, luego estos datos son interpretados a través de una computadora mediante un software que permite su presentación en pantalla de resultados para su posterior análisis.



Fig. 9 : NAT NU-10 equipo para ensayos

Módulo de rigidez mediante deformación controlada.

La obtención del módulo de rigidez mediante deformación controlada es un ensayo no destructivo se realiza empleando el cabezal de carga de tracción indirecta, las briquetas deben estar 2 horas antes a temperatura 20°C en el equipo. Se pueden ensayar briquetas de diámetros desde 100 mm hasta 150 mm y de espesor desde 30 mm hasta 80 mm, para este trabajo de grado se usaron briquetas Marshall (102mm x 65 mm) como hace referencia su nombre se controla la deformación horizontal hasta 5 micrones en un intervalo de tiempo entre el inicio del pulso de carga y el punto en el que la carga es máxima este tiempo de 0,12 segundos.

The screenshot shows a 'Data Entry' window with the following fields and values:

- Target test temperature = 20°C
- Specimen diameter = 103 mms
- Specimen thickness = 64 mms
- Poisson's ratio = 0.35
- Target risetime = 120 msecs
- Target horizontal deformation = 5 ums
- Number of conditioning pulses = 5

Below these fields is a section for 'Specimen orientation - click button' with two radio buttons:

- Test along first diameter (selected)
- Test along second diameter

Each input field has a corresponding dropdown menu with instructions on rounding or standard values.

Fig.10: ingreso de datos programa Stiffness micron

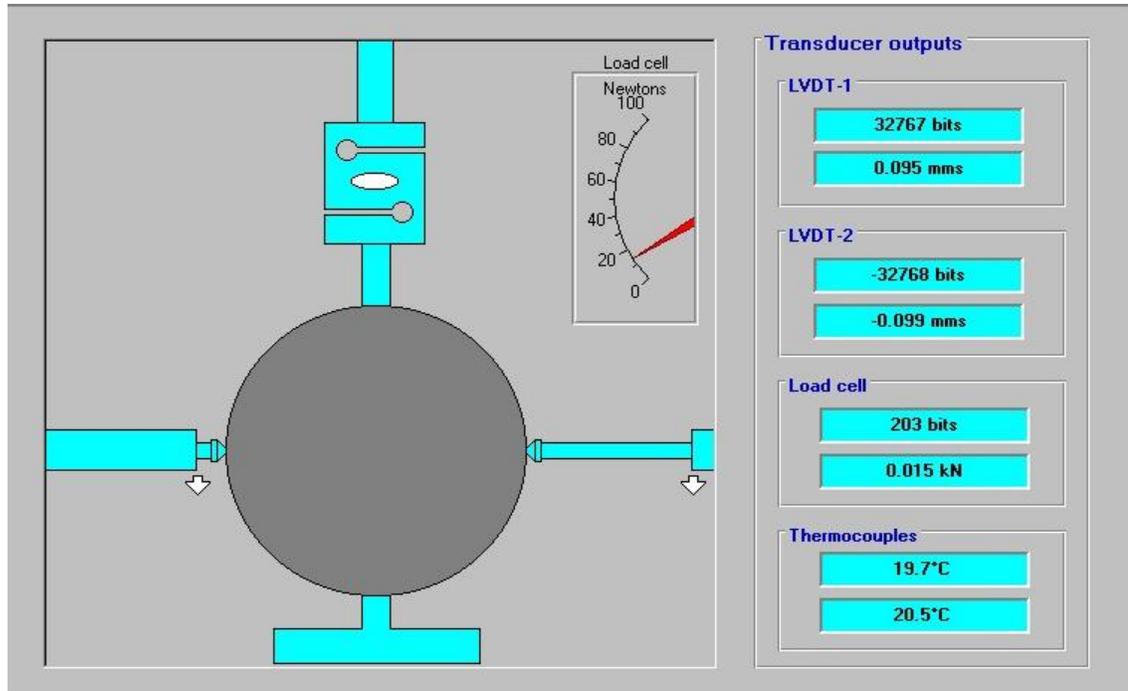


Fig. 11: calibración transductores

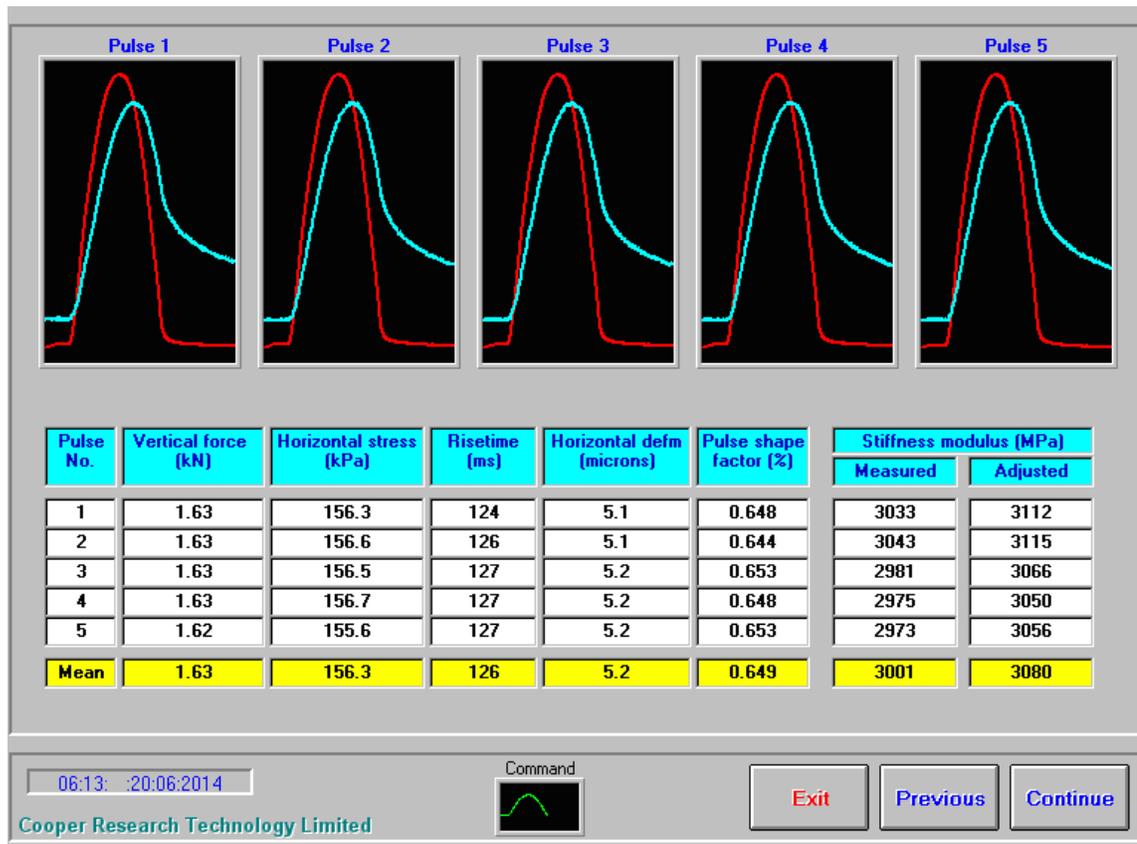


Fig. 12: Resultado ensayos se presenta 5 pulsos y el módulo calculado planta Macas muestra 3 a 35 golpes

Módulo de rigidez mediante carga controlada.

El módulo de rigidez bajo carga controlada es un ensayo no destructivo que nos permite obtener, su valor de módulo (en MPa) a través de 5 pulsaciones bajo rangos de cargas establecidos, en este trabajo de titulación usaremos rangos entre 200 a 400 KPa, el resultado es el módulo promedio de estos pulsos bajo la carga a que fue ensayada. Este módulo obtenido se relaciona con el ensayo de fatiga ya que se evalúan bajo las mismas cargas aplicadas.

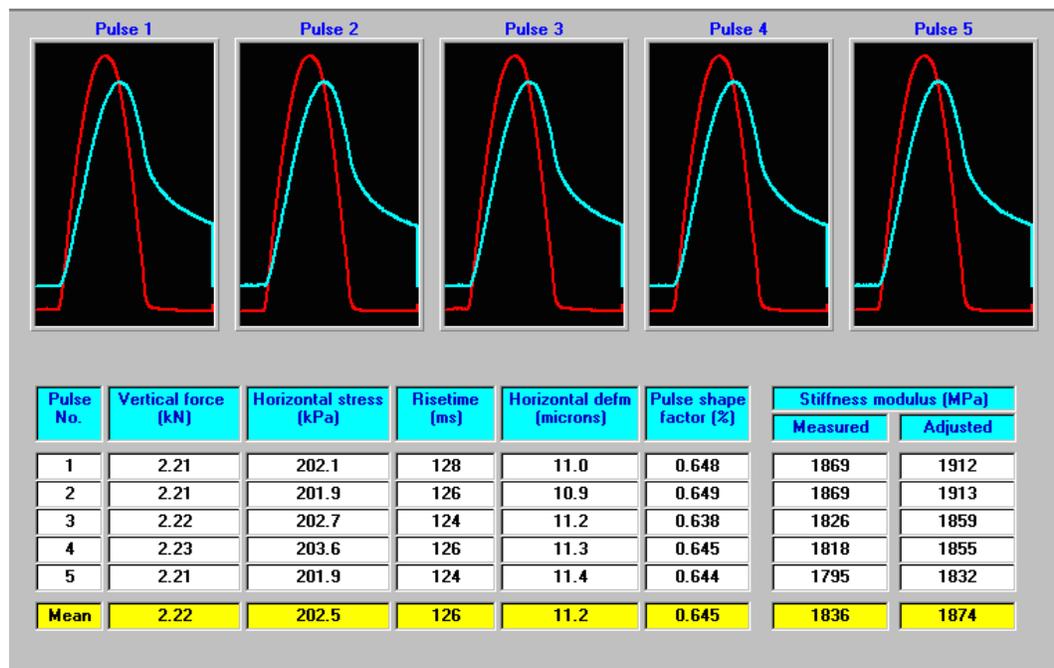


Fig.13: Se presenta 5 pulsos y el módulo calculado planta Macas muestra 1 a 35 golpes bajo 200 KPa

Ensayo de fatiga.

La fatiga se realiza empleando tensiones controladas con rangos entre 100 y 500 KPa, para este trabajo de titulación se usaron mayormente rangos entre 200 a 400 KPa. Las briquetas deben estar 2 horas antes en el equipo a 20°C, determinándose el número de repeticiones requeridas para su fallo por agrietamiento o para alcanzar una deformación vertical máxima de 5 mm.

Se aplican pulsos con la carga seleccionada en un tiempo de 0,12 segundos. La temperatura para este ensayo fue de 20°C.

Se obtiene el módulo de rigidez (S_m) con el ensayo anterior bajo la carga controlada (σ) junto con relación de Poisson 0,35 (μ). Se procede a calcular la deformación unitaria por tracción inicial (ϵ) mediante la siguiente formula:

$$\epsilon = \frac{\sigma(1 + 3\mu)}{S_m}$$

Data Entry

Target test temperature = 20°C		To the nearest degree Celsius
Specimen diameter = 102 mms		To the nearest millimetre
Specimen thickness = 46 mms		To the nearest millimetre
Target risetime = 120 milliseconds		To the nearest millisecond
Maximum Deformation= 5 mm		
Target horizontal stress = 500 kPa		To the nearest 10 kPa Change: Blue x 50 kPa, Red x 10 kPa.

Fig.14: ingreso de datos, se coloca la carga a cual vamos a ensayar

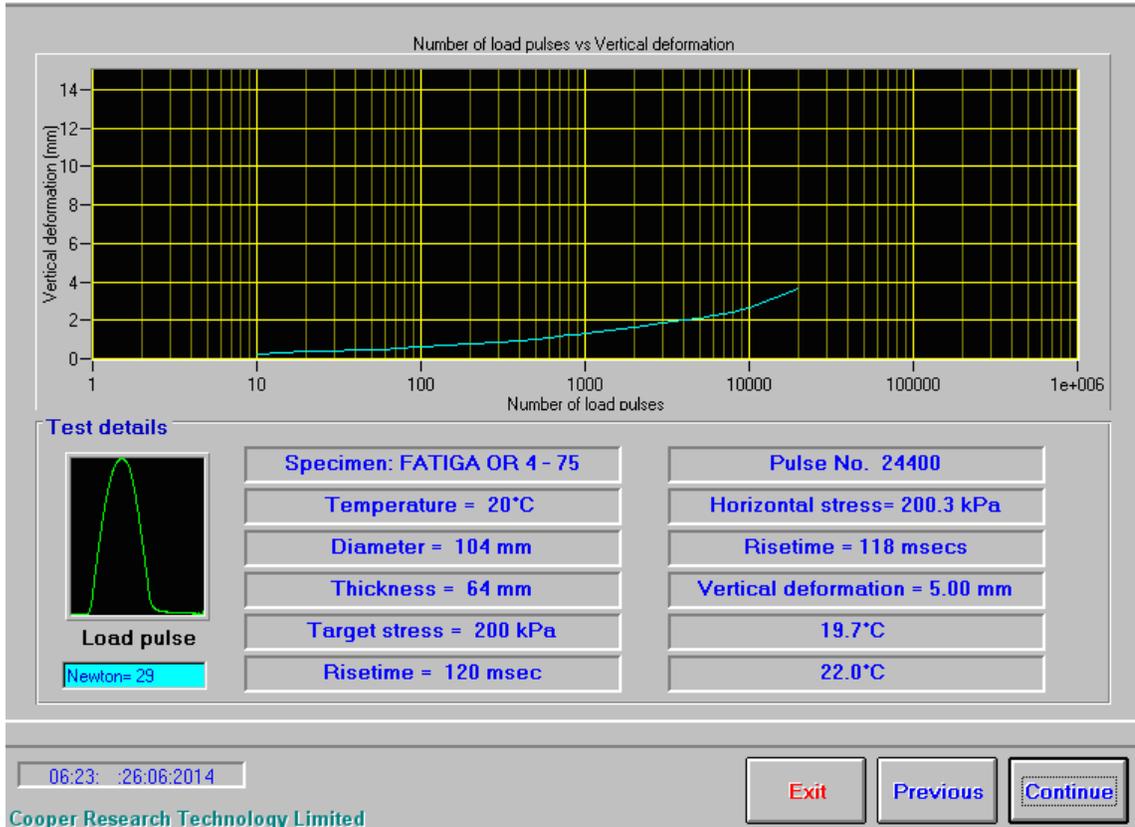


Fig. 15: Final ensayo máxima deformación a 24400 repeticiones Planta 2 a 200 KPa de carga

Deformación permanente (Creep dinámico).

Éste ensayo estima el comportamiento de la mezcla asfáltica ante las deformaciones plásticas.

Las briquetas ensayadas son sometidas a una carga de 100 KPa aplicada constantemente a la temperatura de 40°C durante 1 segundo, seguido por 1 segundo de descanso y esto representa a 1 ciclo.

El ensayo mide el porcentaje de deformación axial en 3600 pulsos o ciclos, la relación que resulta de comparar el esfuerzo axial versus el número de ciclos es usado para caracterizar la resistencia a la deformación permanente sabiendo que un buen comportamiento de la mezcla no debe superar al 1% de deformación .

Data Entry

Target test temperature = 40°C		To the nearest degree Celsius
Specimen diameter = 104 mms		To the nearest millimetre
Specimen thickness = 59 mms		To the nearest millimetre
Test stress = 100 kPa		To the nearest 10 kPa
Test duration = 3600 pulses		To the nearest 100 pulses
Conditioning stress = 10 kPa		To the nearest 1 kPa
Conditioning period = 30 seconds		To the nearest 30 seconds

Fig. 2: Inicio aplicación ensayo creep dinámico

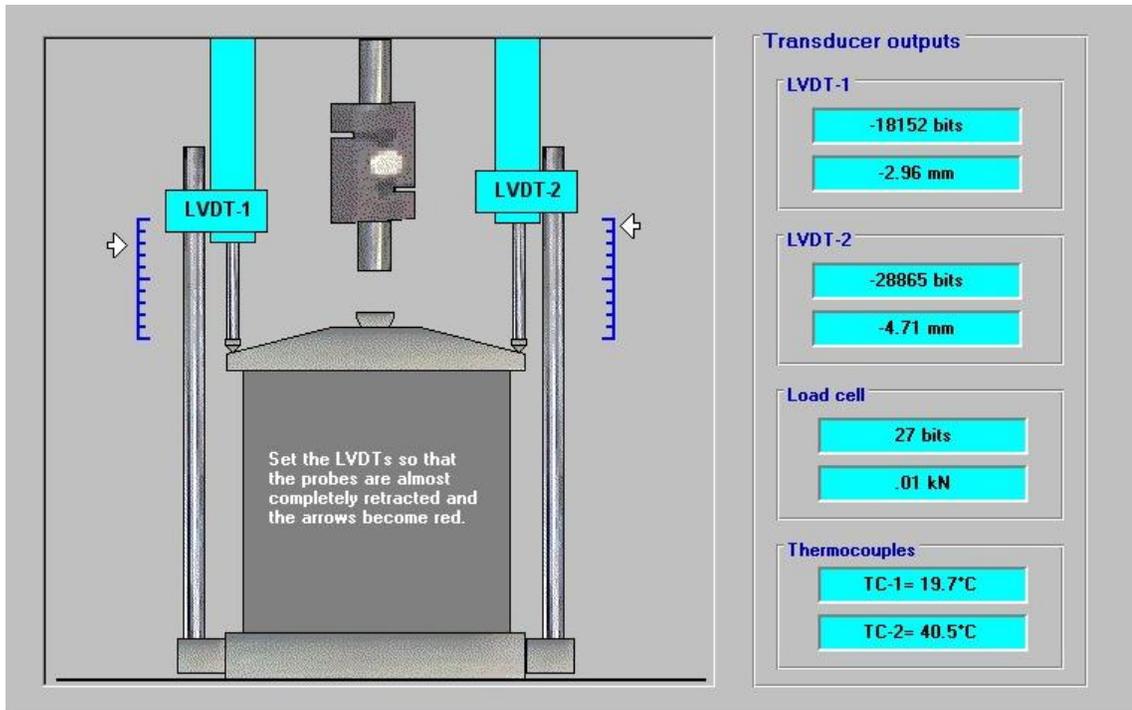


Fig. 17: calibración transductores ensayo creep dinámico

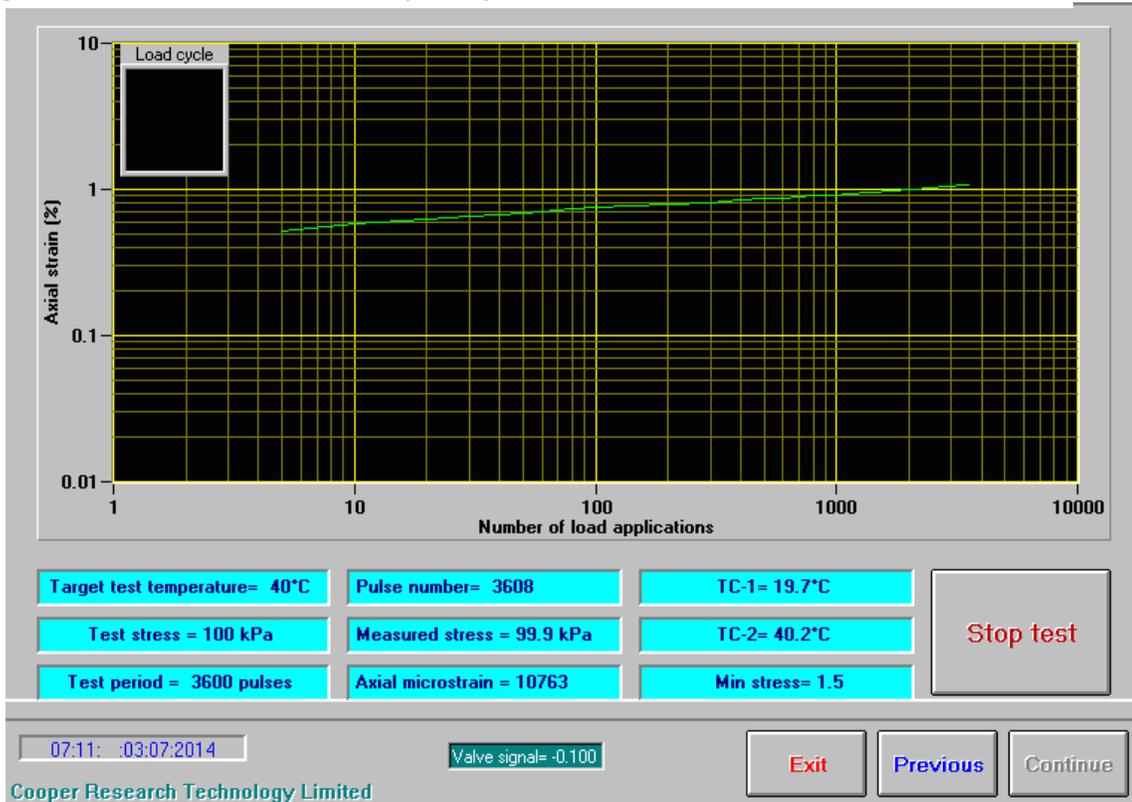


Fig. 18: Finalización ensayo creep dinámico Planta 2 muestra 2 a 35 golpes

CAPÍTULO 3 – ENSAYOS Y RESULTADOS

Introducción

A continuación se presenta los resultados de las pruebas y ensayos realizados a las briquetas elaboradas con la mezcla asfáltica de la región amazónica.

Estos valores son resultados de las pruebas convencionales y desempeño elaboradas a la muestra de 75 briquetas, se detalla valores promedios de algunas pruebas y otros resultados por briquetas teniendo en cuenta la variación de la energía de compactación.

Granulometría en agregados extraídos.

Los resultados se muestran en las tablas a continuación:

Granulometría en agregados extraídos de la planta 1.

GRANULOMETRÍA EN AGREGADOS EXTRAÍDOS.						
PLANTA 1 MACAS						
ABERTURA DE TAMICES		PESO RET. ACUM. (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% PASADO ACUMULADO	ESPEC. 1/2" MOP 2002	
No.	mm				Mínimo	Máximo
3/4"	19.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	12.70	59.00	6.30	93.70	90.00	100.00
3/8"	9.50	134.00	14.31	85.69		
# 4	4.75	369.00	39.41	60.59	44.00	74.00
# 8	2.36	484.00	51.69	48.31	28.00	58.00
#16	1.18	633.00	67.61	32.39		
#30	0.60	702.00	74.98	25.02		
# 50	0.30	830.00	88.65	11.35	5.00	21.00
#100	0.15	890.00	95.06	4.94		
# 200	0.10	918.00	98.05	1.95	2.00	10.00
FONDO	FONDO	936.30				

ESPECIFICACIÓN: TMN 12mm (1/2"). MOP- 001 F- 2002. TABLA 405-5.1.

Tabla 10: Granulometría planta 1

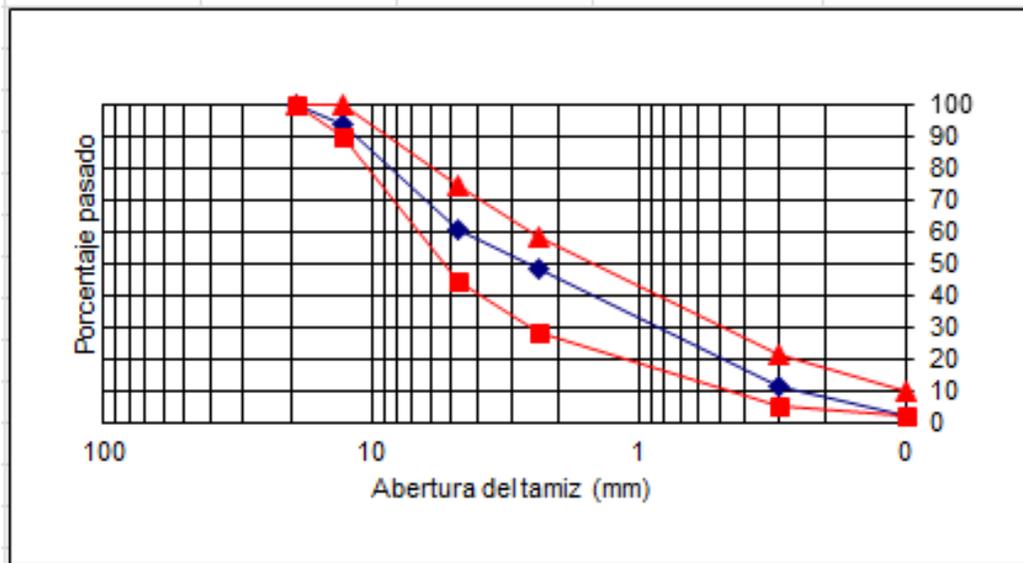


Fig. 19: Curva Granulométrica planta 1

Granulometría en agregados extraídos de la planta 2.

GRANULOMETRÍA EN AGREGADOS EXTRAÍDOS. PLANTA 2 YUTZUPUNGO - TENA						
ABERTURA DE TAMICES		PESO RET. ACUM. (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% PASADO ACUMULADO	ESPEC. 1/2" MOP 2002	
No.	mm				Mínimo	Máximo
3/4"	19.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	12.70	70.00	7.41	92.59	90.00	100.00
3/8"	9.50	152.00	16.09	83.91		
# 4	4.75	387.00	40.97	59.03	44.00	74.00
# 8	2.36	576.00	60.98	39.02	28.00	58.00
#16	1.18	691.00	73.16	26.84		
#30	0.60	739.00	78.24	21.76		
# 50	0.30	822.00	87.03	12.97	5.00	21.00
#100	0.15	882.00	93.38	6.62		
# 200	0.10	914.00	96.77	3.23	2.00	10.00
FONDO	FONDO	944.50				

ESPECIFICACIÓN: TMN 12mm (1/2"). MOP- 001 F- 2002. TABLA 405-5.1.

Tabla 11: Granulometría planta 2

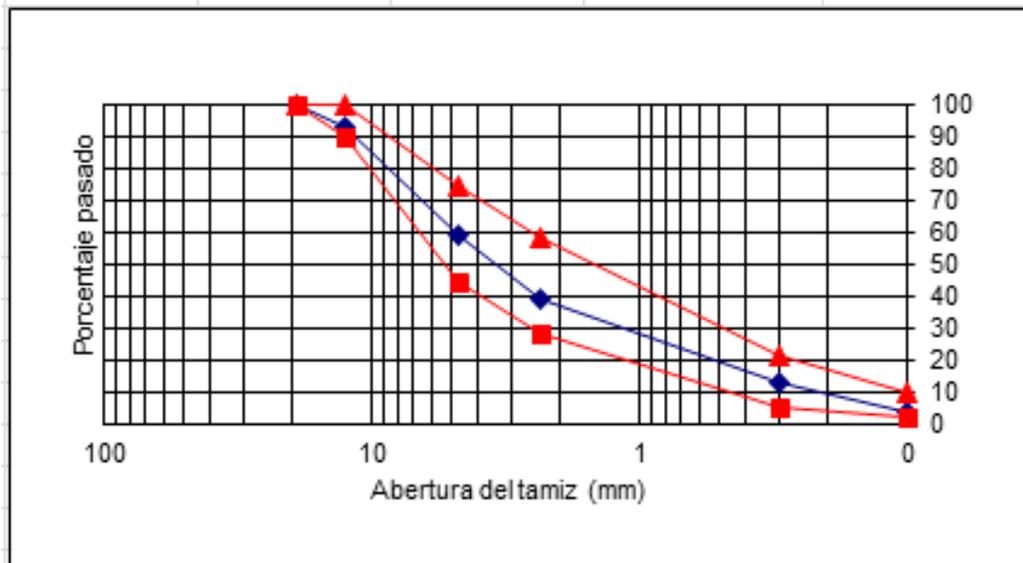


Fig. 20: curva Granulométrica planta 2

Granulometría en agregados extraídos de la planta 3.

GRANULOMETRÍA EN AGREGADOS EXTRAÍDOS. PLANTA 3 PUYO						
ABERTURA DE TAMICES		PESO RET. ACUM. (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% PASADO ACUMULADO	ESPEC. 1/2" MOP 2002	
No.	mm				Mínimo	Máximo
3/4"	19.00	0.0	0.0	100.0	100	100
1/2"	12.70	47.0	5.0	95.0	90	100
3/8"	9.50	183.0	19.5	80.5		
# 4	4.75	450.0	48.0	52.0	44	74
# 8	2.36	591.0	63.0	37.0	28	58
#16	1.18	700.0	74.6	25.4		
# 30	0.60	738.0	78.6	21.4		
# 50	0.30	831.0	88.6	11.4	5	21
#100	0.15	890.0	94.8	5.2		
# 200	0.10	919.0	97.9	2.1	2	10
FONDO	FONDO	938.4				

ESPECIFICACIÓN: TMN 12mm (1/2"). MOP- 001 F- 2002. TABLA 405-5.1.

Tabla 12: Granulometría planta 3

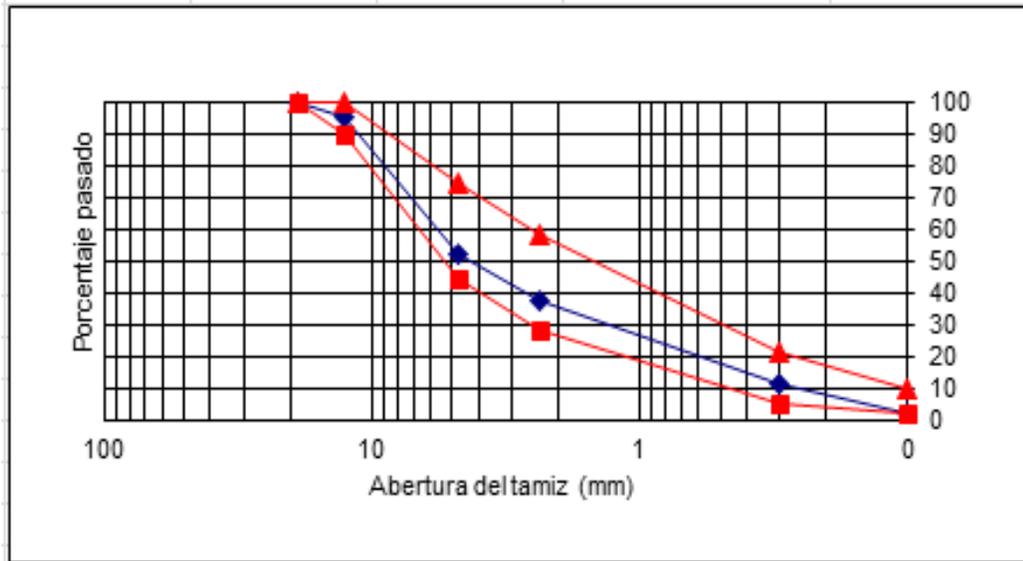


Fig. 21: curva Granulométrica planta 3

Granulometría en agregados extraídos de la planta 4.

GRANULOMETRÍA EN AGREGADOS EXTRAÍDOS. PLANTA 4 MORONA SANTIAGO						
ABERTURA DE TAMICES		PESO RET. ACUM. (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% PASADO ACUMULADO	ESPEC. 1/2" MOP 2002	
No.	mm				Mínimo	Máximo
3/4"	19.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	12.70	50.00	5.34	94.66	90.00	100.00
3/8"	9.50	162.00	17.29	82.71		
# 4	4.75	442.00	47.18	52.82	44.00	74.00
# 8	2.36	595.00	63.51	36.49	28.00	58.00
#16	1.18	740.00	78.98	21.02		
#30	0.60	780.00	83.25	16.75		
# 50	0.30	846.00	90.30	9.70	5.00	21.00
#100	0.15	890.00	94.99	5.01		
# 200	0.10	916.00	97.77	2.23	2.00	10.00
FONDO	FONDO	936.90				

ESPECIFICACIÓN: TMN 12mm (1/2"). MOP- 001 F- 2002. TABLA 405-5.1.

Tabla 13: Granulometría planta 4

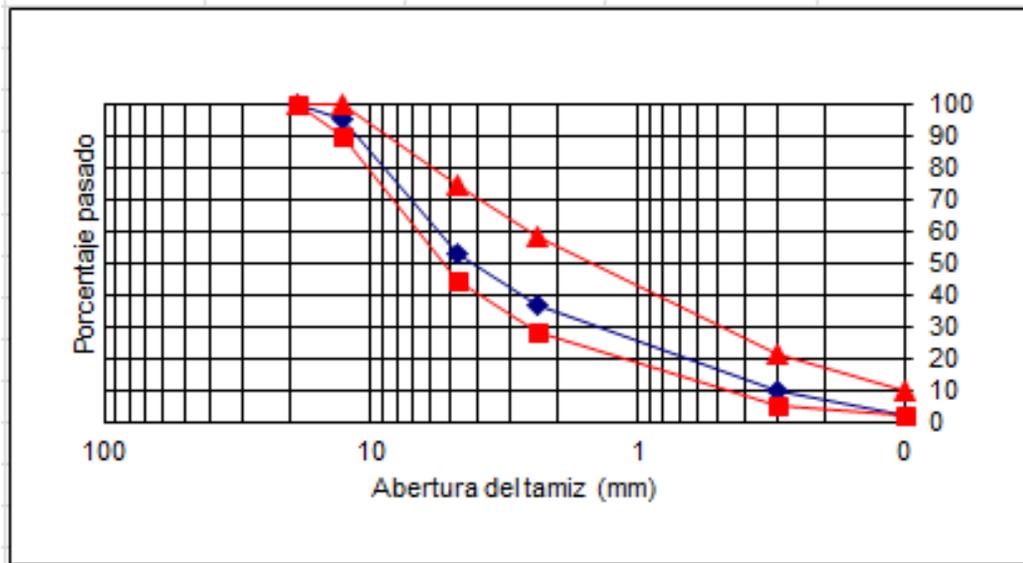


Fig. 22: curva Granulométrica planta 4

Granulometría en agregados extraídos de la planta 5.

GRANULOMETRÍA EN AGREGADOS EXTRAÍDOS. PLANTA 5 COCA - ORELLANA						
ABERTURA DE TAMICES		PESO RET. ACUM. (gr)	% RETENIDO ACUMULADO	% PASADO ACUMULADO	ESPEC. 1/2" MOP 2002	
No.	mm				Mínimo	Máximo
3/4"	19.00	0.00	0.00	100.00	100.00	100.00
1/2"	12.70	38.00	4.04	95.96	90.00	100.00
3/8"	9.50	130.00	13.83	86.17		
# 4	4.75	316.00	33.61	66.39	44.00	74.00
# 8	2.36	477.00	50.73	49.27	28.00	58.00
#16	1.18	606.00	64.45	35.55		
#30	0.60	677.00	72.00	28.00		
# 50	0.30	789.00	83.91	16.09	5.00	21.00
#100	0.15	860.00	91.46	8.54		
# 200	0.10	906.00	96.35	3.65	2.00	10.00
FONDO	FONDO	940.30				

ESPECIFICACIÓN: TMN 12mm (1/2"). MOP- 001 F- 2002. TABLA 405-5.1.

Tabla 14: Granulometría planta 5

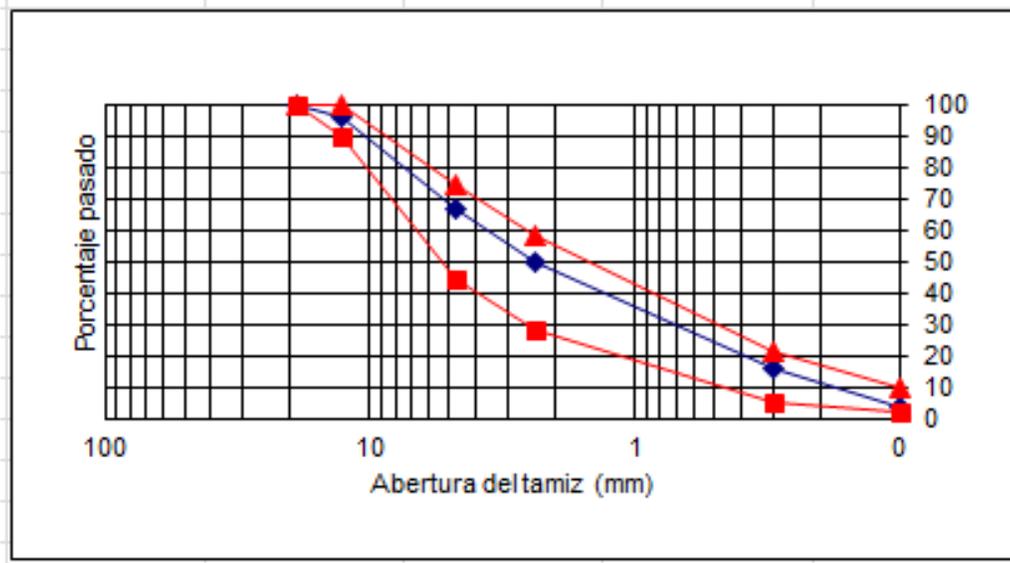


Fig. 23: curva Granulométrica planta 5

Porcentaje de asfalto en muestras asfálticas.

Los resultados obtenidos para cada planta, se muestran a continuación:

Extracción de asfalto planta 1.

El resultado de la extracción de asfalto se muestra en la tabla 15.

PRUEBA DE EXTRACCIÓN DE ASFALTO PLANTA 1 MACAS	
W1. PESO DE LA MUESTRA DE MEZCLA ASFÁLTICA (gr):	1000.00
F1. PESO DEL FILTRO ANTES DE LA EXTRACCIÓN (gr):	9.10
W2. CONTENIDO DE HUMEDAD (gr):	0.00
W3A. PESO DE AGREG. LAVADOS EN CENTRÍFUGA (gr):	931.40
F2. PESO DEL FILTRO DESPUÉS DE LA EXTRACCIÓN (gr):	10.50
W3B = F2 - F1	1.40
W3. PESO AGREG. INCLUYENDO FILTRO (gr) (W3A+W3B):	932.80
W4. PESO DE MATERIAL MINERAL EN EXTRACTO (gr):	3.50
% DE ASFALTO = $\{[(W1-W2) - (W3+W4)] / (W1-W2)\} * 100$	6.37

Tabla 15: extracción de asfalto de la planta 1.

Extracción de asfalto planta 2.

El resultado de la extracción de asfalto se muestra en la tabla 16.

PRUEBA DE EXTRACCIÓN DE ASFALTO PLANTA 2 YUTZUPUNGO - TENA	
W1. PESO DE LA MUESTRA DE MEZCLA ASFÁLTICA (gr):	1000.00
F1. PESO DEL FILTRO ANTES DE LA EXTRACCIÓN (gr):	9.40
W2. CONTENIDO DE HUMEDAD (gr):	0.00
W3A. PESO DE AGREG. LAVADOS EN CENTRÍFUGA (gr):	940.00
F2. PESO DEL FILTRO DESPUÉS DE LA EXTRACCIÓN (gr):	10.40
W3B = F2 - F1	1.00
W3. PESO AGREG. INCLUYENDO FILTRO (gr) (W3A+W3B):	941.00
W4. PESO DE MATERIAL MINERAL EN EXTRACTO (gr):	3.50
% DE ASFALTO = $\{[(W1-W2) - (W3+W4)] / (W1-W2)\} * 100$	5.55

Tabla 16: extracción de asfalto de la planta 2.

Extracción de asfalto planta 3.

El resultado de la extracción de asfalto se muestra en la tabla 17.

PRUEBA DE EXTRACCIÓN DE ASFALTO PLANTA 3 PUYO	
W1. PESO DE LA MUESTRA DE MEZCLA ASFÁLTICA (gr):	1000.00
F1. PESO DEL FILTRO ANTES DE LA EXTRACCIÓN (gr):	9.20
W2. CONTENIDO DE HUMEDAD (gr):	0.00
W3A. PESO DE AGREG. LAVADOS EN CENTRÍFUGA (gr):	933.00
F2. PESO DEL FILTRO DESPUÉS DE LA EXTRACCIÓN (gr):	11.10
W3B = F2 - F1	1.90
W3. PESO AGREG. INCLUYENDO FILTRO (gr) (W3A+W3B):	934.90
W4. PESO DE MATERIAL MINERAL EN EXTRACTO (gr):	3.50
% DE ASFALTO = $\{[(W1-W2) - (W3+W4)] / (W1-W2)\} * 100$	6.16

Tabla 17: extracción de asfalto de la planta 3.

Extracción de asfalto planta 4.

El resultado de la extracción de asfalto se muestra en la tabla 18.

PRUEBA DE EXTRACCIÓN DE ASFALTO PLANTA 4 MORONA SANTIAGO	
W1. PESO DE LA MUESTRA DE MEZCLA ASFÁLTICA (gr):	1000.00
F1. PESO DEL FILTRO ANTES DE LA EXTRACCIÓN (gr):	9.00
W2. CONTENIDO DE HUMEDAD (gr):	0.00
W3A. PESO DE AGREG. LAVADOS EN CENTRÍFUGA (gr):	932.00
F2. PESO DEL FILTRO DESPUÉS DE LA EXTRACCIÓN (gr):	10.40
W3B = F2 - F1	1.40
W3. PESO AGREG. INCLUYENDO FILTRO (gr) (W3A+W3B):	933.40
W4. PESO DE MATERIAL MINERAL EN EXTRACTO (gr):	3.50
% DE ASFALTO = $\{[(W1-W2) - (W3+W4)] / (W1-W2)\} * 100$	6.31

Tabla 18: extracción de asfalto de la planta 4.

Extracción de asfalto planta 5.

El resultado de la extracción de asfalto se muestra en la tabla 19.

PRUEBA DE EXTRACCIÓN DE ASFALTO PLANTA 5 COCA - ORELLANA	
W1. PESO DE LA MUESTRA DE MEZCLA ASFÁLTICA (gr):	1000.00
F1. PESO DEL FILTRO ANTES DE LA EXTRACCIÓN (gr):	9.40
W2. CONTENIDO DE HUMEDAD (gr):	0.00
W3A. PESO DE AGREG. LAVADOS EN CENTRÍFUGA (gr):	935.80
F2. PESO DEL FILTRO DESPUÉS DE LA EXTRACCIÓN (gr):	10.40
W3B = F2 - F1	1.00
W3. PESO AGREG. INCLUYENDO FILTRO (gr) (W3A+W3B):	936.80
W4. PESO DE MATERIAL MINERAL EN EXTRACTO (gr):	3.50
% DE ASFALTO = $\{[(W1-W2) - (W3+W4)] / (W1-W2)\} * 100$	5.97

Tabla 19: extracción de asfalto de la planta 5.

Densidad teórica máxima RICE.

Los resultados del ensayo RICE realizado a las plantas 1 al 5 , se muestran en las tablas 20,21,22,23 y 24 respectivamente.

RICE planta 1.

ENSAYO RICE PLANTA 1 MACAS				
A: PESO DEL FRASCO + AGUA			3092.0	gr
B: PESO DEL FRASCO + AGUA + MATERIAL			3686.0	gr
C: PESO DE LA MEZCLA SUELTA			1000.0	gr
$RICE = C / [A - (B - C)] =$		2.463		

Tabla 20: densidad máxima teórica (RICE) planta 1.

RICE planta 2.

ENSAYO RICE PLANTA 2 YUTZUPUNGO - TENA				
A: PESO DEL FRASCO + AGUA			3095.0	gr
B: PESO DEL FRASCO + AGUA + MATERIAL			3699.0	gr
C: PESO DE LA MEZCLA SUELTA			1000.0	gr
$RICE = C / [A - (B - C)] =$		2.525		

Tabla 21: densidad máxima teórica (RICE) planta 2

RICE planta 3.

ENSAYO RICE PLANTA 3 PUYO				
A: PESO DEL FRASCO + AGUA			3094.0	gr
B: PESO DEL FRASCO + AGUA + MATERIAL			3700.0	gr
C: PESO DE LA MEZCLA SUELTA			1000.0	gr
RICE = $C / [A - (B - C)] =$	2.538			

Tabla 22: densidad máxima teórica (RICE) planta 3

RICE planta 4.

ENSAYO RICE PLANTA 4 MORONA SANTIAGO				
A: PESO DEL FRASCO + AGUA			3095.0	gr
B: PESO DEL FRASCO + AGUA + MATERIAL			3683.0	gr
C: PESO DE LA MEZCLA SUELTA			1000.0	gr
RICE = $C / [A - (B - C)] =$	2.427			

Tabla 23: densidad máxima teórica (RICE) planta 4

RICE planta 5.

ENSAYO RICE PLANTA 5 COCA - ORELLANA				
A: PESO DEL FRASCO + AGUA			3098.0 gr	
B: PESO DEL FRASCO + AGUA + MATERIAL			3674.0 gr	
C: PESO DE LA MEZCLA SUELTA			1000.0 gr	
$RICE = C / [A - (B - C)] =$	2.358			

Tabla 24: densidad máxima teórica RICE, planta 5.

Gravedad específica “Bulk” y Porcentaje de vacíos.

Los resultados obtenidos se muestran en las Tablas a continuación.

Gravedad específica bulk y porcentaje de vacíos en la planta 1.

CONTROL DE PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS EN NÚCLEOS									
PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS: DENSIDAD Y % DE VACÍOS									
PLANTA 1 MACAS									
Energía de Compactación	BRIQUETAS	Pesos			Volumen	Densidad	Vacíos	Promedios	
		Peso muestra en aire	Peso muestra en agua	Peso muestra s.s.s. aire	Volumen (cm ³)	Gravedad Esp. Bulk	Vacíos en mezcla (%)	Gravedad Esp. Bulk	Vacíos en mezcla (%)
35	1 - MC - 35	1240.0	703.4	1241.0	537.6	2.307	6.35	2.304	6.47
	2 - MC - 35	1135.7	644.7	1136.7	492.0	2.308	6.28		
	3 - MC - 35	1115.6	631.2	1116.6	485.4	2.298	6.69		
	4 - MC - 35	1188.7	671.9	1189.7	517.8	2.296	6.80		
	5 - MC - 35	1197.9	680.6	1198.9	518.3	2.311	6.16		
	6 - MC - 35	1184.6	671.0	1185.6	514.6	2.302	6.54		
50	1 - MC - 50	1178.2	682.5	1180.2	497.7	2.367	3.89	2.349	4.64
	2 - MC - 50	1192.0	683.8	1192.0	508.2	2.346	4.77		
	3 - MC - 50	1174.5	674.2	1174.5	500.3	2.348	4.69		
	4 - MC - 50	1189.5	686.9	1191.5	504.6	2.357	4.29		
	5 - MC - 50	1186.6	678.3	1186.6	508.3	2.334	5.22		
	6 - MC - 50	1179.3	675.5	1179.3	503.8	2.341	4.96		
75	1 - MC - 75	1184.7	683.2	1184.7	501.5	2.362	4.09	2.362	4.10
	2 - MC - 75	1184.9	681.1	1184.9	503.8	2.352	4.51		
	3 - MC - 75	1167.5	674.5	1167.5	493.0	2.368	3.85		
	4 - MC - 75	1175.5	672.7	1175.5	502.8	2.338	5.08		
	5 - MC - 75	1178.3	681.1	1178.3	497.2	2.370	3.78		
	6 - MC - 75	1188.5	689.5	1188.5	499.0	2.382	3.30		

Tabla 25: Gravedad específica bulk y porcentaje de vacíos de la planta 1.

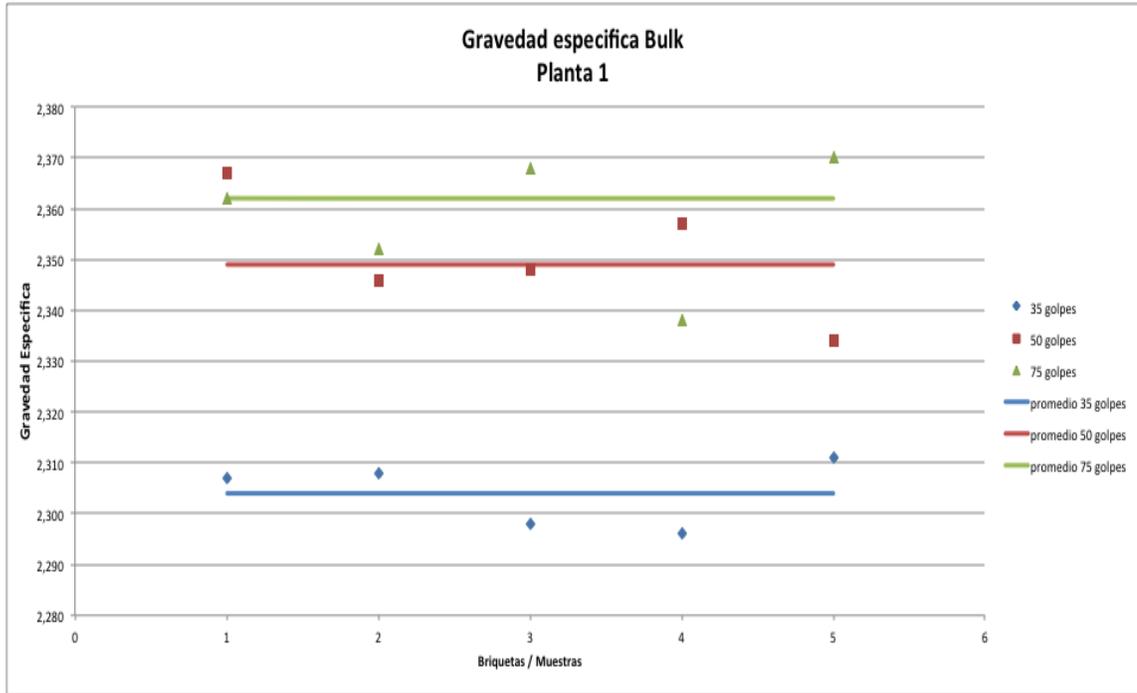


Fig. 24: Gravedad específica o densidades, planta 1.

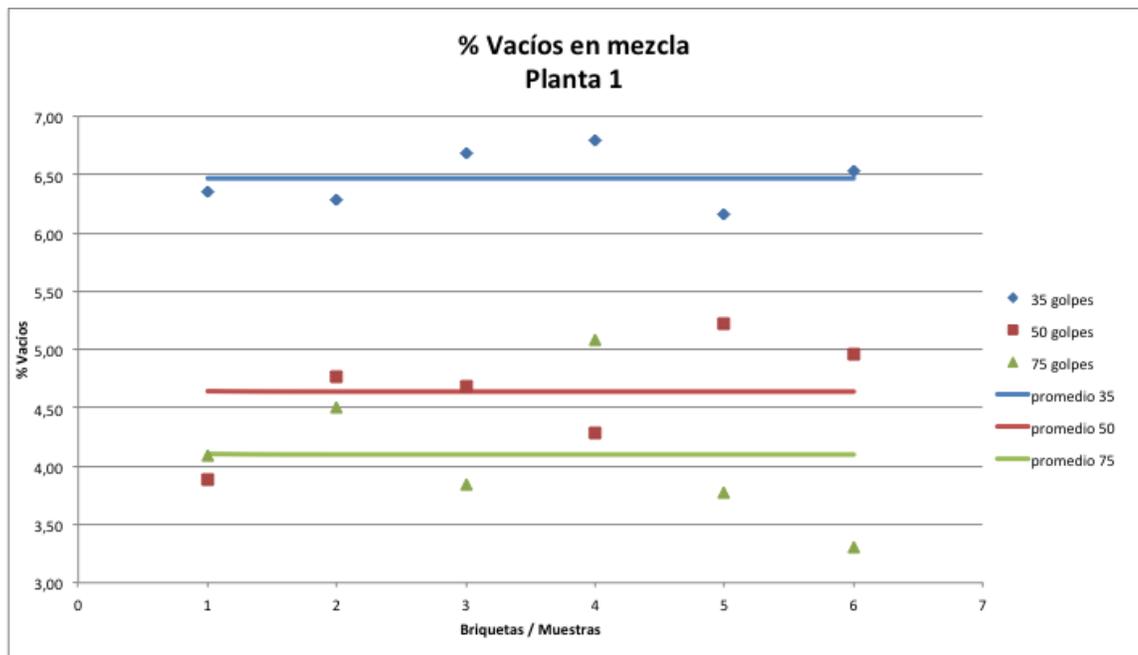


Fig. 25: Porcentaje de vacíos , planta 1.

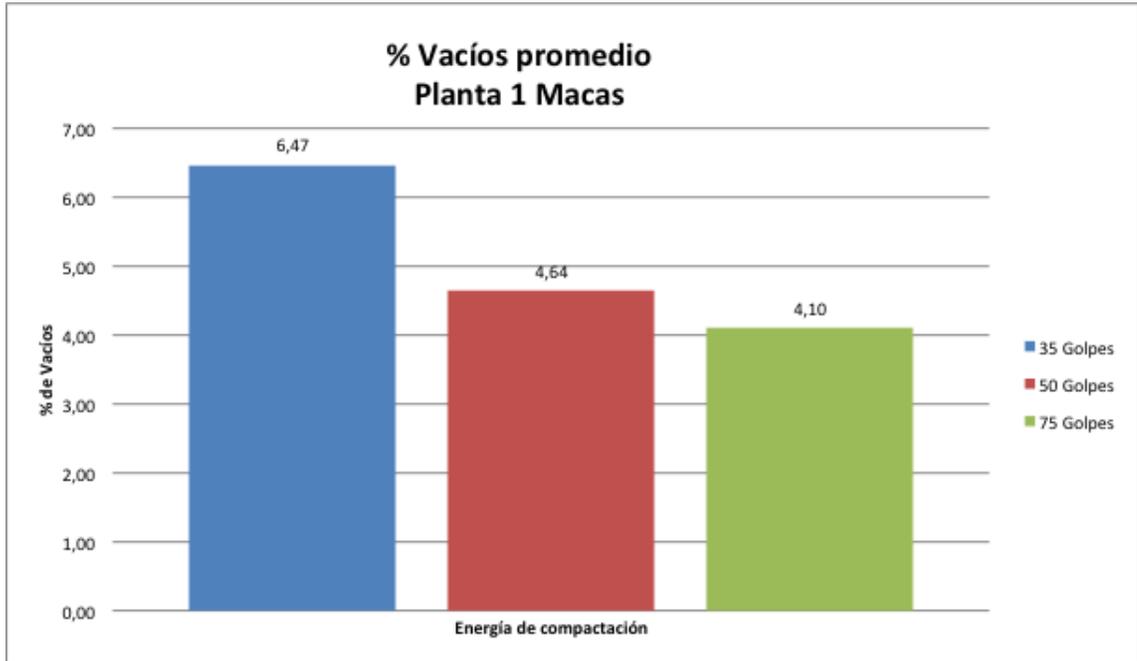


Fig. 26: Porcentaje de vacíos promedios , planta 1.

Gravedad específica bulk y porcentaje de vacíos en la planta 2.

CONTROL DE PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS EN NÚCLEOS									
PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS: DENSIDAD Y % DE VACÍOS									
PLANTA 2 YUTZUPUNGO - TENA									
Energía de Compactación	BRIQUETAS	Pesos			Volumen	Densidad	Vacíos	Promedios	
		Peso muestra en aire (gr)	Peso muestra en agua (gr)	Peso muestra s.s.s. aire (gr)	Volumen (cm ³)	Gravedad Esp. Bulk	Vacíos en mezcla (%)	Gravedad Esp. Bulk	Vacíos en mezcla (%)
35	1 - TE - 35	1339.8	771.4	1340.8	569.4	2.353	6.82	2.361	6.50
	2 - TE - 35	1304.8	751.7	1305.8	554.1	2.355	6.75		
	3 - TE - 35	1311.6	759.7	1312.6	552.9	2.372	6.06		
	4 - TE - 35	1323.4	766.2	1324.4	558.2	2.371	6.11		
	5 - TE - 35	1303.4	751.8	1304.4	552.6	2.359	6.60		
	6 - TE - 35	1272.7	733.9	1273.7	539.8	2.358	6.63		
50	1 - TE - 50	1292.1	755.6	1292.1	536.5	2.408	4.63	2.402	4.86
	2 - TE - 50	1284.7	750.2	1284.7	534.5	2.404	4.82		
	3 - TE - 50	1273.0	741.5	1273.0	531.5	2.395	5.15		
	4 - TE - 50	1279.5	746.0	1279.5	533.5	2.398	5.03		
	5 - TE - 50	1278.7	747.2	1278.7	531.5	2.406	4.73		
	6 - TE - 50	1280.7	747.8	1280.7	532.9	2.403	4.83		
75	1 - TE - 75	1282.2	746.6	1282.2	535.6	2.394	5.20	2.417	4.30
	2 - OR - 75	1277.5	746.8	1277.5	530.7	2.407	4.67		
	3 - OR - 75	1287.3	755.4	1287.3	531.9	2.420	4.16		
	4 - OR - 75	1304.0	766.8	1304.0	537.2	2.427	3.87		
	5 - OR - 75	1341.4	787.3	1341.4	554.1	2.421	4.13		
	6 - OR - 75	1317.7	775.4	1317.7	542.3	2.430	3.78		

Tabla 26: Gravedad específica bulk y porcentaje de vacíos de la planta 2.

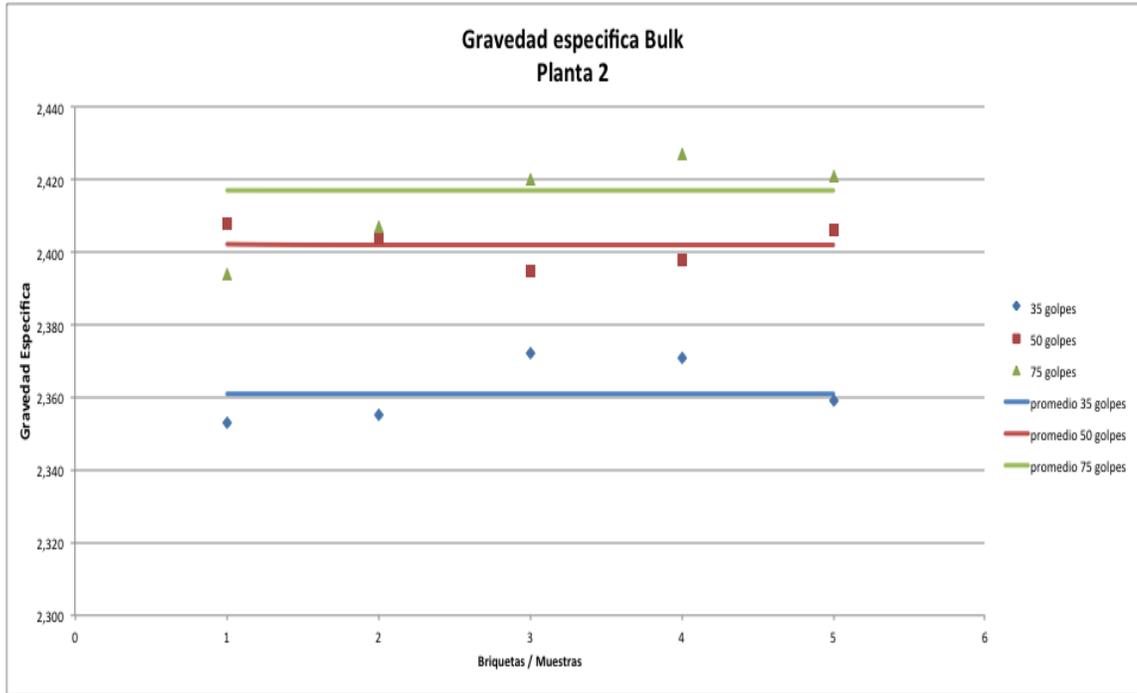


Fig.27: Gravedad específica o densidades, Planta 2.

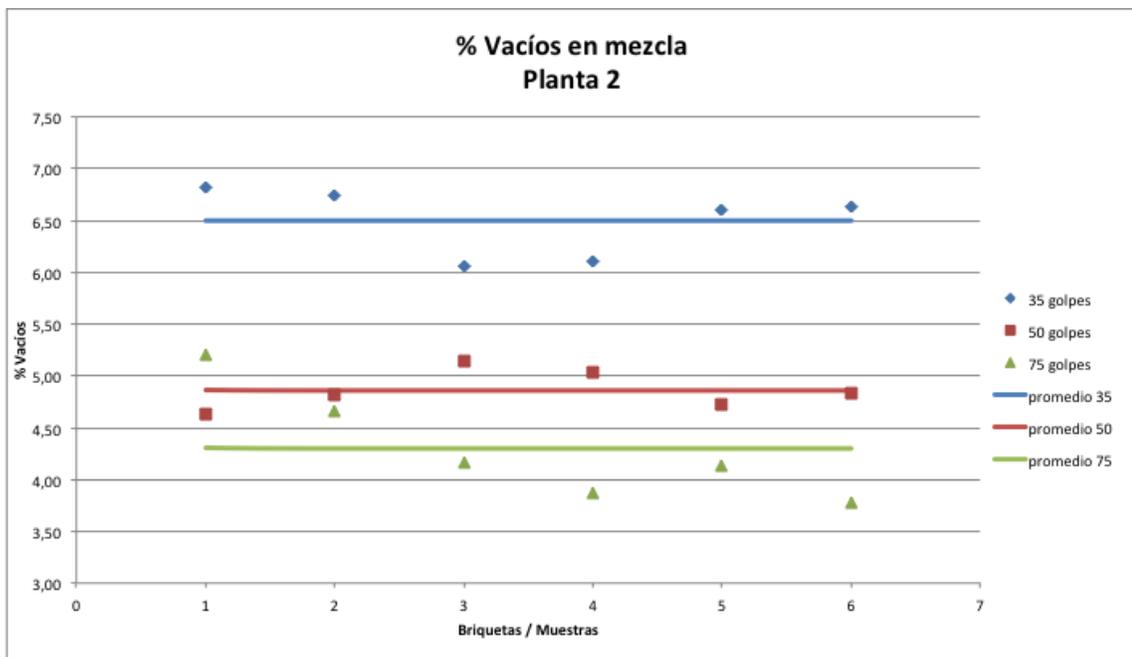


Fig. 28: Porcentaje de vacíos, planta 2

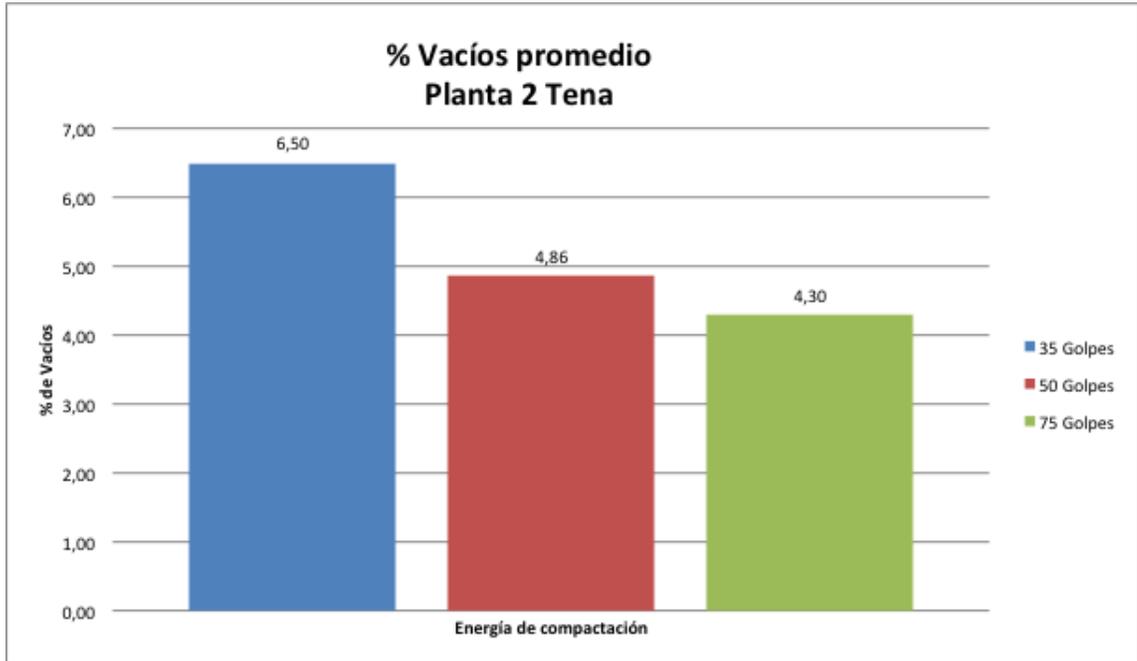


Fig. 29: Porcentaje de vacíos promedio, planta 2.

Gravedad específica bulk y porcentaje de vacíos en la planta 3.

CONTROL DE PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS EN NÚCLEOS									
PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS: DENSIDAD Y % DE VACÍOS									
PLANTA 3 PUYO									
Energía de Compactación	BRIQUETAS	Pesos			Volumen	Densidad	Vacíos	Promedios	
		Peso muestra en aire (gr)	Peso muestra en agua (gr)	Peso muestra s.s. aire (gr)	Volumen (cm ³)	Gravedad Esp. Bulk	Vacíos en mezcla (%)	Gravedad Esp. Bulk	Vacíos en mezcla (%)
35	1 - P2 - 35	1206.4	698.9	1207.4	508.5	2.372	6.52	2.367	6.73
	2 - P2 - 35	1219.4	707.3	1220.4	513.1	2.377	6.36		
	3 - P2 - 35	1183.8	686.8	1184.8	498.0	2.377	6.34		
	4 - P2 - 35	1204.7	693.3	1205.7	512.4	2.351	7.37		
	5 - P2 - 35	1207.7	696.9	1208.7	511.8	2.360	7.03		
50	1 - P2 - 50	1258.8	741.6	1258.8	517.2	2.434	4.11	2.417	4.78
	2 - P2 - 50	1242.1	730.7	1242.1	511.4	2.429	4.30		
	3 - P2 - 50	1232.9	721.6	1232.9	511.3	2.411	4.99		
	4 - P2 - 50	1217.0	714.2	1217.0	502.8	2.420	4.63		
	5 - P2 - 50	1216.6	707.4	1216.6	509.2	2.389	5.86		
75	1 - P2 - 75	1190.5	700.2	1190.5	490.3	2.428	4.33	2.436	4.02
	2 - P2 - 75	1176.8	694.1	1176.8	482.7	2.438	3.94		
	3 - P2 - 75	1184.7	697.6	1184.7	487.1	2.432	4.17		
	4 - P2 - 75	1217.6	718.5	1217.6	499.1	2.440	3.88		
	5 - P2 - 75	1212.9	716.4	1212.9	496.5	2.443	3.75		

Tabla 27: Gravedad específica bulk y porcentaje de vacíos de la planta 3.

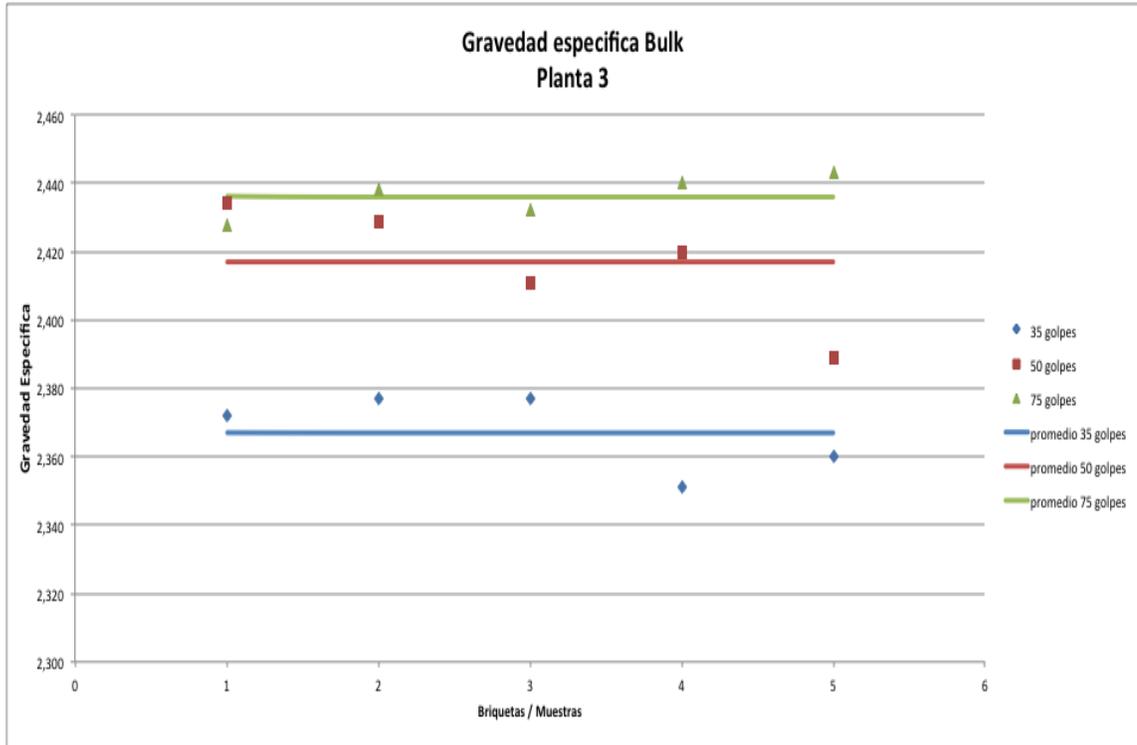


Fig. 30: Gravedad específica o densidades, planta 3.

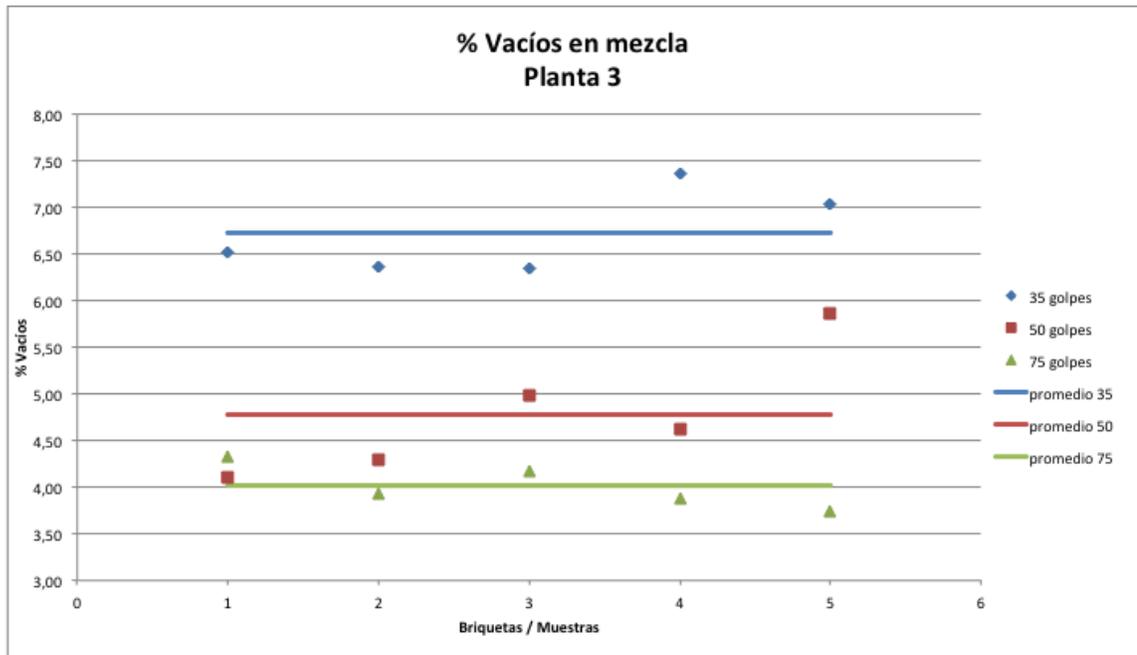


Fig. 31: Porcentaje de vacíos, planta 3

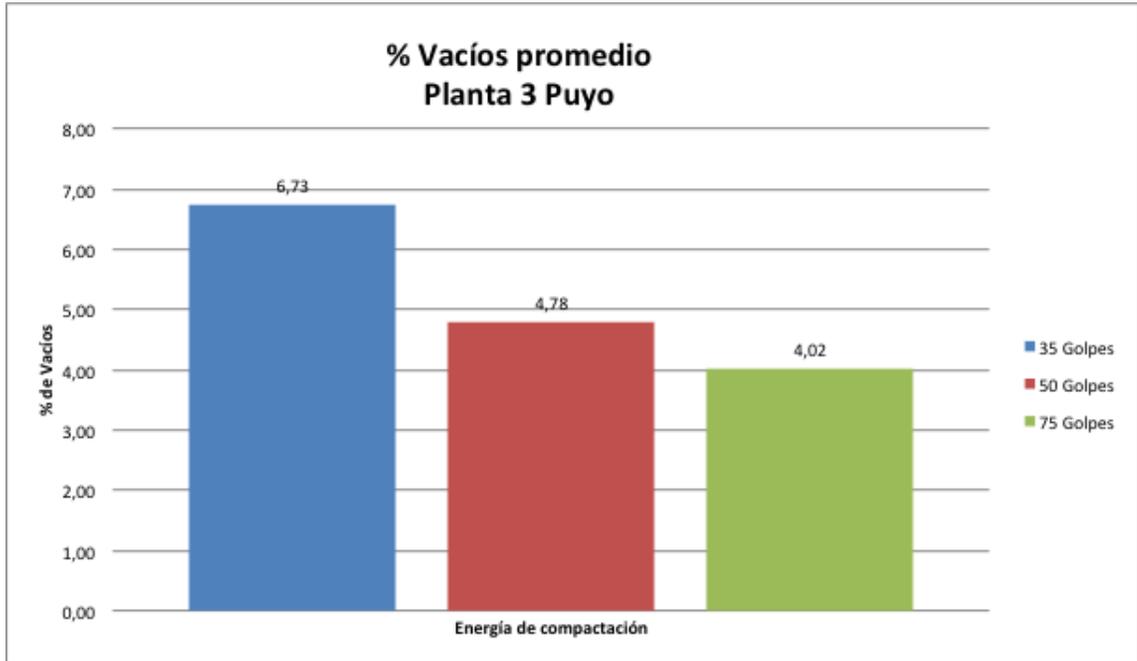


Fig. 32: Porcentaje de vacíos promedio, planta 3.

Gravedad específica bulk y porcentaje de vacíos en la planta 4.

CONTROL DE PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS EN NÚCLEOS									
PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS: DENSIDAD Y % DE VACÍOS									
PLANTA 4 MORONA SANTIAGO									
Energía de Compactación	BRIQUETAS	Pesos			Volumen	Densidad	Vacíos	Promedios	
		Peso muestra en aire (gr)	Peso muestra en agua (gr)	Peso muestra s.s.s. aire (gr)	Volumen (cm ³)	Gravedad Esp. Bulk	Vacíos en mezcla (%)	Gravedad Esp. Bulk	Vacíos en mezcla (%)
35	1 - MS - 35	1230.6	687.7	1233.6	545.9	2.254	7.12	2.272	6.39
	2 - MS - 35	1187.7	670.9	1190.7	519.8	2.285	5.86		
	3 - MS - 35	1195.8	678.8	1198.8	520.0	2.300	5.26		
	4 - MS - 35	1212.5	686.3	1215.5	529.2	2.291	5.60		
	5 - MS - 35	1233.4	686.5	1236.4	549.9	2.243	7.59		
	6 - MS - 35	1189.3	666.0	1192.3	526.3	2.260	6.90		
50	1 - MS - 50	1272.8	726.9	1274.8	547.9	2.323	4.29	2.322	4.34
	2 - MS - 50	1168.2	666.3	1170.2	503.9	2.318	4.49		
	3 - MS - 50	1192.4	678.8	1194.4	515.6	2.313	4.72		
	4 - MS - 50	1162.6	663.5	1164.6	501.1	2.320	4.41		
	5 - MS - 50	1108.0	633.8	1110.0	476.2	2.327	4.14		
	6 - MS - 50	1175.3	673.0	1177.3	504.3	2.331	3.98		
75	1 - MS - 75	1242.7	709.7	1243.7	534.0	2.327	4.12	2.330	3.99
	2 - MS - 75	1218.2	694.9	1219.2	524.3	2.323	4.27		
	3 - MS - 75	1198.8	682.1	1199.8	517.7	2.316	4.60		
	4 - MS - 75	1223.8	704.1	1224.8	520.7	2.350	3.17		
	5 - MS - 75	1244.8	710.7	1245.8	535.1	2.326	4.16		
	6 - MS - 75	1264.6	725.1	1265.6	540.5	2.340	3.60		

Tabla 28: Gravedad específica "bulk" y porcentaje de vacíos de la planta 4.

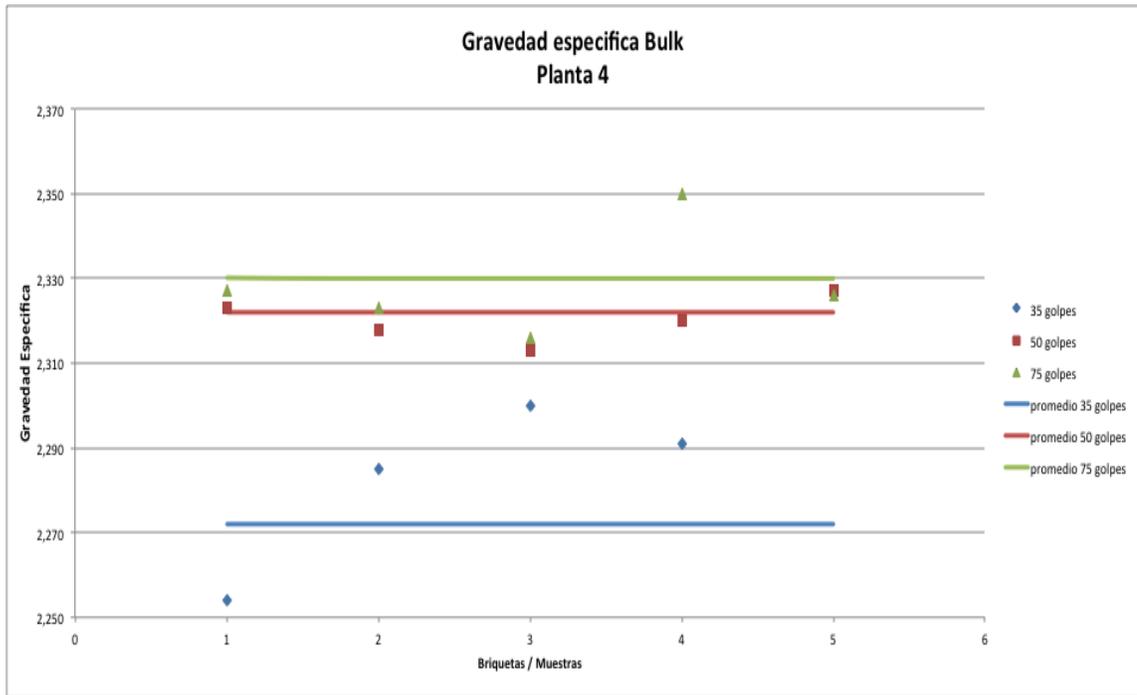


Fig. 33: Gravedad específica o densidades, planta 4.

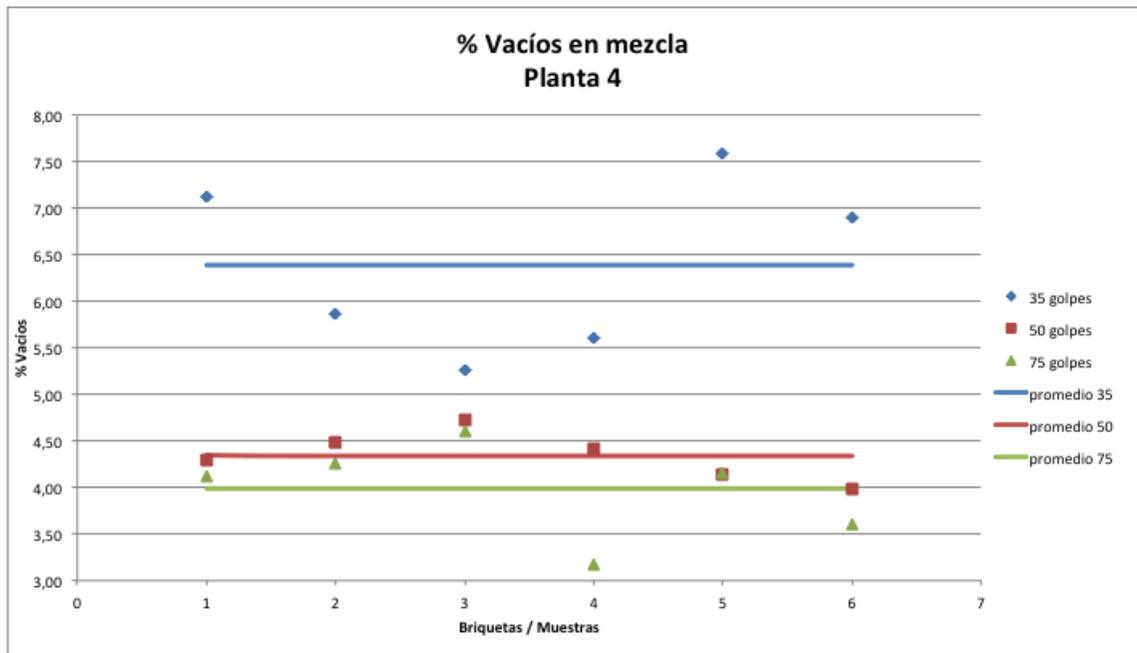


Fig. 34: Porcentaje de vacíos, planta 4.

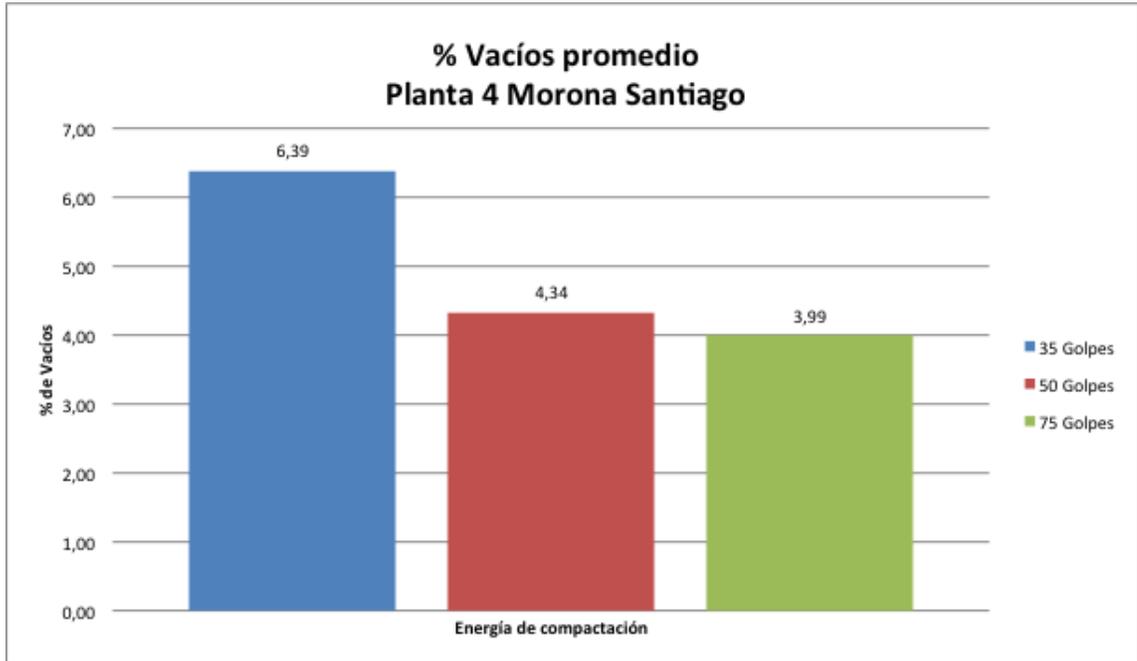


Fig. 35: Porcentaje de vacíos promedio, planta 4.

Gravedad específica bulk y porcentaje de vacíos en la planta 5.

CONTROL DE PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS EN NÚCLEOS									
PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS: DENSIDAD Y % DE VACÍOS									
PLANTA 5 COCA - ORELLANA									
Energía de Compactación	BRIQUETAS	Pesos			Volumen	Densidad	Vacíos	Promedios	
		Peso muestra en aire (gr)	Peso muestra en agua (gr)	Peso muestra s.s.s. aire (gr)	Volumen (cm ³)	Gravedad Esp. Bulk	Vacíos en mezcla (%)	Gravedad Esp. Bulk	Vacíos en mezcla (%)
35	1 - CC - 35	1136.3	625.4	1136.3	510.9	2.224	5.70	2.223	5.74
	2 - CC - 35	1124.9	630.0	1124.9	494.9	2.273	3.63		
	3 - CC - 35	1126.1	614.6	1126.1	511.5	2.202	6.65		
	4 - CC - 35	1133.9	622.3	1133.9	511.6	2.216	6.03		
	5 - CC - 35	1126.7	617.3	1126.7	509.4	2.212	6.22		
	6 - CC - 35	1129.3	618.6	1129.3	510.7	2.211	6.24		
50	1 - CC - 50	1147.5	628.6	1148.5	519.9	2.207	6.42	2.227	5.56
	2 - CC - 50	1141.8	635.4	1142.8	507.4	2.250	4.59		
	3 - CC - 50	1124.1	627.6	1125.1	497.5	2.259	4.20		
	4 - CC - 50	1126.9	622.2	1127.9	505.7	2.228	5.52		
	5 - CC - 50	1134.0	620.8	1135.0	514.2	2.205	6.49		
	6 - CC - 50	1123.0	616.8	1124.0	507.2	2.214	6.12		
75	1 - CC - 75	1134.9	623.3	1134.9	511.6	2.218	5.94	2.238	5.12
	2 - CC - 75	1123.9	621.3	1123.9	502.6	2.236	5.19		
	3 - CC - 75	1129.9	632.8	1129.9	497.1	2.273	3.63		
	4 - CC - 75	1137.2	627.4	1137.2	509.8	2.231	5.42		
	5 - CC - 75	1121.4	621.7	1121.4	499.7	2.244	4.85		
	6 - CC - 75	1132.0	623.0	1132.0	509.0	2.224	5.70		

Tabla 29: Gravedad específica "bulk" y porcentaje de vacíos de la planta 5.

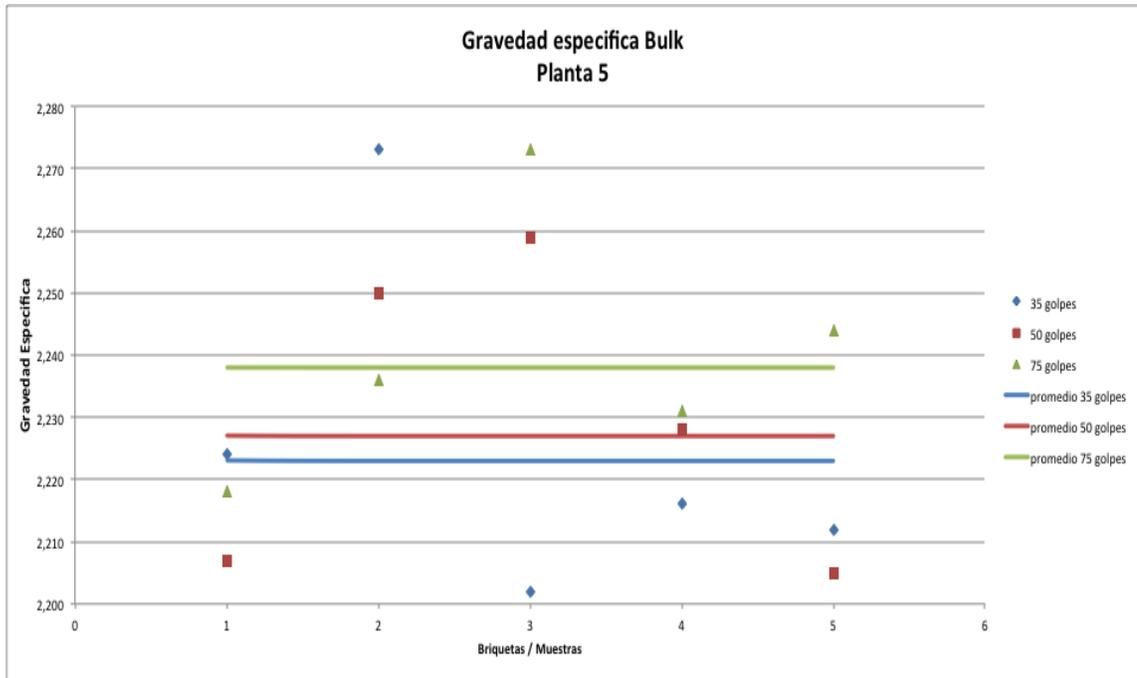


Fig. 36: Gravedad específica o densidades, planta 5.

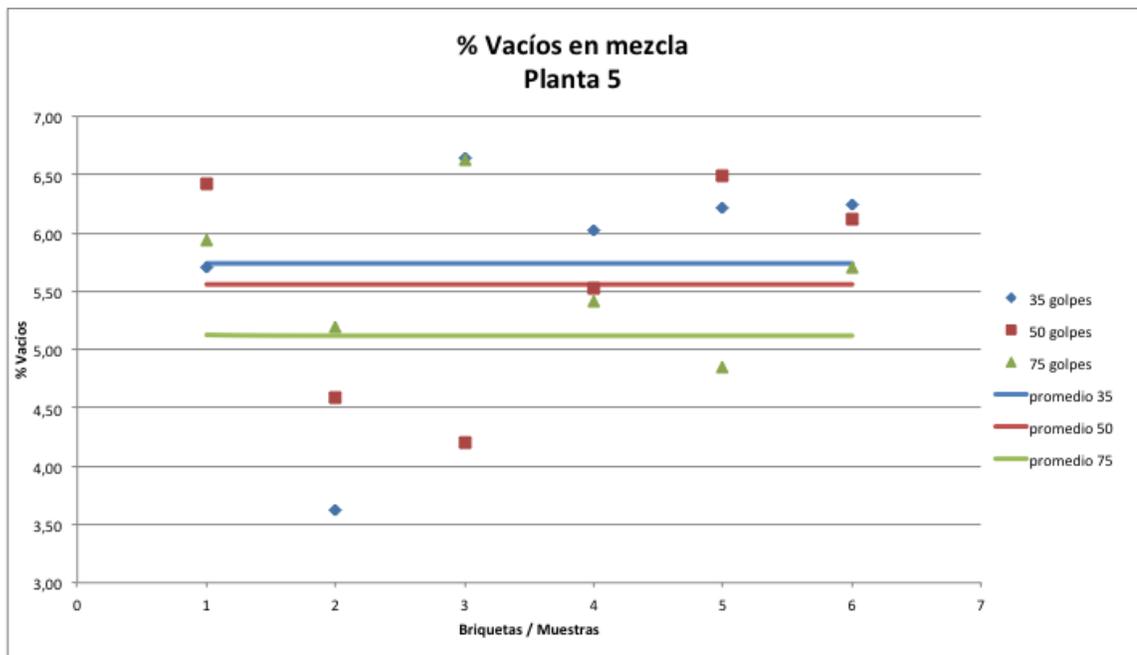


Fig. 37: Porcentaje de vacíos, planta 5.

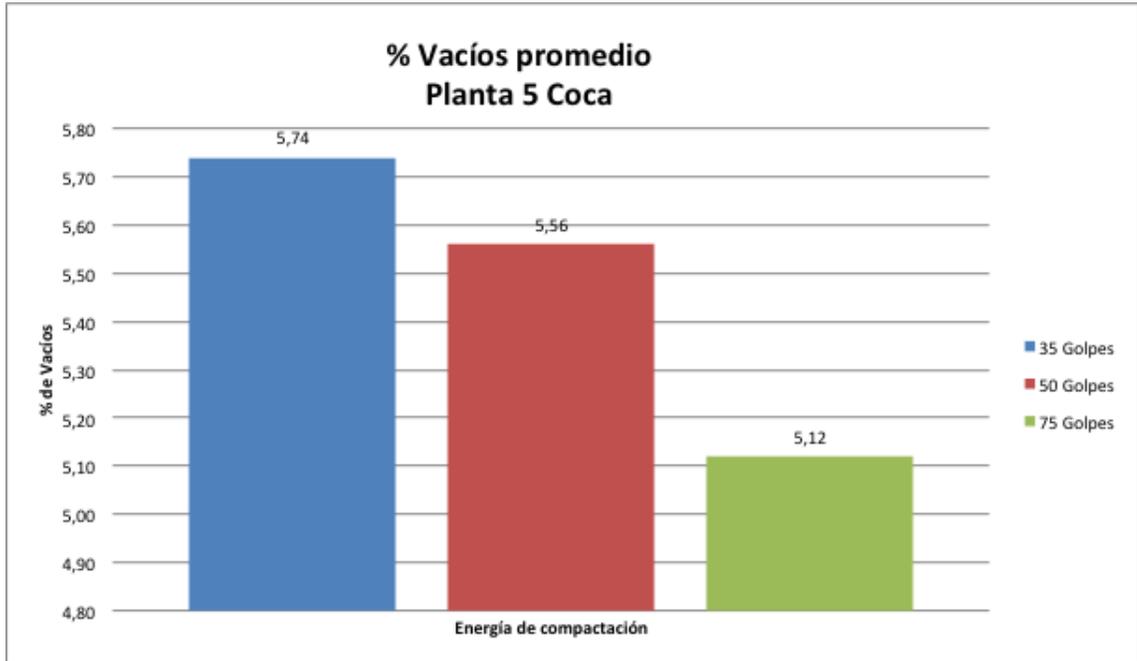


Fig. 38: Porcentaje de vacíos promedio, planta 5.

Pruebas de desempeño .

A continuación se presenta la tabla donde se catalogó las briquetas que van a hacer evaluadas mediante las pruebas dinámicas usando el NAT, se eligieron 2 muestras para la obtención de módulo de rigidez a 20°C luego a las mismas se le realizó compresión uniaxial cíclica (creep dinámico) a 40°C y 3 muestras más para obtención de módulos rigidez bajo carga controlada y ensayos de fatiga entre rangos de carga a 20°C.

PLANTA	MODULO DE RIGIDEZ (STIFFNESS - MICRON)		FATIGA (FATIGUE)			CREEP DINAMICO (DYNAMIC CREEP)	
MACAS (MC)	3 - MC - 35	4 - MC - 35	1 - MC - 35	2 - MC - 35	5 - MC - 35	3 - MC - 35	4 - MC - 35
	2 - MC - 50	3 - MC - 50	1 - MC - 50	4 - MC - 50	5 - MC - 50	2 - MC - 50	3 - MC - 50
	1 - MC - 75	2 - MC - 75	3 - MC - 75	4 - MC - 75	5 - MC - 75	1 - MC - 75	2 - MC - 75
YUTZUPUNGO - TENA (TE)	2 - TE - 35	6 - TE - 35	1 - TE - 35	4 - TE - 35	5 - TE - 35	2 - TE - 35	6 - TE - 35
	3 - TE - 50	4 - TE - 50	1 - TE - 50	2 - TE - 50	5 - TE - 50	3 - TE - 50	4 - TE - 50
	5 - TE - 75	6 - TE - 75	1 - TE - 75	2 - TE - 75	4 - TE - 75	5 - TE - 75	6 - TE - 75
PUYO (PU)	1 - PU - 35	2 - PU - 35	3 - PU - 35	4 - PU - 35	5 - PU - 35	1 - PU - 35	2 - PU - 35
	3 - PU - 50	4 - PU - 50	1 - PU - 50	2 - PU - 50	5 - PU - 50	3 - PU - 50	4 - PU - 50
	2 - PU - 75	4 - PU - 75	1 - PU - 75	3 - PU - 75	5 - PU - 75	2 - PU - 75	4 - PU - 75
MORONA SANTIAGO (MS)	1 - MS - 35	2 - MS - 35	3 - MS - 35	4 - MS - 35	5 - MS - 35	1 - MS - 35	2 - MS - 35
	1 - MS - 50	2 - MS - 50	3 - MS - 50	4 - MS - 50	5 - MS - 50	1 - MS - 50	2 - MS - 50
	1 - MS - 75	5 - MS - 75	2 - MS - 75	3 - MS - 75	4 - MS - 75	1 - MS - 75	5 - MS - 75
COCA - ORELLANA (CC)	2 - CC - 35	6 - CC - 35	1 - CC - 35	3 - CC - 35	5 - CC - 35	2 - CC - 35	6 - CC - 35
	1 - CC - 50	5 - CC - 50	2 - CC - 50	3 - CC - 50	6 - CC - 50	1 - CC - 50	5 - CC - 50
	1 - CC - 75	3 - CC - 75	2 - CC - 75	4 - CC - 75	5 - CC - 75	1 - CC - 75	3 - CC - 75

Tabla 30: Elección de las muestras, para pruebas de desempeño.

Módulo de Rigidez mediante deformación controlada.

Se presenta los resultados obtenidos para las muestras ensayadas 2 briquetas por cada energía de compactación por planta

PLANTA	No. MUESTRA	ENERGIA DE COMPACTACION GOLPES	BRIQUETA	MODULO DE RIGIDEZ (Mpa)
MACAS (MC)	1	35	3 - MC - 35	3048
	2	35	4 - MC - 35	3191
	1	50	2 - MC - 50	3016
	2	50	3 - MC - 50	3043
	1	75	1 - MC - 75	3198
	2	75	2 - MC - 75	3348
YUTZUPUNGO - TENA (TE)	1	35	2 - TE - 35	2607
	2	35	6 - TE - 35	2028
	1	50	3 - TE - 50	2942
	2	50	4 - TE - 50	2624
	1	75	5 - TE - 75	2043
	2	75	6 - TE - 75	2456
PUYO (PU)	1	35	1 - PU - 35	2198
	2	35	2 - PU - 35	2043
	1	50	3 - PU - 50	2114
	2	50	4 - PU - 50	2570
	1	75	2 - PU - 75	3103
	2	75	4 - PU - 75	2845
MORONA SANTIAGO (MS)	1	35	1 - MS - 35	2079
	2	35	2 - MS - 35	2688
	1	50	1 - MS - 50	3689
	2	50	2 - MS - 50	3477
	1	75	1 - MS - 75	3794
	2	75	5 - MS - 75	3201
COCA - ORELLANA (CC)	1	35	2 - CC - 35	1820
	2	35	6 - CC - 35	1940
	1	50	1 - CC - 50	2022
	2	50	5 - CC - 50	1746
	1	75	1 - CC - 75	1548
	2	75	3 - CC - 75	2198

Tabla 31: Módulos de rigidez, mediante deformación controlada, todas las plantas.

Módulo de rigidez promedio mediante deformación controlada, según variación de la energía de compactación.

Los resultados promedios de las pruebas realizadas a las 5 plantas, se muestran a continuación en la tablas 32, 33 y 34, y sus gráficas en las figuras 38, 39 y 40.

Planta	M1-35 (Mpa)	M2-35 (Mpa)	Promedio 35 (Mpa)
Planta 1	3048	3191	3120
Planta 2	2607	2028	2318
Planta 3	2198	2043	2121
Planta 4	2079	2688	2384
Planta 5	1820	1940	1880

Tabla 32: Módulos de rigidez, y promedio energía de compactación 35 golpes.

Planta	M1-50 (Mpa)	M2-50 (Mpa)	Promedio 50 (Mpa)
Planta 1	3016	3043	3030
Planta 2	2942	2624	2783
Planta 3	2114	2570	2342
Planta 4	3689	3477	3583
Planta 5	2022	1746	1884

Tabla 33: Módulos de rigidez, y promedio energía de compactación 50 golpes.

Planta	M1-75 (Mpa)	M2-75 (Mpa)	Promedio 75 (Mpa)
Planta 1	3198	3348	3273
Planta 2	2043	2456	2250
Planta 3	3103	2845	2974
Planta 4	3794	3201	3498
Planta 5	1548	2198	1873

Tabla 34: Módulos de rigidez, y promedio energía de compactación 75 golpes.

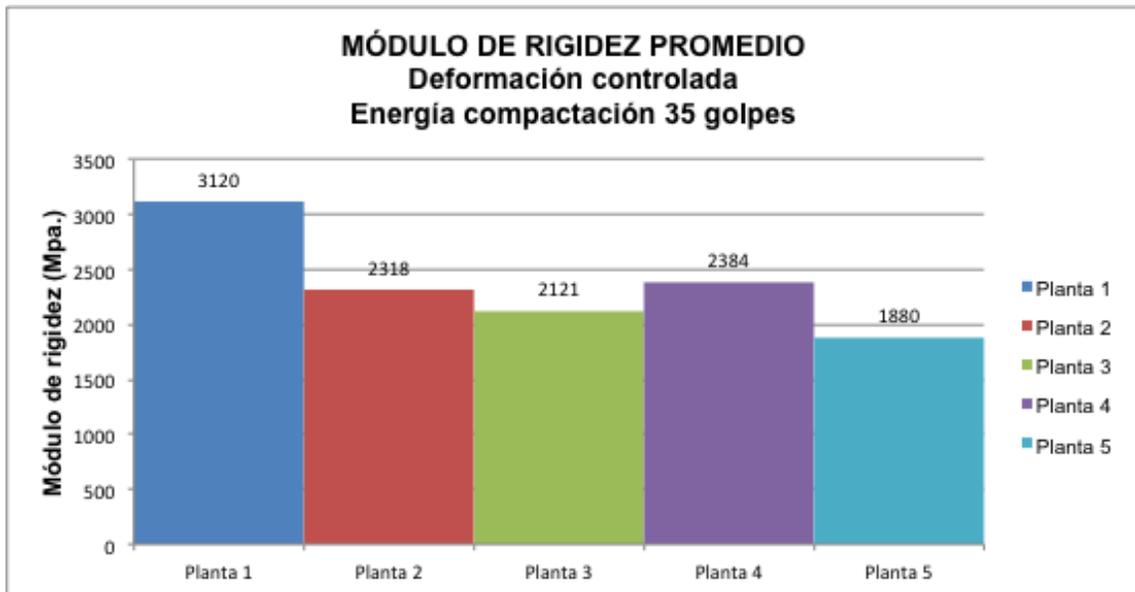


Fig. 39: Módulo de rigidez promedio, energía 35 golpes.

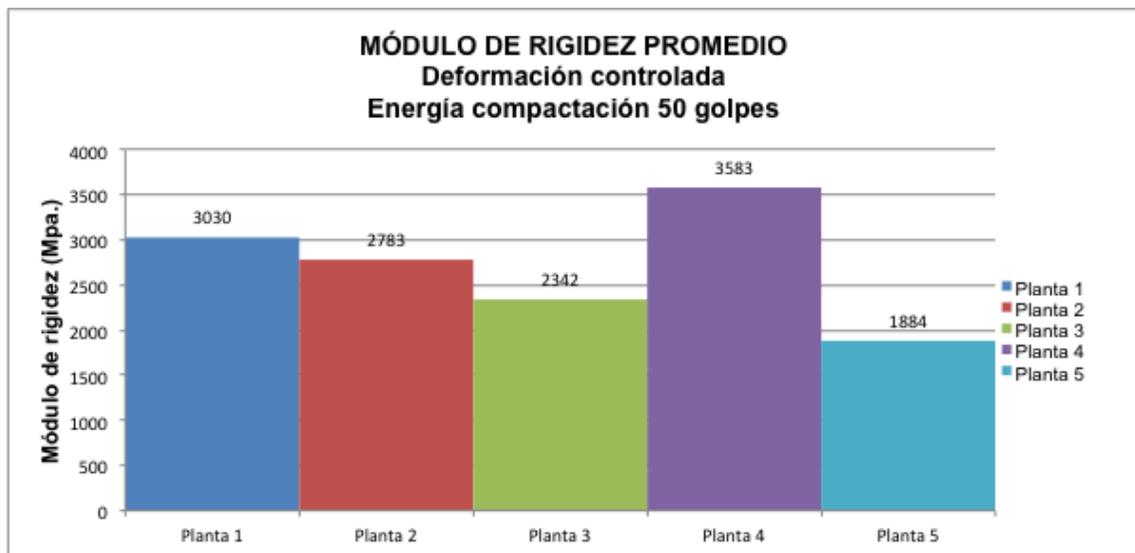


Fig.40: Módulo de rigidez promedio, energía 50 golpes.

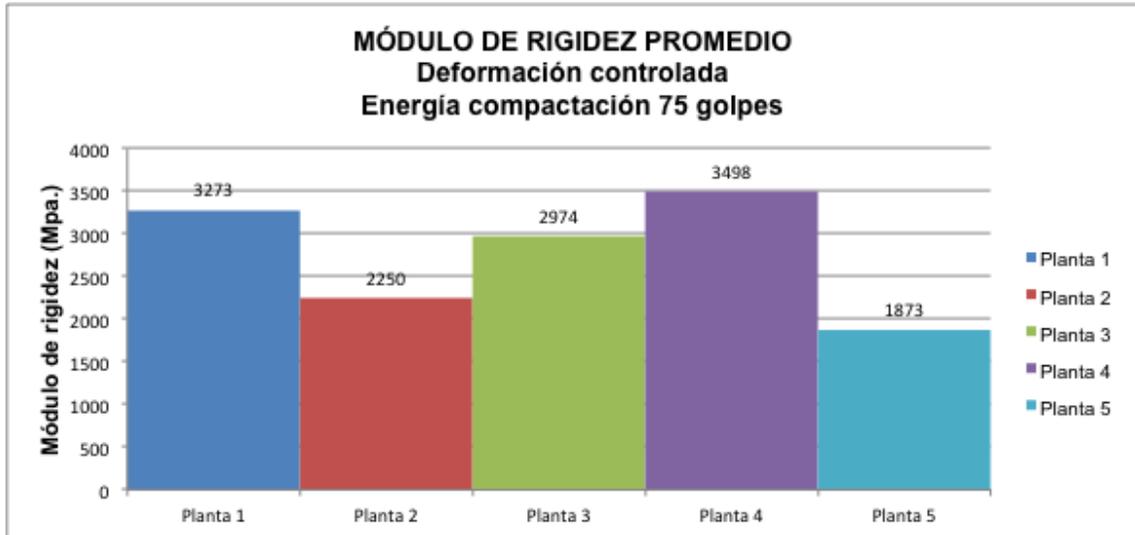


Fig.41: Módulo de rigidez promedio, energía 75 golpes.

Ensayo de Módulo de Rigidez, mediante carga controlada y Fatiga.

A continuación se presentan los resultados de las briquetas ensayas a diferentes rangos de carga.

Ensayo de Módulo de rigidez, mediante carga controlada y ensayo de fatiga de la planta 1.

La deformación unitaria por tracción inicial ϵ se encuentra calculado en :

$$\frac{mm}{mm} \times 10^{-6}$$

MÓDULO POR CARGA CONTROLADA Y FATIGA PLANTA: MACAS						
Energía de Compactación No. Golpes	MUESTRA No.	CARGA (Kpa) σ	MÓDULO (Mpa) M	No. REPETICIONES N	DEFORMACIÓN CALCULADA E	TEMPERATURA (°c) T
35 Golpes	5 - MC - 35	200	2944	14826	139	20º
	2 - MC - 35	300	2505	1618	246	20º
	1 - MC - 35	400	2071	530	396	20º
50 Golpes	5 - MC - 50	200	2171	14899	189	20º
	4 - MC - 50	300	2332	2866	264	20º
	1 - MC - 50	400	1502	250	546	20º
75 Golpes	5 - MC - 75	200	2897	26264	142	20º
	4 - MC - 75	300	2563	2729	240	20º
	3 - MC - 75	400	1819	696	451	20º

Tabla 35: Módulo bajo carga controlada y fatiga, planta 1.

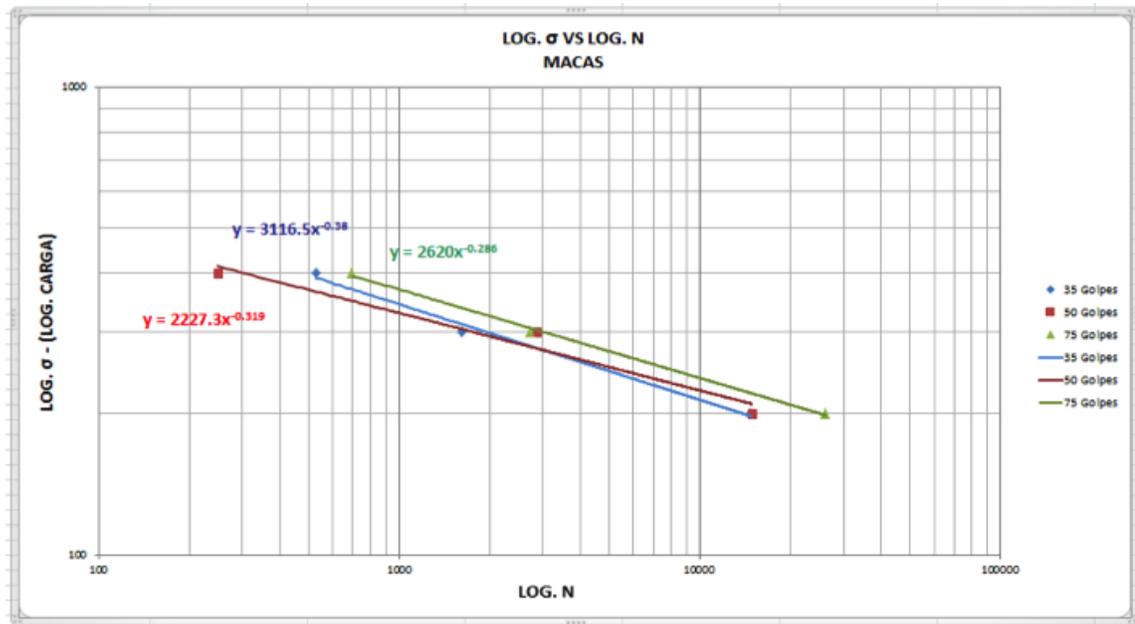


Fig. 42: Relación carga vs numero de repeticiones, Planta 1.

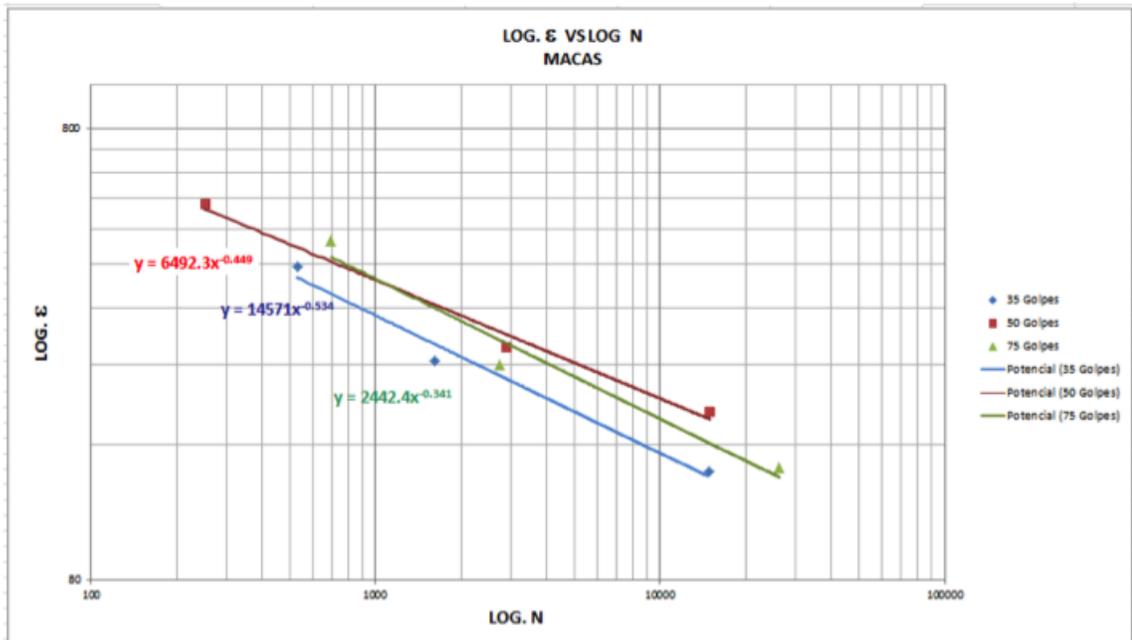


Fig.43: Relación deformación vs repeticiones, planta 1.

Ensayo de Módulo de rigidez, mediante carga controlada y ensayo de fatiga de la planta 2.

MÓDULO POR CARGA CONTROLADA Y FATIGA PLANTA: YUTZUPUNGO - TENA						
Energía de Compactación No. Golpes	MUESTRA No.	CARGA (Kpa) σ	MÓDULO (Mpa) M	No. REPETICIONES N	DEFORMACIÓN CALCULADA ϵ	TEMPERATURA (°c) T
35 Golpes	1-TE-25	400	971	328	844	20°
	4-TE-25	300	1319	1359	466	20°
	5-TE-25	200	1874	8039	219	20°
50 Golpes	1-TE-50	400	911	243	900	20°
	2-TE-50	300	1020	1027	603	20°
	5-TE-50	200	1793	20616	229	20°
75 Golpes	1-TE-75	400	812	297	1010	20°
	2-TE-75	300	1298	1507	474	20°
	4-TE-75	200	2171	24400	189	20°

Tabla 26: Módulo bajo carga controlada y fatiga, planta 2.

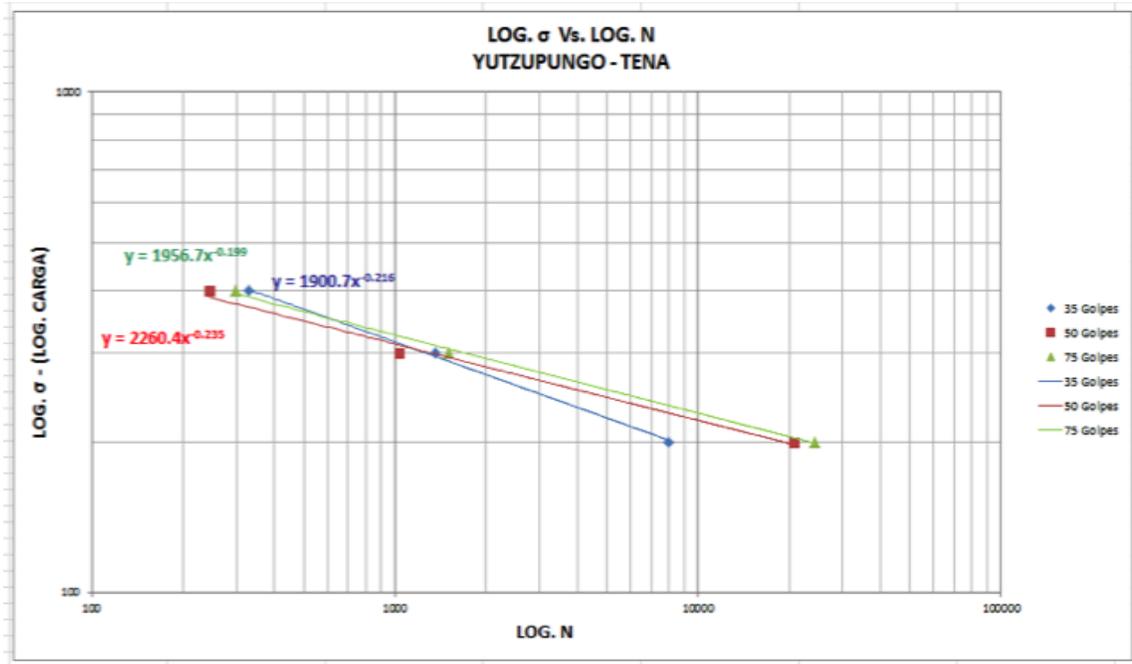


Fig. 44: Relación carga vs repeticiones, Planta 2.

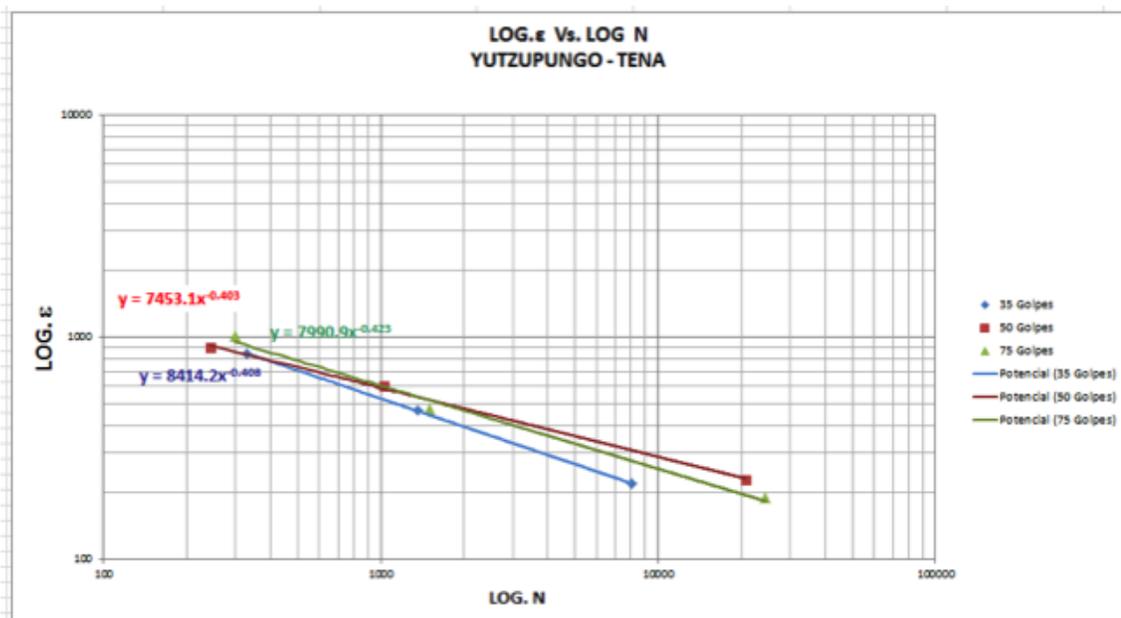


Fig. 45: Relación deformación vs repeticiones, planta 2.

Ensayo de Módulo de rigidez, mediante carga controlada y ensayo de fatiga de la planta 3.

MÓDULO POR CARGA CONTROLADA Y FATIGA PLANTA: PUYO						
Energía de Compactación No. Golpes	MUESTRA No.	CARGA (Kpa) σ	MÓDULO (Mpa) M	No. REPETICIONES N	DEFORMACIÓN CALCULADA ϵ	TEMPERATURA (°c) T
35 Golpes	3 - PU - 35	400	1504	323	545	20º
	4 - PU - 35	300	1557	1200	395	20º
	5 - PU - 35	200	1618	5036	253	20º
50 Golpes	1 - PU - 50	400	1534	400	535	20º
	2 - PU - 50	300	1894	1664	325	20º
	5 - PU - 50	200	2160	6268	190	20º
75 Golpes	1 - PU - 75	400	1970	832	416	20º
	3 - PU - 75	300	2502	2598	246	20º
	5 - PU - 75	200	3082	36481	133	20º

Tabla 37: Módulo bajo carga controlada y fatiga, planta 3.

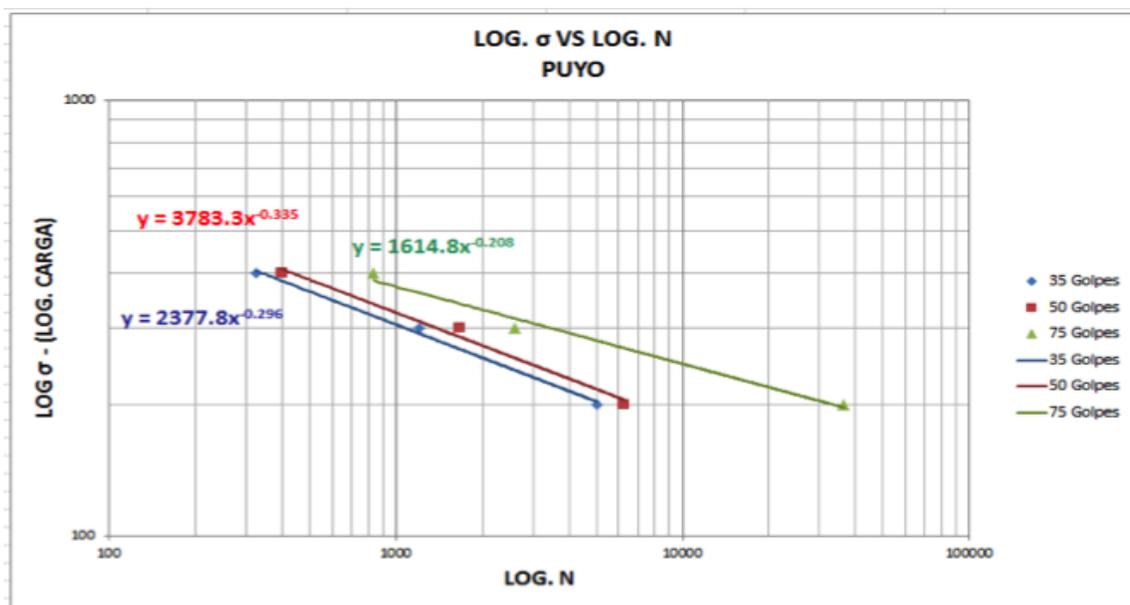


Fig. 46: Relación carga vs repeticiones, planta 3.

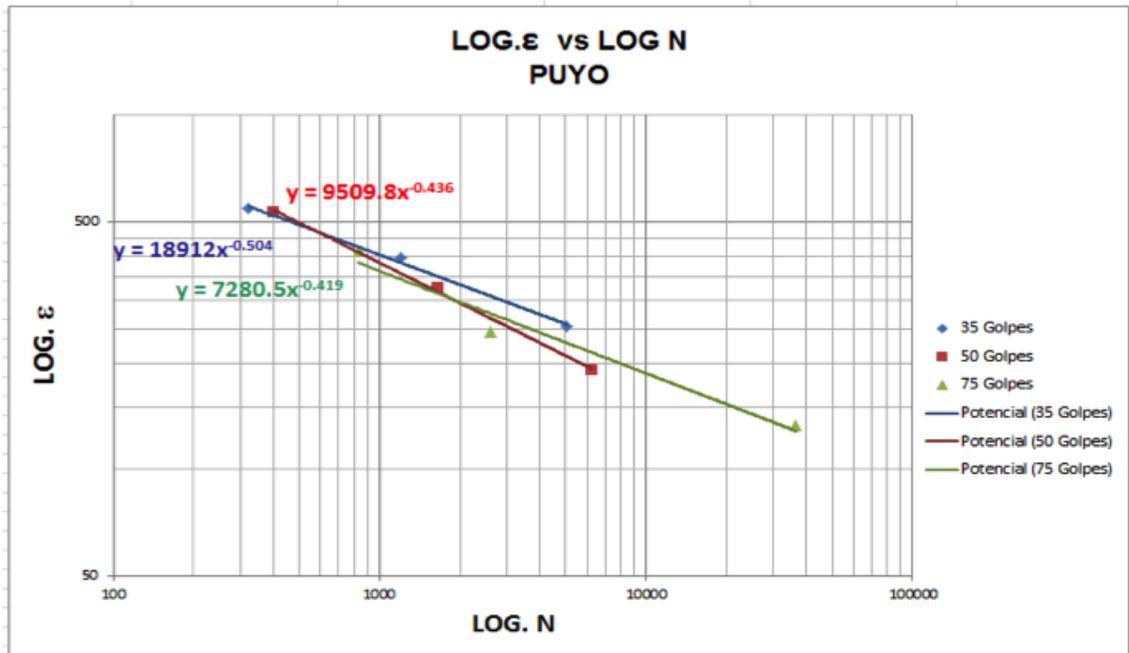


Fig. 47: Relación deformación vs repeticiones, planta 3.

Ensayo de Módulo de rigidez, mediante carga controlada y ensayo de fatiga de la planta 4.

MÓDULO POR CARGA CONTROLADA Y FATIGA						
PLANTA: MORONA SANTIAGO						
Energía de Compactación No. Golpes	MUESTRA No.	CARGA (Kpa) σ	MÓDULO (Mpa) M	No. REPETICIONES N	DEFORMACIÓN CALCULADA ϵ	TEMPERATURA (°C) T
35 Golpes	3 - MS - 35	400	2511	843	327	20º
	4 - MS - 35	300	2533	3275	243	20º
	5 - MS - 35	200	2511	5815	163	20º
50 Golpes	3 - MS - 50	400	3091	858	265	20º
	6 - MS - 50	250	3281	11864	156	20º
	5 - MS - 50	200	4481	23330	91	20º
75 Golpes	2 - MS - 75	400	2862	366	287	20º
	3 - MS - 75	300	2997	4390	205	20º
	4 - MS - 75	250	4316	32944	119	20º

Tabla 38: Módulo bajo carga controlada y fatiga, planta 4.

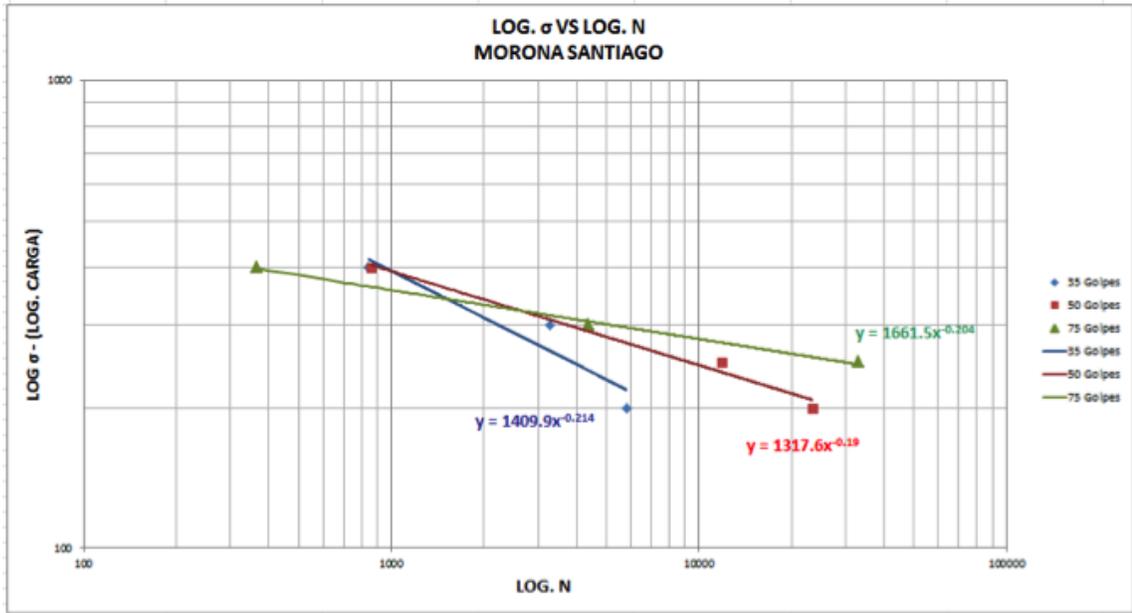


Fig. 48: Relación carga vs numero de repeticiones, planta 4.

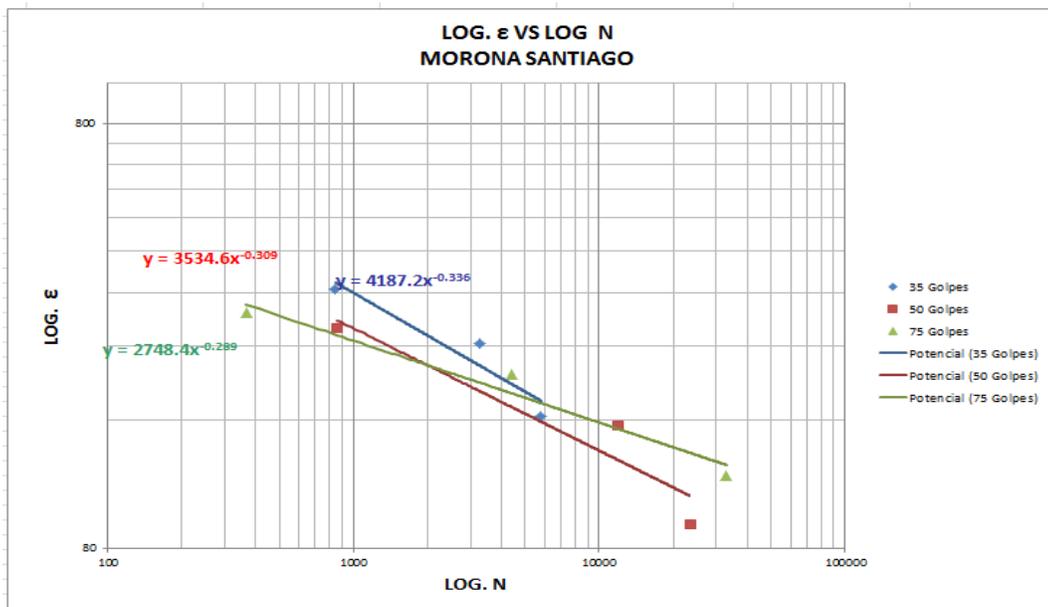


Fig. 49: Relación deformación vs repeticiones, planta 4.

Ensayo de Módulo de rigidez, mediante carga controlada y ensayo de fatiga de la planta 5.

MÓDULO POR CARGA CONTROLADA Y FATIGA PLANTA: COCA - ORELLANA						
Energía de Compactación No. Golpes	MUESTRA No.	CARGA (Kpa) σ	MÓDULO (Mpa) M	No. REPETICIONES N	DEFORMACIÓN CALCULADA ϵ	TEMPERATURA (°c) T
35 Golpes	6 - CC - 35	350	880	219	815	20°
	4 - CC - 35	200	1455	3596	282	20°
	5 - CC - 35	150	1219	5856	252	20°
50 Golpes	2 - CC - 50	300	1384	894	444	20°
	3 - CC - 50	200	1805	5761	227	20°
	6 - CC - 50	150	1539	8985	200	20°
75 Golpes	2 - CC - 75	300	817	255	753	20°
	5 - CC - 75	200	1592	4210	258	20°
	4 - CC - 75	100	1399	22846	147	20°

Tabla 39: Módulo bajo carga controlada y fatiga, planta 5.

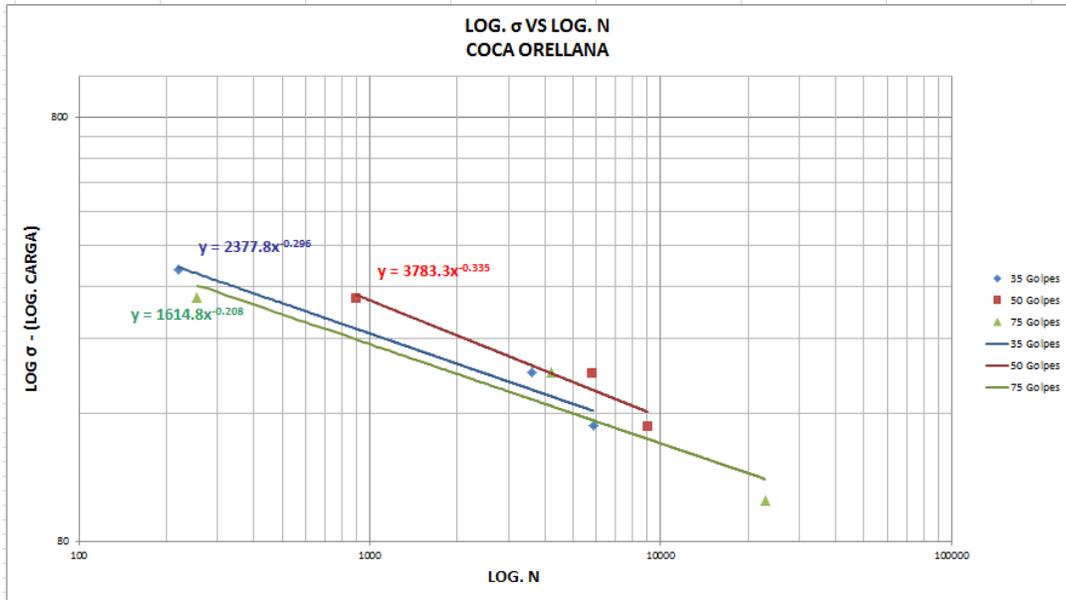


Fig. 50: Relación carga vs repeticiones, Planta 5.

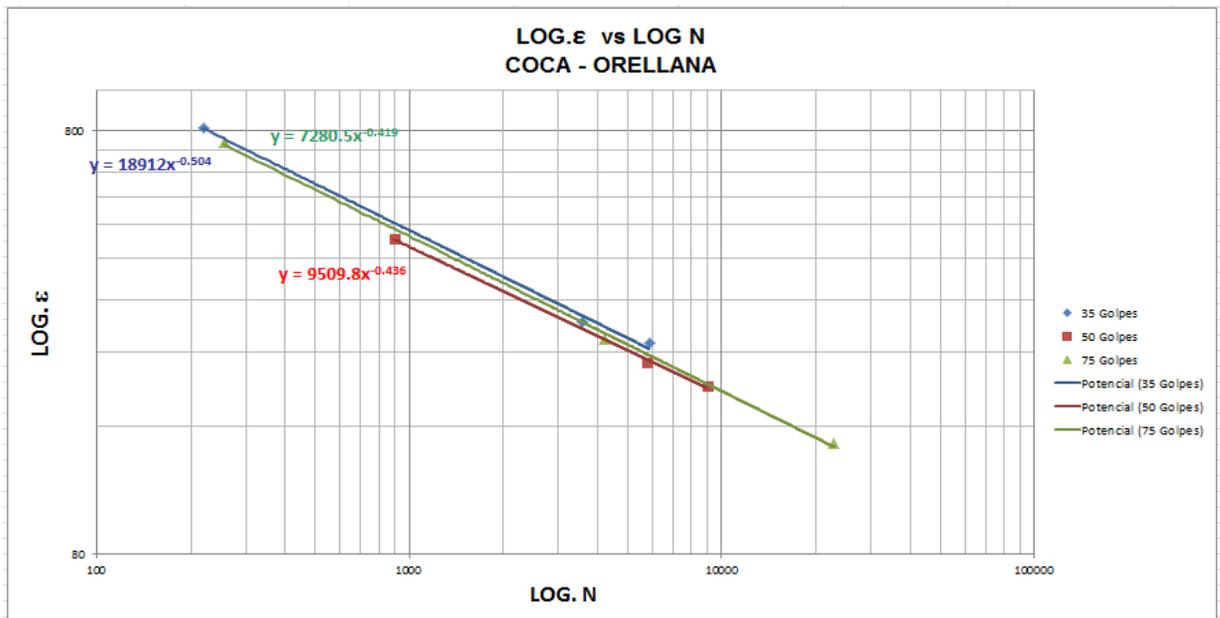


Fig. 51: Relación deformación vs repeticiones, planta 5.

Compresión Uniaxial Cíclica, deformación permanente(Creep Dinámico).

Los resultados de los ensayos realizados a las 5 plantas con las briquetas seleccionadas se muestran en la siguiente tabla.

Ensayo Creep Dinámico			
Porcentaje de deformación axial.			
	35	50	75
PLANTA 1 MACAS (MC)	1.78	1.48	1.16
PLANTA 2 YUTZUPUNGO - TENA (TE)	1.29	1.26	1.00
PLANTA 3 PUYO (PU)	1.42	1.19	1.09
PLANTA 4 MORONA SANTIAGO (MS)	2.07	1.85	1.55
PLANTA 5 COCA - ORELLANA (CC)	2.49	2.37	2.23
*Todos los valores representan Porcentaje de deformación axial.			

Tabla 40: Resultados del ensayo Creep Dinámico.

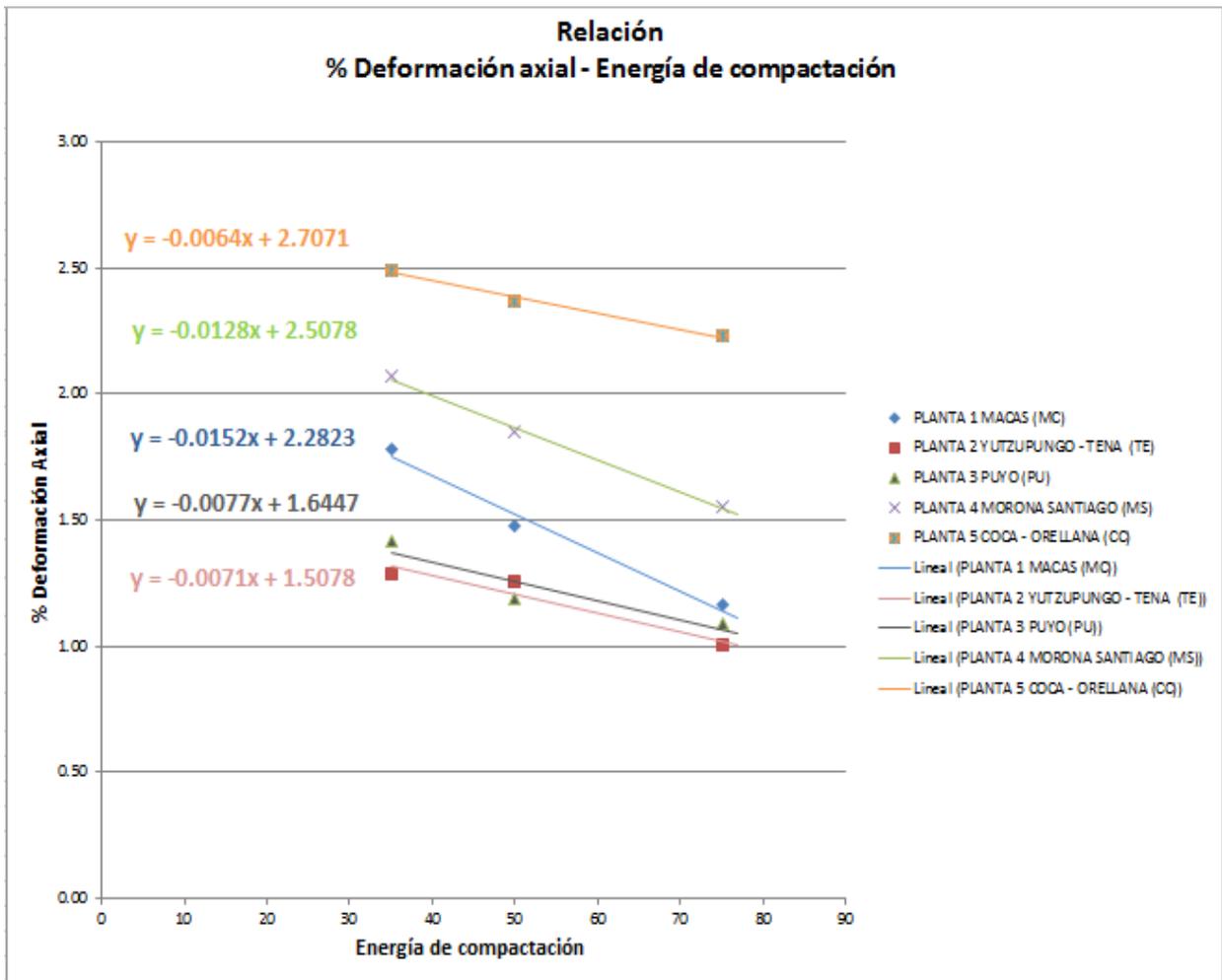


Fig.52: Grafica Relación % deformación axial vs energía compactación

CAPÍTULO 4 – ANÁLISIS RESULTADOS

- **Porcentaje de asfalto en las muestras.**

El resultado del porcentaje de asfalto está dentro los límites entre lo reportado por las plantas de asfalto y el calculado en los ensayos usando la centrífuga.

Por esta razón se consideran adecuados.

Granulometría en agregados extraídos.

Las curvas granulométricas cumplen con la especificaciones indicadas en la tabla 405-5.1 MTOP.

Densidad teórica máxima. Ensayo RICE.

Los resultados del Rice de la mezcla asfáltica dieron valores que se encuentran dentro del rango de 2.358 a 2,538, siendo la planta 3 (Puyo) el rice mas alto y la planta 5 (Coca) la más baja.

RICE	
Planta	VALORES
1 (MACAS)	2,463
2 (TENA)	2,525
3 (PUYO)	2,538
4 (MORONA)	2,427
5 (COCA)	2,358

Tabla 41: Rice plantas región Amazónica

Gravedad específica "Bulk" o Densidad.

El valor bulk o densidad aumenta a medida que existe mayor número de golpes, al tener mayor energía de compactación.

Se presenta la tabla con los valores de Bulk obtenidos en un cuadro comparativo donde se aprecian las 5 plantas estudiadas con la variación de la energía de compactación.

Gravedad específica "Bulk"			
Planta	Energía de Compactación		
	35	50	75
1 (MACAS)	2,304	2,349	2,362
2 (TENA)	2,361	2,402	2,417
3 (PUYO)	2,367	2,417	2,436
4 (MORONA)	2,272	2,322	2,330
5 (COCA)	2,223	2,227	2,238

Tabla 42: Resultados de los ensayos de gravedad específica "Bulk".

Porcentaje de Vacíos.

El porcentaje de vacíos disminuye cuando hay mayor energía de compactación.

Encontramos que a 75 golpes las muestras entran en un orden de 3 a 5% de porcentajes de vacíos que esta dentro de la norma.

Porcentaje de vacíos			
Planta	Energía de Compactación		
	35	50	75
1 (MACAS)	6,47%	4,64%	4,10%
2 (TENA)	6,50%	4,86%	4,30%
3 (PUYO)	6,73%	4,78%	4,02%
4 (MORONA)	6,39%	4,34%	3,99%
5 (COCA)	5,74%	5,56%	5,12%

Tabla 43: Porcentaje de vacíos promedios

Módulo de rigidez mediante deformación controlada.

El módulo de rigidez aumenta, a medida que la energía de compactación es mayor, por esta razón existe una relación entre el módulo de rigidez, la energía de compactación y el porcentaje de vacíos.

Módulo de rigidez Promedio			
Planta	Energía de Compactación		
	35	50	75
1 (MACAS)	3120	3030	3273
2 (TENA)	2318	2783	2250
3 (PUYO)	2121	2342	2974
4 (MORONA)	2383	3583	3498
5 (COCA)	1880	1884	1873

Tabla 44: Módulo de rigidez promedios, los valores son en (MPa).

En general se vió un aumento del módulo de rigidez en los valores de energía de compactación de 35 a 50 golpes, sin embargo en las plantas 2 y 5 al llegar a los 75 golpes (compactación normal) estas no tuvieron aumento en sus módulos, además un buen control en la elaboración y tendido de una mezcla no debe permitir valores de módulos menores a 3000 MPa, esas mezclas se consideran de un comportamiento variable y poco confiable en términos de desempeño

Relación Módulo rigidez promedio y porcentaje de vacíos							
Energía de compactación		35		50		75	
Planta.	Porcentajes	Modulo Rigidez Promedio (MPa)	% Vacíos	Modulo Rigidez Promedio (MPa)	% Vacíos	Modulo Rigidez Promedio (MPa)	% Vacíos
1 (Macas)		3120	6,47	3030	4,64	3273	4,10
2 (Tena)		2318	6,50	2783	4,86	2250	4,30
3 (Puyo)		2121	6,73	2342	4,78	2974	4,02
4 (Morona Santiago)		2383	6,39	3583	4,34	3498	3,99
5 (Coca)		1880	5,74	1884	5,56	1873	5,12

Tabla 45: tabla comparativa módulos promedios y %vacíos promedios

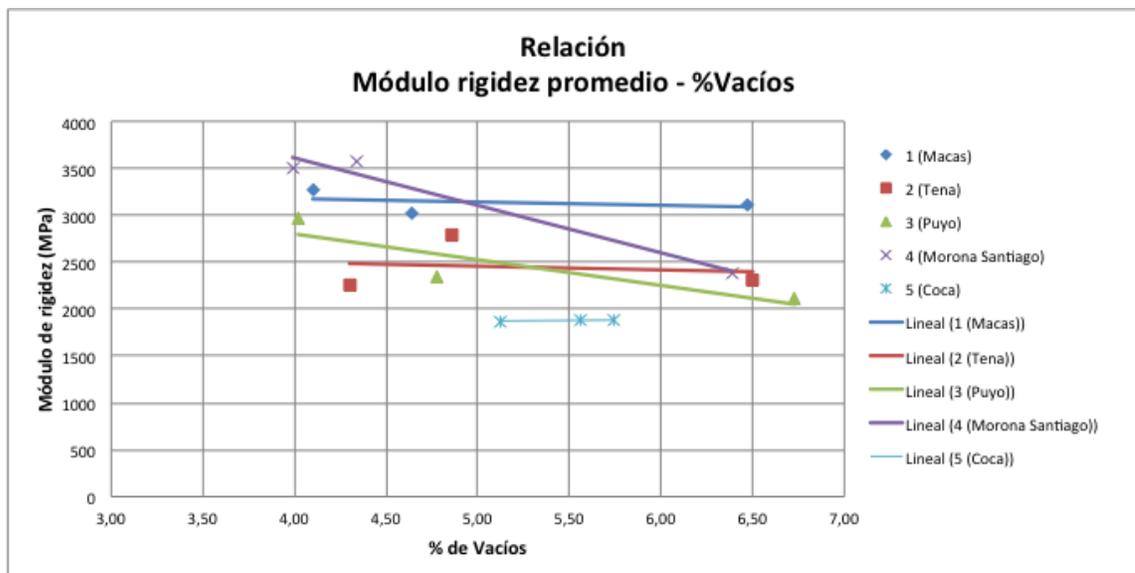


Fig. 53: Relación del módulo de rigidez y el porcentaje de vacíos.

Las mezclas de las plantas 1 y 4 a 50 y 75 golpes de compactación superan lo requerido, pueden ser colocadas en obras sin ningún problema.

Fatiga.

Las mezclas con mayor módulo rigidez bajo una carga aplicada, tienen mayor número de repeticiones para llegar al estado de falla o deformarse más de 5mm. La aplicación de cargas controladas menores da como resultado módulos altos los cuales sometidos bajo la misma carga responden a menos deformaciones y mayor número de repeticiones siendo las briquetas con la energía de compactación de 75 golpes las más rígidas para la deformación.

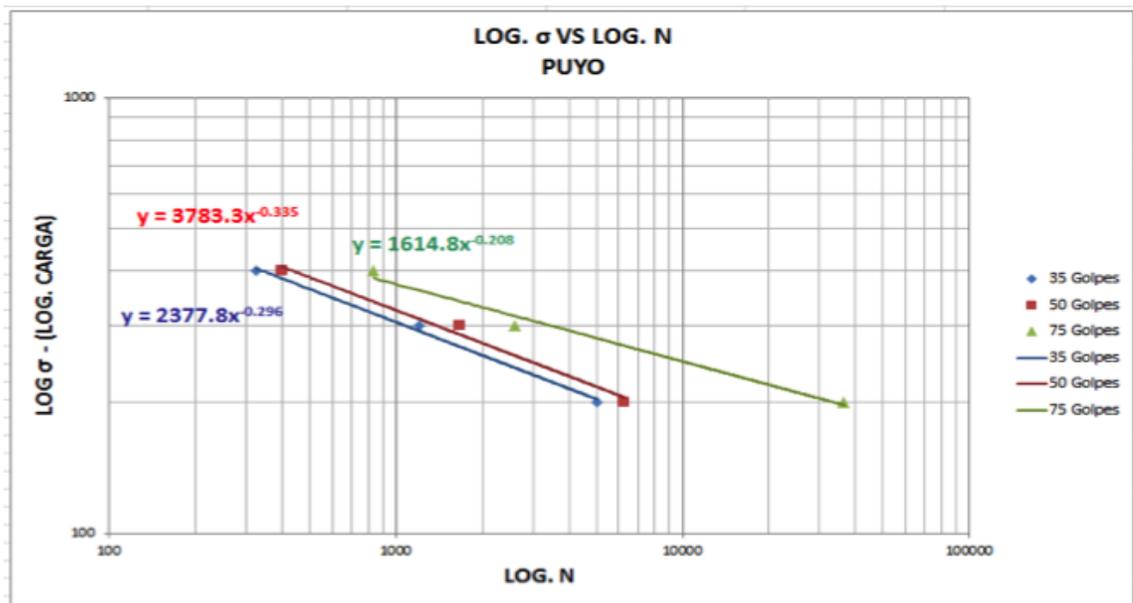


Fig. 54: Relación carga vs # de repeticiones la curva de 75 golpes esta ligeramente desplazada.

La curva de 75 golpes está desplazada a la derecha, una mezcla muy rígida no se deforma plásticamente pero si es propensa a agrietamientos o fisuras por las tensiones que alberga en sus capas.

Deformación permanente (Creep Dinámico).

Los ensayos usando compresión uniaxial cíclica no arrojaron resultados positivos ya que en un 40 % de las mezclas de la región amazónica estudiadas no cumplen a 50 ni 75 golpes los valores inferiores al 1% de deformación que es la tolerancia a las deformaciones plásticas, esto significa que la mezcla no va a tener un buen comportamiento luego de ser tendida y este prestando servicios al usuario.

Relación Porcentaje deformación axial y porcentaje de vacíos						
Energía de compactación	35		50		75	
Plantas	% Deformación axial	% Vacíos	% Deformación axial	% Vacíos	% Deformación axial	% Vacíos
PLANTA 1 MACAS (MC)	1.78	6.47	1.48	4.64	1.16	4.1
PLANTA 2 YUTZUPUNGO - TENA (TE)	1.29	6.50	1.26	4.86	1.00	4.30
PLANTA 3 PUYO (PU)	1.42	6.73	1.19	4.78	1.09	4.02
PLANTA 4 MORONA SANTIAGO (MS)	2.07	6.39	1.85	4.34	1.55	3.99
PLANTA 5 COCA - ORELLANA (CC)	2.49	6.17	2.37	5.56	2.23	4.96

Tabla 46: Porcentaje de deformación axial y porcentaje de vacíos.

Al revisar la tabla 46 podemos ver que la solo la planta 2 cumple con el valor tolerable de deformación mientras que la planta 1 y 3 están próximos, estando sus demás parámetros en orden como el porcentaje de vacíos que tiene un valor de 4,02% cumple de especificaciones de 3 a 5% vacíos en la mezcla.

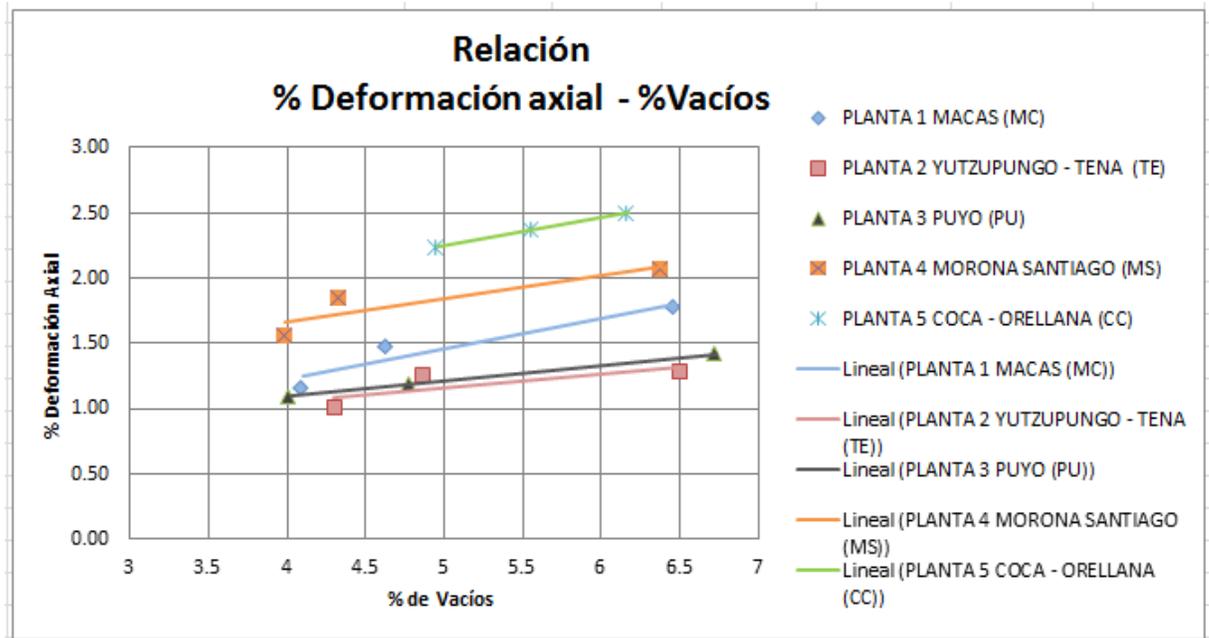


Fig. 55: Gráfico de porcentajes de deformación axial y vacíos.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES.

1. Las pruebas de desempeño nos permiten verificar la calidad y comportamiento de las mezclas asfálticas para capas de rodadura analizándolas desde el punto de vista esfuerzos deformaciones antes, durante y después de su proceso constructivo.
2. Las pruebas de desempeño junto con las pruebas convencionales más flujo y estabilidad Marshall, son una gran herramienta para el control del diseño y de la construcción permitiendo a todos los profesionales en el campo vial obtener claros parámetros de la calidad de mezcla asfáltica producida.
3. Cada día se analiza a nivel mundial miles de carreteros requiriendo pruebas mas exhaustivas a los materiales que conforman la estructura de un pavimento esto fomenta la investigación y el uso de equipos dinámicos como el NAT.
4. Con respecto a las mezclas de la región amazónica podemos informar que cumplen en varios de los parámetros volumétricos de las pruebas convencionales y están dentro de especificaciones, sin embargo a llegar a su desempeño fallan, se agrietan o se deforman.
5. Las mezclas asfálticas de la región amazónica ensayadas fueron hechas con agregados aluviales triturados, su porcentaje de absorción de asfalto es muy bajo, ya que sus diseños de mezcla usan entre 5,5 al 6,4% de asfalto comprobado mediante el ensayo de extracción de asfalto, a diferencia de otros agregados de cantera que consumen más.

6. Las muestras que llegaron a su falla en los ensayos de fatiga tuvieron menor porcentaje de asfalto, mientras que las que alcanzaron su máxima deformación permitida (5mm) tuvieron mayor porcentaje y pasaron las 20 mil repeticiones bajo cargas de rangos menores.
7. Solo 2 mezclas asfálticas obtuvieron módulos de rigidez por encima de los 3000 MPa las mismas que luego al ser sometidas a compresión uniaxial cíclica (creep dinámico) su deformación axial fue menor a 1% según la norma.
8. Según las exigencias viales de hoy en día debe hacerse obligatorio el control de obra con pruebas de desempeño a las mezclas producidas por las empresas públicas y privadas.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda seguir con la investigación en la región amazónica de las mezclas producidas obteniendo más números de briquetas para tener un análisis correcto.
2. A mayor de números de briquetas las curvas a graficar deberán tener un mejor comportamiento y obtener una caracterización correcta.
3. Se recomienda relacionar las otras investigaciones realizadas en las demás regiones del país para obtener modelos para caracterizar las mezclas y poder presumir sus comportamientos de acuerdo a sus particularidades.
4. Se recomienda el control de la temperatura al momento de realizar pruebas de desempeño ya que su comportamiento está ligado a la misma.
5. Se recomienda incluir junto con las pruebas convencionales los ensayos de fatiga para poder controlar mejor la producción de mezcla en el país.

BIBLIOGRAFÍA

- American Association of State Highway and Transportation Officials: AASHTO Guide for the Design of Pavement Structures. U.S.A., 1993.
- Committee European of Normalization – CEN 12697. Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalts – Part 26: Stiffness. Annex C. 2000.
- Committee European of Normalization – CEN 12697. Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalts – Part 25: Cyclic compression test. Part A. 2000.
- Cooper Research Technology Limited. NU-10 & NU- 5. Operation & Maintenance Manual. United Kingdom, 2002.
- Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. Especificaciones Técnicas para la Construcción de Carreteras y Puentes. MOPT-001-F, Quito - Ecuador, 2002.
- Rondón, H.A.; Reyes, F.A.; González; L.A.; Vázquez S. E. *Ahuellamiento y fatiga en mezclas asfálticas*. Bogotá – Colombia: Editorial UD. Primera Edición. 2012.
- Normas de Ensayos de Materiales para Carreteras. Tomo III. Materiales y mezclas asfálticas. Instituto Nacional de Vías. 1998. Bogotá. Colombia.
- ASEFMA. IV Jornada Nacional. Madrid. 2009.
- Asphalt Institute. Mix design methods for asphalt concrete. MS-2. Sixth Edition. 2002.
- E.R.Brown, P.S.Kandhal. Performance testing for hot mix asphalt. Auburn University. NCAT Report 01-05. 2001.
- H. Yang. *Pavement analysis and systems*. Mc Graw-Hill. 1995.
- Tesis Morocho 2014
- Tesis Parrales 2013