

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**USO DEL DEFLECTOMETRO DE IMPACTO LIVIANO
(LWD), PARA LA APLICACIÓN DEL RETROCALCULO EN
CARRETERAS NO ASFALTADAS, CASO PRÁCTICO:
PROYECTO REGIONAL CUZCO**

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

DANIEL GUSTAVO QUIÑONEZ PERALTA

Lima- Perú

2015

Digitalizado por:

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mi madre y mi padre, por ser mí guía y ejemplo de vida, pero sobre todo por enseñarme a ser hacer las cosas bien, por su apoyo incondicional a mi pareja.

AGRADECIMIENTOS

En especial a Dios por darme salud y permitirme cumplir mis objetivos.

A la Empresa CONCAR S.A. por permitirme participar como miembro del mismo en donde encontré un equipo sólido de Ingenieros. Finalmente deseo agradecer a mi asesor de tesis, el Ing. Manuel Correa Morocho, el cual ha colaborado con su amplia experiencia para la culminación de esta investigación.

	Pág.
RESUMEN	6
LISTA DE TABLAS	8
LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	12
INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO I: PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE LOS MATERIALES GRANULARES	16
1.1 PROPIEDADES FÍSICO DE LOS SUELOS	16
1.1.1 Clasificación de suelos	17
1.1.2 Análisis granulométrico de suelos	18
1.1.3 Límites de consistencia	18
1.1.3.1 <i>Límites de atterberg</i>	19
1.1.4 Densidad Natural	20
1.1.5 Contenido de Humedad	20
1.2 PROPIEDADES MECÁNICAS	21
1.2.1 Proctor Modificado	21
1.2.2 Módulo de Resiliencia	26
1.2.2.1 <i>Concepto de Resiliencia</i>	22
1.2.2.2 <i>Ensayo del Módulo Resiliente</i>	22
1.2.3 Influencia de la subrasante materiales granulares	24
1.2.4 Módulo de Poisson (μ)	25
1.2.5 Módulo Elasticidad (E)	25
1.2.5.1 <i>Ensayo de compresión triaxial cíclico</i>	26
1.2.5.2 <i>Ensayo CBR</i>	27
1.2.5.3 <i>Correlaciones empíricas entre el módulo elástico y el Ensayo de Penetración Estándar (SPT).</i>	29
CAPÍTULO II : TEORÍA ELÁSTICA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES	30
2.1 INTRODUCCIÓN	30
2.2 TEORÍA ELÁSTICA LINEAL	34
2.2.1 Teoría De Boussinesq y Burmister	36
2.2.1.1 <i>Ecuaciones de Boussinesq – Sistema Monocapa Carga Puntual</i>	36

2.2.1.2	Modelo de Burmister (Sistema Multicapa)	41
2.2.1.3	Métodos de espesores equivalentes	45
CAPÍTULO III: DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO LIVIANO (LWD)		47
3.1	EQUIPO A USAR	47
3.1.1	Introducción del deflectómetro de impacto liviano LWD	47
3.2	DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO LIVIANO	48
3.3	DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO	50
3.3.1	Equipamiento opcional	50
3.4	PREPARACIÓN DEL LWD PARA SU USO	50
3.4.1	Peso de caída adicional	53
3.4.1.1	Configuración de la gota peso 15kg	53
3.4.1.2	Configuración de la gota peso 20kg	53
3.4.2	El volumen de capturas	54
3.4.2.1	Para liberar el peso	54
3.4.3	El sistema de doble placa	54
3.4.4	Centro y sede del geófono	56
3.4.5	Geófonos adicionales	56
3.5	FUNCIONAMIENTO	58
3.5.1	Principales características del funcionamiento	60
3.6	OPERACIÓN DEL DEFLECTÓMETRO	60
3.6.1	Puesta a punto	61
3.6.2	Actividades de campo	63
3.7	FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA TOMA DE DATOS	64
3.7.1	Espesores de las capas granulares	65
3.7.2	Condición del Pavimento	65
3.7.3	Factores ambientales	65
3.7.4	Carga y altura aplicada en la medición	66
3.7.5	Estabilización del plato de carga	66
3.8	RECOMENDACIONES EN LA TOMA DE DATOS	67
3.8.1	Localización y frecuencia de muestreo	68
3.8.2	Frecuencia de las evaluaciones del pavimento	69
3.8.3	Frecuencia de la medición longitudinal en campo	69
3.8.3.1	Para pruebas a nivel de red	69
3.8.3.2	Para pruebas a nivel proyecto	70

3.8.3.3	Para pruebas detalladas o investigación	71
3.9	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL LWD	72
3.10	CALIBRACIÓN	73
CAPÍTULO IV: TEORÍA DE RETROCÁLCULO		74
4.1	ANTECEDENTES	74
4.2	TEORÍA DE RETROCÁLCULO EN PAVIMENTOS FLEXIBLES	75
4.2.1	Filosofía del Retrocálculo	76
4.3	DEFLECTOMETRÍA	77
4.3.1	Generalidades	77
4.3.2	Cuenco de deflexión	78
4.3.3	Retroanálisis de deflexiones	78
4.3.3.1	Método de retroanálisis propuesto por AASTHO	79
4.5	CARACTERÍSTICAS DEL SOFTWARE LWDmod	81
4.5.1	Algoritmo de cálculo del módulo elástico con el "LWD"	82
CAPÍTULO V : APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO PLANTEADA EN EL PROYECTO		83
5.1	ANTECEDENTES	83
5.2	GENERALIDADES DEL PROYECTO	84
5.2.1	Ubicación del Proyecto	84
5.3	METODOLOGÍA DE TRABAJO	86
5.3.1	Operación y Funcionamiento	87
5.3.2	Metodología de medición en campo	87
5.3.3	Metodología de retro-cálculo por medio del software LWDmod	90
CAPÍTULO VI : MEDICIONES CON EL LWD		93
6.1	CONFIGURACIONES DEL LWD - TRAMO DE PRUEBA	93
6.1.1	Tensiones a aplicar	93
6.2	ANÁLISIS DE LAS CONFIGURACIONES UTILIZADAS EN EL TRAMO DE PRUEBA	99
6.3	PESO Y ALTURA A UTILIZAR	102
6.4	MEDICIONES CON EL LWD	103
6.4.1	Proyecto Red vial 1: Tramo 14 – Yanaoca – Yauri	104
6.4.2	Proyecto Red vial 1: Tramo 3 – Dv Yanaoca – Yanaoca	108

CAPÍTULO VII : PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	110
7.1 INFORMACIÓN DE CAMPO	110
7.2 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DE CAMPO	112
7.2.1 Preparación de los datos para el análisis	112
7.2.2 Proceso de interpretación de la información de campo como condición de entrada al programa LWDmod	113
7.2.2.1 <i>Parámetros a introducir como condición</i>	115
7.3 RESULTADO DEL PROCESO DE ANÁLISIS	118
7.3.1 Resultados de campo	118
7.3.1.1 <i>Tramo 14: Yanaoca – Yauri</i>	118
7.3.1.2 <i>Tramo 3: Dv Yanaoca – Yanaoca</i>	119
7.3.2 Resultados de la evaluación	120
7.3.2.1 <i>Tramo 14: Yanaoca – Yauri (Análisis No Lineal)</i>	120
7.3.2.2 <i>Tramo 3: Dv Yanaoca – Yanaoca (Análisis No Lineal)</i>	123
7.3.2.3 <i>Tramo 3: Dv Yanaoca – Yanaoca (Análisis Lineal)</i>	126
7.3.3 Análisis de los resultados	128
7.3.3.1 <i>Tramo 14: Yanaoca – Yauri (Análisis No Lineal)</i>	128
7.3.3.2 <i>Tramo 3: Dv Yanaoca – Yanaoca (Análisis No Lineal)</i>	130
7.3.3.3 <i>Tramo 3: Dv Yanaoca – Yanaoca (Análisis Lineal)</i>	133
 CAPÍTULO VIII: CORRELACIONES CON OTROS EQUIPOS DE DEFLECTOMETRIA	 134
8.1 ENSAYO DEL LWD	134
8.2 ENSAYO DEL HWD	135
8.2.1 Realización del ensayo HWD	136
8.3 CORRELACIÓN	137
8.3.1 Medidas de correlación	137
8.3.1.1 <i>Coefficiente de correlación r^2</i>	137
8.4 CORRELACIÓN ENTRE EL EQUIPO LWD Y EL HWD	138
8.4.1 Antecedentes de estudios anteriores de correlación	138
8.4.2 Correlación del módulo resiliente compuesto del tramo Dv Yanaoca – Yanaoca	139
8.4.3 Resultados obtenidos de la Correlación	143
8.4.3.1 <i>Correlación obtenida para el sensor N° 1</i>	143
8.4.3.2 <i>Correlación obtenida para el sensor N° 2</i>	147
8.4.3.3 <i>Correlación obtenida para el sensor N° 3</i>	151

CAPÍTULO IX: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	157
9.1 CONCLUSIONES	157
9.2 RECOMENDACIONES	164

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

RESUMEN

La presente investigación se ha dado origen en el proyecto de "Redes Viales Regionales Integrando el Cuzco", está ubicada en el departamento del Cuzco y consta de 641.00 kilómetros posee una estructura de pavimento, que está constituida por una capa superficial de slarry y Monocapa de 1 cm, una base granular de 16 cm, razón por la cual se tienen muchos sectores de base granular para realizar tramos de prueba, en la sub-rasante se realizaran trabajos de transitabilidad de la vía escarificando el material antiguo.

El retro-cálculo es un proceso, para determinar el módulo de las capas de un material por medio de la medición de deflexiones superficiales del pavimento, tomadas en campo por un equipo deflectométrico.

En la rama de la Ingeniería Vial, comúnmente se usan los ensayos con equipos deflectométricos, para la evaluación de la capacidad de soporte del pavimento, en el Perú los equipos más utilizados son la Viga Benkelman, que es un ensayo de carga estática, el Deflectómetro de Impacto (FWD), que es uno de los más utilizados a nivel mundial dado su carácter dinámico de la carga de ensayo, sin embargo en estas últimas décadas a nivel internacional se está utilizando un equipo de bajo costo llamado Deflectómetro de Impacto Liviano (LWD), en comparación con otros métodos en el que se usan instrumentos y equipos bastante caros, que no están al alcance de los ingenieros y empresas pequeñas por lo que la mayoría de veces este tipo de trabajos se les encarga a empresas de gran capacidad económica por contar con instrumentos y equipo necesarios.

La investigación presenta el uso y operación del equipo Deflectómetro de Impacto Liviano (LWD), para la aplicación del retro-cálculo, la puesta a punto y actividades de campo, factores que intervienen en la toma de datos, localización y frecuencia de muestreo así como especificaciones técnicas del equipo son consideradas en la parte teórica de la presente tesis.

La teoría utilizada en la obtención de los datos de campo, está basada en la teoría elástica, cuya solución fue planteada por Boussinesq y luego ampliada por Burmister, adicionalmente se tienen otras teorías similares como el método de espesores equivalentes desarrollado por Odemark.

En la actualidad se presentan varios métodos para realizar el retro-análisis en pavimentos; la tesis está enfocada en pavimentos no asfaltados a nivel de materiales no ligados y se utilizara el método de retro-análisis automatizado por medio del software de análisis LWDmod de Dynatest el cual está basado en el reconocido programa Elmod utilizado con el equipo FWD.

De acuerdo a las revisiones bibliográficas y experiencia, el software de recopilación de datos, instalado en el computador de mano (PDA), arroja el resultado en tiempo real de las deflexiones y el módulo de superficie compuesto, así como el grafico de evolución temporal del sensor y de la celda de carga. Los parámetros de entrada como la relación de Poisson y el factor de distribución de tensiones pueden ser definidos por el operador, según los demás métodos como AASTHO poseen una simplificación con respecto al módulo Poisson utilizando un valor de $\nu=0.5$, el cual representa a un suelo fino, en los tramos a medir al tener capas con material granular le corresponde otro módulo de Poisson de $\nu=0.35$ el cual se considera como un valor razonable para materiales granulares. Algunos estudios sugieren 0,50, que por lo general refleja las normas más antiguas en vez de un valor correcto. Asimismo esta diferencia llevó a comparar en campo los módulos resilientes compuestos con ambos valores, verificando, que no tienen diferencias significativas, para este tipo de material granular colocado.

El retro-análisis se realizó usando el Software LWDmod (Desarrollado en Dinamarca por Dynatest), el cual utiliza el sistema multicapa de odemark para el retro-cálculo, la ventaja de este programa es, que retroanaliza los módulos de la capa incluyendo la subrazante con la opción de un análisis lineal y no lineal, confirma el espesor de las capas y calcula el espesor de recapado necesario para asegurar, que los diseños cumplan con las especificaciones, así también ofrece características avanzadas para la organización de datos, análisis y presentación de informes.

Finalmente se muestran los resultados de los módulos elásticos retroanalizados de la capa analizada para la configuración evaluada, así como los resultados de correlación entre el deflectómetro de impacto y el deflectómetro liviano, en la cual se observó, que los geófonos más alejados del centro del plato de carga poseen valores muy similares.

LISTA DE TABLAS

Tabla N°1.1: Clasificación de Suelos Fuente: US Army Corps of Engineers...	17
Tabla N°1.2: Clasificación del material según el tamaño.....	18
Tabla N°2.1: Materiales de base y sub base, Fuente: Ing. Sanchez Sabogal.	34
Tabla N°3.1: Especificaciones Técnicas LWD.....	72
Tabla N°4.1: Métodos de retro-cálculo con microcomputadoras.....	75
Tabla N°4.2: Representación de la filosofía de Retrocálculo.....	76
Tabla N°5.1: Cuadro de Sectores.....	85
Tabla N°5.2: Cuadro de Sectores abocados a la Investigación.....	86
Tabla N°6.1: Estructuras utilizadas en la configuración con el LWD.....	93
Tabla N°6.2: Tramo de Configuración de prueba con el LWD.....	93
Tabla N°6.3: Deflexiones y Módulos para un peso de 20kg.....	94
Tabla N°6.4: Deflexiones y Módulos para un peso de 15kg.....	97
Tabla N°6.5: Deflexiones y Módulos para una presión de 140 kpa.....	100
Tabla N°6.6: Deflexiones y Módulos para una presión de 100kpa.....	101
Tabla N°6.7: Configuración a utilizar con el LWD.....	102
Tabla N°6.8: Mediciones realizadas	103
Tabla N°6.9: Configuración del LWD utilizada para la Base Granular.....	105
Tabla N°6.10: Valores de módulo Compuesto de la Base Granular	106
Tabla N°6.11: Configuración del LWD utilizada para la Base Granular	108
Tabla N°6.12: Valores de módulo Compuesto de la Base Granular.....	108
Tabla N°7.1: Valores de módulos Elásticos	115
Tabla N°7.2: Valores de módulo LD y LI.....	129
Tabla N°7.3: Valores de módulo de Sub- Rasante.....	129
Tabla N°7.4: Valores de Deflexión para los 3 sensores.....	130
Tabla N°7.5: Valores de Módulo Resiliente Compuesto para los 3 sensores	131
Tabla N°7.6: Valores de módulo LD y LI.....	131
Tabla N°7.7: Valores de módulo de Sub-Rasante.....	132
Tabla N°7.8: Valores de módulo LD y LI	133
Tabla N°8.1: Características del equipo – HWD.....	136
Tabla N°8.2: Valores del MrLWD y MrHWD para el sensor 1.....	144
Tabla N°8.3: Valores del MrLWD y MrHWD para el sensor 2.....	148
Tabla N°8.4: Valores del MrLWD y MrHWD para el sensor 3.....	152
Tabla N°8.5: Correlación del LWD y HWD, tramo Dv Yanaoca – Yanaoca...	156

LISTA DE FIGURAS

Figura N°1.1:	Grafica de los estados de consistencia.....	19
Figura N°1.2:	Grafica de la curva de compactación Proctor.....	21
Figura N°1.3:	Presión de confinamiento y deformación acumulada.....	24
Figura N°1.4:	Grafica del esfuerzo – Deformación.....	24
Figura N°1.5:	Grafica Método de SHELL.....	25
Figura N°1.6:	Matriz de esfuerzo – Deformación.....	26
Figura N°1.7:	Ensayo de compresión triaxial ASTM D 4767.....	26
Figura N°1.8:	Ensayo CBR	28
Figura N°2.1:	Performance – Estructural Funcional.....	30
Figura N°2.2:	Cuerpo cilíndrico – Carga Estática.....	31
Figura N°2.3:	Carga – Tensión – Deformación Unitaria.....	32
Figura N°2.4:	Ecuación matricial de la ley de Hooke.....	33
Figura N°2.5:	Ecuaciones deducidas de ley de Hooke	33
Figura N°2.6:	Espacio tridimensional de los esfuerzos y deformaciones.....	33
Figura N°2.7:	Notación en coordenadas polares de Bousinessq.....	37
Figura N°2.8:	Modelo multicapa de burminster en pavimentos flexibles.....	42
Figura N°2.9:	Esquema de aplicación de carga.....	43
Figura N°2.10:	Curva de influencia de esfuerzos verticales transmitidos en un Sistema de dos capas elásticas (Burmister).....	43
Figura N°2.11:	Gráfica de obtención de F2.....	44
Figura N°2.12:	Sistema de Capas.....	45
Figura N°2.13:	Método de Odemark o de espesores equivalentes.....	46
Figura N°3.1:	Deflectómetro de impacto liviano.....	48
Figura N°3.2:	Partes del deflectómetro de impacto liviano.....	49
Figura N°3.3:	Cojines negros y grises.....	51
Figura N°3.4:	Cojines grises y negros.....	52
Figura N°3.5:	Cojines grises.....	52
Figura N°3.6:	Simulación de la liberación del peso.....	54
Figura N°3.7:	Sistema dual de placas 300 mm y 150 mm.....	55
Figura N°3.8:	Ajuste del geófono central “Centro de Palanca”.....	56
Figura N°3.9:	Conectores adicionales D2 y D3.....	57
Figura N°3.10:	Cinta nylon de la barra de extensión.....	57
Figura N°3.11:	Barra de extensión con la posición de los geófonos.....	57

Figura N°3.12: Funcionamiento del LWD.....	58
Figura N°3.13: Diagrama del flujo de la puesta a punto del equipo LWD.....	62
Figura N°3.14: Flujo del trabajo de campo con el equipo LWD.....	63
Figura N°3.15: Puntos de localización para un carril.....	68
Figura N°3.16: Puntos de localización para dos carriles.....	68
Figura N°3.17: Frecuencia de medición a nivel de red para un carril.....	69
Figura N°3.18: Frecuencia de medición a nivel de red para dos carriles	70
Figura N°3.19: Frecuencia de medición a nivel de proyecto para un carril.....	70
Figura N°3.20: Frecuencia de medición a nivel de proyecto para dos carriles...	71
Figura N°3.21: Frecuencia de medición a nivel de investigación para un carril..	71
Figura N°3.22: Frecuencia de medición a nivel de investigación para dos Carriles.....	72
Figura N°4.1: Deformación y deflexión Fuente: INVIAS, 2008.....	77
Figura N°4.2: Esquema del bulbo de presiones y cuenco de deflexiones.....	78
Figura N°4.3: Características del cuenco de deflexión.....	78
Figura N°4.4: Esquema de medición con el Deflectómetro de Impacto.....	79
Figura N°4.5: Algoritmo del método de retroanálisis propuesto AASHTO.....	81
Figura N°5.1: Plano de Ubicación y Ruta del Proyecto.....	84
Figura N°5.2: Metodología de trabajo.....	86
Figura N°5.3: Deflectómetro Liviano de Impacto (LWD, Dynatest).....	87
Figura N°5.4: Esquema de medición con el LWD en campo.....	88
Figura N°6.1: Configuración de comparaciones del LWD.....	95
Figura N°6.2: Deflexión Normalizada para diferentes tensiones.....	96
Figura N°6.3: Grafico del módulo Resiliente para las distintas tensiones.....	96
Figura N°6.4: Configuración de comparaciones del LWD.....	98
Figura N°6.5: Deflexión Normalizada para diferentes tensiones.....	99
Figura N°6.6: Grafico del módulo Resiliente para las distintas tensiones.....	99
Figura N°6.7: Diferencia absoluta para diferentes presiones con un mismo.	102
Figura N°6.8: Detalle de la estructura del Pavimento.....	104
Figura N°6.9: Estructura del Pavimento.....	105
Figura N°7.1: Personal de trabajo.....	110
Figura N°7.2: Base de datos generada en campo.....	113
Figura N°7.3: Datos a utilizar para la iteración.....	114
Figura N°7.4: Resultados obtenidos luego de la iteración.....	117
Figura N°7.5: Cuadro Resumen del Retroanálisis.....	117

Figura N°7.6: Deflexión Central Total del Tramo14.....	118
Figura N°7.7: Módulo resiliente Compuesto del Tramo 14.....	118
Figura N°7.8: Deflexión Central Total del Tramo 3.....	119
Figura N°7.9: Módulo resiliente Compuesto del Tramo 3.....	119
Figura N°7.10: Módulo resiliente de la base granular L.D - Tramo 14.....	120
Figura N°7.11: Módulo resiliente de la base granular L.I - Tramo 14.....	120
Figura N°7.12: Comparación del módulo resiliente del L.D. e L.I.....	121
Figura N°7.13: Grafica del módulo de la Sub rasante – Tramo14.....	121
Figura N°7.14: Módulo de la base Granular y la Sub rasante – Tramo14.....	122
Figura N°7.15: Grafica del Numero Estructural de la capa BG - Tramo 14.....	122
Figura N°7.16: Módulo resiliente de la base granular L.D – Tramo 3.....	123
Figura N°7.17: Módulo resiliente de la base granular L.I. Tramo 3.....	123
Figura N°7.18: Comparación del módulo resiliente del lado L.D. e L.I.....	124
Figura N°7.19: Módulo de la Sub Rasante Elástica No Lineal –Tramo 3.....	124
Figura N°7.20: Módulo de base Granular y la Sub Rasante – Tramo 3.....	125
Figura N°7.21: Grafica del Numero Estructural de la capa BG - Tramo 3.....	125
Figura N°7.22: Análisis Lineal Módulo de la base granular L.D – Tramo 3.....	126
Figura N°7.23: Análisis Lineal Módulo de la base granular L.I – Tramo 3.....	126
Figura N°7.24: Comparación del módulo resiliente del lado L.D. e L.I.....	127
Figura N°7.25: Grafica del Módulo de la Sub Rasante Lineal – Tramo 3.....	127
Figura N°8.1: Vista del distanciamiento de los sensores en el LWD.....	134
Figura N°8.2: Vista del distanciamiento de los sensores en el HWD.....	135
Figura N°8.3: Esquema del equipo – HWD y el cuenco de deflexiones.....	135
Figura N°8.4: Deflectómetro de Impacto Dynatest.....	136
Figura N°8.5: Exactitud y precisión Fuente: Wikipedia.....	142
Figura N°8.6: Ensayos de correlación sensor N°1.....	147
Figura N°8.7: Ensayos de correlación sensor N°2.....	151
Figura N°8.8: Ensayos de correlación sensor N°3.....	155

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

AASHTO	AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS
ASTM	AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
IMT	INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE
CBR	CALIFORNIA BEARING RATIO
LWD	LIGHT WEIGHT DEFLECTOMETER
FWD	FALLING WEIGHT DEFLECTOMETER
MRCc	MÓDULO RESILIENTE COMPUESTO DE CAMPO
MTC	MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES.
NCHRP	NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM
SHRP	STRATEGIC HIGHWAY RESEARCH PROGRAM
OSITRAN	ORGANISMO SUPERVISOR DE LA INVERSIÓN EN INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE
PROVIAS	ORGANISMO DEL MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
\varnothing	DIÁMETRO
σ	ESFUERZO DEBIDO A LA PRESENCIA DE UNA FUERZA
ϵ	DEFORMACIÓN UNITARIA
μ	MÓDULO DE POISSON
a	RADIO DE LA PLACA DEL ENSAYO
C	MÓDULO DE LA SUB RASANTE PARA FINES DEL RETRO-CÁLCULO
D	ESPESOR TOTAL DEL PAVIMENTO

d	DEFLEXIÓN
E	MÓDULO ELASTICO
Ep	MÓDULO ELASTICO COMPUESTO DEL PAVIMENTO
Mr	MÓDULO RESILIENTE
MPa	MEGAPASCAL
Um	MICRONES
P	CARGA
PSI	POUND PER SQUARE INCH
q	PRESIÓN
r	DISTANCIA ENTRE EL CENTRO DE LA PLACA DE CARGA DEL DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO LIVIANO Y UN GEOFONO
z	PROFUNDIDAD

INTRODUCCIÓN

Este trabajo surge como una inquietud referente al valor del módulo resiliente hallado por un procedimiento de retro-análisis, correspondiente a la capa de suelo de fundación existente llamado Sub-rasante, o colocada mediante un proceso constructivo (Subbase granular; Base Granular), basado en las mediciones no destructivas de deflexiones y módulos resilientes compuestos, ya que la rehabilitación y mantenimiento de los pavimentos en las carreteras, inciden mucho en la economía de nuestro país por el gran valor, que tiene estos tanto en el estudio para la conformación del expediente técnico como para los trabajos de ejecución de obras, en ese contexto de aminorar costos se sigue investigando sobre las formas de evaluación tanto funcional como estructural de un pavimento, en ese sentido la presente tesis centra su atención al tratar de determinar in-situ los módulos resiliente, de las capas, que conforman un pavimento y por consiguiente el valor estructural de ellas mismas, mediante el uso y operación del equipo llamado Deflectómetro de Impacto Liviano (LWD).

La presente investigación tiene como objetivo aplicar la metodología del retrocálculo en un proyecto real y dar a conocer el proceso y uso del equipo. Así como evaluar y analizar si son adecuados en trabajos de control y evaluación estructural de las capas granulares, que conforman un pavimento empleando la medición de deflexiones y módulos Resilientes compuestos in-situ, con el equipo Deflectómetro de Impacto Liviano (LWD), mediante su implementación en un determinado proyecto en ejecución.

En los primeros capítulos mostramos conceptos teóricos de las propiedades físico – mecánicas de los materiales granulares y la introducción de la teoría elástica de pavimentos, conceptos de teoría de Boussinesq y Burmister.

La descripción del equipo, la preparación para su uso, funcionamiento y operación, recomendaciones en la toma de datos, especificaciones técnicas, así como el concepto de la teoría de retro-cálculo, antecedentes y uso del método retro-análisis utilizando el software (LWDmod), son considerados en los siguientes capítulos.

En los posteriores capítulos se abordó los temas de aplicación de una metodología de trabajo con el equipo "LWD", planteada en el proyecto, la cual está dividido en 3 partes la primera está relacionada con el uso, operación y funcionamiento del equipo, la segunda gira en torno al desarrollo de un trabajo de campo mediante la ejecución de los ensayos y la tercera es una metodología de retro-análisis para encontrar los módulos asociados a la capa evaluada.

Se realizaron las configuraciones del equipo en 2.3, kilómetros del tramo 9, en campo con el deflectómetro de impacto liviano, para poder definir, que configuración de tensiones se debe utilizar en las mediciones de prueba. Definida la configuración se realizaron las mediciones en 6.5, kilómetros del tramo 3, la cual sirvieron para el análisis y correlación con el equipo llamado Deflectómetro de Impacto (HWD), en el tramo 14, se realizaron las mediciones en 17 kilómetros, con la configuración previamente establecida. Todos los tramos corresponden al Proyecto Red Vial 1, ubicada en la Provincia de Cuzco, Distrito Yanaoca - Livitaca, Perú, de una carretera en ejecución de bajo volumen de tránsito. Al finalizar las mediciones se obtuvo una base de datos de campo, con información referente a la capacidad estructural del total de las capas granulares, que conforman el pavimento.

En los últimos capítulos se presenta la descripción de la información relevada en campo así como el procesamiento de dicha información donde se detalla la preparación de los datos para el análisis y se define los datos de entrada para el retro-análisis, posteriormente se presentan los resultados del proceso de análisis, resultados de campo y del retro-análisis mediante gráficas, luego se presenta un análisis de los resultados de los tramos evaluados así como el cálculo del coeficiente estructural y Numero estructural de la estructura analizada.

Finalmente los datos recopilados sirvieron para correlacionar datos del uso del deflectómetro de impacto liviano (LWD), y el deflectómetro de impacto (HWD), con respecto al módulo resiliente compuesto hallado en campo del pavimento obtenido de una evaluación estructural realizado en cada punto de ensayo con la finalidad de obtener una nueva cantidad de datos, que sirva como base para generar una fórmula o ecuación de tendencia por el método de regresión, que mejor se ajuste.

CAPÍTULO I

PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DE LOS MATERIALES GRANULARES

Las propiedades físico – mecánicas son las características utilizadas para la selección de los materiales, especificaciones de construcción y el control de calidad.

En este capítulo describiremos los procedimientos de trabajo en los laboratorios en base a las normas del MTC y ASTM, que se utilizaron para obtener las propiedades físicas y mecánicas de los materiales granulares utilizados para la base-granular en determinados tramos de la presente investigación en el Anexo1, se muestra los resultados correspondientes a los tramos de medición.

1.1 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS SUELOS.

Las propiedades físicas se mantienen invariables aunque se sometan a tratamientos tales como homogenización, compactación etc. Sin embargo ambas propiedades cambian cuando se realicen en ellos procedimientos de estabilización, a través de procesos de mezclas con otros materiales (Cemento, Cal, Puzolana, etc.) o mezclas con químicos.

Para conocer las propiedades de los materiales granulares de un proyecto es necesario tomar muestras en todo el desarrollo del mismo (Calicatas), posteriormente en laboratorio se determinarán sus propiedades:

- Granulometría
- Límites de Atterberg (Líquido e índice plástico)
- Valor de soporte (CBR)
- Densidad de Proctor
- Humedad

Con los datos obtenidos de los ensayos se elabora un perfil estratigráfico en el cual se detallan los distintos tipos de suelos y su profundidad.

Para el reconocimiento de las características de los suelos es necesario definir previamente los ensayos físicos y mecánicos.

1.1.1 Clasificación de suelos

El comportamiento de los suelos es complejo debido a la naturaleza granular y a la coexistencia de partículas sólidas con fluido intersticial, que generalmente está compuesto por más de un fluido (agua, contaminantes orgánicos e inorgánicos, gases como: aire o metano, etc.), es por ello, que la clasificación de suelos representa mejor las propiedades físicas – Mecánicas, que tienen los suelos. Determinadas las características de los suelos, se podrá estimar con suficiente aproximación el comportamiento de los suelos, especialmente con el conocimiento de la granulometría, plasticidad e índice de grupo; para su posterior clasificación.

En las últimas décadas se han desarrollado varios métodos para la clasificación de suelos. Resaltando en esta ocasión la clasificación de AASTHO (American Association Of State Highway And Transportation Officials), y el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). La clasificación de los suelos se efectúa bajo el sistema mostrado en la Tabla N°1.1. La cual presenta una correlación de los dos sistemas de clasificación más difundidos, AASHTO y ASTM (SUCS). Esta clasificación permite predecir el comportamiento aproximado de los suelos.

Tabla N°1.1 Clasificación de Suelos Fuente: US Army Corps of Engineers

Clasificación General	Usos	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN	
		AASHTO M-145	UNIFICADO (SUCS) ASTM -D-2487
Muy Pobre	Sub Rasante	A-5, A-6, A-7	OH,CH,MH,OL
Pobre a regular	Sub Rasante	A-4, A-5, A-6, A-7	OH,CH,MH,OL
Regular	Sub – Base	A-2, A-4, A-6, A-7	OL,CL,ML,SC,SM,SP
Bueno	Base, Sub – Base	A-1B, A-2-5, A-2-6	GM,GC,SW,SM,SP,GP
Excelente	Base	A-1a, A-2-4, A-3	GW,GM

Estos métodos de clasificación se basan en las Normas M-145 y ASTM D-2487.

1.1.2 Análisis granulométrico de suelos

El análisis granulométrico del suelo es la división del suelo en diferentes fracciones, seleccionadas por el tamaño de sus partículas componentes; las partículas de cada fracción se caracterizan por que su tamaño se encuentra comprendido entre un valor máximo y un valor mínimo, en forma correlativa para las distintas fracciones, de tal modo, que el máximo de una fracción es el mínimo de la que le sigue correlativamente. La separación de cada fracción se hace sencillamente por mallas, cuando es posible el cribado, pero en suelos de grano fino se realiza por un proceso de sedimentación. En la Tabla N°1.2 se presenta la clasificación del material según su tamaño.

Tabla N°1.2 Clasificación del material según el tamaño.

Material	Tamaño
Gravas	Entre la Malla N° 4 (4.76 mm) y 3"
Arenas	Entre la Malla N° 4 (4.76 mm) y N° 200 (0.0074 mm)
Finos (Limos y Arcilla)	Menor que la Malla N° 200 (0.074 mm)

Este método operativo se basa en las Normas ASTM D 422 y MTC E107-2000.

1.1.3 Límites de Consistencia:

El suelo de grano fino puede existir en uno de los varios estados, que dependen del contenido de agua de cada tipo de suelo. Cuando se añade agua a un suelo seco, cada partícula se recubre con una película de agua. Si la adición de agua continua, el espesor de la película de agua en el suelo aumenta permitiendo, que las partículas de suelo puedan deslizarse más fácilmente unas sobre otras. Si se continúa la adición de agua hasta un punto en que se combina el suelo y el agua, fluiría como un líquido. De esta manera el suelo ha pasado desde el estado sólido por varias etapas definidas: sólido, semiplástico, plástico, líquido viscoso y suspensión en líquido.

El método, que se considera más adecuado para fines de ingeniería es conocido como método de Atterberg, y el contenido de agua, que corresponde a los estados de consistencia se denomina límites de Atterberg.

1.1.3.1 Límites de atterberg

El suelo de grano fino puede existir en uno de los cinco estados, que depende del contenido de agua.

Según Atterberg los estados de consistencia son los siguientes:

- Estado Sólido, el volumen del suelo ya no varía con el secado.
- Estado Semisólido, el suelo tiene apariencia de un sólido, pero aun disminuye su volumen si se sigue secando.
- Estado Plástico, en que el suelo se comporta plásticamente.
- Estado Semilíquido, presenta las propiedades de un fluido viscoso.
- Estado líquido, con las propiedades y apariencia de suspensión.

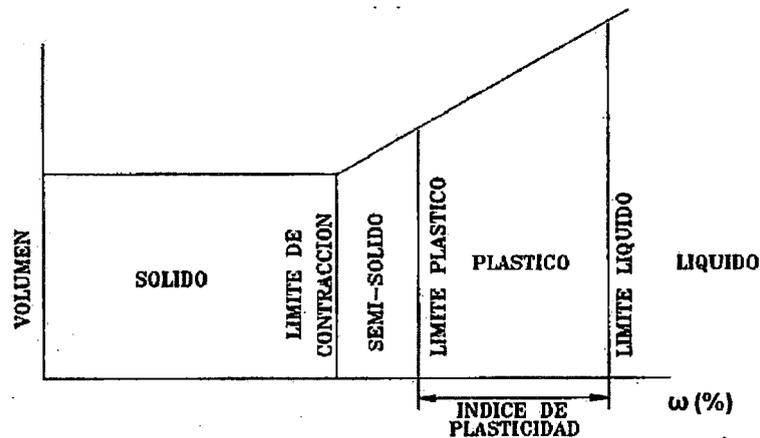


Figura N°1.1 Grafica de los estados de consistencia.

El modo operativo para la determinación del límite líquido está dada por ASTM D 4318 y el MTC E 110 -2000.

Se puede definir el índice de plasticidad del suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

$$I.P. = L.L. - L.P.$$

Dónde:

L.L. = Limite Líquido

L.P. = Limite Plástico

L.L. y L.P. Son números enteros.

1.1.4 Densidad Natural:

Es la relación del peso por unidad de volumen en condiciones naturales y la densidad seca es el peso del material sólido por metro cúbico o bien por centímetro cúbico. La metodología, que se utiliza en la ejecución de los ensayos, es la normada por ASTM- D1556 y el MTC E 117 -2000. Para obtener la densidad natural se realizó el ensayo por el método del Cono de Arena.

El método del cono de arena, consiste en un frasco de plástico de 1 galón de volumen y otra pieza formada por una válvula cilíndrica con un orificio, que termina en un embudo pequeño en uno de los extremos y un cono de diámetro de 6" en el opuesto. La arena debe ser limpia, seca, que fluya libremente, la arena utilizada (Otawa), es generalmente el material, que pasa el tamiz N°10 y retiene en el tamiz N°20. El cálculo de la densidad se indica a continuación:

$$\gamma_m = \frac{W_m}{V_m}$$

Dónde:

γ_m : Densidad natural

W_m : Peso de la muestra

V_m : Volumen de la muestra

1.1.5 Contenido de humedad:

Dada la muestra, se pesa para tener el W_m , peso de la muestra, a continuación se lleva al horno, luego del secado se vuelve a pesar para tener el W_s , peso sólido. Finalmente se calcula:

$$W_w = \frac{\omega}{100} * W_s$$

$$\omega\% = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Con lo cual la humedad queda determinada. La metodología utilizada en la ejecución del ensayo es la normada por ASTM – D 2216.

Mediante el ensayo de contenido de humedad se puede determinar la densidad seca.

$$\gamma_d = \frac{\gamma_n}{(1 + \omega\%)}$$

γ_d = Densidad seca

γ_n = Densidad húmeda

$\omega\%$ = Contenido de humedad

1.2 PROPIEDADES MECÁNICAS

1.2.1 Proctor Modificado

La densidad, que se puede obtener en un suelo por medio de un método de compactación dado, depende de su contenido de humedad.

El contenido, que da el más alto peso unitario en seco (densidad), se llama contenido óptimo de humedad para aquel método de compactación. En general esta humedad es menor, que la del límite plástico y decrece al aumentar la compactación, ver Figura N°1.3.

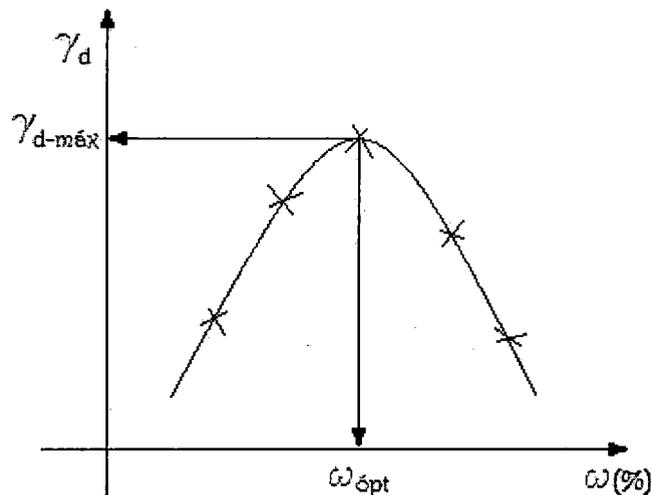


Figura N°1.2 Grafica de la curva de compactación Proctor.

La metodología utilizada en la ejecución del ensayo es la normada por ASTM – D 1557.

1.2.2 Módulo de resiliencia

En 1955, Hveem desarrolló el tema "comportamiento resiliente de los pavimentos". El propuso la prueba del estabilómetro para caracterizar a las subrasantes. Seed y sus colegas de la Universidad de California siguieron lo establecido por Hveem. Desarrollaron pruebas de carga repetida e introdujeron el término de módulo de resiliencia (Seed et al 1955).

Este término fue cambiado más tarde por el de módulo resiliente (Seed et al, 1962), el cual fue definido como la magnitud del esfuerzo desviador repetido en compresión triaxial dividido entre la deformación axial recuperable.

1.2.2.1 Concepto de Resiliencia.

Las cargas, que son transmitidas al pavimento inducen un estado de deformaciones en las capas de la estructura. Si se considera al material de la subrasante, como un comportamiento elástico e isotrópico y homogéneo entonces los esfuerzos y deformaciones se relacionarían con las características propias del material (Elasticidad, Poisson), pero como las cargas impuestas por el tránsito tienen un carácter dinámico los cuales son pequeños en el tiempo de aplicación y la deformación se recupera al cesar la carga. Pero se sabe que los materiales no presentan un comportamiento elástico es por ello que se introduce el término del módulo resiliente que corresponde a un "módulo elástico supuesto".

1.2.2.2 Ensayos del módulo resiliente.

Para determinar el módulo resiliente de un determinado suelo se deben de realizar ensayos triaxiales dinámicos de cargas repetitivas en probetas cilíndricas, mediante la Norma MTC E128 (AASHTO T294 - 92.)

Las probetas se someten a una presión de confinamiento σ_3 y a un esfuerzo desviador σ_d . Ver Figura N° 1.3

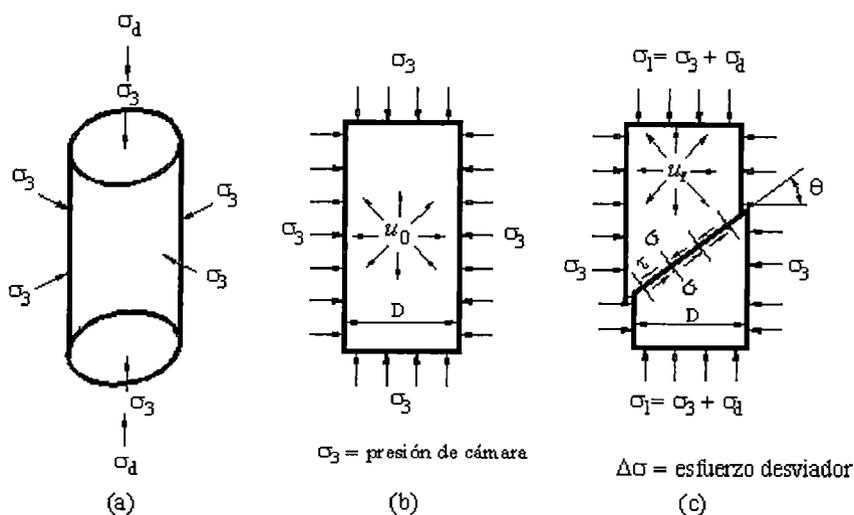


Figura N°1.3 Presión de confinamiento y deformación acumulada

Este estado de esfuerzos pretende reproducir la condición del suelo cuando es sometido a las cargas sucesivas del tráfico vehicular. La respuesta encontrada con este ensayo se aprecia en la siguiente figura N° 1.4 con el cual mediante este grafico se puede definir matemáticamente el módulo resiliente del material analizado según la ecuación 1.1

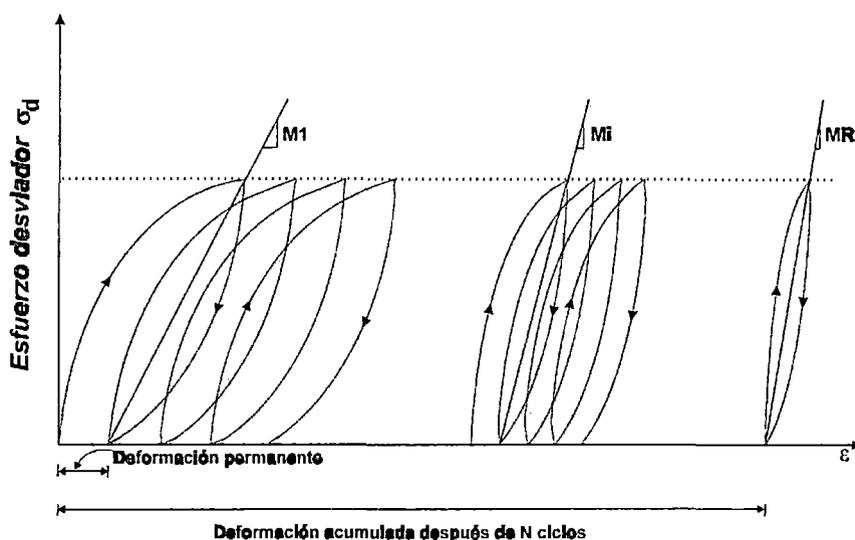


Figura N°1.4 Grafica del esfuerzo – Deformación.

$$M_r = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{\epsilon_{axial}} = \frac{\sigma_d}{\epsilon_{axial}}$$

Ecuación 1.1

Dónde:

M_r = Módulo Resiliente.

σ_1 = Esfuerzo principal mayor

σ_3 = Esfuerzo principal menor

σ_d = Esfuerzo desviador

ϵ_{axial} = Deformación recuperable medida en la dirección axial.

Los resultados del módulo resiliente, son influenciados por 3 factores:

- Estado de tensiones (esfuerzo de confinamiento y esfuerzo desviador).
- Tipo de suelo (métodos de compactación).
- Estado físico del suelo (humedad – densidad).

1.2.3 Influencia de la subrasante en el módulo de los materiales granulares.

Como se mencionó anteriormente, el módulo resiliente de una capa granular en terreno queda afectada por el módulo resiliente, que tiene la capa subyacente resultando un módulo compuesto de la capa colocada. En otros países como Chile, es comúnmente utilizado el método Shell para calcular el Módulo Resiliente Compuesto (MRC) de las capas granulares de los pavimentos flexibles.

La Ecuación 1.2 corresponde al método Shell. La misma fue realizada para calcular el módulo compuesto de las capas granulares, calculando un solo módulo para la combinación de ambas, base y subbase. La ecuación está limitada para valores de espesor de ambas capas entre 167 mm a 778 mm.

$$E_n = k * E_{n-1} \quad k = 0.2 * h_n^{0.45} \quad \text{Ecuación 1.2}$$

Para $2 < k < 4$

Dónde:

E_n : módulo compuesto de capa granular

E_{n-1} : módulo de la subrasante

h_n : Espesor de la capa granular (base +subbase)

La representación gráfica se muestra en la figura N°1.5.

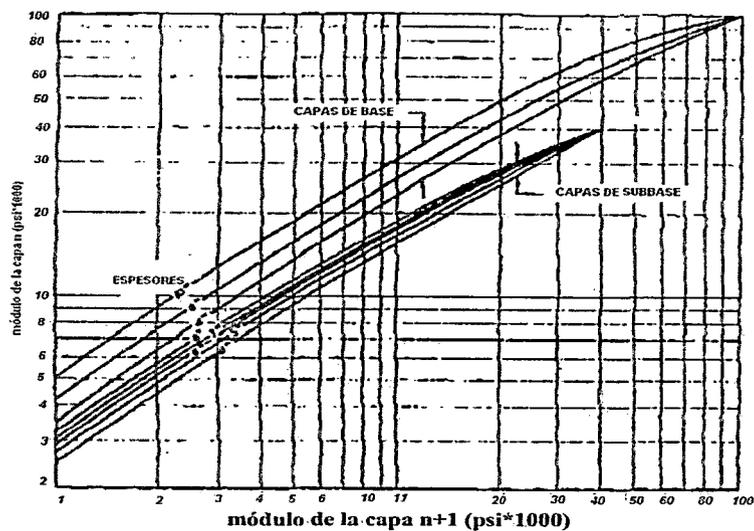


Figura N°1.5 Grafica Método de SHELL.

1.2.4 Módulo Poisson (μ)

Se define como la relación entre la deformación unitaria lateral y la deformación unitaria axial en una probeta con carga axial. El módulo Poisson es la constante, que relaciona el módulo de rigidez y el módulo de Young en la ecuación 1.3.

$$E = 2G(\mu+1)$$

Ecuación 1.3

Donde E es el módulo de Young, G es el módulo de rigidez y μ es el coeficiente de Poisson. La fórmula sólo es válida dentro del límite elástico de un material. En la norma ASTM E-132 se proporciona un método para determinar el coeficiente de Poisson.

1.2.5 Módulo Elasticidad: (E)

El módulo de elasticidad se obtiene a partir de ensayos de compresión no confinada (compresión simple), sin embargo las masas de suelo presentan confinamientos. Entonces bajo un determinado nivel de confinamiento σ_c , se define el módulo de elasticidad como la relación de esfuerzo aplicado y la deformación resultante.

$$\text{Módulo de elasticidad } E = \frac{\sigma}{\varepsilon_L}$$

La matriz de esfuerzo – deformación comúnmente llamado Modulo de Elasticidad (E), se define de la siguiente manera, ver figura N°1.6.

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \varepsilon_{zz} \\ \varepsilon_{xy} \\ \varepsilon_{yz} \\ \varepsilon_{zx} \end{bmatrix} = \frac{1}{E} \begin{bmatrix} 1 & -\nu & -\nu & 0 & 0 & 0 \\ -\nu & 1 & -\nu & 0 & 0 & 0 \\ -\nu & -\nu & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2(1+\nu) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2(1+\nu) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2(1+\nu) \end{bmatrix}$$

Figura N°1.6 Matriz de esfuerzo – Deformación.

Una masa de suelo no tiene valores únicos de “E”, debido a la influencia del confinamiento. Por ello para determinar los valores apropiados de este parámetro se debe ejecutar ensayos de laboratorio o campo, que representen o simulen el problema real. De ahí, que este parámetro se puede obtener mediante distintos ensayos los cual son:

1.2.5.1 Ensayo de compresión triaxial cíclico

Este ensayo permite obtener módulos elásticos para cualquier nivel de presión de confinamiento y nivel de deformación, ver Figura. N°1.7.

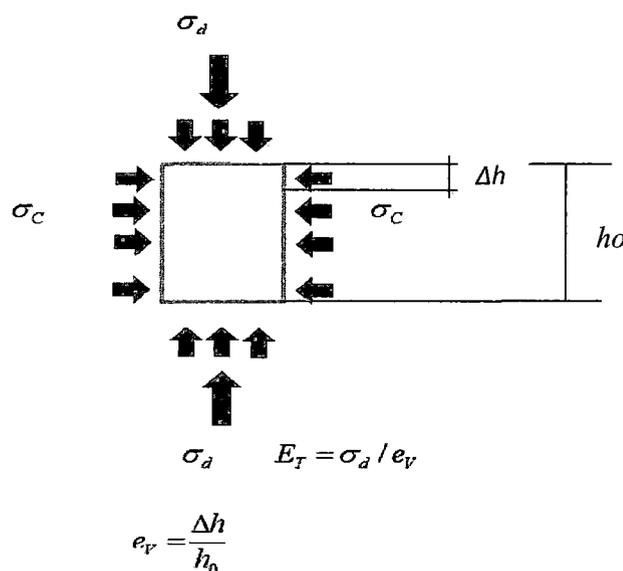


Figura N°1.7 Ensayo de compresión triaxial ASTM D 2850 y D 4767.

Los parámetros obtenidos son útiles cuando las presiones verticales transmitidas por la estructura alcanzan profundidades mayores, por ello es necesario discretizar teóricamente el subsuelo en estratos o capas donde la presión confinante promedio se incrementa con la profundidad. La desventaja es que el equipo triaxial no permite medir el efecto del humedecimiento.

Los valores de los módulos elásticos se obtienen a partir de los resultados de los ensayos triaxiales. Debido a que los valores dependen del nivel de confinamiento del suelo, se deberá estimar primero este valor. El confinamiento inicial, σ_c será aproximadamente 2/3 del esfuerzo vertical.

En un ensayo triaxial para hallar el valor del esfuerzo confinante de la gráfica esfuerzo desviador, " σ_d ", vs deformación axial, se calcula el modulo como el valor de la pendiente de la recta secante para una deformación axial de 1 a 2%, para suelos granulares semidensos o suelos finos de buena consistencia (baja deformabilidad) y de 3 a 4 %, para suelos granulares sueltos a muy sueltos o arcillas blandas (alta deformabilidad).

1.2.5.2 Ensayo CBR

Este ensayo fue desarrollado por los ingenieros T.E. Stanton y O.J. Porter, en 1929, y se establece en él una relación entre la resistencia a la penetración de un suelo y su capacidad de soporte. Este método es empírico pero su aplicación radica en diversas y múltiples pruebas realizadas en laboratorio y campo.

El ensayo de CBR, mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas y su valor es la relación expresada en porcentaje, entre dicha carga real y la que se requiere para producir las mismas deformaciones en un material triturado normalizado.

$$CBR = \frac{\text{Carga del Ensayo}}{\text{Carga Patron}} \cdot 100(\%)$$

Este método fue adoptado por el cuerpo de ingenieros de los Estados Unidos (USACE), durante la segunda guerra mundial para la construcción de aeropuertos. Actualmente este método se realiza para determinar la capacidad de soporte de una capa de pavimento bajo las normas ASTM D1883 y ASTM D4429-93.

Así mismo este ensayo permiten obtener los parámetros elásticos en la evaluación de la sub-rasante (Ordoñez y Minaya, 2001). Como se ilustra en la figura N°1.8, el valor del CBR, está asociado con el modulo elástico del suelo.

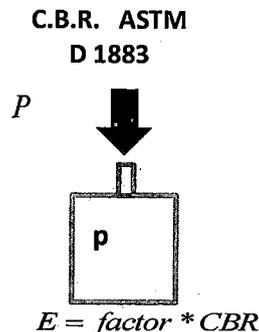


Figura N°1.8 Ensayo CBR.

Se presentan algunas correlaciones existentes entre el Modulo resiliente y el CBR.

Modelo Shell (Heukelon Foster 1960, Heukelon & klomp 1962), es el método más utilizado alrededor del mundo, así como también es usado por el Instituto del asfalto (Relación recomendada por la guía de diseño AASTHO-93 para valores de CBR < a 10%).

- $Mr = 10.5 * CBR$ (Mpa).

Relación de la U.S. Army Corps de ingenieros (USACE) (Green & May 1975)

- $Mr = 38 * CBR^{0.711}$ (Mpa)

Modelo desarrollado en COPPE/UFRJ – Federal, Universidad Federal de rio de Janeiro (Medina y Preussler 1982).

- $Mr = 32.75 + 6.73 * CBR$ (Mpa).

Laboratorio de investigación de camino y transporte (TRRL) (Lister y Powel 1987), este método es solo usado por el laboratorio de investigaciones de caminos de Norwegian. (Slyngstad & Evensen 1994).

- $Mr = 17.6 * CBR^{0.64}$.

Modelo del consejo científico de Sub África y investigación industrial (CSIR).

- $Mr = 22.1 * CBR^{0.65}$.

1.2.5.3. Correlaciones empíricas entre el módulo elástico y el Ensayo de Penetración Estándar (SPT).

Estas correlaciones se han establecido tradicionalmente para el caso de suelos granulares, en los cuales resulta inviable la obtención de muestras, que permitan su ensayo en laboratorio.

Meigh y Nixon (1961), proponen las siguientes correlaciones:

- Para limos y limos arenosos: $E \text{ (MPa)} = 5 N$
- Para arenas finas: $E \text{ (MPa)} = 8 N$

Para arenas intermedias entre los dos términos anteriores (arenas limosas) puede tomarse como válida la expresión de Webb (1970 y 1974):

- $E \text{ (Kg/cm}^2\text{)} = 7.17 + (0.478 \text{ NSPT})$

D'Apolonia et al. (1970), proponen:

- $E \text{ (Kg/cm}^2\text{)} = 215 + (10.6 \text{ NSPT})$ [arenas normalmente consolidadas]
- $E \text{ (Kg/cm}^2\text{)} = 540 + (13.5 \text{ NSPT})$ [arenas pre consolidadas]

Para gravas puede utilizarse la siguiente correlación establecida por Wrench y Nowatzki (1986):

- $E \text{ (MPa)} = 2.22 \text{ NSPT}^{0.888}$

Beguemann (1974) plantea las siguientes correlaciones para gravas y arenas:

- Si $\text{NSPT} > 15$: $E \text{ (Kg/cm}^2\text{)} = 40 + [12 (\text{NSPT} - 6)]$
- Si $\text{NSPT} < 15$: $E \text{ (Kg/cm}^2\text{)} = 12 (\text{NSPT} + 6)$

Mencionamos por último la propuesta de Bowles (1988) para arenas en general:

- $E \text{ (Kg/cm}^2\text{)} = 10 [7.5 + (0.5 \text{ NSPT})]$

Donde N es el número de golpes de campo para una penetración de 30 cm y E se da en Kg/cm².

CAPÍTULO II

TEORÍA ELÁSTICA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

2.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se va abordar la teoría de la elasticidad, que es la más utilizada para calcular la respuesta en las distintas capas, que conforman el pavimento debido a las cargas de los ejes vehiculares, en combinación con los efectos ambientales.

Esta respuesta está representada por los esfuerzos críticos, deformaciones o deflexiones como respuesta, ver figura N°2.1. Para la evaluación de pavimentos se utilizan los conceptos básicos de la teoría de la elasticidad.

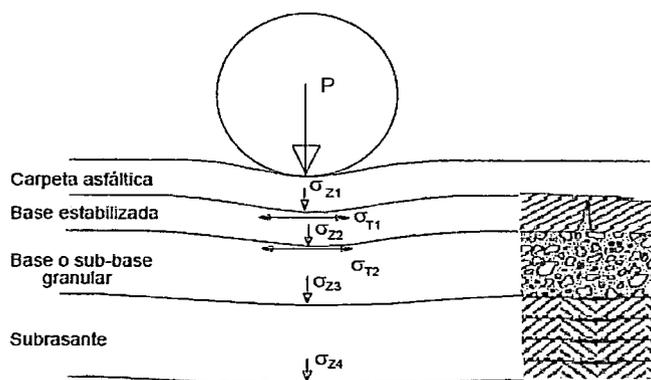


Figura N°2.1 Performance – Estructural – Funcional

Hay una parte analítica mecanicista en el análisis de pavimentos, el cual es calcular, que es lo que ocurre como respuesta en el pavimento a raíz de la presencia de las cargas. La parte de performance o comportamiento, conducta o resultado, que es lo que experimenta el usuario, que no es un ingeniero de pavimento, que no tiene conocimiento de las tensiones o deformaciones o módulos o sistemas de análisis, que se generan en los pavimentos, decimos, que el pavimento está mal, debido a esas condiciones, que se generan en su estructura y se reflejan en la superficie del pavimento, siendo percibidos por los usuarios. Por lo cual al MTC, le preocupa y exige, que se mantenga el camino sin ninguno de estos problemas. Por lo, que en esta parte nos vamos a enfocar a la parte del cálculo mecanicista, que son las ecuaciones y conceptos de elasticidad.

La propiedad de la elasticidad se da si el esfuerzo depende únicamente de la deformación, esto significa, que la historia de la deformación es inmaterial y solo el valor actual de este es necesario para determinar el valor actual del esfuerzo se dice entonces, que el material tiene un comportamiento elástico. La expresión, que relaciona los esfuerzos y deformaciones para el caso particular de elasticidad isotrópica y lineal es la denominada ley de Hooke. Para predecir el comportamiento elástico de un material isotrópico basta definir dos constantes las cuales son E y ν , que son el módulo de elasticidad y el coeficiente de Poisson respectivamente.

Si tenemos un cuerpo cilíndrico de una cierta longitud L y diámetro D , esto nos da un área A , el cual no está siendo aplicado por una carga estática según la figura N°2.2

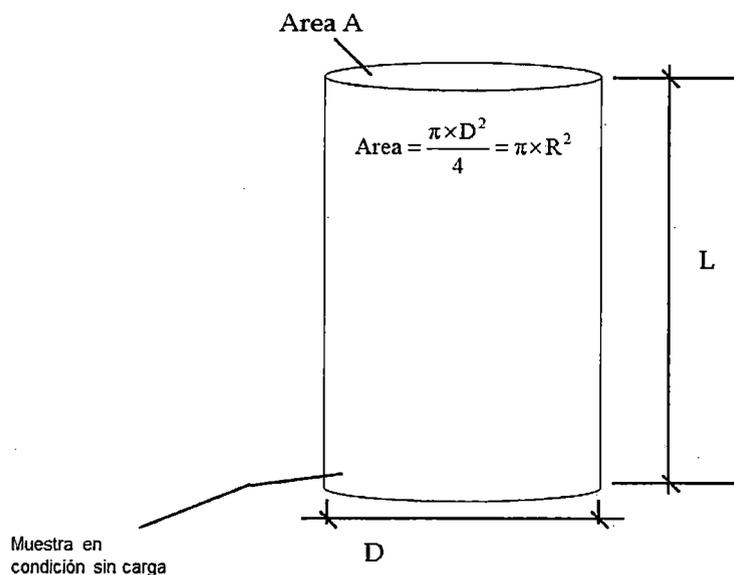


Figura N°2.2 Cuerpo cilíndrico – Carga Estática

Si ahora le aplicamos una carga en el sentido axial, generando una primera respuesta lo primero, que se calculara será la tensión en las cargas y se aplicara la fórmula de fuerza partido por área ,generándose como resultado la presión de contacto o tensión, debido esto hay una respuesta del cuerpo cilíndrico, el cual es de acortarse y ensancharse, por lo que tenemos un cambio de longitud un delta (ΔL) y debido al ensanchamiento hay un aumento en el diámetro ósea una diferencia de diámetro un delta (ΔD) , ver figura N°2.3.

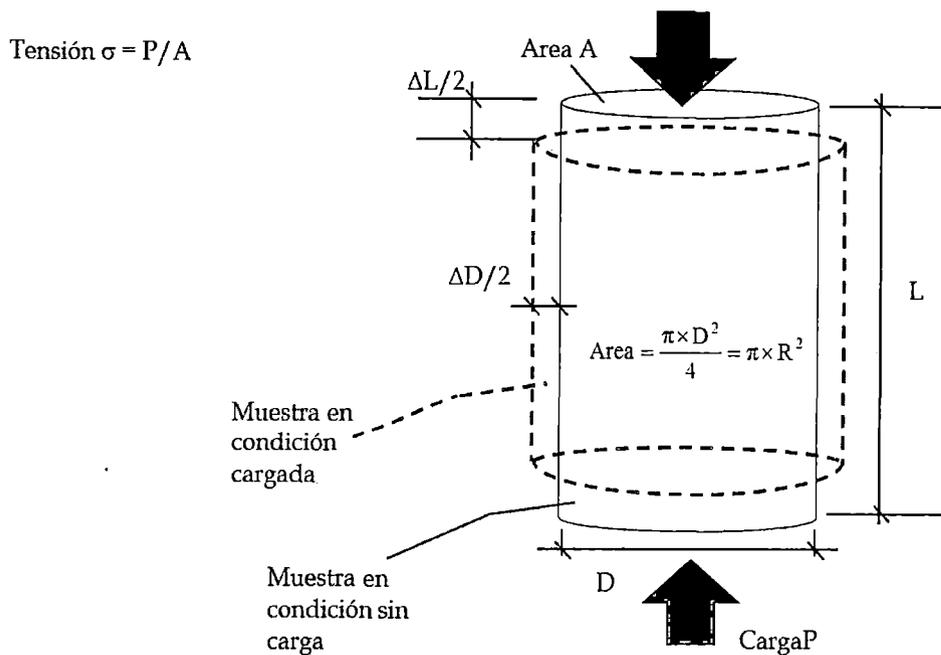


Figura N°2.3 Carga – Tensión – Deformación Unitaria

Si tenemos ya la magnitud de Δ_L , podemos calcular la deformación unitaria, que es cuanto se deforma con respecto al largo original, porcentualmente hablamos de deformación unitaria ya que esta no va a tener unidades.

$$\text{Def. Unitaria Longitudinal } \varepsilon_L = \frac{\Delta_L}{L}$$

Además de acortarse se ensancha, aumento su diámetro hay una diferencia de diámetros, por lo cual hay de nuevo una deformación unitaria, que es diametral cuanto se deforma con respecto al original.

$$\text{Def. Unitaria Diametral } \varepsilon_D = \frac{\Delta_D}{D}$$

Ahora si conocemos la tensión y la deformación unitaria se puede calcular el módulo de elasticidad, o la constante de resorte o ley de Hooke, que es la tensión dividido entre la deformación unitaria.

$$\text{Módulo de elasticidad } E = \frac{\sigma}{\varepsilon_L}$$

El módulo elástico, se puede calcular mediante la tensión dividido por la deformación unitaria, esto se da cuando estamos hablando de una dimensión, pero el modulo es tridimensional entonces en esos casos es aplicable la ley de Hooke la cual se trabaja en las 3 direcciones y se expresa en forma matricial en términos del módulo de Young y el coeficiente de Poisson, ver figura N°2.4.

$$\begin{pmatrix} \epsilon_{xx} \\ \epsilon_{yy} \\ \epsilon_{zz} \\ \epsilon_{xy} \\ \epsilon_{xz} \\ \epsilon_{yz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{1}{E} & -\frac{\nu}{E} & -\frac{\nu}{E} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu}{E} & \frac{1}{E} & -\frac{\nu}{E} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu}{E} & -\frac{\nu}{E} & \frac{1}{E} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{(1+\nu)}{E} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{(1+\nu)}{E} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{(1+\nu)}{E} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{zz} \\ \sigma_{xy} \\ \sigma_{xz} \\ \sigma_{yz} \end{pmatrix}$$

Figura N°2.4 Ecuación matricial de la ley de Hooke.

También las ecuaciones de Lamé– Hooke para un sólido elástico Lineal e isotrópico pueden ser deducidas del Teorema de Rivlin – Ericksen, que pueden escribirse de la siguiente forma, ver figura N°2.5.

$$\begin{aligned} \epsilon_x \times E &= \sigma_x - \nu \times \sigma_y - \nu \times \sigma_z \\ \epsilon_y \times E &= \sigma_y - \nu \times \sigma_x - \nu \times \sigma_z \\ \epsilon_z \times E &= \sigma_z - \nu \times \sigma_y - \nu \times \sigma_x \\ 2 \times G \times \gamma_{xy} &= \tau_{xy} \\ 2 \times G \times \gamma_{xz} &= \tau_{xz} \\ 2 \times G \times \gamma_{yz} &= \tau_{yz} \end{aligned}$$

Figura N°2.5 Ecuaciones deducidas de ley de Hooke

En la siguiente figura N°2.6, se muestran los esfuerzos y deformaciones en un espacio tridimensional, de una masa de suelo.

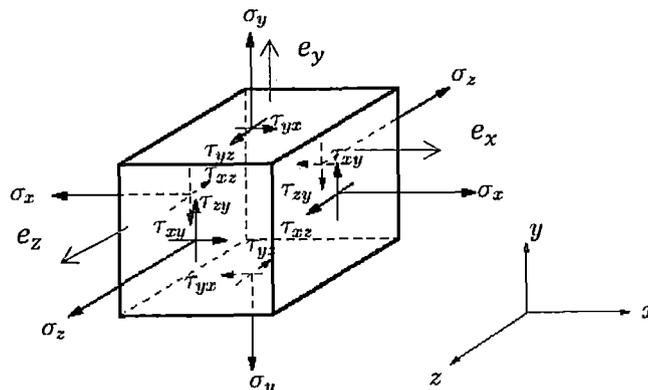


Figura N°2.6 Ecuaciones deducidas de ley de Hooke

Donde entra el coeficiente Poisson y las tensiones verticales, tangenciales y radiales en los otros ejes, además del módulo de elasticidad E, está el módulo de corte G.

Cuando un material se ensancha al mismo tiempo se acorta, pero esta acción, que se realiza va a depender del coeficiente de Poisson, que es específico para cada material y es la razón entre la deformación unitaria diametral y longitudinal.

$$\text{Coef. De Poisson } \nu = \frac{\varepsilon_D}{\varepsilon_L}$$

Para los materiales, que usamos en la construcción de pavimentos tenemos rangos y materiales típicos de la relación del Coeficiente de Poisson, el cual se muestra en la siguiente Tabla N°2.1, se pueden utilizar estos si no se dispone de otros datos, también se puede calcular un valor, empleando una relación de deformación volumétrica y deformación axial, que se haya obtenido en una prueba triaxial. Para los cálculos de esta investigación se tomara el valor de $\nu = 0.35$, que es un valor aceptable para suelos granulares.

Tabla N°2.1 Materiales para base y sub base, Fuente: Ing. Sanchez Sabogal.

Material	Relación de Poisson	Valor Típico de Poisson
1- Concreto hidráulico	0,10 a 0,20	0.15
2- Concreto asfáltico	0,15 a 0,45	0.35
3- Base tratada con asfalto	0,15 a 0,45	0.35
4- Base tratada con cemento		
4.1 Suelo granular	0,10 a 0,20	0.15
4.2 Suelo fino	0,15 a 0,35	0.25
5- Concreto pobre	0,10 a 0,20	0.15
6- Base y subbase granular	0,30 a 0,40	0.35
7- Suelo de subrasante	0,30 a 0,50	0.40

Es importante destacar, que los valores de la relación de Poisson para bases granulares y suelos cohesivos, dependen del nivel de esfuerzo-deformación y el grado de saturación.

2.2 TEORÍA ELÁSTICA LINEAL

La teoría elástica se dio en 1943, con Burmister la cual presentó un método para la determinación de tensiones y desplazamientos en un sistema de dos capas.

Desde entonces se han desarrollado un gran número de programas de computadora para calcular las tensiones, deformaciones unitarias y deflexiones de sistemas elásticos de capas, para retro-análisis y análisis de pavimentos donde se mezclan los módulos y las cargas, los programas de computadora más conocidos son los siguientes:

1. BISTRO & BISAR (Shell).

Este programa utiliza el método de Shell, el cual considera la estructura del pavimento como un sistema multicapa, que es linealmente elástica, bajo la acción de las cargas del tránsito vehicular en el cual los materiales se caracterizan por su módulo de elasticidad (E), y su relación de Poisson (ν), los materiales de la estructura se consideraran y se asumirán, que las capas son de extensión infinita en el sentido horizontal. Luego se eligen los espesores de la carpeta asfáltica y de las capas granulares para que puedan cumplir con un determinado criterio de deformaciones por el método de Shell, en el cual se ase aplicativo el programa BISAR, el cual permite calcular esfuerzos y deformaciones y deflexiones, que se producirán en cualquier punto de una estructura.

2. Elsym5 (Chevron)

Este programa, fue desarrollado por la Universidad de California - Berkely, el Elsym5, realiza una evaluación en modelos a 3D, sistema de pavimento estratificado elástico idealizada. El programa presenta las teóricas mecanicistas de diseño de pavimentos en el cálculo de varias tensiones, deformaciones y desplazamientos, así mismo este programa nos permite modelar ruedas múltiples y puede analizar hasta 5 capas, los parámetros de entrada son: Propiedades de las capas, datos de carga, evaluación de coordenadas.

3. ALIZE

El programa fue desarrollado por el LCPC, francés. Utiliza el método de diseño racional de las estructuras de pavimento.

Alize - LCPC, analiza cualquier tipo o tamaño de estructura de pavimento (blando, duro, hormigón), es también una poderosa herramienta para el análisis de proyectos y / o renovación de los pavimentos de construcción.

Adicionalmente incorpora un procedimiento para informar a la cuenca de deformación medida Deflectograph Lacroix, Deflectómetro de Impacto o (FWD), y luego calcula los módulos inversos para cada capa de la estructura analizada.

4. CIRCLY (Australia)

Originalmente fue un programa FORTRAN, para el análisis por capas medios elásticos sujetos a carga de superficie, posteriormente este programa CIRCLY, ha seguido de cerca la evolución de la mecánica de Australia, para el diseño de pavimentos flexibles, ahora este programa calcula las cargas inducidas por tensiones, deformaciones y desplazamientos en cualquier punto del sistema de capas, también puede modelar el error de la interfaz parcial, además de su uso para el diseño de pavimentos CIRCLY, también se utiliza en el diseño de fundación y asentamiento del suelo de análisis.

Estos programas mencionados anteriormente asumen algunos supuestos básicos los cuales son:

- Equilibrio estático: Esto quiere decir; no hay cosas de inercia o que se demoren aunque en la práctica si ocurren cuando vemos un gráfico, de la máxima deflexión ocurre un poquito después, que la máxima. Esto se refiere a temas más inerciales, pero el programa asume, que todo es equilibrio estático todo ocurre en un mismo momento y todo ocurre instantáneamente.
- Compatibilidad (Continuidad): Es decir, que los materiales no se separan siempre están juntos, se pueden deformar, pero no se separan lo cual en la práctica no se cumple siempre, cuando tenemos materiales granulares siempre estamos violando estos supuestos ya, que no tenemos materiales particulados, que están pegados unos con otros el supuesto de compatibilidad o continuidad es un supuesto muy arraigado.
- Ley de Hooke: Donde el modulo es el resultado de la tensión dividido entre la deformación, las tensiones son proporcionales a las deformaciones.

2.2.1 Teoría de Boussinesq y Burmister

2.2.1.1 Ecuaciones de Boussinesq – Sistema Monocapa Carga Puntual

En 1885 Boussinesq, desarrollo una serie de ecuaciones, para una sola capa con las cual se puede calcular las tensiones, deformaciones unitarias y los

desplazamientos de un sistema de pavimentos para una capa con sus propiedades de carga. Para ello se asumió ciertas condiciones, para calcular los esfuerzos, deformaciones y deflexiones en un espacio semi-infinito, homogéneo, isotrópico, lineal elástico, con un módulo "E" y coef. De Poisson "V", cargado por una carga puntual "P", perpendicular a la superficie. En esas condiciones funciona la fórmula de Boussinesq.

En la siguiente figura N°2.7, presentamos la notación en coordenadas polares utilizadas por la ecuación de Boussinesq.

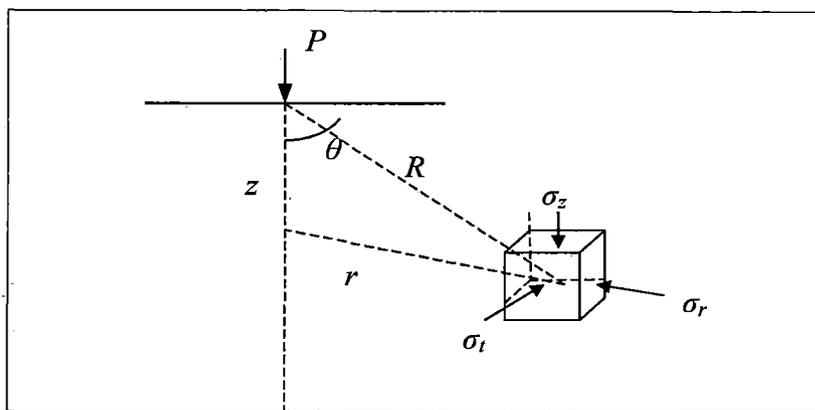


Figura N° 2.7 Notación en coordenadas polares de Boussinesq.

Si nos fijamos ahora un sistema de coordenada radial como el de la figura anterior, hay un punto de aplicación de la carga en un eje central. Si pensamos en una partícula dentro de este semiespacio semi-infinito, esa partícula estaría a una distancia "R", del eje de aplicación de la carga y a una profundidad Z. Entonces podemos decir, que dicha partícula presenta en ese punto tensiones verticales, tensiones radiales y tangenciales, en ese sistema de coordenadas se encuentran las ecuaciones de Boussinesq.

A continuación presentamos las ecuaciones de Boussinesq, que se obtuvo en el sistema de coordenadas.

- Tensiones normales en los sentidos verticales radiales y tangenciales.

$$\sigma_z = \frac{3P}{2\pi R^2} * \cos^3 \theta \quad \text{Ecuación 2.1}$$

$$\sigma_r = \frac{P}{2\pi R^2} * \left[3 \cos \theta \sin^2 \theta - \frac{1-2\nu}{1+\cos \theta} \right] \quad \text{Ecuación 2.2}$$

$$\sigma_t = \frac{(1-2\nu)P}{2\pi R^2} * \left[-\cos \theta + \frac{1}{1+\cos \theta} \right] \quad \text{Ecuación 2.3}$$

- Deformación unitaria normal en los sentidos verticales radiales y tangenciales de la Ley de Hooke

$$\varepsilon_z = \frac{(1+\nu)P}{2\pi R^2 E} * [3\cos^3 \theta - 2\nu \cos \theta] \quad \text{Ecuación 2.4}$$

$$\varepsilon_r = \frac{(1+\nu)P}{2\pi R^2 E} * \left[-3\cos^3 \theta + (3-2\nu)\cos \theta - \frac{1-2\nu}{1+\cos \theta} \right] \quad \text{Ecuación 2.5}$$

$$\varepsilon_t = \frac{(1+\nu)P}{2\pi R^2 E} * \left[-\cos \theta + \frac{1-2\nu}{1+\cos \theta} \right] \quad \text{Ecuación 2.6}$$

- Desplazamientos por integración

$$d_z = \frac{(1+\nu)P}{2\pi RE} * [2(1-\nu) + \cos^2 \theta] \quad \text{Ecuación 2.7}$$

$$d_r = \frac{(1+\nu)P}{2\pi RE} * \left[\cos \theta \sin \theta - \frac{(1-2\nu)\sin \theta}{1+\cos \theta} \right] \quad \text{Ecuación 2.8}$$

$$d_t = 0 \quad \text{Ecuación 2.9}$$

Si la carga no es una carga puntual sino, que se distribuye a través de un área determinada las tensiones, deformaciones y desplazamientos se pueden encontrar a través de la integración.

En la mayoría de los casos, esto se debe hacer a través de la integración numérica, pero para la línea central de una carga distribuida uniformemente sobre un área circular de la integración se puede encontrar directamente.

Si hablamos de una carga circular uniforme distribuida sobre un círculo ya no de una carga puntual las ecuaciones para calcular las tensiones son:

A una profundidad "z", bajo la superficie se obtienen las siguientes ecuaciones, con el valor de "a", como el radio del área cargada y " σ_o ", como la tensión normal en la superficie:

$$\sigma_z = \sigma_o * \left\{ 1 - \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{a}{z} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right\}$$

Ecuación 2.10

$$\sigma_r = \sigma_t = \sigma_o * \left\{ \frac{(1+2\mu)}{2} - \frac{(1+\mu)}{\left[1 + \left(\frac{a}{z} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} + \frac{1}{2 \left[1 + \left(\frac{a}{z} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \right\}$$

Ecuación 2.11

Deformación unitaria para una carga circular uniforme en el eje.

$$\varepsilon_z = \frac{(1+\mu)\sigma_o}{E} * \left\{ \frac{\left(\frac{z}{a} \right)}{\left[1 + \left(\frac{z}{a} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} - (1-2\mu) \left\{ \frac{\left(\frac{z}{a} \right)}{\left[1 + \left(\frac{z}{a} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} - 1 \right\} \right\}$$

Ecuación 2.12

$$\varepsilon_r = \frac{(1+\mu)\sigma_o}{2E} * \left\{ \frac{\left(-\frac{z}{a} \right)}{\left[1 + \left(\frac{z}{a} \right)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} - (1-2\mu) \left\{ \frac{\left(\frac{z}{a} \right)}{\left[1 + \left(\frac{z}{a} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} - 1 \right\} \right\}$$

Ecuación 2.13

Deflexiones en el punto de eje:

$$d_z = \frac{(1+\mu)\sigma_o a}{E} * \left\{ \frac{1}{\left[1 + \left(\frac{z}{a} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}} + (1-2\mu) \left\{ \left[1 + \left(\frac{z}{a} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - \frac{z}{a} \right\} \right\}$$

Ecuación 2.14

Dónde:

$$\sigma_o = \frac{P}{\pi a^2}$$

Ecuación 2.15

σ_o : Tensión de Contacto

E: Módulo Elástico

a : Radio plato flexible de carga

z : Profundidad desde la superficie del pavimento

μ : Coeficiente de Poisson

P: Carga aplicada.

Las deformaciones horizontales deben ser calculadas en función a los valores obtenidos anteriormente, utilizando la Ley de Hook, para el caso tridimensional.

$$\varepsilon_r = \varepsilon_t = \frac{\left[\frac{(1-\mu)}{2\mu} * (\sigma_z - E * \varepsilon_z) - \mu * \sigma_z \right]}{E} \quad \text{Ecuación 2.16}$$

Si la carga es transferida completamente a través de un plato rígido circular, de tal manera, que la deflexión superficial en todos los puntos del plato es la misma, entonces la distribución de las tensiones bajo el plato, pueden expresarse de la siguiente manera.

$$\sigma_o(r) = \frac{\sigma_o * a}{2 * \sqrt{a^2 - r^2}} \quad \text{Ecuación 2.17}$$

En este caso el valor " σ_o ", es el valor promedio de los esfuerzos "a", es el radio del plato y "r", es la distancia desde el centro al punto en donde se va a determinar la tensión superficial.

Las, ecuaciones simplificadas de Bousinessq aplicadas en la línea central de la carga, para calcular las tensiones (σ_z), deformaciones (ε_z) y desplazamientos (d_z) en la dirección vertical, están dadas por las siguientes expresiones:

$$\sigma_z = \frac{3P}{2\pi z^2} \quad \text{Ecuación 2.18}$$

$$\varepsilon_z = \frac{(1+\mu)P}{2\pi z^2 E} * (3 - 2 * \mu) \quad \text{Ecuación 2.19}$$

$$d_z = \frac{(1 + \mu)P}{2\pi z E} * (3 - 2 * \mu) \quad \text{Ecuación 2.20}$$

- Las tensiones (normales y de corte) son independientes del módulo E.
- Las tensiones verticales y tensiones principales también son independientes del coeficiente de Poisson.
- Las deflexiones son inversamente proporcionales a la profundidad.
- Las tensiones y deflexiones unitarias son inversamente proporcionales al cuadrado de la profundidad.
- También se aprecia, que hay una importante diferencia entre la variación de tensiones y deformaciones unitarias por un lado y los desplazamientos por otro. Los desplazamientos o deflexiones varían inversamente con la profundidad, pero las otras respuestas varían con la profundidad al cuadrado.

2.2.1.2 Modelo de Burmister (Sistema Multicapa).

Los pavimentos flexibles son un sistema de varias capas, que no pueden ser representados por una masa homogénea de suelo, por lo tanto, es más apropiado utilizar la teoría propuesta por Burmister, quien desarrolló un método para la determinación de tensiones y desplazamientos en un sistema de dos capas, luego a tres capas de distintas características. (Huang, 1993) (Yoder, 1975). Burmister desarrolló ecuaciones y gráficos, los cuales permiten calcular desplazamientos y tensiones en un sistema de dos capas.

En 1954, se desarrollo la teoría multicapa de Burmister, el cual presenta un carácter general, que permite adaptarse a cualquier situación particular. Según esta teoría, los pavimentos flexibles pueden asimilarse a un macizo multicapa (capas del pavimento), apoyado sobre otro semi - infinito de Boussinesq la cual sustituye al terreno, ver figura N° 2.8. La hipótesis, que se establece son las siguientes:

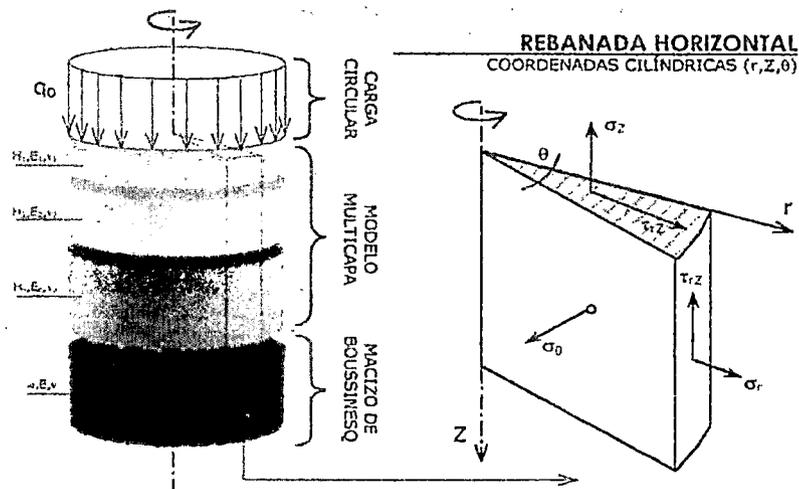


Figura N°2.8 Modelo multicapa de burminster en pavimentos flexibles

1. La carga se representa mediante una presión vertical distribuida uniformemente sobre un área circular en la superficie del pavimento, actuando de manera estática.
2. Cada capa actúa como un medio elástico lineal, homogéneo, isotrópico, continuo de espesor constante e indefinido horizontalmente.
3. Las capas se apoyan unas sobre otras de forma continua, es decir, en toda su superficie. Las condiciones de adherencia entre ellas permiten la existencia de tensiones tangenciales en la superficie de contacto las cuales presentan dos variantes: adherencia total o nula.
4. Se admite, que los desplazamientos en el sistema son pequeños.
5. No se considera el efecto de los gradientes térmicos. La influencia de la temperatura en los módulos de los materiales, solo puede ser tomada en cuenta repitiendo el análisis para diferentes valores de dichos módulos.

Burmister, estudio el problema de la distribución de esfuerzos y desplazamientos, en un sistema no homogéneo, formado por dos capas, cada una de ellas homogénea, isotrópica y linealmente elástica. La primera capa es infinita horizontalmente y tiene espesor finito. La segunda capa, subyacente a la anterior, es semiinfinita. Pero, entre ambas capas existe un contacto continuo, siendo la frontera plana entre ellas perfectamente rugosa, ver figura N° 2.9.

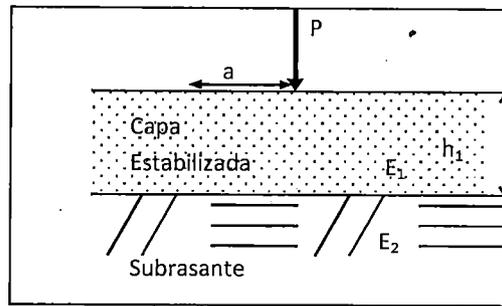


Figura N° 2.9 Esquema de aplicación de carga

<i>Datos:</i>	<i>Unidades</i>
do: Deflexión central	(pulgadas)
E_1 : Módulo de la Capa	(psi)
E_2 : Módulo sub-rasante	(psi)
a: Radio de la placa de carga	(pulgadas)
P: Carga Aplicada	(libras)
q: Presión aplicada (carga/área)	(psi)
h_1 : Espesor de capa estabilizada	(pulgadas)

Por proceso:

F: Factor correlación E_2/E_1 , para utilizar gráfico

E_1 y E_2 son los módulos de elasticidad de las dos capas.

Las curvas, que se muestran se refieren a distintas relaciones de E_1/E_2 , en materiales cuya relación de Poisson, sea fijo para el valor de 0.5 para ambas capas, ver figura N° 2.10.

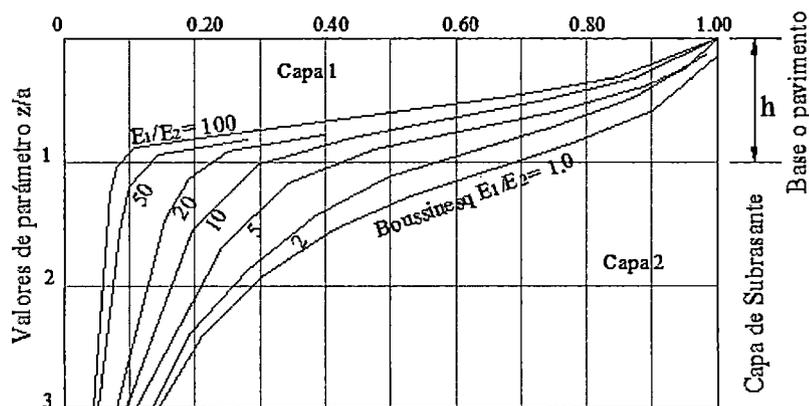


Figura N° 2.10 Curva de influencia de esfuerzos verticales transmitidos en un sistema de dos capas elásticas (Burmister).

Para el análisis teórico efectuado por Burminster, el desplazamiento vertical elástico en la superficie del sistema, se basa en la gráfica de la distribución de esfuerzos en caso de haber dos materiales. El primero con módulo de elasticidad E_1 y espesor finito. El segundo con módulo E_2 y espesor infinito, estos materiales están dados por la siguiente expresión.

En el caso de que la placa transmisora sea flexible.

$$\Delta = 1.5F \frac{Pr}{E_2} \quad \text{Ecuación 2.21}$$

En el caso de que la placa transmisora sea rígida la ecuación se modifica a la forma:

$$\Delta = 1.18F \frac{Pr}{E_2} \quad \text{Ecuación 2.22}$$

De las formulas anteriores:

Δ : desplazamiento vertical en la superficie del sistema.

P : presión uniforme en el área circular.

E_2 : módulo de elasticidad de la segunda capa, semiinfinito.

F : factor a dimensional de desplazamiento, que depende de la relación E_1/E_2 y de la relación h/r .

El valor de F , se obtiene de la figura N° 2.11.

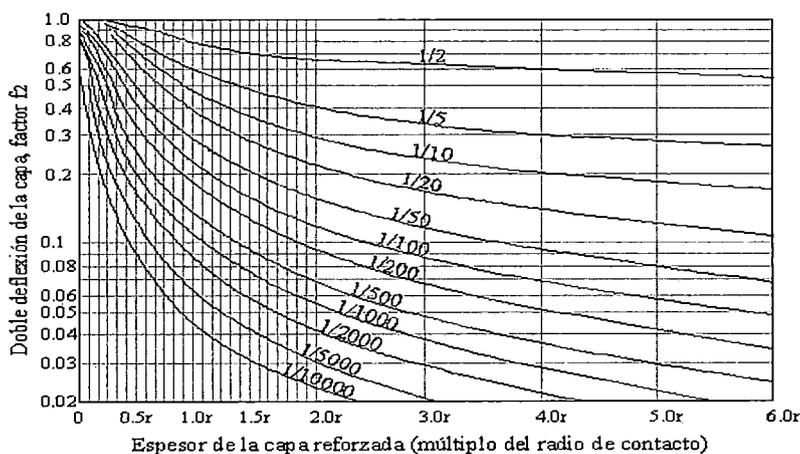


Figura N° 2.11: Gráfica de obtención de F_2 .

2.2.1.3 Métodos de espesores equivalentes:

Hasta ahora se habló de modelos donde estaba el plato circular, la carga de un material único para calcular la respuesta de tensiones y deformaciones unitarias, deflexiones o la deformación total. Sin embargo, ahora tenemos sistemas de capas, donde la primera capa, tiene su coeficiente de Poisson y su módulo, las demás capas presentan una altura "h" de espesor y un módulo distinto para cada una de ellas, ver figura N° 2.12.

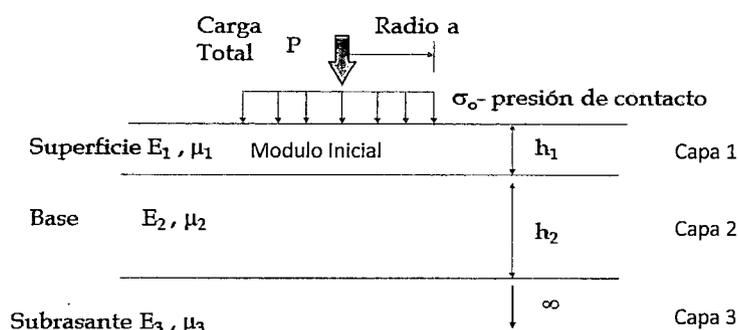


Figura N° 2.12 Sistema de Capas (Fuente Propia)

Con este método "MET", (método de espesores equivalentes), lo que se hace, es transformar el sistema de capas a un solo material, que sí es un semiespacio infinito, la transformación se hace usando métodos de odemark, burminster, y las tensiones, deformaciones y deflexiones, se calculan utilizando las ecuaciones de 1895 del francés Boussinesq. La idea es poder transformar la capa 2 y 3 en la capa 1, y decir este sistema de capas es equivalente a este otro de una sola capa.

En 1949, Odemark, desarrollo el método de espesor equivalente "MET", la cual es una herramienta práctica, cuando se supone un sistema compuesto por capas elásticas, en el cual se transforman los espesores reales en equivalentes de un material homogéneo con lo cual se calculan los esfuerzos y deformaciones mediante las ecuaciones de Boussinesq.

Se tiene E_1 y E_2 , dos materiales distintos y se quiere llegar solo a E_2 , convirtiendo el espesor definido a un equivalente, que represente la capa E_2 , con la misma rigidez, ver figura N° 2.13.

$$\frac{h_1 E_1 v_1}{E_2 v_2} \Rightarrow \frac{h_e E_2 v_2}{E_2 v_2}$$

Figura N° 2.13 Método de Odemark o de espesores equivalentes

Para que la rigidez siga siendo la misma la siguiente expresión debe permanecer constante.

$$\frac{b \times h^3}{12} \times E$$

$$\frac{h_1^3 E_1}{1 - v_1^2} = \frac{h_e^3 E_2}{1 - v_2^2} \text{ or } h_e = h_1 \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_2} \times \frac{1 - v_2^2}{1 - v_1^2}} \quad \text{Ecuación 2.24}$$

De la ecuación 2.24, despejamos el espesor equivalente, la formula en teoría no funciona tan bien, así que a través de experimentación se calculan unos factores, que ajustan el cálculo de espesores equivalentes mediante la ecuación 2.25.

$$h_{e,n} = f \times \sum_{i=1}^{n-1} (h_i \times \sqrt[3]{\frac{E_i}{E_n}}) = f \times \left\{ \dots \left[\left(h_1 \times \sqrt[3]{\frac{E_1}{E_2}} + h_2 \right) \times \sqrt[3]{\frac{E_2}{E_3}} \right] \times \dots \times h_{n-1} \right\} \times \sqrt[3]{\frac{E_{n-1}}{E_n}} \quad \text{Ecuación 2.25}$$

Primera interface: $f = 0.9$ para sistema de dos capas, o si no $f = 1.0$

Otras interfaces: $f = 0.8$

CAPÍTULO III

DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO LIVIANO (LWD)

3.1 EQUIPO A USAR

3.1.1 Introducción del deflectómetro de impacto liviano LWD

El deflectómetro de impacto liviano (LWD), comprende la norma técnica ASTM D2583, esta norma ha sido publicado bajo la designación fija de E 2583, y se muestra a detalle en el Anexo 2. Este método de ensayo cubre la determinación de desviaciones de las superficies sin pavimentar y pavimentadas sin carpeta asfáltica, con un peso ligero y portátil, por lo que generalmente se utiliza en las capas de pavimento.

En la década mecanicista o analítica de los 70, se da un mayor apoyo internacional a la ingeniería de pavimentos con lo que se introdujo el "LWD", portátil en el mundo, como un nuevo método para determinar el módulo de elasticidad de las diferentes capas del pavimento. En los últimos años la demanda de un dispositivo automatizado ha surgido, por lo cual la empresa Dynatest pedirá el rediseño de su dispositivo de 1970, y la mejora de la automatización de la mecánica del "LWD", por medio de la última tecnología electrónica y software de análisis, que van mucho más allá de lo que actualmente se ofrecen en el mercado.

Los Deflectómetros en general son dispositivos dinámicos no destructivos herramientas de prueba usados comúnmente en el campo de los sistemas de pavimentos para medir una capa o un módulo de superficie. Entre los diversos dispositivos de ensayo utilizado para la evaluación no destructiva de capas firmes in-situ, el Deflectómetro (LWD), se ha convertido en el foco de creciente interés por la cual se comenzó a exigir el cumplimiento de prueba de campo del módulo de superficie en capas de pavimento. Además de otras solicitudes de deflectometría, las versiones portátiles en particular incluyen pruebas de cumplimiento, para la investigación de carreteras en general, (re)construcción, servicios públicos en carreteras, y muchos casos similares. El peso ligero del Deflectómetro portátil (LWD), se considera en general una herramienta relativamente rápida y económica si se utiliza adecuadamente.

3.2 DEFLECTÓMETRO DE IMPACTO LIVIANO

El Deflectómetro de Impacto Liviano (LWD), es un equipo de impacto portátil, el cual realiza pruebas o ensayos no destructivos en el pavimento, fue creado para realizar mediciones in-situ de módulos elásticos de bases, sub-bases y subrasante de pavimentos de materiales no ligados. Ver figura N°3.1.



Figura N° 3.1: Deflectómetro de impacto liviano.

El principio de funcionamiento de este tipo de equipo es el mismo, que el del FWD, pero con cargas mucho menores. Consiste básicamente en un equipo de carga, que produce una carga dinámica, que impacta el suelo sobre un plato de carga y mide la deflexión mediante un geófono central.

Este equipo tiene su origen en Alemania y a la fecha existen diversos tipos de LWD, en el mercado, los cuales tienen un mecanismo similar de funcionamiento pero son bastante diferentes en su diseño y modo de operación, por lo que las mediciones con cada uno también son variables (Nazzal, 2003).

El LWD, es la alternativa más sencilla y económica para ensayos estáticos de carga ya, que es muy versátil debido a pesa menos de 20 kilos y puede ser fácilmente cargado en sitios de construcción de pavimentos. Además, no requiere mediciones referenciales por lo que puede reemplazar exitosamente los onerosos y largos ensayos estáticos de plato de carga.

Por otro lado, este equipo reproduce el nivel de tensiones de trabajo a la, que están sometidas las capas intermedias de un pavimento flexible.

En esta investigación se utilizó el LWD, "Keros Portátil" (Figura N° 3.2) de origen danés, fabricado por Dynatest.

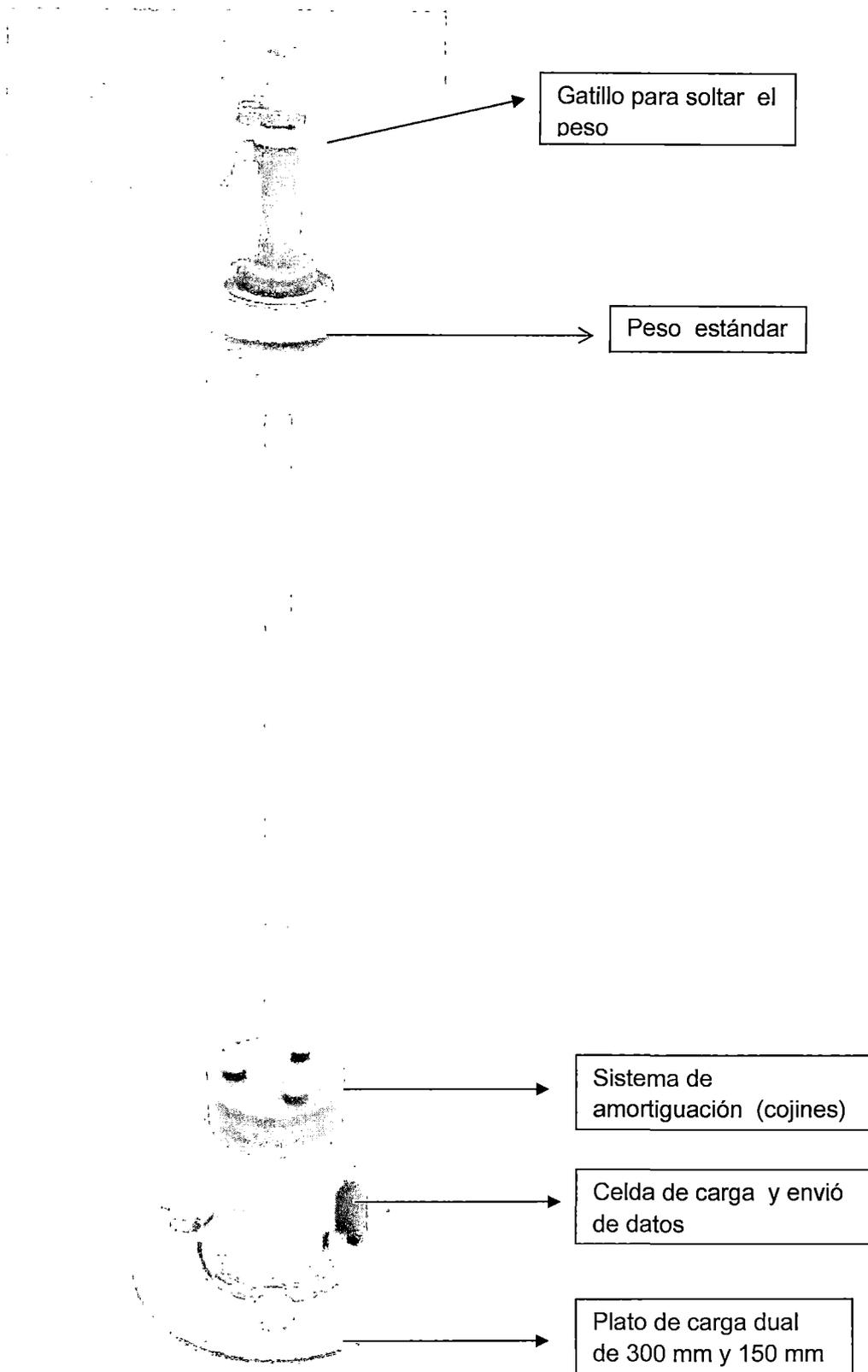


Figura N° 3.2: Partes del deflectómetro de impacto liviano

3.3 DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO

El equipo consta de diversas partes bien diferenciadas así tenemos:

- Unidad principal con la célula integral de carga, sensor de deflexión central, unidad electrónica, módulo inalámbrico con compartimento de la batería, que incluye un diámetro de 150 mm, convertible a un diámetro de 100 mm.
- Placa de diámetro 300 mm (11,8 pulgadas), (para el sistema de placas Dual 150/300 mm).
- 300 mm (11,8 pulgadas), de diámetro acanalado jebe de goma.
- Caída peso eje guía, partes superior e inferior.
- Peso del gatillo
- 10 kg (22 libras) de peso básico de la gota.
- Enchufe de bloqueo Sensor
- Cargador de batería estándar (AA, RC6) incluye 4 pilas recargables

3.3.1 Equipamiento opcional

- Caja de transporte para equipos estándar
- Carro Transporte
- 5 kg (11 libras) (2 máx) peso de caída adicional (s)
- 2 Pilas almohadilla intermedia (1 pila de 4 pastillas de color rojo más 1 pila de 2 almohadillas negras)
- Carga Placa Ø200 mm (7,9 in)
- Sensor de deflexión (s) adicional (uno o dos)
- Barra de extensión del sensor de hasta dos sensores de desviación.

3.4 PREPARACIÓN DEL LWD PARA SU USO

- Coloque el diámetro de 300 mm, y el jebe de goma acanalada sobre una superficie plana.
- Coloque la placa de carga de 300 mm en el jebe de goma acanalada
- Gire los 3 cierres rápidos para hacer clic a bloquear en una posición "abierta" (es decir, contra 90 grados hacia la derecha desde la posición mostrada en la figura N 3.2).

- Compruebe, que el sensor central (en la parte inferior de la unidad principal) esté ajustada. En el caso de realizar la prueba en un material muy suave, puede ser necesario desenroscar la desviación del sensor y reemplazarlo por el enchufe suministrado bloqueo sensor y a continuación, conectar el orificio central de la placa de 150 mm y también bloquear el geófono central de la placa.
- Coloque la unidad principal en el centro de la placa de 300 mm, de modo, que las perillas estén en posición vertical a la placa de 300 mm y esta encaje en la ranura de acoplamiento en el borde de la placa de 150 mm, en la parte inferior de la unidad principal.
- Girar el contador de la unidad principal hacia la derecha hasta, que el pasador indicador este en el extremo de la ranura en la marca de grabado "300mm" (en el marco del módulo electrónico)
- Cierre cada uno de los 3 cierres rápidos. Primero gire la perilla volteada hasta el agujero justo detrás del mando vertical y la pieza de sujeción (opuesta a la rueda), está en su posición superior, luego gire y cierre a presión 90 grados en dirección de las agujas del reloj gire el mando con firmeza y ajuste.

Añadir el paquete de Buffer (Cojines), apropiado: Las tres pequeñas almohadillas adicionales deben estar siempre en la parte superior de la pila almohadilla intermedia.

a. Para el peso básico de 10kg, aplicar primero la pila baja de "2" pads grises, entonces la pila de "4" cojines negros (Con las tres almohadillas pequeñas adicionales en la parte superior), ver figura N°3.3.

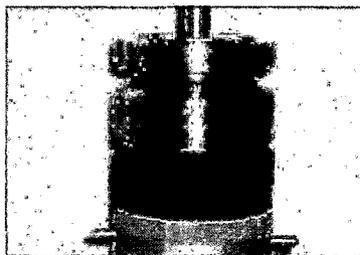


Figura N° 3.3: Cojines negros y grises

Si bien se utiliza el peso de caída de 10kg, para materiales de fundación tenemos también los pesos de 15 kg o 20 kg, para evaluar materiales de mayor capacidad para lo cual se deben de agregar las pilas tapón de la siguiente manera:

c. Para el peso de 15 kg (1 x 10 kg más 1 x 5 kg pesos), aplique primero el de baja pila de "2" cojines negros, luego entonces la pila de pastillas "4" Gris (con la tasa adicional del tres pastillas más pequeñas en la parte superior), ver figura N° 3.4.



Figura N° 3.4: Cojines grises y negros.

d. Para el peso de 20 kg (10 kg x 1 y 2 x 5 kg pesos), aplique primero el de baja pila de "2" pads grises luego la pila de "4" cojines grises (con la tasa adicional de las tres pastillas más pequeñas en la parte superior), ver figura N° 3.5.

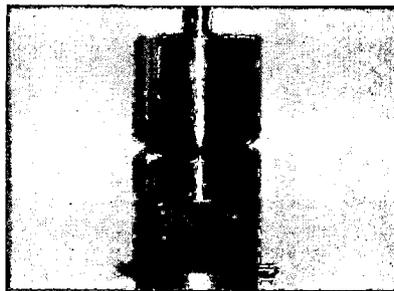


Figura N° 3.5: Cojines grises.

- Atornille la parte inferior de la guía de pesas en el vástago de la parte superior de la unidad principal LWD.
- Deslice el peso de caída sobre el menor peso del eje guía en la pila de pastillas de los cojines combinados.
- Haga un ajuste moderado en el collar de bloqueo del conjunto del gatillo, luego inserte la parte superior de la guía del eje a través del centro del ensamble de gatillo.
- Vuelva a apretar el anillo tensor.
- Conecte la parte superior e inferior de la guía de pesas.

3.4.1 Peso de caída adicional (S)

3.4.1.1 Configuración de la Caída con un Peso 15 kg.

- Mueva el Ensamble del gatillo. A la parte superior de la Guía de Pesas eje.
- Desenrosque la parte superior de la guía de pesas, eje de la parte inferior
- Retire el peso básico de 10kg
- Vuelva a colocar la pila de pastillas de cojines combinados con el caso de pila combinada para el peso 15 kg.
- Vuelva a colocar el peso de 10 kg.
- Coloque los 5 kg adicionales de peso de caída con seis imanes en la parte superior del peso de 10kg, luego ajustar con la llave Allen y tornillos.
- Luego suba a la parte superior el conjunto de pesas mediante el eje guía.

3.4.1.2 Configuración de la Caída con un Peso 20 kg.

- Mueva el ensamble del gatillo. A la parte superior de la Guía de Pesas eje.
- Desenrosque la parte superior de la guía de pesas eje de la parte inferior.
- Retire el actual peso de caída (10 a 15 kg).
- Vuelva a colocar la pila de pastillas de cojines combinados para el siguiente caso de un peso de 20 kg, el orden de la pila combinada se explicó anteriormente.
- Vuelva a aplicar el peso de caída actual.
- Si el peso de caída actual es de 15 kg, omita el siguiente paso.
- Coloque los 5 kg, adicionales de peso de caída con seis imanes en la parte superior del peso de 10kg, luego ajustar con la llave Allen y tornillos.
- Coloque los 5 kg, adicionales de peso de caída con ocho imanes en la parte superior del peso 15kg, luego ajustar con la llave Allen y tornillos.
- Luego suba a la parte superior el conjunto de pesas mediante el eje guía.

3.4.2 El volumen de capturas

- Gire el collar del volumen de capturas, para permitir, que esto se mueva hacia arriba y hacia abajo para la altura de caída deseada. Vuelva a apretar el cuello para asegurar el ensamble del gatillo en su lugar.
- Levante el peso hasta, que los imanes del peso de caída den "click" y bloquee la parte inferior del seguro.
- Sujete el volumen de capturas. De tal manera, que el dedo índice está sobre el peso del gatillo y el dedo meñique es el pasador de seguridad.

3.4.2.1 Para liberar el peso

- Mantenga en el cerrojo de seguridad y luego pulse el peso del gatillo, picaporte de seguridad
- Mantenga pulsado el ensamble del gatillo. Firmemente hasta, que el peso de caída rebote y se detenga, ver figura N° 3.6.

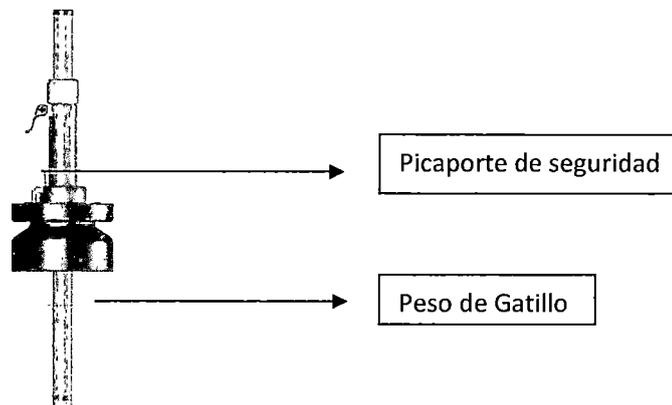


Figura N° 3.6: Simulación de la liberación del peso.

3.4.3 El sistema de doble placa

El LWD, viene de serie con una doble placa de 150 mm y la placa de 300 mm de diámetro, que se puede conmutar entre sí sin quitar el "LWD", desde un punto de prueba, presentamos los pasos a realizar para el uso del sistema de doble placa, ver figura N° 3.7.

- Coloque la almohadilla de goma acanalada debajo de la placa dual de 300 mm de diámetro.

- Si ambos tamaños de placas se utilizan en un mismo punto de prueba, a continuación siempre ensaye en primer lugar con la placa de 300 mm, luego con la placa de 150 mm.
- Girando hacia la izquierda los 3 mecanismos de cierre a presión, los bloqueos pueden ser liberados y convertidos 90 grados a cualquier altura.
- Con cierres rápidos en libertad, la unidad principal LWD, puede girar utilizando los tiradores de rotación del LWD.

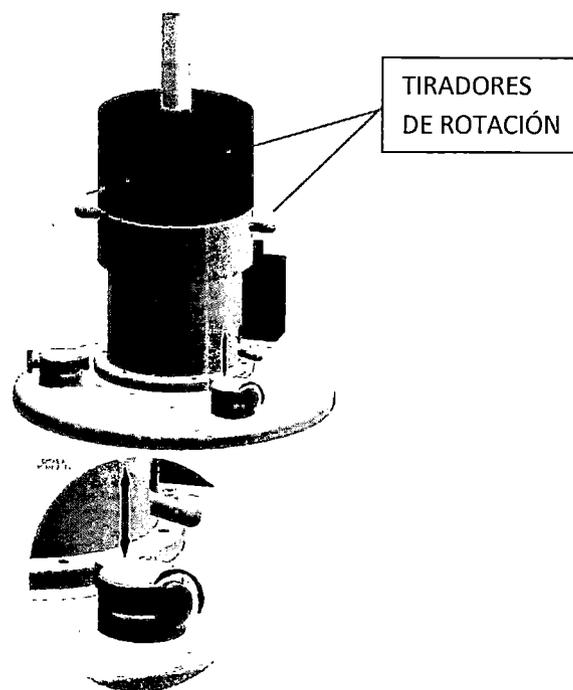


Figura N° 3.7: Sistema dual de placas 300 mm y 150 mm

- Mediante la rotación de la unidad principal, el pasador indicador en la ranura del borde de la placa de 150 mm se moverá desde el 150 mm a 300 mm marcado o viceversa, lo que indica, que el diámetro de la placa está en uso.
- Al seleccionar los 300 mm de placa, los 3 cierres rápidos deben estar bloqueados firmemente girando hacia la derecha el cierre a presión un orificio transversal detrás del bloqueo se puede utilizar para un mayor ajuste utilizando por ejemplo, una llave Allen de 4 mm, un pequeño destornillador o similar .

- Al seleccionar la placa de 150 mm, los 3 cierres rápidos deben ser dejados en libertad (pero preferiblemente no voltearlos a 90 grados). Es importante, que el pasador indicador se mantenga en el mismo extremo de la ranura en la marca de 150 mm, para cualquier caída hecha con esta configuración.

3.4.4 Centro y Sede del geófono

- Justo antes de la primera caída en un punto de prueba, presione hacia abajo y luego suelte la palanca del centro para asegurar, que el geófono central está colocado correctamente (Vertical).
- Esto se puede repetir en cualquier momento entre las caídas y siempre se debe hacer si la placa ha cambiado de posición después de una caída, ver figura N° 3.8.

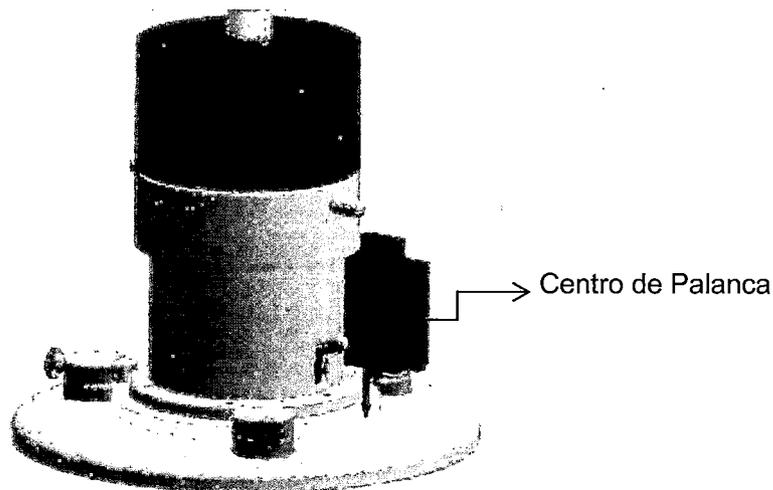


Figura N° 3.8: Ajuste del geófono central "Centro de Palanca"

3.4.5 Geófonos adicionales

- Conecte los geófonos adicionales a los conectores los cuales presentan un código de enumeración para cada geófono y se encuentran al lado derecho de la unidad electrónica.
- Es muy importante, que el geófono número 2 esté conectado a D2 y geófono número 3 a D3. Cada módulo debe presionar hasta, que encaje con un clic, ver figura N° 3.9.

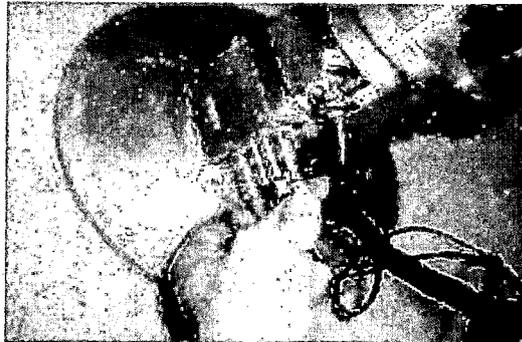


Figura N° 3.9: Conectores adicionales D2 y D3

- Utilice la cinta de nylon de la barra de extensión de los geófonos para asegurar la distancia correcta desde el centro de la placa, ver figura N° 3.10.



Figura N° 3.10: Cinta nylon de la barra de extensión

- La escala en la viga es en pulgadas, y se puede ajustar y determinar la posición de los geófonos, desde el centro de la placa para la entrada al programa de campo, ver figura N° 3.11.

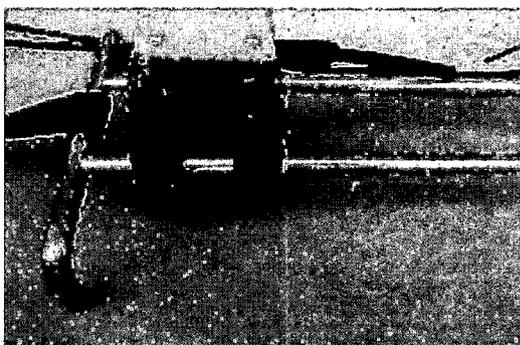


Figura N° 3.11: Barra de extensión con la posición de los geófonos.

- Asegurarse de que los 2 sensores adicionales se coloquen verticalmente en la capa base/sub-base.
- Los sensores deben mantenerse vertical y el cable no tiene, que presentar tensión.

3.5 FUNCIONAMIENTO

El funcionamiento de este equipo se puede explicar en forma sencilla observando la Figura N° 3.12.

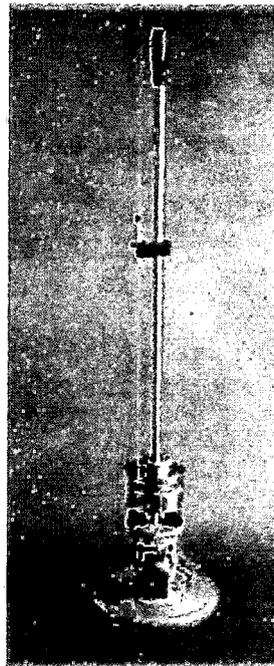


Figura N° 3.12: Funcionamiento del LWD.

El mismo se coloca sobre la capa, que se desee medir con el plato bien apoyado, luego se levanta la carga hasta la altura necesaria para reproducir la presión requerida sobre la capa evaluada y se deja caer libremente la carga. La barra por donde se desliza la carga posee una manija ajustable con dispositivo de seguridad, que se emplea para determinar la altura de caída del peso. La carga impacta sobre unos amortiguadores de caucho, que son los, que determinan la duración y valor pico del pulso de carga, a mayor número de amortiguadores se da un pulso más corto y pico de carga más alto.

El equipo está equipado con una célula de carga de precisión, que mide la fuerza de impacto, que produce el peso de caída, posee también un geófono de precisión (sensor de velocidad sísmica), que mide la velocidad con que se deforma la capa evaluada a causa del impacto producido por la carga.

El geófono, está en contacto directo con el material de capa a evaluar a través de un orificio en el plato de carga, obteniéndose así mediciones más precisas.

Este equipo "LWD", se conecta de forma inalámbrica a un computador portátil o a uno de bolsillo, al cual transmite en forma instantánea los valores medidos por la celda de carga y el geófono. Con estos valores el software instalado en el computador calcula y muestra inmediatamente el valor de módulo de superficie de la capa evaluada, según la siguiente ecuación.

$$Eo_{LWD} = \frac{f * \sigma * a}{\delta} (1 - \mu^2) \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Dónde:

Eo_{LWD} : Modulo de Superficie.

f : Distribución de tensión.

σ : Presión aplicada.

a : Radio del plato de carga.

δ : Deflexion Central.

μ : Valor de Poisson.

El programa genera y muestra instantáneamente los gráficos históricos de impacto y deflexión de todos los sensores activos.

Las mediciones obtenidas pueden ser impresas o transferidas para procesamiento posterior en hoja electrónica o documento de texto. La medición correspondiente a una caída se puede obtener en aproximadamente 40 a 60 segundos. Los parámetros de radio de Poisson y factores de distribución de esfuerzos se pueden definir en la configuración del usuario.

3.5.1 Principales características de funcionamiento

- La electrónica del "LWD", está interconectado a una computadora de mano a través de una conexión Bluetooth inalámbrica.
- La electrónica desarrollada para este equipo son a prueba de polvo y salpicaduras de agua para un uso exterior seguro.
- La altura de caída se ajusta con facilidad y rapidez por un ensamble de captura móvil.
- Una escala de grabado láser en el eje de guía, permite un fácil ajuste de la altura de caída deseada.
- La magnitud de la fuerza de impacto se determina a partir de mediciones reales por una célula de carga de precisión, la medición de la historia en el tiempo y el valor pico de la fuerza de impacto con un peso estándar de 10kg o las configuraciones de masa de 15 kg o 20 kg son opcionales.
- El diámetro de la placa de carga fácilmente se puede cambiar entre 300 mm y 150 mm. El diámetro de la placa de 100 mm, también está disponible así como como una placa de 200 mm.
- El historial del tiempo para el centro de deflexión así como su valor máximo se mide a través de un agujero en la placa de carga por un transductor sísmico de alta precisión (geófonos).
- El equipo tiene la capacidad de asegurar, que el geófono central está centrado y asentado correctamente.
- Opcionalmente, se pueden añadir dos geófonos adicionales más.

3.6 OPERACIÓN DEL DEFLECTÓMETRO

Las actividades a realizar en campo se han definido en 2 partes fundamentales y son:

- Puesta a punto
- Actividades de campo

3.6.1 Puesta a punto:

Se refiere netamente a una serie de operaciones, verificaciones y comprobación de la operatividad del equipo a fin de obtener condiciones óptimas de funcionamiento. Este paso es fundamental ya, que las mediciones con el deflectómetro de impacto liviano son registradas a un computador de mano (Pal), que recolecta toda la información de campo.

Razón por la cual es necesario verificar el óptimo estado de las partes, que conllevan a los resultados. Esto está muy relacionado con las acciones necesarias para la seguridad del equipo y del personal, que está operando ya, que estas mediciones se realizan en la calzada.

De acuerdo al Long – Term Pavement Performance (LTPP), y a los criterios optados en campo la puesta a punto se puede clasificar en varios pasos las cuales son:

- Selección del personal adecuado
- Inspección visual de las rutas o tramos a evaluar
- Llegar al punto de medición
- Coordinación con el personal
- Inspección de la sección a ensayar
- Inspección, armado y ajustes del equipo
- Verificación del funcionamiento

Esta secuencia de procesos, dan inicio a la parte inicial de las mediciones con el deflectómetro de impacto liviano las cuales se puede resumir en el siguiente diagrama, ver Figura N° 3.13.

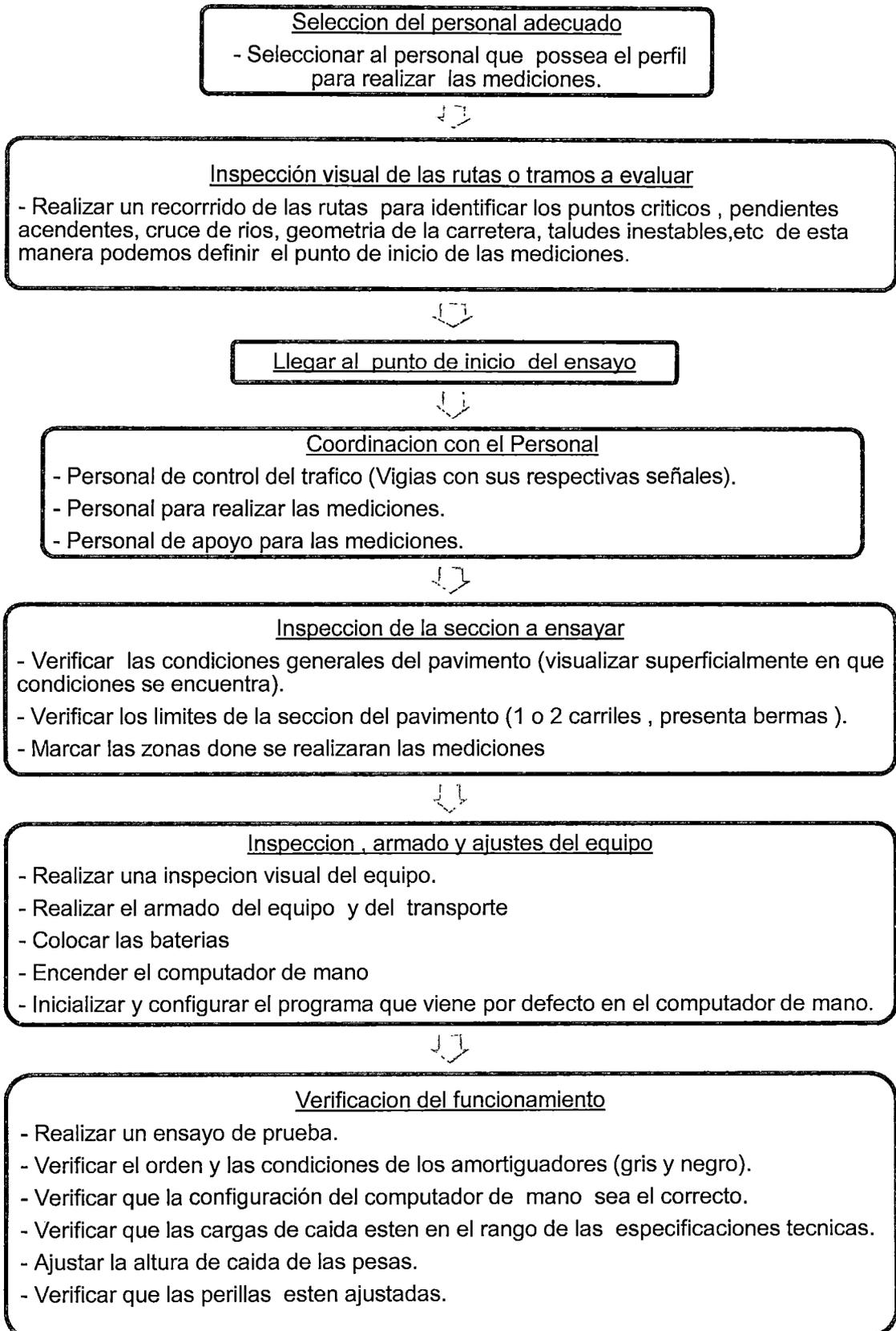


Figura N° 3.13: Diagrama del flujo de la puesta a punto del equipo LWD

3.6.2 Actividades de campo:

Es la parte operativa en sí misma, la recolección de los datos de campo: presión, deflexiones, módulos de superficie, condición del estado del pavimento, etc.

De acuerdo al Long- Term Pavement Performance (LTTP), la parte final del trabajo de campo se puede subdividir en lo siguiente pasos, ver Figura N° 3.14:

- Recolectar la información de las deflexiones.
- Hacer el seguimiento de la recolección de deflexiones y módulos de superficie y realizar la copia de seguridad de la información obtenida.
- Verificación e inspección del equipo para el viaje de retorno.

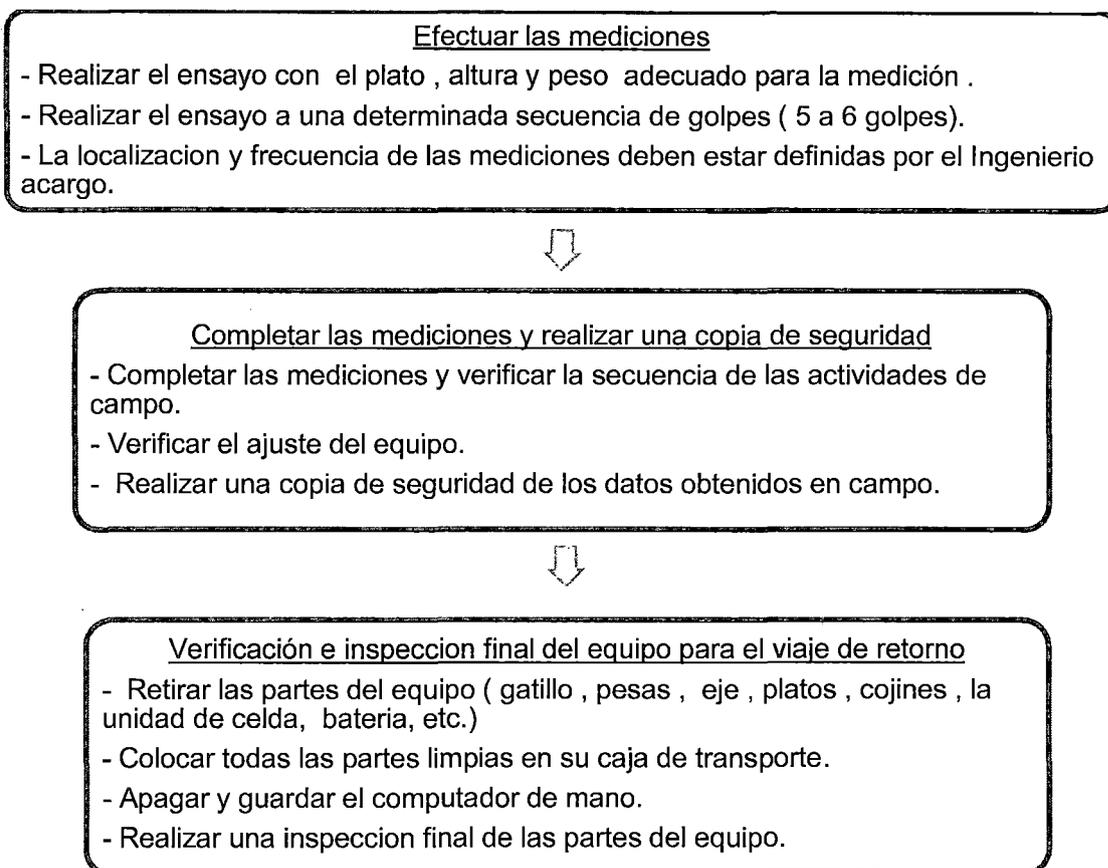


Figura N° 3.14: Flujo del trabajo de campo con el equipo LWD.

3.7 FACTORES QUE INTERVIENEN EN LA TOMA DE DATOS

Para la realización adecuada de las mediciones de campo con el equipo, se debe tener en consideración diversos factores, que influyen en la medición las cuales son:

- Tipo de material de las capas granulares.
- Espesores de las capas granulares.
- Factores ambientales.
- Carga y altura.
- Estabilización del plato de carga.
- Numero de golpes por punto evaluado
- Carga aplicada en el pavimento.
- Condición del pavimento.
- Módulo resiliente en la Subrazante.
- Variación de la sección de pavimento.
- Temperatura del medio ambiente y del pavimento.
- Humedad del pavimento.
- Calidad de las capas de los pavimentos.

De todos estos factores, se han identificado los, que tienen mayor influencia en la toma de datos los cuales son:

- Espesores de las capas granulares.
- Condición del pavimento.
- Factores ambientales.
- Carga y altura aplicada en la medición.
- Estabilización del plato de carga.

3.7.1 Espesor de las capas granulares

Los espesores de las capas granulares del pavimento, son un factor importante para el análisis de los módulos retro analizados; si vamos a realizar ensayos en pavimentos, que ya tienen cierto tiempo de transitabilidad y no contamos con los datos de espesores de las capas, el equipo puede calcular un valor estimado de estos realizando el ensayo con las placas duales. Pero si realizamos ensayos en pavimentos, que presentan in-situ proceso constructivo la información de espesores se pedirá al contratista correspondiente. Es de vital importancia esta información ya, que un mal valor de espesores traerá como consecuencia un análisis subjetivo, que no se ajusta a realidad y por lo tanto módulos, que no corresponden a dichas capas.

3.7.2 Condición del pavimento.

La condición del pavimento en las capas granulares tiene un efecto significativo dentro de la medición. Si la solución básica es una compactación de material granular, la superficie de los puntos donde se van a realizar las mediciones deben estar limpias de polvo y debe ser una superficie plana si presencia de irregularidades. Si la capa granular es una solución estabilizada verificar, si la superficie de aquellas secciones presentan fisuras, grietas, huecos, desprendimiento del material granular, presencia de lodo, donde se obtendrán mayores deflexiones, que en aquellas zonas libres de estas deficiencias, razón por la cual se recomienda no realizar ensayos en aquellas zonas donde exista una alta presencia de estos problemas, sino realizarlos en una zona cercana.

En cualquiera de los casos sea solución básica o estabilizada la superficie de contacto entre la capa granular y el plato de carga debe limpiarse y ser lo más plana posible si presencia de irregularidades, si tuviese estos problemas colocar una capa de arena para conseguir, que la superficie se plana en el punto de ensayo.

3.7.3 Factores ambientales

Dentro de los factores ambientales tenemos la humedad y la temperatura las cuales son un factor, que afectan a la medición de deflexiones ya, que a bajas temperaturas provoca el congelamiento de las capas granulares del pavimento dando una rigidez aparente a la estructura.

Y como resultado el equipo va a registrar deflexiones bajas y módulos altos, a lo largo del día; la temperatura en las mañanas son bajas y aumentan gradualmente hasta llegar a un máximo y luego bajan drásticamente hasta llegar a la noche, que son comparables a los de la mañana. También hay, que tener presente la temporada en la cual nos encontramos invierno, verano.

Teniendo en cuenta estos factores el ingeniero a cargo puede percibir, que las mediciones realizadas en una misma sección pueden variar de acuerdo a la hora del ensayo es por ello, que el ingeniero debe tomar las mediciones con criterio, que garanticen los mejores resultados de la estructura; además de acuerdo a las condiciones de bombeo y drenaje no será comparable hacer un ensayo en la temporada de invierno, que en verano, ya que se obtendrán resultados diferentes en una misma sección y no por ello decir, que se está cometiendo errores en el manejo del equipo.

3.7.4 Carga y altura aplicada en la medición

El operador selecciona la altura de caída para controlar la tensión de contacto máxima (máxima fuerza dividida por el área de la placa), o puede seleccionar por error una altura de caída por ensayo para controlar el rango de deflexión máxima medida.

En general los módulos de las capas del pavimento, deben medirse al nivel tensional, que el material estará expuesto cuando se termine la construcción. Este nivel normalmente es 10 - 50 Kpa, sobre la sub-rasante, 50 - 150 KPa en recubrimiento de drenaje (ejemplo; arena) y 100-200 KPa sobre la sub base o base (por ejemplo, grava). Se recomienda siempre hacer mediciones desde 3 o 4 diferentes alturas/tensiones – de esta manera siempre es posible interpolar o extrapolar al nivel de tensión correcto.

3.7.5 Estabilización del plato de carga

La estabilización del plato es un factor importante para las mediciones, si utilizamos el plato de mayor diámetro 300 mm, el área de contacto entre la superficie y el plato es mayor por lo tanto la estabilidad es mejor pero aun así se tiene, que pisar el plato en la parte externa si es, que la superficie es irregular o si nos encontramos en pendientes.

Conforme vas disminuyendo el área del plato el ensayo se hace más inestable, porque el área de contacto es menor y se requiere mayor estabilidad al momento de realizar el ensayo, por lo, que se debe de pisar el plato de carga para darle mayor estabilidad al equipo, de manera que se obtengan resultados óptimos, que garanticen las características de las capas granulares.

3.8 RECOMENDACIONES EN LA TOMA DE DATOS

La recomendación referente a la toma de datos de campo es aplicable a todos los ensayos con el deflectómetro de impacto liviano, dependiendo de la magnitud del proyecto (sea pavimentos a nivel de red o de proyecto, investigación), se deben considerar los siguientes puntos, que a continuación se detalla:

- Definir la frecuencia de mediciones del pavimento con el contratista o proyecto o entidad de acuerdo a los TDR.
- Definir las frecuencias longitudinales y transversales del ensayo.
- Definir la secuencia de las caídas de las pesas y o alturas
- Definir con cuantos sensores pretende realizar el ensayo con el central o con los 2 adicionales.
- Si la lectura de un punto sale distinta a los demás se recomienda sectorizar el punto, tomar mediciones de 2 a 3 metros atrás y adelante del punto de tal manera de verificar si se realizó mal la medición (el ensayo se realizó sobre una capa rígida o roca), en el punto o se trata de un sector defectuoso ya sea por mal procesó constructivo.
- No realizar mediciones colineales a los ejes de las alcantarillas ya, que sus capas presentan material de relleno lo que hace, que los valores de deflexiones resulten altos se recomienda realizar el ensayo 4 a 5 metros atrás o adelante.
- Verificar que todos los seguros del equipo estén ajustados para no alterar los resultados de las lecturas.
- Realizar las mediciones en la huella vehicular de la llanta ya que es allí donde se generan los mayores estados tensionales durante su vida útil.

- No realizar mediciones cuando se presentan lluvias fuertes ya, que el equipo no puede estar expuesto a fuertes impactos de agua, si se presenta garuas leves a moderas continuar con las mediciones sigilosamente.
- Cada 5 km de avance llevar un registro de los datos de campo medidos, para limitar el efecto de pérdida de datos si la unidad de almacenamiento electrónico se vuelve defectuosa.

3.8.1 Localización y frecuencia de muestreo

La localización del ensayo puede variar de acuerdo con el uso, que se le dará a los datos obtenidos. En la mayoría de los casos, la primera aproximación se realiza con un ensayo en la trayectoria de la huella de las llantas del vehículo, debido a que la respuesta del pavimento en esa zona, refleja el efecto del daño, que se ha acumulado.

Los puntos de localización dependerán:

1. Si las carreteras afirmadas de tránsito presentan 1 carril la configuración de la localización se dará de la siguiente manera. Ver figura N° 3.15.

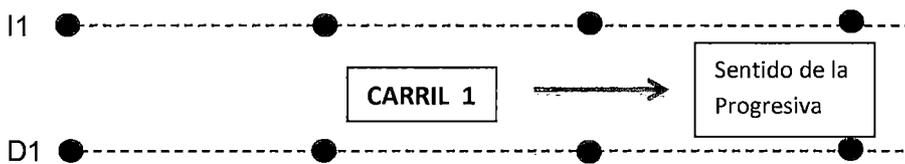


Figura N° 3.15 Puntos de localización para un carril.

2. Si las carreteras afirmadas de tránsito presentan 2 carriles la configuración de la localización se dará de la siguiente manera, ver grafica N°3.16.

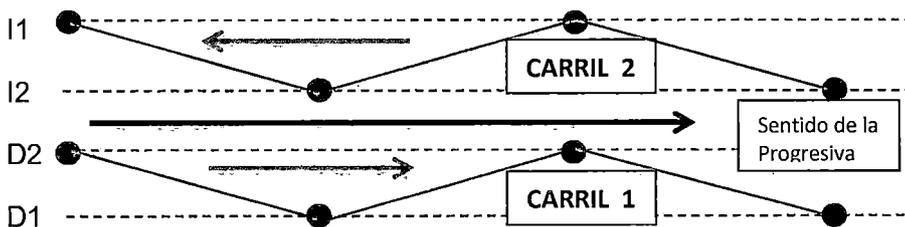


Figura N° 3.16 Puntos de localización para dos carriles.

Nomenclatura:

Carril 1

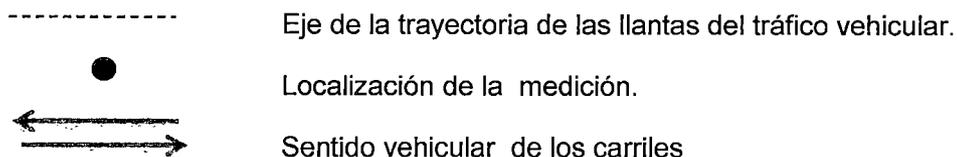
Carril 2

D1: Lado derecho

I1: Lado derecho

D2: Lado izquierdo

I2: Lado izquierdo



3.8.2 Frecuencia de las evaluaciones del pavimento

La frecuencia de evaluación, deberá ser de acuerdo a lo estipulado en los contratos de servicios o términos de referencia. El contratista deberá realizar un seguimiento de control de calidad al proceso constructivo para su respectiva valorización, por lo cual se recomienda, que se realizarán con una frecuencia mensual para llevar un control de calidad en campo respecto al proceso constructivo.

3.8.3 Frecuencia de la medición longitudinal en campo

La frecuencia de la medición longitudinal en campo, depende mucho de la magnitud del trabajo a realizar y estas deben ser clasificadas de acuerdo con el nivel de detalle.

3.8.3.1. Para pruebas a nivel de red

Las pruebas de deflectometría se deben realizar a intervalos de 200 m a 500 m, dependiendo de las condiciones específicas del pavimento y el ancho de la vía.

1. Si las carreteras afirmadas de tránsito presentan un carril, la frecuencia se dará de la siguiente manera de acuerdo a la Figura N° 3.17.

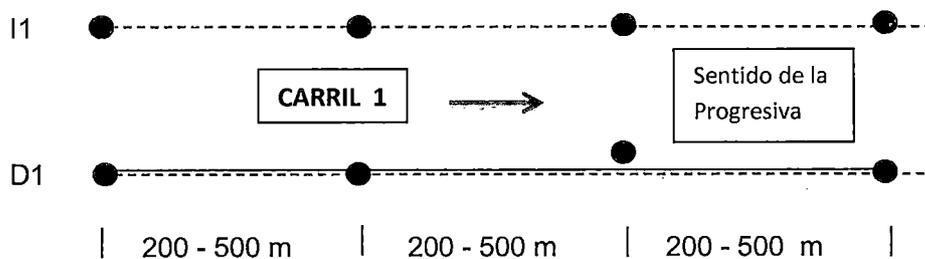


Figura N° 3.17 Frecuencia de medición a nivel de red para un carril

2. Si las carreteras afirmadas de tránsito presentan dos carriles la frecuencia se dará de la siguiente manera de acuerdo a la figura N° 3.18.

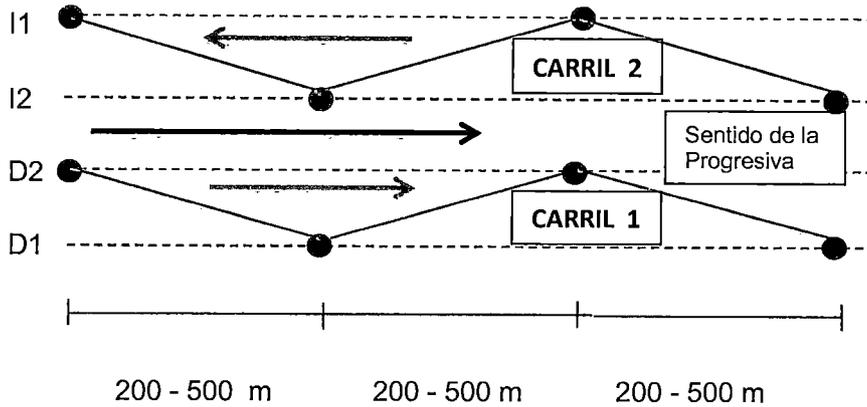


Figura N° 3.18 Frecuencia de medición a nivel de red para dos carriles

3.8.3.2 Para pruebas a nivel Proyecto

Este nivel de prueba requiere un análisis más detallado de la vía. La prueba debe realizarse en intervalos de 50 m a 200 m, dependiendo de las condiciones específicas del afirmado y la longitud de la sección de mismo.

1. Si las carreteras afirmadas de tránsito presentan un carril. Se deberá efectuar las mediciones con una frecuencia de 50.00 m a 200.00 m a lo largo de toda la vía del carril como se observa en la figura N° 3.19.

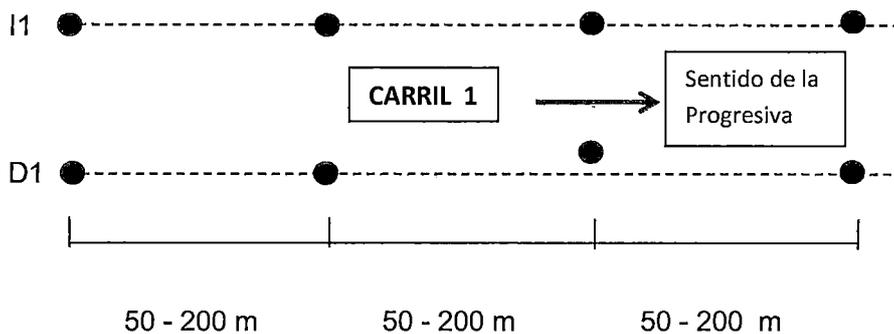


Figura N° 3.19 Frecuencia de medición a nivel de proyecto para un carril

2. Si las carreteras afirmadas de tránsito presentan dos carriles. Se deberá efectuar las mediciones con una frecuencia de 50.00 m a 200.00 m, alternada en cada sentido a lo largo de toda la vía y para cada carril como se observa en la figura N° 3.20.

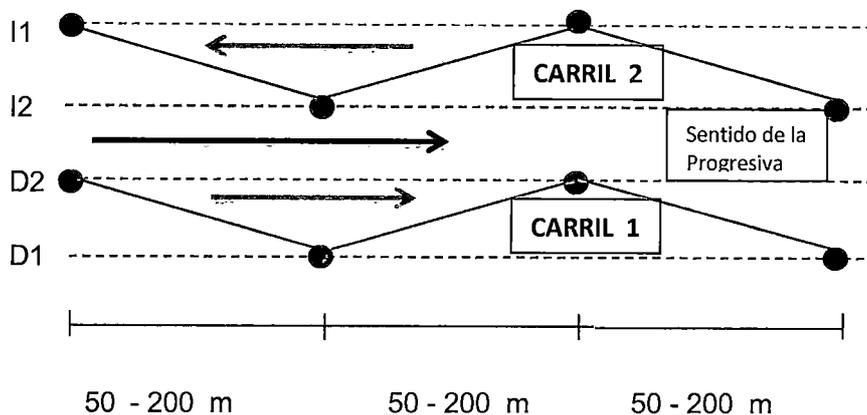


Figura N° 3.20 Frecuencia de medición a nivel de proyecto para dos carriles

3.8.3.3 Para pruebas detalladas o de investigación

Este nivel de prueba requiere un análisis muy detallado y específico de la vía para tramo de prueba o de investigación. Las pruebas se realizarán típicamente en intervalos de 5.00 m a 50.00 m.

1. Si las carreteras afirmadas de tránsito presentan un carril. Se deberá efectuar las mediciones con una frecuencia de 10.00 m a 50.00 m a lo largo de toda la vía del carril como se observa en la figura N° 3.21.

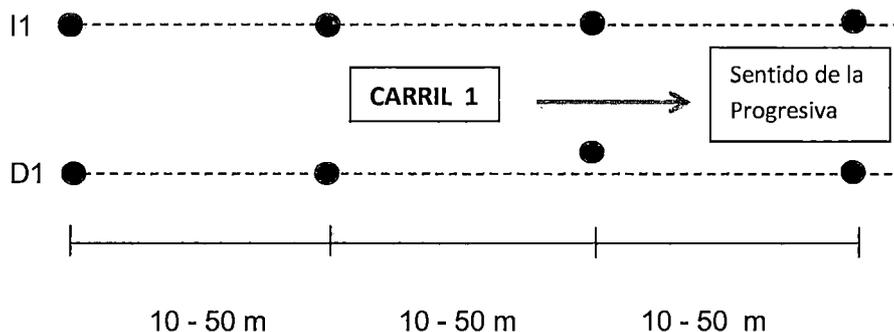


Figura N° 3.21 Frecuencia de medición a nivel de investigación para un carril

2. Si las carreteras afirmadas de tránsito presentan dos carriles. Se deberá efectuar las mediciones con una frecuencia de 5.00 m a 50.00 m alternada en cada sentido a lo largo de toda la vía y para cada carril como se observa en la figura N° 3.22.

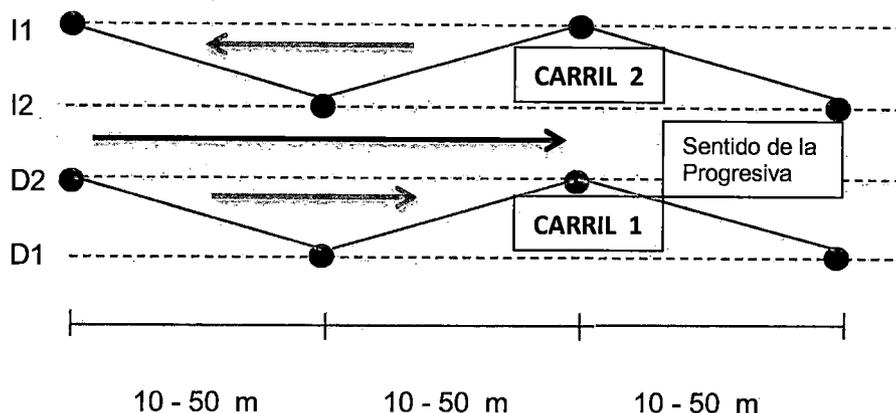


Figura N° 3.22 Frecuencia de medición a nivel de investigación para dos carriles

3.9 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL LWD

Las especificaciones técnicas del "LWD", se muestran en la siguiente Tabla 3.1, (Fuente: Elab. Propia), donde se puede observar, que cuenta con tres platos de carga con diferentes diámetros, diferentes alturas y 3 cargas de pesos distintos para lograr la presión deseada para cada medición.

Tabla N° 3.1: Especificaciones Técnicas LWD, (Fuente: Elab. Propia).

General	Dimensiones
Altura :	1,38 m (54,3 pulgadas), reunidos
Peso total :	Aprox. 20kg. (49 libras) (Std. equipo w / o Transporte Caja)
Altura máxima de Caída	85 cm
Carga	Características
Diámetro de los platos de carga	100 mm (3,9 pulgadas), 150 mm (5.9 in) y estándar de 300 mm (11.8 in).
Peso de Caída	10 kg (22 lb) (opcionalmente 15/20 kg (33/44 libras))
Altura de caída	850 mm (33,5 in) máx.
Rango de carga	0- 15 kN (de carga máxima con la opción de 20 kg)
Presión de Carga	De 210 y 480 Kpa, para platos de \varnothing 300 y 200 mm.
Forma del pulso	Esencialmente medio seno
Duración del pulso	15 -30 ms
Tiempo	6 -14 ms

Sensor de Carga	Características
Tipo de sensor	Célula de carga
Alcance	0-25,0 kN (0-5,500 lbf)
Precisión	2% ± 2 kPa (2,25 lbf)
Precisión	0,0003 kN (0.067 lbf)
Sensor de deflexión (s)	Características
Tipo de sensor	Transductor de velocidad (geófonos)
Número	1 con la unidad estándar (opcionalmente 1 o 2 sensores adicionales)
Alcance	0 a 2200 m (0-87 mil)
Frecuencia de muestreo	4000 Hz en cada sensor
Periodo de muestreo	60-120 ms (definido por el usuario)
Precisión	2% ± 2 σ M (0,08 mil)
Precisión	0.1 σ M
Transporte	Caja de transporte para equipamiento (opcional)
Material	ABS de alto impacto
La capacidad de carga	80 kg (176 lb)
Peso neto	11 kg (24 lb)
Dimensiones externas	750 x 500 x 250 mm (29.5 x 19.7 x 9.8 in)

3.10 CALIBRACIÓN

Se recomienda, que el "LWD", deba calibrarse cada 25.000 mediciones o cada segundo año. Todas las calibraciones se remontan a las normas nacionales de referencia de laboratorio.

Para tener el "LWD", calibrado se debe enviar la unidad principal sólo para Dynatest Dinamarca. Todas las calibraciones del LWD deben ser realizadas por Dynatest.

CAPÍTULO IV TEORÍA DE RETROCÁLCULO

4.1 ANTECEDENTES.

El retro-cálculo, es una metodología para determinar el Módulo de Elasticidad de un material, por medio de la medición de deflexiones superficiales del pavimento, haciendo uso de la teoría elástica lineal multicapa. En la actualidad hay equipos modernos para realizar dichas mediciones como el Deflectómetro de impacto liviano (LWD).

Los procedimientos de retro-cálculo son empleados hoy en día debido a tres grandes avances en la ingeniería de pavimentos:

- a. El hecho de que los pavimentos más fuertes (mayores espesores y/o materiales más rígidos) tengan menores deflexiones y pavimentos con menor espesor o rigidez tengan mayores deflexiones, vinculan el comportamiento del pavimento con la deflexión medida (conceptos desarrollados entre 1935 y 1960 por Hveem).
- b. El desarrollo de teorías mecanicistas que relacionan propiedades fundamentales de los materiales tales como: esfuerzos, deformaciones y deflexiones en un sistema multicapas (1940 a 1970).
- c. El desarrollo de equipos de medición de deflexiones precisos, compactos, versátiles y transportables (1955 a 1980).

Dentro de los antecedentes de la teoría de retro cálculo tenemos muchos métodos, que han ido evolucionando hasta la actualidad como son:

Métodos analíticos, este método es el más antiguo y a la vez es el más simple; el procedimiento de los cálculos requieren de una modelación previa, tanto de la sección estructural como de las cargas en otras palabras todas las propiedades reales de la estructura se deben introducir en una serie de funciones matemáticas a partir de las cuales se establecerán los correspondientes algoritmos para el cálculo tensional y de deformaciones, donde por lo general se emplearan matrices con lo que se obtendrán los módulos elásticos del conjunto del pavimento y de la sub-rasante.

Métodos por microcomputadoras, actualmente son los métodos más desarrollados en el mercado hay distintos programas para realizar el retro análisis cada uno basado con diferentes algoritmos, que optimizan sus resultados dentro los cuales tenemos: BOUSDEF, EVERCALC, MODCOMP, PEDD, UMPED, ELMOD6, MODULUS, LWDMOD. etc. Estos programas tienen como principio de análisis el tipo de carga aplicado y el método de caracterización del material los cuales pueden ser agrupados de la siguiente manera.

Tabla N° 4.1: Métodos de retro cálculo con microcomputadoras.

Carga aplicada	Caracterización del material
Estático	Análisis lineal
Estático	Análisis no lineal
Dinámico	Análisis lineal
Dinámico	Análisis no lineal

En la presente tesis se utilizará el software LWDmod, que realiza un análisis del tipo No lineal y Lineal Elástico.

4.2 TEORÍA DEL RETRO-CÁLCULO APLICADO A PAVIMENTOS FLEXIBLES

Si recapitulamos los conceptos anteriormente mencionados como la teoría elástica lineal multicapa se sabe, que surge como una respuesta a un diseño racional de pavimento que considera los esfuerzos, las deformaciones y las deflexiones en los pavimentos flexibles.

En general, los pavimentos flexibles están constituidos por un sistema multicapa, cuyo propósito es absorber los esfuerzos impartidos por el tráfico a valores tolerables por la sub-rasante. Los materiales están distribuidos de tal manera, que en las capas superiores se encuentran los materiales de mejor calidad y la sub-rasante posee la menor capacidad soporte.

Los avances más significativos en la definición de la relación entre esfuerzo, deformación y deflexión en estructuras multicapas, los han realizado investigadores como Boussinesq (1885), el cual realizó estudios en estructuras de una sola capa. Luego, Burmister (1943 a 1962) se destacó en el análisis de sistemas bi-capa y tri-capa, con otros investigadores como: Fox y Acum. (1951), Johns (1967), Pattie (1962), entre otros.

Para el desarrollo de los métodos racionales de análisis multicapas, se realizaron algunas simplificaciones e hipótesis, las cuales se indican a continuación:

- a. Las propiedades de los materiales de cada capa son homogéneas, esto significa que las mismas son iguales en cualquier punto.
- b. Cada capa tiene un espesor finito, excepto la última capa, adicionalmente todas son infinitas en el sentido lateral.
- c. Cada capa es isotrópica, esto significa que las propiedades en un punto son las mismas en todas las direcciones u orientaciones.
- d. Existe una fricción total entre las capas.
- e. No hay fuerzas de corte en la superficie.
- f. Las soluciones de los esfuerzos están caracterizadas por dos (2) propiedades de los materiales en cada capa. Dichas propiedades son: el Módulo Elástico (E) y el Coeficiente de Poisson (ν).

En base a las premisas indicadas, los modelos multicapas permiten estimar el estado de esfuerzos, definido por los esfuerzos principales, tangenciales, radiales y normales, así como las características propias de cada material, definidas por el Módulo Elástico (E) y el Coeficiente de Poisson (ν). Adicionalmente es posible estimar la deflexión en un cierto punto y a una cierta profundidad, para dicho estado de esfuerzos y características de los materiales. Este es el concepto básico para las distintas metodologías de retro-cálculo, en la cual se incluye la del Método AASHTO-93, en vista que la misma parte del conocimiento de la deflexión del pavimento para una cierta carga sobre un área conocida y modela el estado de esfuerzos, así como el Módulo de Elasticidad de los distintos materiales que conforman la estructura de pavimento.

4.2.1 Filosofía del Retro-cálculo

En la tabla N°4.2 se representa los fundamentos de la metodología del retrocálculo.

Tabla N° 4.2: Representación de la filosofía de Retrocálculo

CÁLCULO DIRECTO		
Datos de entrada		Resultados
E, D, μ	→	d, σ , ϵ
RETROCALCULO		
d, D, μ	→	E, σ , ϵ

Dónde:

E =módulo de los materiales.

μ =módulo de Poisson.

d =deflexión de la estructura de pavimento.

σ = Esfuerzo en cada capa de la estructura.

ϵ = Deformación unitaria.

D =espesor de las capas.

En el mundo existen varias metodologías de retro-cálculo, la mayoría de ellas desarrolladas a partir solo de las deflexiones obtenidas con el deflectómetro de impacto, por ejemplo la ASSHTO.

Sabemos que son escasas las metodologías desarrolladas a partir de las deflexiones bajo carga estática, debido a que estos procedimientos no simulan adecuadamente los efectos reales de cargas móviles.

4.3 DEFLECTOMETRÍA

4.3.1 Generalidades

La deflexión de una estructura de pavimento asfáltico es el desplazamiento vertical de la superficie del pavimento en respuesta a la aplicación de una carga externa. Cuando esta carga se aplica sobre la superficie, todas las capas se deflexan, desarrollándose esfuerzos y deformaciones en cada capa, como se observa en la figura N° 4.1

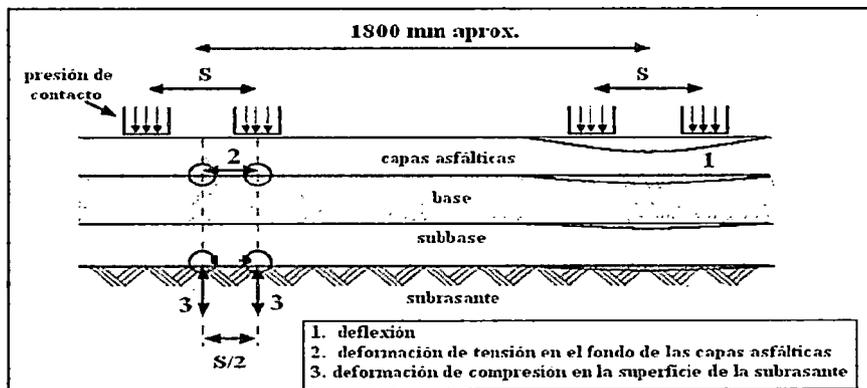


Figura N° 4.1: Deformación y deflexión Fuente: INVIAS, 2008.

4.3.2 Cuenco de deflexión

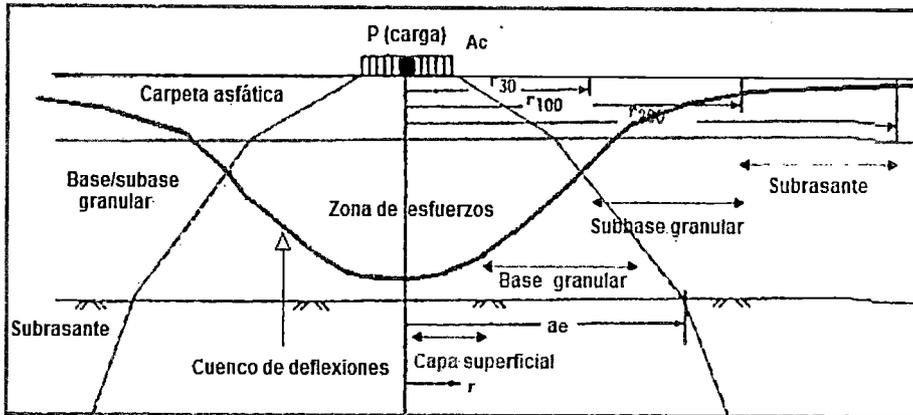


Figura N° 4.2: Esquema del bulbo de presiones y cuenco de deflexiones

La forma y dimensión del cuenco de deflexiones, cubre importante información acerca de las características estructurales del pavimento y su sub-rasante.

Las deflexiones medidas hacia el extremo del cuenco reflejan la condición de la sub-rasante mientras, que la medida en el centro de aplicación de carga refleja la condición de la capa superficial (ver figura N°4.2).

En la siguiente figura N° 4.3, se observa la evaluación del pavimento de acuerdo a la extensión (L_o) y profundidad máxima (D_o) del cuenco.



Figura N°4.3. Características del cuenco de deflexión

4.3.3 Retro-análisis de deflexiones

En términos generales el retro-análisis de deflexiones, consiste en determinar los valores de los módulos de las capas de un pavimento, que mejor modelan la forma y magnitud del cuenco de deflexiones medidas. Los módulos determinados de esta manera se consideran representativos de la respuesta estructural del pavimento.

4.3.3.1 Método de retro-análisis propuesto por AASTHO

Este método, permite determinar el módulo resiliente de la sub-rasante (M_r) y el módulo efectivo del pavimento (E_p), datos que pueden ser luego utilizados en la evaluación de la capacidad estructural del pavimento. En este método el pavimento se modela como un conjunto de dos capas, una correspondiente a todas las capas sobre la sub-rasante y otra correspondiente a la sub-rasante. Para explicar el procedimiento de retro ajuste modular propuesto por AASHTO nos apoyaremos en la siguiente figura N° 4.4:

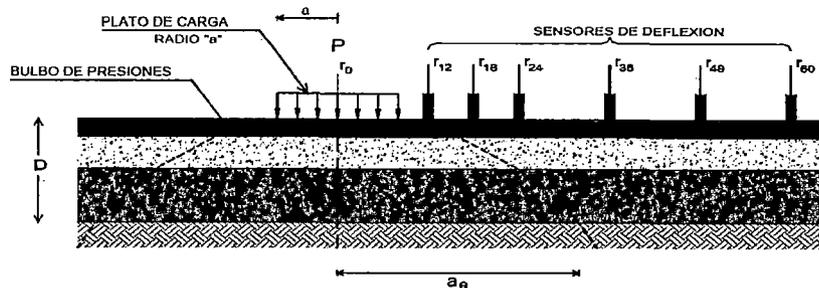


Figura N° 4.4. Esquema de medición con Deflectómetro de Impacto.

El Módulo Resiliente de la sub-rasante, se calcula usando la siguiente ecuación:

$$M_r = \frac{0.24P}{dr.r} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Dónde:

M_r = Módulo resiliente de la sub-rasante, retrocalculado.

P = Carga aplicada.

dr = Deflexión a una distancia "r" desde el centro de carga.

r = Distancia desde el centro de carga.

Para el uso de la ecuación anterior debe considerarse las siguientes dos condiciones:

- En primer lugar, la deflexión debe ser medida a una distancia suficientemente alejada del plato de carga como para que esta deflexión se deba sólo a la deformación en la sub-rasante y sea independiente del efecto de las capas superiores, y además se pueda considerar la carga aplicada sobre el plato como una carga puntual, que valide el uso de la ecuación anterior.

• Por otro lado, y en sentido contrario, la distancia no debe ser muy grande ya que las deflexiones podrían ser muy pequeñas y por lo tanto muy difíciles de medir con la exactitud necesaria.

La distancia mínima a utilizar en la ecuación (4.3), debe cumplir con la siguiente condición:

$$r \geq 0.7.ae \quad \text{Ecuación 4.2}$$

Donde

$$ae = \sqrt{a^2 + \left(D * \sqrt{\frac{E_p}{M_r}} \right)^2} \quad \text{Ecuación 4.3}$$

ae = Radio del bulbo de presiones a nivel de subrasante.

a = Radio del plato de carga.

D = Espesor total del pavimento sobre la subrasante.

Ep = Módulo efectivo del pavimento.

Como se puede apreciar, para verificar si la deflexión utilizada cumple con la distancia mínima se debe primero conocer el módulo efectivo del pavimento (Ep), el cual se debe determinar mediante la siguiente ecuación:

$$d_0 = 1.5 * P * a * \left[\frac{1}{M_R * \sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} * \sqrt{\frac{E_p}{M_R}} \right)^2}} + \frac{\left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{D}{a} \right)^2}} \right)}{E_p} \right] \quad \text{Ecuación 4.4}$$

Dónde:

d0 = Deflexión máxima en el centro del plato de carga, ajustada a la temperatura normalizada de 20° C (60°F).

p = Presión del plato de carga.

a = Radio del plato de carga.

D = Espesor total del pavimento sobre la sub-rasante.

E_p = Módulo efectivo del pavimento.

M_r = Módulo Resiliente de la sub-rasante.

El proceso antes descrito se puede automatizar mediante programas computacionales, que siguen el proceso iterativo ilustrado en el diagrama de flujo contenido en la siguiente Figura N° 4.5.

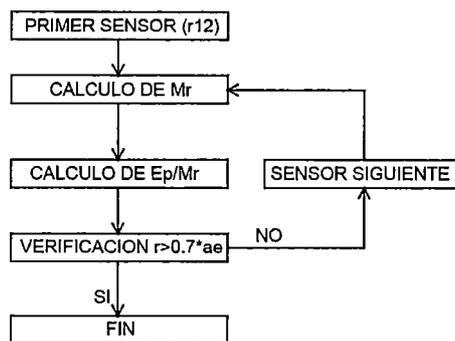


Figura N°4.5. Algoritmo del método de retroanálisis propuesto AASHTO.

4.5 CARACTERÍSTICAS DEL SOFTWARE LWDmod.

El software denominado “LWDmod”, es un programa de análisis, que ha sido creado por la empresa Dynatest. La cual ofrece características avanzadas para la organización de datos, análisis y presentación de informes:

Características del Software:

- Hace la importación de datos a una base de datos del proyecto, lo que permite la organización de varios archivos en una base de datos.
- Características gráficas para ver los resultados, y para eliminar las caídas o puntos seleccionados a partir del archivo.
- Funciones de edición.
- La selección automatizada de las caídas que se utilizan en el análisis.
- Cálculo de los módulos de superficie.

- Retro-cálculo de los módulos de capa de sistemas multicapa, utilizando los resultados de múltiples ensayos.
- Cálculo de la no-linealidad de la sub-rasante (suelo).
- Cálculo del espesor del recapado necesario, sobre la base de módulos de superficie de diseño.
- Análisis de las historias de tiempo de carga / deflexión.
- Presentación gráfica de todos los resultados de los análisis.
- Capacidad de exportar las tablas de resultados y gráficos

El procedimiento para la utilización del Software se presenta en el Anexo 3.

4.5.1 Algoritmo de cálculo del módulo elástico con el "LWD"

El mayor problema del algoritmo que utiliza el "LWD", para determinar el módulo elástico es la forma en que determina la rigidez estática k . La misma se calcula con el método "peak", a partir de los valores máximos de fuerza y deflexión (Ecuación 4.5) lo que puede conducir a errores significativos y sistemáticos. (Guzina et al, 2003).

$$E_{est} = 2 \frac{1 - u^2}{\pi \cdot a} \frac{f_{max}}{X_{max}} \quad \text{Ecuación 4.5}$$

La razón de esto es que se están despreciando los efectos inerciales del sistema asumiéndose, que el máximo de fuerza y desplazamiento se producen en el mismo instante. Sin embargo, se ha demostrado, que esto no ocurre así y por ende, dicho método para calcular la rigidez estática no es el adecuado.

Se debe realizar una corrección en los módulos cuando la carga máxima y la deflexión máxima no ocurren en el mismo tiempo. Corrigiendo el denominado método "peak" por un método basado en la mecánica de materiales, ya sea por un ajuste en el tiempo de mínimos cuadrados o por un ajuste en el dominio de la frecuencia utilizando análisis espectral de señales. Otro criterio a adoptar es eliminar las señales, que tuvieran este comportamiento mejorando con ello la repetitividad de los valores entregados por el "LWD", independiente si es que se hace o no un análisis espectral de señales (Lacey, 2006).

CAPÍTULO V

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE TRABAJO PLANTEADA EN EL PROYECTO

5.1 ANTECEDENTES

El 29 de mayo del 2012 los miembros del Comité Especial Designado adjudicó la buena pro del Concurso Público N° 001-2012-GRCUSCO para la contratación de Servicio de Gestión vial por niveles de servicio de la Red vial 01 del proyecto de Redes viales Regionales Integrando el Cusco.

El 28 de junio del 2012 , el Gobierno Regional del Cusco suscribe el contrato N° 192-2012-GR CUSCO/CGR. de Servicio de Gestión Vial Por Niveles de Servicio de la Red N° 1 de 641.00 Km del Proyecto de Redes Viales Regionales Integrando el Cusco, con el Contratista CONCAR S.A

El 30 de julio del 2012 se suscribe el Acta de Entrega de Áreas y Bienes correspondiente a los sectores en que se realizará la transitabilidad de la vía afirmada, conservación rutinaria y conservación periódica durante los 05 años que se ejecutará la conservación vial la cual comprende de 641.00 Km del Proyecto mencionado, en los siguientes ejes viales:

- | | |
|--|---------|
| 1. Tungasuca - Livitaca - Chamaca - Santo Tomas: | 161 Km. |
| 2. Quehue - Livitaca - Chamaca - Colquamarca - Sto Tomas: | 181 Km. |
| 3. Integracion K'ana: Yanaoca-Quehue - Checa - Pichigua - Yauri: | 89 Km. |
| 4. Huancaro - Yaurisque - Paccarectambo - Colquamarca: | 210 Km. |

Los trabajos de conservación periódica consisten en recuperar las condiciones iniciales de serviciabilidad de la carretera contratada, llevándola a los niveles de servicio, que serán requeridos durante el contrato de gestión vial, de acuerdo con las actividades descritas en las especificaciones técnicas generales para la conservación de carreteras.

5.2 GENERALIDADES DEL PROYECTO

5.2.1 Ubicación del proyecto

El proyecto de conservación vial se ubica al sur de la ciudad de cusco, uniendo las provincias de cusco, Paruro, Chumbivilcas, Espinar, Canas, ver figura N°5.1.

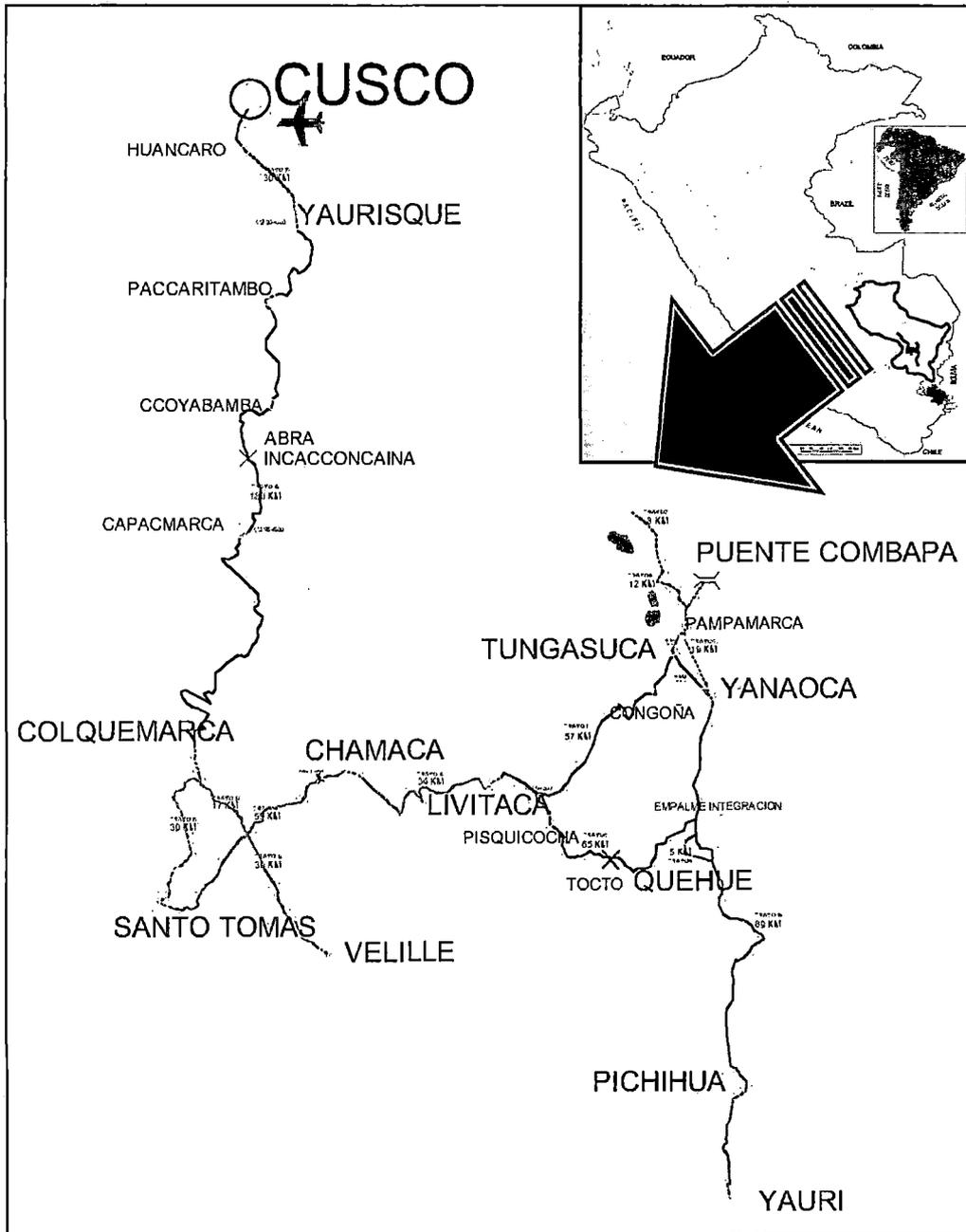


Figura N°5.1 Plano de Ubicación y Ruta del Proyecto

El Tramo vial, que el proyecto tiene a cargo está distribuido en 16 sectores que se describen según el Tabla N°5.1, enumerando los números de sectores, que permite una mejor distribución de los recursos.

Tabla N° 5.1 Cuadro de Sectores (Fuente: Elab. Propia)

Sector	DESCRIPCION	KM
	TUNGASUCA-LIVITACA - CHAMACA - SANTO TOMAS	161
1	Dv Tungasuca – Tungasuca	57
2	Tungasuca - Emp. Combapata/Yanaoca (Pampamarca)	4
3	Dv Yanaoca – Yanaoca	6
4	Chamaca - Emp Velille / colquemarca-Santo Tomás	55
5	Combapata - Emp. Combapata / Yanaoca (Pampamarca)-Yanaoca	19
6	Dv Combapata / Yanaoca - Circuito 04 lagunas	12
7	Dv Combapata / Yanaoca - Circuito 04 lagunas	8
	Quehue - Livitaca - Chamaca - colquemarca - Santo Tomás	181
8	Dv Quehue - Quehue - emp Integración K'ana	5
9	Livitaca - emp. Integración K'ana (quiripampa)	65
10	Livitaca – Chamaca	34
11	Emp. Velille / Colquemarca - Colquemarca	17
12	Velille - Dv Santo Tomás (Velille / Colquemarca)	30
13	Colquemarca - Santo Tomás	30
	Integración Kána, Tramo: Yanaoca - Quehue - Checa-Pichigua-Yauri	89
14	Yanaoca - Dv Quehue- Checa- Pichigua- Yauri	89
	Huancaro - Yaurisque - Pakareqtambo – Colquemarca	210
15	Huancaro – Yaurisque	30
16	Yaurisque – Colquemarca	180
TOTAL		641

En agosto del 2012 se inició con los trabajos de transitabilidad que elevó el nivel del estado de la vía, para posterior iniciar con los trabajos de conservación rutinaria en asfaltado y conservación rutinaria inicial en afirmado, distribuyendo los recursos para brindar una buena transitabilidad de las vías afirmada y asfaltada.

En la presente Tesis los tramos abocados a la investigación se presentan en la siguiente Tabla N°5.2:

Tabla N° 5.2 Cuadro de Sectores de Investigación (Fuente: Elab. Propia)

SECTOR	DESCRIPCIÓN
T14	Yanaoca – Yauri
T3	Dv Yanaoca – Yanaoca
T9	Livitaca - emp. Integración K'ana (quiripampa)

5.3 METODOLOGÍA DE TRABAJO

El actual trabajo de tesis está dividido en 3 etapas claramente definidas dentro del proyecto; la primera de ellas está relacionada con el uso, operación y funcionamiento del "LWD", de la empresa Concar, con sede en lima; la segunda etapa gira en torno al desarrollo de un trabajo de campo mediante la ejecución de ensayos no destructivos de deflectometría y la tercera etapa, es el análisis de los módulos resilientes compuestos encontrados en campo, que conforman la estructura del pavimento in-situ y mediante un software llamado "LWDmod", analizar mediante procesos iterativos los módulos asociados a la capa evaluada

Los tramos evaluados se representan en planos para una mejor referencia en el Anexo N°4.

La metodología de trabajo sigue el siguiente esquema de la figura N°5.2

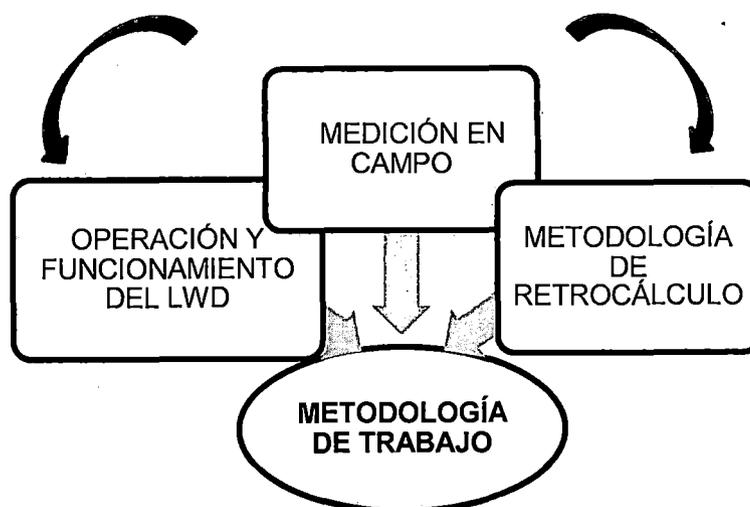


Figura N°5.2 Metodología de trabajo (Fuente: Elab. Propia)

5.3.1 Operación y funcionamiento del LWD

Una de las primeras actividades, que se desarrolló en este tema de tesis fue el trabajo, implementado en el conocimiento de operación y funcionamiento del LWD, el cual es el equipo central sobre el que se desarrolla del trabajo de tesis. (Ver Capítulo 3).

5.3.2 Metodología de medición en campo

Las mediciones de la capa granular se realizaron utilizando el deflectómetro de impacto liviano (LWD), modelo Dynatest 3031.

El LWD, consiste en un dispositivo con plato de carga, que produce un pulso de carga definido, un geófono de precisión para la medición de la deflexión central y 2 geófonos adicionales.

El geófono central, está en contacto directo con el pavimento a través de un hueco en el plato de carga, obteniendo medidas precisas de las respuestas de las capas. Éste dispositivo está equipado con una celda de precisión de carga para medir la fuerza de impacto del peso, que cae ver figura N°5.3

El "LWD", pesa aproximadamente 26 kg y tiene un peso de caída de 10,15 y 20 kg, el cual impacta sobre un resorte, que produce un pulso de carga de 15 - 30 mseg, dependiendo del peso, que se le coloque. Tiene un rango de carga de 1 a 15 kN.

Con esta tecnología se permite evaluar el módulo resiliente in-situ de las capas que componen un pavimento. Realizando la evaluación en campo, los datos son guardados en tiempo real en la memoria interna del dispositivo "GPS Trimble", portátil y mediante un software los datos son procesados obteniendo los valores de módulos elásticos compuestos de las capas granulares.

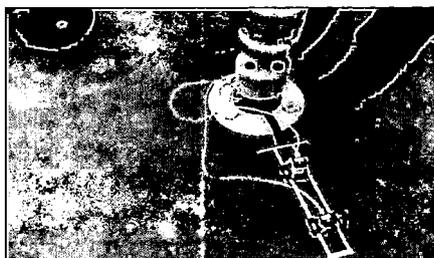


Figura N°5.3: Deflectómetro Liviano de Impacto (LWD, Dynatest)

Para el desarrollo del trabajo de medición, en campo fue necesaria la ejecución de una serie de actividades, que permitieran obtener el máximo conocimiento posible de las condiciones presentes en el área donde se llevaría a cabo las actividades, las cuales se relacionan a continuación:

- a. Determinación del área adecuada donde se realizaran las mediciones.
- b. Identificación de las condiciones existentes en el área de investigación durante la etapa de construcción de la estructura de pavimento.
- c. Realizar un esquema de seguridad para las mediciones en la calzada la cual se muestra en el Anexo N°5.
- d. Realización de pruebas de deflectometría con el LWD.

Las mediciones con el LWD se realizaron en tramos de T14; T3; T9 km. Con una frecuencia longitudinal de cada 100 m, dependerá en algunos casos de conseguir efectivamente la homogeneidad de las deflexiones por punto y del comportamiento favorable del material. Ver Figura N°5.4 Esquema de medición con el LWD en campo.

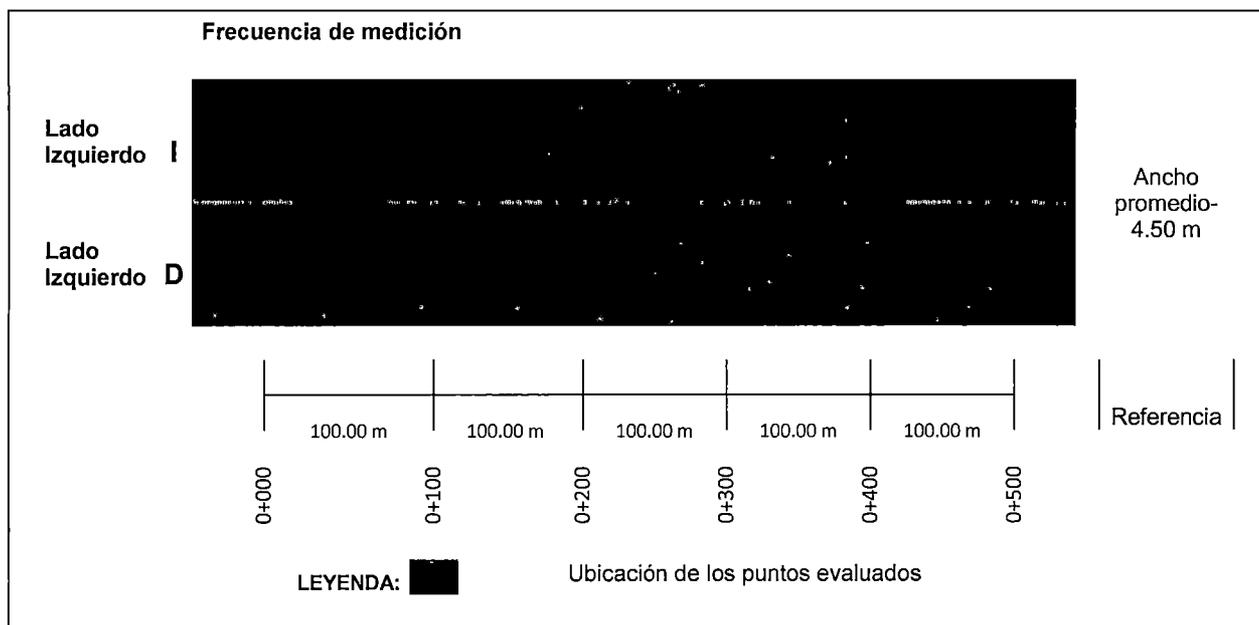


Figura N°5.4 Esquema de medición con el LWD en campo (Fuente: Elaboración Propia).

En caso contrario, si tenemos demasiada variabilidad en las lecturas entre punto y punto, se disminuirá la frecuencia de mediciones con el fin de caracterizar mejor el comportamiento del material, con lo cual permitirá al ingeniero establecer procedimientos rápidos y específicos para el control de calidad y aseguramiento de las capas granulares.

Para iniciar las mediciones se tuvieron las siguientes consideraciones:

1. Definición de carga a utilizar y altura de caída. Estas mediciones se realizan sobre una estructura compuesta por una sub-rasante y una capa granular estabilizada químicamente o mecánicamente. De los ensayos de laboratorio realizados y la evaluación deflectométrica realizada en el 2012, por la empresa Concar S.A., se concluye, que el material característico de soporte es un material granular, con valores de CBR en su mayoría, sobre 10%. Por lo que se debe de realizar distintas configuraciones para definir la carga y altura a utilizar
2. Definición del número de caídas de carga por punto. La normativa ASTM 2583 indica, que se debe realizar al menos dos caídas en una secuencia, en donde la diferencia de lectura de la deflexión no debe ser mayor, que 3%. En esta evaluación se realizaron hasta un máximo de seis a ocho caídas por punto, utilizándose para el análisis los tres últimos valores registrados.
3. Frecuencia de muestreo, se midió en cada huella, a una distancia de 100 metros entre punto evaluado en distintas huellas. La información, que se registra directamente al GPS es la deflexión así como el valor del módulo de superficie o módulo compuesto (respuesta de todo el paquete estructural evaluado) a través de la siguiente fórmula:

$$E_{LWD} = \frac{2\sigma\phi}{\delta} (1 - u^2) \quad \text{Ecuación 5.1}$$

Dónde:

ϕ = Radio del plato de carga

δ = Deflexión

μ = Módulo de Poisson

σ = Presión aplicada

La ecuación presentada anteriormente es la fórmula de Boussinesq, para la evaluación de un medio continuo e infinito, considerando un factor de 2 para una distribución uniforme de esfuerzos (suelos granulares).

El valor del módulo de Poisson utilizado por el programa "LWDmod", del equipo de medición es de 0.35.

La información registrada en campo es la respuesta de toda la estructura, sin hacer distinción de la respuesta de manera individual de cada capa. Y través del proceso en gabinete de la información obtenida en campo se utilizara la metodología de retro-cálculo mediante el Programa "LWDmod", se puede obtener, de manera separada, la respuesta de la capa estabilizada (módulo de elasticidad), considerando como datos de entrada (valores conocidos), el valor del módulo de la sub-rasante y el espesor de la capa estabilizada.

En la capa de base granular estabilizada mecánicamente las mediciones se realizaron con un plato de carga ($r=0.15m$). Y con una altura de 33"; 25"; 22"; 16". Se realizarán mediciones con diferentes alturas de carga en la capa de base granular con el fin de comparar las deflexiones y módulos obtenidas al medir las capas granulares y establecer la configuración más adecuada para realizar las mediciones.

5.3.3 Metodología de retro-cálculo por medio del software LWDmod.

Los procedimientos de retro cálculo son muy usados para obtener los módulos resilientes de cada una de las capas que forman parte de la estructura de un pavimento, utilizando para ello las mediciones de deflexiones y módulos resilientes compuesto, registradas por el deflectómetro de impacto liviano mediante una computador de mano (Pal).

Dentro de la presente tesis se definió la metodología para calcular los módulos de las diferentes capas. La metodología a emplear tiene una secuencia de medición y calculo mediante el software LWDmod, que viene incluido con el equipo LWD, con licencia de uso asignada por el fabricante a la empresa CONCAR.S.A.

Paso 1: Deflexiones medidas, donde se incluirán todas las mediciones y las separaciones de posición entre lo sensores respecto al punto de carga en la superficie sujeta a analizar. El programa permite trabajar hasta con más de 20

valores de deflexión, capturados por el mismo número de geófonos, y las secuencias de golpes realizadas en cada punto de medición son a criterio del operador no hay un máximo; permitiendo evaluar una estructura de pavimento flexible, que este conformada hasta por un total de 3 capas.

Pasó 2: Cargas y espesores: Deben incluirse todos los espesores de cada capa evaluada.

Paso 3: Modulo de tanteo; Se debe proponer inicialmente un módulo elástico inicial, que sirva para refinar y hacer conciliar las condiciones especiales del problema. Se propone con base al juicio del analista, o a partir de ecuaciones de correlación, con base en otras propiedades de los suelos. Con él se calculan las deflexiones superficiales iniciales.

El proceso para la determinación del módulo da inicio con la inclusión de un valor de "módulo semilla", con el cual el software iterativamente busca obtener el módulo final para cada capa.

Paso 4: Se deben realizar los cálculos de módulos elásticos y de las deformaciones superficiales asociados a ellas, mediante la ayuda de programas comerciales en nuestro se usara el software LWDmod.

Las deflexiones calculadas a partir del programa "LWDmod", son comparadas internamente con los valores de deflexión medidos obteniendo así el (RMS), la cual se basa en la diferencia absoluta entre la deflexión medida y calculada, o puede ser la diferencia relativa en porcentaje se considera dentro de una tolerancia estimada menor a 15% en otros países consideran como límite 10% en nuestra investigación consideraremos este último valor como límite. Con la cual el programa encontrara la mejor iteración que se ajustes a las mediciones de campo y dará por terminada su ejecución.

El error medio cuadrático (RMS), mencionado puede ser calculado matemáticamente a partir de la siguiente expresión:

$$\text{RMS (\%)} = \left(\sqrt{\frac{1}{n_d} \sum_{i=1}^n \left(\frac{d_{ci} - d_{mi}}{d_{mi}} \right)^2} \right) (100) \quad \text{Ecuación 5.2}$$

Dónde:

d_{ci} = Deflexión superficial del pavimento calculada en el punto del sensor i .

d_{mi} = Deflexión superficial del pavimento medida con el sensor i .

n = Numero de sensores usados en el proceso.

n_d = Sensor en que se realiza la medición.

Diversos programas computacionales han sido desarrollados con el fin de realizar las iteraciones y facilitar la resolución de las ecuaciones. Lamentablemente, las soluciones no son únicas ni exactas, por lo que requieren ser comparadas con diversos métodos de cálculo. Se debe mencionar que los programas computacionales, que efectúan el retro-cálculo utilizan consideraciones propias y trabajan sobre distintos algoritmos, por lo que suelen tener discrepancias considerables.

CAPÍTULO VI MEDICIONES CON EL LWD

6.1 CONFIGURACIONES DEL LWD EN LAS MEDICIONES

Para determinar la configuración a utilizar en las mediciones de esta investigación, se analizaron las variables del equipo teniendo en cuenta las consideraciones expuestas en las investigaciones, que existen hasta la fecha.

6.1.1 Tensiones a aplicar

Esta investigación se basa en el uso del equipo "LWD", para calcular la capacidad de soporte de una base granular utilizando el retro-calculo con el software "LWDmod", para ello se debe definir, que tensiones afectan a la superficie de esta capa en este tipo de pavimentos.

Se ha realizado mediciones con las siguientes configuraciones, ver Tabla N°6.1:

Tabla N°6.1 Estructuras utilizadas en la configuración con el LWD.

Plato de Carga (mm)	Peso (kg)	Altura	Presión (Kpa)
300	20	33	176
	20	25	140
	20	16	100
	15	33	140
	15	22	100

Con estas configuraciones se realizó reiteradas veces las mediciones en una extensión de 2.3 km para distintas estructuras. La cual pertenece al tramo, ver Tabla N°6.2:

Tabla N°6.2 Tramo de Configuración de prueba con el LWD.

Tipo	Tramo	km	Solución Básica
Proyecto	T9 - Livitaca - Emp Integración K'ana	2.3 km	Base Granular

En la siguiente Tabla N° 6.3, se presentan los valores de deflexiones así como el promedio de los 3 últimos golpes por cada punto evaluado, correspondiente a los Módulos Compuestos entregados por el equipo para las distintas configuraciones de tensiones, que afectan a la base granular con un peso de 20kg.

Tabla N°6.3. Deflexiones y Módulos para un peso de 20kg (Fuente: Elab.propia).

Configuración	P30 - 176 Kpa		P30 - 140 Kpa		P30 - 100 Kpa	
	Deflexiones (um)	Módulo (Mpa)	Deflexiones (um)	Módulo (Mpa)	Deflexiones (um)	Módulo (Mpa)
9+700	256	181	203	181	147	180
9+800	219	212	173	213	119	222
9+900	309	150	244	151	167	157
10+000	434	107	344	107	240	110
10+100	383	121	306	120	219	120
10+200	337	137	274	135	197	134
10+300	304	153	244	151	179	147
10+400	315	147	259	143	185	142
10+500	298	155	242	152	173	152
10+600	413	112	329	112	233	113
10+700	351	132	280	131	199	132
10+800	367	126	297	124	209	126
10+900	265	175	223	165	169	156
11+000	292	158	245	151	182	145
11+100	329	141	272	136	204	129
11+200	272	170	229	161	169	156
11+300	167	277	133	278	98	268
11+400	366	127	295	125	211	125
11+500	209	221	167	221	115	230
11+600	308	151	253	146	185	142
11+700	394	118	313	118	221	119
11+800	280	166	233	159	171	154
11+900	265	175	222	166	160	165
12+000	366	126	301	122	217	121
PARAMETROS	D0 Norm. µm	Mrc Mpa	D0 Norm. µm	Mrc Mpa	D0 Norm. µm	Mrc MPa
CANTIDAD	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00
SUMA	7,499.00	3,737.67	6,079.67	3,667.33	4,369.67	3,644.33
MEDIA	312.46	155.74	253.32	152.81	182.07	151.85
MEDIANA	308.50	150.50	249.00	148.17	183.67	143.33
DESVIACION STANDARD	65.70	38.75	51.91	38.90	36.57	38.89
COEFICIENTE VARIACION	21%	25%	20%	25%	20%	26%

También se determinó cuál de las configuraciones para un peso de 20kg, da los valores más precisos analizando la repetibilidad de los mismos. Para ello se utilizó el promedio de los coeficientes de variación de las mediciones punto a punto, que se presentan en la Tabla N° 6.3. En la misma, se puede ver, que los promedios de coeficientes de variación de todas las configuraciones utilizadas son relativamente bajos, siendo la correspondiente a la presión de 176 y 140 kPa las cuales tienen el promedio de Cv menor y por tanto, mejor repetibilidad.

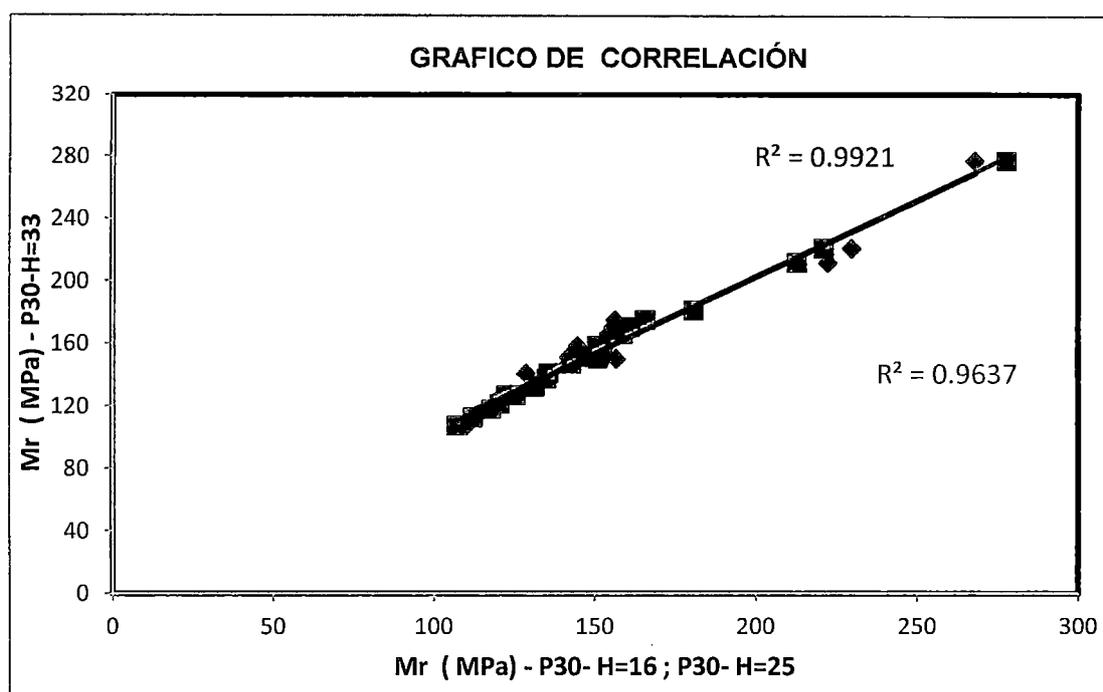


Figura N° 6.1 Configuración de comparaciones con el LWD.

La figura N°6.1, se muestra la comparación de las mediciones realizadas en campo con un mismo diámetro de plato de carga y al mismo peso aplicado de 20 kg, pero con diferentes presiones, las correlaciones fueron muy favorable para las siguientes configuraciones de P30-176Kpa Vs P30-140Kpa, con un valor de R^2 0.99 y P30-176Kpa Vs P30-100Kpa, con un valor de R^2 0.96.

Se muestran los gráficos de las tensiones resultantes para la base granular en función a las configuración mencionadas estas muestran, que conforme los valores de tensiones disminuyen los valores de deflexiones también disminuyen son directamente proporcional ver figura N° 6.2, mientras, que los módulos se mantienen con una variación de mínima de 3%, para las distintas tensiones. Ver figura N° 6.3.

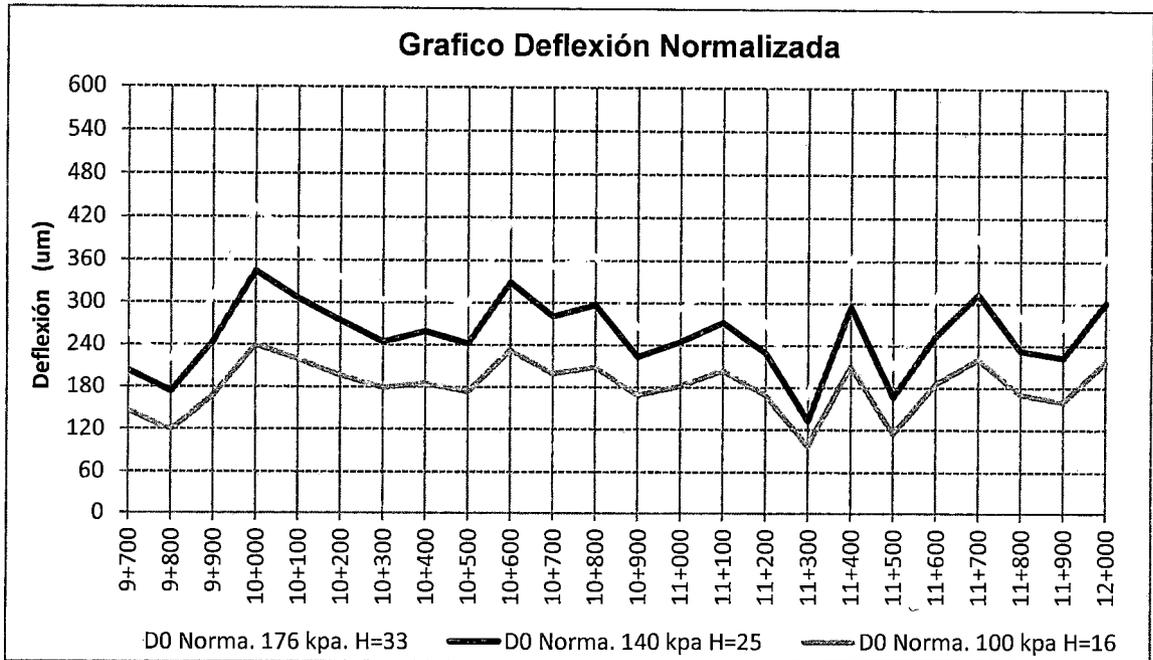


Figura N° 6.2 Deflexión Normalizada para diferentes tensiones

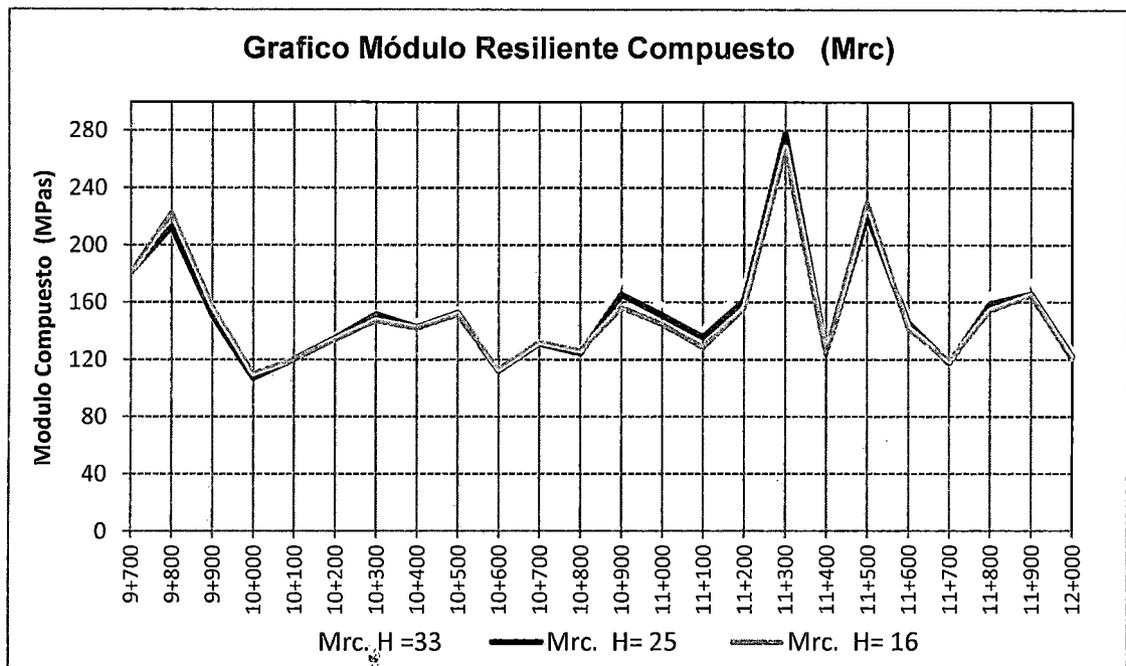


Figura N° 6.3 Grafico del módulo Resiliente para las distintas tensiones

En la siguiente Tabla N° 6.4 se presentan los valores deflexiones así como el promedio de los 3 últimos golpes por cada punto evaluado correspondiente a los Módulos Compuestos entregados por el equipo para las distintas configuraciones de tensiones, que afectan a la base granular con un peso de 15kg.

Tabla N°6.4. Deflexiones y Módulos para un peso de 15kg (Fuente: Elab.propia).

Configuración	P30 - 140 Kpa		P30 - 100 Kpa	
	Deflexiones (um)	Módulo (Mpa)	Deflexiones (um)	Módulo (Mpa)
9+700	229	161	165	159
9+800	198	186	141	187
9+900	256	144	178	148
10+000	380	97	264	100
10+100	317	116	220	120
10+200	257	144	186	142
10+300	253	146	179	147
10+400	255	144	183	144
10+500	239	155	175	151
10+600	318	116	227	116
10+700	296	124	219	120
10+800	310	119	228	115
10+900	215	172	161	164
11+000	251	147	188	140
11+100	267	138	202	130
11+200	233	158	176	150
11+300	139	265	102	259
11+400	320	115	227	116
11+500	204	181	151	176
11+600	277	133	204	129
11+700	324	114	231	114
11+800	225	163	167	158
11+900	229	161	171	154
12+000	307	120	215	122
PARAMETROS	D0 Norm. um	Mrc Mpa	D0 Norm. um	Mrc Mpa
CANTIDAD	24.00	24.00	24.00	24.00
SUMA	6,298.67	3,520.33	4,560.00	3,460.00
MEDIA	262.44	146.68	190.00	144.17
MEDIANA	255.50	144.33	184.50	142.67
DESVIACION STANDARD	52.37	34.15	35.40	32.56
COEFICIENTE DE VARIACION	0.20	0.23	0.19	0.23

Igualmente se determinó cuál de las configuraciones para un peso de 15kg, da los valores más precisos analizando la repetibilidad de los mismos. Para ello se utilizó el promedio de los coeficientes de variación de las mediciones punto a punto que se presentan en la Tabla N° 6.4. En la misma, se puede ver que los promedios de coeficientes de variación de todas las configuraciones utilizadas son relativamente bajos, siendo la correspondiente a la presión de 140 y 100 kPa que tiene el promedio de Cv menor y por tanto, mejor repetibilidad.

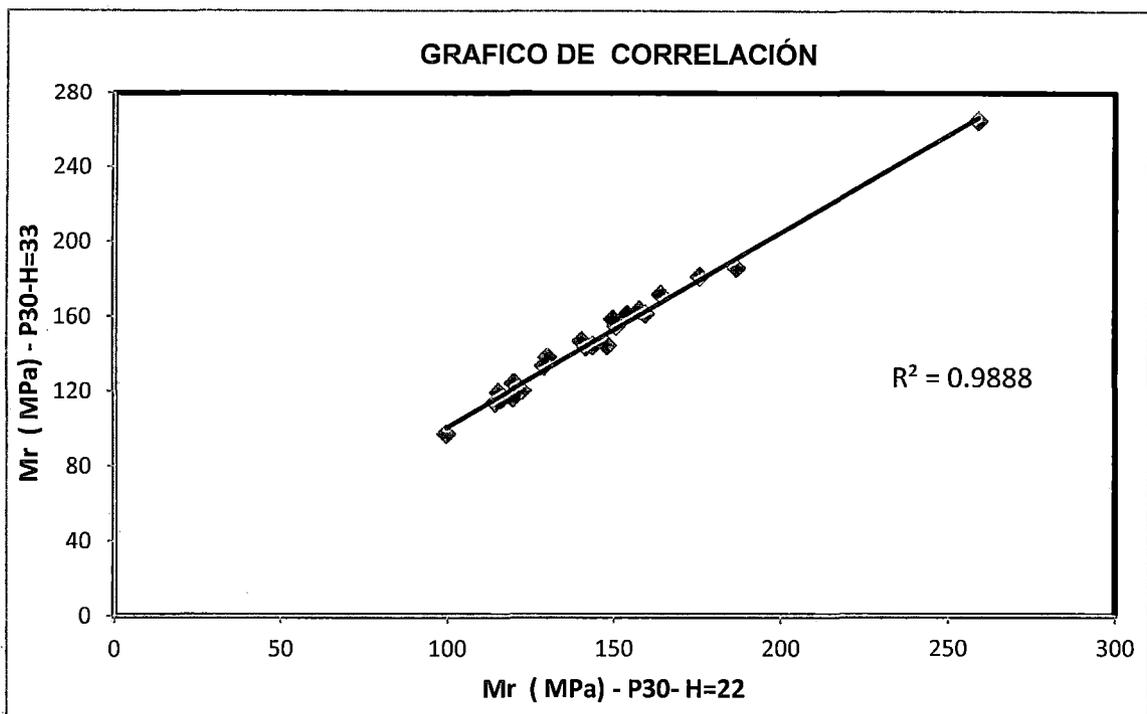


Figura N° 6.4 Comparación de configuraciones del LWD

Al comparar las mediciones realizadas con un mismo plato de carga ϕ 30 cm, para un peso de 15kg y presiones diferentes, estas dan buenas correlaciones para la siguiente configuración de P30-140Kpa Vs P30-100Kpa, con R^2 de 0.98, ver Figura N°6.4.

Se muestran los gráficos de las tensiones resultantes para la base granular según la configuración mencionada muestra, que conforme los valores de tensiones disminuyen los valores de deflexiones también disminuyen son directamente proporcional ver figura N° 6.5, mientras, que los módulos se mantienen con una variación mínima de 3% para las distintas tensiones. Ver figura N° 6.6.

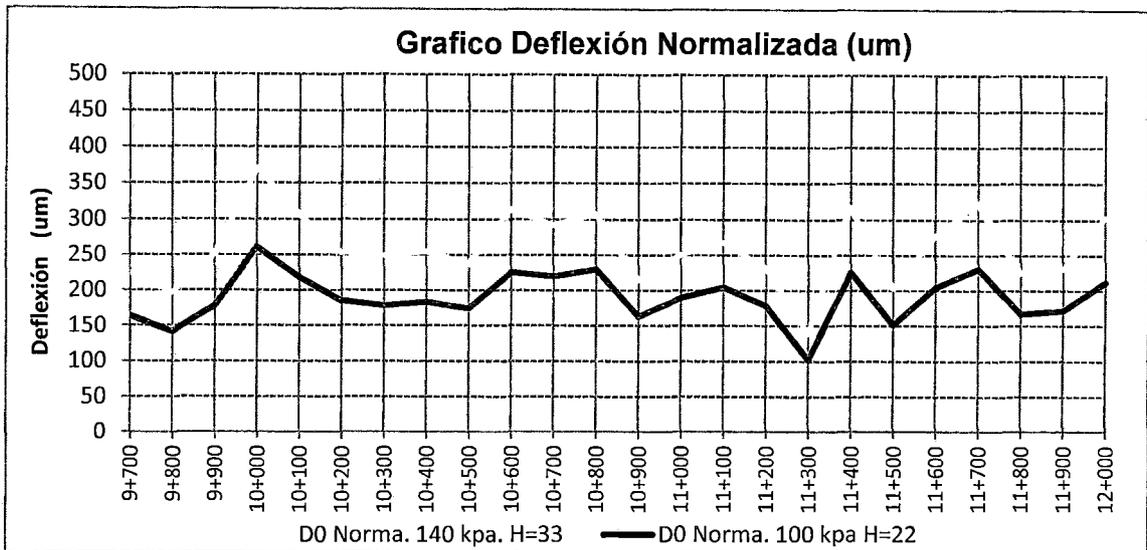


Figura N° 6.5 Deflexión Normalizada para las distintas tensiones

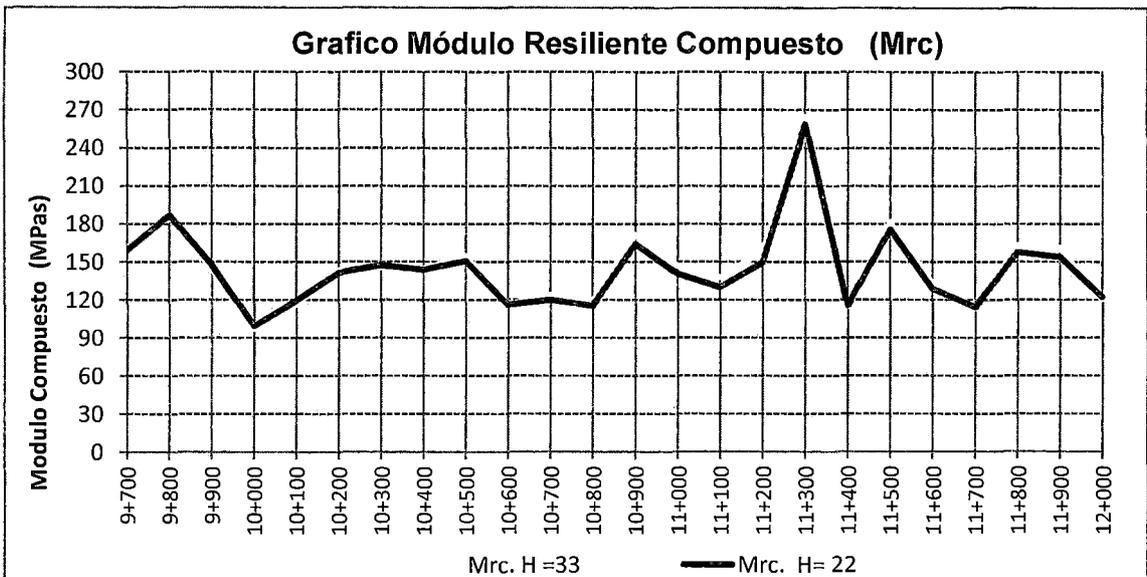


Figura N° 6.6 Gráfico del módulo Resiliente para las distintas tensiones.

6.2 ANÁLISIS DE LAS CONFIGURACIONES UTILIZADAS EN TRAMO DE PRUEBA

Con todas las mediciones efectuadas en el tramo de configuración se realizó un análisis comparativo entre las configuraciones empleadas para las mediciones, que presenten la misma tensión aplicada de 140 Kpa y 100 KPa, para determinar si son o no estadísticamente similares y calcular la repetibilidad de las mediciones individuales de cada configuración para diferentes, ver Tabla N° 6.5, Tabla N°6.6.

Tabla N° 6.5. Deflexiones y Módulos para una presión de 140 kpa (Fuente: Elab.propia).

Configuración	20 KG		15 KG	
	P30 - 140 Kpa		P30 - 140 Kpa	
Localización	Deflexiones (um)	Módulo (Mpa)	Deflexiones (um)	Módulo (Mpa)
9+700	203	181	225	161
9+800	173	213	197	186
9+900	244	151	251	144
10+000	344	107	371	97
10+100	306	120	307	116
10+200	274	135	254	144
10+300	244	151	250	146
10+400	259	143	255	144
10+500	242	152	238	155
10+600	329	112	314	116
10+700	280	131	292	124
10+800	297	124	308	119
10+900	223	165	215	172
11+000	245	151	251	147
11+100	272	136	268	138
11+200	229	161	233	158
11+300	133	278	139	265
11+400	295	125	318	115
11+500	167	221	204	181
11+600	253	146	277	133
11+700	313	118	323	114
11+800	233	159	225	163
11+900	222	166	231	161
12+000	301	122	303	120
PARAMETROS	D0 Norm. µm	Mrc Mpa	D0 Norm. µm	Mrc MPa
CANTIDAD	24	24	24	24
Max	344	278	371	265
Min	133	107	139	97
MEDIA	253.32	152.81	260.31	146.68
MEDIANA	249.00	148.17	252.33	144.33
DESVIACION STANDARD	51.91	38.90	50.61	34.15
COEFICIENTE VARIACION	20%	25%	19%	23%

Tabla N° 6.6. Deflexiones y Módulos para una presión de 100 kpa (Fuente: Elab.propia).

Configuración	20 KG		15 KG	
	P30 - 100 Kpa		P30 - 100 Kpa	
Localización	Deflexiones (um)	Módulo (Mpa)	Deflexiones (um)	Módulo (Mpa)
9+700	147	180	164	159
9+800	119	222	141	187
9+900	167	157	178	148
10+000	240	110	261	100
10+100	219	120	218	120
10+200	197	134	185	142
10+300	179	147	178	147
10+400	185	142	183	144
10+500	173	152	175	151
10+600	233	113	226	116
10+700	199	132	220	120
10+800	209	126	230	115
10+900	169	156	163	164
11+000	182	145	190	140
11+100	204	129	205	130
11+200	169	156	178	150
11+300	98	268	102	259
11+400	211	125	226	116
11+500	115	230	151	176
11+600	185	142	205	129
11+700	221	119	231	114
11+800	171	154	167	158
11+900	160	165	171	154
12+000	217	121	212	122
PARAMETROS	D0 Norm. um	Mrc Mpa	D0 Norm. um	Mrc Mpa
CANTIDAD	24.00	24.00	24.00	24.00
Max	240	268	261	259
Min	98	110	102	100
MEDIA	182.07	151.85	190.07	144.17
MEDIANA	183.67	143.33	184.33	142.67
DESVIACION STANDARD	36.57	38.89	34.97	32.56
COEFICIENTE VARIACION	20%	26%	18%	23%

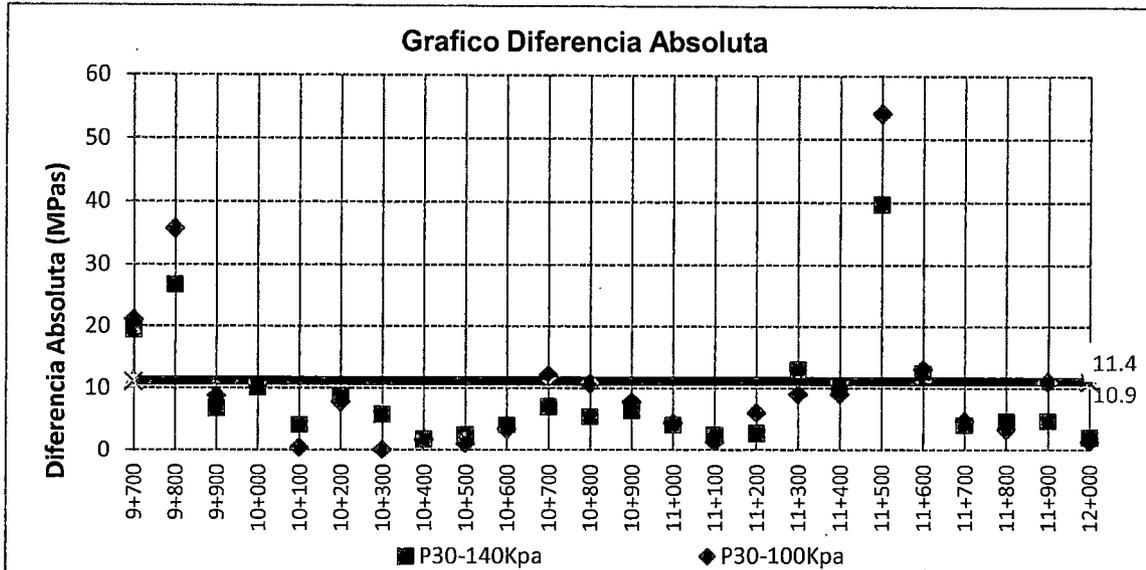


Figura N° 6.7 Diferencia absoluta para diferentes presiones con un mismo

Esta figura N°6.7, representa la compararon de las diferencias absolutas entre la configuración de P30-140Kpa – 20 kg y P30-140Kpa – 15 kg, la cual se representara como P30-140Kpa y la siguiente diferencia absoluta es entre la configuración P30-100Kpa – 20 kg Vs P30-100Kpa – 15 kg, la cual se representa como P30-100Kpa esta diferencia de módulo se dieron punto a punto para un mismo diámetro de plato y diferentes tensiones, asimismo se calculó el percentil 80 de las diferencias absolutas dando valores de 11,4 y 10,9 Mpas con una variación mínima entre ellas de 4%, la cual no es muy significativa , Ver figura N° 6.7.

6.3 PESO Y ALTURA A UTILIZAR

Según las recomendaciones de la revisión bibliográfica, se determinó utilizar el plato de carga de 30 cm, en las mediciones, descartándose los demás diámetros de platos. Según los resultados de las comparaciones para las distintas configuraciones de las Tabla N° 6.3, N° 6.4, N° 6.5 y N° 6.6. Se dio por concluido, que la configuración del LWD, a utilizar en esta investigación se de acuerdo a la tabla N°6.7 debido a la mínima variación en los datos y por ser una presión superior a los 170 Kpa. .

Tabla N° 6.7. Configuración a utilizar con el LWD

Tipo de capa	Plato de Carga (mm)	Tensión (KPa)	Código
Base Granular	300	176	P30 - 176Kpa

6.4 MEDICIONES CON EL LWD

En la presente tesis se ha definido la configuración adecuada para realizar las mediciones con el LWD en el proyecto "Proyecto de Redes Viales Regionales Integrando el Cusco" la cual se encuentra en ejecución.

El mismo consistió, recuperar las condiciones iniciales de serviciabilidad de la carretera contratada, llevándola a los niveles de servicio, que serán requeridos durante el contrato de Gestión Vial, de acuerdo con las actividades descritas en las Especificaciones Técnicas Generales para la conservación de Carreteras.

Todas las mediciones, que se realizaron se denominan como se muestra en la siguiente Tabla N°6.8, para facilitar la explicación de cada una de ellas.

Tabla N°6.8. Mediciones realizadas (Fuente: Elab.propia)

Tipo	Tramo	Km	Solución Básica
Proyecto	T14 Yanaoca - Yauri	6.5 km	Base Granular
	T3 - Dv Yanaoca -Yanaoca	17 km	Base Granular

Las mediciones con el "LWD", se realizaron en la base granular de los tramos de construcción según el esquema de la Figura N°6.8 con las configuraciones, que se presentan en cada tramo medido.

Antes de realizar las pruebas de campo se recomienda tener en cuenta algunos parámetros generales para las pruebas de campo. Esto asegurará, que los datos recogidos sean de la mejor calidad posible y representativos con respecto al propósito de la prueba. Asimismo los datos serán beneficios en caso de que más adelante los resultados de las pruebas, puedan ser sometidos a comparaciones.

Consideraciones al realizar las mediciones

- Se debe asegurar el contacto uniforme entre el plato de carga y la superficie de la capa evaluada colocando una capa fina de arena si en caso lo requiera.
- En cada medición se debe verificar la curva de deformación en el tiempo ya que si la gráfica no es uniforme es posible, que no exista un contacto uniforme entre el plato y la superficie. En los casos en que esta curva se presente irregular, se debe eliminar la medición y uniformizar el contacto.

- También se debe garantizar, que el tiempo de duración del pulso es como se esperaba, para la configuración correcta del amortiguador. Los tiempos de pulso normales estarán en el rango de 15 a 25 ms. Y estos van a cambiar de acuerdo al tipo de amortiguador usado.
- Cuando se evalúa un punto, los valores de módulos obtenidos en las mediciones deben ser casi constantes con un rango de error +/- 3%, por lo contrario realizar las mediciones necesarias hasta conseguir valores casi constantes o cambiar el punto de ensayo.

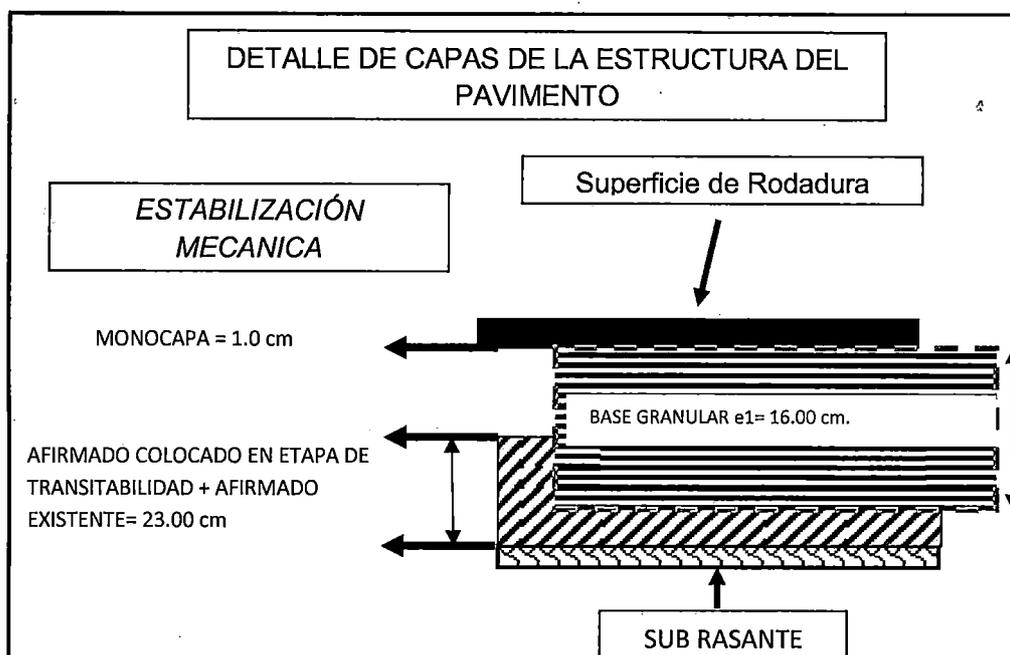


Figura N° 6.8 Detalle de la estructura del Pavimento (Fuente: Elab.propia).

6.4.1 Proyecto Red Vial 1: Tramo 14 - Yanaoca – Yauri

Las mediciones se desarrollaron en el distrito de Yanaoca. La cual fue parte de la construcción del proyecto por niveles de servicio de bajo volumen de tránsito de un tramo de camino tierral. El cual consistente en un paquete estructural compuesto por una base estabilizada mecánicamente de 16 cm de espesor y una superficie de rodado de Monocapa de 1 cm. Este tramo corresponde a un camino de ancho de 4.50 m. anteriormente se ha estado haciendo un manteniendo por parte de la entidad realizando un aporte de material en la actualidad los detalles de la estructura del pavimento se detallan en la siguiente Figura N° 6.9.



Figura N° 6.9 Estructura del Pavimento (Fuente: Elab.propia)

Luego de la colocación del afirmado en la etapa de transitableidad se procedió a la colocación de la base granular. Se puede ver el proceso de construcción en las fotos del Anexo N°6.

Las mediciones, que comprenden esta tesis corresponden a un sector del tramo Yanaoca – Yauri, el cual posee una longitud de 91 km. El sector evaluado comprende 17 km, en el cual se realizaron las mediciones de la capa granular correspondiente, definiendo esto se delimito el sector a medir el cual tiene una dimensión de 17 km de largo y 3.50 m, de ancho las mediciones con el “LWD”, se realizaron en forma de Zic Zac, partiendo del lado derecho, en forma creciente a la progresiva, según el Anexo N°7.

Los centros de las mediciones se realizaron aproximadamente en la huella externa del eje vehicular ya que es donde se generan las mayores tensiones a lo largo de su vida útil. De esta manera resultaron 171 puntos medidos como se puede observar en el Anexo N°8.

Como se trata de caminos de bajo volumen de transito se trabajó bajo la configuración anteriormente definida ver Tabla N°6.9.

Tabla N° 6.9. Configuración del LWD utilizada para la Base Granular (Fuente: Elab.propia)

Peso (Kg)	Plato (mm)	h (Pulg)	Presión (Kpa)	Código
20kg	300	33	176	P30 - 176Kpa

Los resultados de campo de las mediciones correspondiente al tramo, se presentan en el Anexo N°9, a continuación se presenta la tabla N°6.10, la cual presenta un resumen de los valores de módulos resilientes compuestos de todo el paquete estructural.

Tabla N°6.10 Valores de módulo Compuesto de la Base Granular (Fuente: Elab.propia).

N°	Location	Mrc (MPa)	N°	Location	Mrc (MPa)
1	D1 km 0+000 h=33	319	87	D1 km 8+600 h=33	137
2	I1 km 0+100 h=33	252	88	I1 km 8+700 h=33	231
3	D1 km 0+200 h=33	284	89	D2 km 8+800 h=33	200
4	I2 km 0+300 h=33	234	90	I1 km 8+900 h=33	181
5	D1 km 0+400 h=33	226	91	D1 km 9+000 h=33	192
6	I2 km 0+500 h=33	289	92	I1 km 9+100 h=33	154
7	D2 km 0+600 h=33	245	93	D1 km 9+200 h=33	220
8	I1 km 0+700 h=33	227	94	I1 km 9+300 h=33	204
9	D1 km 0+800 h=33	201	95	D1 km 9+400 h=33	170
10	I1 km 0+900 h=33	233	96	I1 km 9+500 h=33	155
11	D1 km 1+000 h=33	200	97	D1 km 9+600 h=33	122
12	I1 km 1+100 h=33	249	98	I1 km 9+700 h=33	196
13	D1 km 1+200 h=33	282	99	D1 km 9+800 h=33	230
14	I1 km 1+300 h=33	226	100	I1 km 9+900 h=33	319
15	D2 km 1+400 h=33	255	101	D1 km 10+000 h=33	232
16	I1 km 1+500 h=33	379	102	I1 km 10+100 h=33	200
17	D2 km 1+600 h=33	202	103	D1 km 10+200 h=33	144
18	I1 km 1+700 h=33	266	104	I1 km 10+300 h=33	211
19	D1 km 1+800 h=33	162	105	D1 km 10+400 h=33	231
20	I1 km 1+900 h=33	191	106	I1 km 10+500 h=33	174
21	D1 km 2+000 h=33	265	107	D1 km 10+600 h=33	203
22	I1 km 2+100 h=33	234	108	I1 km 10+700 h=33	103
23	D1 km 2+200 h=33	347	109	D1 km 10+800 h=33	171
24	I1 km 2+300 h=33	258	110	I1 km 10+900 h=33	211
25	D1 km 2+400 h=33	270	111	D1 km 11+000 h=33	162
26	I1 km 2+500 h=33	241	112	I1 km 11+100 h=33	193
27	D2 km 2+600 h=33	243	113	D1 km 11+200 h=33	189
28	I1 km 2+700 h=33	268	114	I1 km 11+300 h=33	221
29	D1 km 2+800 h=33	214	115	D2 km 11+400 h=33	149
30	I2 km 2+900 h=33	265	116	I1 km 11+500 h=33	198
31	D2 km 3+000 h=33	228	117	D1 km 11+600 h=33	241
32	I1 km 3+100 h=33	271	118	I2 km 11+700 h=33	241
33	D1 km 3+200 h=33	246	119	D1 km 11+800 h=33	235
34	I1 km 3+300 h=33	243	120	I1 km 11+900 h=33	113
35	D1 km 3+400 h=33	289	121	D1 km 12+000 h=33	181
36	I1 km 3+500 h=33	242	122	I1 km 12+100 h=33	129
37	D1 km 3+600 h=33	287	123	D1 km 12+200 h=33	194
38	I1 km 3+700 h=33	299	124	I1 km 12+300 h=33	139
39	D2 km 3+800 h=33	305	125	D1 km 12+400 h=33	163
40	I1 km 3+900 h=33	320	126	I1 km 12+500 h=33	200
41	D1 km 4+000 h=33	282	127	D1 km 12+600 h=33	168

42	I1 km 4+100 h=33	289	128	I1 km 12+700 h=33	187
43	D1 km 4+200 h=33	324	129	D2 km 12+800 h=33	130
44	I2 km 4+300 h=33	211	130	I1 km 12+900 h=33	141
45	D1 km 4+400 h=33	289	131	D1 km 13+000 h=33	139
46	I1 km 4+500 h=33	276	132	I1 km 13+100 h=33	298
47	D2 km 4+600 h=33	247	133	D1 km 13+200 h=33	222
48	I1 km 4+700 h=33	194	134	I1 km 13+300 h=33	272
49	D1 km 4+800 h=33	225	135	D1 km 13+400 h=33	183
50	I1 km 4+900 h=33	157	136	I1 km 13+500 h=33	174
51	D1 km 5+000 h=33	196	137	D1 km 13+600 h=33	158
52	I2 km 5+100 h=33	291	138	I1 km 13+700 h=33	197
53	D1 km 5+200 h=33	246	139	D1 km 13+800 h=33	198
54	I2 km 5+300 h=33	424	140	I1 km 13+900 h=33	187
55	D1 km 5+400 h=33	239	141	D1 km 14+000 h=33	204
56	I2 km 5+500 h=33	178	142	I1 km 14+100 h=33	301
57	D1 km 5+600 h=33	254	143	D1 km 14+200 h=33	286
58	I1 km 5+700 h=33	217	144	I1 km 14+300 h=33	160
59	D1 km 5+800 h=33	293	145	D1 km 14+400 h=33	160
60	I1 km 5+900 h=33	210	146	I1 km 14+500 h=33	176
61	D1 km 6+000 h=33	229	147	D1 km 14+600 h=33	127
62	I1 km 6+100 h=33	254	148	I1 km 14+700 h=33	187
63	D2 km 6+200 h=33	230	149	D1 km 14+800 h=33	119
64	I1 km 6+300 h=33	193	150	I1 km 14+900 h=33	183
65	D1 km 6+400 h=33	189	151	D1 km 15+000 h=33	124
66	I1 km 6+500 h=33	205	152	I1 km 15+100 h=33	222
67	D1 km 6+600 h=33	142	153	D1 km 15+200 h=33	142
68	I1 km 6+700 h=33	209	154	I1 km 15+300 h=33	185
69	D2 km 6+800 h=33	254	155	D1 km 15+400 h=33	198
70	I1 km 6+900 h=33	182	156	I1 km 15+500 h=33	175
71	D1 km 7+000 h=33	211	157	D1 km 15+600 h=33	161
72	I1 km 7+100 h=33	178	158	I1 km 15+700 h=33	206
73	D2 km 7+200 h=33	231	159	D1 km 15+800 h=33	204
74	I1 km 7+300 h=33	235	160	I1 km 15+900 h=33	215
75	D1 km 7+400 h=33	260	161	D1 km 16+000 h=33	216
76	I1 km 7+500 h=33	236	162	I1 km 16+100 h=33	144
77	D1 km 7+600 h=33	191	163	D1 km 16+200 h=33	213
78	I1 km 7+700 h=33	198	164	I1 km 16+300 h=33	158
79	D1 km 7+800 h=33	153	165	D1 km 16+400 h=33	243
80	I1 km 7+900 h=33	297	166	I1 km 16+500 h=33	210
81	D2 km 8+000 h=33	222	167	D1 km 16+600 h=33	183
82	I1 km 8+100 h=33	224	168	I2 km 16+700 h=33	178
83	D2 km 8+200 h=33	155	169	D1 km 16+800 h=33	154
84	I1 km 8+300 h=33	336	170	I2 km 16+900 h=33	201
85	D1 km 8+400 h=33	333	171	D1 km 17+000 h=33	225
86	I1 km 8+500 h=33	269			

6.4.2 Proyecto Red Vial 1 - Tramo 3 - Dv Yanaoca – Yanaoca

El tramo en estudio tiene 6.5km, de longitud se encuentra entre la localidad de Pampamarca y Yanaoca, el tramo es tangente y no presenta zona accidentada, se realizaron las mediciones de deflectometría siguiendo la misma metodología de medición de los demás tramos con la diferencia, que en este tramo se utilizaron los 2 sensores adicionales obteniendo así el cuenco de deformaciones.

Los centros de las mediciones se realizaron aproximadamente en la huella externa del eje vehicular ya que es donde se generan las mayores tensiones a lo largo de su vida útil. De esta manera resultaron 66 puntos medidos como se puede observar en el Anexo N°10.

Como se trata de caminos de bajo volumen de tránsito se trabajó bajo la configuración anteriormente definida ver Tabla N°6.11.

Tabla N°6.11. Configuración del LWD utilizada para la Base Granular (Fuente: Elab.propia)

Peso (Kg)	Plato (mm)	h (Pulg)	Prestión (KPa)	Código
20kg	30	33	176	P30 - 176Kpa

Los resultados de campo de las mediciones correspondiente a este tramo se presentan en el Anexo N°11, la siguiente Tabla N° 6.12, presenta un resumen de los valores de módulos resilientes compuestos de los 3 sensores.

Tabla N°6.12 Valores de módulo Compuesto de la Base Granular (Fuente: Elab.propia).

N°	Localización	Mrc (MPa) G1	Mrc (MPa) G2	Mrc (MPa) G3	N°	Localización	Mrc (MPa) G1	Mrc (MPa) G2	Mrc (MPa) G3
1	I km 0+000 h=33	141	94	97	34	D km 3+300 h=33	273	171	144
2	D km 0+100 h=33	210	133	188	35	I km 3+400 h=33	216	119	95
3	I km 0+200 h=33	365	220	243	36	D km 3+500 h=33	300	215	172
4	D km 0+300 h=33	324	183	171	37	I km 3+600 h=33	214	122	95
5	I km 0+400 h=33	291	169	139	38	D km 3+700 h=33	149	124	102
6	D km 0+500 h=33	150	110	114	39	I km 3+800 h=33	136	91	88
7	I km 0+600 h=33	334	195	156	40	D km 3+900 h=33	187	107	100
8	D km 0+700 h=33	110	141	244	41	I km 4+000 h=33	298	136	114
9	I km 0+800 h=33	465	246	185	42	D km 4+100 h=33	432	253	206
10	D km 0+900 h=33	131	87	97	43	I km 4+200 h=33	291	145	102

11	I km 1+000 h=33	95	71	81	44	D km 4+300 h=33	301	191	134
12	D km 1+100 h=33	115	137	199	45	I km 4+400 h=33	418	236	172
13	I km 1+200 h=33	153	80	75	46	D km 4+500 h=33	501	400	358
14	D km 1+300 h=33	187	103	101	47	I km 4+600 h=33	408	255	213
15	I km 1+400 h=33	194	117	108	48	D km 4+700 h=33	491	292	227
16	D km 1+500 h=33	224	111	101	49	I km 4+800 h=33	358	208	161
17	I km 1+600 h=33	197	94	81	50	D km 4+900 h=33	507	272	200
18	D km 1+700 h=33	117	67	71	51	I km 5+000 h=33	478	268	216
19	I km 1+800 h=33	112	100	89	52	D km 5+100 h=33	369	314	200
20	D km 1+900 h=33	145	111	97	53	I km 5+200 h=33	373	194	142
21	I km 2+000 h=33	294	130	99	54	D km 5+300 h=33	182	102	106
22	D km 2+100 h=33	69	53	58	55	I km 5+400 h=33	124	90	105
23	I km 2+200 h=33	103	50	55	56	D km 5+500 h=33	156	105	109
24	D km 2+300 h=33	214	119	104	57	I km 5+600 h=33	264	178	154
25	I km 2+400 h=33	204	119	113	58	D km 5+700 h=33	121	129	129
26	D km 2+500 h=33	171	157	121	59	I km 5+800 h=33	175	149	165
27	I km 2+600 h=33	136	96	84	60	D km 5+900 h=33	299	264	217
28	D km 2+700 h=33	133	83	79	61	I km 6+000 h=33	141	137	191
29	I km 2+800 h=33	144	75	70	62	D km 6+100 h=33	114	75	87
30	D km 2+900 h=33	147	83	76	63	I km 6+200 h=33	208	219	295
31	I km 3+000 h=33	196	102	85	64	D km 6+300 h=33	255	216	290
32	D km 3+100 h=33	213	115	91	65	I km 6+400 h=33	268	221	244
33	I km 3+200 h=33	215	126	102	66	D km 6+500 h=33	149	112	142

CAPÍTULO VII PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1 INFORMACIÓN DE CAMPO

Las mediciones de campo fueron realizadas en los tramos 14 y 3, del proyecto Red vial 1, que corresponden a los sectores:

1. Yanaoca – Yauri.
2. Dv Yanaoca – Yanaoca.

Luego de conocer el suelo evaluado, en campo se efectuaron las mediciones In – situ, en las condiciones en las que se encuentra el terreno.

Los datos de las mediciones de campo, no requieren de formatos de apunte ya, que el equipo presenta un computador de mano, donde registra toda la información proveniente de la evaluación puntual, indicando un control de golpes o caídas, registros de características de la superficie evaluada, coordenadas geográficas, cualquier medición o control adicional el operario del equipo puede realizarlo o en su defecto corregirlo.

Las mediciones con el “LWD”, se detienen o se dan como rechazadas o no confiables cuando el equipo presenta mucha inclinación vertical al momento de la medición o cuando la grafica carga versus deformación es irregular en esos casos eliminar la medición y considerar los pasos de mediciones según el capítulo 6.

Para el desarrollo de las mediciones con el “LWD”, se necesitó la ayuda de vigías y operarios capacitados por el Ing. a cargo, además de la camioneta, para el traslado como se aprecia en la figura N°7.1.



Figura N°7.1 Personal de trabajo

El inicio de las mediciones se efectuó sobre el nivel de la base granular, que conforma la estructura del pavimento, la medición es puntual por lo que antes de colocar el equipo en el punto de medición se debe limpiar la superficie circular, eliminando material y polvo indeseable, que genere alteraciones en los resultados.

La descripción visual del suelo (Base Granular), en el desarrollo de las mediciones permite obtener información adicional de estas, si presenta mucha humedad producto de las lluvias o presenta acumulación de agua en las cunetas las cuales están saturando a dicho sector del pavimento evaluado, si presenta deterioro superficial prematuro de la superficie del pavimento, fisuras, desprendimiento de los agregados, recolectar estas informaciones nos sirve para el análisis de los resultados obtenidos con las mediciones del "LWD". Y poder decir bajo, qué condiciones se realizaron las mediciones y de qué manera afecta a estas.

En el primer tramo (Yanaoca – Yauri), evaluado se realizaron 171 puntos o mediciones cada una de ellas con aproximadamente 4 a 5 caídas, en el segundo tramo (Dv Yanaoca – Yanaoca) se evaluaron 66 mediciones con 5 a 8 caídas en promedio. En cada tramo evaluado hubieron resultados defectuosos por tal motivo estos se volvieron a medir en el mismo punto o en su defecto a cercano a dicho +/- 1 m de tal manera de sectorizar dicho sector evaluado, para este tramo las mediciones se realizaron con los 2 sensores adicionales.

En las diferentes mediciones realizadas en ambos tramos se presentó dificultades ya que más de 2 minutos sin realizar una medición o alejarse más de 2 metros de distancia entre ambos dispositivos esto generaría una desconexión del computador de mano con la celda de carga vía Bluetooth, y su reconexión traería consigo tiempos muertos en el avance de las mediciones y un posible daño del archivo creado si es que esto es muy repetitivo.

El desarrollo de la medición con el equipo "LWD", es muy cuidadoso pero al mismo tiempo es muy versátil en el armado y medición, para lo cual se tiene que considerar ciertos parámetros para su correcto uso ya que si no, llevaría a resultados no reales además de esto antes de realizar las mediciones se debe fijar las alturas del "LWD", para alcanzar las tensiones requeridas con las que se realizarán las mediciones dependiendo del tipo de paquete estructural a evaluar.

7.2 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN DE CAMPO

Recopilada la información de campo se realizó el cálculo de los módulos de la base granular, por medio de los datos de campo obtenidos con el "LWD", información donde se detalla, la localización del punto, el número de golpes, radio del plato de carga, carga aplicada, tensión generada, deflexión máxima (central), módulo resiliente compuesto, coordenadas geográficas (GPS). Y finalmente para cada tramo evaluado se efectúa el análisis correspondiente según las características de sub rasante y espesor.

El procesamiento de la información de campo se realizó por medio del Software "LWDmod" (Daynates), la cual fue creada para tal fin. Para la descarga del archivo creado en campo, en formato "KDB", se tuvo, que crear una base de datos en Microsoft Access, la cual servirá de base, para importar los datos del archivo KDB de campo.

7.2.1 Preparación de los datos para el análisis

Antes de realizar cualquier análisis, es importante asegurarse de que los datos son de la mejor calidad posible, y deben estar estructuradas de una manera apropiada. Por lo cual se presenta 5 pasos, que se deben de considerar para asegurar la calidad de los resultados:

- 1.Preparar las pruebas de campo con precisión y preferible seguir un procedimiento estándar.
- 2.Corregir los errores de las pruebas de campo, que resulta en datos de mala precedencia.
- 3.Corregir puntos, nombres (ubicaciones) y archivos de forma lógica, para evitar problemas de identificación. Esto se realizó en ambos tramos medidos
- 4.Un paso importante en el procesamiento de la información es utilizar los recursos del Software "LWDmod", para eliminar puntos o gotas con resultados, que son evidentemente, no adecuados para el análisis. En la presente Tesis solo se consideró la caída de los 3 últimos golpes ya, que por lo general no se recomienda el uso de todas las caídas, debido a que las primeras caídas pueden ser considerados como caídas de asientos, donde las estructuras cambian debido a los impactos de carga.

5. Usar las instalaciones del Software “LWDmod”, para seleccionar la caídas, que son adecuados para el propósito del análisis.

En los archivos creados en campo, se ha hecho uso de la selección de caídas la cual puede ser controlado, desde la configuración del archivo o mediante la desactivación de caídas individuales de la red en la ventana de análisis. La idea es, tener en cuenta de no utilizar gotas de asientos con las lecturas anormales de desviación.

También es posible, incluir caídas hechas con diversos niveles de carga y tamaños de placa ya que esta información permitirá el análisis para calcular la no linealidad y espesor de la capa.

7.2.2 Proceso de interpretación de la información obtenida en campo como condición de entrada al Programa LWDmod.

La información registrada en terreno se almacena en una base de datos de extensión KDB, que es leída por el programa “LWDmod” y puede ser exportada a formato Excel, Word o texto.

La siguiente figura N° 7.2, muestra la lectura del programa de la base de datos generada en campo:

Measured		Project										
22 septiembre 2014		C:\Users\daniel.quinonez\Desktop\valorizacion\cgra cora lwd setiembre\CC-Dv5cm.mdb										
Point No.	Location	Drop	Radius	Load	Stress	Distances, mm			Deflections, Micron			Time
			mm	kN	kPa	G1	G2	G3	D1	D2	D3	
1	D km 97+200 h=33	1	150	12.2	173	0			363			10:58:16
		2	150	12.2	173	0			357			10:58:21
		3	150	12.2	173	0			358			10:58:47
		4	150	12.2	173	0			355			10:58:51
		5	150	12.2	173	0			355			10:58:55
		6	150	12.2	173	0			353			10:58:59
2	I km 97+200 h=33	1	150	12.1	171	0			225			11:00:54
		2	150	12.1	172	0			199			11:00:59
		3	150	12.1	171	0			196			11:01:01
		4	150	12.1	171	0			195			11:01:04
		5	150	12.1	171	0			195			11:01:08
		6	150	12.2	173	0			194			11:01:12
3	D km 97+225 h=33	1	150	12.0	170	0			474			11:03:55
		2	150	12.1	171	0			457			11:03:59
		3	150	12.1	171	0			455			11:04:02
		4	150	12.1	171	0			452			11:04:06
		5	150	12.1	171	0			452			11:04:09
		6	150	12.1	171	0			450			11:04:14
4	I km 97+225 h=33	1	150	12.0	170	0			719			11:05:28

<Alt> + Click Point No. to delete point
<Alt> + Click Drop to delete drop

Notes:

Figura N°7.2 Base de datos generada en campo.

Cada fila corresponde a una caída de carga. En cada columna se muestra la información generada en campo, sin ningún proceso o análisis.

El procesamiento de los datos de entrada, para la presente tesis se ha considerado un sistema multicapas, son dos las capas evaluadas (Base granular, Sub-Rasante), el espesor de la capa superior es un dato conocido por diseño y construcción lo que da un mejor ajuste al análisis.

Para el análisis, es necesario ingresar la información del espesor y valores semilla de la capa evaluada y el valor del módulo de la sub-rasante.

La siguiente figura N°7.3, muestra la pantalla en donde se introducen estos datos para los tramos evaluados en el programa "LWDmod". Este ejemplo, es un sistema Monocapa (una capa de 15cm sobre una sub-rasante).

The screenshot shows the LWDmod software interface. At the top, there are menu options: "Points", "Show Graphs", "File Settings", and "Seeds". Below these are buttons for "Next point" and "Previous point". A table header is visible with columns for "No.", "Use", "Radius mm", "Stress kPa", "Distances, mm" (G1, G2, G3), "Deflections, Micron" (D1, D2, D3), "Deflections, calc." (D1, D2, D3), "Em MPa", "Eo MPa", "RMS", and "n".

The main interface is divided into several sections:

- Structure and seed values:** Includes a "No. of drops" field set to 2, a "Deflections" button, and input fields for layer thickness (h) and modulus (E). For example, h = 150 mm and E = 220 MPa. There are also checkboxes for "h" and "E".
- Results:** Contains "Calculate point" and "Save" buttons, and input fields for h, E1, n, C, and Em.
- Control and Settings:** Includes an "RMS" checkbox, "Calculate project" and "Stop" buttons, and "Width", "Steps", and "Alternate" settings (3, 3, 2 respectively).
- Depth to bedrock:** A field for entering the depth in mm.
- Buttons:** "New values as seeds" and "Depth to bedrock" buttons.

Figura N°7.3 Datos a utilizar para la iteración.

Antes de realizar cualquier análisis estructural, la información debe introducirse en términos de definiciones de capas y de valores semilla según la figura N°7.3 es necesario ingresar la información del espesor de capa evaluada y definir los parámetros de n (Linealidad de la sub-rasante), así como introducir los valores semilla, módulos de la capa base y de la sub-rasante. Para esto se han utilizado los valores del módulo de la sub-rasante de las evaluaciones deflectométricas realizadas en el 2012 y registradas en el Plan de Conservación Vial del Proyecto.

7.2.2.1. Parámetros a Introducir como condición.

- No of layers = Número de capas en la estructura evaluada. Se considera la subrasante como una capa, para la siguiente investigación se definió en 2 capas estructurales base granular y sub-rasante.
- h = Espesor de la capa estabilizada mecánicamente (base granular), según el diseño del plan de conservación Vial, en el cual se ha utilizado el Método NASSRA la cual solo es aplicable para carreteras no pavimentadas de bajo volumen de Transito, la calzada tiene ancho promedio 4.5 m, según los TDR, un espesor de 15.50 cm. de base granular si la estabilización es Mecánica, pero en el proceso constructivo se ha colocado un espesor de 16 cm.
- E = Módulo elástico de la capa superior se expresa en unidades de Mpa. Este es un valor inicial, que se debe asumir (seed value), en función a este valor se realiza la iteración para llegar a un equivalente en estructura, que dé como respuesta la deflexión encontrada. Si se da una selección extremadamente pobre del módulo el análisis puede fallar, al intentar encontrar la solución dentro de las tolerancias especificadas entre las deflexiones medidas y las calculadas. En este caso es factible aceptar un arreglo alterno de módulos, que puede proporcionar una solución aceptable antes de alcanzar el número máximo de iteraciones.

A menudo, cuando la tolerancia es muy cerrada el módulo final, que se calcula no se ve afectado por los valores elegidos para la combinación inicial del módulo. En caso no se dispone de datos para elegir un valor inicial de modulo Semilla, se pueden utilizar los siguientes valores de módulo si no se dispone de otros datos, ver Tabla N°7.1.

Tabla N°7.1 Valores de módulos Elásticos

Material	Módulo Elástico (MPa)
Bases granulares	200
Sub bases granulares	100
Bases estabilizadas	345
Suelo cohesivos	48

Según la tabla de valores se ha considerado como valor semilla para los cálculos de esta investigación $E = 200$ Mpa ya, que se trata de una base granular.

- $n = 0$ = Se considera $n = 0$, cuando el comportamiento del material evaluado es lineal y $n \neq 0$, cuando el comportamiento del material es no lineal, es una equivocación, que se produce a menudo al considerar en cualquier modelo la relativa a la linealidad de su parte elástica esto quiere decir, que es frecuente suponer, que la parte elástica de la curva de comportamiento del material adopta una forma lineal, cuando esto no tiene, por qué ser necesariamente así, para nuestra investigación detallaremos las consideraciones de la sub-rasante a evaluar las cuales pueden ser:

1. Sub rasante Lineal:

Está basada en las ecuaciones, que forman parte de la teoría elástica ya, que en estas se asumen, que los materiales son lineales y elásticos si aumentamos mayor carga en un mismo punto la respuesta de deformación aumenta, pero el módulo elástico siempre va a ser el mismo en otras palabras la respuesta del módulo no va a variar producto de una deformación va a ser proporcional al nivel de tensiones o a la carga.

2. Sub rasante No lineal:

Se entiende por no linealidad, cuando el material presenta un módulo distinto cuando la respuesta de la deformación aumenta, debido a un incremento de la carga, es decir el modulo varía según la tensión, que apliquemos al material a esto definimos como la no linealidad de los suelos.

En la investigación de la presente tesis se ha considerado que la sub rasante presenta un comportamiento no lineal; $n \neq 0$. En este caso, los materiales evaluados son granulares pero el comportamiento debido al nivel de tensiones aplicadas en la capa inferior evaluada puede resultar con un módulo distinto cuando esta exigido, que cuando no está exigido. Y solo para el tramo Dv Yanaoca – Yanaoca se ha considerado también un análisis lineal con el fin de poder comparar los resultados de módulo de CBR, obtenido del laboratorio.

- $C =$ Es el valor semilla inicial del módulo de la sub-rasante (dato conocido), que es el valor que se va a iterar, La iteración se realizará para cada caída de carga. El programa permite indicar si se evaluarán todas las caídas de carga o las caídas que cumplan alguna condición. En nuestro caso se han evaluado las tres últimas caídas de carga.

En el presente análisis se ha dejado, que el programa calcule el módulo de "C" para una sub-rasante no lineal, partiendo de valores semillas. Los valores semilla para "C", han sido sacados de las mediciones realizadas anteriormente por la empresa Concar S.A. con el equipo FWD, por la cual dichos valores semilla han sido sectorizado para introducir estos valores lo más realista posible.

Luego de realizar el retro-análisis, se puede mostrar mediante el programa "LWDmod", el resultado del módulo de elasticidad de la capa evaluada para cada progresiva. La siguiente figura N°7.4, muestra la pantalla del programa en donde se indica un valor promedio para cada progresiva. Estos resultados se pueden exportar a formato: txt, Word o Excel.

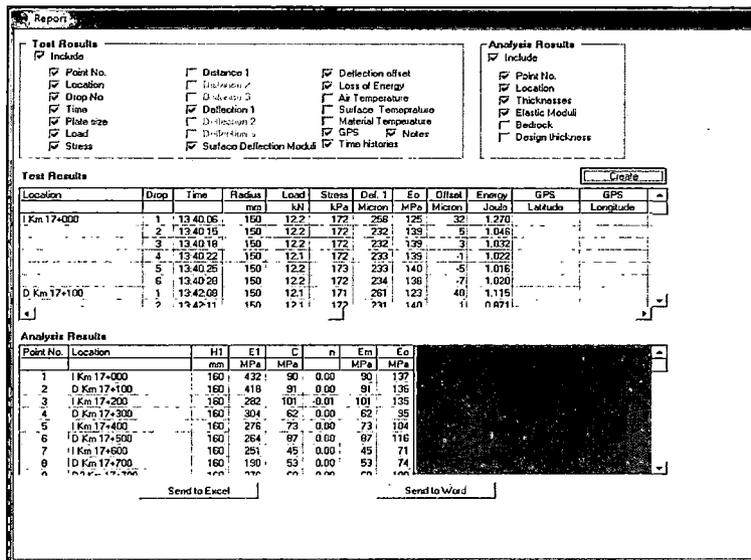


Figura N° 7.4 Resultados obtenidos luego de la iteración

El procesamiento del cálculo se resume en la siguiente figura N° 7.5.

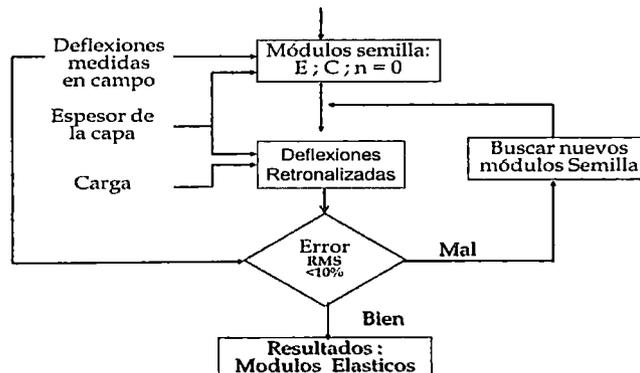


Figura N°7.5 Cuadro Resumen del Retroanálisis.

7.3 RESULTADOS DEL PROCESO DE ANÁLISIS

7.3.1 Resultados de campo

7.3.1.1 Tramo 14: Yanaoca - Yauri

Siguiendo el procedimiento anterior se tiene los siguientes resultados de campo para el caso de las deflexiones y módulos Resiliente Compuesto.

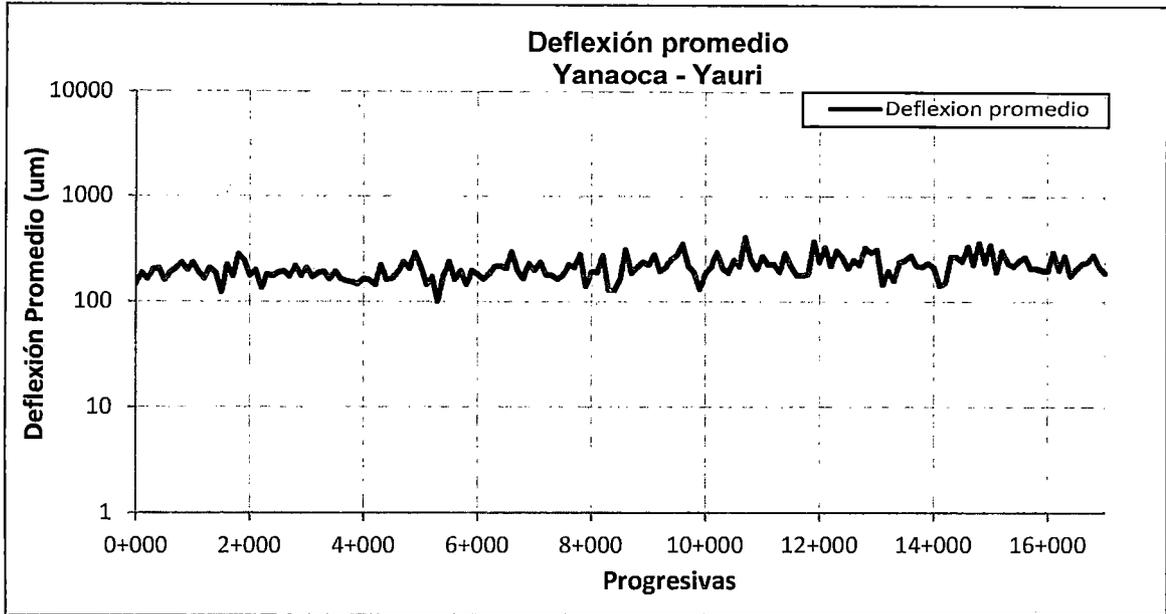


Figura N°7.6 Deflexión Central Total del Tramo 14

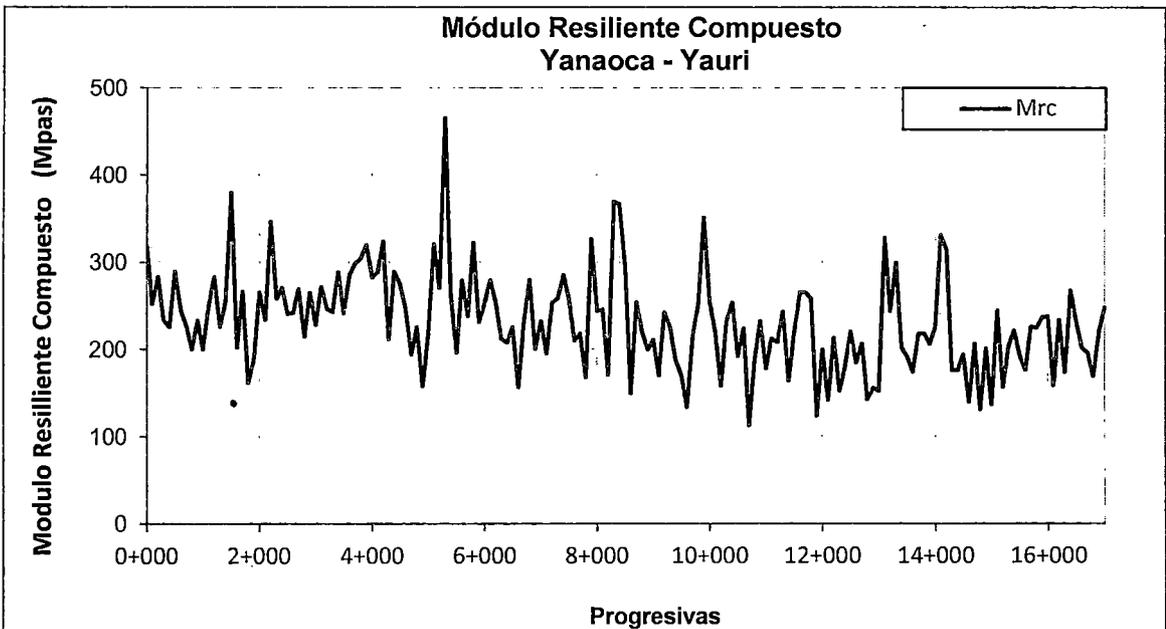


Figura N° 7.7 Módulo resiliente Compuesto del Tramo 14

7.3.1.2 Tramo 3: Dv Yanaoca - Yanaoca

Siguiendo el procedimiento anterior se tiene los siguientes resultados de campo para el caso de las deflexiones y módulos Resiliente Compuesto con los 2 sensores adicionales.

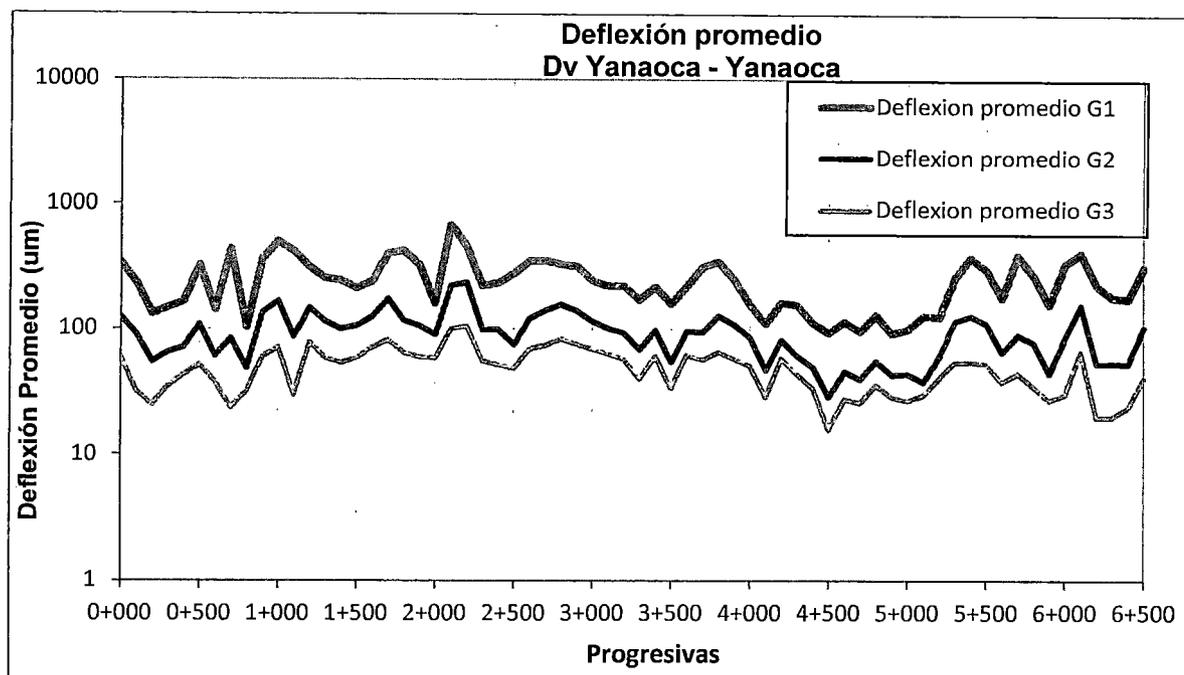


Figura N°7.8 Deflexión Central Total del Tramo 3

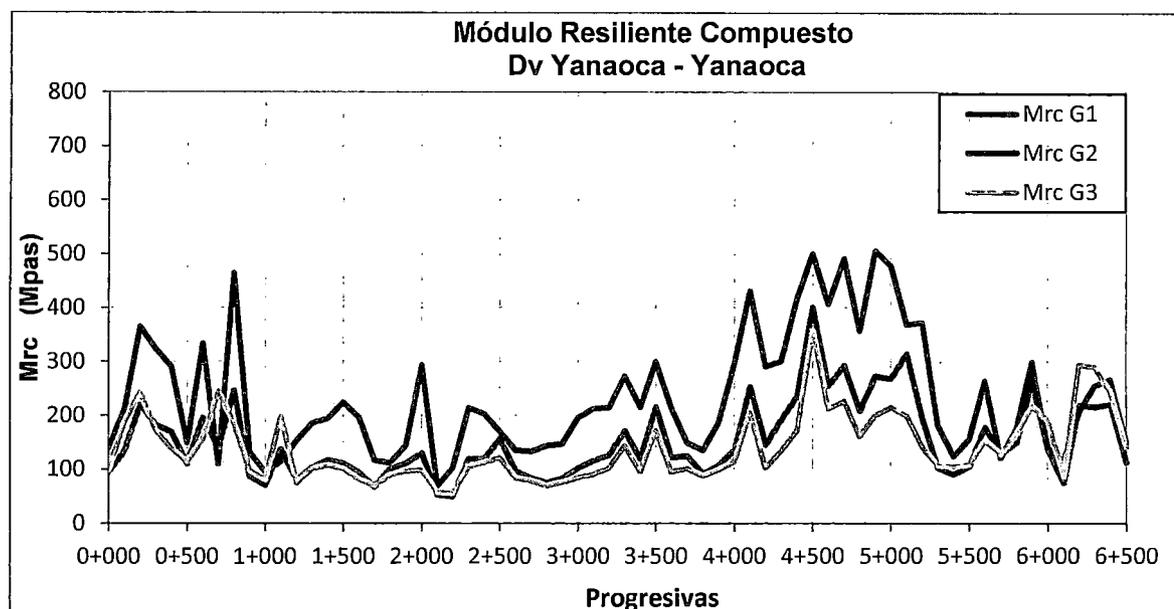


Figura N°7.9 Módulo resiliente Compuesto del Tramo 3

7.3.2 Resultados de la evaluación

7.3.2.1 Tramo 14: Yanaoca – Yauri (Análisis No Lineal)

En las siguientes graficas se presenta los resultados de los módulos de la base granular del lado derecho e izquierdo, obtenidos con la aplicación de la metodología planteada en el proyecto así como la comparación de módulos entre lados.

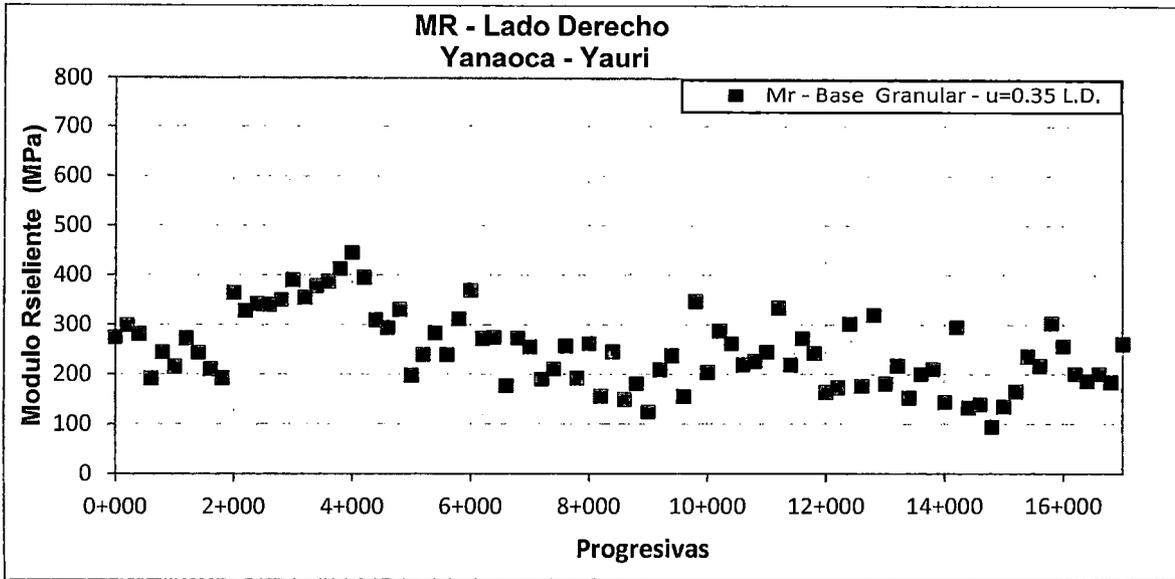


Figura N°7.10 Módulo resiliente de la base granular L.D - Tramo 14

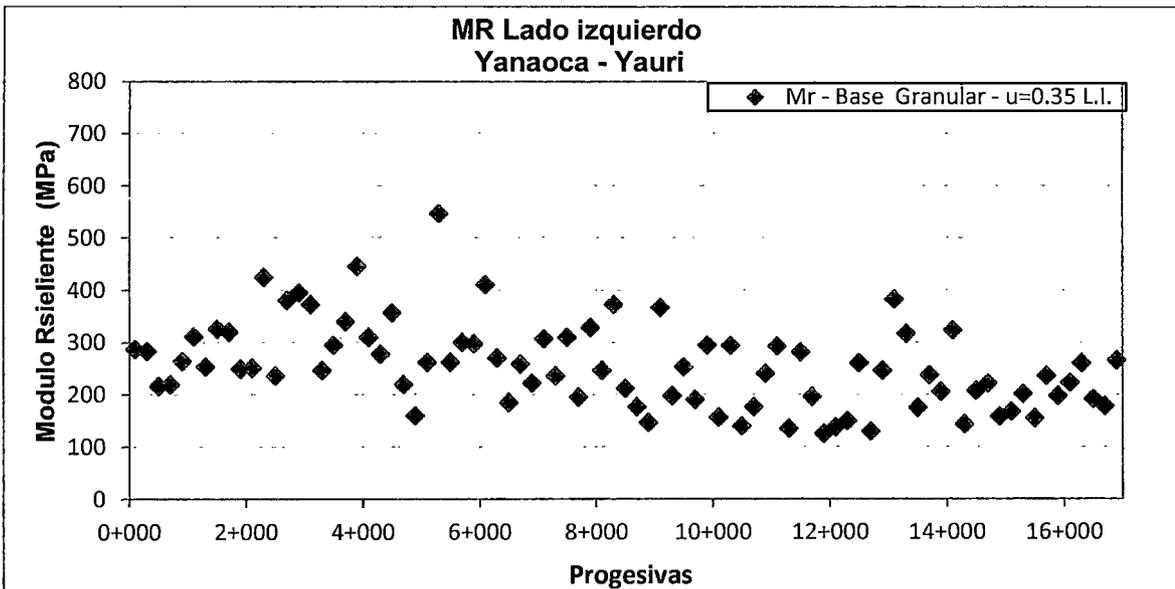


Figura N°7.11 Módulo resiliente de la base granular L.I - Tramo 14

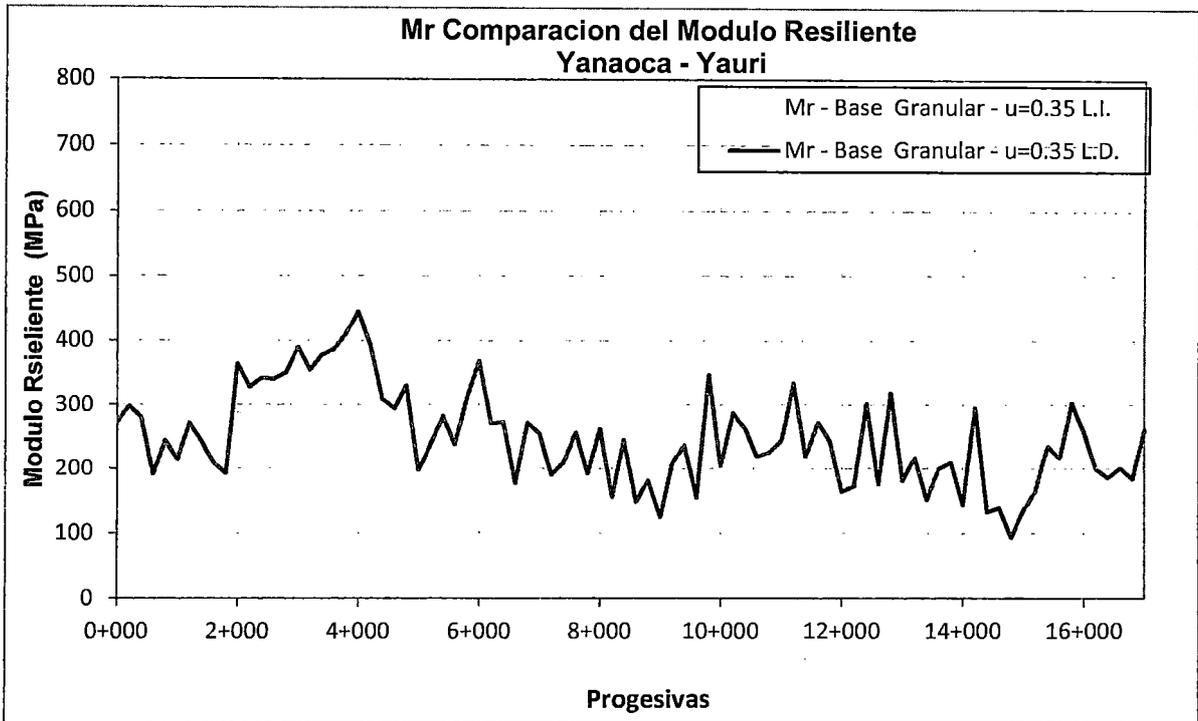


Figura N°7.12 Comparación del módulo resiliente del lado L.D. e L.I.

Siguiendo con el procedimiento anterior se presentan los resultados de los módulos retroanalizados correspondientes a la sub rasante de la base granular.

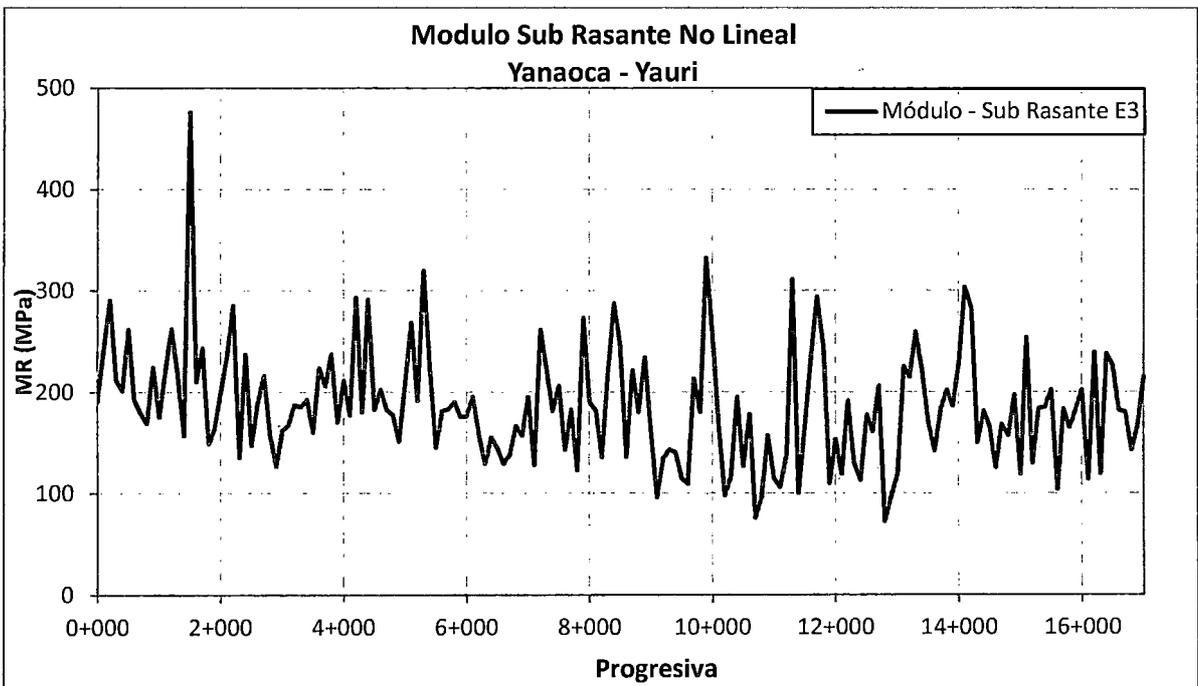


Figura N°7.13 Grafica del módulo de la Sub Rasante – Tramo 14

Siguiendo con el procedimiento se presenta los resultados del retro-análisis asiendo la comparación base – Sub rasante. Asi como las grafica del numero estructural correspondiente a la base granular.

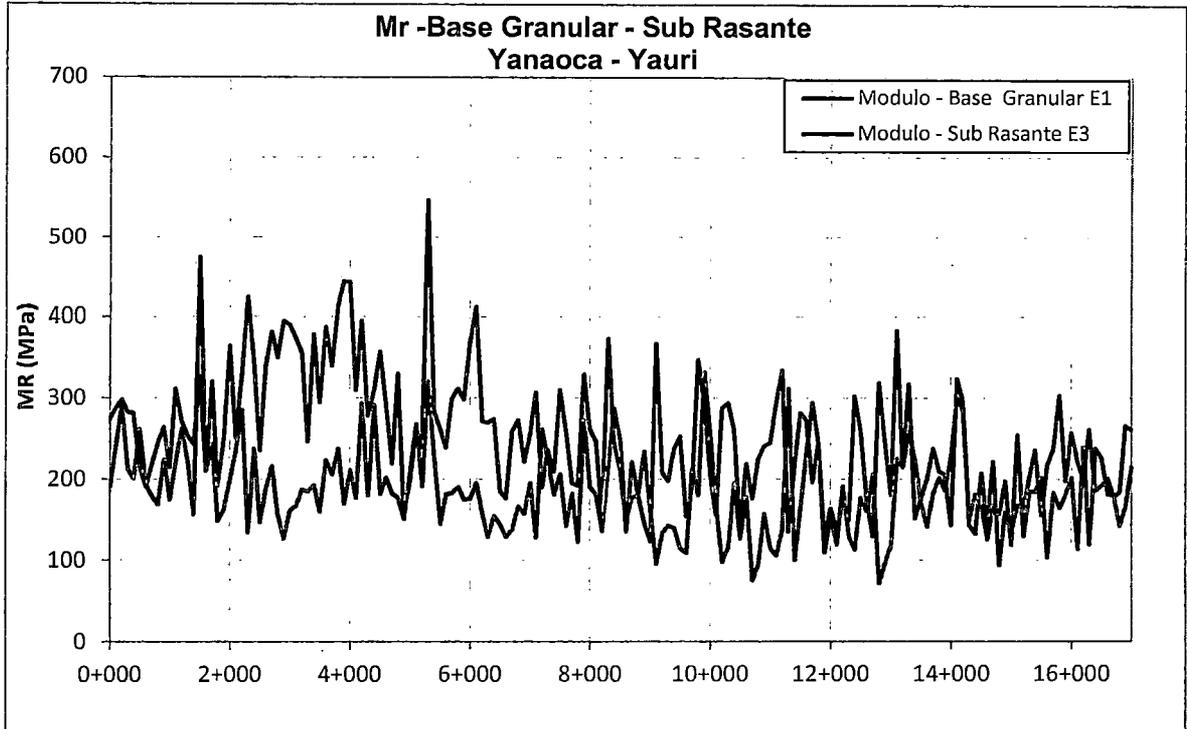


Figura N°7.14 Módulo de base Granular y la Sub-rasante – Tramo14

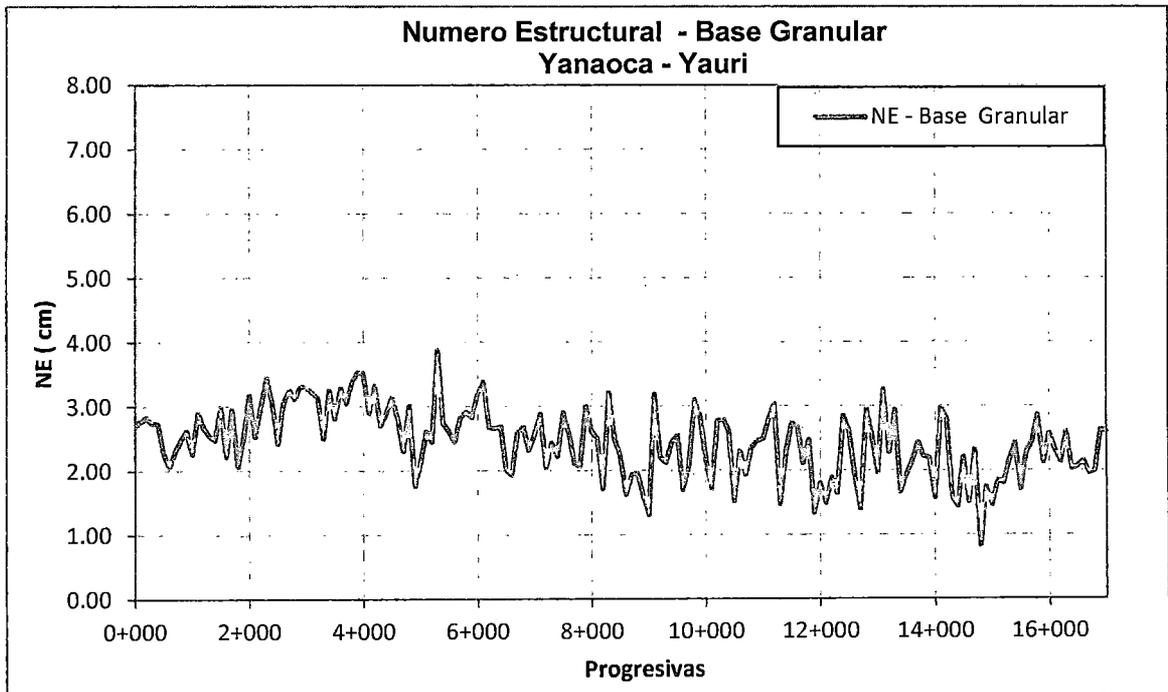


Figura N°7.15 Grafica del Numero Estructural de la capa BG - Tramo 14

7.3.2.2 Tramo 3: Dv Yanaoca – Yanaoca (Análisis No Lineal)

En las siguientes graficas se presenta los resultados de los módulos de la base granular del lado derecho e izquierdo, obtenidos con la aplicación de la metodología planteada en el proyecto así como la comparación de módulos entre lados.

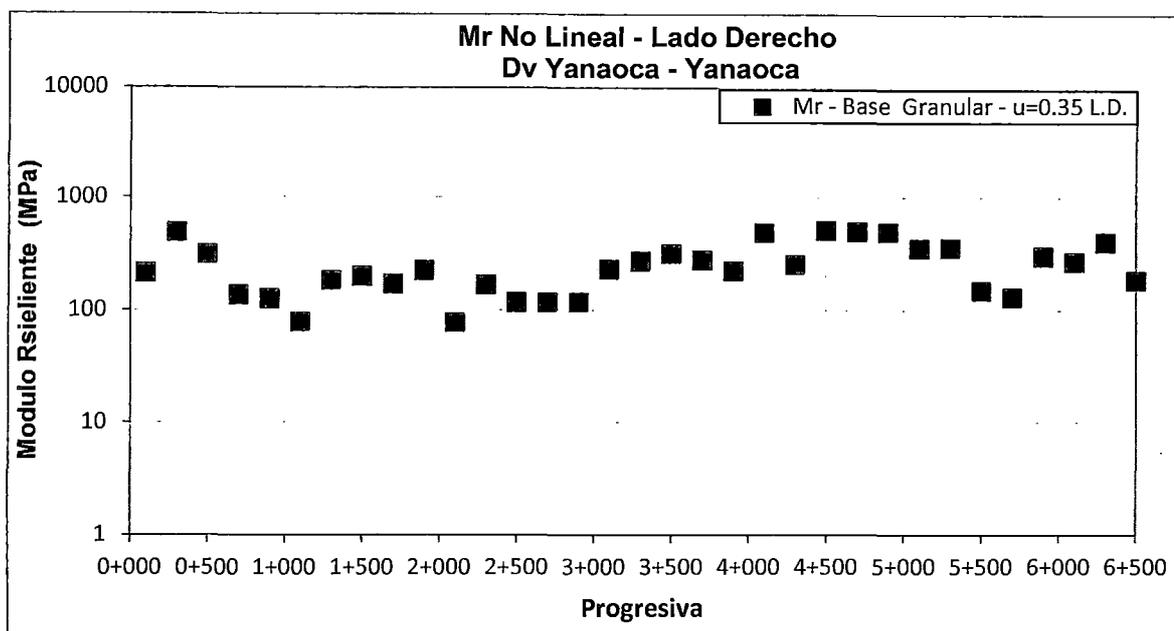


Figura N°7.16 Módulo resiliente de la base granular L.D – Tramo 3

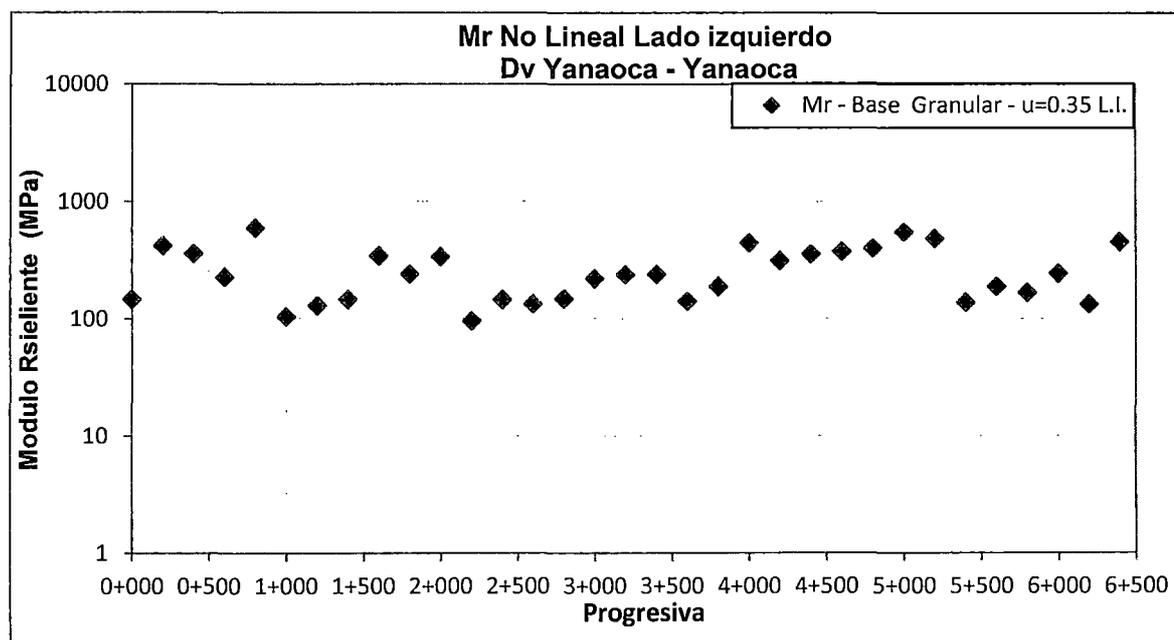


Figura N°7.17 Módulo resiliente de la base granular L.I. Tramo 3

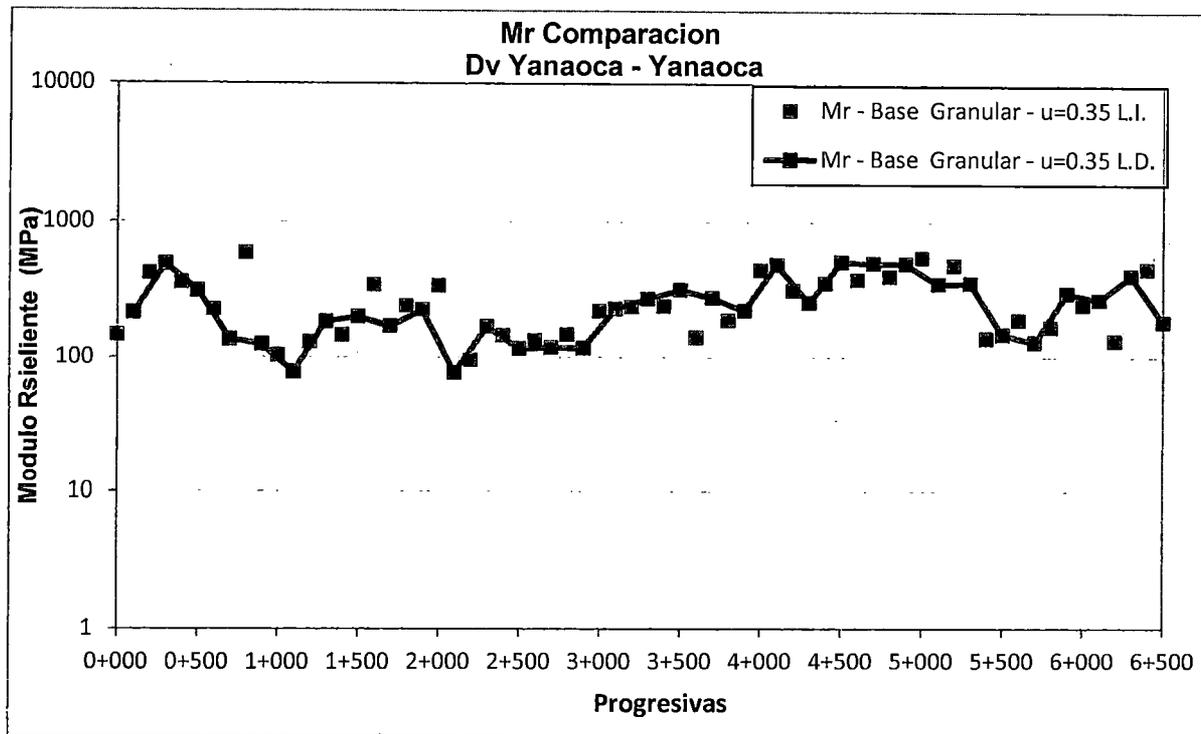


Figura N°7.18 Comparación del módulo resiliente del lado L.D. e L.I.

Siguiendo con el procedimiento anterior se presentan los resultados de los módulos retroanalizados correspondientes a la sub rasante no lineal.

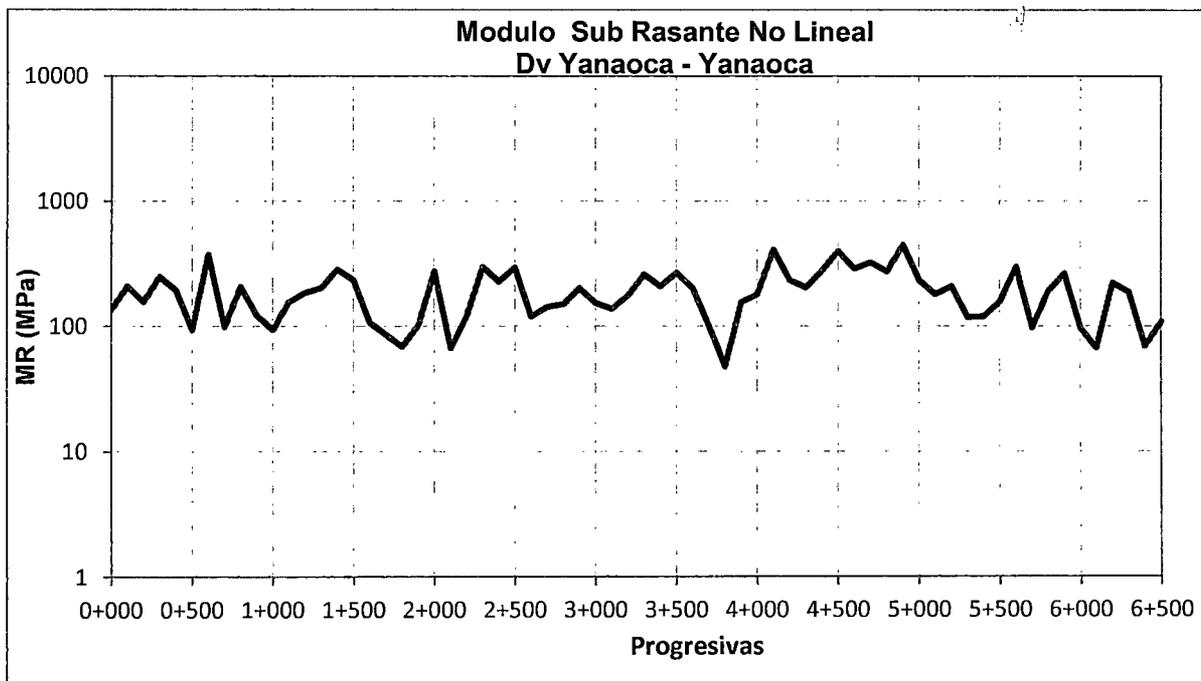


Figura N°7.19 Módulo de la Sub Rasante No lineal – Tramo 3

Siguiendo con el procedimiento, se presenta los resultados del retroanálisis asiendo la comparación base – Sub-rasante. Asi como las grafica del numero estructural correspondiente a la base granular.

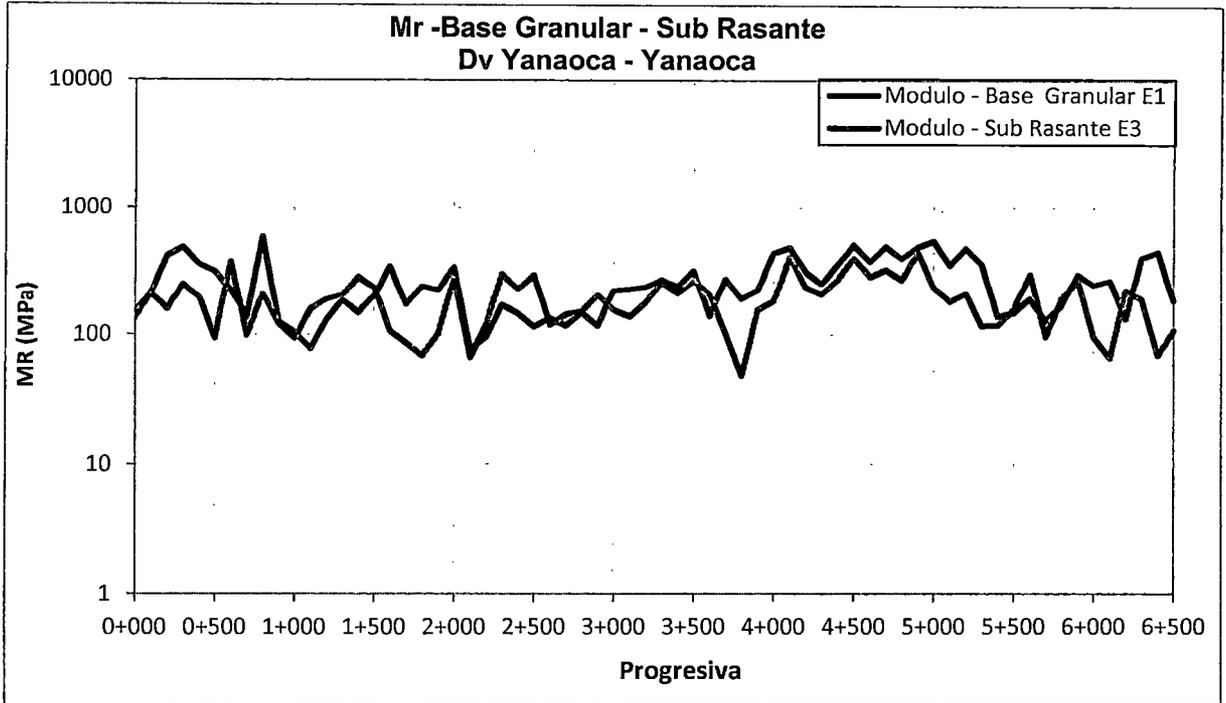


Figura N° 7.20 Módulo de base Granular y la Sub-Rasante – Tramo 3

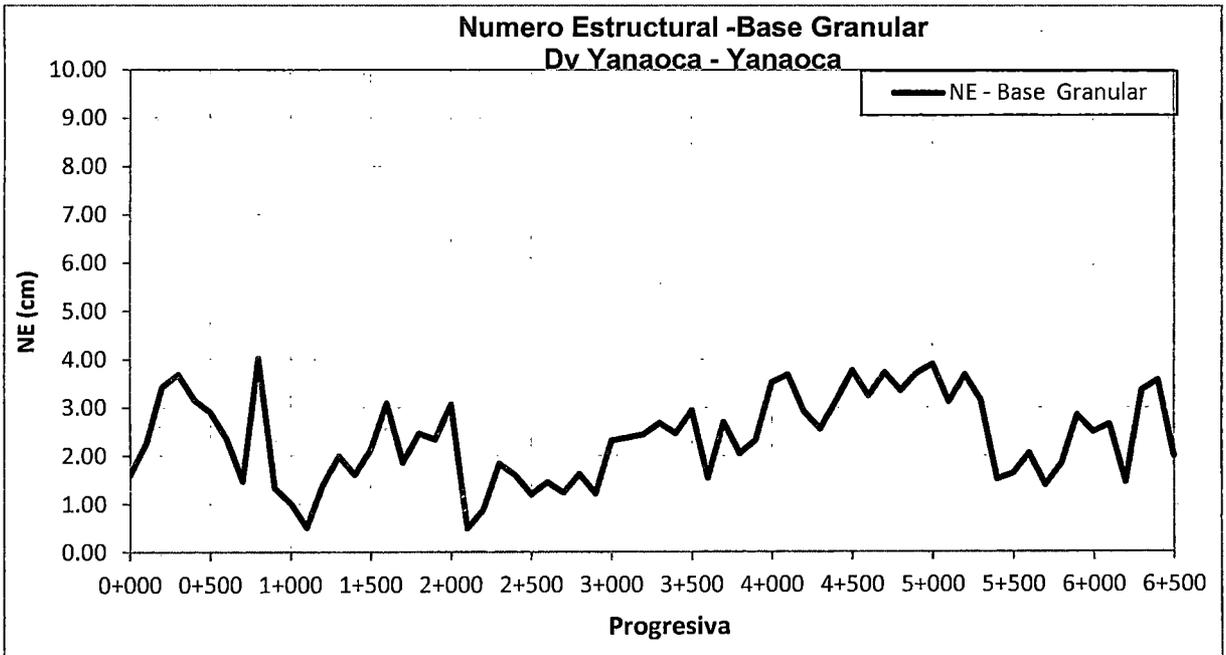


Figura N°7.21 Grafica del Numero Estructural de la capa BG - Tramo 3

7.3.2.3 Tramo 3: Dv Yanaoca – Yanaoca (Análisis Lineal)

En las siguientes graficas se presenta los resultados de los módulos de la base granular del lado derecho e izquierdo, obtenidos con la aplicación de la metodología planteada en el proyecto así como la comparación de módulos entre lados.

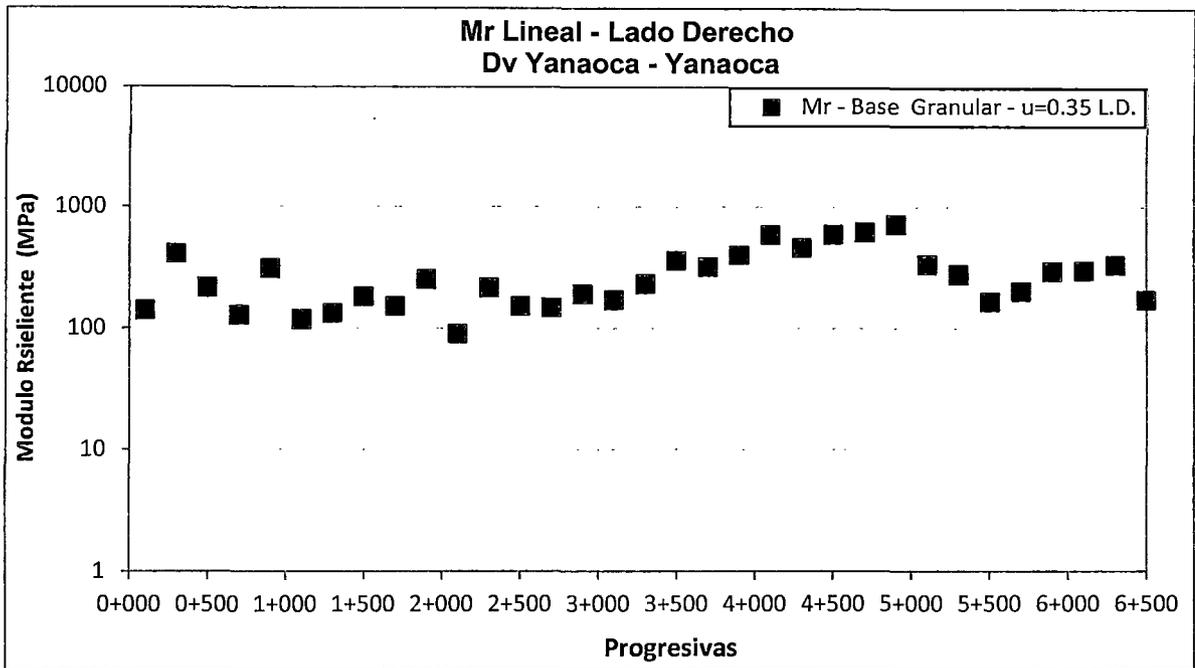


Figura N°7.22 Análisis Lineal del Módulo resiliente de la base granular L.D – Tramo 3

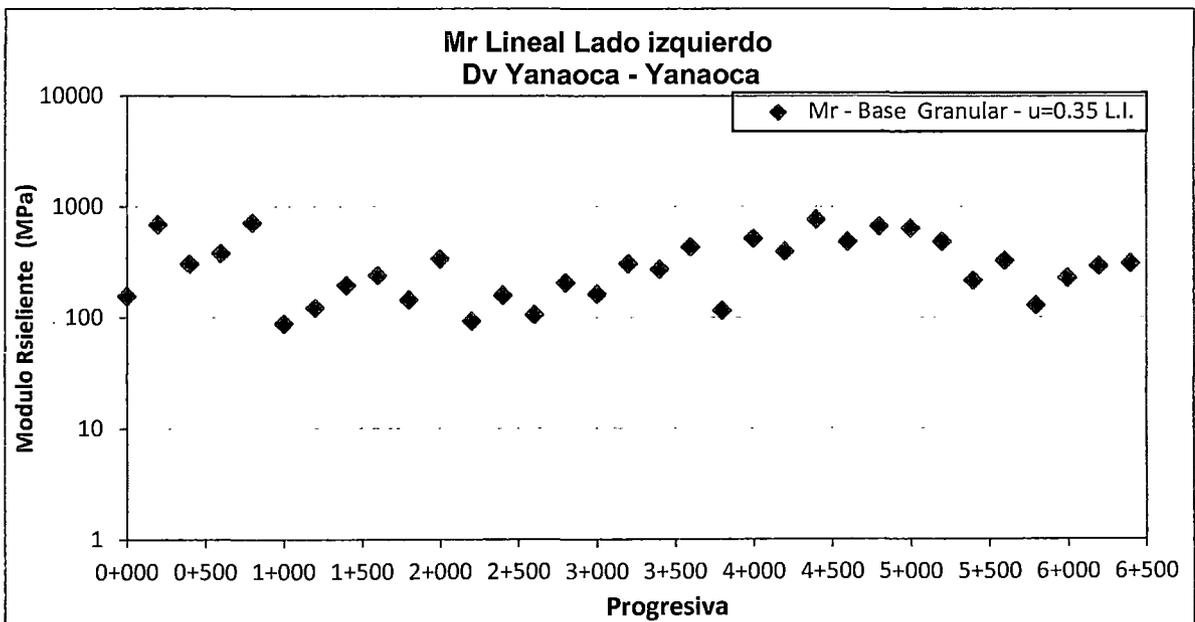


Figura N°7.23 Análisis Lineal Módulo de la base granular L.I. Tramo 3

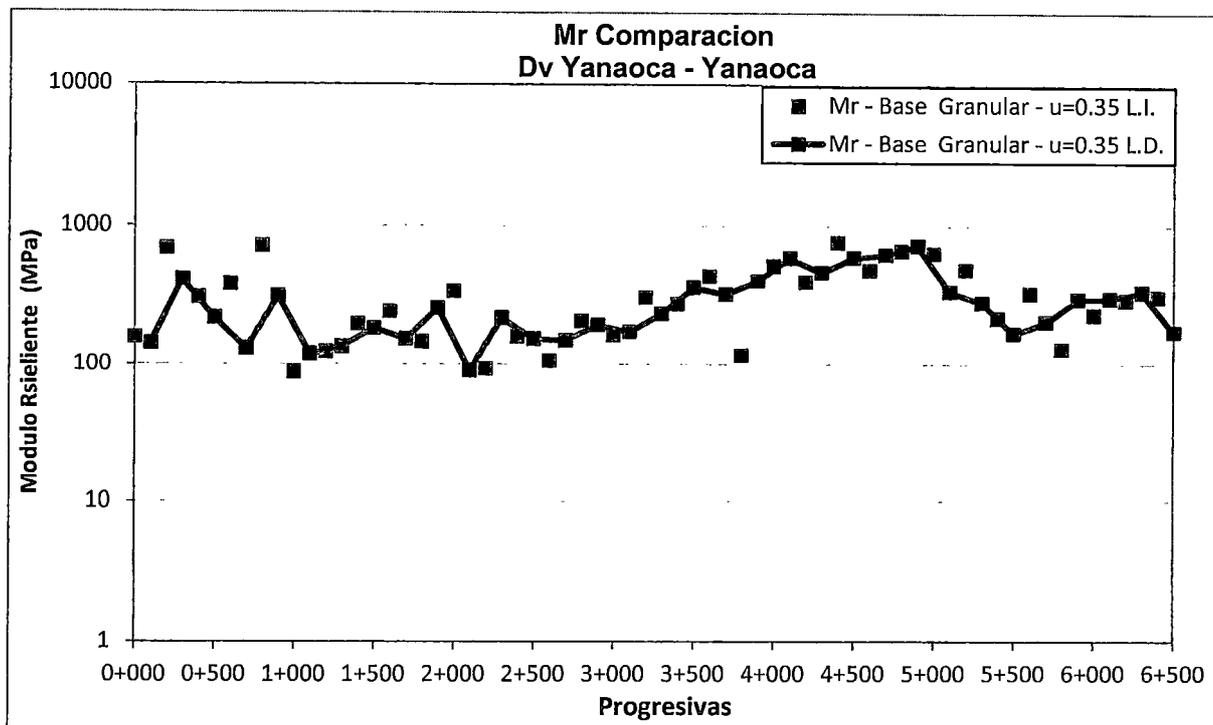


Figura N°7.24 Comparación del módulo resiliente del lado L.D. e L.I.

Si siguiendo con el procedimiento anterior se presentan los resultados de los módulos retroanalizados correspondientes a la sub rasante lineal.

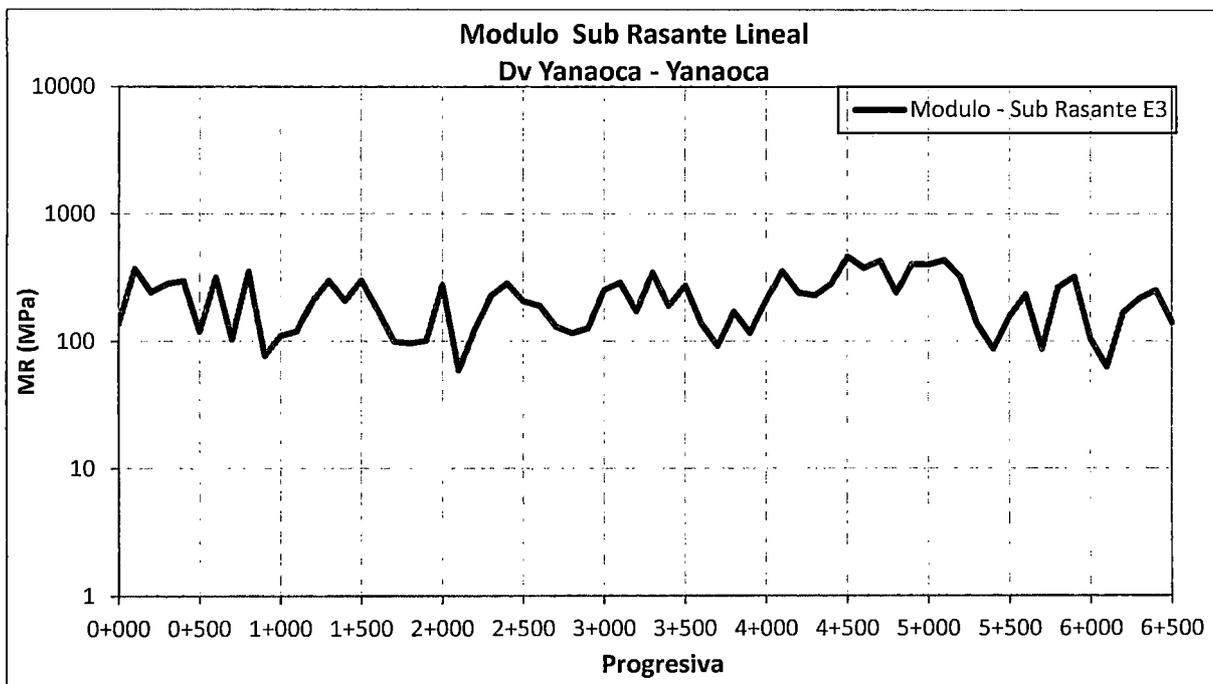


Figura N°7.25 Grafica del módulo de la Sub Rasante Lineal – Tramo 3

7.3.3 Análisis de los resultados

La evaluación de los módulos de las capas se analiza por medio de golpes o caídas del equipo "LWD". Este deflectómetro está hecho para simular la presencia de la carga de una rueda mediante un golpe, que tiene cierta duración en la cual simula el paso de la rueda.

7.3.3.1 Tramo 14: Yanaoca – Yauri (No lineal)

De acuerdo a la evaluación realizada en la base granular los resultados de campo según la Figura N° 7.6 muestran, que las deflexiones promedio por punto encontrado están por debajo de los 405 μm , en los 4 primeros km, los resultados son casi homogéneos en el resto de kilómetros los resultados arrojan valores ligeramente dispersos las deflexiones promedio, que representan al tramo es de 214 μm .

En los resultados de la Figura N°7.7, se aprecia, que los "Mrc", tienen similitud inversas con las variaciones de los resultados de deflexiones a valores más altos de deflexiones los valores de "Mrc", disminuyen por punto evaluado y a menores valores de deflexiones los "Mrc", aumentan. La grafica muestra, que los valores de "Mrc", en promedio están en 217 Mpa, la cual representa el tramo medido.

En la Figura N°7.10, se observa los resultados de los módulos retro-analizados correspondientes al lado "D", de la base granular presenta algunos puntos altos menores a 445 MPas, en los primeros 14 km y en los últimos 2 km se observan módulos bajos no menores, que 90 MPas, por lo cual hay evidencia, que la capacidad de soporte de esta base en ciertos kilómetros presenta deficiencia.

La Figura N°7.11, presenta resultados de los módulos retro-analizados correspondientes al lado "I", la cual su máximo valor es de 547 MPa, en los últimos 6 km, se observan módulos bajos no menores, que 126 MPas por lo cual hay evidencia, que la capacidad de soporte de esta base en ciertos kilómetros presenta deficiencia no menor, que el lado D.

Si observamos las Figura N° 7.12, donde se aprecia la comparación entre los módulos del lado D e I. El cual presenta similitudes ya que los resultados de módulos en promedio son casi iguales con una variación mínima de 2.3%. Ver tabla N°7.2.

Tabla N° 7.2 Valores de módulo LD y LI

Modulo Promedio (Mpa)	LD	LI	Δ
	249	255	2.35%

Con respecto a la Figura N° 7.13, se presenta los resultados de los módulos de la sub-rasante en la cual se realizaron los análisis considerando, que la sub-rasante presenta un comportamiento No Lineal, según esto los valores obtenidos se muestran según la tabla N°7.3.

Tabla N° 7.3 Valores de módulo de Sub Rasante

Modulo (Mpa)	Mínimo	Máximo	Promedio
	71	476	187

Con lo cual se evidencia que el terreno de fundación el cual ha sido mejorado en la etapa de Transitabilidad presenta un módulo de 187 Mpas en promedio si utilizamos la fórmula, que correlaciona el Mr con el CBR, recomendada por el MEPDG (Mechanistic Empirical Pavement Design Guide):

$$Mr \text{ (psi)} = 2555 \times \text{CBR}^{0.64}$$

Obtenemos un CBR asociado de 40 % por lo cual según el manual de carreteras del 2013, se consideran como materiales aptos para las capas de sub rasante suelos con CBR, igual o mayor de 6%, en nuestro caso tenemos sub-rasante > 30%, con la cual estaríamos en la categoría de sub-rasante extraordinaria en promedio para este sector.

En la Figura N° 7.14, se observa la comparación del módulo retro-analizado de la base Granular y la Sub-rasante en la cual se observa, que los módulos de la base son mayores que la sub-rasante, pero en ciertos puntos evaluados sucede lo contrario.

En el Anexo 12, se presentan los reportes analizados con el Software "LWDmod", para la base granular y sub-rasante del tramo: Yanaoca – Yauri.

Según la gráfica de la Figura N°7.15 se muestran los resultados del numero estructural (NE) hallados en la base granular. Para obtener el valor del número estructural, se utilizó el valor de coeficiente estructural "a" definido por la

metodología de diseño AASHTO a través de la siguiente ecuación de correlación dada por la misma AASHTO para materiales granulares:

$$a_2 = 0.249(\log M_R) - 0.977 \quad M_R \text{ en psi (Ecuación a)}$$

$$a_3 = 0.227(\log M_R) - 0.839 \quad M_R \text{ en psi (Ecuación b)}$$

La ecuación a, para bases granulares la ecuación b, para sub bases granulares, en esta investigación se ha utilizado la ecuación (a) correspondiente a una base granular. Donde M_R es el módulo resiliente de la capa evaluada. Es importante puntualizar que los valores que, se están utilizando de módulos son los encontrados directamente en terreno, en las condiciones de confinamiento y cargas existentes, valores in-situ.

Entonces el número estructural se obtendrá multiplicando el valor del coeficiente estructural de la capa por su espesor:

Número Estructural = coeficiente estructural * espesor de la capa colocada.

Siendo el valor promedio del número estructural, que representa a esta capa granular de 2.5 cm, para este tramo. En el Anexo 13, se muestran los resultados de los coeficientes Estructurales y Numero Estructural, por punto evaluado.

7.3.3.2 Tramo 3: Dv Yanaoca – Yanaoca (Análisis No Lineal)

De acuerdo a la evaluación realizada en la base granular correspondiente al tramo los resultados de campo, según la Figura N° 7.8 muestran el cuenco de deflexiones correspondiente al promedio de los 3 últimos golpes de la medición por punto evaluado correspondiente al sector con las siguientes características, ver Tabla N°7.4.

Tabla N° 7.4 Valores de Deflexión para los 3 sensores

Sensores	G1	G2	G3
Deflexión Promedio	249	94	50
Deflexión Máximo	671	233	105
Deflexión Mínimo	93	29	16

Según los resultados de la Figura N°7.9, se aprecia, que los "Mrc", tienen similitud inversas con las variaciones de los resultados de deflexiones a valores

más altos de deflexiones los valores de "Mrc", disminuyen por punto evaluado y a menores valores de deflexiones los "Mrc", aumentan. La grafica muestra el cuenco de los valores de "Mrc", correspondientes al promedio de los 3 últimos golpes por punto evaluado del sector con las siguientes características, ver Tabla N°7.5.

Tabla N° 7.5 Valores de Modulo Resiliente Compuesto para los 3 sensores

Sensores	G1	G2	G3
Modulo Promedio	234	151	140
Modulo Máximo	507	400	358
Modulo Mínimo	69	50	55

En la Figura N°7.16, se observa los resultados de los módulos retro-analizados correspondientes al lado Derecho, de la base granular la cual presenta algunos puntos bajos no menores, que 75 MPas, asimismo se observa, que hay más sectores homogéneos en valores de módulos, que sectores dispersos lo que evidencia, que la estructura del pavimento presenta cierta homogeneidad en su capacidad estructural obviamente esto depende del proceso constructivo así como la capacidad portante de la sub-rasante.

La Figura N°7.17, presenta resultados de los módulos retro analizados correspondientes al lado Izquierdo su mínimo valor es de 96MPas, en la gráfica se aprecia, que el primer kilómetro y del cuarto al quinto kilómetro, presentan puntos con módulos relativamente mayores en comparación con los kilómetros intermedios y finales, una evidencia de esto es que en estos kilómetros las deflexiones de campo son bajas frente a los demás.

Si observamos la Figura N° 7.18, donde se aprecia la comparación entre los módulos retro analizados del lado D e I. El cual presenta similitudes en los resultados de módulo promedio por lado evaluado, donde se aprecia que la variabilidad es baja, ver Tabla N°.7.6

Tabla N° 7.6 Valores de módulo LD y LI

Modulo Promedio (Mpa)	LD	LI	Δ
	256	269	4.83%

Con respecto a la Figura N° 7.19, se presenta los resultados de los módulos de la sub-rasante retroanalizada en la cual se realizaron los análisis considerando, que la sub-rasante presenta un comportamiento no lineal según esto los valores obtenidos son, ver Tabla N°7.7.

Tabla N° 7.7 Valores de módulo de Sub rasante.

Modulo (Mpa)	Mínimo	Máximo	Promedio
	48	447	191

Con lo cual se evidencia, que el terreno de fundación el cual ha sido mejorado en la etapa de Transitabilidad presenta un módulo de 191 Mpas, en promedio por el cual si utilizamos la fórmula, que correlaciona el Mr con el CBR, recomendada por el MEPDG (Mechanistic Empirical Pavement Design Guide).

Obtenemos un CBR, asociado de 41.6 %, según el manual de carreteras del 2013, se consideran como materiales para las capas de sub-rasante, suelos con CBR, igual o mayor de 6%, en nuestro caso tenemos sub-rasante > 30%, con la cual estaríamos en la categoría de sub-rasante extraordinaria en promedio para este sector.

En la Figura N° 7.20, se observa la comparación del módulo de la base granular y la Sub-rasante en el cual se observa, que los módulos retro analizados de la base son mayores, que la sub-rasante y al mismo tiempo se aprecia, que hay sectores donde la base granular presenta módulos menores, que la sub-rasante lo que evidencia, que en esos sectores posiblemente allá un proceso constructivo de compactación inadecuado o que la sub-rasante presente material rocoso producto de ello presenta valores de modulo altos .

En el Anexo 14, se presentan los reportes analizados con el Software "LWDmod", para la base granular y sub-rasante del tramo: Dv Yanaoca – Yanaoca.

Según la gráfica de la Figura N°7.21, se muestran los resultados del numero estructural (NE), calculados en la base granular, el valor promedio del numero estructural, que representa a esta capa granular es de 2.4 cm. En el Anexo 15 se muestran los resultados de los coeficientes Estructurales y Numero Estructural, por punto evaluado.

7.3.3.3 Tramo 3: Dv Yanaoca – Yanaoca (Análisis Lineal)

La Figura N°7.22, se observa los resultados correspondientes a un análisis Lineal de los módulos retro-analizados correspondientes al lado D, de la base granular la cual presenta algunos puntos bajos no menores, que 90 MPas.

La Figura N°7.23, presenta resultados de los módulos retro-analizados correspondientes al lado Izquierdo presentan un mínimo valor de 88MPas.

En la Figura N°7.24, se aprecia la comparación entre los módulos retroanalizados del lado D e I. La cual presenta ciertas similitudes en los resultados de módulo promedio por lado evaluado, donde se aprecia que la variabilidad es media, ver Tabla N°.7.5

Tabla N° 7.8 Valores de módulo LD y LI

Modulo Promedio (Mpa)	LD	LI	Δ
	285	324	12.0%

En el Anexo 16, se presentan los reportes analizados con un análisis Lineal mediante el Software "LWDmod", para la base granular y sub-rasante del tramo: Dv Yanaoca – Yanaoca.

CAPÍTULO VIII

CORRELACIONES CON OTROS EQUIPOS DE DEFLECTOMETRÍA.

8.1 ENSAYO DEL LWD

En este capítulo se presenta la correlación matemática, que se realizó con el equipo "LWD" y el deflectómetro de impacto "HWD", para cumplir con el objetivo de la tesis. La teoría de correlación utilizada en esta investigación está basada en modelos lineales y no lineales.

El "LWD", es una versión más pequeña y portátil del "HWD", que puede ser operado por hasta 2 personas. En esta correlación se ha utilizado una carga promedio de 12.6KN con una altura de 33 pulg para el "LWD" y para el "HWD", una carga promedio de 41.4 KN .El dispositivo "LWD", mide la fuerza y las deflexiones con un transductor de velocidad. Se mide la deflexión en el centro y dos lecturas más alejadas del centro de carga se puede medir usando sensores adicionales (normalmente espaciados a 300 a 600 mm). Para esta investigación se utilizaron los 2 sensores adicionales con este espaciamiento, ver figura N°8.1

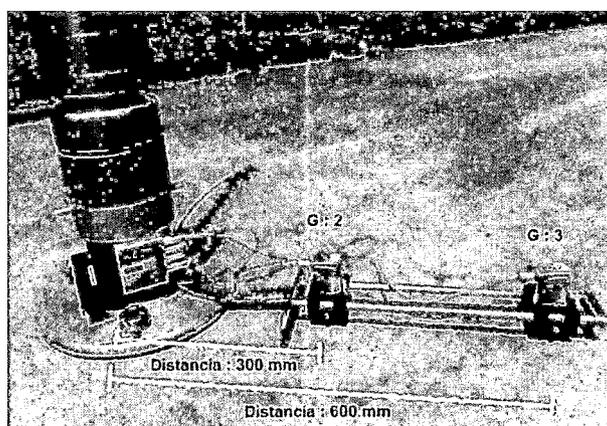


Figura N° 8.1 Vista del distanciamiento de los sensores en el LWD.

El "LWD", automáticamente mide y registra el cuenco de deflexión y tiene un software, que estima una rigidez elástica similar a la utilizada para calcular el módulo de superficie (Hoffmann et al, 2003 y Ullidtz, 1987) de un sistema de capas al asumir una carga constante sobre un semi-espacio elástico con coeficiente de Poisson uniforme.

8.2 ENSAYO DEL HWD

En el caso del HWD el Deflectómetro de Impacto modelo Dynatest 8082-127 HWD es un equipo, que aplica una carga de impacto a la superficie del pavimento, determinando las deflexiones verticales a través del registro de información de sensores colocados en la superficie del pavimento (cuenco de deflexiones), ver figura N°8.2

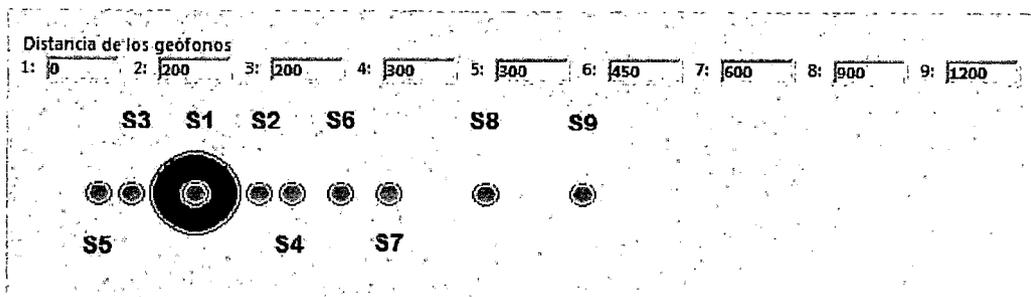


Figura N° 8.2 Vista del distanciamiento de los sensores en el HWD.

Una placa circular se apoya sobre el pavimento. La fuerza dinámica se aplica mediante un sistema generador compuesto de dos masas. Una masa pesada se deja caer desde una altura determinada (HWD), produciendo un impacto de muy breve duración cuyo valor de pico define la magnitud de la fuerza; el valor se establece con anterioridad y se mide durante la ejecución del ensayo.

El equipo de medida registra el pico o valor máximo de la deflexión en el punto de aplicación de la carga y en una serie de puntos separados secuencialmente para obtener el cuenco de deflexiones, ver figura N°8.3.

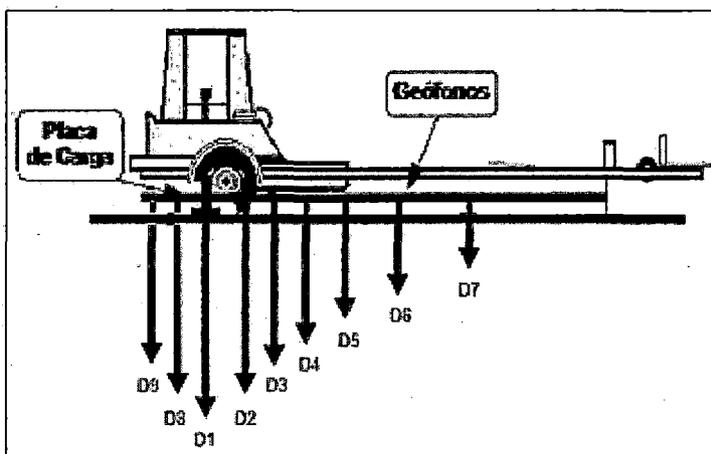


Figura N° 8.3 Esquema del equipo – HWD y el cuenco de deflexiones.

En la siguiente Tabla N°8.1, se presenta las características generales del equipo HWD.

Tabla N° 8.1 Características del equipo – HWD.

RANGO DE CARGA		30 – 240 KN
CARGA TRANSMITIDA POR		Placa Circular Ø 30 cm
SENSORES	TIPO	Sismómetros
	NÚMERO	9
	SEPARACIÓN	(-30) hasta (120) cm

8.2.1 Realización del ensayo - HWD

Durante el transporte el equipo avanza mediante un eje dotado de dos ruedas. Al llegar al punto de ensayo, el operador arranca el sistema, mediante la pulsación de una tecla del ordenador. Y correspondiente a la carga de mediante la ordenador. El cuerpo del equipo desciende hasta apoyarse en la superficie y se produce la aplicación de la carga, cálculo del pavimento. (Eje de 30-40-50 t).

Las deflexiones medidas en los diferentes puntos son recogidas por el ordenador y referenciadas al punto de ensayo, así como las temperaturas del aire y de la superficie del pavimento. Terminada la medida, la placa y la masa del HWD-DYNATEST, se levantan y el equipo queda preparado para trasladarse al próximo punto de ensayo, ver Figura N°8.4.

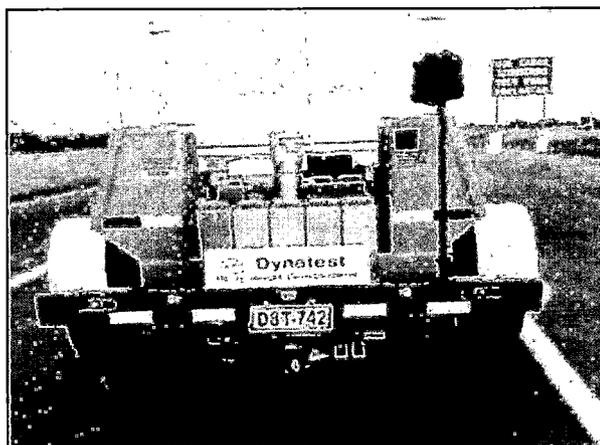


Figura N°8.4. Deflectómetro de Impacto Dynatest

8.3 CORRELACIÓN

La correlación, se define como la asociación entre dos o más variables aleatorias, que explica solo parcialmente la variación total de una variable aleatoria, por la variación de otras variables aleatorias involucradas en la ecuación de asociación.

La parte de la variación total, que queda sin explicar, o sea, la variación no explicada, se debe a errores o a otras variables aleatorias, que no han sido tomadas en cuenta en la correlación.

8.3.1 Medidas de correlación

Se necesita un estadístico para medir el grado de asociación correlativa entre las variables bajo consideración. Los estadísticos más utilizados son los coeficientes de correlación y determinación y la desviación típica de los residuos. En esta investigación se ha utilizado como medida de correlación el "Coeficiente de correlación r^2 "

8.3.1.1 Coeficiente de Correlación " r^2 "

El coeficiente de correlación o coeficiente de determinación es una cantidad estadísticas que mide que tan bien el modelo se ajusta a los datos.

Así, pues definimos el coeficiente de determinación múltiple de muestra r^2 como:

$$r^2 = \frac{(S_{XY})^2}{S_{XX} * S_{YY}} \quad \text{Ecuación 8.1}$$

Dónde:

$$S_{XY} = n * (\sum xy) - (\sum x) * (\sum y) \quad \text{Ecuación 8.2}$$

$$S_{XX} = n * (\sum x^2) - (\sum x)^2 \quad \text{Ecuación 8.3}$$

$$S_{YY} = n * (\sum y^2) - (\sum y)^2 \quad \text{Ecuación 8.4}$$

Por tanto, $r^2 = 0$ implica que el modelo no se ajusta en absoluto a los datos y $r^2 = 1$ implica un ajuste perfecto, es decir, que el modelo pasa por todos y cada uno de los puntos de datos. En general cuanto mayor sea el valor de r^2 , mejor se ajustara el modelo a los datos.

8.4 CORRELACIÓN ENTRE EL EQUIPO LWD Y EL HWD

8.4.1 Antecedentes de estudios anteriores de correlación

No hay muchos estudios que se han hecho en el pasado para determinar la relación entre el deflectómetro de impacto liviano y el HWD, pero si hay estudios que relacionan el FWD y LWD, los antecedentes se van a basar en estos resultados ya que el FWD y el HWD, son equipos creados por la misma compañía Dynatest la diferencia entre estos dos es, que el HWD a diferencia del FWD, posee una carga más pesada la cual puede simular el peso de un avión Boeing 747 y por lo tanto el HWD puede medir las deflexiones introducidas por cargas anticipadas en los pavimentos más fuertes como son los pavimentos de aeropuertos y algunas autopistas.

Sean realizado varias investigaciones los estudios fueron realizados en una variedad de tipos de materiales y estructuras de pavimento, hay algunas variaciones en su correlación. Por ejemplo Livenh y Goldberg (2001) sugieren que los módulos de rigidez LWD, se acercan a 0,3 a 0,4 veces a los módulos de superficie convencionales de FWD.

Fleming et al. (2000) también llevaron a cabo pruebas de campo para relacionar módulos determinados con tres tipos principales de LWD en el mercado con los de FWD. Sus resultados mostraron que el módulo resiliente de superficie, determinado con el FWD, se correlaciona bien con los módulos obtenidos con el LWD. Sin embargo, encontraron que los coeficientes de correlación son específicos para el instrumento LWD y que primero deben ser establecidos antes de usarlo con confianza. Fleming (2001) informó una serie de factores influyen en la rigidez medida con LWD incluyendo las diferencias en el tipo de masas, transductor, y software de análisis (que registra la deflexión máxima en el momento de la fuerza máxima).

Nazzal (2003) encontró que el mejor modelo para predecir el módulo resiliente de superficie retro analizado del FWD, (en MPa) es a partir del módulo de superficie de LWD, ELWD (en MPa) es la siguiente:

$$S_{FWD} = 0.97 * E_{LWD}$$

Con $r^2 = 0.94$, nivel de significación <99,9% y error estándar =3.31

8.4.2 Correlación del Módulo resiliente compuesto del tramo Dv Yanaoca – Yanaoca.

Esta correlación ha sido establecida sobre la base de una serie de estudios de mediciones de campo con muestras inalteradas que permitirán identificar y comparar el suelo evaluado, en base a los 3 sensores registrados con LWD y a los 3 sensores correspondientes al HWD, que presenten el mismo distanciamiento de 0 mm; 300 mm; 600 mm .Los resultados de correlación se presentaran en función a estos 3 sensores.

Por lo cual se han trazado curvas de correlación para procesos de regresión lineal simple y no lineal simple dentro de las cuales se puede mencionar:

$$Y = a + b * X \quad (\text{Lineal})$$

$$Y = a * b^X \quad (\text{No lineal})$$

$$Y = a * X^b \quad (\text{No lineal})$$

Para el uso de estas ecuaciones, en todos los casos, el proceso es como sigue:

1. Realizar la transformación de variables a fin de obtener una regresión lineal.
2. En la ecuación lineal obtenida aplicar el método de mínimos cuadrados para estimar los nuevos parámetros a y b.
3. Restituir los cambios de variables a fin de obtener los parámetros iniciales a y b.
4. Utilizar la ecuación siempre y cuando exista correlación adecuada entre las variables.

El análisis matemático, que se ajusta mejor en las correlaciones para los 3 sensores es la regresión lineal y potencial:

$$Mr_{HWD} = a + b * Mr_{LWD} \quad \text{Ecuación 8.5}$$

$$Mr_{HWD} = a * Mr_{LWD}^b \quad \text{Ecuación 8.6}$$

Veamos el desarrollo de una regresión Potencial.

Dónde:

Mr_{HWD} = Módulo resiliente del HWD.

Mr_{LWD} = Módulo resiliente del LWD.

a y b = Constantes del resultado de la correlación.

Sabemos que:

$$y = ax^b$$

$$Mr_{HWD} = a(Mr_{LWD})^b$$

$$\ln(Mr_{HWD}) = \ln(a) + b \ln(Mr_{LWD})$$

$$\begin{array}{ccc} \downarrow & \downarrow & \downarrow \\ W & = & a1 + b * Z \end{array}$$

Si consideramos $W = \ln(Mr_{HWD})$; $Z = \ln(Mr_{LWD})$

$$a1 = \ln(a) ; b = b$$

$$\sum W = a1 * N + b * \sum Z \quad \text{Ecuación 8.7}$$

$$\sum WZ = a1 * \sum Z + b * \sum Z^2 \quad \text{Ecuación 8.8}$$

$$a1 = \frac{(\sum W) * (\sum Z^2) - (\sum Z) * (\sum WZ)}{N * \sum Z^2 - (\sum Z)^2}$$

$$b = \frac{N * (\sum ZW) - (\sum Z) * (\sum W)}{N * \sum Z^2 - (\sum Z)^2}$$

Entonces se desarrolla la tabla siguiente:

	Z	W	Z ²	W ²	Z * W
$\sum i=1, \dots, n$					

$$S_{ZW} = n * (\sum zw) - (\sum z) * (\sum w)$$

$$S_{ZZ} = n * (\sum z^2) - (\sum z)^2$$

$$S_{WW} = n * (\sum w^2) - (\sum w)^2$$

$$r = \frac{S_{ZW}}{\sqrt{S_{ZZ} * S_{WW}}}$$

Ecuación 8.9

S : Desviación Estándar

r : Coeficiente de Correlación

r^2 : La aproximación a la unidad indica mayor acercamiento de los puntos hacia una función matemática.

Luego de presentar la forma del cálculo de la correlación buscada, se continuó con el ingreso de la información obtenida en campo para luego hacer un análisis, selección y conclusión de los resultados obtenidos.

Previo al procesamiento y análisis de resultados, es importante descartar algunos conceptos que se deben tener en cuenta en el análisis de mediciones de un equipo y/o instrumento. Las mediciones con un equipo o instrumento son un proceso, que en cualquier momento, que se analicen los resultados de un proceso se observaran variaciones.

Por lo tanto, al medir la misma parte repetidamente no resultan en mediciones idénticas.

Los errores de un sistema de medición se pueden clasificar en dos categorías:

- Exactitud: Se refiere a cuán cerca del valor real se encuentra el valor medido
- Precisión: Se refiere a la dispersión del conjunto de valores obtenidos de mediciones repetidas de una magnitud con el mismo equipo. Cuanto menor es la dispersión mayor la precisión.
- Causas de errores de medición aunque es imposible conocer todas las causas del error es conveniente conocer todas las causas importantes y tener una idea que permita evaluar los errores más frecuentes. Las principales causas que producen errores en las mediciones se pueden clasificar en:
 1. Causa del error debido al instrumento de medida.
 2. Causa del error debido al operador.
 3. Causa del error debido a los factores ambientales.
 4. Causa del error debido a las tolerancias geométricas de la propia pieza.

Dentro de cualquier sistema de medición, puede haber uno o los dos tipos de errores (Exactitud, Presión). En la actualidad se puede tener equipos que miden las partes con precisión (poca dispersión en las mediciones) pero sin exactitud. También se puede tener un equipo que sea exacto (el promedio de las mediciones es muy cercano al valor exacto), pero no preciso, es decir, las mediciones tienen una varianza grande. Y también se puede tener un dispositivo que no sea ni exacto ni preciso.

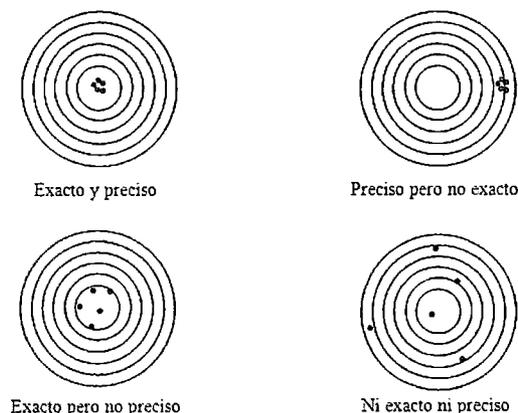


Figura N°8.5. Exactitud y precisión, Fuente: Wikipedia.

La exactitud de un sistema de medición se divide en tres componentes:

- Linealidad: da una medida de cómo el tamaño de la parte afecta la exactitud del sistema de medición. Es la diferencia en los valores de exactitud observados a través del rango esperado de mediciones.
- Sesgo: da una medida del sesgo en el sistema de medición. Es la diferencia entre la medición promedio observada y un valor principal.
- Estabilidad: una medida de con cuánta exactitud se desempeña un sistema en el tiempo. Es la variación total obtenida con un dispositivo particular, en la misma parte, al medir una característica en el tiempo.

La precisión, o variación de la medición, se puede dividir en dos componentes:

- Repetibilidad: la variación causada por el equipo de medición. Es la variación observada cuando el mismo operador mide la misma parte repetidamente con el mismo equipo.
- Reproducibilidad: la variación causada por el sistema de medición. Es la variación observada cuando diferentes operadores miden las mismas partes utilizando el mismo equipo o cuando un mismo operador mide las mismas partes con 2 equipos distintos.

8.4.3 Resultados obtenidos de la correlación

Se han realizado mediciones en tramos de prueba, en busca de correlaciones entre mediciones del LWD con otros equipos como el HWD.

Para suelos de una región se puede determinar una correlación para estimar los valores de módulo de resiliencia a partir de otros ensayos no destructivos como el HWD. La validez de la correlación será únicamente para condiciones locales de una región determinada.

8.4.3.1 Correlación Obtenida para el sensor N° 1

La configuración del ensayo para la correlación del sensor N° 1 el cual es el sensor central con una distancia de: 0 mm tanto en el LWD como en el HWD, donde se genera la máxima presión y la máxima deflexión generada en el punto evaluado generándose un valor de "Mrc", asociado al punto de medición.

Los pares de los valores obtenidos, que están más cerca de la curva de correlación, según el modelo matemático es la regresión Lineal, ver Tabla N° 8.2

Tabla N° 8.2 Valores del MrLWD y MrHWD para el sensor 1.

X	Y	X ²	XY	Y ²
<i>Mr_{LWD}</i>	<i>Mr_{HWD}</i>			
141	182	19787.11	25654	33260
210	232	44240.11	48847	53933
365	252	133468.44	92228	63730
324	301	104760.11	97478	90702
291	292	84487.11	84893	85301
150	231	22400.11	34613	53483
334	319	111333.44	106583	102035
465	399	215915.11	185564	159480
131	239	17248.44	31430	57273
95	134	9088.44	12787	17992
153	177	23511.11	27097	31231
187	222	34844.44	41377	49133
194	241	37765.44	46817	58039
224	254	50325.44	57066	64709
197	143	38677.78	28221	20591
117	144	13689.00	16885	20827
112	172	12544.00	19252	29546
145	134	20928.44	19350	17890
294	212	86240.11	62389	45134
69	116	4761.00	8016	13496
103	90	10677.78	9340	8169
214	204	45796.00	43674	41650
204	228	41480.11	46371	51838
171	202	29127.11	34496	40856
136	190	18405.44	25793	36146
133	118	17777.78	15712	13887
144	142	20640.11	20449	20260
147	157	21707.11	23157	24703
196	135	38416.00	26373	18105
213	169	45511.11	36144	28705
215	175	46081.78	37648	30758
273	314	74711.11	85886	98731
216	245	46512.11	52815	59973
214	293	45938.78	62728	85653
149	319	22300.44	47634	101746
136	304	18405.44	41201	92227

187	202	35093.78	37786	40685	
298	277	89002.78	82766	76966	
291	265	84681.00	77160	70306	
301	365	90400.44	109767	133282	
418	392	174724.00	163716	153402	
501	500	250667.11	250150	249635	
408	456	166464.00	185948	207713	
491	447	241408.44	219428	199450	
358	291	128402.78	104175	84519	
507	358	256711.11	181635	128516	
478	381	228802.78	182066	144876	
373	263	138880.44	97906	69020	
182	180	33124.00	32704	32289	
124	216	15458.78	26861	46674	
156	164	24232.11	25567	26976	
264	233	69696.00	61525	54312	
121	261	14641.00	31606	68229	
175	322	30741.78	56455	103676	
299	267	89401.00	79847	71313	
141	249	19975.11	35204	62045	
114	150	13072.11	17139	22471	
208	367	43125.44	76213	134688	
255	361	65025.00	92140	130563	
268	336	71645.44	89947	112923	
149	194	22201.00	28846	37479	
Σ	14128.67	15180.88	4027080.89	4002525.30	4283201.73

$$S_{xy} = n * (\sum xy) - (\sum x) * (\sum y) = 61 * (4002525.30) - (14128.67 * 15180.88)$$

$$S_{xy} = 29668440.57$$

$$S_{xx} = n * (\sum x^2) - (\sum x)^2 = 61 * 4027080.89 - (14128.67)^2$$

$$S_{xx} = 46032712.44$$

$$S_{yy} = n * (\sum y^2) - (\sum y)^2 = 61 * 4283201.73 - (15180.88)^2$$

$$S_{yy} = 30816167.50$$

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{YY} * S_{XX}}}$$

$$r = \frac{29668440.57}{\sqrt{30816167.50 * 46032712.44}}$$

$$r = 0.79$$

$$100 * r^2 = 62\%$$

De la ecuación: 8.6 y 8.7

$$14128.67 = a * 61 + b * 15180.88$$

$$4002525.30 = a * 15180.88 + b * 4027080.89$$

Resulta:

$$a = 99.58 \quad b = 0.6445$$

Finalmente la correlación es:

$$Mr_{HWD} = 0.6445 * Mr_{LWD} + 99.58$$

$$R^2 = 62\%$$

Mr_{HWD} = Módulo resiliente del HWD.

Mr_{LWD} = Módulo resiliente del LWD.

R^2 = Coeficiente de correlación, indica mayor acercamiento de los puntos a la Línea de tendencia

En la siguiente Figura N° 8.6, se observa la ubicación de los puntos, la línea de tendencia y la fórmula matemática obtenida de la correlación, presentándose en la forma del modelo matemático establecido

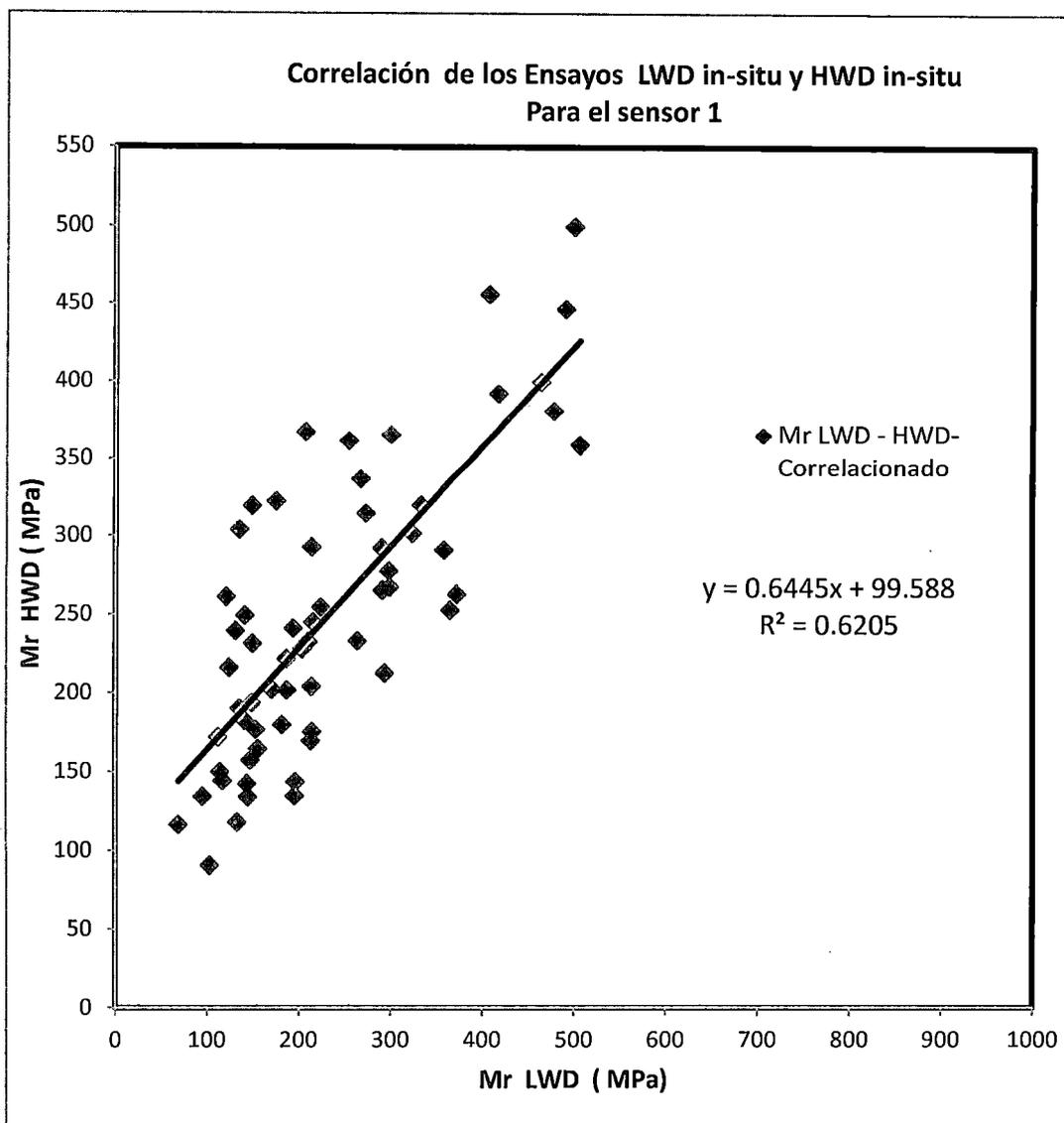


Figura N° 8.6 Ensayos de correlación sensor N°1

8.4.3.2. Correlación Obtenida para el sensor N° 2

La configuración del ensayo para la correlación del sensor N° 2, el cual es el segundo sensor para LWD y para el HWD, es el sensor cuarto, ambos sensores están con una distancia del centro de: 300 mm, donde se generan menores presiones y menores deflexiones generadas en el punto evaluado generándose un valor de "Mrc", asociado al punto de medición con un valor menor, que la medición en el sensor central. El modelo matemático, que presenta mejor ajuste es la regresión Potencial, ver Tabla N° 8.3.

Si consideramos: $W = Ln(Mr_{HWD})$ y $Z = Ln(Mr_{LWD})$

Tabla N° 8.3 Valores del MrLWD y MrHWD para el sensor 2.

Z	W	W	Z	Z2	ZW	W2
X	Y					
Mr_{LWD} (Mpa)	Mr_{HWD} (Mpa)					
94	92	4.53	4.54	20.64	20.56	20.49
132	121	4.80	4.88	23.84	23.42	23.01
220	151	5.02	5.39	29.09	27.07	25.19
183	170	5.14	5.21	27.14	26.75	26.37
169	132	4.88	5.13	26.32	25.05	23.84
110	106	4.66	4.70	22.09	21.91	21.73
195	150	5.01	5.27	27.80	26.43	25.13
246	197	5.28	5.51	30.31	29.09	27.92
87	102	4.63	4.47	19.94	20.67	21.43
70	56	4.03	4.25	18.05	17.11	16.21
80	82	4.40	4.38	19.20	19.29	19.38
103	103	4.63	4.63	21.48	21.46	21.44
117	104	4.64	4.76	22.68	22.10	21.54
112	104	4.64	4.72	22.26	21.90	21.55
94	69	4.23	4.54	20.64	19.21	17.89
67	70	4.24	4.20	17.68	17.84	18.00
100	84	4.43	4.61	21.21	20.41	19.64
111	66	4.19	4.71	22.18	19.75	17.58
130	89	4.49	4.87	23.69	21.85	20.15
53	61	4.12	3.97	15.76	16.34	16.94
50	36	3.59	3.91	15.30	14.04	12.88
119	80	4.38	4.78	22.84	20.91	19.15
119	90	4.50	4.78	22.84	21.50	20.24
157	93	4.54	5.06	25.57	22.93	20.57
96	78	4.35	4.56	20.83	19.87	18.95
84	57	4.05	4.43	19.63	17.92	16.36
75	69	4.23	4.32	18.64	18.27	17.91
83	77	4.34	4.42	19.53	19.20	18.88
102	64	4.16	4.62	21.39	19.22	17.27
116	84	4.43	4.75	22.60	21.05	19.60
126	87	4.47	4.84	23.39	21.60	19.95
170	151	5.01	5.14	26.38	25.75	25.14
119	115	4.75	4.78	22.84	22.68	22.53
122	120	4.79	4.80	23.08	23.02	22.95
124	140	4.94	4.82	23.24	23.84	24.45
91	123	4.81	4.51	20.35	21.70	23.14
107	88	4.48	4.67	21.84	20.93	20.07

136	124	4.82	4.91	24.13	23.68	23.24
145	94	4.54	4.98	24.77	22.59	20.61
192	158	5.06	5.26	27.64	26.63	25.65
236	153	5.03	5.46	29.85	27.48	25.29
400	266	5.58	5.99	35.90	33.45	31.17
255	222	5.40	5.54	30.71	29.94	29.20
292	243	5.49	5.68	32.23	31.18	30.17
208	123	4.81	5.34	28.49	25.68	23.15
272	169	5.13	5.61	31.43	28.76	26.32
268	190	5.25	5.59	31.26	29.33	27.53
194	125	4.83	5.27	27.75	25.43	23.30
102	96	4.57	4.62	21.39	21.12	20.85
90	96	4.57	4.50	20.25	20.55	20.86
105	74	4.31	4.65	21.66	20.06	18.57
177	117	4.77	5.18	26.79	24.67	22.71
129	115	4.75	4.86	23.62	23.06	22.52
149	165	5.11	5.00	25.04	25.56	26.10
264	138	4.92	5.58	31.09	27.46	24.25
137	142	4.95	4.92	24.21	24.37	24.54
75	73	4.29	4.32	18.64	18.54	18.44
220	206	5.33	5.39	29.09	28.74	28.39
216	230	5.44	5.38	28.89	29.23	29.57
221	212	5.35	5.40	29.14	28.91	28.67
112	98	4.59	4.72	22.26	21.64	21.04
Σ		286.693	298.086	1468.517	1410.725	1357.601

$$S_{ZW} = n * (\sum zw) - (\sum z) * (\sum w) = 61 * (1410.725) - (286.693 * 298.086)$$

$$S_{ZW} = 595.17$$

$$S_{ZZ} = n * (\sum z^2) - (\sum z)^2 = 61 * 1468.517 - (298.086)^2$$

$$S_{ZZ} = 724.23$$

$$S_{WW} = n * (\sum w^2) - (\sum w)^2 = 61 * 1357.601 - (286.69)^2$$

$$S_{WW} = 621.06$$

$$r = \frac{S_{ZW}}{\sqrt{S_{ZZ} * S_{WW}}}$$

$$r = \frac{595.17}{724.23 * 621.06}$$

$$r = 0.88$$

$$100 * r^2 = 79\%$$

De la ecuación: 8.6 y 8.7

$$286.69 = a1 * 61 + b * 298.09$$

$$1410.72 = a1 * 298.09 + b * 1468.51$$

Resulta:

$$a1 = 0.684 \quad b = 0.82$$

Ahora:

$$a = e^{a1} = e^{1.00}$$

$$a = 1.98 ; b = 0.82$$

Finalmente la correlación es:

$$Mr_{HWD} = 1.9818 * Mr_{LWD}^{0.82}$$

$$R^2 = 79\%$$

Mr_{HWD} = Modulo resiliente del HWD.

Mr_{LWD} = Modulo resiliente del LWD.

R^2 = Coeficiente de correlación, indica mayor acercamiento de los puntos a la Línea de tendencia.

En la siguiente figura N° 8.7, se observa la ubicación de los puntos, la línea de tendencia y la fórmula matemática obtenida de la correlación, presentándose en la forma del modelo matemático establecido.

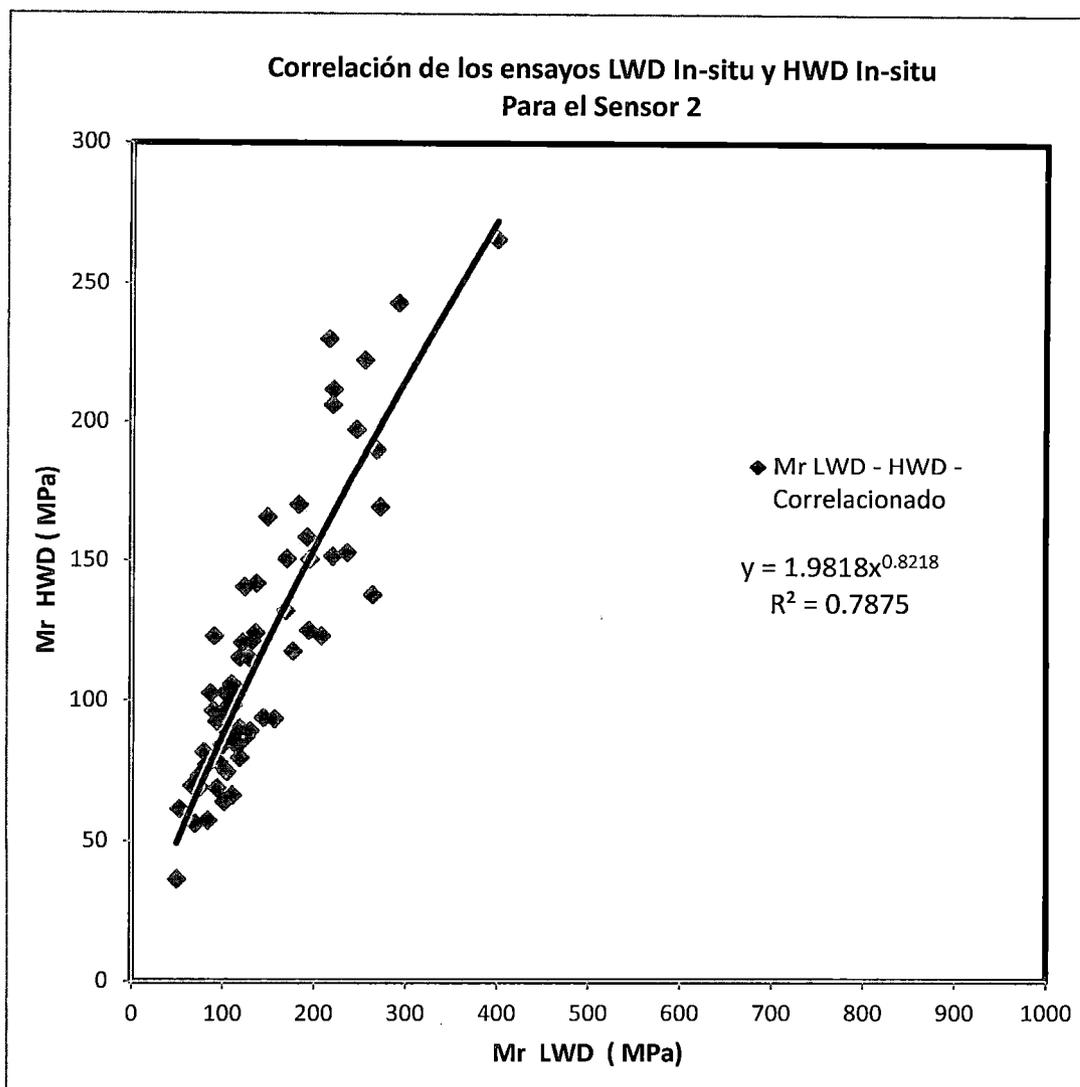


Figura N° 8.7 Ensayos de correlación sensor N°2

8.4.3.3 Correlación Obtenida para el sensor N° 3

La configuración del ensayo para la correlación del sensor N° 3 el cual es el tercer sensor para el LWD y para el HWD, vendría hacer el séptimo sensor con una distancia del centro de: 600 mm, tanto en el LWD como en el HWD, es donde se generarían menores presiones y menores deflexiones con respecto a los anteriores sensores, generando en el punto evaluado un valor de "Mrc", asociado al punto de medición.

Los pares de los valores obtenidos, que están más cerca de la curva de correlación según el modelo matemático, es la regresión Lineal estableciendo un mejor ajuste, ver Tabla N° 8.4.

Tabla N° 8.4 Tabla de valores del MrLWD y MrHWD para el sensor 3.

X	Y	X ²	XY	Y ²
<i>Mr_{LWD}</i>	<i>Mr_{HWD}</i>			
98	120	9604.00	11754	14385
188	149	35344.00	28070	22292
243	183	59049.00	44505	33542
171	176	29241.00	30056	30895
139	111	19321.00	15498	12432
114	76	12996.00	8676	5792
156	137	24336.00	21395	18809
185	163	34225.00	30086	26448
97	95	9409.00	9216	9027
81	63	6561.00	5079	3931
75	78	5625.00	5841	6066
101	98	10201.00	9894	9596
108	96	11664.00	10420	9308
101	103	10201.00	10392	10586
81	72	6561.00	5842	5202
71	81	5041.00	5731	6515
89	77	7921.00	6882	5979
98	68	9604.00	6641	4592
99	88	9801.00	8749	7810
58	71	3364.00	4100	4998
55	38	3025.00	2101	1460
104	87	10816.00	9077	7617
113	88	12769.00	9909	7689
121	94	14641.00	11335	8775
84	84	7056.00	7049	7041
79	66	6241.00	5239	4398
70	74	4900.00	5193	5504
76	84	5776.00	6379	7045
85	69	7225.00	5861	4754
91	83	8281.00	7522	6832
102	75	10404.00	7653	5630
144	124	20736.00	17792	15266
96	105	9216.00	10078	11020
95	103	9025.00	9751	10536
101	118	10201.00	11945	13986
88	107	7744.00	9452	11537
100	86	10000.00	8559	7325
114	116	12996.00	13199	13405
102	81	10404.00	8257	6553

134	121	17956.00	16181	14581	
172	131	29584.00	22472	17070	
358	288	128164.00	103100	82937	
213	192	45369.00	40994	37040	
227	213	51529.00	48338	45345	
161	122	25921.00	19681	14943	
200	147	40000.00	29331	21508	
216	177	46656.00	38194	31266	
142	105	20164.00	14912	11028	
106	106	11236.00	11204	11172	
105	123	11025.00	12943	15194	
109	93	11881.00	10179	8721	
154	112	23716.00	17234	12523	
129	108	16641.00	13898	11606	
165	186	27225.00	30684	34583	
217	188	47089.00	40814	35375	
192	180	36864.00	34567	32413	
87	75	7569.00	6496	5574	
295	246	87025.00	72654	60656	
290	269	84100.00	78042	72421	
244	221	59536.00	53942	48873	
142	100	20164.00	14231	10043	
Σ	8231.00	7289.43	1350939.00	1175266.57	1039457.41

$$S_{xy} = n * (\sum xy) - (\sum x) * (\sum y) = 61 * (1175266.57) - (8231 * 7289.43)$$

$$S_{xy} = 11691984.89$$

$$S_{xx} = n * (\sum x^2) - (\sum x)^2 = 61 * 1350939 - (8231)^2$$

$$S_{xx} = 14657918$$

$$S_{yy} = n * (\sum y^2) - (\sum y)^2 = 61 * 1039457 - (7289.43)^2$$

$$S_{yy} = 10271152.11$$

$$r = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_{yy} * S_{xx}}}$$

$$r = \frac{11691984.89}{10271152.11 * 14657918}$$

$$r = 0.95$$

$$100 * r^2 = 0.91\%$$

De la ecuación: 8.6 y 8.7

$$8231 = a * 61 + b * 7289.43$$

$$1175266.57 = a * 7289.43 + b * 1350390$$

Resulta:

$$a = 11.86 \quad b = 0.79$$

Finalmente la correlación es:

$$Mr_{HWD} = 0.7977 * Mr_{LWD} + 11.867$$

$$R^2 = 91\%$$

Mr_{HWD} = Módulo resiliente del HWD.

Mr_{LWD} = Módulo resiliente del LWD.

R^2 = Coeficiente de correlación, indica mayor acercamiento de los puntos a la Línea de tendencia.

En la siguiente figura N° 8.8, se observa la ubicación de los puntos, la línea de tendencia y la fórmula matemática obtenida de la correlación, presentándose en la forma del modelo matemático establecido

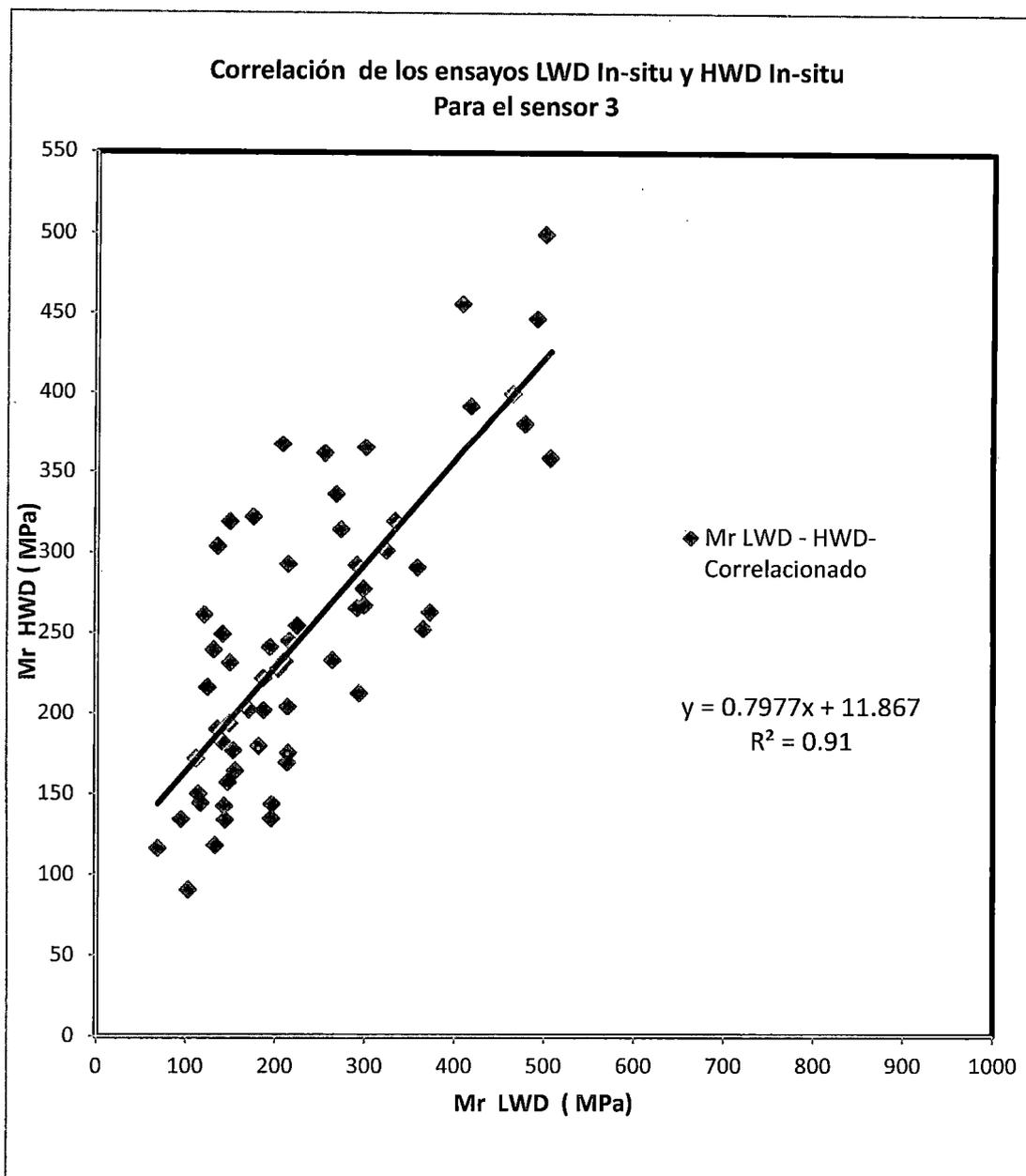


Figura N° 8.8 Ensayos de correlación sensor N°3

Las mejores correlaciones encontradas entre el LWD y los valores del HWD, con un análisis de regresión lineal y no lineal de los resultados obtenidos en el tramo Dv Yanaoca - Yanaoca del proyecto red vial 1 se muestran en la Tabla N° 8.4.

Las funciones lineales, exponenciales y de potencia se probaron para ver, qué tipo función daba el mejor ajuste basado en R2, ver Tabla N°8.5.

Tabla N°8.5 Correlación del LWD y HWD, tramo Dv Yanaoca – Yanaoca.

Distancia (mm)	Parámetros		Ecuación de Correlación MRCc	R2	Ajuste
	LWD	HWD			
D0	S1	S1	$Y = 0.6445X + 99.588$	0.62	Lineal
			$Y = 129.78e^{0.0025X}$	0.56	Exponencial
			$Y = 8.5208X^{0.6195}$	0.58	Potencial
D300	S2	S4	$Y = 0.6487X + 24.574$	0.78	Lineal
			$Y = 52.376e^{0.0051X}$	0.73	Exponencial
			$Y = 1.9818X^{0.8218X}$	0.79	Potencial
D600	S3	S7	$Y = 0.7977X + 11.867$	0.91	Lineal
			$Y = 50.311e^{0.0058X}$	0.83	Exponencial
			$Y = 1.5078e^{0.8911X}$	0.86	Potencial

El equipo "LWD", tiene geófonos sólo hasta 600 mm, desde el centro de carga y por lo tanto, los parámetros del cuenco de Módulos resiliente compuestos calculados a partir de las mediciones con este equipo, se limitan a los que se muestran en el Tabla N°8.5. Es importante tener en cuenta, que los valores de "Mrc", en el centro de la placa de carga (D0), no tiene una buena correlación entre el LWD y HWD. Esto es claramente debido a la diferencia en la presión de contacto y la poca profundidad de influencia del "LWD", y la baja altura de caída.

También se aprecia, que la desviación de 600 mm (D600) del "LWD", tiene las mejores correlaciones con el conjunto de parámetros del cuenco del HWD.

Los resultados de la tesis, consiguió establecer las mejores correlaciones, presentando un nivel de confianza de 79% para el sensor D300, 91% para el sensor D600, cada uno con 61 puntos medidos en una capa de base granular con espesor de 160 mm apoyada sobre una sub-rasante también granular. Cabe destacar, que estas mediciones se realizaron cuando el material estaba seco y a 1 mes de su construcción, así como mencionar, que si bien en las mediciones con ambos equipos hubo precisión no podríamos decir, que fue lo mismo en el caso de la exactitud pues ambas mediciones no se realizaron en el mismo punto si no en un radio aproximadamente de 2.50 m.

CAPÍTULO IX CONCLUSIONES

El desarrollo de la presente tesis mediante el uso del deflectómetro de impacto liviano (LWD), el cual se describe como un instrumento liviano de fácil transporte, para ser utilizado en lugares donde otros equipos no pueden ingresar, debido a la inaccesibilidad de esta manera se obtiene información geotécnica, que brindan los métodos tradicionales para el diseño y evaluación de pavimentos, de forma rápida, confiable y rentable en el tiempo comparado con los ensayos de laboratorio. Con lo cual nos lleva a las siguientes conclusiones.

1. Este trabajo está basado en la norma ASTM (E 2583), donde nos proporciona información respecto al uso del equipo, resumen del método y uso, de los requisitos generales del equipo dentro de ello sugiere necesarios intervalos de temperatura, para la operación del equipo así como también incluye peligros asociados con el uso, donde nos describe ciertos parámetros de calibración, también incluye la precisión y recomendaciones de polarización y reproducibilidad en términos de coeficiente de variación para un solo operador y único equipo en una gama de tipos de suelos en condiciones típicas de campo.
2. El deflectómetro de impacto liviano "LWD", no requiere mediciones de referencia y es utilizado para realizar evaluaciones estructurales del pavimento, pudiendo la data de campo ser almacenada y posteriormente procesada mediante el software llamado "LWDmod", y su resultado ser usado como parámetro de decisión en la gestión de la infraestructura vial.
3. El uso del equipo está hecho, para simular la presencia de una carga mediante un golpe, que tiene una cierta duración y al mismo tiempo simula el paso de la rueda mediante sensores en la superficie, típicamente son 3 sensores. El primer sensor del centro, mide la combinación de lo, que ocurre en todas las capas del pavimento. Los 2 geófonos adicionales nos permiten obtener el cuenco de deflexiones a mayor profundidad, con lo cual nos muestra el comportamiento estructural de las capas intermedias y del suelo de fundación, sin tener, que realizar ensayos destructivos, podemos saber cómo se está comportando la estructura del pavimento a diferentes profundidades.

4. Respecto a los valores, que se determinan mediante el uso inmediato del equipo, son la fuerza de impacto (KN), presión de contacto (Kpa), el pulso de duración del golpe (ms), las deflexiones (μm) y el módulo resiliente compuesto en Mpa, así mismo nos genera en tiempo real un gráfico de carga y deflexión. Dentro de todos los valores mencionados se concluye, que el medir las deflexiones con el LWD, tiene como objetivo, determinar mediante el uso del retro-análisis los módulos resilientes, asociados a una sola capa de pavimento.

5. El medir las deflexiones in situ mediante el "LWD", también nos permite cuantificar valores admisibles de deflexiones para cada tipo de suelo, de acuerdo con las mediciones realizadas se encontró, que para valores de deflexión central menores a 70 μm , el uso del equipo no sería confiable puesto, que las deformaciones son muy pequeñas para utilizarlas en el retro-análisis con esto se concluye, que el material es muy rígido y la carga, que se está aplicando no es suficiente para modelar la estructura, para valores de deflexión mayores a 2200 μm , el alcance de los sensores saldrían fuera de rango con lo que también los resultados no serían confiables. Para valores mayores a 800 μm , nos indica, que el suelo presenta poca resistencia con lo, que ya nos advierte, que el material debe ser mejorado o reemplazado. Los resultados también nos muestra, que una capa granular presentara un valor adecuado de módulo de resiliencia si el valor de su deflexión es menor a 350 μm , esto también va a depender del espesor de la capa así como de sus propiedades físicas y mecánicas.

6. El valor de "MRCc", o también dicho módulo resiliente compuesto de campo es el nombre otorgado a la estructura total evaluada in situ, estos valores son encontrados directamente en terreno mediante un cálculo directo bajo diversos parámetros como: el valor de distribución de presión "P", las condiciones de confinamiento y tensión aplicada así como el radio del plato de carga, el valor de posición y la deflexión central hallada, también es influenciado además de los parámetros antes mencionados por el módulo resiliente de la capa subyacente, que afecta el valor en menor o mayor grado según el espesor de la capa.

7. La repetibilidad y exactitud en el tramo de configuración de prueba, para los valores de "MRCc", en 24 puntos individuales con un mismo diámetro de plato, para las distintas configuraciones de presión fueron altas para todas las mediciones realizadas, se presenta un cuadro resumen de los valores obtenidos de modulo y coeficiente de variación, para un peso de 20kg y 15kg.

Para un peso de 20kg			
Configuraciones de presión	Módulo resiliente (Mpa)	Desviación Estándar Promedio	Coefficiente de Variación
P30 - (176 - 140) Kpa	154	2.23	1.45%
P30 - (176 - 100) Kpa	154	4.58	2.86%
P30 - (140 - 100) Kpa	152	2.54	1.55%
Para un peso de 15kg			
P30 - (140 - 100) Kpa	145	2.68	1.83%

8. Los resultados de "MRCc", para bases granulares realizadas con un mismo plato de carga, para distintos pesos y distintas presiones, presentan muy baja variabilidad, por lo que se recomienda utilizar una presión superior a 100 KPa. Y para suelos de fundación se debe aplicar un nivel de tensión de 10 a 70 Kpa. Así mismo se recomienda realizar mediciones de 2 a 3 diferentes alturas, con lo cual se generen diferentes niveles de tensión y estos deben estar en los rangos anteriormente mencionados, de esta manera siempre se podrá interpolar el nivel de tensión adecuado para la capa del pavimento a evaluar.

9. De los resultados se concluye, que conforme los valores de tensiones disminuyen los valores de deflexiones también disminuyen mientras, que los módulos resilientes, muestran una tendencia de similitud casi igual para un mismo punto con un nivel de tensión máximo evaluado de 176 Kpa.

10. Las correlaciones encontradas para los valores de "MRCc", con un mismo diámetro de plato de carga ϕ 30 cm y al mismo peso aplicado de 20 kg, pero con diferentes presiones, fueron muy favorables para las siguientes configuraciones de P30-176Kpa Vs P30-140Kpa, con un valor de R^2 0.99 y P30-176Kpa Vs P30-100Kpa con un valor de R^2 0.96. Las correlaciones para un peso de 15kg y presiones diferentes, dieron buenos resultados para la siguiente configuración P30-140Kpa Vs P30-100Kpa con R^2 de 0.98.

11. Los resultados de los tramos ensayados muestran, que los valores de módulos resiliente retroanalizados en la base granular de los lados derecho (LD) e izquierdo (LI), para un mismo carril presenta una variabilidad baja para los tramos "Yanaoca - Yauri" y "Dv Yanaoca - Yanaoca". A continuación se muestran los valores representativos de módulos retroanalizados hallados y Cv.

Tramos Evaluados	Módulos resiliente promedio (Mpa)		Coefficiente de variación
	LD	LI	Δ
Yanaoca – Yauri	249	255	2.35%
Dv Yanaoca – Yanaoca	256	269	4.83%

12. Para el cálculo de los módulos de la sub-rasante retroanalizados se consideró un análisis No lineal en ambos tramos ensayados, muestran un comportamiento favorable en promedio de la capacidad de soporte del suelo para el tramo, *Dv Yanaoca – Yanaoca*, fue de 191Mpas y/o 19100 tn/m², y para el tramo, "*Yanaoca – Yauri*", es de 187Mpas y/o 18700 tn/m², estos resultados se logran contrastar con los valores de módulos promedios de cada sector calculados por el proyecto a partir de las deflexiones obtenidas con el Deflectómetro de impacto FWD, con lo cual se logra un grado de exactitud de 89% para el tramo "*Dv Yanaoca – Yanaoca*", y del 87% para el tramo, "*Yanaoca – Yauri*". Estos resultados de módulos permiten al proyecto verificar la validez de las mediciones la cual nos permitió modelar la estructura del pavimento a un menor costo y tiempo comparado con los ensayos tradicionales.

13. En la comparación de los módulos resilientes retroanalizados en ambos tramos ensayados se logra verificar, que el módulo de la base granular es mayor, que el de la sub-rasante con la diferencia, que hay sectores donde el módulo resiliente de la base es menor, con lo que se evidencia, que los resultados del análisis con el Software nos indica, que sectores presentan deficiencia en el proceso constructivo o nos permite identificar si la sub-rasante presenta alta resistencia.

14. Los resultados de módulos resilientes, para el tramo *Dv Yanaoca – Yanaoca*, mediante la correlación recomendada por MEPDG, de los ensayos de CBR% de laboratorio al 100% de 0.1", en muestras de mezcla de base chancada y base zarandeada para la aplicación de la base granular fue de 346 Mpas y/o 34600 tn/m², y los valores encontrados mediante un retroanálisis lineal, utilizando el software "LWDmod", nos muestra un valor representativo de 398 Mpas y/o 39800 tn/m², con lo cual concluimos, que el valor obtenido a partir de ensayos de laboratorio asociado al material granular de base nos otorga un menor resultado, que los obtenidos mediante el retroanálisis lineal, con una variación del 13%, para el tramo en mención, bajo las condiciones existentes en campo.

15. Mediante los resultados de módulos resilientes, correspondientes a las capas evaluadas obtenidos con el equipo "LWD", se determinó el coeficiente estructural (a), y el número estructural (SN), asociado a la capa granular de 16 cm de espesor, mediante el análisis apartir de los ensayos de las capas no ligadas en función a sus módulos resilientes, que determina el método empírico de diseño AASHTO 93. Así mismo se realizó una comparación con los valores teóricos y el encontrado in- situ, en el siguiente cuadro se muestran los resultados concluidos para los tramos evaluados.

Tramos Evaluados	Cuadro Comparativo de "a" y "SN"					
	Base Granular				Variación	
	Software LWDmod In-situ		Teórico (Asumido)		Coeficiente de Variación	
	Coeficiente Estructural "a" (/pulg)	Numero Estructural "NS"	Coeficiente Estructural "a" (/pulg)	Numero Estructural "SN"	Δ % "a"	Δ % "SN"
Yanaoca – Yauri	0.15	2.4	0.14	2.2	4.88%	6.15%
Dv Yanaoca – Yanaoca	0.15	2.5	0.14	2.2	4.88%	9.03%

16. La correlación obtenida en la tesis, entre los módulos resilientes compuestos del "LWD" y los valores de módulos del "HWD", para el sensor central del plato de carga es $Mr_{HWD} = 0.6445Mr_{LWD} + 99.588$, la cual se obtuvo a través de una serie de ensayos, dando un valor de ajuste lineal de $R^2 = 0.62$, la explicación de este resultado es debido a la poca profundidad de influencia del "LWD" y la baja altura de caída. Las mejores correlaciones entre ambos equipos se presentaron con los geófonos adicionales a una distancia de 300 mm, con un valor de ajuste potencial de $R^2 = 0.79$, y para el tercer geófono a una distancia de 600 mm, con un valor de ajuste lineal de $R^2 = 0.91$, la profundidad de influencia fue similar en ambos equipos. Esta última correlación fue utilizada, para la evaluación estructural del proyecto; comprobando la certeza y buena información de la capacidad de soporte in situ. También nos permitió un mejor acercamiento, bajo ciertas condiciones de forma estadística del módulo de superficie del pavimento pues en base a esta información se pueden realizar gráficos de profundidad vs módulo, para identificar las características del pavimento y el nivel de dificultad, que habrá en la evaluación de los datos así mismo nos muestra si el comportamiento de la sub-rasante es lineal o no lineal.

17. Como parte del objetivo de la tesis se dio a conocer el proceso y uso del equipo "LWD", con lo cual se llega a controlar la calidad de la sub-rasante y base de pavimentos, mediante el cálculo y verificación de la capacidad de soporte de las capas del pavimento. Asimismo dichos valores nos sirven, para identificar aquellos sectores críticos en los proyectos, que presentan deficiencias en su capacidad estructural, con lo que nos ayuda a detectar posibles fallas no solo en el proceso constructivo sino también en la etapa de estudio, realizando mediciones más acotadas del área de influencia de materiales no aptos para los suelos de sub-rasante, identificando sectores y generando alternativas de solución como el reemplazo del suelo o su mejoramiento mediante técnicas de estabilización, evitando así posibles fallas por deformación permanente lo cual nos conlleva a minimizar los problemas funcionales de IRI y fallas por ahuellamiento.

18. Los métodos actuales de diseños de pavimentos utilizan el módulo resiliente de las capas granulares en los diseños y esto no se contrasta en la etapa de construcción según los ítem de la norma técnica para la construcción se controlan con el valor esperado de CBR, y los controles in-situ de las capas granulares se realizan por medio de valores de densidad de campo para determinar un grado de compactación. Con lo que se llega a verificar, que el material usado es el que se especificó. Pero con estos resultados no se llegan a verificar el cumplimiento de la hipótesis de diseño estructural, con el uso del equipo "LWD", nos permitirá obtener una mayor y mejor información respecto a la resistencia al corte de los suelos con lo, que no solo se lograra verificar las etapas de diseño si no también se podrá diseñar la estructura del pavimento en función a los resultados de módulos resilientes in-situ del suelo de fundación cerrando así la etapa de hipótesis en el diseño de pavimentos lo que implicara modificar partes de la normas técnica, que se verán reflejadas en el diseño y control in -situ del proceso constructivo de los pavimentos.

19. Con la utilización del deflectómetro de impacto liviano "LWD", y con el avance de nuevas tecnologías los ingenieros proyectistas y de ejecución comprenderán, que el uso de nuevos equipos para la evaluación estructural del pavimento será de vital importancia, no será suficiente con los resultados de CBR, que se utiliza para caracterizar la capacidad estructural de materiales según la Norma Técnica Peruana puesto, que el CBR, es un valor empírico, que

determina la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones muy particulares de carga y que por lo general no representan el comportamiento real de los materiales in-situ. Por ello el utilizar el equipo "LWD", no quiere decir, que se deje de realizar estos ensayos de laboratorio como CBR, densidad, etc, pero si comenzar a minimizar su uso en los proyectos lo que conllevara a un menor costo y tiempo en la obtención de resultados confiables del pavimento.

20. El procedimiento de retro-análisis, mediante el software "LWDmod", utilizando el equipo "LWD", se considera una herramienta útil y confiable para calcular el módulo resiliente ya sea de una sub-rasante o sub-base o base, sin embargo debe de ser aplicado considerando un adecuado análisis estructural para cada suelo en estudio, por lo que se recomienda, que se evalúen primero las propiedades físicas de los suelos a evaluar antes de generalizar el procedimiento. Finalmente, los resultados presentados en este trabajo se consideran confiables, en función a los suelos y estructuras analizadas.

RECOMENDACIONES

1. El uso del equipo "LWD", es ideal para materiales no ligados como grava o arena. El LWD, no es apto para medir las capas como asfalto y concreto porque no se puede aplicar fuerza suficiente para hacer mediciones precisas, puede aplicarse encima de un tratamiento superficial o algo, que no tenga un aporte estructural es muy posible, que podamos utilizar el equipo por que las deflexiones, que se obtienen se van a poder utilizar en el retro análisis.
2. Se recomienda utilizar el equipo no solo en la etapa de proceso constructivo o en la fase de operación si no desde la fase de diseño con lo, que se podrá identificar más rápido cuales son las condiciones del terreno de fundación.
3. Se recomienda realizar un estudio detallado de mediciones con distintos platos de carga a una misma presión como a presión distinta para observar la variabilidad en los resultados de módulos y en función a ello definir el plato de carga a utilizar.
4. Realizar un estudio de comparación entre los módulos resilientes obtenidos mediante un ensayo triaxial dinámico y los módulos, que nos entrega el "LWD".
5. Realizar un análisis de la influencia de la humedad, que se genera en las mediciones de campo y como esto afecta en los resultados de los módulos obtenidos con el "LWD".
6. Es recomendable realizar una nueva medición entre el "LWD" y el "HWD", donde las mediciones se realicen con mayor exactitud, para minimizar errores y generar correlaciones más precisas pues se sabe, que ambos equipos nos permiten determinar deflexiones ante cargas dinámicas de manera similar por lo que se deben de generar investigaciones para encontrar una adaptación metodológica, que permita el desarrollo del retrocálculo propuesto por AASHTO93, mediante los resultados de campo del "LWD".
7. El deflectómetro de impacto liviano es un equipo portátil y de fácil uso el cual debe ser utilizado por el personal calificado, y supervisado por un ingeniero especialista, pues las respuestas obtenidas por el ensayo en campo y su posterior análisis mediante el software podrían no ser fiables o válidos si no se tiene la supervisión adecuada de un especialista.

BIBLIOGRAFÍA

ASTM E2583, "Standard Test Method for Measuring Deflections with a Light Weight Deflectometer (LWD)", USA, 2007.

Bengoa Elva, Metodología de control complementaria para verificar la calidad estructural y funcional del conjunto de capas de un pavimento asfáltico durante su etapa constructiva, Escuela de Ingeniería de la Pontificia Universidad Católica, Santiago, Chile, 2003.

Cainelli Diana, Mezzelani Gustavo, Noste Mario, Tosticarelli Jorge, Metodología de análisis en los proyecto de refuerzos de pavimentos, XXXV Reunión del Asfalto, Noviembre de 2008 - Rosario, Argentina.

Diseño de Sobre carpetas en Pavimentos (Aashto-93), Publicación No Fhwa-Hi-94-048, Instituto Boliviano Del Cemento Y El Hormigón La Paz – Bolivia.

Felícita Marlene Limiyamanta Mendoza, "Ensayo de cargas repetidas – Modulo Resiliente del material de sub rasante con fines de diseño de pavimentos asfálticos", Tesis de Grado para optar el título de Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 2005.

Guillén Pérez Richard, "Metodología y aplicación del retrocálculo del deflectómetro de impacto (FWD) en pavimento flexibles, caso práctico Carretera Abancay – Chalhuanca.", Tesis de Grado para optar el título de Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú, 2009.

Gutierrez Lazares Wilfredo, Bach. Felicita Marlene Limaymanta Mendoza, Ensayo del Módulo Resilente, XIV Congreso Nacional de Ingeniería Civil – Iquitos. Capítulo de Ingeniería Civil del Consejo Departamental de Loreto del Colegio de Ingenieros del Perú, 2003.

Huang, Y.H, Pavement Analysis and Design, prentice Hall, 2004.

Helberto Leal Noriega Mario, Relación entre el módulo resiliente hallado por retrocalculo y el encontrado en ensayos de laboratorio. Universidad nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería departamento de ingeniería civil y agrícola Posgrado en ingeniería – geotecnia – Bogotá.

Sanchez Sabogal Fernando, Modulo 7 Materiales para Base y Subbase.

ANEXO 1

CANTERA TUNGASUCA 03

	ENSAYO: EQUIVALENTE DE ARENA, SUELOS Y AGREGADOS FINOS			GO-CC-SyP-FOR-003																																													
	NORMA: ASTM D2419 / MTC E 114 / EG 2000 / ISSA A 105			Revisión 02																																													
	Elaborado Por:	Revisado por:	Aprobado por:	Fecha																																													
JCCSP	GT	GO	17/04/2013	Página 1 de 1																																													
PROYECTO:	RED VIAL 01 CUSCO	TIPO/COD. MUESTRA:	MEZCLA DE BASE CHANCADA Y BASE ZARANDEADA																																														
UBICACIÓN:		APLICACIÓN:	BASE GRANULAR																																														
LUGAR DE MUESTREO:	ACOPIO CANTERA TUNGASUCA 03	FECHA:	04/03/2013																																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Nº DE ENSAYOS</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>PROMEDIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Hora de entrada a saturación</td> <td>0:00:00</td> <td>0:03:00</td> <td>0:06:00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de salida de saturación</td> <td>0:10:00</td> <td>0:13:00</td> <td>0:16:00</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de entrada a decantación</td> <td>0:11:40</td> <td>0:14:40</td> <td>0:17:40</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hora de salida de decantación</td> <td>0:31:40</td> <td>0:34:40</td> <td>0:37:40</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lectura de arcilla</td> <td>174</td> <td>170</td> <td>176</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lectura de arena</td> <td>88</td> <td>88</td> <td>87</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Porcentaje de equivalente de arena</td> <td>50.6</td> <td>51.8</td> <td>49.4</td> <td>50.6</td> </tr> <tr> <td colspan="3">Resultado final (%)</td> <td>51</td> <td>%</td> </tr> </tbody> </table>					Nº DE ENSAYOS	1	2	3	PROMEDIO	Hora de entrada a saturación	0:00:00	0:03:00	0:06:00		Hora de salida de saturación	0:10:00	0:13:00	0:16:00		Hora de entrada a decantación	0:11:40	0:14:40	0:17:40		Hora de salida de decantación	0:31:40	0:34:40	0:37:40		Lectura de arcilla	174	170	176		Lectura de arena	88	88	87		Porcentaje de equivalente de arena	50.6	51.8	49.4	50.6	Resultado final (%)			51	%
Nº DE ENSAYOS	1	2	3	PROMEDIO																																													
Hora de entrada a saturación	0:00:00	0:03:00	0:06:00																																														
Hora de salida de saturación	0:10:00	0:13:00	0:16:00																																														
Hora de entrada a decantación	0:11:40	0:14:40	0:17:40																																														
Hora de salida de decantación	0:31:40	0:34:40	0:37:40																																														
Lectura de arcilla	174	170	176																																														
Lectura de arena	88	88	87																																														
Porcentaje de equivalente de arena	50.6	51.8	49.4	50.6																																													
Resultado final (%)			51	%																																													
ESPECIFICACIÓN : 45% Mín.																																																	
OBSERVACIONES:																																																	
<p>1.- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio</p> <p>2.- Muestra tomada en la Cantera TUNGASUCA 3 (MEZCLA DE BASE GRANULAR 40% Y BASE ZARANDEADA 60%)</p> <p>3.- Especificaciones Obtenida en el EG 2000;Capítulo 3; SUBBASE Y BAEE; Sección 305: Base Granular</p> <p>4.- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)</p>																																																	

	ENSAYO: ABRASIÓN LOS ÁNGELES (L.A.) AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑO MENORES A 37.5 mm (1 1/2")				GO-CC-Syp-FOR-004
	NORMA: ASTM C 131 / MTC E 207 / EG 2000 / ISSA A 105				Revisión 02
	Elaborado Por:	Revisado por:	Aprobado por:	Fecha:	Página
JCCSP	GT	GO	17/04/2013	1 de 1	

PROYECTO: RED VIAL 01 CUSCO **TIPO/COD. MUESTRA:** MEZCLA DE BASE CHANCADA Y BASE ZARANDEADA
UBICACIÓN: **USO:** BASE GRANULAR
LUGAR DE MUESTREO: ACOPIO CANTERA TUNGASUCA 03 **FECHA:** 04/03/2013

Tamiz		GRADACIONES			
pulg.	mm.	A	B	C	D
1"	25.000	1250			
3/4"	19.000	1250			
1/2"	12.500	1250			
3/8"	9.500	1250			
1/4"	6.300	---			
Nº 04	4.750	---			
PESO TOTAL		5000			
PESO OBTENIDO		3785			
PERDIDA DESPUES DEL ENSAYO		1215			
Nº DE ESFERAS		12			
PORCENTAJE OBTENIDO (%)		24.3			

ESPECIFICACION : 40% Máx

OBSERVACIONES

- 1.- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio
- 2.- Muestra tomada en la Cantera TUNGASUCA 3 (MEZCLA DE BASE GRANULAR 40% Y BASE ZARANDEADA 60%)
- 3.- Especificaciones Obtenida en el EG 2000;Capítulo 3; SUBBASE Y BAEE; Sección 305: Base Granular
- 4.- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)

	ENSAYO: SALES SOLUBLES EN AGREGADOS PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES				GO-CC-SyP-FOR-005																																																														
	NORMA: ASTM D 1888 / MTC E 219 / EG 2000				Revisión 02																																																														
	Elaborado Por:	Revisado por:	Aprobado por:	Fecha	Página																																																														
JCCSP	GT	GO	17/04/2013	1 de 1																																																															
PROYECTO:	RED VIAL 01 CUSCO	TIPO/COD. MUESTRA:	MEZCLA DE BASE CHANCADA Y BASE ZARANDEADA																																																																
UBICACIÓN:		APLICACIÓN:	BASE GRANULAR																																																																
LUGAR DE MUESTREO:	ACOPIO CANTERA TUNGASUCA 03	FECHA:	04/03/2013																																																																
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="3">SALES SOLUBLES TOTALES</th> <th>A</th> <th>B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>01.-</td> <td>Relación de la mezcla suelo - agua destilada</td> <td></td> <td>4.00</td> <td>4.00</td> </tr> <tr> <td>02.-</td> <td>Número de beaker</td> <td></td> <td>1</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>03.-</td> <td>Peso de beaker</td> <td>g.</td> <td>55.36</td> <td>53.32</td> </tr> <tr> <td>04.-</td> <td>Peso de beaker + residuo de sales</td> <td>g.</td> <td>55.40</td> <td>53.37</td> </tr> <tr> <td>05.-</td> <td>Peso de residuo de sales</td> <td>g.</td> <td>0.04</td> <td>0.05</td> </tr> <tr> <td>06.-</td> <td>Volumen de la solución tomada</td> <td>ml</td> <td>100</td> <td>100</td> </tr> <tr> <td>07.-</td> <td>Constituyentes de sales solubles totales</td> <td>ppm</td> <td>1600</td> <td>2000</td> </tr> <tr> <td>08.-</td> <td>Constituyentes de sales solubles totales en peso seco</td> <td>(%)</td> <td>0.16</td> <td>0.20</td> </tr> <tr> <td colspan="5">RESULTADOS</td> </tr> <tr> <td>A.-</td> <td>Muestra usada</td> <td>g.</td> <td>100</td> <td>PROMEDIO (ppm) =</td> <td>1800</td> </tr> <tr> <td>B.-</td> <td>Agua destilada a usar</td> <td>ml.</td> <td>400</td> <td>PROMEDIO (%) =</td> <td>0.18</td> </tr> </tbody> </table>						SALES SOLUBLES TOTALES			A	B	01.-	Relación de la mezcla suelo - agua destilada		4.00	4.00	02.-	Número de beaker		1	2	03.-	Peso de beaker	g.	55.36	53.32	04.-	Peso de beaker + residuo de sales	g.	55.40	53.37	05.-	Peso de residuo de sales	g.	0.04	0.05	06.-	Volumen de la solución tomada	ml	100	100	07.-	Constituyentes de sales solubles totales	ppm	1600	2000	08.-	Constituyentes de sales solubles totales en peso seco	(%)	0.16	0.20	RESULTADOS					A.-	Muestra usada	g.	100	PROMEDIO (ppm) =	1800	B.-	Agua destilada a usar	ml.	400	PROMEDIO (%) =	0.18
SALES SOLUBLES TOTALES			A	B																																																															
01.-	Relación de la mezcla suelo - agua destilada		4.00	4.00																																																															
02.-	Número de beaker		1	2																																																															
03.-	Peso de beaker	g.	55.36	53.32																																																															
04.-	Peso de beaker + residuo de sales	g.	55.40	53.37																																																															
05.-	Peso de residuo de sales	g.	0.04	0.05																																																															
06.-	Volumen de la solución tomada	ml	100	100																																																															
07.-	Constituyentes de sales solubles totales	ppm	1600	2000																																																															
08.-	Constituyentes de sales solubles totales en peso seco	(%)	0.16	0.20																																																															
RESULTADOS																																																																			
A.-	Muestra usada	g.	100	PROMEDIO (ppm) =	1800																																																														
B.-	Agua destilada a usar	ml.	400	PROMEDIO (%) =	0.18																																																														
ESPECIFICACIÓN: 0.5% Máx																																																																			
OBSERVACIONES:																																																																			
1.- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio																																																																			
2.- Muestra tomada en la Cantera TUNGASUCA 3 (MEZCLA DE BASE GRANULAR 40% Y BASE ZARANDEADA 60%)																																																																			
3.- Especificaciones Obtenida en el EG 2000;Capítulo 3; SUBBASE Y BAEE; Sección 305: Base Granular																																																																			
4.- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)																																																																			

	ENSAYO: ÍNDICE DE APLANAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS				GO-CC-Syp-FOR-014					
	NORMA: MTC E 221 / NLT 354/91 / EG 2000				Revisión 02					
	Elaborado Por:	Revisado por:	Aprobado por:	Fecha	Página					
JCCSP	GT	GO	17/04/2013	1 de 1						
PROYECTO:	RED VIAL 01 CUSCO			TIPO/COD. MUESTRA:	MEZCLA DE BASE CHANCADA Y BASE ZARANDEADA					
UBICACIÓN:				APLICACIÓN:	BASE GRANULAR					
LUGAR DE MUESTREO:	ACOPIO CANTERA TUNGASUCA 03			FECHA:	06/03/2013					
MATERIAL		AGREGADO GRUESO			CHATAS			ALARGADAS		
Tamiz	Abertura	PESO RET.	% RET.	% PASA	PESO	(%)	(%) Corregido	PESO	(%)	(%) Corregido
2"	50.000									
1 1/2"	37.500									
1"	25.000	1116.0	7.3	92.7	59.0	5.3	0.5	0.0	0.0	0.0
3/4"	19.00	3737.0	29.1	70.9	55.0	1.5	0.5	148.0	4.0	1.3
1/2"	12.50	3197.0	33.9	66.1	73.0	2.3	0.7	71.0	2.2	0.6
3/8"	9.50	1503.0	9.7	90.3	86.0	5.7	0.8	27.0	1.8	0.2
1/4"	6.30	1620.0	5.3	94.7	152.0	9.4	1.4	22.0	1.4	0.2
TOTAL		11173.0	85.3		425.0		3.8	268.0		2.4
PESO TOTAL DE LA MUESTRA (g)		11173.0								
PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS (%)		6.2		ESPECIFICACION: 15% Máx.						
OBSERVACION:										
1.- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio										
2.- Muestra tomada en la Cantera TUNGASUCA 3 (MEZCLA DE BASE GRANULAR 40% Y BASE ZARANDEADA 60%)										
3.- Especificaciones Obtenida en el EG 2000;Capítulo 3; SUBBASE Y BAEE; Sección 305: Base Granular										
4.- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)										

	ENSAYO: PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS				GO-CC-SyP-FOR-007
	NORMA: ASTM D 5821 / MTC E 210 / EG 2000				Revisión 02
	Elaborado Por: JCCSP	Revisado por: GT	Aprobado por: GO	Fecha 17/04/2013	Página 1 de 1

PROYECTO: RED VIAL 01 CUSCO **TIPO/COD. MUESTRA:** MEZCLA DE BASE CHANCADA Y BASE ZARANDEADA
UBICACIÓN: **APLICACIÓN:** BASE GRANULAR
LUGAR DE ACOPIO: CANTERA TUNGASUCA 03 **FECHA:** 04/03/2013
MUESTREO:

a.- Con una cara fracturada.

Tamiz		Peso Muestra (g)	Peso Material con Una Cara Fracturada (g)	Porcentaje de Caras Fracturadas C=((B/A)*100)	Porcentaje Ret. Gradación Original (%)	Promedio de Caras Fracturadas E = C * D
Pasa	Retiene					
1 1/2"	1"	1116.0	988.0	88.5	7.3	646.3
1"	3/4"	3737.0	3353.0	89.7	29.1	2611
3/4"	1/2"	3197.0	2651.0	82.9	33.9	2811
1/2"	3/8"	1503.0	1294.0	86.1	9.7	835
TOTAL		9553	8286		80.0	6903

Porcentaje con una cara fracturada = $\frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}}$ 86.3 %

b.- Con dos caras fracturadas.

Tamiz		Peso Muestra (g)	Peso Material con Una Cara Fracturada (g)	Porcentaje de Caras Fracturadas C=((B/A)*100)	Porcentaje Ret. Gradación Original (%)	Promedio de Caras Fracturadas E = C * D
Pasa	Retiene					
1 1/2"	1"	1116.0	693	62.1	7.3	453
1"	3/4"	3737.0	2159.0	57.8	29.1	1681
3/4"	1/2"	3197.0	1570.0	49.1	33.9	1665
1/2"	3/8"	1503.0	772.0	51.4	9.7	498
TOTAL		9553.0	5194		80.0	4298

Porcentaje con dos caras fracturadas = $\frac{\text{TOTAL E}}{\text{TOTAL D}}$ 53.7 %

ESPECIFICACION MIN. CON UNA CARA 80,0 %
ESPECIFICACION MIN. CON DOS Ó MAS 50,0 %

OBSERVACIONES:

- 1.- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio
- 2.- Muestra tomada en la Cantera TUNGASUCA 3 (MEZCLA DE BASE GRANULAR 40% Y BASE ZARANDEADA 60%)
- 3.- Especificaciones Obtenida en el EG 2000;Capítulo 3; SUBBASE Y BAEE; Sección 305: Base Granular
- 4.- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)

	ENSAYO: DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO (A.G.)				GO-CC-SyP-FOR-013		
	NORMA: ASTM C 88 / MTC E 209 / EG 2000				Revisión 02		
Elaborado Por:	Revisado por:	Aprobado por:	Fecha	Página			
JCCSP	GT	GO	17/04/2013	1 de 1			
PROYECTO:	RED VIAL 01 CUSCO		TIPO/COD. MUESTRA: MEZCLA DE BASE CHANCADA Y BASE ZARANDEADA				
UBICACIÓN:			APLICACIÓN: BASE GRANULAR				
LUGAR DE MUESTREO:	ACOPIO CANTERA TUNGASUCA 03		FECHA: 12/03/2013				
INALTERABILIDAD DEL AGREGADO GRUESO: Análisis cuantitativo.							
Tamaño de los tamices		Peso Gradación Original (g)	Gradación de la Muestra Original (%)	Peso Fracciones antes del ensayo (g)	Peso Retenido después del ensayo (g)	Pérdida total (%)	Pérdida Corregida (%)
Pasa	Retiene						
2 1/2" 63 mm	2" 50 mm						
2" 50 mm	1 1/2" 37.5 mm						
1 1/2" 37.5 mm	1" 25 mm	553.4	7.3	1000	889.2	11.1	0.8
1" 25 mm	3/4" 19 mm	2213.9	29.1	500	448.7	10.3	3.0
3/4" 19 mm	1/2" 12.5 mm	2584.2	33.9	660	629.9	4.6	1.5
1/2" 12.5 mm	3/8" 9.5 mm	740.1	9.7	330	309.8	6.1	0.6
3/8" 9.5 mm	Nº 4 4.75 mm	670.4	8.8	300	286.9	4.4	0.4
Totales		7613.0		2790	2564.5	36.4	6.3
INALTERABILIDAD DEL AGREGADO FINO:			6.3 %	ESPECIFICACION : 18,0 % Máx.			
NOTA: Solución usada fue Sulfato de Magnesio (densidad = 1.302 gr/cm3)							
OBSERVACIONES:							
1.- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio							
2.- Muestra tomada en la Cantera TUNGASUCA 3 (MEZCLA DE BASE GRANULAR 40% Y BASE ZARANDEADA 60%)							
3.- Especificaciones Obtenida en el EG 2000; Capítulo 3; SUBBASE Y BAE; Sección 305: Base Granular							
4.- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)							

	ENSAYO: DURABILIDAD AL SULFATO DE SODIO Y SULFATO DE MAGNESIO (A.F.)				GO-CC-SyP-FOR-008		
	NORMA: ASTM C 88 / MTC E 209 / EG 2000 / ISSA A 105				Revisión 02		
	Elaborado Por:	Revisado por:	Aprobado por:	Fecha	Página		
JCCSP	GT	GO	17/04/2013	1 de 1			
PROYECTO:	RED VIAL 01 CUSCO		TIPO/COD. MUESTRA: MEZCLA DE BASE CHANCADA Y BASE ZARANDEADA				
UBICACIÓN:			APLICACIÓN: BASE GRANULAR				
LUGAR DE MUESTREO:	ACOPIO CANTERA TUNGASUCA 03		FECHA: 12/03/2013				
INALTERABILIDAD DEL AGREGADO FINO: Análisis cuantitativo							
Tamaño de los tamices		Peso Gradación Original (g)	Gradación de la Muestra Original (%)	Peso Fracciones antes del ensayo (g)	Peso Retenido después del ensayo (g)	Pérdida total (%)	Pérdida Corregida (%)
Pasa	Retiene						
3/8"	Nº 4	80.4	9.7	110	106.4	3.3	0.3
9.5 mm	4.75 mm						
Nº 4	Nº 8	117.5	14.2	110	105.8	3.8	0.5
4.75 mm	2.36 mm						
Nº 8	Nº 16	183.2	22.2	110	104.2	5.3	1.2
2.36 mm	1.18 mm						
Nº 16	Nº 30	190.0	23.0	110	100.9	8.3	1.9
1.18 mm	600 µm						
Nº 30	Nº 50	121.3	14.7	110	82.4	25.1	3.7
600 µm	300 µm						
Nº 50	Nº 100	97.6	11.8	110	80.3	27.0	3.2
300 µm	150 µm						
Nº 100		36.2	4.4				
150 µm							
Totales		826.2		660	580.0	72.7	###
INALTERABILIDAD DEL AGREGADO FINO:		10.8 %		ESPECIFICACION : 18,0 % Máx.			
NOTA: Solución usada fue Sulfato de Magnesio (densidad = 1.302 gr/cm3)							
OBSERVACIONES:							
1.- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio							
2.- Muestra tomada en la Cantera TUNGASUCA 3 (MEZCLA DE BASE GRANULAR 40% Y BASE ZARANDEADA 60%)							
3.- Especificaciones Obtenida en el EG 2000; Capítulo 3; SUBBASE Y BAEE; Sección 305: Base Granular							
4.- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)							

	ENSAYO: COMPACTACION DE SUELOS EN LABORATORIO UTILIZANDO UNA ENERGÍA MODIFICADA (56000 pie-lb/pie3)			GO-CC-SYP-FOR-009
	NORMA: ASTM D 1557 / MTC E 115 / EG 2000			
Elaborado Por:	Revisado por:	Aprobado por:	Fecha	Página
JCCSP	GT	GO	17/04/2013	1 de 1

PROYECTO: RED VIAL 01 CUSCO TIPO/COD. MUESTRA: MEZCLA DE BASE CHANCADA Y BASE ZARANDEADA
 UBICACIÓN: USO: BASE GRANULAR
 LUGAR DE MUESTREO: ACOPIO CANTERA TUNGASUCA 03 FECHA: 12/03/2013

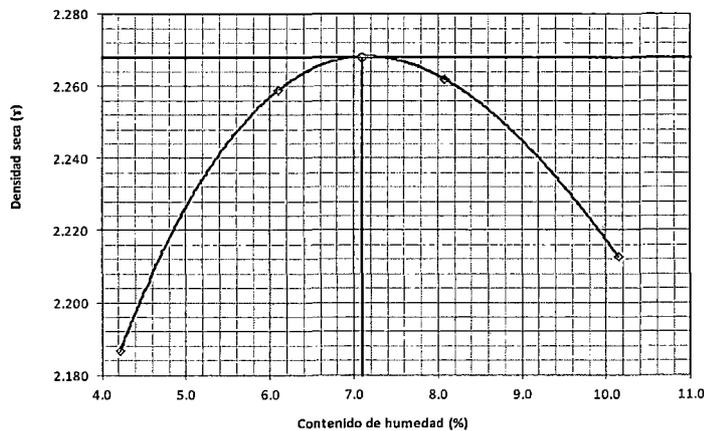
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	11686	11936	12037	12021
Peso del molde	g.	6864	6864	6864	6864
Peso del suelo húmedo compactado	g.	4822	5072	5173	5157
Volumen del molde	cm ³	2116	2116	2116	2116
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	2.279	2.397	2.445	2.437

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	670.0	684.5	694.1	715.1
Peso del suelo seco + tara	g.	642.9	645.1	642.2	649.2
Peso de tara	g.	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso de agua	g.	27.1	39.4	51.9	65.9
Peso de suelo seco	g.	642.9	645.1	642.2	649.2
contenido de agua	%	4.2	6.1	8.1	10.2
Peso volumétrico seco	g/cm ³	2.187	2.259	2.262	2.213

DENSIDAD MAXIMA SECA	2.268	g/cm ³
OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	7.10	%

GRAFICO DEL PROCTOR



OBSERVACIÓN:

Método de Aplicación: C

- Muestreo e identificación realizado por el personal de laboratorio
- Muestra tomada en la Cantera TUNGASUCA 3 (MEZCLA DE BASE GRANULAR 40% Y BASE ZARANDEADA 60%)
- Especificaciones Obtenida en el EG 2000; Capítulo 3; SUBBASE Y BAE; Sección 305: Base Granular
- El presente documento no deberá ser reproducido sin la autorización escrita del laboratorio salvo que su reproducción sea en su totalidad. (GUIA PERUANA INDECOPI G004: 1993)

	ENSAYO: CBR DE SUELOS (LABORATORIO)				GO-CC-Syp-FOR-050
	NORMA: ASTM D 1883 / MTC E 132 / EG 2000				Revisión 01
	Elaborado por: JCCSP	Revisado por: GT	Aprobado por: GO	Fecha 17/04/2013	Página 1 de 2

PROYECTO: RED VIAL 01 CUSCO **TIPO/COD. MUESTRA:** MEZCLA DE BASE CHANCADA Y BASE ZARANDEADA
UBICACIÓN: **APLICACIÓN:** BASE GRANULAR
LUGAR DE: ACOPIO CANTERA TUNGASUCA 03 **FECHA:** 12/03/2013
MUESTREO:

COMPACTACIÓN						
Nº Molde	9C		8C		7C	
Nº Capa	5		5		5	
Nº Golpes por capa	56		25		12	
CONDICION DE LA MUESTRA	SirSaturado	Saturado	SirSaturado	Saturado	SirSaturado	Saturado
Peso molde + Suelo húmedo	12989	12902	12793	12831	12481	12717
Peso de molde (g)	7836	7836	7910	7910	7861	7861
Peso del suelo húmedo (g)	5153	5066	4883	4921	4620	4856
Volumen del molde (cc)	2121	2121	2119	2119	2118	2118
Densidad húmeda (g/cc)	2.430	2.388	2.304	2.322	2.181	2.293
% de humedad	7.06	7.33	7.05	7.38	7.09	7.25
Densidad seca (g/cc)	2.269	2.225	2.153	2.163	2.037	2.138

CONTENIDO DE HUMEDAD												
Tarro Nº	-		-		-		-		-		-	
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	645.7	645.7	668.9	668.9	676.9	676.9	633.3	633.3	657.2	657.2	597.9	597.9
Tarro + Suelo seco (gr.)	603.1	603.1	623.2	623.2	632.3	632.3	589.8	589.8	613.7	613.7	557.5	557.5
Peso del Agua (gr.)	42.6	42.6	45.7	45.7	44.6	44.6	43.5	43.5	43.5	43.5	40.4	40.4
Peso del tarro (gr.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peso del suelo seco (gr.)	603.10	603.10	623.2	623.2	632.3	632.3	589.8	589.8	613.7	613.7	557.5	557.5
% de humedad	7.06	7.06	7.33	7.33	7.05	7.05	7.38	7.38	7.09	7.09	7.25	7.25
Promedio de Humedad (%)	7.06		7.33		7.05		7.38		7.09		7.25	

EXPANSIÓN												
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%	
12/03/2013	11.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
13/03/2013	11.3	24	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	
14/03/2013	11.3	48	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	
15/03/2013	11.3	72	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	
16/03/2013	11.3	96	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	0.000	0	
			116.1	total	0.00	116.3	total	0.00	116.3	total	0.00	

PENETRACIÓN															
PENETRACIÓN		TIEMPO	CARGA STAND.	MOLDE Nº 9C				MOLDE Nº 8C				MOLDE Nº 7C			
				CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
mm.	pulg.		Lbs/pulg2	Lect. Dial	Lbs/pulg2	Lbs/pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/pulg2	Lbs/pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/pulg2	Lbs/pulg2	%
0.000	0.000	0'00"		0	0			0	0			0	0		
0.640	0.025	0'30"		57	186			48	157			40	132		
1.270	0.050	1'00"		119	386			108	351			118	383		
1.910	0.075	1'30"		196	633			188	607			197	636		
2.540	0.100	2'00"	1000	283	911	1052.0	105.2	274	882	1016.9	101.7	266	857	913.6	91.4
3.810	0.150	3'00"		456	1459			423	1355			401	1286		
5.080	0.200	4'00"	1500	607	1934	2022.5	134.8	569	1815	1908.1	127.2	529	1689	1726.4	115.1
6.350	0.250	5'00"		786	2492			718	2280			647	2059		
7.620	0.300	6'00"		908	2869			856	2708			757	2402		
10.160	0.400	8'00"		1148	3604			1009	3179			952	3004		
12.700	0.500	10'00"													

	ENSAYO: CBR DE SUELOS (LABORATORIO)				GO-CC-SYP-FOR-050
	NORMA: ASTM D 1883 / MTC E 132 / EG 2000				Revisión 01
	Elaborado por: JCCSP	Revisado por: GT	Aprobado por: GO	Fecha: 17/04/2013	Página: 2 de 2

PROYECTO: RED VIAL 01 CUSCO **TIPO/COD. MUESTRA:** MEZCLA DE BASE CHANCADA Y BASE ZARANDEADA
UBICACIÓN: **APLICACIÓN:** BASE GRANULAR
LUGAR DE MUESTREO: ACOPIO CANTERA TUNGASUCA 03 **FECHA:** 12/03/2013

GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN

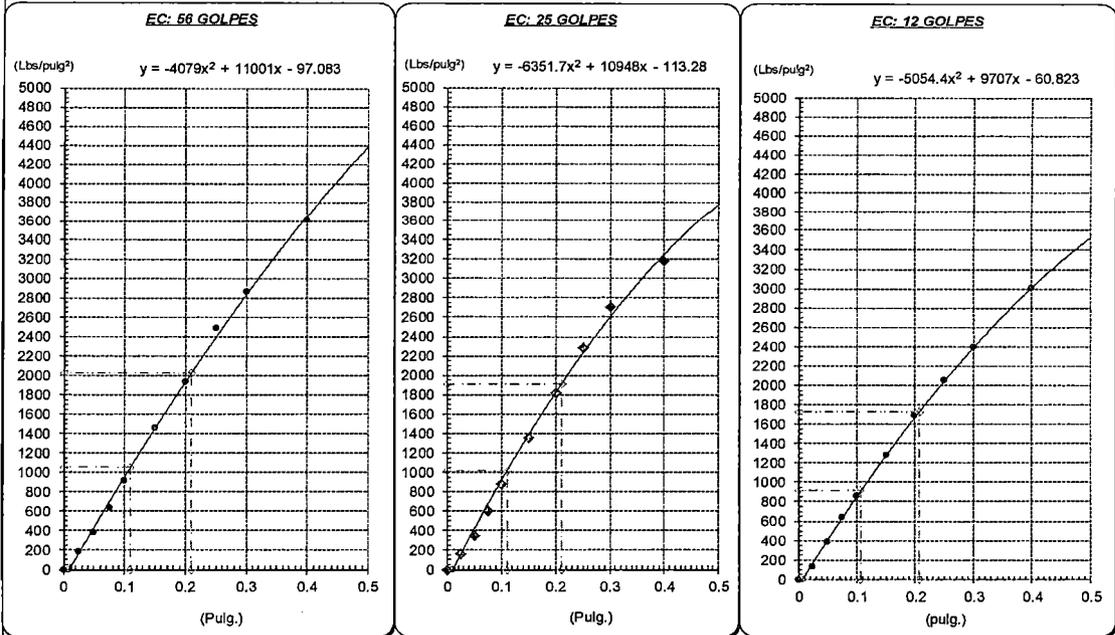


GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.

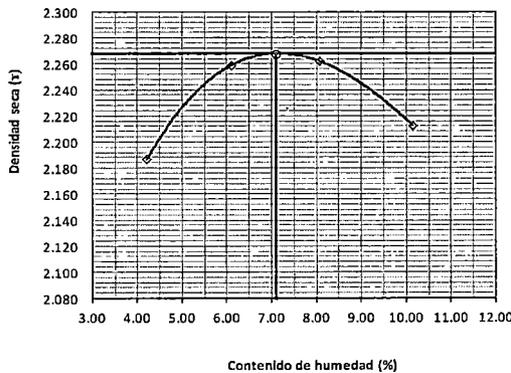
DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA AL 100%	2.268 g/cm ³
DENSIDAD SECA AL 95%	2.155 g/cm ³
OPTIMO CONT. DE HUMEDAD	7.1 %

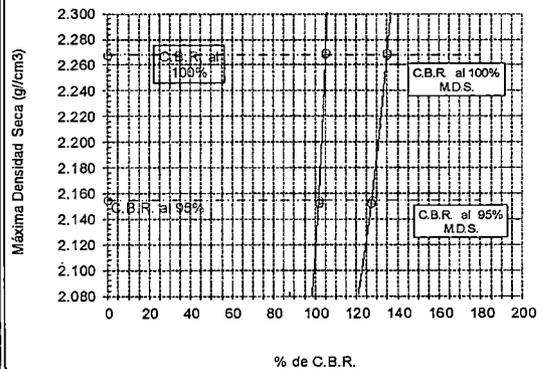
VALOR DEL C.B.R.

	0.1"	0.2"
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	105.1 %	134.8 %
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	101.9 %	127.4 %

GRAFICO DEL PROCTOR



DETERMINACION DEL C.B.R.



ANEXO 2



Designation: E 2583 – 07

Standard Test Method for Measuring Deflections with a Light Weight Deflectometer (LWD)¹

This standard is issued under the fixed designation E 2583; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This test method covers the determination of deflections of paved and unpaved surfaces with a Light Weight Deflectometer (LWD). This device is also referred to as a Portable Falling-Weight Deflectometer (PFWD). The LWD is light-weight, portable and generally used for testing unbound pavement layers. The deflections measured using an LWD can be used to determine the stiffness of bound and unbound pavement surfaces using appropriate back- or forward calculation analysis techniques.

1.2 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.3 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:²

D 2487 Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)

D 4695 Guide for General Pavement Deflection Measurements

2.2 Other Standards:³

FHWA-HRT-06-132 Version 4.1 Long-Term Pavement Performance Program Manual for Falling Weight Deflectometer Measurements

3. Summary of Test Method

3.1 This test method is a type of plate-bearing test. The load is a force pulse generated by a falling weight (mass) dropped

on a buffer system that transmits the load pulse through a plate resting on the material to be tested. The test apparatus may be hand held or moved around with a dolly type device.

3.2 The weight is raised to the height that, when dropped, will impart the desired force pulse. The weight is dropped and the resulting vertical movement or deflection of the surface is measured using suitable instrumentation. Multiple tests at the same drop height (different heights are optional) may be performed at the same location.

3.3 The peak deflection resulting from the force pulse at each location is recorded in micrometres, millimetres, mils or inches, as appropriate.

3.4 The peak force imparted by the falling weight is recorded as the force in kN or lbf, or as the mean stress (the force divided by the load plate area) in kN/m²(kPa) or psi, as appropriate.

4. Significance and Use

4.1 This test method covers the determination of surface deflections as a result of the application of an impulse load. The resulting deflections are measured at the center of the applied load and may also be measured at various distances away from the load. Deflections may be either correlated directly to pavement performance or used to determine in-situ material characteristics of the pavement layers. Some uses of data include quality control and quality assurance of compacted layers, structural evaluation of load carrying capacity, and determination of thickness requirements for highway and airfield pavements (see Guide D 4695).

NOTE 1—Since pavement and subgrade materials may be stress dependent, care must be taken when analyzing LWD test data on unbound materials so that the applied stress will closely match the stress value applied by the design wheel load at the pavement surface.

NOTE 2—The volume of the pavement and subgrade materials affected by the load is a function of the magnitude of the load. Therefore, care must be taken when analyzing the results, since the data obtained by the LWD may be obtained from a smaller volume of the unbound materials than under the influence of a heavy moving wheel load at the pavement surface.

5. Apparatus

5.1 *Instrument System*, conforming to the following general requirements:

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee E17 on Vehicle - Pavement Systems and is the direct responsibility of Subcommittee E17.41 on Pavement Testing, Evaluation, and Management Methods.

Current edition approved Sept. 1, 2007. Published October 2007.

² For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

³ Available from the Federal Highway Administration (FHWA), 1200 New Jersey Ave., SE Washington, DC 20590.

5.2 *Instruments Exposed to the Elements*, shall be operable in the temperature range of -10 to 50°C (10 to 120°F) and shall tolerate relatively high humidity, rain or spray, and all other adverse conditions such as dust, shock, or vibrations that may normally be encountered.

5.3 *Force-Generating Device*, (a falling weight) with a guide system. The force-generating device shall be capable of being raised to a predetermined height and dropped. The resulting force pulse transmitted to the pavement shall be capable of providing a half-sine or haversine shaped load pulse, with a time of loading of between 20 and 40 msec, and shall be reproducible within the requirements of 7.1.

5.4 *Falling Weight*, designed to operate with negligible friction or resistance.

5.5 *Load Plate*, capable of an approximately uniform distribution of the impulse load on the surface. The instrument shall be suitably constructed to allow pavement deflection measurements at the center of the point of impact, through a hole in the center of the load plate.

5.6 *Deflection Sensor(s)*, capable of measuring the maximum vertical movement and mounted in such a manner as to minimize angular rotation with respect to its measuring plane at the maximum expected movement. The number and spacing of the sensors is optional and will depend upon the purpose of the test and the pavement layer characteristics. Sensors may be of several types such as displacement transducers, velocity transducers, or accelerometers.

5.7 *Data Processing and Storage System*. Load and deflection data shall be displayed and recorded. Supporting information such as air temperature, surface temperature, distance measurements, and identification data for each test point may be recorded either automatically or manually.

5.8 *Load Cell*. A load cell shall be used to measure the applied load of each impact. It shall be placed in a position to minimize the mass between the load cell and the surface. The load cell shall be positioned in such a way that it does not restrict the ability to obtain deflection measurements under the center of the load plate. The load cell shall be water resistant and shall be resistant to mechanical shocks from impacts during testing or traveling.

5.9 *LWD Size*, shall be small enough to be considered portable, i.e. not requiring a vehicle or trailer for transport.

6. Hazards

6.1 Injury can occur when elevating and dropping the falling weight. Some LWDs have relatively heavy falling weights, thus requiring the operator/recorder to keep his/her back straight, lifting with the leg muscles. Likewise, the operator/recorder should take care that his/her hands or extremities are not positioned beneath the lifted weight or loading plate, to avoid injury when the weight is falling.

7. Calibration

7.1 *Force-Generating Device*—Prior to load and deflection sensor calibration, precondition the device by dropping the weight at least five times and checking the relative difference in each peak load level. Peak load levels measured by the load cell shall not vary from each other more than $\pm 3\%$. If the variation exceeds this tolerance, the height of the drop,

cleanliness of the track, along with any springs or rubber pads that are used to condition the load, shall be checked. Improperly operating parts shall be replaced or repaired prior to calibration to ensure that the horizontal and shear forces are minimized.

7.2 *Load Calibration Platform*—Follow the manufacturer's recommendations for load cell calibration since several types of these devices are commercially available.

7.3 *Deflection Sensors*—Calibrate sensors at least once per year or in accordance with the manufacturer's recommendations.

8. Signal Conditioning and Recorder System

8.1 All signal conditioning and recording equipment shall allow deflection measurements to be displayed and stored with a resolution of $\pm 1 \mu\text{m}$ (± 0.04 mils) or less.

8.2 The peak load and deflection measurements shall be recorded within a time period or measurement window of 60 ms or longer while still adhering to the precision and bias requirements shown in Section 10.

8.3 Peak load measurements shall be displayed and stored with a resolution of ± 0.1 kN or less if using SI units, or ± 10 lbf or less if using U.S. customary units, or an equivalent quantity if the load is expressed as mean stress depending on the plate radius.

9. Procedure

9.1 Position the instrument over the desired test point. The test surface shall be as clean and smooth as possible with loose granules and protruding material removed. For gravel surfaces it is recommended that a thin layer of fine sand be placed over the test point. This helps in obtaining uniform contact between the load plate and the surface. A suitable rubber pad may be used for improving the load distribution.

9.2 Place the loading plate and the sensors to ensure they are resting on a firm and stable test surface.

9.3 Raise the falling weight to the desired height and allow it to fall freely.

9.4 Record the resulting peak surface deflection(s) and the peak load.

9.5 Perform at least two falling weight sequences (9.3) and compare the results. If the difference is greater than $\pm 3\%$ for any sensor, note the variability in the report. Additional tests may be run at the same or at different load levels.

NOTE 3—It may be advantageous to use the first one or two drops for seating and use the subsequent drops for analysis.

10. Precision and Bias

10.1 *Equipment Precision*—The precision requirement for the deflection sensors is $\pm 2 \mu\text{m}$ (0.08 mils). The precision requirement for the load cell is ± 0.1 kN (22 lbf) or better.

10.2 *Equipment Bias*—The bias requirement for both the deflection sensors and the load cell is $\pm 2\%$ or better.

10.3 *Between Device and Test Point Reproducibility*—The single operator, single equipment coefficient of variation of the test method for typical field conditions is 10 to 20 percent for GM/GC/GP soils, 15 to 35 percent for SW/SM/SP soils, and 40 to 60 percent for ML/CL soils (see Practice D 2487). The between device reproducibility of the test method for typical

conditions is being determined and will be available on or before December 2009.

NOTE 4—Some LWD devices are designed and equipped such that the accuracy (precision and bias) as well as the load cell and sensor mounting requirements of this test method cannot be met. One or more of the following LWD features can lead to this conclusion: (1) The LWD is not equipped with a load measuring device (load cell); (2) The LWD measures the deflection of the load plate rather than the deflection of the surface under test through a hole in the center of the load plate; (3) The LWD uses a sensor (velocity transducer or accelerometer) that is not linear down to zero Hz or is not processed using a Fourier transform analysis or equivalent.

NOTE 5—For the LWD devices referred to in Note 4, the approximate

surface or composite modulus of the tested layer has been estimated to lie between 0.5 and 0.75 times the composite modulus calculated using an LWD device that meets the precision and bias requirements of this test method. A separate test method is being developed to cover this type of LWD device.

11. Keywords

11.1 deflection surveys; deflection testing; Falling Weight Deflectometer (FWD); Light Weight Deflectometer (LWD); impulse deflection testing; load-deflection testing; Nondestructive testing (NDT); pavement deflection; pavement testing; pavement layer modulus; pavement layer stiffness; Portable Falling-Weight Deflectometer (PFWD)

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

ANEXO 3

PROCEDIMIENTOS PARA LA UTILIZACION DEL SOFTWARE

1. Licencia del software LWDmod

El software LWDmod se entrega con el equipo LWD 3031. Se puede instalar en cualquier equipo con Windows 2000 (SP4) o Windows XP.

Mientras la instalación del software no tiene licencia (modo sin licencia), las funcionalidades se limitan a reportar instalaciones, a excepción de la base de datos DEMO incluido todas las funciones que están disponibles. En las primeras 10 aperturas de LWDmod se muestra una ventana de registro en el inicio. Si usted no ha comprado una licencia de uso completo del software a continuación, haga clic en Aceptar para pasar a la ventana principal.

En las primeras 10 aperturas todas las funciones están disponibles en el modo sin licencia, en adelante sólo la base de datos DEMO se permite el acceso a todas las funcionalidades.

2. Registro

Cada instalación de un nuevo equipo requiere una solicitud de un archivo de licencia para el equipo específico para hacer corrida en el software LWDmod en modo completo. Al iniciar el programa LWDmod, un formulario de inscripción se abrirá automáticamente, si no está presente la licencia para el ordenador. Este formulario debe utilizarse cuando se solicite la licencia de Dynatest. Cuando aparezca la ventana emergente automáticamente puede acceder a él desde: Ayuda → Registro, ver Figura N°1.

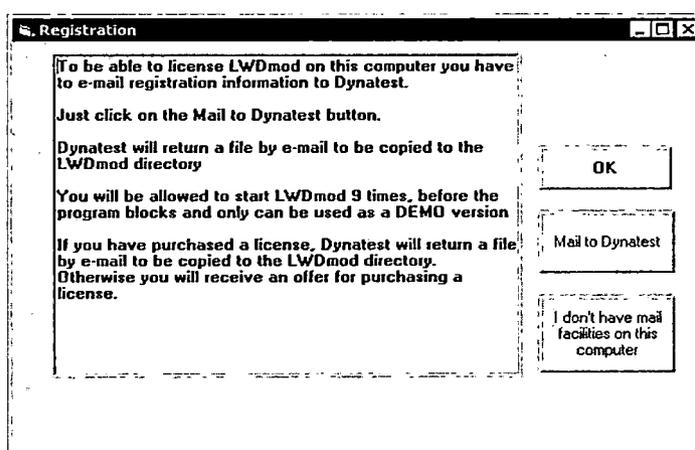


Figura N°1. Registro del programa. FUENTE: Software LWDmod, 2011.

Las primeras 10 veces que inicie el programa sin un archivo de licencia, usted puede utilizarlo con todos los servicios. En adelante el programa se convertirá en "modo sin licencia". En el "modo sin licencia", el análisis y funcionalidades de las Parcelas sólo funcionaran con una base de datos DEMO ubicado en la carpeta del programa LWDmod (ver: Archivo Demo). Las instalaciones de importación y el Informe seguirán funcionando con todos los archivos.

3. Archivo de Datos

LWDmod puede importar dos tipos de archivos de datos brutos. El tipo normal es utilizar el archivo *. Kdb generada en el PDA durante la prueba. Alternativamente datos brutos se pueden importar desde archivos de Excel, que tienen el formato de la exportación a Excel desde el programa Toolbox Keros anterior. Esta opción es principalmente para asegurar la compatibilidad hacia atrás, aunque las versiones anteriores de los archivos KDB también se pueden importar.

En cuanto a la importación de archivos de Excel hay que tener mucho cuidado de no cambiar nada en el formato o la estructura del archivo. Por favor, siga estas reglas principales:

- No se permiten cambios en los encabezados de columna o el nombre de las hojas.
- No elimine los puntos o gotas en el archivo de Excel. Esto se debe hacer desde el programa LWDmod.
- Los campos que lleven la fecha y hora no se deben editar.
- No se permite insertar o eliminar columnas o filas.

4. Preparación de los datos para el análisis

Antes de cualquier análisis, es importante asegurarse de que los datos son de la mejor calidad posible, y estructuradas de una manera apropiada. Presentamos 5 pasos que están involucrados para asegurar la calidad:

- Preparar las pruebas de campo con precisión y preferible seguir un procedimiento estándar.
- Corrija los errores de las pruebas de campo, como datos malos o incorrectos.
- Corregir puntos, nombre (ubicaciones) y archivos de forma lógica, para evitar

- problemas de identificación.
- Utilice los recursos del LWDmod para eliminar puntos o gotas con resultados que son evidentemente no adecuados para el análisis.
- Usa las instalaciones en LWDmod para seleccionar las gotas para el análisis que son adecuados para el propósito del análisis.

5. Eliminación de las gotas y Puntos

Las desviaciones varía de acuerdo a las leyes físicas con el tamaño de la carga y el tamaño de la placa, pero otros efectos también podrían influir en la desviación de lectura como la compactación del material durante el pulso de carga, el área de contacto entre la superficie y la placa, los movimientos transversales del sensor durante el impacto. Por tanto, un paso importante en el proceso de los resultados es eliminar gota que no son adecuados para el análisis. LWDmod proporciona facilidades para la detección de estas gotas y para eliminarlos.

De las **Parcelas - instalación deflexiones** es posible eliminar las gotas de la interfaz gráfica. Deflexiones que son inusuales altas se verán a partir de gráficos.

De las **Parcelas - desviación de la superficie de modulo**, gotas de instalaciones pueden ser borrados también. A partir de estos gráficos es posible ver inusuales módulos de gran superficie, lo que refleja las deflexiones bajo inusuales.

6. Técnicas de análisis

En este tema se resumen las herramientas y posibilidades que se tienen para el análisis de los datos para obtener los resultados más útiles.

6.1 Selección de gotas

Tenga cuidado con lo que cae desde un punto de prueba que han sido seleccionadas para el análisis. La selección puede ser controlada desde la **Configuración del archivo** y mediante la desactivación de gotas individuales de la red en la ventana de análisis.

En general, tener en cuenta de no utilizar gotas de asientos con las lecturas anormales de desviación. Si es posible, incluir gotas hechas con diversos niveles de carga y tamaños de placa ya que esta información permite el análisis para calcular la no linealidad y espesor de la capa.

Es fácil y rápido para cambiar la selección de la gota, a fin de utilizar las instalaciones de experimentar con diferentes configuraciones a comparar y seleccionar la configuración más beneficiosa.

6.2 Entrada Estructural

Para sistemas de multicapa el espesor de la capa debe ser preferiblemente conocido a partir de mediciones o datos de construcción. En muchos casos, cuando se prueba en construcciones más antiguas la información no está disponible, y la entrada puede estar basada en la mejor suposición. Puede ser útil para ejecutar el análisis con varios terminales de entrada para el espesor de la capa a evaluar lo que da el mejor ajuste y sea más fiable para los valores de E.

Si las gotas se hacen con diferentes tamaños de placas, el análisis permitirá cálculo del espesor de la capa superior, sin embargo, en algunas situaciones las iteraciones pueden ir en la dirección "equivocada" y producir resultados poco realistas.

6.3 Valores de semillas

Valores de semillas son los valores de inicio de los procedimientos de iteración, y los resultados son a menudo dependen de la elección de valores de inicialización. Por tanto, es importante introducir estos valores lo más realista posible.

En algunos casos, es posible que desee fijar el valor, desmarcando la casilla a la izquierda del campo de entrada.

Si las pruebas se realizan en los sitios, donde hay roca cerca de la superficie, debe incluir esta opción en los valores de entrada. También hay opciones para ejecutar un nuevo análisis, donde los resultados anteriores se utilizan como valores de inicialización.

6.4 Las pruebas con múltiples geófonos

Hasta 3 geófonos pueden ser fijados al equipo. Si los resultados del análisis con todos los geófonos parecen sospechosos, a continuación, tratar de analizar utilizando sólo la deflexión central. Esta opción está disponible en Configuración del archivo.

Si las gotas se hacen con múltiples geófonos y varios tamaños de placa esto puede ser útil sólo para la estimación de la desviación centro de espesor de la capa superior, y después de permitir que todos los geófonos y utilicen el espesor de la capa superior calculado como entrada fija para un nuevo análisis.

6.5 Resultados

Estudiar los resultados para evaluar la calidad de estos. En el anuncio rejilla si las gotas salen con valores especialmente altos de RMS. Entonces sería apropiado ejecutar el análisis de nuevo sin estas gotas que presentan RMS alto. Compare los resultados con cualquier otra información que tenga sobre la estructura probada para validar si están dentro de un rango razonable.

Se puede mejorar los resultados mediante el aumento de los valores de entrada a las iteraciones en términos de **ancho**, **Escalón** y **alternativos**. Cuando se quiera ejecutar el análisis de todos los puntos, siempre debemos revisar los resultados de todos los puntos, y si algunos vienen con valores dudosos, intentemos volver a hacer el análisis de estos puntos específicos cambiando algunos de los parámetros de entrada.

7. Menú Principal

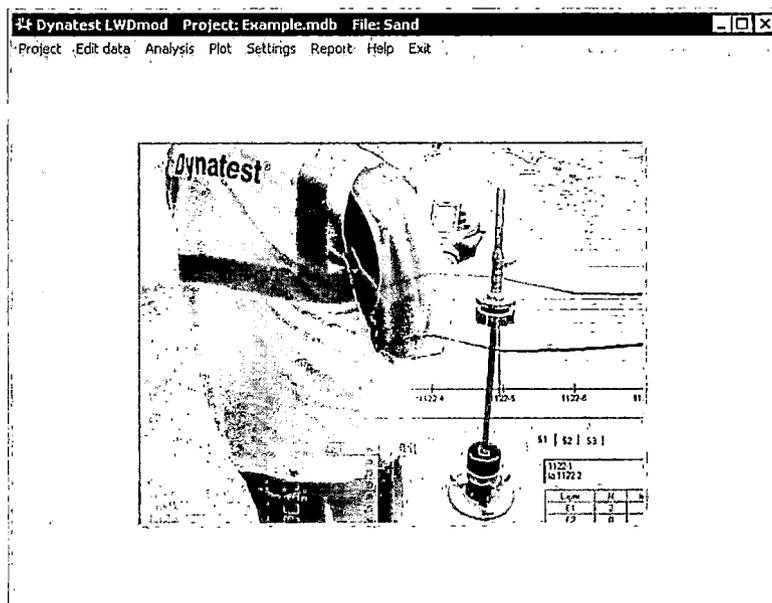


Figura N°2. Menú principal, FUENTE: Software LWDmod, 2011.

Algunos de los elementos del menú pueden ser discapacitados, si no tienen relevancia en la etapa actual, por ejemplo, no se puede editar o analizar un archivo de datos antes de que haya abierto uno.

En la Figura N°2, se pueden observar, que todos los menús están activados, debido a un archivo con los resultados del análisis está abierto. En la barra de título se puede ver información sobre el nombre del proyecto y el nombre del archivo.

Breve descripción de cada elemento del menú:

→ Al hacer clic en **Proyecto** plantea este submenú, ver figura N°3:

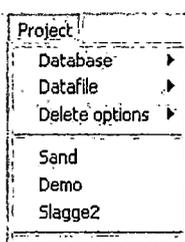


Figura N°3. Menú del proyecto I, Fuente: Software LWDmod, 2011.

Seleccionar **Base de datos** para crear una nueva base de datos (proyecto) o abrir uno existente.

Seleccionar **archivo de datos** para abrir un archivo de datos del proyecto actual o importar nuevos archivos de datos LWD

Opciones Borrar da acceso para eliminar resultados o archivos de la base de datos del proyecto.

En la parte inferior del submenú existen atajos para acceder a los archivos abiertos previamente.

- Al hacer clic en **Editar datos** da acceso a ver y editar la información de un archivo de datos abierto.
- Seleccione **Análisis** cuando un archivo de datos está abierto y listo para ser analizado. La función de análisis da la posibilidad de calcular las propiedades de capa, y para realizar el diseño de superposición sobre la base de las especificaciones a módulo de desviación de la superficie.
- En **parcela** puedes ver las presentaciones gráficas de los datos de las pruebas y los resultados generados por el análisis. Presenta opciones para eliminar los puntos únicos o gotas de los datos, para estudiar la información detallada de la gota y exportar las tablas de datos, resultados y gráficos.

- De **Los ajustes** se pueden controlar algunos parámetros generales, como el sistema de unidades, configuración de idioma y las opciones de importación.
- **Informe:** Este servicio se utiliza para generar la exportación de datos a hojas de Excel o Word.
- En el menú **Ayuda** hay submenús para consultas siguiente, ver figura N°4:

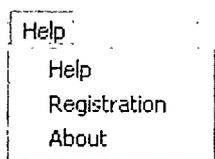


Figura N°4. Menú de ayuda Fuente: Software LWDmod, 2011.

8. Configuración

Cuando seleccione Configuración en el menú principal, algunos parámetros de configuración globales se pueden modificar. Estos valores son los valores predeterminados, que se utilizan cuando se crean nuevos proyectos y nuevos archivos de datos se importan.

No hay, que confundir esta opción con **configuración de archivo** se puede acceder desde la ventana de Análisis para la definición de parámetros del archivo de datos abierto específico, ver figura N°5.

Podemos configurar:

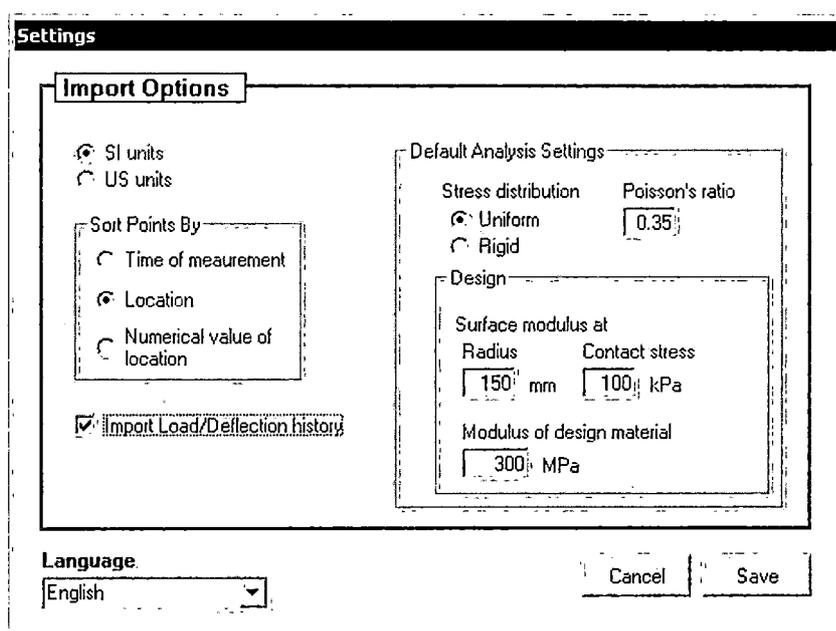


Figura N°5. Opciones de configuración, Fuente: Software LWDmod, 2011.

- Idioma.
- Unidades.
- Ordenar puntos.
- Importación de carga / deflexión historia.
- Configuración del análisis por defecto.

9. Proyecto y gestión de ficheros

Un proyecto (base de datos del proyecto) es una colección física de los archivos de datos importados en formato Microsoft Access. Al utilizar LWDmod todas las importaciones y exportaciones va desde y hacia esta base de datos. Antes de hacer cualquier otra cosa, tiene que crear una nueva base de datos o un proyecto abierto y existente. El siguiente paso entonces es la importación de nuevos archivos de datos o para abrir archivos ya importados de la base de datos del proyecto.

La idea es recoger todos los archivos de datos que pertenecen a un proyecto en una única ubicación física. Un número razonable de archivos en una base de datos de proyecto sería de 1 a 50 o 100, pero no hay límite superior, excepto que el tamaño de la base de datos podría crecer a un tamaño difícil de manejar o el rendimiento sería ralentizar en alguna etapa.

9.1 Crear y abrir proyectos

Para crear un nuevo proyecto de base seleccione: **Proyecto** → **Base de datos** → **Crear nuevo**

Esto abrirá el cuadro de diálogo del archivo, ver figura N°6

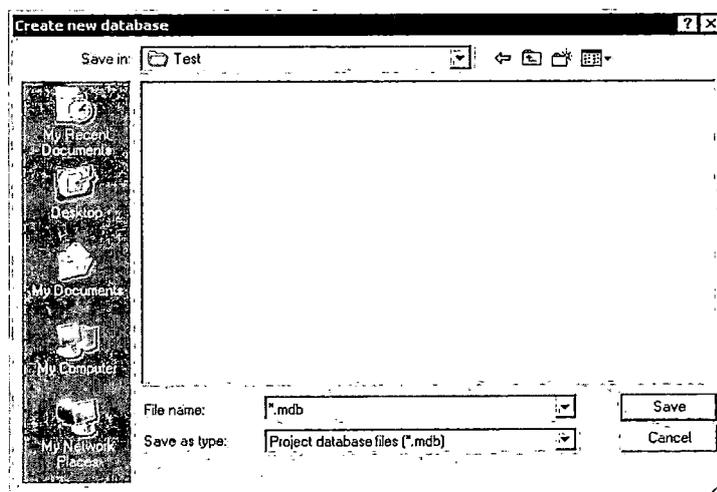


Figura N°6 Opciones de configuración, Fuente: Software LWDmod, 2011.

Busque la carpeta donde desea guardar el proyecto y después de aplicar un nombre a la base de datos del proyecto. La extensión estándar. MDB no se debe cambiar. Haga clic en Guardar. Si ya existe el archivo, se le preguntará si desea abrir la base de datos del proyecto existente. Si selecciona No, se le preguntará si desea sobrescribir la base de datos del proyecto existente.

Ahora, el programa creará la nueva base de datos del proyecto, que está vacía a excepción de algunos valores por defecto. La nueva base de datos del proyecto se convertirá automáticamente en el actual abrió uno, por lo que no tiene que abrirla antes de importar archivos. En la barra de título de Windows, verá el nombre de su base de datos, ver Figura N°7:



Figura N°7. Barro del título, Fuente: Software LWDmod, 2011.

Ahora está listo para importar archivos de datos LWD.

Para abrir una base de datos de un Proyecto selecciono: **Proyecto** → **Base de datos** → **Abrir**

Esto abrirá el cuadro de diálogo de archivo, ver figura N°8

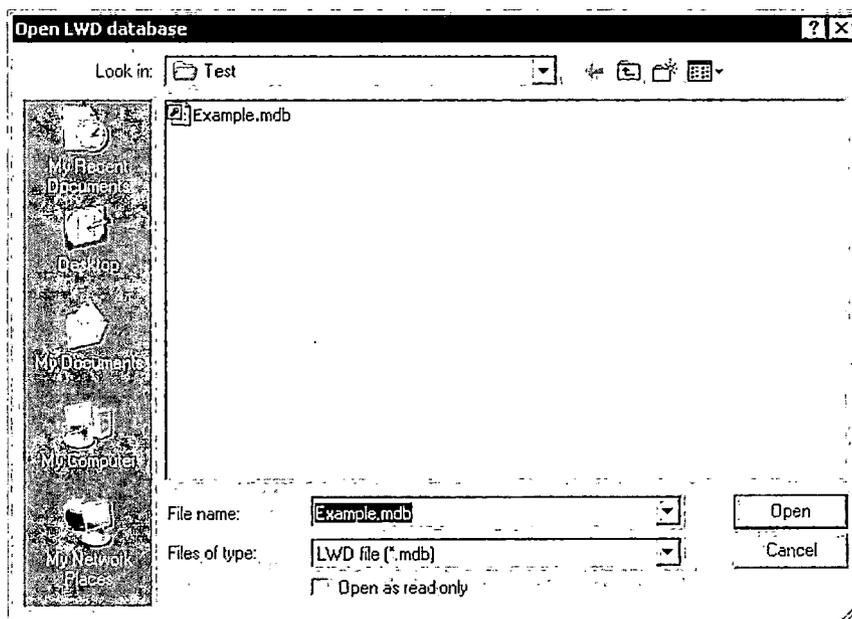


Figura N°8. Creación de Base de datos: Software LWDmod, 2011.

Cuando generes archivos se podrá ver una lista de archivos *. Archivos MDB (la extensión estándar para bases de datos Access). Seleccione la base de datos del proyecto correspondiente haciendo clic en el nombre de archivo y haga clic en **Abrir**.

Nota: Si selecciona una base de datos que no se crea con LWDmod el programa puede bloquearse.

La base de datos es ahora el proyecto actual y el nombre de la base de datos se muestra en la barra de título de Windows. Ahora está listo para abrir un archivo o importar nuevos archivos.

9.2 Importar archivos de datos brutos del LWD

Para importar archivos de datos brutos del LWD seleccione: **Proyecto** → **Archivo de datos** → **Importar LWD datos brutos (kdb)**. También tenemos la posibilidad de importar los datos en bruto de los archivos de Excel, en caso de que se generan por el programa Toolbox Keros antes. Se recibirá el cuadro de diálogo para abrir el archivo, ver figura N°9

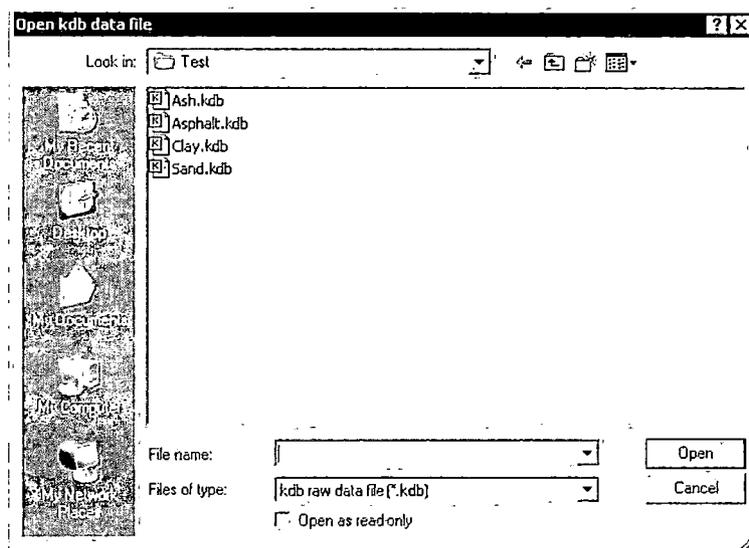


Figura N°9. Importación de datos Kdb: Software LWDmod, 2011.

Luego vamos a la carpeta donde se encuentran los archivos de datos brutos de campo del LWD y seleccione el archivo adecuado. A continuación tendrá la oportunidad de cambiar el nombre con el, que los datos se almacenan en la base de datos del proyecto, ver figura N°10:

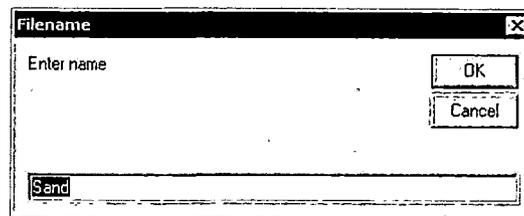


Figura N°10. Editar nombre en la base datos del proyecto: Software LWDmod, 2011

Hacemos clic en **okey** y la importación comenzará. Si un archivo con el nombre especificado ya existe en la base de datos del proyecto le preguntará si el archivo existente se debe sobrescribir. El archivo importado será el archivo actual como se puede ver en la barra de título de Windows, ver figura N°11.



Figura N°11. Barra de título del proyecto: Software LWDmod, 2011

9.3 Abrir un archivo de proyecto

Proyecto → **archivo de datos** → **Abrir** archivo de base de datos

A continuación, se presenta una lista de todos los archivos importados en la base de datos del proyecto actual, ver figura N°12.

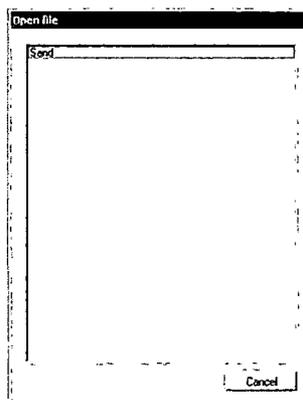


Figura N°12. Abrir archivo de datos de proyecto: Software LWDmod, 2011

Hacemos clic en el archivo deseado y se abrirá.

Para hacer una copia de un archivo de datos de la base de datos con un nuevo nombre, primero abrir el archivo correspondiente y a continuación seleccione **Proyecto** → **archivo de datos** → **Guardar archivo como**.

9.4 Para compactar una base de datos

Para compactar una base de datos seleccione: **proyectos > Base de datos > Compacto**. Esto sólo es posible cuando una base de datos del proyecto está abierta. Cuando una base de datos del proyecto se ha utilizado durante un tiempo, con una gran cantidad de importaciones y el análisis, se hace más grande de lo necesario. Usando esta opción reducirá el tamaño físico de la base de datos.

9.5 Eliminar opciones

Selección de **proyectos > Opciones Borrar** da acceso para eliminar resultados o archivos de la base de datos del proyecto o de la base de datos completa del proyecto con todos los archivos.

Para eliminar un archivo, el archivo debe estar al día. Eliminación de los resultados, se eliminarán todos los resultados en términos de calcular de nuevo los módulos y la superposición de espesores del archivo actual.

10. Modificar información

Cuando se abre un archivo, usted tiene la opción de seleccionar **Editar** de la **ventana principal** para ver y editar los datos en bruto. La Edición de datos sólo afectará a los datos importados en la base de datos del proyecto. Los datos en bruto de los archivos importados se pueden volver a importar a generar los datos originales.

Todas las celdas con fondo blanco se pueden editar haciendo clic en la celda e introducir un nuevo valor. Un punto completo con todas las gotas se puede eliminar mediante el uso de <Alt> + izquierda> Click> N° punto.

Una sola gota puede ser eliminado mediante la selección de <Alt> + izquierda> Click> N ° gota. En el bloque de notas se puede agregar notas a nivel de archivo. Notas relacionadas con los puntos se pueden añadir en la ventana **Análisis**.

Haga clic en **Guardar** cuando se hayan realizado todos los cambios o **Cancelar** para lamentarlo, ver figura N°13.

Edit Data File: Sand

Measured: 22. november 2005 Project: C:\aRam2\Test\Example.mdb

Point No.	Location	Drop	Radius mm	Load kN	Stress kPa	Distances, mm			Deflections, Micron			Time
						G1	G2	G3	D1	D2	D3	
1	1122-1	1	150	2.5	35	0			192			13:33:21
		2	150	2.5	36	0			177			13:33:31
		3	150	2.5	35	0			168			13:33:36
		4	150	4.6	65	0			506			13:33:52
		5	150	4.6	65	0			355			13:33:59
		6	150	4.7	67	0			321			13:34:07
		7	150	9.2	131	0			946			13:34:16
		8	150	9.3	131	0			666			13:34:32
		9	150	9.5	134	0			599			13:34:42
		10	150	1.3	18	0			64			13:34:52
		11	150	1.3	19	0			64			13:34:57
		12	150	1.3	19	0			63			13:35:02
		13	150	4.8	68	0			252			13:35:11
		14	150	4.9	69	0			249			13:35:19
		15	150	4.8	68	0			246			13:35:25
		16	150	9.6	135	0			559			13:35:34
		17	150	9.7	137	0			521			13:35:41
		18	150	9.7	138	0			509			13:35:50
2	1122-2	1	150	2.3	33	0			548			13:37:10
		2	150	2.4	33	0			222			13:37:15

<Alt> + Click Point No. to delete point
<Alt> + Click Drop to delete drop

Notes:

Cancel Save

Figura N°13. Ventana de modificación de datos: Software LWDmod, 2011

Un ejemplo de un error típico es en los nombres asignados a la localización de los puntos medidos si un nombre es incorrecto y ha sido registrado en el campo. Esto debe ser corregido cambiando este por el correcto para que haya un ordenamiento de los puntos.

11. Análisis de los datos

La selección de Análisis en el menú principal, en la cual se realizan cálculos de módulos y cálculos de diseño. En el modo sin licencia la instalación sólo está disponible para la base de datos de demostración. El elemento de menú se activa cuando un archivo de datos está abierto.

Antes de realizar el análisis asegúrese de que los datos que se utilizan son de la mejor calidad posible, ver figura N°14.

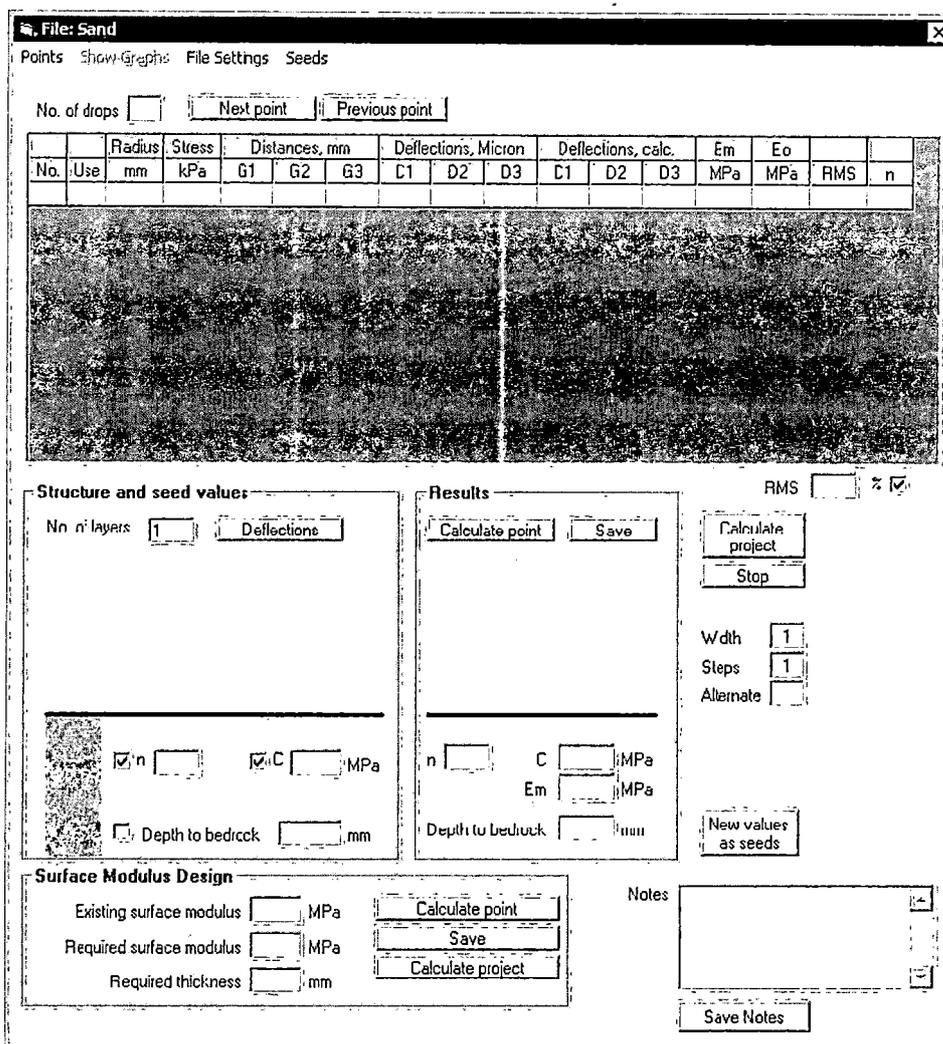


Figura N°14. Ventana de modificación de datos: Software LWDmod, 2011

Para el análisis se debe iniciar la selección de un solo punto de los datos y el uso de las instalaciones en Configurar archivo de controlar el número de gotas que se incluirán y otras configuraciones.

A continuación, puede entrar en la estructura de pavimento y valores de inicialización y después de hacer el análisis cuando esté satisfecho con el análisis de este punto, se puede seleccionar para el cálculo de todos los puntos, con base en los mismos valores de entrada y los ajustes.

Si más tarde, después de evaluar los resultados, desea cambiar algunos valores de entrada para los puntos específicos, se puede volver a las ventanas de análisis y manejar estos puntos por separado, sólo guardar los resultados de la ventanilla única.

11.1 Selección de Punto

Haga clic en **Points** desde el menú **Análisis**. Seleccionar **Punto** para cargar los datos de prueba desde un punto (lugar) en la ventana de análisis. Las ubicaciones se muestran en la ventana, hacer clic en un punto específico para cargar los datos, ver figura N°15.

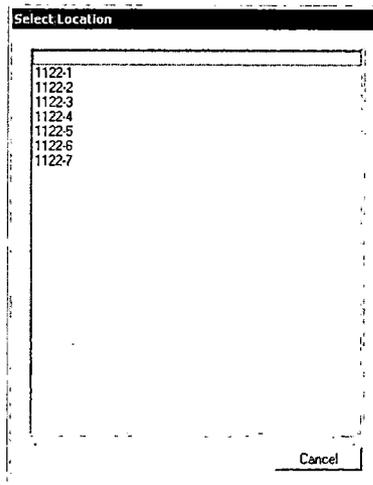


Figura N°15. Selección de puntos para el análisis: Software LWDmod, 2011

En cada línea de la cuadrícula se presentan los resultados de la prueba de la caída. Puede utilizar los botones de comando: **Siguiente punto** y **punto anterior** para desplazarse a través de los puntos.

El número de gotas que se pueden ver en la red depende de la configuración actual en la **configuración de archivo**, ver figura N°16.

File: Sand Point: 1122-1																
Points Show graph File Settings Seeds																
No. of drops: 18 Next point Previous point																
No.	Use	Radius mm	Stress kPa	Distances, mm			Deflections, Micron			Deflections, calc.			Em MPa	Eo MPa	RMS	n
				G1	G2	G3	D1	D2	D3	D1	D2	D3				
1	✓	150	35	0			192									
2	✓	150	36	0			177									
3	✓	150	35	0			168									
4	✓	150	65	0			506									
5	✓	150	65	0			355									
6	✓	150	67	0			321									
7	✓	150	131	0			946									
8	✓	150	131	0			666									
9	✓	150	134	0			539									
10	✓	150	18	0			64									
11	✓	150	19	0			64									
12	✓	150	19	0			63									

Figura N°16. Selección de puntos para el análisis: Software LWDmod, 2011

10.2 Configuración del archivo

Para configurar hacemos clic en **Análisis** → **Archivo de configuración**, para abrir la ventana. También se puede acceder desde el menú **Opciones de la función Parcela** en algunos tipos de gráficos, ver figura N° 17.

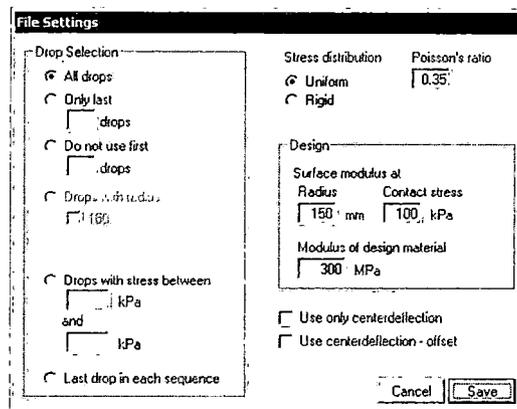


Figura N°17. Ventana de configuración de archivo: Software LWDmod, 2011.

Estos ajustes deben revisarse antes de hacer el análisis ya que además de la configuración de opciones de gota, también contiene importantes valores utilizados para el cálculo de los módulos elásticos y la superposición de diseño espesores.

En **selección de gota** se tiene una gama de opciones para la selección de las gotas que se utilizan en el análisis. Por lo general, no se recomienda el uso de todas las gotas, debido a que un número de las gotas puede ser considerado como gotas de asientos, donde las estructuras cambian debido a los impactos de carga. Las opciones que se desean utilizar dependen de la estructura, las secuencias de la gota y el propósito del análisis. Generalmente se utilizan los recursos disponibles en las **Parcelas** → **RawData** funciones para evaluar si las gotas son adecuados para el análisis. Esto nos dará información acerca de estas anomalías.

A menudo puede ser conveniente probar diferentes selecciones de caída, y comparar los resultados. Tener en cuenta que tenemos la posibilidad de utilizar sólo las gotas de pruebas con un radio de placa específica.

Para evaluar el espesor de la capa superior en un sistema multicapa, es necesario disponer de las medidas hechas con diferentes tamaños de placas, y por esa razón también se debe incluir en el análisis. Sin embargo, al utilizar diferentes tamaños de platos en campo posiblemente tengamos problemas con la estabilidad del equipo y más aun haciendo pruebas con el pequeño tamaño de

la placa, por esta razón es posible incluir sólo las gotas hechas con el plato grande.

En la parte inferior hay una opción para seleccionar **Última gota** en cada secuencia. Una secuencia de gotas se define por la misma zona de carga, tamaño de la placa y las distancias geófonos. Al seleccionar esta opción se saltará todas las gotas en la próxima caída que tengan la misma configuración.

Al hacer clic en **Guardar** las líneas de la cuadrícula de datos van a cambiar lo que refleja la nueva configuración, para poder ver fácilmente si tenemos la selección que nosotros queríamos.

Distribución de la tensión y el coeficiente de Poisson, se utiliza en el cálculo de los módulos elásticos. El efecto sobre el módulo de desviación de la superficie calculada se ve a partir de la ecuación, ver figura N°18:

$$E_0 = \frac{f * (1 - \nu^2) * \sigma_0 * a}{d_0}$$

Where:

E_0	=	Surface deflection modulus
f	=	Factor for stress distribution
ν	=	Poisson's ratio
σ_0	=	Stress under the plate
a	=	Radius of plate
d_0	=	Center deflection

Figura N°18. Ventana de configuración de archivo: Software LWDmod, 2011

En el LWDmod un factor de 2 se utiliza para distribuciones uniformes y $\pi / 2$ se utiliza para el caso rígido, que puede ser más adecuado para materiales cohesivos.

En la relación de Poisson 0,35 se considera como un valor razonable para los materiales granulares. Algunos estudios sugieren 0,50, pero probablemente este dato refleja un valor más conservador de las normas antiguas, en vez de un valor correcto.

El marco de diseño el software contiene valores utilizados con la estimación del espesor de recubrimiento. El módulo de superficie se debe calcular con un radio específico y área de contacto. Al especificar un módulo de superficie de diseño, debe estar conectado a la placa de radio. El esfuerzo de contacto único que importa en el caso de la presencia de materiales elásticos no lineales influirá en la desviación de la superficie calculada.

Para el módulo del material de diseño se debe establecer en un valor que refleja las propiedades del material que se supone que se utiliza para la superposición. Tener en cuenta que al guardar los valores de los materiales, que se graban con el archivo actual. Estos no van a cambiar los valores originales por defecto las cuales se establecen en la **Configuración** en el **menú principal**.

Utilizar sólo la deflexión central para comprobar en caso de que las pruebas se hayan hecho con más de un geófono, pero sólo las deflexiones del geófono central se deben utilizar en el análisis.

En algunos casos el uso de la salida del geófono múltiple podría ser más una desventaja en lugar de una contribución útil para el análisis. Este podría ser el caso cuando se prueba en materiales granulares con una baja compactación, donde los movimientos en el material podrían causar influencia en las lecturas de desviación de distancia del centro.

En cuanto a los módulos de superficie estos nos pueden dar una indicación de si es razonable utilizar las lecturas de los geófonos adicionales, como tener valores crecientes con la distancia del geófono.

10.3 Estructura y Valores Semilla

Antes de cualquier análisis que se pueda llevar a cabo la información estructural debe introducirse en términos de definiciones de capas y los valores de la semilla.

El cuadro para entrar en este aspecto de información es el siguiente: sistema que se compone de 1 capa sub- base, ver figura N°19.

Structure and seed values

No. of layers Deflections

In MPa

C MPa

Depth to bedrock mm

Figura N°19. Sistema de 1 capas: Software LWDmod, 2011

Si la construcción se compone de más capas que la sub-base, entonces el número de capas debe introducirse en el campo N ° de capas. Al cambiar este valor a "2", la trama de entrada cambiará, ver figura N°20.

The screenshot shows a dialog box titled "Structure and seed values". At the top, "No. of layers" is set to 2 and "Deflections" is empty. Below this, there are two sections for layer properties. The first section has a checkbox for "h" (0 mm) and a checked checkbox for "E" (MPa). The second section has checked checkboxes for "n" and "C" (MPa). At the bottom, there is a checkbox for "Depth to bedrock" (mm) which is unchecked.

Figura N°20. Sistema de 2 capas: Software LWDmod, 2011

También es posible entrar en un sistema de 3 capas, pero el retrocálculo sólo se puede realizar en la capa superior y la sub-base. En este caso el valor de la semilla "E" será considerado como un valor fijo, ver figura N°21.

The screenshot shows a dialog box titled "Structure and seed values". At the top, "No. of layers" is set to 3 and "Deflections" is empty. Below this, there are three sections for layer properties. The first section has a checkbox for "h" (0 mm) and a checked checkbox for "E" (MPa). The second section has a checkbox for "Fix E1/E2" and a modulus "E" (MPa). The third section has checked checkboxes for "n" and "C" (MPa). At the bottom, there is a checkbox for "Depth to bedrock" (mm) which is unchecked.

Figura N°21 Sistema de 3 capas: Software LWDmod, 2011

Para una estructura de 3 capas la relación **E1/E2 Fix** se puede comprobar, en cuyo caso la relación entre E1 y E2 seguirá siendo el mismo que el indicado por los valores de semillas presentados.

Todos los campos de espesor y los campos de valor E deben ser llenados con valores. En las casillas restantes de los campos el LWDmod calculará una mejor relación calidad - ajuste basado en el valor de semilla introducida, de lo contrario será considerado un valor fijo y no va a cambiar durante el cálculo regresivo.

El módulo de subrasante se ingresa como una ecuación dependiente de la tensión, ver figura N°22

$$E = C * \left(\frac{\sigma}{\sigma_a} \right)^n$$

Where:

- E = Subgrade modulus
- C = Modulus at reference stress level
- σ = Stress level
- σ_a = Reference stress level. (Atmospheric pressure is used)
- n = Exponent for non-linearity

Figura N°22. Ecuación del Módulo de Subrasante: Software LWDmod, 2011

Si se desea una subrasante elástico-lineal, entonces n debe introducirse como 0, y la casilla debe estar desmarcada.

10.4 Cálculo de los módulos elásticos

Cuando los valores de información estructural y de semilla se han introducido en la ventana de análisis el cálculo de las propiedades de capa se puede iniciar. A continuación se muestra un ejemplo de información de entrada, ver figura N°22.

The screenshot shows the LWDmod software interface. At the top, there is a menu bar with 'File: Sand', 'Point: 1122-1', and options like 'Points', 'Show Graphs', 'File Settings', and 'Seeds'. Below the menu bar, there are controls for 'No. of drops' (set to 5) and buttons for 'Next point' and 'Previous point'. The main part of the interface is a table with the following data:

No.	Use	Radius mm	Stress kPa	Distances, mm			Deflections, Micron			Deflections, calc.			Em MPa	Eo MPa	RMS	n	
				G1	G2	G3	C1	D2	D3	C1	D2	D3					
14	✓	150	69	J													249
15	✓	150	88	J													246
16	✓	150	135	J													559
17	✓	150	137	J													521
18	✓	150	138	J													509

Below the table, there are several sections for input and results:

- Structure and seed values:** Includes fields for 'No. of layers' (set to 2), 'Deflections', 'h' (set to 100 mm), 'E' (set to 150 MPa), 'n' (set to 0), 'C' (set to 50 MPa), and 'Depth to bedrock'.
- Results:** Includes fields for 'h' (mm), 'E1' (MPa), 'n', 'C' (MPa), 'Em' (MPa), and 'Depth to bedrock' (mm). It also has buttons for 'Calculate point', 'Save', 'Calculate project', and 'Stop'.
- Surface Modulus Design:** Includes fields for 'Existing surface modulus' (MPa), 'Required surface modulus' (MPa), and 'Required thickness' (mm). It has buttons for 'Calculate point', 'Save', and 'Calculate project'.
- Notes:** A text area for entering notes, with a 'Save Notes' button.

Figura N° 22. Ventana de entrada de datos para el cálculo de módulos: Software LWDmod, 2011

Las últimas 5 gotas de una serie de 18 han sido seleccionadas para el análisis. Esto significa que el análisis tratará de crear los resultados que harán el mejor ajuste con los resultados de las pruebas para estos 5 gotas. Gotas individuales se pueden omitirse haciendo clic en la red en la columna Usar. Del ejemplo tenemos un sistema de 2 capas, se ha insertado algunos valores semillas. Los valores semilla son los valores de inicio de los procedimientos de iteración y se debe seleccionar lo más realista posible. Cuando termina la iteración los resultados se presentan en el marco, ver figura N°23.

The screenshot shows the LWDmod software interface. At the top, there's a menu bar with 'Points', 'Show Graphs', 'File Settings', and 'Seeds'. Below it, a 'No. of drops' field is set to 5, with 'Next point' and 'Previous point' buttons. The main data table is as follows:

No.	Usa	Radius mm	Stress kPa	Distances, mm			Deflections, Micron			Deflections, calc.			Em MPa	Eo MPa	RMS	n
				G1	G2	G3	C1	D2	D3	C1	D2	D3				
14	✓	150	69	J			249			250			47	73	0.3	
15	✓	150	68	J			246			246			47	73	0.1	
16	✓	150	105	J			550			520			40	60	7.0	
17	✓	150	137	J			521			529			43	68	1.4	
18	✓	150	138	J			509			533			43	68	4.7	

Below the table is a visualization area showing a dark, textured surface. The bottom section contains several control panels:

- Structure and seed values:** Includes 'No. of layers' (2), 'Deflections' button, and input fields for h (100 mm), E (150 MPa), n (0), C (50 MPa), and 'Depth to bedrock' (mm).
- Results:** Includes 'Calculate point', 'Save', and 'Calculate project' buttons. Input fields for h (100 mm), E1 (121 MPa), n (-0.13), C (43 MPa), Em (45 MPa), and 'Depth to bedrock' (mm).
- Surface Modulus Design:** Includes 'Existing surface modulus' (70 MPa), 'Required surface modulus' (MPa), 'Required thickness' (mm), and 'Calculate point', 'Save', and 'Calculate project' buttons.
- Other controls:** 'RMS' (3.8), 'Width' (1), 'Steps' (1), 'Alternate' checkbox, 'New values as seeds' button, and a 'Notes' section with a 'Save Notes' button.

Figura N°23. Ventana de resultados del cálculo de módulos: Software LWDmod, 2011

En el marco de resultados se ven los valores calculados para cada capa. Estos resultados reflejan los valores encontrados en las iteraciones de cálculo inverso, que se ajustan mejor (minimizar RMS) para todas las gotas incluidos en el análisis.

El RMS global está en la lista debajo de la rejilla, el Eo general y el módulo de desviación de la superficie aparece en el marco **Diseño Módulo de superficie**.

Cuando se calcula sólo para un único punto los resultados no se guardan antes de pulsar el botón **Save**, situado junto al botón **Calcular** punto. Esto permite hacer experimentos y análisis de consecuencias de un solo punto antes de guardarlo y antes de ejecutar todos los puntos.

Al hacer clic en el **botón Calcular Proyecto**, se calcularán todos los puntos y todos los resultados se guardarán automáticamente. En cualquier momento se puede volver a un solo punto y realizar el análisis de ese punto y guardar los nuevos resultados para ese punto específico.

Los resultados nuevos de valores de semilla se pueden transferir a los valores de inicialización para la preparación de otro análisis. Esto puede mejorar en algunos casos los resultados. .

11 Informe

Selección Reporte en el **menú principal** para acceder a los datos de las pruebas y resultados de análisis que figuran en las tablas, y después exportarlos a Excel o Word para su posterior procesamiento o impresión, ver figura N°24.

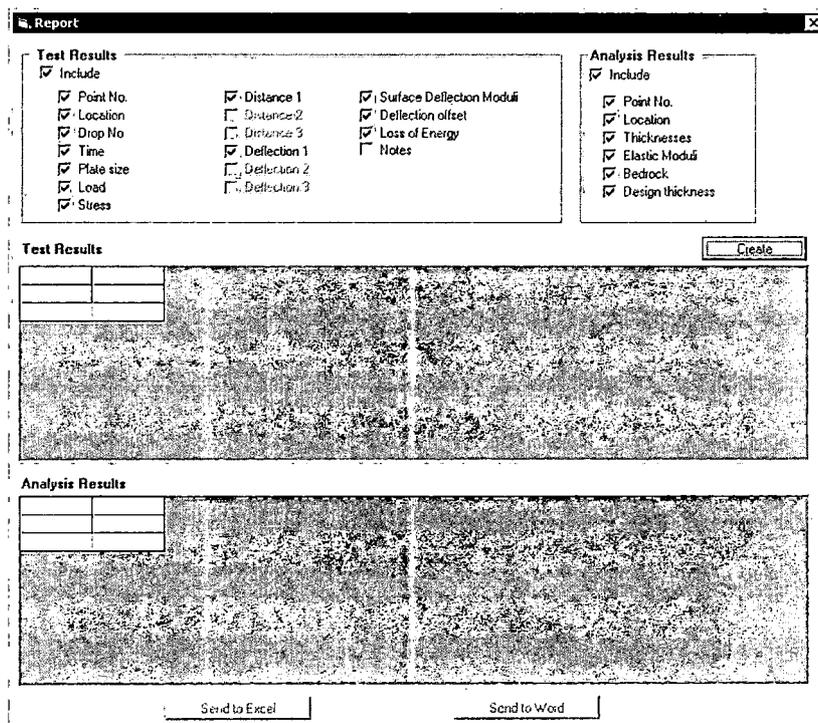


Figura N°24 Ventana de Reportes: Software LWDmod, 2011

En la parte superior de la ventana hay opciones para las columnas que desea incluir en el informe. Además hay opciones marcadas que se incluyen por defecto.

Hacemos clic en el **botón Crear** para generar las tablas con datos, ver figura N° 25. Si no se ha realizado el proceso de análisis la tabla de análisis de resultados estará vacía.

Point No.	Location	Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
				mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
1	1122-1	1	13:33:21	150	2.5	35	0	192	48	51	0.111
2	1122-2	2	13:33:31	150	2.5	36	0	177	53	30	0.091
3	1122-3	3	13:33:36	150	2.5	35	0	168	56	21	0.073
4	1122-4	4	13:33:52	150	4.6	65	0	506	34	258	1.137
5	1122-5	5	13:33:59	150	4.6	65	0	355	49	109	0.525
6	1122-6	6	13:34:07	150	4.7	67	0	321	55	64	0.434
7	1122-7	7	13:34:16	150	9.2	131	0	946	36	547	4.985
8	1122-8	8	13:34:32	150	9.3	131	0	666	52	229	2.671
9	1122-9	9	13:34:42	150	9.5	134	0	599	59	153	2.187

Point No.	Location	H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
		mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
1	1122-1	100	162	56	0.00	56	72	0	106
2	1122-2	100	134	50	0.00	50	64	0	138
3	1122-3	100	129	42	0.00	42	55	0	174
4	1122-4	100	172	52	-0.03	53	74	0	97
5	1122-5	100	181	60	-0.06	62	88	0	51
6	1122-6	100	53	24	-1.37	85	106	0	0
7	1122-7	100	86	35	0.00	35	45	0	227

Figura N°25 Ventana del Test de Resultados a Exportar: Software LWDmod, 2011

Luego podemos crear la exportación, haremos clic en **Enviar a Excel** o **Enviar a Word**.

Exportar a Excel se cargará automáticamente la aplicación Excel y crear una hoja con los resultados de pruebas y una hoja con los resultados del análisis. El archivo de Excel no se guarda automáticamente. Si desea guardarlo, debe hacerlo de forma manual desde el menú Excel.

Exportar a Word se cargará automáticamente un documento de Word y crear páginas con resultados de las pruebas y resultados de análisis. El documento de Word no se guarda automáticamente. Si desea guardarlo, debe hacerlo de forma manual desde el menú Word.

12. Plot

Seleccione la **Parcela** en el **menú principal** que da acceso a una serie de presentaciones gráficas, estadísticas. En el modo sin licencia de la instalación sólo está disponible para la base de datos de demostración.

Para un número de gráficos **Las opciones** se pueden activar desde el **menú Plot** para la selección de diferentes ajustes para el gráfico actual. Debajo de la ventana gráfica una tabla con los datos pertinentes disponibles, y los gráficos con ubicación a lo largo del eje x, seccionando características y estadísticas en forma de tabla.

El contenido de las tablas se puede copiar y pegar a otras aplicaciones, como Excel.

12.1 Opciones de los gráficos de terreno

Para la mayoría de los gráficos en la aplicación de dibujo, es posible seleccionar **Opciones** en el menú para introducir varios ajustes que afectan a la presentación gráfica.

Las posibilidades de **opciones** dependen de la gráfica actual que se muestra, ver figura N°26. En el siguiente ejemplo se ve las opciones para gráficas de desviación.

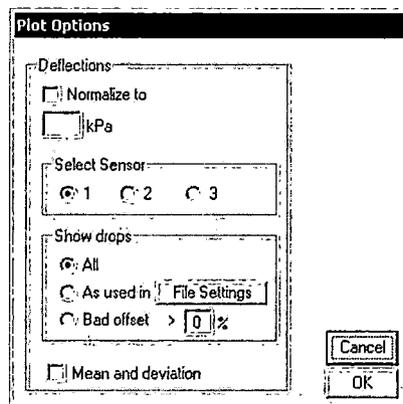


Figura N°26 Ventana de opciones de graficas de desviación: Software LWDmod, 2011

- *Normalizar*

Dado que las gotas para los puntos de prueba a menudo se hacen con diferentes niveles de carga, es necesario para normalizar las deflexiones a un nivel de carga específica para fines de comparación.

El nivel de carga se introduce como el nivel de presión bajo el plato. Desde la columna de la tensión en la tabla de desviación, se puede obtener una idea de la magnitud de los esfuerzos obtenidos durante las pruebas.

- *Seleccione sensor*

Si las pruebas se han llevado a cabo con más de 1 sensor de geófono, es posible seleccionar qué salida del sensor debe utilizar en los gráficos.

- *Mostrar gotas*

Puede optar por mostrar los resultados de todas las gotas de un punto de prueba, o se puede limitar de acuerdo con las otras opciones. A menudo, en el análisis se restringe las gotas que se utilizarán de acuerdo con algunos criterios establecidos en la **configuración de archivo**.

Si selecciona la opción como se utiliza en la **configuración del archivo**, el gráfico se reflejan las mismas restricciones. Puede hacer clic en el botón **Configuración del archivo** para ver la configuración, y también para cambiar la configuración. Si usted hace cambios y guardar estos, entonces tenga cuidado, porque se utilizarán los nuevos ajustes también en el siguiente análisis. En **Configuración de archivos** también se puede seleccionar para compensar la desviación del centro con el **offset**, lo que influirá tanto en los gráficos de desviación, y los módulos de deformación superficial gráficos basados en las desviaciones del centro.

También se puede optar por ver sólo gotas, donde el **porcentaje de desplazamiento** es superior a un valor determinado. El porcentaje offset es $100 * \text{desplazamiento} / \text{center desviación}$.

- *La media y desviación*

Esta opción se puede utilizar con los gráficos incluyendo todas las ubicaciones se presentan deflexiones o módulos de desviación de la superficie. Esto para cada ubicación calcular el valor y la desviación estándar media y mostrar estos valores en el gráfico. Para la gráfica de desviación se debe utilizar en combinación con la normalización de las desviaciones.

12.2 Opciones de gráficos de retrocálculo

Para ingresar a los gráficos de retrocálculo seleccionamos el **archivo** → **Retrocálculo**, donde hay 4 tipos de gráficos que están disponibles para ver los resultados del análisis de las propiedades de la capa:

- Módulos elásticos
- No linealidad
- Comparar deflexiones
- RMS

Esta opción de menú se desactivará si no se han guardado los resultados para el archivo.

- **Módulos elásticos**

Esto le dará un gráfico de todos los puntos de prueba con una curva para cada capa que indica el módulo elástico calculado, ver figura N°27.

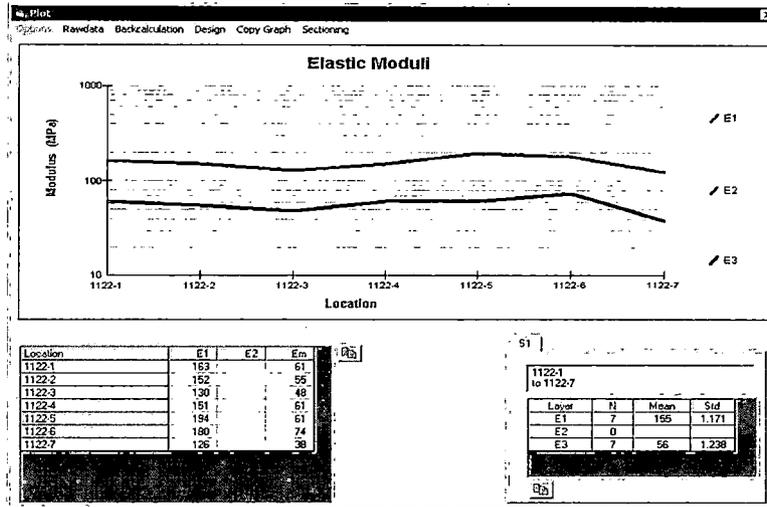


Figura N°27 Grafico del módulo de Elasticidad: Software LWDmod, 2011

En el ejemplo del gráfico muestra los resultados de un análisis de dos capas, donde la línea roja es para la sub-base y la línea azul está para la capa de arena.

- **No linealidad**

Ver figura N°28. Muestra las propiedades no lineales de la sub-base, en términos de los valores de C y n:

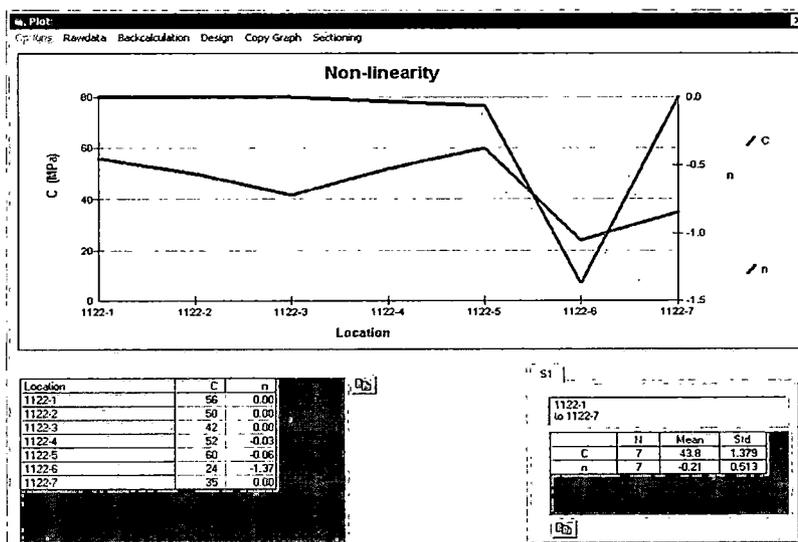


Figura N°28. Grafico de la No Linealidad: Software LWDmod, 2011

Un alto valor negativo para n, indica alta no linealidad.

- *Comparar deflexiones*

Este gráfico muestra las deflexiones medidos y calculados para las gotas que pertenecen a un solo lugar, donde las desviaciones han sido calculadas, ver figura N°29.

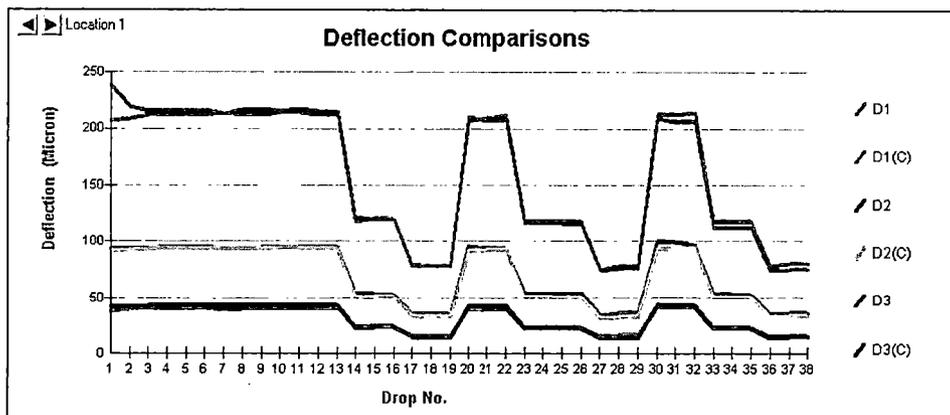


Figura N°29 Grafico de la Comparación de las deflexiones: Software LWDmod, 2011

Los botones en la esquina superior izquierda se utilizan para desplazarse por los lugares. Este ejemplo muestra las comparaciones de un archivo, donde se han utilizado 3 geófonos.

Seleccione **Opciones** para controlar el número de geófonos que se debe incluir en el gráfico.

- *RMS*

Este gráfico muestra la Root Mean Square valores del cálculo retrospectivo. Esto significa que para cada ubicación de los RMS total de las gotas utilizadas en el análisis, se basa en la diferencia absoluta entre la deflexión medida y calculada, o puede ser la diferencia relativa en porcentaje, como se muestra en el ejemplo siguiente.

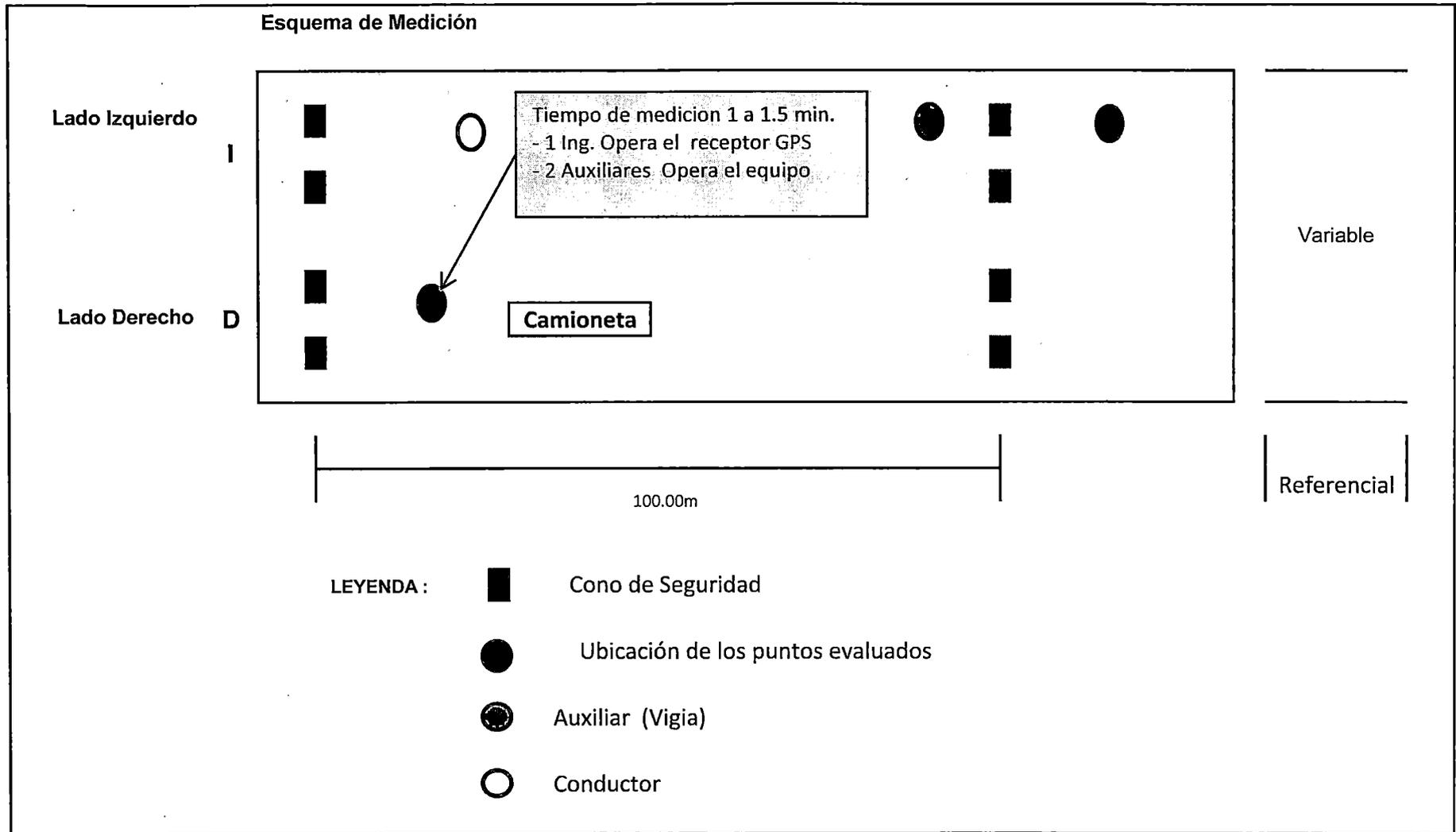
- *Copia de Gráficos*

Seleccione **La opción** → **Copiar** gráfico, que no da la posibilidad de enviar los gráficos a la impresora predeterminada o para copiarlo al portapapeles y después pegarlas en otras aplicaciones como Excel o Word.

ANEXO 4

ANEXO 5

ESQUEMA DE SEGURIDAD DE MEDICIÓN



ANEXO 6

FRENTE 2: YANAOCA – YAURI



Foto N° 1: Transporte y colocación de material.
Progresiva: 3+640 – 4+240



Foto N° 2: Extendido y Mezclado del Material.
Progresiva: 1+640 A KM.1+680



Foto N° 3: Conformación de material.
Progresiva: 1+640 A KM. 1+680

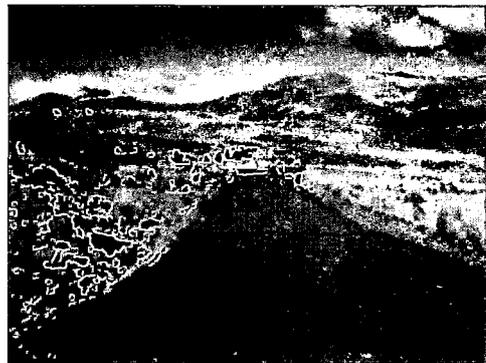


Foto N° 4: Extendido y Mezclado del Material.
Progresiva: 3+640 A KM. 4+240



Foto N° 5: Compactación de material conformado
Progresiva: 3+640 A KM. 4+240



Foto N° 6: Compactación de materia conformado.
Progresiva: 0+600 A KM. 1+040



Foto N° 7: Colocación de base granular (Después)
Progresiva: 0+000 A KM. 0+600



Foto N° 8: Colocación de base granular (Después)
Progresiva: 3+640 A KM. 4+240



Foto N° 9: Extendido y mezclado de material
Progresiva: 4+260 A KM. 5+660



Foto N° 10: Conformación de material.
Progresiva: 2+480 A KM. 2+855



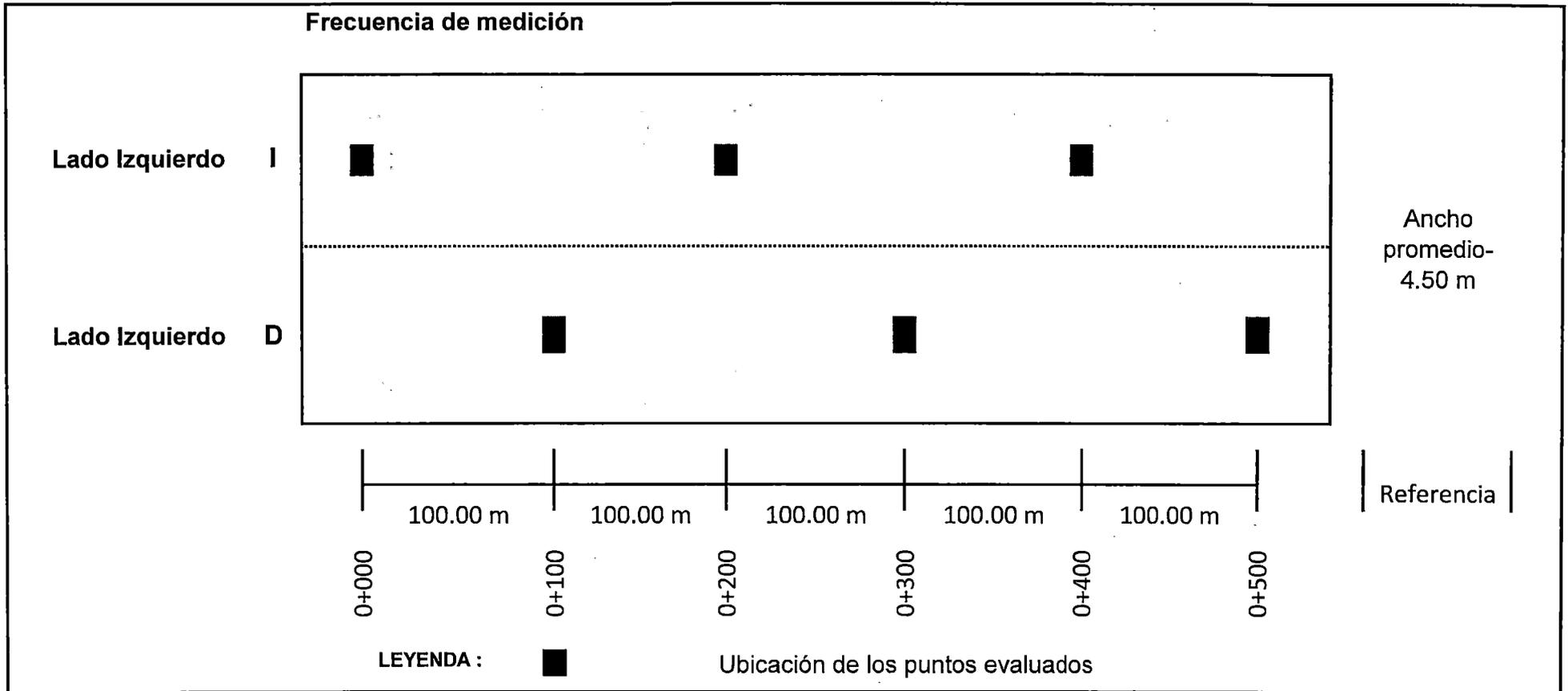
Foto N° 12: Compactación de material conformado.
Progresiva: 2+480 A KM. 2+855



Foto N° 13: Nivelación de Base Granular
Progresiva: 2+480 A KM. 2+855

ANEXO 7

LOCALIZACION Y FRECUENCIA DE MEDICIÓN

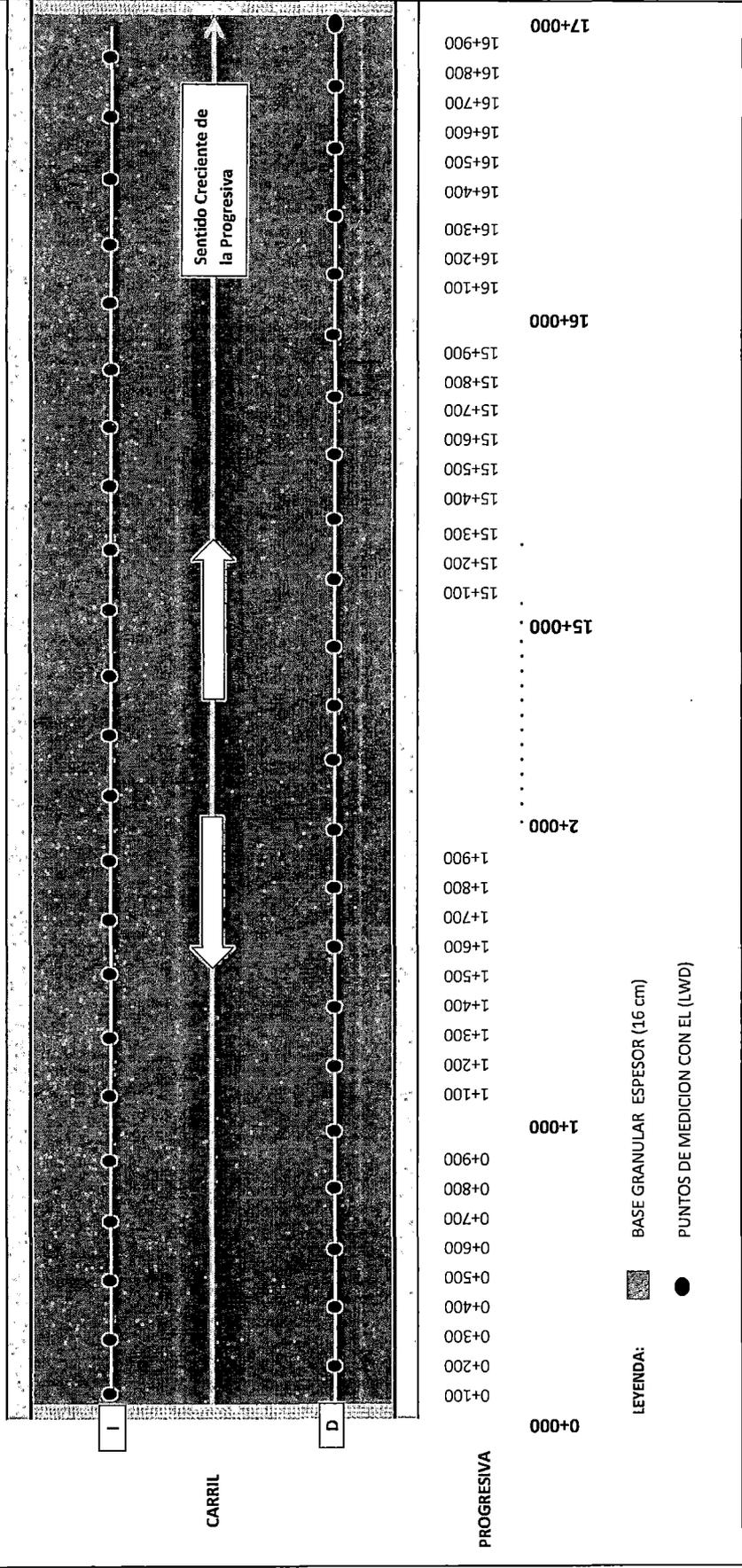


ANEXO 8



Ministerio de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural
GOBIERNO REGIONAL CUSCO
Avanzando el Cusco

PROYECTO RED VIAL 1 INTERVENCIONES DEL TRAMO EJECUTADO BASE GRANULAR SECTOR : YANAOCA - YAURI



ANEXO 9

Dynatest 3031 LWD

Data Report

Project: 0+000 al 17+000

Data File: RV1 T14 0+000 al 17+000

Point No.: 1

Location: D1 km 0+000 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	11:24:47	150	12.5	177	0	146	319	-13	0.847
4	11:24:51	150	12.6	178	0	146	321	-17	0.844
5	11:24:55	150	12.6	178	0	148	317	-18	0.860

Point No.: 2

Location: I1 km 0+100 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	11:28:11	150	12.5	177	0	185	252	-48	0.870
3	11:28:15	150	12.7	179	0	186	253	-50	0.859
4	11:28:19	150	12.6	178	0	186	252	-65	0.837

Point No.: 3

Location: D1 km 0+200 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	11:32:32	150	12.5	177	0	166	281	-49	0.941
4	11:32:35	150	12.4	176	0	164	283	-35	0.912
5	11:32:39	150	12.6	178	0	163	287	-21	0.890

Point No.: 4

Location: I2 km 0+300 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	11:35:53	150	12.7	180	0	200	237	-10	1.105
4	11:35:56	150	12.6	178	0	202	232	-19	1.106
5	11:35:59	150	12.7	179	0	203	232	-17	1.112

Point No.: 5

Location: D1 km 0+400 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	11:38:36	150	12.6	178	0	206	227	2	1.155
3	11:38:39	150	12.5	177	0	207	225	5	1.157
4	11:38:42	150	12.5	177	0	206	226	7	1.151

Point No.: 6

Location: I2 km 0+500 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	11:41:25	150	12.5	176	0	160	290	-9	0.997
4	11:41:28	150	12.6	178	0	163	287	3	1.051
5	11:41:32	150	12.6	178	0	161	291	-8	1.006

Point No.: 7

Location: D2 km 0+600 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	11:44:03	150	12.5	177	0	191	244	-1	1.145
4	11:44:06	150	12.5	177	0	190	245	-5	1.126
5	11:44:09	150	12.5	177	0	189	247	-11	1.095

Point No.: 8

Location: I1 km 0+700 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	11:47:03	150	12.6	178	0	208	225	-10	1.090
3	11:47:06	150	12.6	178	0	206	227	-17	1.062
4	11:47:09	150	12.6	178	0	205	229	-11	1.057

Point No.: 9

Location: D1 km 0+800 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	11:49:53	150	12.6	179	0	235	201	-8	1.182
3	11:49:57	150	12.5	177	0	233	200	-17	1.150
4	11:50:01	150	12.5	177	0	232	201	-20	1.137

Point No.: 10

Location: I1 km 0+900 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	11:52:46	150	12.6	178	0	200	234	0	1.095
3	11:52:49	150	12.6	178	0	201	233	2	1.099
4	11:52:53	150	12.5	176	0	199	233	7	1.078

Point No.: 11

Location: D1 km 1+000 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	11:55:36	150	12.5	177	0	230	203	-31	1.347
4	11:55:39	150	12.5	177	0	231	202	-35	1.341
5	11:55:43	150	12.5	177	0	238	196	-74	1.383

Point No.: 12

Location: I1 km 1+100 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	11:58:25	150	12.6	179	0	188	251	-2	0.978
3	11:58:29	150	12.7	179	0	187	252	-4	0.956
4	11:58:33	150	12.6	178	0	191	245	4	0.981

Point No.: 13

Location: D1 km 1+200 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	12:01:00	150	12.5	177	0	167	279	-26	0.835
3	12:01:04	150	12.6	178	0	166	282	-26	0.825
4	12:01:07	150	12.6	178	0	164	286	-42	0.786

Point No.: 14

Location: I1 km 1+300 h=300

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	12:03:57	150	12.6	179	0	205	230	-16	1.005
4	12:04:00	150	12.6	178	0	208	225	6	1.037
5	12:04:04	150	12.6	178	0	210	223	21	1.057

Point No.: 15

Location: D2 km 1+400 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	12:06:53	150	12.8	181	0	188	253	13	0.931
3	12:06:56	150	12.8	181	0	188	253	6	0.911
4	12:06:59	150	12.7	180	0	184	258	-11	0.856

Point No.: 16

Location: I1 km 1+500 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	12:09:20	150	12.7	180	0	123	385	66	0.649
3	12:09:24	150	12.7	179	0	121	389	48	0.608
4	12:09:43	150	12.5	177	0	128	364	78	0.715

Point No.: 17

Location: D2 km 1+600 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	12:12:09	150	12.3	173	0	224	203	-61	1.209
3	12:12:13	150	12.1	172	0	226	200	-700	1.251
4	12:12:16	150	12.1	172	0	222	204	-821	1.204

Point No.: 18

Location: I1 km 1+700 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	12:15:16	150	12.5	176	0	176	263	-7	0.899
4	12:15:20	150	12.5	177	0	175	266	-2	0.889
5	12:15:23	150	12.6	179	0	175	269	-5	0.885

Point No.: 19

Location: D1 km 1+800 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	12:19:39	150	12.2	172	0	282	161	-15	1.860
4	12:19:43	150	12.3	173	0	281	162	-34	1.808
5	12:19:47	150	12.2	172	0	279	162	-20	1.805

Point No.: 20

Location: I1 km 1+900 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	12:22:31	150	12.4	176	0	243	191	19	1.518
3	12:22:34	150	12.5	177	0	244	191	11	1.500
4	12:22:37	150	12.4	176	0	244	190	8	1.486

Point No.: 21

Location: D1 km 2+000 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	12:25:11	150	12.6	178	0	178	263	-37	0.916
3	12:25:14	150	12.6	178	0	176	266	-30	0.906
4	12:25:17	150	12.7	179	0	177	266	-42	0.897

Point No.: 22

Location: I1 km 2+100 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	12:32:06	150	12.4	175	0	205	225	-3	1.300
5	12:32:10	150	12.4	176	0	198	234	-24	1.207
6	12:32:14	150	12.5	177	0	192	243	-38	1.128

Point No.: 23

Location: D1 km 2+200 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	12:35:29	150	12.6	178	0	133	352	-6	0.680
3	12:35:32	150	12.6	179	0	137	344	-3	0.698
4	12:35:36	150	12.5	177	0	135	345	-23	0.656

Point No.: 24

Location: I1 km 2+300 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	12:38:02	150	12.5	177	0	180	259	-14	1.025
4	12:38:05	150	12.5	177	0	180	259	-7	1.033
5	12:38:09	150	12.5	177	0	181	257	-24	1.010

Point No.: 25

Location: D1 km 2+400 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	12:40:42	150	12.7	180	0	178	266	-19	0.991
4	12:40:46	150	12.8	181	0	173	275	-14	0.968
5	12:40:49	150	12.8	180	0	176	269	-51	0.976

Point No.: 26

Location: I1 km 2+500 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	12:43:21	150	12.3	174	0	193	237	-53	1.322
4	12:44:44	150	11.9	169	0	185	240	-16	1.238
5	12:44:53	150	12.1	172	0	185	245	-38	1.241

Point No.: 27

Location: D2 km 2+600 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	12:47:50	150	12.6	179	0	198	238	25	1.426
3	12:47:54	150	12.7	180	0	195	243	20	1.391
4	12:47:57	150	12.7	180	0	192	247	6	1.347

Point No.: 28

Location: I1 km 2+700 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	12:50:29	150	12.5	177	0	178	262	3	0.936
3	12:50:32	150	12.6	178	0	173	271	1	0.890
4	12:50:36	150	12.6	178	0	172	272	0	0.881

Point No.: 29

Location: D1 km 2+800 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	12:53:13	150	12.4	175	0	217	212	-14	1.233
3	12:53:16	150	12.4	176	0	215	215	-11	1.208
4	12:53:20	150	12.5	177	0	216	216	-8	1.220

Point No.: 30

Location: I2 km 2+900 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	12:55:52	150	12.6	178	0	178	263	-3	0.890
3	12:55:55	150	12.6	178	0	177	265	-8	0.871
4	12:55:59	150	12.5	177	0	175	266	-8	0.854

Point No.: 31

Location: D2 km 3+000 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	12:58:36	150	12.7	180	0	209	227	-15	1.198
3	12:58:40	150	12.7	180	0	208	228	-11	1.188
4	12:58:43	150	12.7	180	0	206	230	-12	1.172

Point No.: 32

Location: I1 km 3+100 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	14:23:16	150	12.7	179	0	173	272	-21	0.996
3	14:23:20	150	12.6	178	0	173	271	-31	0.990
4	14:23:23	150	12.6	178	0	173	271	-27	1.018

Point No.: 33

Location: D1 km 3+200 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	14:26:19	150	12.5	176	0	186	249	27	1.106
4	14:26:23	150	12.4	175	0	187	246	39	1.098
5	14:26:26	150	12.4	175	0	189	244	58	1.148

Point No.: 34

Location: I1 km 3+300 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	14:28:44	150	12.5	177	0	192	243	33	0.955
3	14:28:47	150	12.5	177	0	192	243	39	0.948
4	14:28:51	150	12.5	177	0	192	243	35	0.949

Point No.: 35

Location: D1 km 3+400 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	14:31:11	150	12.6	179	0	165	286	-5	0.795
3	14:31:14	150	12.7	180	0	164	289	-9	0.771
4	14:31:18	150	12.7	179	0	162	291	-15	0.745

Point No.: 36

Location: I1 km 3+500 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	14:33:25	150	12.5	176	0	193	240	-22	0.970
3	14:33:28	150	12.4	176	0	192	241	-25	0.955
4	14:33:31	150	12.5	177	0	191	244	-27	0.946

Point No.: 37

Location: D1 km 3+600 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	14:35:43	150	12.6	179	0	166	284	-38	0.830
3	14:35:46	150	12.7	180	0	164	289	-46	0.800
4	14:35:49	150	12.7	180	0	165	287	-33	0.805

Point No.: 38

Location: I1 km 3+700 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	14:37:58	150	12.6	179	0	158	298	15	0.698
3	14:38:01	150	12.7	179	0	156	302	-9	0.644
4	14:38:04	150	12.6	178	0	158	297	-7	0.665

Point No.: 39

Location: D2 km 3+800 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	14:40:26	150	12.6	178	0	156	300	-25	0.631
3	14:40:29	150	12.6	178	0	155	302	-17	0.616
4	14:40:33	150	12.7	180	0	152	312	-12	0.596

Point No.: 40

Location: I1 km 3+900 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	14:45:49	150	12.6	179	0	150	314	0	0.611
3	14:45:53	150	12.6	178	0	145	323	-17	0.548
4	14:45:57	150	12.8	180	0	147	322	-4	0.572

Point No.: 41

Location: D1 km 4+000 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	14:48:19	150	12.5	177	0	164	284	-8	0.749
3	14:48:22	150	12.5	176	0	165	281	-16	0.745
4	14:48:25	150	12.4	175	0	164	281	-20	0.727

Point No.: 42

Location: I1 km 4+100 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	14:52:03	150	12.5	177	0	162	288	-50	0.656
3	14:52:06	150	12.5	177	0	160	291	-66	0.622
4	14:52:09	150	12.6	178	0	162	289	-67	0.642

Point No.: 43

Location: D1 km 4+200 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	14:59:02	150	12.7	180	0	147	322	54	0.756
3	14:59:06	150	12.5	177	0	145	321	59	0.741
4	14:59:09	150	12.7	179	0	143	330	28	0.727

Point No.: 44

Location: I2 km 4+300 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	15:02:04	150	12.5	177	0	223	209	-22	1.147
3	15:02:07	150	12.7	179	0	221	213	-35	1.116
4	15:02:10	150	12.6	179	0	222	212	-50	1.120

Point No.: 45

Location: D1 km 4+400 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	15:04:31	150	12.5	178	0	168	279	-3	0.663
3	15:04:35	150	12.5	177	0	160	291	-4	0.613
4	15:04:39	150	12.6	179	0	159	296	-14	0.598

Point No.: 46

Location: I1 km 4+500 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	15:07:22	150	12.4	175	0	165	279	-49	0.711
5	15:07:25	150	12.3	175	0	169	273	-77	0.746
6	15:07:29	150	12.4	176	0	168	276	-128	0.740

Point No.: 47

Location: D2 km 4+600 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	15:10:29	150	12.5	176	0	191	243	2	0.885
3	15:10:32	150	12.6	179	0	189	249	-5	0.852
4	15:10:36	150	12.6	178	0	188	249	-6	0.835

Point No.: 48

Location: I1 km 4+700 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	15:13:19	150	12.4	175	0	240	192	-3	1.236
3	15:13:26	150	12.3	174	0	236	194	-11	1.198
4	15:13:29	150	12.4	175	0	234	197	-8	1.176

Point No.: 49

Location: D1 km 4+800 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	15:15:50	150	12.4	176	0	210	221	-3	0.978
3	15:15:54	150	12.4	175	0	206	224	-13	0.948
4	15:15:57	150	12.6	178	0	203	231	-29	0.913

Point No.: 50

Location: I1 km 4+900 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	15:18:25	150	12.3	174	0	294	156	39	1.421
3	15:18:28	150	12.4	175	0	291	158	60	1.396
4	15:18:32	150	12.2	173	0	288	158	11	1.352

Point No.: 51

Location: D1 km 5+000 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
1	15:23:50	150	12.4	176	0	218	193	4	0.983
2	15:23:54	150	12.5	177	0	214	198	-2	0.948
3	15:23:57	150	12.5	177	0	214	198	15	0.972

Point No.: 52

Location: I2 km 5+100 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	15:27:29	150	12.4	176	0	145	290	-15	0.546
4	15:27:33	150	12.6	178	0	144	296	-15	0.526
5	15:27:37	150	12.4	176	0	146	288	-12	0.549

Point No.: 53

Location: D1 km 5+200 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	15:29:51	150	12.4	176	0	173	243	-10	0.789
3	15:29:55	150	12.4	176	0	171	246	-18	0.758
4	15:29:58	150	12.4	176	0	170	248	-24	0.744

Point No.: 54

Location: I2 km 5+300 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
1	15:33:43	150	12.5	177	0	101	419	-16	0.272
2	15:33:46	150	12.6	178	0	99	430	-17	0.241
3	15:33:50	150	12.6	178	0	101	422	-24	0.265

Point No.: 55

Location: D1 km 5+400 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	15:37:20	150	12.4	175	0	179	234	5	0.800
3	15:37:24	150	12.6	178	0	175	243	3	0.761
4	15:37:27	150	12.4	176	0	175	241	16	0.773

Point No.: 56

Location: I2 km 5+500 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	15:40:27	150	12.5	177	0	239	177	-8	1.395
4	15:40:30	150	12.6	178	0	238	179	-11	1.374
5	15:40:34	150	12.5	177	0	237	179	-17	1.368

Point No.: 57

Location: D1 km 5+600 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	15:43:13	150	12.2	173	0	165	251	0	0.709
3	15:43:17	150	12.0	170	0	162	251	7	0.674
4	15:43:34	150	12.1	171	0	158	259	3	0.621

Point No.: 58

Location: I1 km 5+700 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	15:47:30	150	12.4	176	0	199	212	4	0.862
5	15:47:33	150	12.5	177	0	196	216	4	0.825
6	15:47:36	150	12.5	177	0	191	222	-2	0.786

Point No.: 59

Location: D1 km 5+800 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	15:52:02	150	12.6	178	0	147	290	2	0.613
3	15:52:05	150	12.5	177	0	144	294	-6	0.569
4	15:52:09	150	12.5	177	0	143	296	-7	0.561

Point No.: 60

Location: I1 km 5+900 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	15:54:51	150	12.3	173	0	200	207	1	0.838
4	15:54:55	150	12.3	173	0	197	210	5	0.817
5	15:54:58	150	12.3	174	0	195	213	3	0.811

Point No.: 61

Location: D1 km 6+000 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	15:58:06	150	12.2	172	0	184	224	8	0.705
3	15:58:09	150	12.2	173	0	180	230	0	0.669
4	15:58:12	150	12.3	173	0	178	233	-4	0.657

Point No.: 62

Location: I1 km 6+100 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	16:01:18	150	12.2	173	0	167	248	20	0.936
3	16:01:21	150	12.2	173	0	162	255	5	0.883
4	16:01:25	150	12.4	175	0	162	258	-1	0.874

Point No.: 63

Location: D2 km 6+200 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	16:05:17	150	12.5	176	0	182	231	-7	1.002
4	16:05:19	150	12.4	176	0	184	229	-6	1.001
5	16:05:25	150	12.4	176	0	182	231	-16	0.976

Point No.: 64

Location: I1 km 6+300 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	16:09:10	150	12.2	172	0	216	191	13	1.091
3	16:09:13	150	12.2	172	0	214	192	18	1.070
4	16:09:17	150	12.1	172	0	211	195	4	1.041

Point No.: 65

Location: D1 km 6+400 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
5	16:14:50	150	12.2	172	0	221	186	11	0.993
6	16:14:56	150	12.2	172	0	217	190	7	0.953
7	16:14:59	150	12.2	173	0	217	191	-2	0.955

Point No.: 66

Location: I1 km 6+500 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	16:18:19	150	12.5	177	0	207	205	-15	0.953
5	16:18:23	150	12.4	176	0	205	205	-17	0.940
6	16:18:26	150	12.4	176	0	205	205	-18	0.935

Point No.: 67

Location: D1 km 6+600 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	16:21:14	150	12.5	176	0	298	141	-9	1.650
5	16:21:17	150	12.5	176	0	296	142	-9	1.644
6	16:21:21	150	12.4	176	0	294	143	-12	1.618

Point No.: 68

Location: I1 km 6+700 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	16:24:00	150	12.2	173	0	199	208	-48	0.912
3	16:24:04	150	12.2	173	0	196	211	-67	0.894
4	16:24:25	150	12.3	173	0	198	209	1	0.954

Point No.: 69

Location: D2 km 6+800 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	16:27:25	150	12.4	175	0	167	251	80	0.998
3	16:27:29	150	12.4	175	0	164	255	23	0.949
4	16:27:32	150	12.4	175	0	163	257	60	0.946

Point No.: 70

Location: I1 km 6+900 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	16:30:16	150	12.4	175	0	231	181	5	1.129
3	16:30:19	150	12.3	174	0	229	182	4	1.110
4	16:30:22	150	12.4	175	0	227	184	3	1.103

Point No.: 71

Location: D1 km 7+000 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	16:33:25	150	12.3	174	0	201	207	-32	0.746
4	16:33:28	150	12.4	175	0	199	210	-21	0.735
5	16:33:31	150	12.4	175	0	195	215	-23	0.714

Point No.: 72

Location: I1 km 7+100 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	16:36:15	150	12.3	174	0	235	177	5	1.303
3	16:36:19	150	12.3	174	0	234	178	4	1.286
4	16:36:22	150	12.3	174	0	234	178	5	1.290

Point No.: 73

Location: D2 km 7+200 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	16:40:38	150	12.4	175	0	183	229	1	0.757
4	16:40:41	150	12.3	174	0	182	229	5	0.738
5	16:40:45	150	12.3	175	0	179	234	6	0.708

Point No.: 74

Location: I1 km 7+300 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	16:43:36	150	12.3	174	0	179	233	14	0.735
5	16:43:39	150	12.3	174	0	177	235	9	0.709
6	16:43:42	150	12.3	174	0	176	237	8	0.697

Point No.: 75

Location: D1 km 7+400 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	16:47:21	150	12.6	178	0	166	257	-7	0.854
3	16:47:24	150	12.6	178	0	163	261	-12	0.809
4	16:47:28	150	12.6	178	0	163	261	-8	0.809

Point No.: 76

Location: I1 km 7+500 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	16:51:07	150	12.5	176	0	181	233	-8	0.868
4	16:51:10	150	12.5	176	0	176	239	-7	0.827
5	16:51:13	150	12.5	176	0	179	235	1	0.856

Point No.: 77

Location: D1 km 7+600 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	16:53:41	150	12.5	177	0	221	192	2	1.270
4	16:53:44	150	12.5	177	0	223	190	3	1.291
5	16:53:47	150	12.4	176	0	221	191	1	1.270

Point No.: 78

Location: I1 km 7+700 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	16:56:41	150	12.4	175	0	212	197	-14	0.952
4	16:56:45	150	12.4	175	0	211	198	-13	0.938
5	16:56:48	150	12.4	175	0	211	198	-17	0.925

Point No.: 79

Location: D1 km 7+800 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	17:00:28	150	12.6	178	0	281	152	-4	1.437
5	17:00:32	150	12.6	178	0	277	154	1	1.411
6	17:00:35	150	12.6	178	0	278	153	1	1.403

Point No.: 80

Location: I1 km 7+900 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	17:04:02	150	12.3	175	0	140	299	-2	0.619
5	17:04:05	150	12.3	174	0	141	295	1	0.613
6	17:04:09	150	12.4	175	0	141	297	2	0.613

Point No.: 81

Location: D2 km 8+000 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	17:08:18	150	12.4	176	0	190	222	11	0.807
3	17:08:21	150	12.4	176	0	189	223	11	0.791
4	17:08:24	150	12.4	175	0	189	222	7	0.787

Point No.: 82

Location: I1 km 8+100 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	07:57:55	150	12.5	177	0	190	223	-2	1.079
4	07:57:58	150	12.5	177	0	190	223	-3	1.076
5	07:58:01	150	12.5	177	0	188	225	-6	1.064

Point No.: 83

Location: D2 km 8+200 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	08:01:18	150	12.4	176	0	273	154	-46	1.639
4	08:01:22	150	12.5	176	0	271	155	-51	1.613
5	08:01:25	150	12.5	176	0	269	157	-50	1.594

Point No.: 84

Location: I1 km 8+300 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
1	08:05:21	150	12.7	180	0	128	336	1	0.562
2	08:05:24	150	12.7	180	0	128	336	18	0.653
3	08:05:27	150	12.8	181	0	129	336	12	0.567

Point No.: 85

Location: D1 km 8+400 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	08:08:32	150	12.6	178	0	129	330	-6	0.685
3	08:08:35	150	12.6	178	0	127	335	-6	0.667
4	08:08:39	150	12.6	178	0	127	335	-6	0.659

Point No.: 86

Location: I1 km 8+500 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	08:11:18	150	12.6	179	0	162	264	4	0.675
4	08:11:21	150	12.7	179	0	159	269	6	0.654
5	08:11:24	150	12.6	179	0	157	273	9	0.633

Point No.: 87

Location: D1 km 8+600 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	08:14:02	150	12.5	176	0	310	136	2	1.988
4	08:14:06	150	12.5	177	0	310	137	-3	1.972
5	08:14:09	150	12.5	177	0	310	137	-17	1.977

Point No.: 88

Location: I1 km 8+700 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	08:16:57	150	12.7	180	0	189	228	6	0.902
3	08:17:00	150	12.7	180	0	187	230	2	0.888
4	08:17:03	150	12.7	180	0	184	234	1	0.852

Point No.: 89

Location: D2 km 8+800 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	08:19:32	150	12.5	176	0	214	197	-14	1.155
3	08:19:35	150	12.5	176	0	210	201	-20	1.112
4	08:19:38	150	12.5	176	0	207	203	-23	1.070

Point No.: 90

Location: I1 km 8+900 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	08:22:31	150	12.6	179	0	236	181	-21	1.391
5	08:22:34	150	12.6	179	0	237	181	-24	1.387
6	08:22:37	150	12.6	179	0	236	181	-21	1.391

Point No.: 91

Location: D1 km 9+000 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	08:26:53	150	12.7	180	0	226	191	-16	1.471
4	08:26:56	150	12.7	179	0	224	191	-21	1.449
5	08:26:59	150	12.7	179	0	221	194	-17	1.424

Point No.: 92

Location: I1 km 9+100 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	08:29:43	150	12.6	178	0	278	153	-23	1.714
4	08:29:47	150	12.6	179	0	276	155	-25	1.670
5	08:29:50	150	12.6	179	0	276	155	-29	1.673

Point No.: 93

Location: D1 km 9+200 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	08:32:38	150	12.8	181	0	198	219	-20	1.003
3	08:32:41	150	12.8	181	0	196	221	-25	0.968
4	08:32:44	150	12.7	180	0	195	221	-15	0.970

Point No.: 94

Location: I1 km 9+300 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	08:35:14	150	12.7	180	0	211	204	-12	1.097
3	08:35:17	150	12.7	180	0	210	205	-14	1.076
4	08:35:20	150	12.7	180	0	211	204	-8	1.083

Point No.: 95

Location: D1 km 9+400 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	08:37:55	150	12.7	180	0	254	170	6	1.500
4	08:37:58	150	12.7	180	0	253	170	0	1.484
5	08:38:02	150	12.7	180	0	252	171	-3	1.485

Point No.: 96

Location: I1 km 9+500 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	08:41:13	150	12.6	178	0	275	155	-27	1.620
4	08:41:16	150	12.5	177	0	275	154	-28	1.605
5	08:41:20	150	12.6	178	0	275	155	-22	1.625

Point No.: 97

Location: D1 km 9+600 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	08:43:55	150	12.7	180	0	351	123	-11	1.950
4	08:43:59	150	12.6	179	0	353	121	-15	1.947
5	08:44:02	150	12.6	179	0	351	122	-14	1.926

Point No.: 98

Location: I1 km 9+700 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	08:46:29	150	12.6	178	0	217	196	-41	1.419
4	08:46:32	150	12.5	177	0	219	193	-48	1.411
5	08:46:36	150	12.5	177	0	214	198	-41	1.395

Point No.: 99

Location: D1 km 9+800 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	08:48:52	150	12.9	182	0	190	229	4	0.683
4	08:48:55	150	12.9	182	0	191	228	3	0.677
5	08:48:59	150	12.9	182	0	187	233	2	0.644

Point No.: 100

Location: I1 km 9+900 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	08:52:30	150	12.4	175	0	134	312	26	0.646
3	08:52:33	150	12.4	176	0	132	319	1	0.612
4	08:52:36	150	12.4	176	0	129	326	5	0.539

Point No.: 101**Location: D1 km 10+000 h=33**

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	08:55:49	150	12.8	181	0	186	233	-1	0.806
4	08:55:53	150	12.8	181	0	189	229	3	0.819
5	08:55:56	150	12.8	182	0	186	234	0	0.799

Point No.: 102**Location: I1 km 10+100 h=33**

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	08:58:55	150	12.6	178	0	215	198	-6	1.011
3	08:58:58	150	12.6	178	0	212	201	-16	0.991
4	08:59:01	150	12.6	178	0	211	202	0	0.987

Point No.: 103**Location: D1 km 10+200 h=33**

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	09:00:30	150	12.5	177	0	295	144	-1	1.633
4	09:00:33	150	12.4	175	0	293	143	7	1.610
5	09:00:37	150	12.4	176	0	289	146	-10	1.570

Point No.: 104**Location: I1 km 10+300 h=33**

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	09:03:42	150	12.8	182	0	209	208	-3	0.722
4	09:03:45	150	12.8	181	0	205	211	-5	0.701
5	09:03:48	150	12.9	182	0	204	213	-4	0.689

Point No.: 105**Location: D1 km 10+400 h=33**

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	09:06:17	150	12.8	181	0	188	230	-4	0.656
3	09:06:20	150	12.8	181	0	187	232	-8	0.626
4	09:06:24	150	12.8	181	0	188	230	-2	0.631

Point No.: 106

Location: I1 km 10+500 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	09:09:43	150	12.7	180	0	249	173	-1	1.028
5	09:09:46	150	12.7	180	0	247	174	-6	0.989
6	09:09:49	150	12.7	180	0	244	176	-1	0.983

Point No.: 107

Location: D1 km 10+600 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	09:12:29	150	12.9	182	0	217	201	-2	0.731
5	09:12:32	150	12.9	182	0	211	206	-8	0.686
6	09:12:40	150	12.9	182	0	215	203	-8	0.703

Point No.: 108

Location: I1 km 10+700 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	09:15:29	150	12.3	173	0	409	101	-43	2.034
5	09:15:33	150	12.3	174	0	406	103	-21	2.032
6	09:15:36	150	12.3	174	0	400	104	-16	2.023

Point No.: 109

Location: D1 km 10+800 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	09:18:19	150	12.7	180	0	253	170	10	1.253
4	09:18:22	150	12.6	178	0	249	171	-1	1.199
5	09:18:30	150	12.7	179	0	249	172	-12	1.217

Point No.: 110

Location: I1 km 10+900 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	09:21:49	150	12.7	180	0	204	211	-14	0.906
5	09:21:52	150	12.7	180	0	205	210	-17	0.903
6	09:21:56	150	12.7	180	0	202	213	-12	0.892

Point No.: 111

Location: D1 km 11+000 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	09:24:19	150	12.8	181	0	268	162	-7	1.103
5	09:24:23	150	12.8	181	0	268	162	-4	1.094
6	09:24:26	150	12.8	181	0	266	163	-4	1.076

Point No.: 112

Location: I1 km 11+100 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	09:27:06	150	12.9	182	0	227	192	-3	0.947
4	09:27:09	150	12.8	181	0	225	192	-8	0.920
5	09:27:12	150	12.8	181	0	223	194	-8	0.914

Point No.: 113

Location: D1 km 11+200 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	09:29:53	150	12.7	179	0	230	186	-6	0.934
4	09:29:56	150	12.7	180	0	226	191	-9	0.903
5	09:29:59	150	12.7	180	0	226	191	-12	0.885

Point No.: 114

Location: I1 km 11+300 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	09:33:14	150	12.5	177	0	193	219	-22	0.931
4	09:33:17	150	12.5	177	0	192	221	-30	0.884
5	09:33:20	150	12.6	178	0	191	223	-19	0.876

Point No.: 115

Location: D2 km 11+400 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	09:37:52	150	12.6	179	0	289	148	-16	1.475
5	09:37:55	150	12.7	179	0	285	150	-18	1.437
6	09:37:58	150	12.7	179	0	285	150	-17	1.431

Point No.: 116

Location: I1 km 11+500 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	09:43:57	150	12.6	178	0	216	197	-20	1.047
5	09:44:00	150	12.6	179	0	216	198	-23	1.041
6	09:44:03	150	12.7	179	0	214	200	-24	1.037

Point No.: 117

Location: I1 km 11+600 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	09:47:21	150	12.7	180	0	181	238	-8	0.777
4	09:47:24	150	12.7	180	0	179	241	-6	0.765
5	09:47:27	150	12.8	180	0	177	243	-9	0.744

Point No.: 118

Location: I2 km 11+700 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	09:52:21	150	12.8	181	0	178	243	-3	0.712
4	09:52:24	150	12.7	180	0	181	238	-4	0.688
5	09:52:27	150	12.8	180	0	178	242	-3	0.695

Point No.: 119

Location: D1 km 11+800 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	09:58:56	150	12.7	180	0	184	234	-8	0.677
3	09:58:59	150	12.7	180	0	185	233	-5	0.684
4	09:59:02	150	12.7	180	0	181	238	-7	0.658

Point No.: 120

Location: I1 km 11+900 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	10:01:48	150	12.3	174	0	373	112	-20	2.484
4	10:01:52	150	12.4	176	0	373	113	-13	2.448
5	10:01:55	150	12.4	175	0	371	113	-19	2.441

Point No.: 121

Location: I1 km 12+000 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	10:13:38	150	12.7	180	0	240	179	-9	1.169
4	10:13:41	150	12.7	180	0	236	182	-7	1.131
5	10:13:44	150	12.7	179	0	235	182	-9	1.125

Point No.: 122

Location: I1 km 12+100 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	10:18:48	150	12.5	177	0	332	128	1	1.816
5	10:18:51	150	12.5	177	0	328	129	-4	1.770
6	10:18:54	150	12.5	177	0	324	131	-9	1.731

Point No.: 123

Location: D1 km 12+200 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	10:29:09	150	12.6	178	0	221	193	-16	0.947
4	10:29:12	150	12.6	178	0	221	193	-13	0.934
5	10:29:15	150	12.6	178	0	217	196	-15	0.924

Point No.: 124

Location: I1 km 12+300 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	10:34:57	150	12.5	177	0	308	137	-3	1.523
5	10:35:00	150	12.5	177	0	302	140	-6	1.464
6	10:35:03	150	12.5	177	0	303	140	-6	1.472

Point No.: 125

Location: D1 km 12+400 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	10:37:48	150	12.7	180	0	265	163	-5	1.297
5	10:37:51	150	12.7	180	0	263	164	-7	1.269
6	10:37:54	150	12.8	180	0	264	163	-8	1.270

Point No.: 126

Location: I1 km 12+500 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	12:34:01	150	12.3	174	0	206	202	-8	1.057
3	12:34:04	150	12.4	176	0	206	204	-13	1.028
4	12:34:07	150	12.3	174	0	213	195	0	1.118

Point No.: 127

Location: D1 km 12+600 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	12:36:26	150	12.4	175	0	251	167	-9	1.192
5	12:36:29	150	12.3	175	0	250	167	-7	1.181
6	12:36:32	150	12.4	175	0	246	170	-7	1.150

Point No.: 128

Location: I1 km 12+700 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	12:39:09	150	12.4	175	0	225	186	-19	0.993
5	12:39:13	150	12.4	175	0	223	188	-31	0.970
6	12:39:16	150	12.4	175	0	223	188	-23	0.981

Point No.: 129

Location: D2 km 12+800 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	12:42:00	150	12.4	176	0	326	129	4	1.599
5	12:42:03	150	12.4	176	0	324	130	0	1.586
6	12:42:07	150	12.4	176	0	323	130	-3	1.561

Point No.: 130

Location: I1 km 12+900 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	12:44:41	150	12.1	172	0	293	140	-15	1.358
5	12:44:44	150	12.2	172	0	289	142	-12	1.321
6	12:44:50	150	12.2	172	0	292	141	-14	1.338

Point No.: 131

Location: D1 km 13+000 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	08:19:09	150	12.8	181	0	313	138	-7	1.474
5	08:19:12	150	12.8	181	0	312	139	-7	1.467
6	08:19:15	150	12.8	181	0	312	139	-9	1.453

Point No.: 132

Location: I1 km 13+100 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	08:26:29	150	12.8	180	0	145	297	-6	0.708
5	08:26:32	150	12.8	181	0	145	299	-5	0.714
6	08:26:35	150	12.8	182	0	146	298	-4	0.711

Point No.: 133

Location: D1 km 13+200 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	08:29:23	150	12.8	181	0	197	220	-5	0.659
5	08:29:26	150	12.9	182	0	197	221	-6	0.648
6	08:29:29	150	12.8	182	0	194	224	-7	0.634

Point No.: 134

Location: I1 km 13+300 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	08:32:02	150	12.9	183	0	159	275	-4	0.452
5	08:32:05	150	12.7	180	0	159	271	-2	0.451
6	08:32:09	150	12.7	180	0	159	271	2	0.457

Point No.: 135

Location: D1 km 13+400 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	08:37:18	150	12.8	181	0	236	183	-14	0.942
5	08:37:20	150	12.8	181	0	236	183	-17	0.935
6	08:37:24	150	12.8	181	0	235	184	-19	0.921

Point No.: 136

Location: I1 km 13+500 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	08:39:57	150	12.8	181	0	252	172	-1	1.240
4	08:40:00	150	12.8	181	0	248	175	-6	1.210
5	08:40:03	150	12.8	181	0	248	175	-5	1.208

Point No.: 137

Location: D1 km 13+600 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	08:42:38	150	12.8	181	0	273	159	-8	1.368
5	08:42:41	150	12.8	182	0	274	159	-7	1.364
6	08:42:44	150	12.8	181	0	275	157	-1	1.355

Point No.: 138

Location: I1 km 13+700 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	08:45:01	150	12.9	183	0	222	197	-11	1.011
4	08:45:05	150	12.9	183	0	221	198	-14	0.980
5	08:45:08	150	12.9	182	0	221	197	-12	0.974

Point No.: 139

Location: D1 km 13+800 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	08:47:38	150	12.6	179	0	214	200	44	0.844
5	08:47:43	150	12.7	179	0	215	199	55	0.858
6	08:47:47	150	12.5	177	0	217	195	52	0.872

Point No.: 140

Location: I1 km 13+900 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	08:50:14	150	12.9	182	0	235	185	-9	0.885
3	08:50:17	150	12.9	182	0	233	187	-11	0.860
4	08:50:20	150	12.9	183	0	230	190	-15	0.835

Point No.: 141

Location: D2 km 14+000 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	08:55:16	150	12.7	179	0	214	200	3	0.892
4	08:55:19	150	12.7	180	0	209	206	4	0.872
5	08:55:22	150	12.7	179	0	208	206	-7	0.838

Point No.: 142

Location: I1 km 14+100 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	08:58:12	150	12.8	181	0	145	299	-1	0.386
3	08:58:15	150	12.7	180	0	144	299	-3	0.368
4	08:58:19	150	12.8	181	0	142	305	-2	0.340

Point No.: 143

Location: D1 km 14+200 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	09:00:47	150	12.7	180	0	153	281	-3	0.472
3	09:00:50	150	12.8	181	0	151	287	-3	0.438
4	09:00:54	150	12.7	180	0	149	289	-4	0.424

Point No.: 144

Location: I1 km 14+300 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	09:08:33	150	12.6	179	0	269	159	-11	1.438
3	09:08:38	150	12.6	179	0	268	160	-12	1.425
4	09:08:41	150	12.7	179	0	265	162	-15	1.392

Point No.: 145

Location: D1 km 14+400 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	09:11:15	150	12.7	179	0	268	160	-6	1.119
5	09:11:19	150	12.6	179	0	267	160	-5	1.111
6	09:11:22	150	12.7	179	0	266	161	-5	1.104

Point No.: 146

Location: I1 km 14+500 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	09:14:11	150	12.6	178	0	244	175	-2	0.934
3	09:14:14	150	12.6	179	0	243	176	-2	0.910
4	09:14:17	150	12.7	179	0	241	178	-8	0.874

Point No.: 147

Location: D1 km 14+600 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	09:16:50	150	12.6	178	0	335	127	-11	1.890
3	09:16:54	150	12.5	177	0	334	127	-14	1.849
4	09:16:57	150	12.5	177	0	335	126	-12	1.853

Point No.: 148

Location: I1 km 14+700 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	09:19:31	150	12.6	178	0	230	185	6	0.965
3	09:19:34	150	12.6	178	0	228	187	-1	0.941
4	09:19:38	150	12.6	178	0	224	190	-4	0.882

Point No.: 149

Location: D1 km 14+800 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	09:23:08	150	12.7	179	0	363	118	1	1.538
5	09:23:12	150	12.7	180	0	361	119	-1	1.515
6	09:23:16	150	12.7	179	0	360	119	-6	1.504

Point No.: 150

Location: I1 km 14+900 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	09:26:02	150	12.7	180	0	239	180	-3	0.969
3	09:26:10	150	12.6	179	0	233	184	-6	0.935
4	09:26:13	150	12.7	179	0	232	185	-6	0.909

Point No.: 151

Location: D1 km 15+000 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	09:29:24	150	12.7	180	0	349	123	5	1.535
4	09:29:27	150	12.8	180	0	346	124	0	1.490
5	09:29:30	150	12.7	180	0	345	125	2	1.486

Point No.: 152

Location: I1 km 15+100 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	09:31:58	150	12.7	179	0	194	221	1	0.822
3	09:32:01	150	12.6	179	0	193	222	8	0.808
4	09:32:04	150	12.7	179	0	191	224	0	0.791

Point No.: 153

Location: D1 km 15+200 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	09:34:29	150	12.7	180	0	305	141	4	1.353
3	09:34:33	150	12.7	180	0	305	141	1	1.337
4	09:34:37	150	12.7	180	0	297	145	1	1.282

Point No.: 154

Location: I1 km 15+300 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	09:37:28	150	12.7	180	0	235	183	-1	1.164
4	09:37:32	150	12.7	180	0	232	186	-5	1.139
5	09:37:36	150	12.7	180	0	232	186	-2	1.133

Point No.: 155

Location: D1 km 15+400 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
1	09:39:50	150	12.6	178	0	225	189	35	1.522
3	09:39:58	150	12.6	178	0	215	198	-11	1.292
4	09:40:02	150	12.6	179	0	208	206	-21	1.223

Point No.: 156

Location: I1 km 15+500 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	09:42:19	150	12.7	180	0	247	174	-1	1.182
4	09:42:22	150	12.7	180	0	246	175	-3	1.168
5	09:42:25	150	12.7	180	0	245	176	-2	1.151

Point No.: 157

Location: D1 km 15+600 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	09:44:40	150	12.7	179	0	269	159	-4	1.282
4	09:44:44	150	12.7	179	0	266	161	-7	1.258
5	09:44:48	150	12.7	179	0	265	162	-12	1.238

Point No.: 158

Location: I1 km 15+700 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	09:51:59	150	12.7	179	0	209	205	-2	0.830
5	09:52:03	150	12.6	179	0	208	206	-2	0.828
6	09:52:07	150	12.6	179	0	208	206	-1	0.819

Point No.: 159

Location: D1 km 15+800 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	09:55:51	150	12.5	177	0	209	203	-1	1.089
5	09:55:55	150	12.6	178	0	208	205	3	1.084
6	09:55:59	150	12.5	177	0	207	205	9	1.077

Point No.: 160

Location: I1 km 15+900 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	10:00:52	150	12.7	180	0	201	214	-8	1.035
5	10:00:56	150	12.7	179	0	199	215	-7	1.016
6	10:00:59	150	12.7	179	0	199	215	-6	1.013

Point No.: 161

Location: D1 km 16+000 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	10:04:18	150	12.6	179	0	200	214	40	1.275
5	10:04:22	150	12.7	179	0	199	215	26	1.245
6	10:04:25	150	12.7	180	0	197	219	16	1.213

Point No.: 162

Location: I1 km 16+100 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	10:07:28	150	12.6	178	0	295	144	-5	1.370
4	10:07:31	150	12.6	178	0	294	145	-6	1.341
5	10:07:35	150	12.5	177	0	295	144	-6	1.339

Point No.: 163

Location: D1 km 16+200 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	10:10:29	150	12.6	179	0	202	212	-5	0.983
4	10:10:33	150	12.6	179	0	201	213	-5	0.972
5	10:10:36	150	12.6	179	0	201	213	-8	0.960

Point No.: 164

Location: I1 km 16+300 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	10:13:04	150	12.7	179	0	272	157	0	1.735
4	10:13:08	150	12.6	179	0	271	158	0	1.726
5	10:13:11	150	12.7	179	0	269	159	0	1.699

Point No.: 165

Location: D1 km 16+400 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	10:15:45	150	12.7	180	0	178	242	-10	0.813
5	10:15:48	150	12.7	179	0	176	243	-13	0.780
6	10:15:52	150	12.7	179	0	176	243	-16	0.769

Point No.: 166

Location: I1 km 16+500 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	10:18:19	150	12.7	179	0	205	209	29	1.059
4	10:18:23	150	12.8	181	0	206	210	34	1.056
5	10:18:26	150	12.8	180	0	203	212	12	1.021

Point No.: 167

Location: I1 km 16+600 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	10:20:57	150	12.5	177	0	232	183	-15	1.188
4	10:21:00	150	12.5	177	0	231	183	-19	1.169
5	10:21:04	150	12.5	177	0	230	184	-18	1.157

Point No.: 168

Location: I2 km 16+700 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	10:23:32	150	12.6	178	0	237	180	-20	1.168
5	10:23:36	150	12.6	178	0	238	179	-35	1.163
6	10:23:40	150	12.6	178	0	243	175	-27	1.188

Point No.: 169

Location: D1 km 16+800 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
4	10:26:17	150	12.7	179	0	279	153	-1	1.263
5	10:26:21	150	12.6	178	0	279	153	0	1.207
6	10:26:25	150	12.7	179	0	277	155	-2	1.192

Point No.: 170

Location: I2 km 16+900 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
2	10:29:14	150	12.7	180	0	215	200	-6	0.733
3	10:29:17	150	12.7	180	0	214	201	-7	0.707
4	10:29:21	150	12.7	180	0	214	201	-4	0.706

Point No.: 171

Location: 11 km 17+000 h=33

Latitude: Longitude: Height:

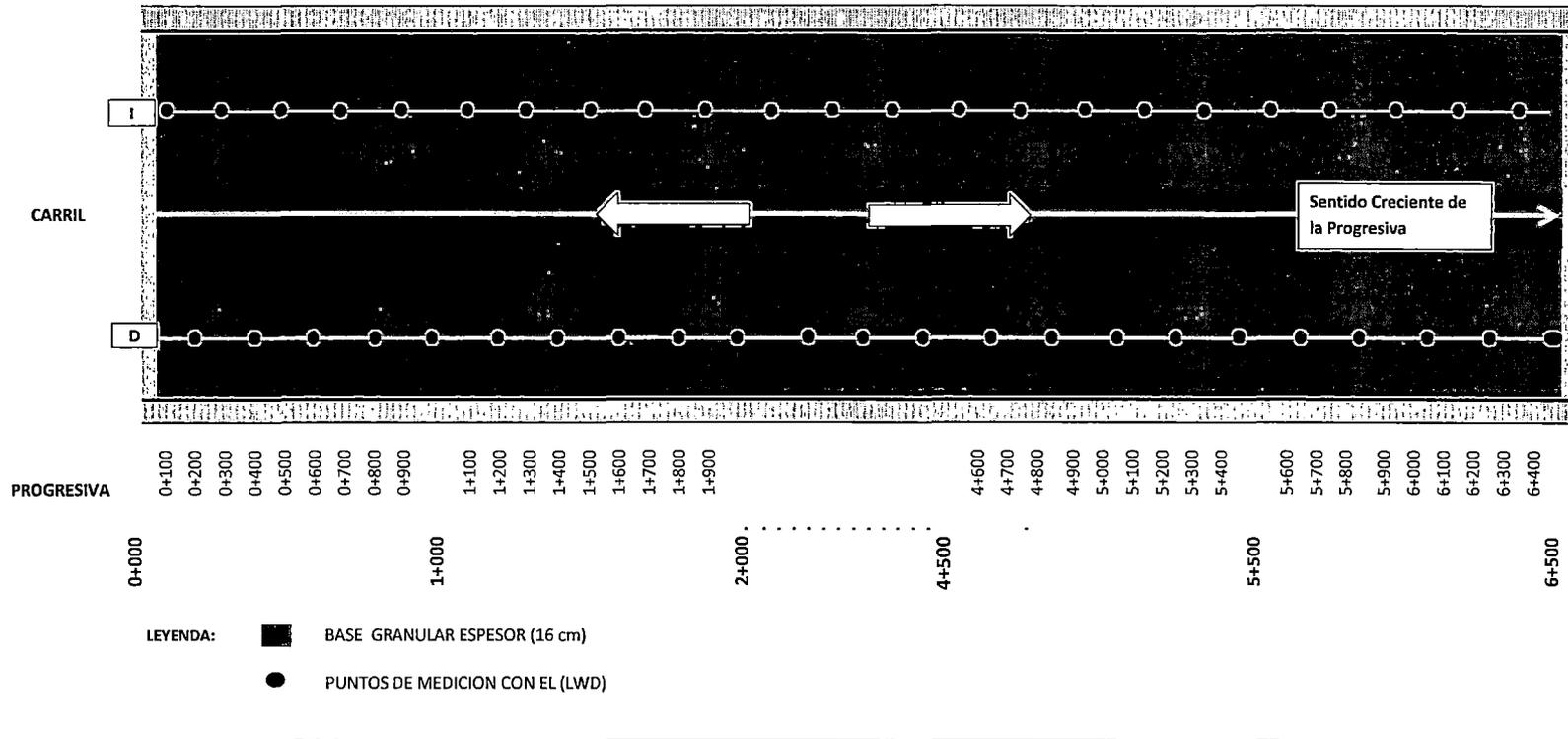
Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Def. 1	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	Micron	MPa	Micron	Joule
3	10:31:58	150	12.5	177	0	191	222	6	0.799
4	10:32:01	150	12.6	178	0	189	225	3	0.774
5	10:32:05	150	12.6	178	0	186	229	-1	0.743

ANEXO 10



"Año de la Integración Nacional y el Desarrollo de Nuestra Democracia"
GOBIERNO REGIONAL CUSCO
Literales al Centro

PROYECTO RED VIAL 1
INTERVENCIONES DEL TRAMO EJECUTADO BASE GRANULAR
SECTOR : DV YANAOCA - YANAOCA



ANEXO 11

Dynatest 3031 LWD

Data Report

Project: T3-1

Data File: Dv Yanaoca - Yanaoca

Point No.: 1

Location: I km 0+000 h=33

Drop Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
	mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
4 08:48:30	150	12.6	178	0	300	600	338	124	60	139	8	2.049
5 08:48:34	150	12.6	178	0	300	600	334	124	60	140	9	2.016
6 08:48:37	150	12.6	178	0	300	600	328	125	60	143	3	1.965

Point No.: 2

Location: D km 0+100 h=33

Drop Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
	mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
4 08:56:53	150	12.9	182	0	300	600	226	90	32	211	3	1.142
5 08:56:56	150	12.9	182	0	300	600	229	91	32	210	5	1.160
6 08:56:59	150	12.9	183	0	300	600	229	91	32	210	6	1.166

Point No.: 3

Location: I km 0+200 h=33

Drop Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
	mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
4 09:00:23	150	12.9	182	0	300	600	131	55	25	367	2	0.505
5 09:00:26	150	12.9	183	0	300	600	132	55	25	366	1	0.496
6 09:00:29	150	12.9	183	0	300	600	132	55	25	363	4	0.532

Point No.: 4

Location: D km 0+300 h=33

Drop Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
	mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
4 09:03:31	150	12.8	181	0	300	600	148	65	35	321	7	0.765
5 09:03:35	150	12.9	182	0	300	600	147	65	35	326	7	0.763
6 09:03:38	150	12.8	181	0	300	600	147	65	35	324	6	0.762

Point No.: 5

Location: I km 0+400 h=33

Drop Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
	mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	Mpa	Micron	Joule
5 09:06:47	150	12.8	182	0	300	600	165	71	43	290	12	1.080
6 09:06:51	150	12.9	183	0	300	600	165	71	43	291	14	1.081
7 09:06:54	150	12.9	183	0	300	600	166	71	43	291	15	1.087

Point No.: 6

Location: D km 0+500 h=33

Drop Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
	mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
5 09:09:51	150	12.8	181	0	300	600	321	108	52	149	19	1.984
6 09:09:54	150	12.8	182	0	300	600	318	109	52	150	15	1.965
7 09:09:58	150	12.8	180	0	300	600	317	108	52	150	15	1.942

Point No.: 7

Location: I km 0+600 h=33

Drop Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
	mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
4 09:12:43	150	12.7	180	0	300	600	143	61	38	332	12	0.880
5 09:12:48	150	12.7	180	0	300	600	142	61	38	335	9	0.861
6 09:12:51	150	12.8	181	0	300	600	142	61	38	334	7	0.869

Point No.: 8

Location: D km 0+700 h=33

Drop Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
	mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
4 09:15:53	150	12.6	178	0	300	600	430	84	23	109	30	2.383
5 09:15:57	150	12.6	179	0	300	600	426	84	24	111	22	2.339
6 09:16:00	150	12.6	179	0	300	600	422	83	24	111	19	2.285

Point No.: 9

Location: I km 0+800 h=33

Drop Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
	mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
5 09:23:30	150	12.8	182	0	300	600	104	49	32	462	0	0.528
6 09:23:34	150	12.9	182	0	300	600	103	49	32	465	0	0.526
7 09:23:37	150	12.8	182	0	300	600	102	49	32	467	1	0.522

Point No.: 10

Location: D km 0+900 h=33

Drop Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
	mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
6 09:26:36	150	12.5	177	0	300	600	355	135	60	131	-10	2.281
7 09:26:39	150	12.6	178	0	300	600	356	135	60	131	4	2.285
8 09:26:42	150	12.5	177	0	300	600	352	135	60	132	-9	2.238

Point No.: 11

Location: I km 1+000 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
4	09:29:55	150	12.5	178	0	300	600	492	166	72	95	23	3.479
5	09:29:58	150	12.6	178	0	300	600	491	166	72	96	24	3.472
6	09:30:02	150	12.5	177	0	300	600	491	165	72	95	22	3.449

Point No.: 12

Location: D km 1+100 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	Mpa	Micron	Joule
6	09:32:56	150	12.8	181	0	300	600	415	87	30	114	20	2.261
7	09:32:59	150	12.7	180	0	300	600	414	86	30	115	23	2.224
8	09:33:02	150	12.6	179	0	300	600	408	86	30	115	21	2.185

Point No.: 13

Location: I km 1+200 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
8	09:37:08	150	12.7	179	0	300	600	306	145	78	154	4	2.323
9	09:37:11	150	12.6	179	0	300	600	310	147	79	152	9	2.370
10	09:37:15	150	12.7	179	0	300	600	308	148	79	154	9	2.346

Point No.: 14

Location: D km 1+300 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
5	09:40:14	150	12.6	179	0	300	600	253	114	59	186	3	1.743
6	09:40:18	150	12.7	180	0	300	600	253	114	59	187	4	1.747
7	09:40:22	150	12.6	179	0	300	600	252	114	58	187	2	1.732

Point No.: 15

Location: I km 1+400 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	Mpa	Micron	Joule
4	09:43:00	150	12.6	179	0	300	600	242	100	54	195	12	1.732
5	09:43:03	150	12.7	179	0	300	600	244	100	54	194	13	1.754
6	09:43:07	150	12.6	179	0	300	600	242	100	54	194	7	1.723

Point No.: 16

Location: D km 1+500 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
5	09:45:43	150	12.7	179	0	300	600	211	106	59	223	-5	1.461
6	09:45:46	150	12.7	180	0	300	600	211	106	59	225	-9	1.457
7	09:45:51	150	12.6	178	0	300	600	208	105	58	225	-10	1.439

Point No.: 17

Location: I km 1+600 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
5	09:49:13	150	12.6	178	0	300	600	239	125	72	196	9	1.729
6	09:49:17	150	12.5	177	0	300	600	237	124	72	197	10	1.701
7	09:49:20	150	12.6	178	0	300	600	237	125	72	197	10	1.701

Point No.: 18

Location: D km 1+700 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
5	09:51:40	150	12.5	176	0	300	600	398	174	82	117	15	2.975
6	09:51:43	150	12.5	176	0	300	600	396	173	81	117	14	2.951
7	09:51:46	150	12.4	176	0	300	600	397	174	82	117	16	2.964

Point No.: 19

Location: I km 1+800 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
6	09:54:13	150	12.5	177	0	300	600	418	116	65	112	26	2.786
7	09:54:16	150	12.5	177	0	300	600	416	116	65	112	24	2.754
8	09:54:19	150	12.5	177	0	300	600	415	116	65	112	26	2.751

Point No.: 20

Location: D km 1+900 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
6	09:56:37	150	12.5	177	0	300	600	321	105	60	145	14	2.116
7	09:56:40	150	12.5	177	0	300	600	323	105	60	144	15	2.130
8	09:56:43	150	12.6	178	0	300	600	323	106	60	145	9	2.113

Point No.: 21

Location: I km 2+000 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
7	09:59:08	150	12.6	178	0	300	600	159	90	59	295	-10	1.228
8	09:59:12	150	12.6	178	0	300	600	159	90	59	294	-11	1.217
9	09:59:15	150	12.5	177	0	300	600	160	90	59	292	-4	1.253

Point No.: 22

Location: D km 2+100 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
6	10:01:30	150	12.4	176	0	300	600	674	220	100	69	48	4.940
7	10:01:33	150	12.4	175	0	300	600	669	221	100	69	39	4.897
8	10:01:37	150	12.5	177	0	300	600	670	221	101	69	36	4.898

Point No.: 23

Location: I km 2+200 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
6	10:03:53	150	12.5	177	0	300	600	453	235	106	103	15	3.759
7	10:03:56	150	12.5	176	0	300	600	451	234	105	103	9	3.746
8	10:03:59	150	12.5	177	0	300	600	446	231	105	104	4	3.687

Point No.: 24

Location: D km 2+300 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
4	10:06:17	150	12.6	178	0	300	600	219	98	56	214	6	1.482
5	10:06:20	150	12.6	178	0	300	600	219	99	56	214	5	1.487
6	10:06:23	150	12.6	178	0	300	600	219	99	56	214	5	1.487

Point No.: 25

Location: I km 2+400 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
5	10:08:52	150	12.6	179	0	300	600	231	98	52	203	-3	1.479
6	10:08:55	150	12.7	179	0	300	600	232	99	52	204	1	1.483
7	10:08:58	150	12.6	179	0	300	600	231	99	52	204	-1	1.468

Point No.: 26

Location: D km 2+500 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
6	10:11:24	150	12.6	179	0	300	600	277	75	49	170	15	1.659
7	10:11:27	150	12.7	179	0	300	600	275	75	49	171	16	1.647
8	10:11:30	150	12.6	179	0	300	600	275	75	49	171	9	1.634

Point No.: 27

Location: I km 2+600 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
7	10:13:44	150	12.6	178	0	300	600	347	122	70	135	22	2.324
8	10:13:47	150	12.5	177	0	300	600	343	121	70	136	19	2.279
9	10:13:50	150	12.5	177	0	300	600	343	121	70	136	16	2.289

Point No.: 28

Location: D km 2+700 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
6	10:16:10	150	12.5	177	0	300	600	350	140	74	133	8	2.355
7	10:16:13	150	12.5	177	0	300	600	349	140	75	134	9	2.352
8	10:16:16	150	12.6	178	0	300	600	351	140	74	133	10	2.372

Point No.: 29

Location: I km 2+800 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
6	10:19:02	150	12.6	178	0	300	600	328	156	84	143	17	2.320
7	10:19:05	150	12.6	178	0	300	600	326	157	84	144	16	2.295
8	10:19:08	150	12.6	179	0	300	600	326	157	84	144	12	2.295

Point No.: 30

Location: D km 2+900 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
4	10:21:23	150	12.5	176	0	300	600	314	139	76	148	7	2.186
5	10:21:26	150	12.5	176	0	300	600	314	139	76	148	-1	2.198
6	10:21:29	150	12.4	176	0	300	600	316	140	76	146	13	2.203

Point No.: 31

Location: I km 3+000 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
4	10:23:53	150	12.6	178	0	300	600	240	115	69	196	-1	1.676
5	10:23:56	150	12.6	178	0	300	600	240	115	69	196	0	1.676
6	10:24:00	150	12.6	178	0	300	600	239	115	70	196	2	1.670

Point No.: 32

Location: D km 3+100 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
6	10:26:08	150	12.5	177	0	300	600	218	101	64	214	-2	1.454
7	10:26:11	150	12.5	177	0	300	600	219	101	64	213	4	1.477
8	10:26:15	150	12.6	178	0	300	600	220	101	64	213	1	1.477

Point No.: 33

Location: I km 3+200 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
6	10:28:22	150	12.6	179	0	300	600	219	93	58	215	10	1.470
7	10:28:25	150	12.6	179	0	300	600	220	93	58	214	8	1.464
8	10:28:30	150	12.6	178	0	300	600	218	93	57	215	8	1.443

Point No.: 34

Location: D km 3+300 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
6	10:30:58	150	12.5	177	0	300	600	170	68	40	274	13	1.120
7	10:31:01	150	12.6	178	0	300	600	171	69	40	274	15	1.135
8	10:31:04	150	12.5	177	0	300	600	171	69	41	272	17	1.127

Point No.: 35

Location: I km 3+400 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
5	10:33:31	150	12.5	177	0	300	600	215	97	61	217	-7	1.507
6	10:33:34	150	12.5	176	0	300	600	216	98	61	215	-7	1.502
7	10:33:37	150	12.5	176	0	300	600	216	97	61	215	-8	1.504

Point No.: 36

Location: D km 3+500 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
6	10:36:41	150	12.7	179	0	300	600	158	55	34	300	6	0.795
7	10:36:44	150	12.7	180	0	300	600	158	55	34	300	6	0.793
8	10:36:47	150	12.7	180	0	300	600	158	55	34	300	5	0.787

Point No.: 37

Location: I km 3+600 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
5	10:38:57	150	12.6	179	0	300	600	219	96	62	215	10	1.431
6	10:39:00	150	12.6	178	0	300	600	219	96	62	214	8	1.424
7	10:39:03	150	12.7	179	0	300	600	220	96	62	214	9	1.431

Point No.: 38

Location: D km 3+700 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
6	10:41:16	150	12.5	177	0	300	600	312	94	149	22	1.873	
7	10:41:19	150	12.5	177	0	300	600	310	94	150	14	1.850	
8	10:41:22	150	12.5	176	0	300	600	312	94	149	23	1.864	

Point No.: 39

Location: I km 3+800 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
8	10:43:38	150	12.5	177	0	300	600	345	127	66	135	27	2.235
9	10:43:41	150	12.5	177	0	300	600	343	128	66	136	26	2.211
10	10:43:44	150	12.5	177	0	300	600	344	128	66	136	26	2.220

Point No.: 40

Location: D km 3+900 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
6	10:46:03	150	12.5	177	0	300	600	247	110	58	188	12	1.610
7	10:46:06	150	12.5	177	0	300	600	248	108	58	188	11	1.594
8	10:46:09	150	12.5	177	0	300	600	250	108	58	186	15	1.609

Point No.: 41

Location: I km 4+000 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
6	10:48:42	150	12.6	178	0	300	600	157	86	51	298	13	1.055
7	10:48:45	150	12.6	179	0	300	600	157	86	51	299	12	1.057
8	10:48:48	150	12.6	178	0	300	600	157	86	51	298	13	1.063

Point No.: 42

Location: D km 4+100 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
8	10:51:13	150	12.7	180	0	300	600	110	47	29	433	4	0.571
9	10:51:16	150	12.8	180	0	300	600	110	47	29	433	5	0.572
10	10:51:20	150	12.6	178	0	300	600	110	47	29	429	3	0.565

Point No.: 43

Location: I km 4+200 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
6	10:53:53	150	12.7	180	0	300	600	163	82	58	291	18	1.143
7	10:53:56	150	12.8	181	0	300	600	164	81	59	291	18	1.147
8	10:53:59	150	12.7	180	0	300	600	163	82	58	291	19	1.144

Point No.: 44

Location: D km 4+300 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
7	10:56:43	150	12.6	179	0	300	600	155	62	44	302	33	0.960
8	10:56:46	150	12.6	179	0	300	600	158	61	44	299	32	0.979
9	10:56:49	150	12.6	178	0	300	600	155	61	44	301	31	0.952

Point No.: 45

Location: I km 4+400 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
6	10:59:37	150	12.6	178	0	300	600	112	50	34	419	14	0.651
7	10:59:40	150	12.6	178	0	300	600	113	49	34	416	12	0.658
8	10:59:43	150	12.6	178	0	300	600	112	50	34	419	14	0.649

Point No.: 46

Location: D km 4+500 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
5	11:01:52	150	12.6	178	0	300	600	94	29	16	498	1	0.371
6	11:02:01	150	12.6	178	0	300	600	93	29	16	505	-2	0.393
7	11:02:04	150	12.6	179	0	300	600	94	29	16	499	-1	0.400

Point No.: 47

Location: I km 4+600 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
7	11:05:31	150	12.7	179	0	300	600	116	46	28	407	3	0.583
8	11:05:34	150	12.6	179	0	300	600	115	46	28	409	3	0.573
9	11:05:37	150	12.7	179	0	300	600	115	46	28	408	4	0.579

Point No.: 48

Location: D km 4+700 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
5	11:07:46	150	12.7	179	0	300	600	96	40	26	492	0	0.478
6	11:07:49	150	12.6	179	0	300	600	96	40	26	491	-1	0.469
7	11:07:59	150	12.7	179	0	300	600	96	40	26	491	2	0.478

Point No.: 49

Location: I km 4+800 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
4	11:09:59	150	12.5	177	0	300	600	130	56	36	358	6	0.716
5	11:10:02	150	12.6	178	0	300	600	131	56	36	358	8	0.715
6	11:10:08	150	12.6	178	0	300	600	130	56	37	359	3	0.718

Point No.: 50

Location: D km 4+900 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
4	11:12:32	150	12.7	179	0	300	600	93	43	29	508	4	0.548
5	11:12:36	150	12.6	179	0	300	600	93	43	29	506	-1	0.539
6	11:12:39	150	12.6	178	0	300	600	93	44	29	506	0	0.540

Point No.: 51

Location: I km 5+000 h=33

Drop Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
	mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
5 11:14:49	150	12.7	179	0	300	600	99	44	27	479	2	0.516
6 11:14:52	150	12.7	179	0	300	600	99	44	27	478	1	0.516
7 11:14:56	150	12.7	179	0	300	600	99	44	27	478	-1	0.510

Point No.: 52

Location: D km 5+100 h=33

Drop Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
	mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
9 11:17:19	150	12.7	180	0	300	600	129	38	30	367	-2	0.713
10 11:17:22	150	12.7	180	0	300	600	128	38	30	371	0	0.704
11 11:17:25	150	12.7	179	0	300	600	127	38	30	370	1	0.69

Point No.: 53

Location: I km 5+200 h=33

Drop Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
	mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
5 11:19:55	150	12.6	178	0	300	600	126	60	41	374	-2	0.754
6 11:19:58	150	12.6	178	0	300	600	126	60	41	370	-1	0.758
7 11:20:01	150	12.5	177	0	300	600	125	61	41	374	-2	0.743

Point No.: 54

Location: D km 5+300 h=33

Drop Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
	mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
4 11:22:12	150	12.6	179	0	300	600	259	115	55	182	4	1.383
5 11:22:15	150	12.6	178	0	300	600	259	115	55	182	2	1.374
6 11:22:18	150	12.6	179	0	300	600	259	116	55	182	2	1.370

Point No.: 55

Location: I km 5+400 h=33

Drop Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
	mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
4 11:27:16	150	12.3	174	0	300	600	371	127	55	124	7	2.191
5 11:27:19	150	12.3	175	0	300	600	371	128	55	124	5	2.193
6 11:27:22	150	12.5	176	0	300	600	372	128	55	125	8	2.204

Point No.: 56

Location: D km 5+500 h=33

Drop Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
	mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
6 11:29:53	150	12.5	177	0	300	600	298	111	53	156	9	1.668
7 11:29:56	150	12.5	177	0	300	600	299	111	53	155	6	1.666
8 11:29:59	150	12.5	177	0	300	600	299	111	54	156	9	1.671

Point No.: 57

Location: I km 5+600 h=33

Drop Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
	mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
4 11:33:19	150	12.5	177	0	300	600	177	66	38	264	4	0.901
5 11:33:22	150	12.5	177	0	300	600	177	65	38	264	1	0.893
6 11:33:25	150	12.5	177	0	300	600	177	66	38	264	2	0.893

Point No.: 58

Location: D km 5+700 h=33

Drop Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
	mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
5 11:36:25	150	12.5	177	0	300	600	388	90	45	120	17	2.185
6 11:36:28	150	12.5	177	0	300	600	384	90	45	121	14	2.155
7 11:36:31	150	12.5	177	0	300	600	383	91	45	122	11	2.115

Point No.: 59

Location: I km 5+800 h=33

Drop Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
	mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
6 11:38:42	150	12.5	177	0	300	600	266	79	35	176	4	1.365
7 11:38:45	150	12.5	178	0	300	600	267	78	35	175	0	1.367
8 11:38:48	150	12.6	178	0	300	600	268	79	36	175	5	1.365

Point No.: 60

Location: D km 5+900 h=33

Drop Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
	mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
5 11:40:56	150	12.7	180	0	300	600	158	44	27	299	-7	0.695
6 11:40:59	150	12.6	179	0	300	600	157	45	27	299	-7	0.672
7 11:41:03	150	12.7	179	0	300	600	158	45	28	299	-4	0.697

Point No.: 61

Location: I km 6+000 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
7	11:43:10	150	12.5	177	0	300	600	332	85	30	140	1	1.685
8	11:43:13	150	12.5	177	0	300	600	328	85	31	142	-8	1.680
9	11:43:16	150	12.5	177	0	300	600	328	85	30	142	-11	1.654

Point No.: 62

Location: D km 6+100 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
5	11:46:06	150	12.4	176	0	300	600	405	154	66	114	14	2.640
6	11:46:09	150	12.4	175	0	300	600	404	155	67	114	7	2.629
7	11:46:12	150	12.4	176	0	300	600	404	156	67	115	-2	2.592

Point No.: 63

Location: I km 6+200 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
5	11:48:30	150	12.5	177	0	300	600	226	53	20	206	-4	0.979
6	11:48:33	150	12.5	177	0	300	600	225	53	20	207	5	0.972
7	11:48:36	150	12.5	177	0	300	600	222	53	20	210	-2	0.952

Point No.: 64

Location: D km 6+300 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
5	11:52:20	150	12.3	174	0	300	600	181	53	20	253	2	0.880
6	11:52:24	150	12.4	175	0	300	600	181	53	20	255	4	0.877
7	11:52:27	150	12.5	176	0	300	600	181	54	20	257	2	0.871

Point No.: 65

Location: I km 6+400 h=33

Drop	Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
		mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
5	11:55:12	150	12.6	178	0	300	600	174	53	24	269	3	0.732
6	11:55:15	150	12.6	178	0	300	600	175	53	24	268	1	0.734
7	11:55:18	150	12.5	178	0	300	600	176	53	24	266	1	0.731

Point No.: 66

Location: D km 6+500 h=33

Drop Time	Radius	Load	Stress	Dist. 1	Dist. 2	Dist. 3	Def. 1	Def. 2	Def. 3	Eo	Offset	Energy
	mm	kN	kPa	mm	mm	mm	Micron	Micron	Micron	MPa	Micron	Joule
4 12:00:01	150	12.6	178	0	300	600	314	104	41	149	9	1.711
5 12:00:05	150	12.5	177	0	300	600	312	104	41	149	11	1.686
6 12:00:08	150	12.5	177	0	300	600	312	104	41	149	0	1.659

ANEXO 12

Dynatest 3031 LWD
Data Report

Project: 0+000 al 17+000
Data File: RV1 T14 0+000 al 17+000

Point No.: 1

Location: D1 km 0+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	274	192	-0.39	191	349	0	

Point No.: 2

Location: I1 km 0+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	287	241	0.00	241	252	0	

Point No.: 3

Location: D1 km 0+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	298	290	0.00	290	284	0	

Point No.: 4

Location: I2 km 0+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
60	283	212	0.00	212	234	0	

Point No.: 5

Location: D1 km 0+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	281	201	0.00	201	226	0	

Point No.: 6

Location: I2 km 0+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	216	274	-0.25	261	305	0	

Point No.: 7

Location: D2 km 0+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	191	200	-0.30	192	262	0	

Point No.: 8

Location: I1 km 0+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	219	182	-0.16	179	237	0	

Point No.: 9

Location: D1 km 0+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	244	169	-0.03	169	202	0	

Point No.: 10

Location: I1 km 0+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	264	224	0.00	224	233	0	

Point No.: 11

Location: D1 km 1+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	215	176	-0.06	175	204	0	

Point No.: 12

Location: I1 km 1+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	311	221	0.00	221	249	0	

Point No.: 13

Location: D1 km 1+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	272	265	-0.08	262	289	0	

Point No.: 14

Location: I1 km 1+300 h=300

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	253	219	0.00	219	226	0	

Point No.: 15

Location: D2 km 1+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	243	159	-0.30	157	276	0	

Point No.: 16

Location: I1 km 1+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	326	476	0.00	476	380	0	

Point No.: 17

Location: D2 km 1+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	210	210	0.00	210	203	0	

Point No.: 18

Location: I1 km 1+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	320	243	0.00	243	266	0	

Point No.: 19

Location: D1 km 1+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	192	149	0.00	149	162	0	

Point No.: 20

Location: I1 km 1+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	249	163	0.00	163	191	0	

Point No.: 21

Location: D1 km 2+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	364	199	-0.04	199	269	0	

Point No.: 22

Location: I1 km 2+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	251	235	0.00	235	234	0	

Point No.: 23

Location: D1 km 2+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	328	290	-0.15	285	362	0	

Point No.: 24

Location: I1 km 2+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	425	131	-0.15	135	271	0	

Point No.: 25

Location: D1 km 2+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	342	237	0.00	237	270	0	

Point No.: 26

Location: I1 km 2+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	236	146	-0.29	147	258	0	

Point No.: 27

Location: D2 km 2+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	340	188	-0.02	188	244	0	

Point No.: 28

Location: I1 km 2+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	381	216	0.00	216	268	0	

Point No.: 29

Location: D1 km 2+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	350	157	0.00	157	214	0	

Point No.: 30

Location: I2 km 2+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	395	121	-0.23	127	284	0	

Point No.: 31

Location: D2 km 3+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	390	162	0.00	162	228	0	

Point No.: 32

Location: I1 km 3+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	373	166	-0.13	167	283	0	

Point No.: 33

Location: D1 km 3+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	355	187	-0.02	187	248	0	

Point No.: 34

Location: I1 km 3+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	247	187	-0.15	185	253	0	

Point No.: 35

Location: D1 km 3+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	378	192	-0.11	192	299	0	

Point No.: 36

Location: I1 km 3+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	295	160	-0.14	160	252	0	

Point No.: 37

Location: D1 km 3+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	387	223	-0.03	223	290	0	

Point No.: 38

Location: I1 km 3+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	340	207	-0.15	206	313	0	

Point No.: 39

Location: D2 km 3+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	412	237	-0.03	237	308	0	

Point No.: 40

Location: I1 km 3+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	446	166	-0.20	170	340	0	

Point No.: 41

Location: D1 km 4+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	445	211	0.00	211	282	0	

Point No.: 42

Location: I1 km 4+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	310	177	-0.24	177	309	0	

Point No.: 43

Location: D1 km 4+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	395	293	0.00	293	324	0	

Point No.: 44

Location: I2 km 4+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	278	180	0.00	180	211	0	

Point No.: 45

Location: D1 km 4+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	309	291	0.00	291	289	0	

Point No.: 46

Location: I1 km 4+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	357	181	-0.12	182	286	0	

Point No.: 47

Location: D2 km 4+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	294	203	-0.05	202	251	0	

Point No.: 48

Location: I1 km 4+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	220	182	-0.01	182	195	0	

Point No.: 49

Location: D1 km 4+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	330	177	0.00	177	225	0	

Point No.: 50

Location: I1 km 4+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	160	152	-0.04	151	159	0	

Point No.: 51

Location: D1 km 5+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	197	209	0.00	209	196	0	

Point No.: 52

Location: I2 km 5+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	262	273	-0.11	268	301	0	

Point No.: 53

Location: D1 km 5+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	239	194	-0.16	191	257	0	

Point No.: 54

Location: I2 km 5+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	547	320	-0.07	320	434	0	

Point No.: 55

Location: D1 km 5+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	283	225	0.00	225	239	0	

Point No.: 56

Location: I2 km 5+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	262	145	0.00	145	178	0	

Point No.: 57

Location: D1 km 5+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	239	183	-0.22	181	269	0	

Point No.: 58

Location: I1 km 5+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	300	183	0.00	183	217	0	

Point No.: 59

Location: D1 km 5+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	312	190	-0.22	190	313	0	

Point No.: 60

Location: I1 km 5+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	298	175	0.00	175	210	0	

Point No.: 61

Location: D1 km 6+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	369	176	0.00	176	229	0	

Point No.: 62

Location: I1 km 6+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	411	195	0.00	195	254	0	

Point No.: 63

Location: D2 km 6+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	272	157	-0.15	157	242	0	

Point No.: 64

Location: I1 km 6+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	270	128	-0.10	129	199	0	

Point No.: 65

Location: D1 km 6+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	274	155	0.00	155	189	0	

Point No.: 66

Location: I1 km 6+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	185	147	-0.25	144	219	0	

Point No.: 67

Location: D1 km 6+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	177	129	0.00	129	142	0	

Point No.: 68

Location: I1 km 6+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	259	137	-0.15	138	219	0	

Point No.: 69

Location: D2 km 6+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	273	166	-0.21	166	270	0	

Point No.: 70

Location: I1 km 6+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	222	157	-0.03	157	184	0	

Point No.: 71

Location: D1 km 7+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	255	195	0.00	195	211	0	

Point No.: 72

Location: I1 km 7+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	307	128	-0.01	128	178	0	

Point No.: 73

Location: D2 km 7+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	190	264	-0.05	261	234	0	

Point No.: 74

Location: I1 km 7+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	236	224	-0.05	222	238	0	

Point No.: 75

Location: D1 km 7+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	210	187	-0.32	181	281	0	

Point No.: 76

Location: I1 km 7+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	310	206	0.00	206	236	0	

Point No.: 77

Location: D1 km 7+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	257	143	-0.06	143	195	0	

Point No.: 78

Location: I1 km 7+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	196	184	-0.07	182	202	0	

Point No.: 79

Location: D1 km 7+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	192	123	-0.05	123	155	0	

Point No.: 80

Location: I1 km 7+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	329	274	-0.03	273	300	0	

Point No.: 81

Location: D2 km 8+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	262	191	-0.04	190	225	0	

Point No.: 82

Location: I1 km 8+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	247	182	-0.09	181	230	0	

Point No.: 83

Location: D2 km 8+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	156	137	-0.09	136	160	0	

Point No.: 84

Location: I1 km 8+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	373	219	-0.20	218	358	0	

Point No.: 85

Location: D1 km 8+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	245	301	-0.26	287	355	0	

Point No.: 86

Location: I1 km 8+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	212	255	-0.18	246	282	0	

Point No.: 87

Location: D1 km 8+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	149	136	0.00	136	136	0	

Point No.: 88

Location: I1 km 8+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	177	230	-0.17	221	241	0	

Point No.: 89

Location: D2 km 8+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	181	183	-0.12	180	207	0	

Point No.: 90

Location: I1 km 8+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	147	234	0.00	234	181	0	

Point No.: 91

Location: D1 km 9+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	124	173	-0.38	161	208	0	

Point No.: 92

Location: I1 km 9+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	367	96	0.00	96	155	0	

Point No.: 93

Location: D1 km 9+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	209	135	-0.31	134	240	0	

Point No.: 94

Location: I1 km 9+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	198	145	-0.22	143	218	0	

Point No.: 95

Location: D1 km 9+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	237	140	-0.01	140	171	0	

Point No.: 96

Location: I1 km 9+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	253	115	-0.01	115	155	0	

Point No.: 97

Location: D1 km 9+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	155	109	0.00	109	122	0	

Point No.: 98

Location: I1 km 9+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	191	213	0.00	213	196	0	

Point No.: 99

Location: D1 km 9+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	347	180	-0.01	180	231	0	

Point No.: 100

Location: I1 km 9+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	295	335	-0.04	332	323	0	

Point No.: 101

Location: D1 km 10+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	204	255	-0.04	253	235	0	

Point No.: 102

Location: I1 km 10+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	157	175	-0.23	168	212	0	

Point No.: 103

Location: D1 km 10+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	288	98	0.00	98	144	0	

Point No.: 104

Location: I1 km 10+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	294	114	-0.20	116	226	0	

Point No.: 105

Location: D1 km 10+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	262	196	-0.06	195	235	0	

Point No.: 106

Location: I1 km 10+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	140	132	-0.30	127	189	0	

Point No.: 107

Location: D1 km 10+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	219	180	-0.06	178	207	0	

Point No.: 108

Location: I1 km 10+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	177	76	0.00	76	103	0	

Point No.: 109

Location: D1 km 10+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	226	94	-0.21	96	183	0	

Point No.: 110

Location: I1 km 10+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	241	158	-0.12	157	220	0	

Point No.: 111

Location: D1 km 11+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	245	115	-0.05	115	165	0	

Point No.: 112

Location: I1 km 11+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	293	104	-0.17	106	204	0	

Point No.: 113

Location: D1 km 11+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	334	138	0.00	138	189	0	

Point No.: 114

Location: I1 km 11+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	136	324	-0.12	311	227	0	

Point No.: 115

Location: D2 km 11+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	219	99	-0.09	100	154	0	

Point No.: 116

Location: I1 km 11+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	282	165	0.00	165	198	0	

Point No.: 117

Location: I1 km 11+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	273	233	0.00	233	241	0	

Point No.: 118

Location: I2 km 11+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	197	296	-0.02	294	242	0	

Point No.: 119

Location: D1 km 11+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	243	244	0.00	244	235	0	

Point No.: 120

Location: I1 km 11+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	126	110	0.00	110	113	0	

Point No.: 121

Location: I1 km 12+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	164	157	-0.15	153	190	0	

Point No.: 122

Location: I1 km 12+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	138	120	-0.04	119	131	0	

Point No.: 123

Location: D1 km 12+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	173	194	-0.08	191	198	0	

Point No.: 124

Location: I1 km 12+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	150	131	-0.03	130	140	0	

Point No.: 125

Location: D1 km 12+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	302	113	-0.01	113	164	0	

Point No.: 126

Location: I1 km 12+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	261	177	0.00	177	201	0	

Point No.: 127

Location: D1 km 12+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	176	162	-0.03	161	170	0	

Point No.: 128

Location: I1 km 12+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	130	214	-0.16	206	194	0	

Point No.: 129

Location: D2 km 12+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	319	71	-0.04	72	132	0	

Point No.: 130

Location: I1 km 12+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	247	96	-0.03	96	143	0	

Point No.: 131

Location: D1 km 13+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	206	112	0.00	112	139	0	

Point No.: 132

Location: I1 km 13+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	283	163	-0.37	164	330	0	

Point No.: 133

Location: D1 km 13+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	218	171	-0.17	168	234	0	

Point No.: 134

Location: I1 km 13+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	269	205	-0.18	201	288	0	

Point No.: 135

Location: D1 km 13+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	173	127	-0.25	125	197	0	

Point No.: 136

Location: I1 km 13+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	184	177	0.00	177	174	0	

Point No.: 137

Location: D1 km 13+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	162	166	0.00	166	158	0	

Point No.: 138

Location: I1 km 13+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	168	196	-0.11	191	204	0	

Point No.: 139

Location: D1 km 13+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	179	208	-0.05	206	201	0	

Point No.: 140

Location: I1 km 13+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	177	182	-0.07	179	192	0	

Point No.: 141

Location: D1 km 14+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	144	228	0.00	228	177	0	

Point No.: 142

Location: I1 km 14+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	295	246	-0.14	242	314	0	

Point No.: 143

Location: D1 km 14+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	296	284	-0.02	283	288	0	

Point No.: 144

Location: I1 km 14+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	144	153	-0.10	150	165	0	

Point No.: 145

Location: D1 km 14+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	133	183	-0.05	181	163	0	

Point No.: 146

Location: I1 km 14+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	208	166	0.00	166	176	0	

Point No.: 147

Location: D1 km 14+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	139	126	0.00	126	127	0	

Point No.: 148

Location: I1 km 14+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	222	168	-0.02	168	189	0	

Point No.: 149

Location: D1 km 14+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	94	157	0.00	157	119	0	

Point No.: 150

Location: I1 km 14+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	159	199	-0.05	197	186	0	

Point No.: 151

Location: D1 km 15+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	135	119	-0.02	119	125	0	

Point No.: 152

Location: I1 km 15+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	168	260	-0.09	254	228	0	

Point No.: 153

Location: D1 km 15+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	165	130	-0.02	130	143	0	

Point No.: 154

Location: I1 km 15+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	202	184	0.00	184	185	0	

Point No.: 155

Location: D1 km 15+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	236	185	0.00	185	198	0	

Point No.: 156

Location: I1 km 15+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	156	202	-0.01	202	176	0	

Point No.: 157

Location: D1 km 15+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	217	103	-0.13	104	168	0	

Point No.: 158

Location: I1 km 15+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	237	184	-0.03	183	208	0	

Point No.: 159

Location: D1 km 15+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	303	165	0.00	165	204	0	

Point No.: 160

Location: I1 km 15+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	198	186	-0.14	182	224	0	

Point No.: 161

Location: D1 km 16+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	257	202	0.00	202	216	0	

Point No.: 162

Location: I1 km 16+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	223	114	0.00	114	144	0	

Point No.: 163

Location: D1 km 16+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	200	239	0.00	239	213	0	

Point No.: 164

Location: I1 km 16+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	261	120	0.00	120	158	0	

Point No.: 165

Location: D1 km 16+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	186	247	-0.16	238	253	0	

Point No.: 166

Location: I1 km 16+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	192	228	-0.03	226	212	0	

Point No.: 167

Location: I1 km 16+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	201	182	0.00	182	183	0	

Point No.: 168

Location: I2 km 16+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	179	181	-0.02	180	179	0	

Point No.: 169

Location: D1 km 16+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	184	143	0.00	143	154	0	

Point No.: 170

Location: I2 km 16+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	266	167	-0.02	167	202	0	

Point No.: 171

Location: I1 km 17+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	261	215	0.00	215	225	0	

ANEXO 13

Localización	MR (Mpa)	MR (Psi)	a	SN
D1 km 0+000 h=33	274	39,740	0.17	2.69
I1 km 0+100 h=33	287	41,626	0.17	2.77
D1 km 0+200 h=33	298	43,221	0.18	2.84
I2 km 0+300 h=33	283	41,046	0.17	2.75
D1 km 0+400 h=33	281	40,756	0.17	2.73
I2 km 0+500 h=33	216	31,328	0.14	2.28
D2 km 0+600 h=33	191	27,702	0.13	2.07
I1 km 0+700 h=33	219	31,763	0.14	2.30
D1 km 0+800 h=33	244	35,389	0.16	2.49
I1 km 0+900 h=33	264	38,290	0.16	2.63
D1 km 1+000 h=33	215	31,183	0.14	2.27
I1 km 1+100 h=33	311	45,107	0.18	2.91
D1 km 1+200 h=33	272	39,450	0.17	2.68
I1 km 1+300 h=33	253	36,695	0.16	2.55
D2 km 1+400 h=33	243	35,244	0.16	2.48
I1 km 1+500 h=33	326	47,282	0.19	2.99
D2 km 1+600 h=33	210	30,458	0.14	2.23
I1 km 1+700 h=33	320	46,412	0.18	2.96
D1 km 1+800 h=33	192	27,847	0.13	2.08
I1 km 1+900 h=33	249	36,114	0.16	2.53
D1 km 2+000 h=33	364	52,794	0.20	3.18
I1 km 2+100 h=33	251	36,404	0.16	2.54
D1 km 2+200 h=33	328	47,572	0.19	3.00
I1 km 2+300 h=33	425	61,641	0.22	3.45
D1 km 2+400 h=33	342	49,603	0.19	3.07
I1 km 2+500 h=33	236	34,229	0.15	2.43
D2 km 2+600 h=33	340	49,313	0.19	3.06
I1 km 2+700 h=33	381	55,259	0.20	3.26
D1 km 2+800 h=33	350	50,763	0.19	3.11
I2 km 2+900 h=33	395	57,290	0.21	3.32
D2 km 3+000 h=33	390	56,565	0.21	3.30
I1 km 3+100 h=33	373	54,099	0.20	3.23
D1 km 3+200 h=33	355	51,488	0.20	3.14
I1 km 3+300 h=33	247	35,824	0.16	2.51
D1 km 3+400 h=33	378	54,824	0.20	3.25
I1 km 3+500 h=33	295	42,786	0.18	2.82
D1 km 3+600 h=33	387	56,130	0.21	3.29
I1 km 3+700 h=33	340	49,313	0.19	3.06
D2 km 3+800 h=33	412	59,756	0.21	3.40
I1 km 3+900 h=33	446	64,687	0.22	3.53
D1 km 4+000 h=33	445	64,542	0.22	3.53
I1 km 4+100 h=33	310	44,962	0.18	2.90
D1 km 4+200 h=33	395	57,290	0.21	3.32
I2 km 4+300 h=33	278	40,320	0.17	2.72

D1 km 4+400 h=33	309	44,817	0.18	2.90
I1 km 4+500 h=33	357	51,778	0.20	3.15
D2 km 4+600 h=33	294	42,641	0.18	2.81
I1 km 4+700 h=33	220	31,908	0.14	2.31
D1 km 4+800 h=33	330	47,862	0.19	3.01
I1 km 4+900 h=33	160	23,206	0.11	1.76
D1 km 5+000 h=33	197	28,572	0.13	2.12
I2 km 5+100 h=33	262	38,000	0.16	2.61
D1 km 5+200 h=33	239	34,664	0.15	2.45
I2 km 5+300 h=33	547	79,336	0.24	3.89
D1 km 5+400 h=33	283	41,046	0.17	2.75
I2 km 5+500 h=33	262	38,000	0.16	2.61
D1 km 5+600 h=33	239	34,664	0.15	2.45
I1 km 5+700 h=33	300	43,511	0.18	2.85
D1 km 5+800 h=33	312	45,252	0.18	2.92
I1 km 5+900 h=33	298	43,221	0.18	2.84
D1 km 6+000 h=33	369	53,519	0.20	3.21
I1 km 6+100 h=33	411	59,610	0.21	3.39
D2 km 6+200 h=33	272	39,450	0.17	2.68
I1 km 6+300 h=33	270	39,160	0.17	2.67
D1 km 6+400 h=33	274	39,740	0.17	2.69
I1 km 6+500 h=33	185	26,832	0.13	2.01
D1 km 6+600 h=33	177	25,672	0.12	1.94
I1 km 6+700 h=33	259	37,565	0.16	2.59
D2 km 6+800 h=33	273	39,595	0.17	2.69
I1 km 6+900 h=33	222	32,198	0.15	2.33
D1 km 7+000 h=33	255	36,985	0.16	2.57
I1 km 7+100 h=33	307	44,527	0.18	2.89
D2 km 7+200 h=33	190	27,557	0.13	2.06
I1 km 7+300 h=33	236	34,229	0.15	2.43
D1 km 7+400 h=33	210	30,458	0.14	2.23
I1 km 7+500 h=33	310	44,962	0.18	2.90
D1 km 7+600 h=33	257	37,275	0.16	2.58
I1 km 7+700 h=33	196	28,427	0.13	2.11
D1 km 7+800 h=33	192	27,847	0.13	2.08
I1 km 7+900 h=33	329	47,717	0.19	3.01
D2 km 8+000 h=33	262	38,000	0.16	2.61
I1 km 8+100 h=33	247	35,824	0.16	2.51
D2 km 8+200 h=33	156	22,626	0.11	1.72
I1 km 8+300 h=33	373	54,099	0.20	3.23
D1 km 8+400 h=33	245	35,534	0.16	2.50
I1 km 8+500 h=33	212	30,748	0.14	2.25
D1 km 8+600 h=33	149	21,611	0.10	1.64
I1 km 8+700 h=33	177	25,672	0.12	1.94
D2 km 8+800 h=33	181	26,252	0.12	1.97
I1 km 8+900 h=33	147	21,321	0.10	1.61

D1 km 9+000 h=33	124	17,985	0.08	1.32
I1 km 9+100 h=33	367	53,229	0.20	3.20
D1 km 9+200 h=33	209	30,313	0.14	2.22
I1 km 9+300 h=33	198	28,717	0.13	2.13
D1 km 9+400 h=33	237	34,374	0.15	2.44
I1 km 9+500 h=33	253	36,695	0.16	2.55
D1 km 9+600 h=33	155	22,481	0.11	1.71
I1 km 9+700 h=33	191	27,702	0.13	2.07
D1 km 9+800 h=33	347	50,328	0.19	3.10
I1 km 9+900 h=33	295	42,786	0.18	2.82
D1 km 10+000 h=33	204	29,588	0.14	2.18
I1 km 10+100 h=33	157	22,771	0.11	1.73
D1 km 10+200 h=33	288	41,771	0.17	2.78
I1 km 10+300 h=33	294	42,641	0.18	2.81
D1 km 10+400 h=33	262	38,000	0.16	2.61
I1 km 10+500 h=33	140	20,305	0.10	1.53
D1 km 10+600 h=33	219	31,763	0.14	2.30
I1 km 10+700 h=33	177	25,672	0.12	1.94
D1 km 10+800 h=33	226	32,779	0.15	2.36
I1 km 10+900 h=33	241	34,954	0.15	2.47
D1 km 11+000 h=33	245	35,534	0.16	2.50
I1 km 11+100 h=33	293	42,496	0.18	2.81
D1 km 11+200 h=33	334	48,443	0.19	3.03
I1 km 11+300 h=33	136	19,725	0.09	1.48
D2 km 11+400 h=33	219	31,763	0.14	2.30
I1 km 11+500 h=33	282	40,901	0.17	2.74
D1 km 11+600 h=33	273	39,595	0.17	2.69
I2 km 11+700 h=33	197	28,572	0.13	2.12
D1 km 11+800 h=33	243	35,244	0.16	2.48
I1 km 11+900 h=33	126	18,275	0.08	1.35
D1 km 12+000 h=33	164	23,786	0.11	1.80
I1 km 12+100 h=33	138	20,015	0.09	1.50
D1 km 12+200 h=33	173	25,092	0.12	1.90
I1 km 12+300 h=33	150	21,756	0.10	1.65
D1 km 12+400 h=33	302	43,801	0.18	2.86
I1 km 12+500 h=33	261	37,855	0.16	2.61
D1 km 12+600 h=33	176	25,527	0.12	1.93
I1 km 12+700 h=33	130	18,855	0.09	1.40
D2 km 12+800 h=33	319	46,267	0.18	2.95
I1 km 12+900 h=33	247	35,824	0.16	2.51
D1 km 13+000 h=33	181	26,252	0.12	1.97
I1 km 13+100 h=33	383	55,549	0.20	3.27
D1 km 13+200 h=33	217	31,473	0.14	2.29
I1 km 13+300 h=33	317	45,977	0.18	2.94
D1 km 13+400 h=33	152	22,046	0.10	1.67
I1 km 13+500 h=33	176	25,527	0.12	1.93

D1 km 13+600 h=33	200	29,008	0.13	2.15
I1 km 13+700 h=33	238	34,519	0.15	2.45
D1 km 13+800 h=33	210	30,458	0.14	2.23
I1 km 13+900 h=33	206	29,878	0.14	2.20
D1 km 14+000 h=33	144	20,885	0.10	1.58
I1 km 14+100 h=33	324	46,992	0.19	2.98
D1 km 14+200 h=33	296	42,931	0.18	2.82
I1 km 14+300 h=33	144	20,885	0.10	1.58
D1 km 14+400 h=33	133	19,290	0.09	1.44
I1 km 14+500 h=33	208	30,168	0.14	2.21
D1 km 14+600 h=33	139	20,160	0.09	1.52
I1 km 14+700 h=33	222	32,198	0.15	2.33
D1 km 14+800 h=33	94	13,634	0.05	0.84
I1 km 14+900 h=33	159	23,061	0.11	1.75
D1 km 15+000 h=33	135	19,580	0.09	1.47
I1 km 15+100 h=33	168	24,366	0.12	1.84
D1 km 15+200 h=33	165	23,931	0.11	1.81
I1 km 15+300 h=33	202	29,298	0.14	2.16
D1 km 15+400 h=33	236	34,229	0.15	2.43
I1 km 15+500 h=33	156	22,626	0.11	1.72
D1 km 15+600 h=33	217	31,473	0.14	2.29
I1 km 15+700 h=33	237	34,374	0.15	2.44
D1 km 15+800 h=33	303	43,946	0.18	2.87
I1 km 15+900 h=33	198	28,717	0.13	2.13
D1 km 16+000 h=33	257	37,275	0.16	2.58
I1 km 16+100 h=33	223	32,343	0.15	2.33
D1 km 16+200 h=33	200	29,008	0.13	2.15
I1 km 16+300 h=33	261	37,855	0.16	2.61
D1 km 16+400 h=33	186	26,977	0.13	2.02
I1 km 16+500 h=33	192	27,847	0.13	2.08
D1 km 16+600 h=33	201	29,153	0.13	2.16
I2 km 16+700 h=33	179	25,962	0.12	1.95
D1 km 16+800 h=33	184	26,687	0.13	2.00
I2 km 16+900 h=33	266	38,580	0.17	2.64
D1 km 17+000 h=33	261	37,855	0.16	2.61

ANEXO 14

Dynatest 3031 LWD

Data Report

Project: T3

Data File: Dv Yanaoca - Yanaoca

Point No.: 1

Location: I km 0+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	147	135	-0.03	134	142	0	

Point No.: 2

Location: D km 0+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	213	209	-0.03	208	212	0	

Point No.: 3

Location: I km 0+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	420	157	-0.38	165	406	0	

Point No.: 4

Location: D km 0+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	489	250	0.00	250	324	0	

Point No.: 5

Location: I km 0+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	360	195	-0.13	195	303	0	

Point No.: 6

Location: D km 0+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	312	94	0.00	94	150	0	

Point No.: 7

Location: I km 0+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	227	376	-0.24	353	350	0	

Point No.: 8

Location: D km 0+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	136	99	0.00	99	111	0	

Point No.: 9

Location: I km 0+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	595	207	-0.31	217	510	0	

Point No.: 10

Location: D km 0+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	125	121	-0.10	119	136	0	

Point No.: 11

Location: I km 1+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	104	94	0.00	94	95	0	

Point No.: 12

Location: D km 1+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	78	156	-0.13	150	118	0	

Point No.: 13

Location: I km 1+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	130	186	-0.02	185	154	0	

Point No.: 14

Location: D km 1+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	183	204	0.00	204	187	0	

Point No.: 15

Location: I km 1+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	147	284	0.00	284	194	0	

Point No.: 16

Location: D km 1+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	199	235	-0.07	232	229	0	

Point No.: 17

Location: I km 1+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	346	107	-0.10	109	203	0	

Point No.: 18

Location: D km 1+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	170	86	-0.03	86	118	0	

Point No.: 19

Location: I km 1+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	241	69	0.00	69	112	0	

Point No.: 20

Location: D km 1+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	224	102	-0.03	102	146	0	

Point No.: 21

Location: I km 2+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	340	276	0.00	276	294	0	

Point No.: 22

Location: D km 2+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	77	67	0.00	67	69	0	

Point No.: 23

Location: I km 2+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	96	119	0.00	119	103	0	

Point No.: 24

Location: D km 2+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	168	298	0.00	298	214	0	

Point No.: 25

Location: I km 2+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	146	228	-0.19	217	212	0	

Point No.: 26

Location: D km 2+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	116	293	0.00	293	171	0	

Point No.: 27

Location: I km 2+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	134	119	-0.10	117	139	0	

Point No.: 28

Location: D km 2+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	118	143	-0.06	141	136	0	

Point No.: 29

Location: I km 2+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	148	150	0.00	150	144	0	

Point No.: 30

Location: D km 2+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	117	202	0.00	202	147	0	

Point No.: 31

Location: I km 3+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	221	154	-0.09	153	201	0	

Point No.: 32

Location: D km 3+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	229	138	-0.21	138	226	0	

Point No.: 33

Location: I km 3+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	238	176	-0.08	175	220	0	

Point No.: 34

Location: D km 3+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	272	259	-0.06	257	278	0	

Point No.: 35

Location: I km 3+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	240	209	0.00	209	215	0	

Point No.: 36

Location: D km 3+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	317	267	-0.06	265	305	0	

Point No.: 37

Location: I km 3+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	141	203	-0.39	189	230	0	

Point No.: 38

Location: D km 3+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	276	101	0.00	101	149	0	

Point No.: 39

Location: I km 3+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	189	48	-0.37	53	150	0	

Point No.: 40

Location: D km 3+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	222	155	-0.05	154	191	0	

Point No.: 41

Location: I km 4+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	444	180	-0.11	182	310	0	

Point No.: 42

Location: D km 4+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	488	410	0.00	410	429	0	

Point No.: 43

Location: I km 4+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	313	235	-0.10	233	300	0	

Point No.: 44

Location: D km 4+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	254	205	-0.34	200	327	0	

Point No.: 45

Location: I km 4+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	357	277	-0.34	272	452	0	

Point No.: 46

Location: D km 4+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	512	401	-0.13	396	520	0	

Point No.: 47

Location: I km 4+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	379	289	-0.25	284	436	0	

Point No.: 48

Location: D km 4+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	500	324	-0.23	321	523	0	

Point No.: 49

Location: I km 4+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	401	274	-0.11	272	371	0	

Point No.: 50

Location: D km 4+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	497	447	-0.10	441	520	0	

Point No.: 51

Location: I km 5+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	552	233	-0.31	241	519	0	

Point No.: 52

Location: D km 5+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	352	180	-0.44	185	411	0	

Point No.: 53

Location: I km 5+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	485	209	-0.19	212	394	0	

Point No.: 54

Location: D km 5+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	358	118	0.00	118	182	0	

Point No.: 55

Location: I km 5+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	139	120	0.00	120	124	0	

Point No.: 56

Location: D km 5+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	149	157	-0.05	156	158	0	

Point No.: 57

Location: I km 5+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	190	301	-0.17	289	273	0	

Point No.: 58

Location: D km 5+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	130	98	-0.10	97	125	0	

Point No.: 59

Location: I km 5+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	168	191	-0.01	191	176	0	

Point No.: 60

Location: D km 5+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	301	264	-0.09	261	307	0	

Point No.: 61

Location: I km 6+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	246	97	-0.01	97	142	0	

Point No.: 62

Location: D km 6+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	269	67	0.00	67	114	0	

Point No.: 63

Location: I km 6+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	134	221	-0.34	205	221	0	

Point No.: 64

Location: D km 6+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	406	189	0.00	189	254	0	

Point No.: 65

Location: I km 6+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	456	70	-0.42	85	302	0	

Point No.: 66

Location: D km 6+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	184	109	-0.09	109	153	0	

ANEXO 15

Localización	MR (Mpa)	MR Psi	a	NE
I km 0+000 h=33	147	21320.54	0.10	1.61
D km 0+100 h=33	213	30893.03	0.14	2.26
I km 0+200 h=33	420	60915.83	0.21	3.43
D km 0+300 h=33	489	70923.44	0.23	3.69
I km 0+400 h=33	360	52213.57	0.20	3.16
D km 0+500 h=33	312	45251.76	0.18	2.92
I km 0+600 h=33	227	32923.56	0.15	2.37
D km 0+700 h=33	136	19725.13	0.09	1.48
I km 0+800 h=33	595	86297.43	0.25	4.03
D km 0+900 h=33	125	18129.71	0.08	1.33
I km 1+000 h=33	104	15083.92	0.06	1.02
D km 1+100 h=33	78	11312.94	0.03	0.52
I km 1+200 h=33	130	18854.90	0.09	1.40
D km 1+300 h=33	183	26541.90	0.12	1.99
I km 1+400 h=33	147	21320.54	0.10	1.61
D km 1+500 h=33	199	28862.50	0.13	2.14
I km 1+600 h=33	346	50183.04	0.19	3.10
D km 1+700 h=33	170	24656.41	0.12	1.87
I km 1+800 h=33	241	34954.09	0.15	2.47
D km 1+900 h=33	224	32488.44	0.15	2.34
I km 2+000 h=33	340	49312.82	0.19	3.06
D km 2+100 h=33	77	11167.90	0.03	0.50
I km 2+200 h=33	96	13923.62	0.05	0.88
D km 2+300 h=33	168	24366.33	0.12	1.84
I km 2+400 h=33	146	21175.50	0.10	1.60
D km 2+500 h=33	116	16824.37	0.08	1.20
I km 2+600 h=33	134	19435.05	0.09	1.45
D km 2+700 h=33	118	17114.45	0.08	1.23
I km 2+800 h=33	148	21465.58	0.10	1.63
D km 2+900 h=33	117	16969.41	0.08	1.22
I km 3+000 h=33	221	32053.33	0.14	2.32
D km 3+100 h=33	229	33213.63	0.15	2.38
I km 3+200 h=33	238	34518.97	0.15	2.45
D km 3+300 h=33	272	39450.25	0.17	2.68
I km 3+400 h=33	240	34809.05	0.15	2.46
D km 3+500 h=33	317	45976.95	0.18	2.94
I km 3+600 h=33	141	20450.32	0.10	1.54
D km 3+700 h=33	276	40030.41	0.17	2.70
I km 3+800 h=33	189	27412.13	0.13	2.05
D km 3+900 h=33	222	32198.37	0.15	2.33
I km 4+000 h=33	444	64396.74	0.22	3.53
D km 4+100 h=33	488	70778.40	0.23	3.69
I km 4+200 h=33	313	45396.80	0.18	2.92

D km 4+300 h=33	254	36839.58	0.16	2.56
I km 4+400 h=33	357	51778.46	0.20	3.15
D km 4+500 h=33	512	74259.30	0.24	3.77
I km 4+600 h=33	379	54969.29	0.20	3.25
D km 4+700 h=33	500	72518.85	0.23	3.73
I km 4+800 h=33	401	58160.12	0.21	3.35
D km 4+900 h=33	497	72083.74	0.23	3.72
I km 5+000 h=33	552	80060.81	0.24	3.90
D km 5+100 h=33	352	51053.27	0.20	3.12
I km 5+200 h=33	485	70343.28	0.23	3.68
D km 5+300 h=33	358	51923.50	0.20	3.15
I km 5+400 h=33	139	20160.24	0.09	1.52
D km 5+500 h=33	149	21610.62	0.10	1.64
I km 5+600 h=33	190	27557.16	0.13	2.06
D km 5+700 h=33	130	18854.90	0.09	1.40
I km 5+800 h=33	168	24366.33	0.12	1.84
D km 5+900 h=33	301	43656.35	0.18	2.85
I km 6+000 h=33	246	35679.27	0.16	2.50
D km 6+100 h=33	269	39015.14	0.17	2.66
I km 6+200 h=33	134	19435.05	0.09	1.45
D km 6+300 h=33	406	58885.31	0.21	3.37
I km 6+400 h=33	456	66137.19	0.22	3.57
D km 6+500 h=33	184	26686.94	0.13	2.00

ANEXO 16

Dynatest 3031 LWD
Data Report
Resultados Del Análisis Lineal Elastico

Project: T3
Data File: Dv Yanaoca - Yanaoca

Point No.: 1

Location: I km 0+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	156	137	0.00	137	141	0	

Point No.: 2

Location: D km 0+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	141	369	0.00	369	210	0	

Point No.: 3

Location: I km 0+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	693	243	0.00	243	365	0	

Point No.: 4

Location: D km 0+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	410	284	0.00	284	324	0	

Point No.: 5

Location: I km 0+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	305	298	0.00	298	291	0	

Point No.: 6

Location: D km 0+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	216	119	0.00	119	150	0	

Point No.: 7

Location: I km 0+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	380	318	0.00	318	334	0	

Point No.: 8

Location: D km 0+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	129	103	0.00	103	110	0	

Point No.: 9

Location: I km 0+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	719	353	0.00	353	465	0	

Point No.: 10

Location: D km 0+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	311	77	0.00	77	132	0	

Point No.: 11

Location: I km 1+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	88	110	0.00	110	95	0	

Point No.: 12

Location: D km 1+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	118	120	0.00	120	115	0	

Point No.: 13

Location: I km 1+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	123	207	0.00	207	153	0	

Point No.: 14

Location: D km 1+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	133	298	0.00	298	187	0	

Point No.: 15

Location: I km 1+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	195	207	0.00	207	194	0	

Point No.: 16

Location: D km 1+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	182	300	0.00	300	224	0	

Point No.: 17

Location: I km 1+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	241	177	0.00	177	197	0	

Point No.: 18

Location: D km 1+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	152	100	0.00	100	117	0	

Point No.: 19

Location: I km 1+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	145	96	0.00	96	112	0	

Point No.: 20

Location: D km 1+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	254	101	0.00	101	145	0	

Point No.: 21

Location: I km 2+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	340	276	0.00	276	294	0	

Point No.: 22

Location: D km 2+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	90	59	0.00	59	69	0	

Point No.: 23

Location: I km 2+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	93	123	0.00	123	103	0	

Point No.: 24

Location: D km 2+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	216	227	0.00	227	214	0	

Point No.: 25

Location: I km 2+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	159	286	0.00	286	204	0	

Point No.: 26

Location: D km 2+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	152	206	0.00	206	171	0	

Point No.: 27

Location: I km 2+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	106	190	0.00	190	136	0	

Point No.: 28

Location: D km 2+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	148	130	0.00	130	133	0	

Point No.: 29

Location: I km 2+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	206	115	0.00	115	144	0	

Point No.: 30

Location: D km 2+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	192	126	0.00	126	147	0	

Point No.: 31

Location: I km 3+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	163	253	0.00	253	195	0	

Point No.: 32

Location: D km 3+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	171	289	0.00	289	213	0	

Point No.: 33

Location: I km 3+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	307	172	0.00	172	215	0	

Point No.: 34

Location: D km 3+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	232	347	0.00	347	273	0	

Point No.: 35

Location: I km 3+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	274	188	0.00	188	215	0	

Point No.: 36

Location: D km 3+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	360	273	0.00	273	299	0	

Point No.: 37

Location: I km 3+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	435	137	0.00	137	214	0	

Point No.: 38

Location: D km 3+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	322	92	0.00	92	149	0	

Point No.: 39

Location: I km 3+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	116	170	0.00	170	135	0	

Point No.: 40

Location: D km 3+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	402	116	0.00	116	188	0	

Point No.: 41

Location: I km 4+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	516	211	0.00	211	299	0	

Point No.: 42

Location: D km 4+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	589	354	0.00	354	429	0	

Point No.: 43

Location: I km 4+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	396	241	0.00	241	291	0	

Point No.: 44

Location: D km 4+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	462	230	0.00	230	301	0	

Point No.: 45

Location: I km 4+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	771	282	0.00	282	417	0	

Point No.: 46

Location: D km 4+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	595	462	0.00	462	501	0	

Point No.: 47

Location: I km 4+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	483	378	0.00	378	409	0	

Point No.: 48

Location: D km 4+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	625	428	0.00	428	491	0	

Point No.: 49

Location: I km 4+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	666	242	0.00	242	359	0	

Point No.: 50

Location: D km 4+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	723	405	0.00	405	506	0	

Point No.: 51

Location: I km 5+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	639	399	0.00	399	476	0	

Point No.: 52

Location: D km 5+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	338	432	0.00	432	369	0	

Point No.: 53

Location: I km 5+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	487	318	0.00	318	372	0	

Point No.: 54

Location: D km 5+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	280	138	0.00	138	182	0	

Point No.: 55

Location: I km 5+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	216	87	0.00	87	124	0	

Point No.: 56

Location: D km 5+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	167	157	0.00	157	156	0	

Point No.: 57

Location: I km 5+600 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	327	234	0.00	234	263	0	

Point No.: 58

Location: D km 5+700 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	203	87	0.00	87	121	0	

Point No.: 59

Location: I km 5+800 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	129	266	0.00	266	175	0	

Point No.: 60

Location: D km 5+900 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	297	323	0.00	323	299	0	

Point No.: 61

Location: I km 6+000 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	229	104	0.00	104	141	0	

Point No.: 62

Location: D km 6+100 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	300	63	0.00	63	114	0	

Point No.: 63

Location: I km 6+200 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	293	168	0.00	168	208	0	

Point No.: 64

Location: D km 6+300 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	334	217	0.00	217	255	0	

Point No.: 65

Location: I km 6+400 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	310	252	0.00	252	268	0	

Point No.: 66

Location: D km 6+500 h=33

H1	E1	C	n	Em	Eo	Bedrock	Design
mm	MPa	MPa		MPa	MPa	mm	mm
160	172	141	0.00	141	149	0	