

"AÑO DEL DIÁLOGO Y RECONCILIACIÓN NACIONAL"

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS DE INVESTIGACIÓN



TEMA:

"LA CARGA DE ROTURA Y LA ELONGACION POR EL METODO GRAB DE GEOTEXTILES TEJIDOS Y NO TEJIDOS Y LOS ESFUERZOS DE TENSION EN LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES"

Presentada por:

Bach. VERÓNICA ISUMI CORDONI JARA

Para optar al Grado Académico de:

Ingeniero Civil

Cusco – Perú

2018

DEDICATORIA

A Dios, por su infinita bondad y amor, además de permitirme llegar hasta aquí y haberme dado salud para lograr este objetivo.

A mis padres, Esther y Roberto, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, valores, motivación, perseverancia y constancia para salir adelante, pero sobre todo por su amor incondicional.

A mi familia, mis primos, Dámaris, André y Liliana por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

Le doy gracias a Dios y a mis padres, por todo el apoyo brindado a lo largo de este camino, por ser un ejemplo de vida y por ser la principal motivación para seguir adelante.

Agradezco la confianza, apoyo y dedicación de tiempo a los ingenieros: Washington Esquivel, Carlos Fernandez Baca, José Azpilcueta e Ignacio Solis. Por haber compartido conmigo sus conocimientos y sobre todo su amistad.

Gracias a todos mis amigos, por compartir los buenos y malos momentos juntos.

CONTENIDO

RESUMEN.....	10
ABSTRACT	11
CAPITULO I : GENERALIDADES	12
CAPITULO II :PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
2.1 Situación problemática	13
2.2 Formulación del problema	14
2.3 Justificación de la investigación	14
2.4 Objetivos de la investigación.....	14
a.Objetivo General	14
b.Objetivos Específicos	14
2.5 Limitaciones y viabilidad de la investigación	15
CAPITULO III: MARCO TEORICO CONCEPTUAL.....	16
3.1 Antecedentes.....	16
3.1.1 Antecedentes del estudio	16
3.1.2 Reseña histórica de los geosintéticos y los geotextiles en particular	18
3.1.3 Clasificación de los geotextiles	19
3.1.3.1 Clasificación según su método de fabricación	19
3.1.3.2 Clasificación de los geotextiles según su composición.....	20
3.1.3 Funciones de los geotextiles	20
3.2 Bases teóricas y definiciones conceptuales	21
3.2.1 Uso de geotextiles como refuerzo de pavimentos	21
3.2.2 Uso de geotextiles como separación en estructuras de pavimentos	23
3.2.3 Definiciones generales	24
3.2.4 Análisis de esfuerzos de tensión con geotextiles	25
3.2.5 Metodologías de diseño con Geotextiles Tejidos y No Tejidos.....	28
3.2.5.1 Diseño con Geotextiles Tejidos	28
3.2.5.2 Diseño con Geotextiles No Tejidos	31
3.2.6 Método para la determinación de la carga de rotura y la elongación de geotextiles (Método Grab) ASTM D-4632, INV E – 901.....	33

CAPITULO IV: HIPOTESIS Y VARIABLES	35
4.1 Formulación de hipótesis.....	35
4.1.1 Hipótesis Principal.....	35
4.2 Identificación de variables de estudio.....	35
4.2.1 Variables Independientes.....	35
4.2.2 Variables Dependientes	35
4.2.3 Operacionalización de variables	35
CAPITULO V: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	36
5.1 Tipo de investigación.....	36
5.2 Método de la investigación.....	36
5.3 Naturaleza de los datos	36
5.4 Las fuentes	36
5.5 El lugar.....	37
5.6 Ensayos de control	37
5.6.1 Ensayos para el material de terreno de fundación y subbase	37
5.6.2 Ensayos en geotextiles.....	37
5.6.3 Ensayos con material de terreno de fundación – subbase con geotextiles tejidos y no tejidos	37
CAPITULO VI :GEOLOGIA.....	39
6.1 Cantera Huillque	39
6.1.2 Accesibilidad	40
6.2.1 Ubicación de la Cantera	41
6.2.2 Accesibilidad	41
6.3 Terreno de fundación	43
6.3.2 Accesibilidad	44
6.3.3 Propietario	44
6.3.4 Geología.....	44
CAPITULO VII: ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS Y GEOTEXTILES.....	46
7.1 Normas utilizadas	46
7.2 Lista de ensayos utilizados	46
7.3 Requerimientos para material de subbase	46
7.4 Requerimientos para material de subrasante	48

7.5 Ensayos de laboratorio	49
7.5.1 Generalidades.....	49
7.5.2 Materiales de cantera	49
7.5.3 Geotextiles.....	49
7.5.4 Propiedades de los geotextiles tejidos y no tejidos.....	50
7.5.5 Ensayos de laboratorio	52
7.6 Propiedades físicas, mecánicas y químicas del material de terreno de fundación, subbase y geotextiles	62
7.6.1 Resumen de resultados – material de subbase y subrasante	62
7.6.2 Resumen de resultados – geotextiles	62
7.7 Observaciones, conclusiones y recomendaciones.....	63
7.7.1 Observaciones	63
7.7.2 Conclusiones y recomendaciones	63
7.7.2.1 Conclusiones	63
7.7.2.2 Recomendaciones	64
CAPITULO VIII: APLICACIÓN DE GEOTEXIL TEJIDO Y NO TEJIDO EN LA INTERFAZ TERRENO DE FUNDACION – SUBBASE.....	65
8.1 Planteamiento de aplicación	65
8.1.1 Ubicación del eje neutro y zona de tracción.....	65
8.1.2 Análisis con Software Kenlayer.....	67
8.1.3 Elección del tipo de Strain Gauge.....	70
8.1.4 Dispositivo de Lectura de Strain Gauge y diales de deformación	71
8.2 Ensayo del modelo	72
8.2.1 Objetivo	72
8.2.2 Finalidad.....	72
8.2.3 Referencias Normativas	72
8.2.4 Equipos y materiales.....	72
8.2.5 Muestra	72
8.2.6 Procedimiento	73
8.2.7 Cálculos	76
8.3 Resultados del ensayo.....	76

8.3.1 Resultados del ensayo Sin geotextil.....	79
8.3.1.1 Con Material de Subbase de la Cantera Huillque	79
8.3.1.2 Con Material de Subbase de la Cantera Vicho	80
8.3.2 Resultados del ensayo con Geotextil Tejido	81
8.3.2.1 Con Material de Subbase de la Cantera Huillque	81
8.3.2.2 Con Material de Subbase de la Cantera Vicho	82
8.3.3 Resultados del ensayo con Geotextil No Tejido	83
8.3.3.1 Con Material de Subbase de la Cantera Huillque	83
8.3.3.2 Con Material de Subbase de la Cantera Vicho	84
8.4 Análisis del Ensayo	85
8.4.1 Análisis por Canteras	85
8.4.1.1 Cantera Huillque.....	86
8.4.1.2 Cantera Vicho	86
8.4.2 Análisis por Tipo de Geotextil	87
8.4.2.1 Geotextil Tejido T2400	87
8.4.2.2 Geotextil No Tejido NW030M.....	87
8.5 Observaciones, conclusiones y recomendaciones.....	89
8.5.1 Observaciones	89
8.5.2 Conclusiones y recomendaciones	89
8.5.2.1 Conclusiones	89
8.5.2.2 Recomendaciones	89
CAPITULO IX :ANALISIS DE RELACION BENEFICIO-COSTO CON EL USO DE GEOTEXTILES TEJIDOS Y NO TEJIDOS EN LA INTERFAZ TERRENO DE FUNDACION – SUBBASE.....	91
9.1 Con Geotextil Tejido T2400 – PAVCO	91
9.1.1 Cantera Huillque	91
9.1.2 Cantera Vicho	101
9.2 Con Geotextil No Tejido NW030M – PAVCO.....	110
9.2.1 Cantera Huillque	110
9.2.2 Cantera Vicho	115
9.3 Cuadros comparativos del analisis Beneficio – Costo.....	119

CONCLUSIONES.....	120
RECOMENDACIONES.....	122
OBSERVACIONES	123
BIBLIOGRAFIA.....	124
ANEXO N°01: MATRIZ DE CONSISTENCIA	126
ANEXO N°02: ENSAYOS DE LABORATORIO.....	128
ANEXO N°03: STRAIN GAUGE – SENSOR DE DEFORMACION	158
ANEXO N°04: DISPOSITIVO DE LECTURA DE STRAIN GAUGE.....	163
ANEXO N°05: ASTM D 4632 – ENSAYO DE TENSION GRAB.....	174
ANEXO N°06: FOTOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO	179
ANEXO N°07: ENCOFRADO METÁLICO.....	192
ANEXO N°08: ENCOFRADO DE MADERA	194
ANEXO N°09: RESULTADOS DE UN ENSAYO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES (CANTERA VICHO – GEOTEXTIL TEJIDO)	196

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Funciones principales de algunos geosintéticos	19
Tabla 2: Factores de reducción para geotextiles en aplicaciones de separación y refuerzo.....	30
Tabla 3: Valores de f (ε)	33
Tabla 4: Ubicación de la Cantera Huillque.....	39
Tabla 5: Ubicación de la Cantera Vicho.....	41
Tabla 6: Ubicación del material para terreno de fundación	43
Tabla 7: Lista de ensayos utilizados	46
Tabla 8: Requerimientos Granulométricos para Subbase Granular.....	47
Tabla 9: Requerimientos de Ensayos Especiales Subbase Granular.....	47
Tabla 10: requisitos mínimos para los diferentes tipos de pavimentos.....	48
Tabla 11: Función – CBR de geotextiles Tejidos y No Tejidos	49
Tabla 12: Especificaciones de Geotextiles Tejidos y No Tejidos	50
Tabla 13: Geotextil Tejido T2400 - PAVCO	51
Tabla 14: Geotextil No Tejido NW030M - PAVCO.....	51
Tabla 15: Clasificación de los suelos según tamaño de partículas	52
Tabla 16: Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad	53
Tabla 17: Clasificación de suelos según Índice de Grupo.....	54
Tabla 18: Correlación de Tipos de suelos AASHTO – SUCS	54
Tabla 19: Masa de la carga de ensayo de acuerdo a la gradación.....	55
Tabla 20: Gradación de las muestras de ensayo	55
Tabla 21: Ensayo de compactación proctor modificado, Método “A”	56
Tabla 22: Ensayo de compactación proctor modificado, Método “B”.....	56
Tabla 23: Ensayo de compactación proctor modificado, Método “C”	57
Tabla 24: Clasificación de suelos según Equivalente de Arena	57
Tabla 25: Categorías de Subrasante	60
Tabla 26: Cantidad de muestra y aforo.....	60
Tabla 27: Resumen de Resultados – ensayos de Canteras	62
Tabla 28: Resumen de Resultados – ensayos con geotextiles	62
Tabla 29: Datos de entrada para el análisis con Software KENLAYER.....	68
Tabla 30: Resultados de Esfuerzos con Software KENLAYER	68
Tabla 31: Resultados de Deformaciones con Software KENLAYER	69
Tabla 32: Resultados de Esfuerzos con Software KENLAYER	69
Tabla 33: Resultados de Deformaciones con Software KENLAYER	70
Tabla 34: Resultados de esfuerzos y deformaciones – Cantera Huillque.....	86
Tabla 35: Resultados de esfuerzos y deformaciones – Cantera Huillque, en porcentajes.....	86
Tabla 36: Resultados de esfuerzos y deformaciones, Cantera Vicho.....	86
Tabla 37: Resultados de esfuerzos y deformaciones – Cantera Viho, en porcentajes.....	86
Tabla 38: Resultados de esfuerzos y deformaciones en GT2400.....	87
Tabla 39: Variación de esfuerzos y defromaciones GT2400.....	87
Tabla 40: Resultados de esfuerzos y deformaciones NW030M.....	87
Tabla 41: Variación de esfuerzos y deformaciones, NW030M.....	87
Tabla 42: Variación de esfuerzos y deformaciones de GT2400 y NW030M.....	88
Tabla 43: Datos de entrada para el calculo del SN	92
Tabla 44: Resultados de esfuerzos y deformaciones	97
Tabla 45: Alternativa 01, varía espesor de subbase granular a 30cm	97
Tabla 46: Resultados de esfuerzos y deformaciones – Alternativa 1.....	97

Tabla 47: Resultados de esfuerzos y deformaciones – Alternativa 1.....	98
Tabla 48: Alternativa 02, varía espesor de subbase granular a 20cm	98
Tabla 49: Resultados de esfuerzos y deformaciones – Alternativa 2.....	99
Tabla 50: Resultados de esfuerzos y deformaciones – Alternativa 1.....	99
Tabla 51: Datos de Entrada para el cálculo del SN, Cantera Vicho.....	102
Tabla 52: Resultados de esfuerzos y deformaciones.....	107
Tabla 53: Alternativa 01, varía espesor de subbase granular a 20cm	107
Tabla 54: Resultados de esfuerzos y deformaciones – Alternativa 1.....	107
Tabla 55: Resultados de esfuerzos y deformaciones – Alternativa 1.....	108
Tabla 56: Datos de Entrada para el cálculo del SN	111
Tabla 57: Estructura de la vía con geotextil	114
Tabla 58: Estructura de la vía sin geotextil	114
Tabla 59: Datos de Entrada para el cálculo del SN	115
Tabla 60: Estructura de la vía con geotextil	119
Tabla 61: Estructura de la vía sin geotextil	119
Tabla 62: Análisis Beneficio – Costo de geotextil Tejido T2400.....	119
Tabla 63: Análisis Beneficio – Costo de geotextil No Tejido NW030M.....	119

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema de funcionamiento del deflectómetro de impacto.....	16
Figura 2: Modelo estructural de referencia para la modelación del cuenco de deflexión del camión C3S3.....	17
Figura 3: Sección transversal de una estructura de pavimento sin y con geotextil de separación (Interfaz SR - C. Granular).	24
Figura 4: sección transversal típica de una estructura de pavimento.	24
Figura 5: Forma del geotextil deformado	26
Figura 6: Mecanismos de falla	27
Figura 7: Condición crítica trabajo del geotextil.	27
Figura 8: Geotextil de separación- Resistencia a la tensión (GRAB).....	32
Figura 9: Ubicación Cantera Huillque con referencia a la provincia de Ancahuasi.....	39
Figura 10: Ubicación Cantera Huillque con referencia a la Estación de Peaje de Ccasacancha, Ancahuasi, Anta. Ubicado en la carretera principal Cusco - Abancay	39
Figura 11: Ubicación de la cantera Huillque en el mapa geológico de la región del Cusco	40
Figura 12: Ubicación Cantera Vicho con referencia al distrito de Huacarpay	41
Figura 13: Ubicación de la cantera Vicho en el mapa geológico de la región del Cusco	42
Figura 14: Ubicación del Material del Terreno de Fundación en la FIC	43
Figura 15: Ubicación del material de terreno de fundacion en el mapa geológico de la región del Cusco.....	44
Figura 16: denominación del ancho, largo y espesor de una partícula	58
Figura 17: uso del calibrador proporcional.....	58
Figura 18: Viga 01 y Viga 02 de dimensiones propuestas – sección transversal	65
Figura 19: Ubicación del eje neutro, a 15.9 cm de la base.....	66
Figura 20: separación de la zona de compresión y tracción	66
Figura 21: configuración Terreno de fundación – Subbase, sin geotextil.	66
Figura 22: configuración Terreno de fundación – Subbase, con geotextil no tejido.	67
Figura 23: configuración Terreno de fundación – Subbase, con geotextil tejido.	67
Figura 24: Representación del análisis con KENLAYER - Cantera Huillque	68
Figura 25: Representación del análisis con KENLAYER - Cantera Vicho	69
Figura 26: distribución y el area afectada por los esfuerzos en la interfaz subrasante - subbase	70
Figura 27: Strain Gauge, Serie C	71
Figura 28: Dispositivo Registrador	71
Figura 29: Subrasante compactada de 10cm de espesor.	73
Figura 30: Encofrado metálico de 80cm x 20cm x 30cm armado encima de la subrasante compactada	73
Figura 31: Material de subrasante compactada al 100% con espesor de 5cm.....	74
Figura 32: Geotextil tendido y ligeramente tensado longitudinalmente.....	74
Figura 33: Ubicación del Strain Gauge encima del geotextil	75
Figura 34: 20cm de Material de Subrasante compactado	75
Figura 35: Vista sin encofrados en los laterales.	76
Figura 36: Carga central distribuida, Seccion 15cm x 15cm	77
Figura 37: Esfuerzo Vertical vs Posición – Cantera Huillque Sin Geotextil	79
Figura 38: Esfuerzo Radial vs Deformación unitaria Radial – Cantera Huillque Sin Geotextil	79
Figura 39: Esfuerzo Vertical vs Posición – Cantera Vicho Sin Geotextil	80
Figura 40: Esfuerzo Radial vs Deformación unitaria Radial – Cantera Vicho Sin Geotextil	80
Figura 41: Esfuerzo Vertical vs Posición – Cantera Huillque con Geotextil Tejido	81

Figura 42: Esfuerzo Radial vs Deformación Radial – Cantera Huillque con Geotextil Tejido.....	81
Figura 43: Esfuerzo Vertical vs Posición – Cantera Vicho con Geotextil Tejido	82
Figura 44: Esfuerzo Radial vs Deformación unitaria Radial - Cantera Vicho con Geotextil Tejido	82
Figura 45: Esfuerzo Vertical vs Posición – Cantera Huillque con Geotextil No Tejido	83
Figura 46: Esfuerzo Radial vs Deformación unitaria Radial - Cantera Huillque con Geotextil No Tejido	83
Figura 47: Esfuerzo Vertical vs Posición – Cantera Vicho con Geotextil No Tejido	84
Figura 48: Esfuerzo Radial vs Deformación unitaria Radial – Cantera Vicho con Geotextil No Tejido	84
Figura 49: ubicación de esfuerzos y deformaciones en la configuración de pavimento flexible...	85
Figura 50: Cálculo del Número Estructural con las Ecuaciones AASHTO 93.....	92
Figura 51: Configuración de la Estructura de Pavimento Flexible.....	93
Figura 52:Configuración de la Estructura de Pavimento Flexible para el cálculo de esfuerzos y deformaciones	93
Figura 53: Introducción de la información general.....	94
Figura 54: Distancia Vertical de la coordenada de análisis	94
Figura 55: Espesor de Capas y coeficientes de poisson.....	95
Figura 56: Módulo de Elasticidad	95
Figura 57: Datos de radio de contacto, presión de contacto	96
Figura 58: Configuración final del análisis	96
Figura 59: Comparación de la estructura de pavimento con y sin geotextil – Cantera Huillque	100
Figura 60: Análisis de Precio Unitario – Subbase granular compactada en obra, Cantera Huillque	100
Figura 61: Cálculo del Número Estructural con las Ecuaciones AASHTO 93 – Cantera Vicho .	102
Figura 62: Configuración de la Estructura de Pavimento Flexible – Cantera Vicho	103
Figura 63: Configuración de la Estructura de Pavimento Flexible para el cálculo de esfuerzos y deformaciones – Cantera Vicho	103
Figura 64: Introducción de la información general (Número de Capas, número de coordenadas de análisis).....	104
Figura 65: Distancia Vertical de la coordenada de análisis	104
Figura 66: Espesor de Capas y coeficientes de poisson.....	105
Figura 67: Módulo de Elasticidad	105
Figura 68: Datos de radio de contacto, presión de contacto	106
Figura 69: Configuración final del análisis	106
Figura 70: Comparación de la estructura de pavimento con y sin geotextil – Cantera Vicho....	109
Figura 71: Análisis de Precio Unitario – Subbase granular compactada en obra	109
Figura 72: Configuración de la Estructura de Pavimento Flexible.....	110
Figura 73: Cálculo de los ejes equivalentes con las Ecuaciones AASHTO 93	111
Figura 74: Cálculo de los ejes equivalentes con el número estructural reducido	112
Figura 75: Comparación de la estructura de pavimento con y sin geotextil de separación – Cantera Vicho	114
Figura 76: Configuración de la Estructura de Pavimento Flexible.....	115
Figura 77: Cálculo de los ejes equivalentes con las Ecuaciones AASHTO 93	116
Figura 78: Cálculo de los ejes equivalentes con el número estructural reducido	117
Figura 79: Comparación de la estructura de pavimento con y sin geotextil de separación – Cantera Vicho	118

RESUMEN

El trabajo de investigación con el uso de geotextiles en pavimentos flexibles nace de la idea de analizar mediante ensayos de laboratorio los esfuerzos y deformaciones dentro de la configuracion del pavimento con ayuda de strain gauges (galgas extensiométricas), para posteriormente plantear una alternativa de diseño técnico y económico a largo plazo, acorde a nuestra realidad.

Se realizaron ensayos de laboratorio utilizando dos canteras de subbase simulando la configuración de un pavimento flexible fabricando vigas con dimensiones de 25 x 20 x 80cm, que simulan la interfaz terreno de fundacion-subbase, y de esa manera hacer el análisis de esfuerzos y deformaciones con y sin geotextiles tejidos y no tejidos mediante la utilización de strain gauges ubicados en dicha interfaz. Estos resultados pueden ser aplicados con la metodología de diseño, que se basa en el análisis de deformaciones y los esfuerzos que se presentan en la estructura de pavimento.

Los esfuerzos de tensión originados en la interfaz analizada varian de acuerdo a la cantera y al tipo de geotextil, esto influye directamente en la metodología de diseño, ya que el espesor de la subbase disminuye hasta en un 50%, la vida util incrementa y se produce un ahorro de hasta el 40% en costos gracias a la instalacion de un geotextil como elemento de refuerzo y separacion en una estructura de pavimento flexible.

Con el resultado de la reduccion del espesor de la capa granular de subbase en un 50% se pueden evaluar las diferentes alternativas de diseño al utilizar un geotextil de refuerzo sobre la subrasante, evaluando las posibilidades del mejoramiento de las propiedades de los materiales granulares o el incremento de transito de diseño o el aumento de la vida util de la estructura.

ABSTRACT

The investigation with geotextiles in flexible pavements, occurs as a result of analyzing with laboratory tests the stresses and strains. The analysis was done using strain gauges. Then an alternative of technical and economic design in the long term will be developed according to our reality.

Laboratory tests were made using two materials as a subbase simulating the configuration of flexible pavements. Beams of 25 x 20 x 80cm were made representing the foundation-subbase ground interface. The analysis of stresses and strains with and without woven and nonwoven geotextiles will be made by using strain gauges located in the interface. These results can be applied with the design methodology, which is based on the analysis of strains and the stresses that arise in the pavement structure.

The tensile stresses, originated in the analyzed interface, change according to the material and the geotextile type. It influences the design methodology, because the thickness of the subbase decreases up to 50%, the useful life increases and there can be a savings of up to 40% in costs thanks to the installation of a geotextile as an element of reinforcement and separation in a flexible pavement structure.

Finally, with the reduction of the thickness of the granular subbase layer by 50%, the different design alternatives can be evaluated by using a reinforcing geotextile on the subgrade, analyzing the possibilities of improving the properties of the granular materials or the increase in traffic of design or the increase of the useful life of the structure.

CAPITULO I : GENERALIDADES

TITULO:

“La Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de Geotextiles Tejidos y No Tejidos y los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles, Cusco 2018”

AREA DE INVESTIGACIÓN:

El trabajo de investigación se realizará en la línea de Geotecnia – Pavimentos

AUTOR:

Bach. Cordoni Jara, Verónica Isumi

INSTITUCIÓN:

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco
Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil
Escuela Profesional de Ingeniería Civil

LOCALIZACIÓN:

REGION : CUSCO
PROVINCIA : CUSCO
DISTRITO : CUSCO

ASESOR:

Mgt. Ing. Martin Washington Esquivel Zamora

JURADOS:

M.Sc.Ing. Carlos Fernandez Baca Vidal
Mgt. Ing. Ignacio Fructuoso Solis Quispe
Ing. Jose Felipe Azpilcueta Carbonell

CAPITULO II : PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 Situación problemática

En los últimos años, el uso de los geotextiles en diversos campos de la ingeniería se ha visto incrementado de una forma considerable debido a las ventajas que ofrecen, como son la de refuerzo de una capa de suelo (parte de la configuración del pavimento) y la separación de dos capas del mismo para evitar la mezcla de dos suelos distintos.

En el Perú existen catálogos y manuales técnicos que incluyen las especificaciones técnicas de las propiedades mecánicas de los geotextiles. Esta información se da de manera general, por lo tanto, los valores enunciados no garantizan las condiciones adecuadas de uso que puedan tener.

Desde el punto de vista estructural, la degradación de las capas granulares, la mezcla de suelos de distintas características y el comportamiento mecánico del suelo de subsasante son factores que influyen en el deterioro de las vías, lo cual conlleva a la reducción de la capacidad portante de todo el sistema. Cuando se aplican cargas externas sobre las vías, el refuerzo de suelos mediante el uso de geotextiles permitirá la aplicación de cargas mayores y un aumento de la vida útil de la estructura del pavimento.

Las propiedades mecánicas de los geotextiles están definidas por el comportamiento de tensión – elongación, donde la deformación lateral del geotextil es restringida. El método de ensayo Grab que se utilizará en la presente investigación permitirá obtener la resistencia a la tensión en términos de fuerza y la elongación del mismo; debiendo superar o igualar los valores establecidos en las especificaciones técnicas del material.

En una vía, la aplicación de carga se debe principalmente al tránsito vehicular de donde la respuesta del pavimento ante la aplicación de dicha carga produce un estado de tensiones y deformaciones en las interfaces de la estructura del pavimento, con lo cual los desplazamientos que ocurren son en sentido vertical en magnitudes muy pequeñas del orden de centésimas o milésimas de milímetro (AASHTO, 1993). Por lo tanto, es necesario entender que, ante la aplicación de una carga vehicular, si bien se produce una deflexión máxima sobre el punto de aplicación, alrededor de esta zona también se produce desplazamientos verticales de la superficie lo que produce el cuenco de deflexión.

Es entonces, como se ha detectado que la elongación de geotextiles influirá en los esfuerzos de tensión de toda la estructura. Sobre todo en la interfaz terreno de fundación – subbase. Así mismo, se podrá determinar las tensiones, las deformaciones y los desplazamientos en la interfaz analizada con lo cual será posible realizar la evaluación y el diseño de las estructuras de pavimento flexible.

2.2 Formulación del problema

a. Problema General

- ¿Cómo la Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de geotextiles tejidos y no tejidos influyen en los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles?

b. Problema específico

- ¿Cómo la Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de geotextiles tejidos y no tejidos influyen en los esfuerzos de tensión en la interfaz terreno de fundación – subbase, de pavimentos flexibles?

2.3 Justificación de la investigación

La ventaja del uso de geotextiles como refuerzo de base hace que se incremente la capacidad portante del suelo. Así mismo, los geotextiles contribuyen a una mejor distribución de las cargas producidas por el tráfico y en el caso específico de geotextiles no tejidos separan las capas de subrasante y material granular.

A través del aumento de la capacidad de soporte de una capa, se pueden reducir los espesores necesarios para el caso de bases y subbases. Esto conlleva un ahorro en el costo final de transporte de material, en el caso en el que exista escasez del material por la zona (por ejemplo, en la selva).

Con respecto al criterio de durabilidad, los geotextiles por ser un material fabricado de polipropileno, no son biodegradables, son altamente resistentes al ataque químico como por ejemplo en el manejo de lixiviados.

Se analizará la influencia de la propiedad mecánica de carga de rotura y la elongación del geotextil por el Método Grab en los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles, implementando a la maquina universal unas mordazas de fabricación propia para la realización de dichos ensayos.

2.4 Objetivos de la investigación

a. Objetivo General

- Analizar la influencia de la Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de geotextiles tejidos y no tejidos en los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles.

b. Objetivos Específicos

- Determinar la Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de un tipo de geotextil tejido y uno no tejido empleando la Máquina Universal de ensayos.

- Analizar la influencia de la Carga de Rotura y Elongación por el Método Grab de geotextiles tejidos y no tejidos en los esfuerzos de tensión en la interfaz terreno de fundación – subbase, de pavimentos flexibles.

2.5 Limitaciones y viabilidad de la investigación

Los resultados de la investigación estarán limitados al estudio de geotextiles tejidos de la serie T y no tejidos de la serie NW (Geosistemas PAVCO).

Viabilidad

- Para el cálculo de las deformaciones en la interfaz analizada se hará uso del Software Kenlayer, que calculará los esfuerzos y deformaciones en un sistema de múltiples capas bajo un área cargada circular.
- Para el registro de datos de los strain gauges (sensores de deformación), se empleará un dispositivo de lectura, este a su vez tendrá un Software que almacenará los datos en formato CSV (similar al excel) (Ver Anexo N°04).
- Los geotextiles tejidos y no tejidos que se utilizarán en este proyecto de investigación se encuentran disponibles en el mercado y es de fácil adquisición.
- El laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil cuenta con la Máquina Universal de Ensayos, en la cual se realizarán los ensayos de Carga de Rotura y la Elongación de geotextiles de acuerdo a la ASTM D-4632. Para lo cual, se fabricarán y acoplarán mordazas especiales de 25.4mm por 50.8mm.
- Además, se realizarán ensayos para el cálculo de esfuerzos y deformaciones simulando una configuración de terreno de fundación - subbase en forma de una viga apoyada en una subrasante simulando la continuación de esta, los ensayos se harán sin refuerzo y con refuerzo de Geotextiles Tejidos y No Tejidos.
- El uso de strain gauges (sensores de deformación) facilitarán las mediciones de los esfuerzos y deformaciones producidas en la interfaz de análisis.

CAPITULO III: MARCO TEORICO CONCEPTUAL

3.1 Antecedentes

3.1.1 Antecedentes del estudio

Para el presente trabajo de investigación, no se encontró antecedentes del estudio relacionados al cálculo o análisis de los esfuerzos y deformaciones en la interfaz terreno de fundación– subbase con el uso de geotextiles tejidos o no tejidos, sin embargo, se citan dos artículos que abordan el tema de la resistencia de la subrasante y la capacidad estructural de una estructura de pavimentos con información del deflectómetro de impacto; así como también, los cuencos de deflexión producidos en estructuras de pavimentos flexibles.

El artículo “**Caracterización de la resistencia de la subrasante con la información del deflectómetro de impacto**” - Carlos Hernando Higuera Sandoval - Revista Facultad de Ingeniería, UPTC vol. 19, Colombia 2006; recopila las diferentes metodologías para caracterizar la resistencia de la subrasante y la capacidad estructural efectiva de una estructura de pavimento con la información del deflectómetro de impacto. Esto es posible mediante procesos de retrocálculo, con los cuales, si se emplea la metodología propuesta por AASHTO 1993, se obtienen parámetros conocidos como el Módulo Resiliente de la Subrasante (M_r), el Módulo Equivalente del Pavimento (E_p) y el Número Estructural Efectivo (SN).

El deflectómetro de impacto se fundamenta en la generación de una onda de carga en el pavimento o sobre la capa por estudiar. La onda es ocasionada por el impacto de la caída de una masa, y es transmitida al pavimento por medio de un sistema de amortiguadores elásticos apoyados sobre una placa de carga (ver figura N°01)

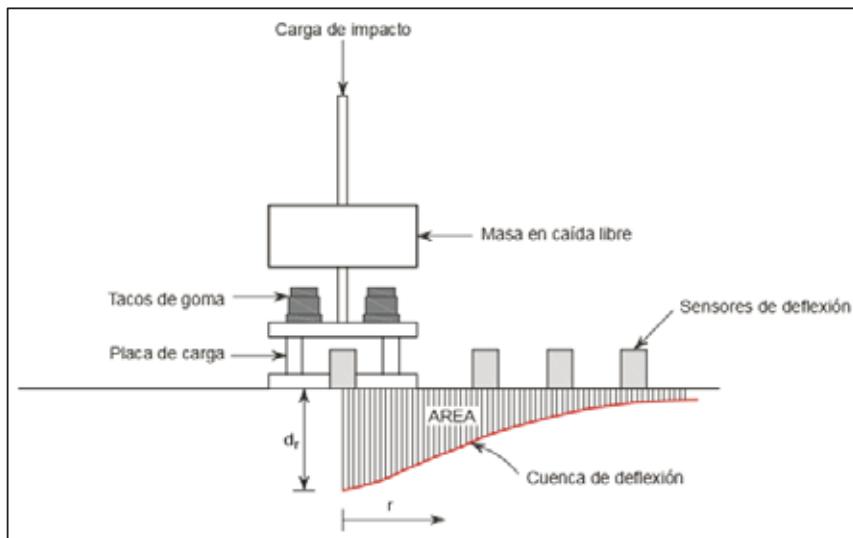


Figura 1: Esquema de funcionamiento del deflectómetro de impacto.
Fuente: Internet|Falling Weight Deflectometer

Tanto la masa como su altura de caída y el sistema de amortiguadores elásticos pueden ser variados, para generar el impacto deseado en el pavimento o en la subrasante por evaluar. Los sensores, generalmente, se localizan a una distancia “r” de 0, 30, 60, 90, 120, 150 y 180 cm, medida entre el eje de carga del sistema y el sitio de ubicación de cada sensor. La deflexión “dr” registrada por un sensor ubicado a una distancia “r” del eje de carga es debida a la deformación de la porción del pavimento que se encuentra dentro de la zona de tensión generada por el impacto sobre el pavimento o la subrasante.

Conocida la carga, la relación de Poisson de la subrasante, el diámetro del plato de carga y la deflexión, se puede calcular el valor del módulo resiliente de la subrasante en pavimentos flexibles y el módulo de reacción de la subrasante en pavimentos rígidos, así como el de las distintas capas de una estructura del pavimento, mediante el procedimiento conocido como retrocálculo o cálculo inverso.

Como parte de las conclusiones del artículo, se destaca que con la información del cuenco de deflexión obtenido con el deflectómetro de impacto se puede calcular la capacidad estructural de un pavimento en servicio, mediante el parámetro denominado número estructural efectivo – S_{Nefec}. Este parámetro es básico para determinar el refuerzo o la rehabilitación de una estructura de pavimento, tal como lo definen las metodologías de la AASHTO-93, Yonapave y Rohde.

El artículo **“Los cuencos de deflexión en estructuras de pavimentos flexibles” - Carlos Hernando Higuera Sandoval, Colombia 2009**; tiene como objeto mostrar el efecto de la máxima carga del camión tipo tractor – remolque C3 - en la deflexión de una estructura de pavimento flexible de referencia, constituida por una capa de rodadura asfáltica, una capa de base granular, y una capa de subbase granular, apoyado todo el paquete estructural sobre una subrasante. Para la modelación se utilizó el programa BISAR 3.0 de la SHELL.

Los resultados permiten concluir la magnitud de la deflexión que se produce por la aplicación de cargas estáticas de los vehículos sobre una estructura de pavimento flexible.

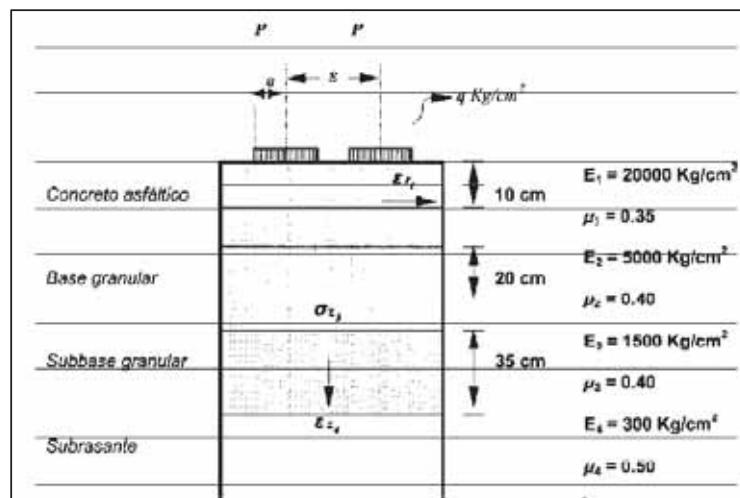


Figura 2: Modelo estructural de referencia para la modelación del cuenco de deflexión del camión C3S3

Fuente: Internet\Falling Weight Deflectomete

3.1.2 Reseña histórica de los geosintéticos y los geotextiles en particular

A lo largo de la historia, el hombre ha intentado aprovechar de la mejor manera posible los materiales disponibles a su alrededor. El suelo, uno de los elementos más utilizados por el hombre, no se ha quedado atrás en este intento por encontrar un material final con mejores características. Es así que podemos encontrar intentos de “suelo reforzado” desde los inicios de la civilización: existen pruebas del uso de troncos con el fin de estabilizar suelos arcillosos o pantanosos, o intentos por construir taludes con una mayor pendiente usando fibras naturales o vegetación como refuerzo.

Sin embargo, el desarrollo de fibras sintéticas hizo posible un mayor desarrollo de esta aplicación ya que ofrecían una ventaja muy importante: las fibras naturales utilizadas eran propensas a la biodegradación por parte de la matriz donde se encontraba mientras que las fibras fabricadas en base a polímeros presentaban una resistencia mucho mayor.

A mediados de mil ochocientos se desarrollan los primeros polímeros sintéticos. Un polímero es una macromolécula (generalmente orgánica) formada por la unión de moléculas más pequeñas llamadas monómeros. Los polímeros naturales más conocidos son el ADN, las proteínas y la celulosa. A partir de estas se desarrollan polímeros sintéticos en laboratorios; dentro de los más usados actualmente podemos mencionar el nylon, el poliestireno, el policloruro de vinilo (PVC), el polietileno, etc.

El uso de estos materiales permitió la creación de una nueva clase de materiales: los geosintéticos. La norma ASTM D4439 define un geosintético como “un material planar fabricado a partir de materiales poliméricos usado en contacto con suelo, roca, tierra u otro material relacionado con la ingeniería geotécnica y que es parte de un proyecto realizado por el hombre”. La estructura, la composición y el comportamiento molecular de los polímeros utilizados para formar este material tienen una influencia directa en sus propiedades físicas, mecánicas, hidráulicas, y en su comportamiento.

Los primeros materiales en desarrollarse fueron los geotextiles, un conjunto de textiles desarrollados como “telas filtrantes”. Estos alcanzaron gran popularidad durante los años 1950s ya que se empezaron a utilizar como una alternativa al uso de material granular en aplicaciones de drenaje y control de erosión. Años después, en Francia, se dan los primeros intentos del uso de geosintéticos en vías no pavimentadas, debajo de balastos (ferrocarriles), dentro de terraplenes y como refuerzo de presas de tierra; en estos casos se buscaba que el material cumpla las funciones de separación y refuerzo.

Otros geosintéticos desarrollados durante los últimos años son: las geomembranas, utilizadas como barreras hidráulicas; las geonets, usadas como redes de drenaje; las geomallas, cuya principal función es el refuerzo; los geocompuestos, resultado de la unión de uno o más geosintéticos; etc.

Como podemos ver, estos materiales cumplen una serie de funciones, buscando un mejor desempeño de la solución propuesta y una alternativa más económica a los materiales tradicionales utilizados en la ingeniería civil.

En la siguiente table podemos ver las funciones principales que cumplen los geosintéticos presentes actualmente en el mercado:

	Geotextil	Geomembrana	Geonet	Geomalla	Geocompuesto
Separación	X				X
Filtración	X				X
Drenaje	X		X		X
Impermeabilización		X			X
Refuerzo	X			X	X

*Tabla 1: Funciones principales de algunos geosintéticos
Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos, Octava Edición*

Los geotextiles se pueden definir como un material textil plano, permeable y polimérico, que se emplea en contacto con suelos y otros materiales para aplicaciones geotécnicas en ingeniería civil. Los polímeros utilizados en la fabricación de geotextiles suelen ser de origen sintético debido a su mayor durabilidad frente a los naturales. Los principales son las poliamidas, poliésteres y las poliolefinas (polietileno y polipropileno).

Las primeras referencias de la utilización moderna de geotextiles datan de los años 60 y se refieren a la construcción de obras marítimas en Holanda. Comenzaron a emplearse en funciones de drenaje y filtración. A partir de ese momento, la tecnología de diseño y aplicación se va desarrollando tanto en Europa como en Estados Unidos y se consiguen nuevas funciones para otros campos de la obra civil, como son el refuerzo y separación del terreno.

Un momento clave en la historia de estos materiales fue la aparición de la palabra “geotextil” en el año 1977. En un Simposio Internacional sobre el empleo de textiles en la Geotecnia celebrado en París, J.P. Giroud bautizó a estos productos con ese nombre. A partir de entonces, se organizan conferencias y congresos para avanzar en el desarrollo tecnológico y la normativa a aplicar sobre estos materiales.

3.1.3 Clasificación de los geotextiles

3.1.3.1 Clasificación según su método de fabricación

a. Geotextiles Tejidos

Son aquellos formados por cintas entrecruzadas en una máquina de tejer. Pueden ser tejidos de calada o tricotados.

Los tejidos de calada son los formados por cintas de urdimbre (sentido longitudinal) y de trama (sentido transversal). Su resistencia a la tracción es de tipo biaxial (en los dos sentidos de su fabricación) y puede ser muy elevada (según las características de las cintas empleadas). Su estructura es plana.

Los tricotados están fabricados con hilo entrecruzado en máquinas de tejido de punto. Su resistencia a la tracción puede ser multiaxial o biaxial según estén fabricados en máquinas tricotadas y circulares, o Ketten y Raschel. Su estructura es tridimensional.

b. Geotextiles No Tejidos

Están formados por fibras o filamentos superpuestos en forma laminar, consolidándose esta estructura por distintos sistemas según cual sea el sistema empleado para unir los filamentos o fibras. los geotextiles no tejidos se clasifican a su vez en:

- Geotextiles No Tejidos ligados mecánicamente o punzonados por agujas
- Geotextiles No Tejidos ligados térmicamente o termosoldados
- Geotextiles No Tejidos ligados químicamente o resinado

3.1.2.2 Clasificación de los geotextiles según su composición

Las fibras que más se emplean son las sintéticas, siendo por ello que siempre tendemos a asociar al geotextil con fibras o filamentos sintéticos. sin embargo, al existir gran diversidad de aplicaciones, también se fabrican con fibras naturales y artificiales.

a. Fibras naturales

Pueden ser de origen animal (lana, seda, pelos...) vegetal (algodón, yute, coco, lino...) que se utilizan para la fabricación de geotextiles biodegradables utilizados en la revegetación de taludes, por ejemplo, en márgenes de ríos etc.

b. Fibras artificiales

Son las derivadas de la celulosa. son el rayón, la viscosa y el acetato.

c. Fibras sintéticas

Cuando al geotextil se le exige durabilidad, se fabrica con fibras o filamentos obtenidos de polímeros sintéticos.

Los geotextiles fabricados con estos polímeros son de gran durabilidad y resistentes a los ataques de microorganismos y bacterias.

Los más empleados son el polipropileno, poliéster, polietileno, poliamida y poliacrílico.

3.1.3 Funciones de los geotextiles

Los geotextiles se caracterizan por desarrollar varias funciones simultáneas una vez colocados en el terreno. Esta propiedad les garantiza una posición ventajosa frente a otros sistemas o productos que existen en el mercado:

- Refuerzo: Aumenta la capacidad portante del suelo y la estabilidad en la construcción.
- Separación: Separa dos capas de suelo de diferentes propiedades físicas (granulometría, plasticidad, consistencia) y así evita la mezcla de materiales
- Filtración: El geotextil retiene las partículas de grano fino al fluir el agua de la capa de grano fino a la capa de grano grueso.
- Drenaje: El geotextil conduce y evacua líquidos (agua) e incluso gases en su mismo plano.
- Protección: El geotextil protege a membranas y otros productos relacionados contra ataques físicos (perforaciones y desgaste). Además de estas funciones, los geotextiles presentan una serie de ventajas que son la causa del espectacular aumento del

empleo de estos productos en todo el mundo a lo largo de los últimos 15 años; entre las más importantes destacan:

- Facilidad de puesta en obra
- Son económicos
- Permiten ahorros de tiempos de ejecución
- Posibilitan soluciones medioambientales correctas
- Ofrecen muchas variantes y posibilidades de uso

3.2 Bases teóricas y definiciones conceptuales

De las cinco funciones ya mencionadas que presentan los geotextiles, se desarrollarán dos de ellas: refuerzo y separación.

3.2.1 Uso de geotextiles como refuerzo de pavimentos

La función de refuerzo de los geotextiles consiste en el complemento y por ende en el mejoramiento de las propiedades mecánicas del suelo. Los geotextiles son materiales con alta resistencia a la tensión y son un buen complemento de aquellos materiales con alta resistencia a la compresión, pero con poca resistencia a la tensión, como ocurre generalmente en los suelos finos y granulares.

Cuando las fuerzas perturbadoras son causadas por el peso propio del suelo, como en el caso de taludes o terraplenes sobre suelos de fundación muy blandos, el refuerzo del suelo con geotextiles permite la construcción de taludes o terraplenes con mayor inclinación. Cuando las fuerzas perturbadoras son causadas por cargas externas, como en las vías, el refuerzo del suelo con geotextiles permite la aplicación de mayores cargas y un aumento de la vida útil de la estructura de pavimento.

Si el CBR de la subrasante es menor que el 3%, entonces se hace uso del geotextil tejido de refuerzo. Por debajo de este valor se presentan deformaciones importantes que generan esfuerzos de tensión en el geotextil, fundamento para la elaboración de la metodología de diseño. si el valor de CBR de la subrasante es mayor o igual a 3% se debe diseñar el geotextil por separación, por lo tanto, se debe chequear la metodología realizada para esta aplicación.

El refuerzo con geotextiles soporta la fuerza de tensión del suelo, disminuyendo la fuerza de corte y aumentando la resistencia al corte del suelo, con el incremento del esfuerzo normal que actúa en las potenciales superficies de corte. en efecto, cuando el suelo se deforma a lo largo de una superficie de ruptura (en cortante), se generan deformaciones a compresión y tracción.

El refuerzo comienza a actuar en forma eficiente cuando su inclinación iguala la dirección en la que se haya desarrollado la deformación a tracción en el suelo deformado, entonces la deformación por corte del suelo causa una fuerza de tensión en el geotextil de refuerzo.

El refuerzo con geotextiles permite además soportar mayores aplicaciones de carga en el suelo y mejorar su capacidad portante, mediante otro mecanismo diferente, que se aplica

cuando el refuerzo se ha deformado lo suficiente para actuar como una membrana a tensión. Cuando se aplica una carga en la superficie de la estructura, una parte de los esfuerzos normales de la fibra inferior de esa capa (parte cóncava) son soportados por la fuerza de tensión de la membrana de geotextil, reduciendo así los esfuerzos aplicados en el suelo que se encuentra bajo el geotextil (parte convexa del geotextil).

Este mecanismo tipo membrana se desarrolla cuando se aplican cargas localizadas y se presentan deformaciones considerables. En el caso particular de las vías, la acción de membrana es muy importante para controlar el ahueamiento en las vías y para prevenir el colapso de un relleno en un hueco o cavidad que se presente en el suelo de fundación.

- Consideraciones para el diseño

La metodología de diseño que se describe a continuación contempla la utilización de geotextiles para el refuerzo de vías, colocados sobre la capa de subrasante o el suelo de fundación de la estructura. el geotextil de refuerzo colocado a nivel de subrasante se escoge técnicamente para mejorar la capacidad portante de todo el sistema, sin embargo, para evaluar el aporte del geotextil de refuerzo se puede hacer el análisis cuantitativo de varias formas.

- Incremento de la capacidad portante de suelo

Para poder incrementar la capacidad portante del sistema que conforman las capas estructurales de la vía, la utilización de un geotextil de refuerzo es la forma más común de introducir ese incremento dentro de las propiedades mecánicas que presenta la capa de subrasante de la vía en estudio.

Suelo saturado, con baja permeabilidad y con un comportamiento no drenado bajo cargas tales como el tráfico, lo que significa que el suelo de subrasante es incompresible y tiene un ángulo de fricción casi nulo. la capacidad portante se puede determinar con el CBR de la subrasante, medido para las condiciones más críticas de densidad y de humedad.

- Reducción de espesores de la capa granular

Otra forma de evaluar los efectos de la utilización de un geotextil de refuerzo sobre la subrasante es mediante la reducción del espesor de la capa granular que conforma la estructura del sistema. esta capa se diseña con el fin de distribuir los esfuerzos generados por la aplicación de cargas en la superficie del pavimento en un área mayor, de tal forma que a nivel de subrasante los esfuerzos no sobrepasen la resistencia a tensión admisible del geotextil para garantizar la estabilidad general de la estructura.

La utilización de un geotextil de refuerzo en la subrasante permite incrementar la capacidad portante de todo el sistema y esto se puede representar con la reducción en el espesor de la capa granular de la estructura de pavimento

- Incremento de la vida útil

Para poder evaluar el incremento de la vida útil de diseño se puede hacer uso de un geotextil de refuerzo. En el diseño inicial, se supone una vida útil y se trabaja con un tránsito estimado correspondiente al número de años de diseño. el tránsito se lleva a un número de ejes equivalentes, con lo que se calculan los esfuerzos y las deformaciones admisibles para

definir la estructura de pavimento. al incrementar la capacidad portante del sistema con la utilización del geotextil se aumentan los valores admisibles de esfuerzos y deformaciones, lo que se puede interpretar como un incremento del número de ejes equivalentes, es decir de la vida útil de la vía.

3.2.2 Uso de geotextiles como separación en estructuras de pavimentos

Cuando el CBR de la subrasante esta entre 3% y 10% se puede hacer uso de un geotextil de separación entre un suelo subrasante y una capa de material granular.

En efecto, dentro de este rango se asume que la deformación del suelo de subrasante no es lo suficientemente importante para generar grandes esfuerzos de tensión en el geotextil, el cual se diseña como separación y no como refuerzo. Cuando el CBR es menor, del 3% el geotextil asume grandes deformaciones y comienza a absorber esfuerzos a tensión que lo inducen a trabajar como refuerzo, factor que afecta totalmente el diseño por separación.

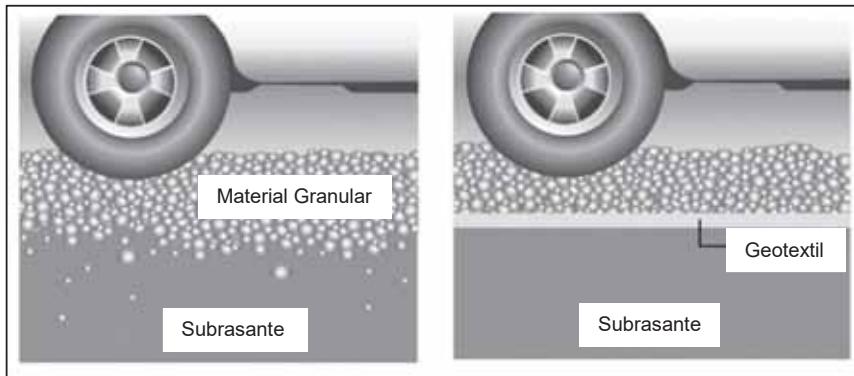
En los casos en que el CBR de la subrasante sea menor del 3% se debe hacer un diseño por refuerzo y verificar los criterios del diseño por separación cuando el geotextil se coloca entre dos materiales de diferentes características.

Para tener un concepto claro del funcionamiento del geotextil como separación en la interfaz subrasante – capas granulares, a continuación, se hace una descripción del proceso que se desarrolla entre dos materiales de diferentes características y comportamiento, y de cómo el geotextil se convierte en una barrera que permite mantener la integridad y el buen funcionamiento de los materiales, mejorando la resistencia y estabilidad de la estructura de la vía.

En el caso de las estructuras de Pavimento, donde se coloca suelo granular (relleno, subbase, base) sobre suelos finos (subrasante) se presentan dos procesos en forma simultánea:

1. Migración de suelos finos dentro del suelo granular, disminuyendo su capacidad de drenaje.
2. Intrusión del suelo granular dentro del suelo fino, disminuyendo su capacidad portante (resistencia).

El geotextil se traduce en una barrera para migración de partículas entre dos tipos de suelo, facilitando la transmisión de agua. Se requiere entonces un geotextil que retenga las partículas de suelo, evite el lavado de finos por la acción del agua y que cumpla con resistencias necesarias para mantener la continuidad sin que ocurra ninguna falla por tensión, punzonamiento o estallido, bajo concentraciones de esfuerzos locales causados por irregularidades en el suelo de fundación.



*Figura 3: Sección transversal de una estructura de pavimento sin y con geotextil de separación
(Interfaz SR - C. Granular).*

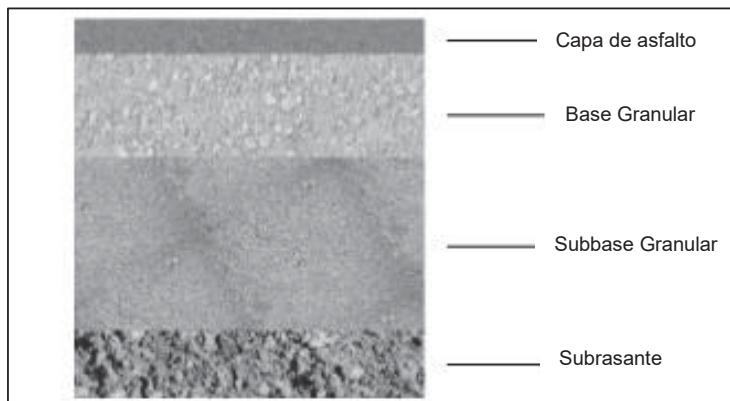
Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos, Octava Edición

3.2.3 Definiciones generales

1. Geometría

En la sección transversal de una vía se define como h_0 el espesor de la capa granular cuando no se utiliza geotextil, como h el espesor de la capa granular cuando hay geotextil y Δh la reducción de espesor de la capa granular que resulta de la introducción de un geotextil a nivel de subrasante.

Para este método analítico se supone que el suelo de subrasante es homogéneo y que tiene un espesor suficiente para desarrollar una zona plástica.



*Figura 4: sección transversal típica de una estructura de pavimento.
Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos, Octava Edición*

$$\Delta h = h_0 - h$$

Donde:

h_0 = Espesor de la capa granular sin geotextil (m)

h = Espesor de la capa granular con geotextil (m)

Δh = Reducción del espesor de la capa granular como resultado del uso de geotextil (m)

2. Eje de carga

Todas las cargas de los vehículos se llevan a un eje simple de carga equivalente, que se utiliza para el desarrollo de la metodología de refuerzo.

3. Material granular

El material granular debe cumplir con las propiedades requeridas para garantizar una adecuada distribución de la carga aplicada, tanto para las capas de subbase granular como de base granular, el material debe cumplir con las exigencias físico-mecánicas correspondientes y con las condiciones de instalación requeridas.

4. Suelo de subrasante

El suelo de subrasante se supone saturado con una baja permeabilidad. Sin embargo, bajo la aplicación de carga rápida como la carga de tráfico, el suelo de subrasante trabaja bajo condición no drenada, por lo tanto, se presentan las siguientes propiedades:

- El suelo de subrasante es incompresible
- El ángulo de fricción es nulo

Bajo este concepto, la resistencia al corte es igual a la cohesión no drenada.

El valor de CBR de la subrasante se obtiene de ensayos de laboratorio, el valor a utilizar debe ser CBR sumergido para trabajar con las condiciones más críticas y desfavorables del material.

3.2.4 Análisis de esfuerzos de tensión con geotextiles

Cuando un material flexible tensionado tiene una forma curva, la presión en la superficie cóncava es mayor que la presión en su cara convexa, lo que se conoce como efecto membrana.

1. Entre las llantas (BB) y en los lados de las llantas (AC), la presión aplicada por el geotextil sobre la subrasante es mayor a la presión aplicada por la capa granular sobre el geotextil.

Bajo las llantas (AB), la presión aplicada por el geotextil sobre la subrasante es menor que la presión aplicada por las llantas más la capa de material granular sobre el geotextil.

El geotextil garantiza entonces dos efectos positivos para el comportamiento de la vía:

- Provee un confinamiento “horizontal” de la subrasante entre y a los extremos de las llantas.
- Permite reducir la presión aplicada por las llantas en el suelo de subrasante.

- Forma del geotextil deformado

La forma de onda del geotextil deformado se da por la condición incompresible del suelo. Se supone que la cantidad de material que se desplaza hacia abajo por el asentamiento que se presenta debe ser igual al volumen de material que se mueve hacia arriba por levantamiento.

La forma del geotextil deformado consiste en secciones de paráolas conectadas a unos puntos localizados en el plano inicial del geotextil (A, B). Además, se supone que el espesor de la capa de material granular no es afectado de forma significativa por la deflexión que sufre la subrasante, por lo tanto se tiene:

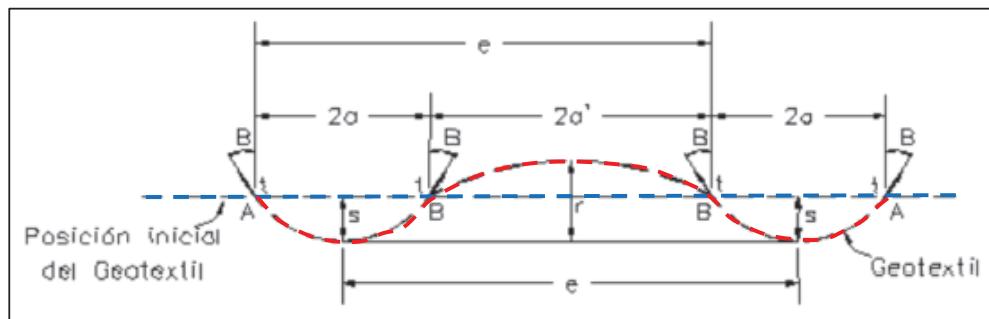


Figura 5: Forma del geotextil deformado
Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos, Octava Edición

- Mecanismos de falla

En una vía, la falla de la estructura puede presentarse en tres sitios diferentes:

- Capa granular
- Suelo de fundación (subrasante)
- Geotextil (si existe)

El método analítico no considera falla de la capa granular, suponiendo que el coeficiente de fricción del material es suficiente para asegurar la estabilidad mecánica de la capa y que el ángulo de fricción del geotextil en contacto con el material granular bajo las llantas es lo suficientemente grande para prevenir el deslizamiento de la capa sobre el geotextil.

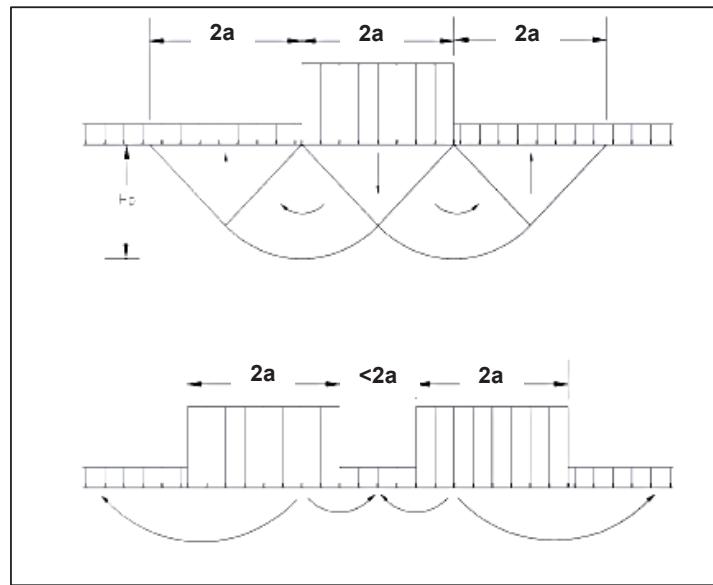


Figura 6: Mecanismos de falla
Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos, Octava Edición

En una estructura vial la falla por deslizamiento del geotextil (o Pullout) es muy difícil que se pueda presentar, ya que la fuerza de anclaje que se genera entre el suelo y el geotextil esta dada por:

$$F_{anclaje} = 2 * \tau * L$$

La longitud L, a lo largo de la cual se desarrolla esta fuerza, es muy grande e influye directamente sobre el valor final de la Fanclaje, por lo que está también se hace muy grande, siendo capaz de soportar cualquier movimiento horizontal que se presente por acción de las cargas.

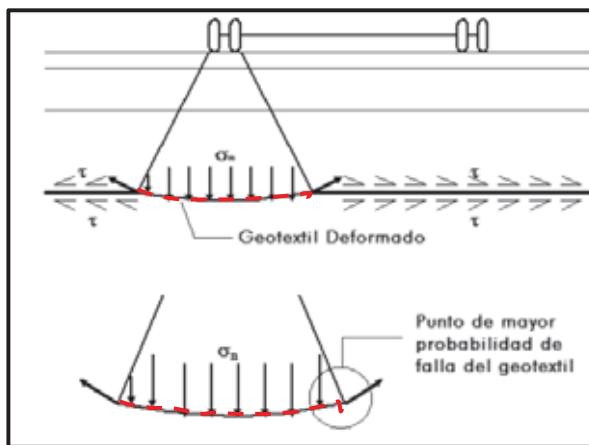


Figura 7: Condición crítica trabajo del geotextil.
Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos, Octava Edición

Cuando inicia la transmisión de esfuerzos (σ_N) sobre el geotextil, se presenta una deformación del mismo por efecto del empuje actuante. La zona que se observa en el detalle es por donde fallaría el geotextil, ya que es el punto crítico cuando dicho geotextil ofrece su mayor trabajo por resistencia a la tensión.

3.2.5 Metodologías de diseño con Geotextiles Tejidos y No Tejidos

3.2.5.1 Diseño con Geotextiles Tejidos

La metodología de diseño que se empleará en la investigación tiene como base la comparación entre la estructura de diseño inicialmente definida y la estructura de diseño reforzada con geotextil. Esta metodología se enfoca hacia la optimización de los espesores de las capas estructurales de la estructura de pavimento, es decir en las capas granulares principalmente, sin modificar los espesores o las características de las capas de concreto (asfáltico o hidráulico).

La metodología permite calcular la reducción del espesor de la capa granular de una estructura de pavimento con base en el análisis de los esfuerzos que se presentan a nivel de subrasante. Este valor permite analizar diferentes alternativas de diseño, evaluando las características de los materiales que conforman la capa granular, del suelo de subrasante, del tráfico de diseño y de la vida útil del pavimento.

Para el cálculo de los esfuerzos normales generados por la estructura de pavimento se emplea el método racional de diseño de pavimentos, en este caso el Software Kenlayer.

Es importante resaltar que el geotextil de refuerzo permite incrementar las condiciones de soporte de la estructura de pavimento como un todo, sin embargo en la metodología de diseño se debe evaluar el aporte del geotextil en la capacidad portante del suelo de subrasante para comparar los resultados del diseño de la vía sin geotextil y del diseño con geotextil.

Procedimiento

Paso 1. Diseño Inicial de la estructura de pavimento

Para hacer la comparación de los diseños sin y con geotextil de refuerzo, se debe conocer el diseño inicial de la estructura de pavimento sin geotextil. La estructura puede ser diseñada por la metodología que estime conveniente. Sin embargo, para obtener la reducción por utilización del geotextil se requiere conocer los parámetros necesarios para realizar la modelación en un programa de diseño racional, para obtener los σ_N (esfuerzos verticales) transmitidos a la subrasante. Dichos parámetros son:

1. Tráfico de diseño, eje de carga de referencia y periodo de diseño.
2. Espesor de las capas, características de los materiales (módulo elástico) y relación de Poisson de cada uno de los materiales que conforman las capas de la estructura.
3. CBR o Cu, relación de Poisson, módulo resiliente del suelo de subrasante.

En este caso, se supone que para el diseño de la estructura de pavimento sin geotextil se han definido las condiciones de drenaje de la vía, se ha calculado el tráfico de diseño de acuerdo a las condiciones reales del proyecto, se han definido las propiedades de los materiales que conforman la estructura de acuerdo con las especificaciones de construcción vigentes y se han realizado todos los ensayos necesarios para caracterizar el suelo de subrasante.

Con los datos anteriormente mencionados se hace la modelación de la estructura sin geotextil en el programa de diseño racional y se calculan los esfuerzos y las deformaciones de las diferentes capas:

- Capas bituminosas: para las capas de materiales bituminosos tales como concreto asfáltico, grava asfáltica, etc, se verifica la deformación a tracción en la fibra inferior de la capa.
- Capas hidráulicas y capas tratadas con materiales hidráulicos: para las capas de concreto hidráulico y los materiales tratados con cemento, cal, ceniza, escoria, etc, se verifica el esfuerzo a tracción en la fibra inferior de la capa.
- Suelos finos y suelos granulares: para las capas de subrasante y las capas granulares se analiza la deformación vertical sobre la capa de subrasante. También se puede verificar la deformación por tracción sobre la capa de subrasante.

El predimensionamiento de la estructura ha sido elaborado por la metodología AASHTO 93, por lo tanto, si se desea realizar la verificación de los datos por la metodología racional, los valores de esfuerzo y deformación calculados (que arroja el programa) se comparan con los valores admisibles correspondientes.

Definición de variables:

E_i	=	Módulo de Elasticidad de la capa i (Kg/cm^2)
h_i	=	Espesor de la capa i (m)
U_i	=	Relación de Poisson de la capa i
ϵ_T	=	Deformación a tracción (m/m)
ϵ_z	=	Deformación vertical (m/m)
σ_T	=	Esfuerzo a tracción (kg/cm^2)

Paso 2. Planteamiento reducción granulares y análisis de la alternativa

Con base a la estructura inicial se plantea una primera alternativa de estructura con reducción de espesor en los materiales granulares conservando las características tanto de los materiales que conforman la estructura como del suelo de subrasante.

Posteriormente, se procede a modelar la primera alternativa planteada de estructura reducida y se tiene en cuenta el valor del esfuerzo normal aplicado a nivel de subrasante que se obtiene, manteniendo los cálculos para el mismo número de ejes equivalentes de diseño.

Paso 3. Esfuerzo normal aplicado

El esfuerzo normal calculado (σ_N , Kg/cm²), se reparte en un área plana, para ser comparado con la resistencia que ofrece el geotextil, punto crítico de falla de geotextil.

Paso 4. Selección del geotextil

Se define el geotextil que se va a utilizar para el refuerzo de la estructura de pavimento y se calcula el valor de la resistencia admisible. Para la selección del geotextil es importante tener en cuenta las propiedades del suelo de subrasante y del material que se va a colocar sobre el geotextil, además de las condiciones de construcción y de instalación.

$$T_{adm} = T_{ult} / (FR_{ID} \times FR_{DQB})$$

Donde:

- T_{adm} = Resistencia admisible para emplear en el diseño
T_{ult} = Resistencia última obtenida en laboratorio
FR_{ID} = Factor de reducción por daños de instalación
FR_{DQB} = Factor de reducción por degradación química y biológica

Los rangos para los factores de reducción se mencionan en la siguiente tabla:

Área	Daños por instalación FR _{ID}	Fluencia FR _{FL}	Degradación Química/Biológica FR _{DQB}
Separación	1.1 a 2.5	1.5 a 2.5	1.0 a 1.5
Caminos no pavimentados	1.1 a 2.0	1.5 a 2.5	1.0 a 1.5
Muros de contención	1.1 a 2.0	2.0 a 4.0	1.0 a 1.5
Terraplenes sobre suelos blandos	1.1 a 2.0	2.0 a 3.5	1.0 a 1.5
Fundaciones	1.1 a 2.0	2.0 a 4.0	1.0 a 1.5
Estabilización de taludes	1.1 a 1.5	2.0 a 3.0	1.0 a 1.5
Ferrocarriles	1.5 a 3.0	1.0 a 1.5	1.5 a 2.0

Tabla 2: Factores de reducción para geotextiles en aplicaciones de separación y refuerzo
Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos, Octava Edición

Paso 5. Cálculo del Factor de Seguridad Global

Se determina el factor de seguridad, el cual debe ser mayor a 1.3, garantizando que el geotextil será capaz de absorber los esfuerzos de tensión presentados sin llegar a la rotura evitando que estos sean transmitidos a la subrasante.

$$FS_g = \text{Resistencia Admisible} / \text{Resistencia Requerida}$$

$$FS_g > 1.3$$

Paso 6. Optimización del diseño con geotextil

Si el factor de seguridad encontrado es alto, se realizan iteraciones del procedimiento descrito a partir del paso 2 de esta metodología, hasta encontrar que el valor hallado se acerca a 1.3 para lograr la optimización del uso del geotextil en estructuras de pavimento.

Paso 7. Cálculo de la disminución de espesor con geotextil de refuerzo

Realizamos la cuantificación en la reducción del espesor de material granular.

3.2.5.2 Diseño con Geotextiles No Tejidos

Este diseño permite escoger el tipo de geotextil adecuado para colocar en la interfaz subrasante – subbase, que tiene como función principal la separación de suelos adyacentes con propiedades y características diferentes y la estabilización de la subrasante durante el periodo de vida útil de la estructura de una vía.

En el caso del diseño por separación, se comparan las resistencias del geotextil con el valor requerido en el diseño para una misma propiedad, obteniendo un factor de seguridad global FS_g.

$$FS_g = \text{Resistencia Admisible} / \text{Resistencia Requerida} \Rightarrow FS_g > 1$$

Donde:

- Resistencia Admisible: Resistencia última del ensayo de laboratorio que simula las condiciones reales del proyecto sobre los factores de reducción.
- Resistencia Requerida: Valor obtenido de una metodología de diseño que simula las condiciones reales del proyecto.

Para los casos en que se determine el factor de seguridad global como parámetro de diseño, se calcula entonces la resistencia requerida (diseño) en función de las especificaciones del geotextil que se vaya a utilizar.

$$\text{Resistencia Requerida} = \text{Resistencia} / FS_g$$

Las especificaciones de los geotextiles se evalúan bajo condiciones ideales de laboratorio, lo que en algunos casos representa altos valores numéricos para el diseño. Los valores obtenidos en el laboratorio se deben modificar para aplicarlos bajo las condiciones in situ de cada proyecto. Para tener en cuenta estos factores, se asume un factor de seguridad parcial FSp que permite ajustar el valor último de laboratorio a las condiciones particulares del terreno, obteniendo un valor admisible que se aplicará en el diseño.

$$T_{adm} = T_{ult} / FR_p$$

$$FS_p = FR_{ID} \times FR_{DQB}$$

Donde:

- | | | |
|------------|---|---|
| T_{adm} | = | Resistencia admisible para emplear en el diseño |
| T_{ult} | = | Resistencia última obtenida en laboratorio |
| FR_p | = | Factor de reducción parcial |
| FR_{ID} | = | Factor de reducción por daños de instalación |
| FR_{DQB} | = | Factor de reducción por degradación química y biológica |

Los rangos para los factores de reducción se mencionan en la Tabla N°02

Resistencia a la Tensión (GRAB)

Otro factor que actúa sobre el geotextil es el esfuerzo de tracción que se genera en el geotextil en su plano de deformación. Esto ocurre cuando el geotextil está “atrapado” por una capa granular y un suelo de subrasante.

Cuando una partícula superior es forzada contra dos partículas inferiores que están en contacto con el geotextil se genera un esfuerzo de tracción en su plano. El ensayo de tensión según el Método Grab (ASTM D4632-INV E-901) simula este proceso en el laboratorio, determinando la carga de rotura (Resistencia Grab) del geotextil y su elongación correspondiente (deformación – elongación Grab). El geotextil se coloca en la interfaz subrasante–subbase debe cumplir una resistencia mínima para que no falle por tensión.

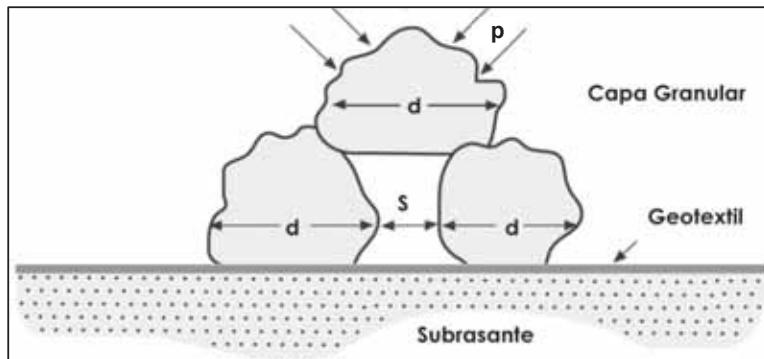


Figura 8: Geotextil de separación- Resistencia a la tensión (GRAB).
Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos, Octava Edición

$$T_{req} = p' \times 10^{-3} \times (d_v)^2 \times [f(\epsilon)]$$

Donde:

- | | | |
|-----------|---|---|
| T_{req} | = | Resistencia Grab requerida (N) |
| p' | = | Presión aplicada (kPa) |
| d_v | = | Diámetro máximo de los vacíos: $d_v \cong 0.33 da$ (mm) |
| d_a | = | Diámetro máximo de las partículas de agregado (mm) |

$f(\epsilon)$ = Función de deformación (elongación) del geotextil, (ver Tabla N°03)

ϵ (%)	$f(\epsilon)$	ϵ (%)	$f(\epsilon)$
0		25	0.55
2	1.47	30	0.53
4	1.23	35	0.52
6	1.08	40	0.51
8	0.97	45 - 70	0.5
10	0.9	75	0.51
12	0.8	90	0.52
14	0.73	100	0.53
16	0.69	110	0.54
18	0.64	120	0.55
20	0.58	130	0.56

Tabla 3: Valores de $f(\epsilon)$

Fuente: Manual de Diseño con Geosintéticos, Octava Edición

Método: Verificar si el geotextil que se va a utilizar es adecuado $\Rightarrow T_{ult}$ conocido; calcular FS_g .

$$T_{adm} = T_{ult} / FS_g$$

$$FS_g = T_{adm} / T_{req}$$

Reemplazando las ecuaciones, se tiene:

$$FS_g = T_{ult} / FS_p \times p' \times 10^{-3} \times dv^2 \times [f(\epsilon)]$$

Entonces la ecuación del Factor de Seguridad Global es:

$$FS_g = T_{ult} / FS_p \times p' \times 10^{-3} \times (0.33 \times d_a)^2 \times [f(\epsilon)] \Rightarrow FS_g > 1$$

3.2.6 Método para la determinación de la carga de rotura y la elongación de geotextiles (Método Grab) ASTM D-4632, INV E – 901

Esta norma consiste en aplicar a muestras de geotextiles tejidos y no tejidos una carga que se incrementa continuamente en sentido longitudinal, hasta alcanzar la rotura. los valores para la carga de rotura (tensión grab) y la elongación (elongación grab) del espécimen de ensayo se obtienen de las escalas o diales de las máquinas, de diagramas de registro autográficos o de computadores interconectados. esta norma determina una propiedad índice.

La norma incluye los procedimientos para medir la carga de rotura y la elongación mediante el método grab, tanto en estado seco como en estado húmedo; sin embargo, el ensayo normalmente se realiza en seco a menos que se especifique de otra manera.

El equipo requerido para realizar el ensayo es el siguiente:

1. Máquina para el ensayo de tracción: la máquina de ensayo debe estar dotada de un dispositivo para medir longitudes de alargamiento de las probetas, debe garantizar que la velocidad de separación se mantenga constante con el tiempo y consta de un par de mordazas entre las cuales se coloca el geotextil que va a ser ensayado.
2. Mordazas: las mordazas deben tener superficies de ajuste planas, paralelas y aptas para evitar el deslizamiento del espécimen durante un ensayo. cada mordaza debe tener una superficie de 25.4 mm por 50.8 mm, con la dimensión más larga paralela a la dirección de aplicación de la carga. las superficies de las mordazas deben ser iguales y estar alineadas, una respecto de la otra.

El número de muestras necesario para realizar el ensayo es de 10.

La norma completa se encuentra en el Anexo N°05.

CAPITULO IV: HIPOTESIS Y VARIABLES

4.1 Formulación de hipótesis

4.1.1 Hipótesis Principal

La Carga de Rotura y la Elongación de los geotextiles influirán directamente en los esfuerzos de tensión de la interfaz terreno de fundación – subbase para el diseño y evaluación de pavimentos flexibles.

4.2 Identificación de variables de estudio

4.2.1 Variables Independientes

VI1: Tipo de geotextil (Geotextil Tejido T2400 PAVCO – Geotextil No Tejido NW030M PAVCO)

VI2: Interfaz terreno de fundación – subbase en la configuración de un pavimento flexible.

4.2.2 Variables Dependientes

- Propiedades mecánicas del geotextil
- Propiedades índices y mecánicas del terreno de fundación
- Propiedades índices y mecánicas del material de subbase.

4.2.3 Operacionalización de variables

El cuadro de la matriz de consistencia se encuentra en el Anexo N°01

CAPITULO V: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

5.1 Tipo de investigación

Investigación Aplicada

Esta clase de investigación recibe el nombre de práctica o empírica. Se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren, después de implementar y sistematizar la práctica basada en investigación. El uso del conocimiento y los resultados de investigación que da como resultado una forma rigurosa, organizada y sistemática de conocer la realidad (Murillo 2008).

La investigación aplicada está encaminada a la resolución de problemas prácticos, con un margen de generalización limitado. Su propósito de realizar aportes al conocimiento científico es secundario.

Así mismo, por la forma como se intervendrá a los objetos de estudio se hará un diseño transversal, ya que la recolección de datos se hará en momento dado, es decir en un tiempo único.

5.2 Método de la investigación

Método Experimental

Consiste en que el investigador controla deliberadamente las variables para delimitar relaciones entre ellas, está basado en la metodología científica. En este método se recopilan datos para comparar las mediciones de comportamiento de un grupo control, con las mediciones de un grupo experimental. Las variables que se utilizan pueden ser variables dependientes (las que queremos medir o el objeto de estudio del investigador) y las variables independientes (las que el investigador manipula para ver la relación con la dependiente).

5.3 Naturaleza de los datos

Se utilizará la Metodología Cuantitativa, basándonos en resultados medibles como es el resultado de las propiedades físicas y mecánicas del suelo (con y sin geotextil), así como también de los geotextiles.

De acuerdo a esta metodología se buscará la manera de justificar la inversión que significa el uso de geotextiles como alternativa de refuerzo de base en pavimentos flexibles.

5.4 Las fuentes

- a) Bibliográficas.- se ha realizado la búsqueda, organización, valoración y crítica de información referida a la investigación. Se consultaron libros, páginas de internet, manuales, etc.
- b) Metodológicas.- consulta de información de metodología como, por ejemplo: análisis de esfuerzos, deformaciones y deflexiones en estructuras de pavimentos flexibles, manuales de ensayos en geotextiles, mecánica de suelos, etc.

- c) Empírica.- complementando las fuentes anteriores se realizará la experimentación de la hipótesis, y así generar las conclusiones necesarias.

5.5 El lugar

- Investigación en laboratorio: para realizar los ensayos de las propiedades físicas y mecánicas del suelo y los geotextiles se hará uso del *Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil*.

5.6 Ensayos de control

5.6.1 Ensayos para el material de terreno de fundación y subbase

Ensayos Físicos

- Análisis granulométrico de suelos por tamizado
- Determinación del límite líquido de los suelos (L.L)
- Determinación del límite plástico (L.P.) de los suelos e índice de plasticidad (I.P.)
- Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (Proctor Modificado)
- Capacidad de Soporte en laboratorio (CBR)
- Abrasión Los Angeles (L.A.) al desgaste de los gregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 ½")
- Equivalente de Arena

Ensayos Químicos

- Contenido de sales solubles totales

5.6.2 Ensayos en geotextiles

Tejidos

- Ensayo para la determinación de la carga de rotura y la elongación de geotextiles (Método Grab) ASTM D-4632, INVE – 901
 - No tejidos
- Ensayo para la determinación de la carga de rotura y la elongación de geotextiles (Método Grab) ASTM D-4632, INVE – 901

5.6.3 Ensayos con material de terreno de fundación – subbase con geotextiles tejidos y no tejidos

Ensayo para el cálculo de esfuerzos y deformaciones en la interfaz terreno de fundación – subbase con Geotextil Tejido, Geotextil No Tejido y sin geotextiles;

simulando una configuración de subrasante - subbase en forma de una viga apoyada en una subrasante simulando la continuación de esta. Se aplicará una carga puntual al centro de la viga. Los sensores, en este caso strain gauges, se colocarán en la interfaz terreno de fundacion – subbase, donde se obtendrán datos de esfuerzos y deformaciones.

NOTA: Los ensayos para el cálculo de esfuerzos y deformaciones en la interfaz terreno de fundacion – subbase; se realizarán tomando como base el Ensayo de Flexión en vigas de Suelo Cemento I.N.V.E – 808 – 07, de acuerdo con el Método B de la norma INV E – 809, Método de prueba ASTM D 1634 y Método de prueba ASTM D 1635, únicamente para la fabricacion de la plancha compactadora y el proceso de compactación, reconsiderando las dimensiones de la viga para una mejor demostración.

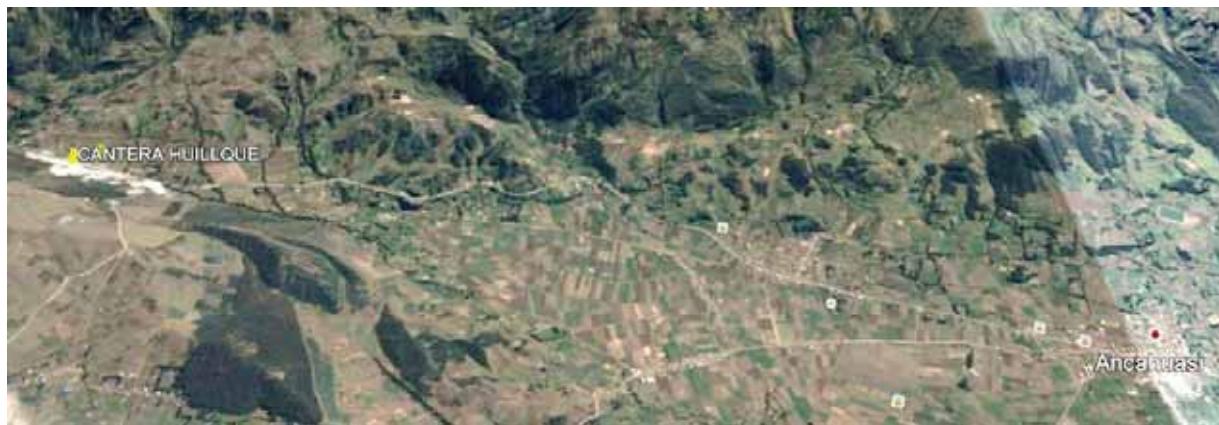
CAPITULO VI :GEOLOGIA

6.1 Cantera Huillque

6.1.1 Ubicación de la Cantera

CANTERA HUILLQUE – ABRA DE HUILLQUE (lugar poblado)	
Departamento	Cusco
Provincia	Anta
Distrito	Limatambo
Latitud	-13.4472
Longitud	-72.3872

*Tabla 4: Ubicación de la Cantera Huillque
Elaboracion propia, 2018.*



*Figura 9: Ubicación Cantera Huillque con referencia a la provincia de Ancahuasi
Fuente: Google Earth Pro*



*Figura 10: Ubicación Cantera Huillque con referencia a la Estación de Peaje de Ccasacancha, Ancahuasi, Anta. Ubicado en la carretera principal Cusco - Abancay
Fuente: Google Earth Pro*

6.1.2 Accesibilidad

El acceso a la cantera es por una trocha en regular estado de conservación, con una longitud aproximada de 200m (05 min.) desde la carretera principal Cusco – Abancay. El tiempo promedio de viaje desde la ciudad del Cusco es de 1hr 05min.

Siendo la ruta, la siguiente:

Cusco (Arco de Tiquitaka) → Izcuchaca → Ancahuasi → Peaje → Cantera Huillque

6.1.3 Propietario:

Sr. Eusebio Cornejo Delgado

6.1.4 Geología

De acuerdo al Mapa Geológico del Departamento del Cusco (Mapa de Macrozonificación de la Región Cusco – Gobierno Regional del Cusco, Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente), la cantera se encuentra en la “Formación San Sebastián”; que pertenece a la Era Cenozoico, Sistema Cuaternario, Piso Pleistoceno, Litoestratigrafía la cual está compuesta por conglomerados y areniscas de conos y terrazas fluvio-torrenciales. Los sedimentos muestran estructuras compresivas sin sedimentarias (Cabrera, 1988), lo que demuestra una actividad sísmica durante el depósito de las mismas.

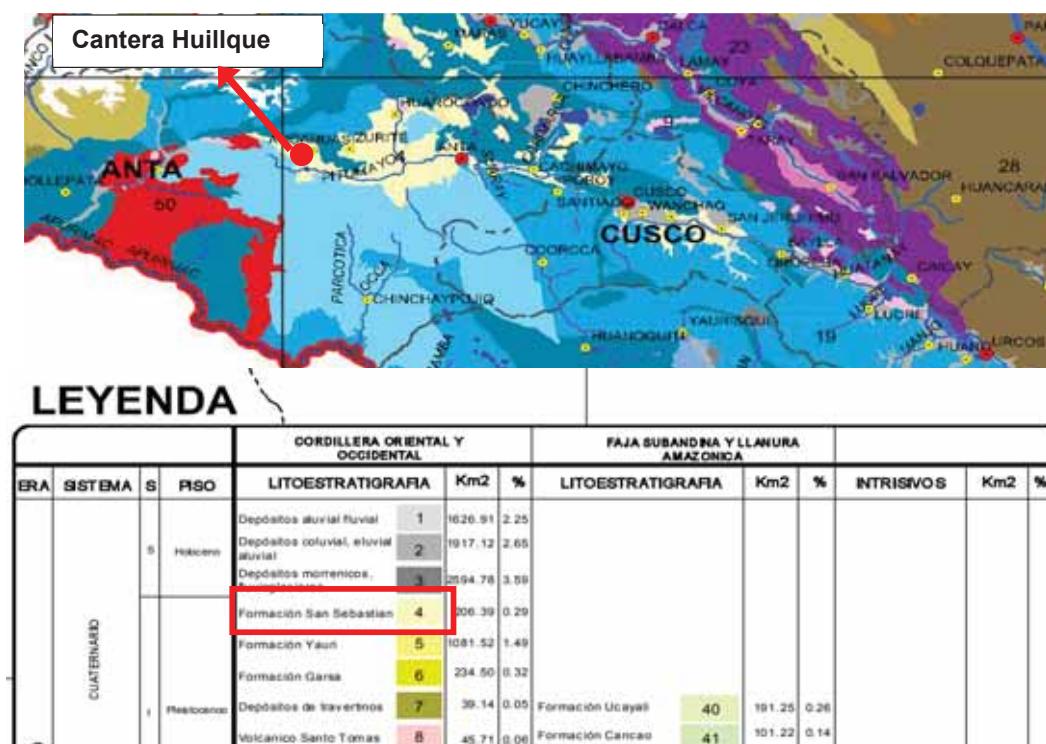


Figura 11: Ubicación de la cantera Huillque en el mapa geológico de la región del Cusco
Fuente: Mapa Geológico de la Región Cusco – Gobierno Regional del Cusco, Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente, 2005.

De acuerdo a una descripción Manual - Visual, se determina que el material presenta gravas con bordes bien definidos y caras relativamente planas con superficies sin pulir, con partículas chatas y alargadas, color amarillo claro, sin olor característico, y con una densidad relativa suelta.

6.2 Cantera Vicho

6.2.1 Ubicación de la Cantera

Se encuentra en el Km. 09 de la Ruta Cusco – San Salvador, en la margen izquierda al Sur-Este de la ciudad del cusco.

CANTERA VICHO	
Departamento	Cusco
Provincia	Calca
Distrito	San Salvador
Altitud Promedio	2934 – 3020 msnm

Tabla 5: Ubicación de la Cantera Vicho
Elaboración propia, 2018.



Figura 12: Ubicación Cantera Vicho con referencia al distrito de Huacarpay
Fuente: Google Earth Pro

6.2.2 Accesibilidad

El tiempo promedio de viaje es de 1hr 20min desde la ciudad del Cusco (Ciudad Universitaria de Perayoc). La cantera en estudio tiene buena accesibilidad, con la ciudad de Cusco, y alrededores para el transporte del material de subbase. Conectándose a la ciudad por medio de la carretera interprovincial asfaltada Cusco – San Salvador.

Siendo la ruta, la siguiente:

Cusco (Ciudad Universitaria de Perayoc) → Saylla → Tipon → Desvío Huacarpay – San Salvador → Huambutio → Cantera Vicho.

6.2.3 Propietario

Perteneciente a la Municipalidad Distrital de San Salvador – Provincia Calca, Cusco.

6.2.4 Geología

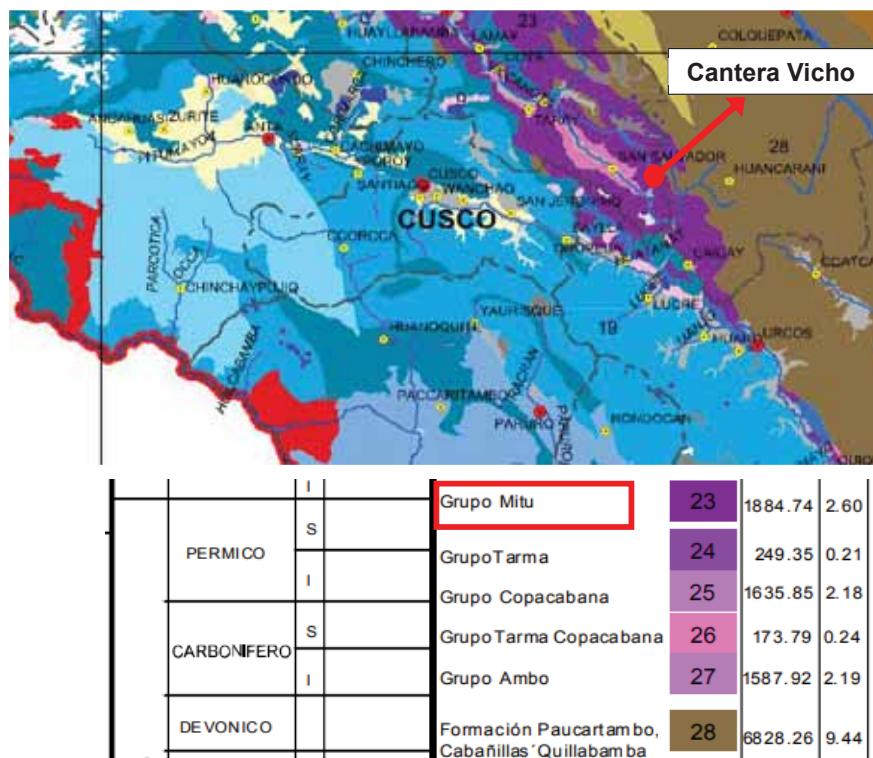
De acuerdo al Mapa Geológico del Departamento del Cusco (Mapa de Macrozonificación de la Región Cusco – Gobierno Regional del Cusco, Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente), la cantera se encuentra en el “Grupo Mitu”; que pertenece a la Era Paleozoico, Sistema Permico, Litoestratigrafía la cual aflora en las Montañas de Pachatusan, al norte de Huasao, Tipón y Oropesa y está dividido en dos formaciones: Pisac y Pachatusan.

- Formación Pisac:

Está constituida principalmente por areniscas y conglomerados intercalados con rocas volcánicas

- Formación Pachatusan:

Es volcánica, con andesitas, basaltos y brechas, y además con escasa presencia de conglomerados, areniscas y limolitas rojas. Desde el punto de vista aplicado, estas rocas son bastante duras y estables para las construcciones civiles (carreteras, puentes, presas, etc.). Sin embargo, en zonas de falla, como al norte de Oropesa, se hallan muy fracturadas y alteradas con presencia de panizo, haciéndolas muy inestables.



*Figura 13: Ubicación de la cantera Vicho en el mapa geológico de la región del Cusco
Fuente: Mapa Geológico de la Región Cusco – Gobierno Regional del Cusco, Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente, 2005.*

De acuerdo a una descripción Manual - Visual, se determina que el material presenta gravas con bordes bien definidos y caras relativamente planas con superficies sin pulir, con partículas chatas y alargadas, color marrón rojizo, sin olor característico, y con una densidad relativa suelta.

6.3 Terreno de fundación

Como material de terreno de fundación se optó por utilizar un suelo de categoría regular a buena para subrasante de acuerdo al MTC, es decir que presente un CBR entre 10% a 20% es por eso que se buscó la forma de trabajar con un material que tenga una capacidad portante media a baja debido a que son los tipos de material que requieren algún tipo de refuerzo, como por ejemplo geotextil, y que cumpla la función de ser terreno de fundación en una estructura de pavimento y así poder obtener resultados óptimos al realizar los ensayos de laboratorio.

6.3.1 Ubicación

Tramo de ingreso al Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, Escuela Profesional de Ingeniería Civil desde la Puerta N°08, ubicada en la Av. Universitaria. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Ciudad Universitaria de Perayoc - Cusco.

TERRENO DE FUNDACION	
Departamento	Cusco
Provincia	Cusco
Distrito	Cusco
Altitud Promedio	3359 msnm

Tabla 6: Ubicación del material para terreno de fundación
Fuente: Elaboración propia, 2018.



Figura 14: Ubicación del Material del Terreno de Fundación en la FIC
Fuente: Google Earth Pro

6.3.2 Accesibilidad

El material de Terreno de Fundación fue extraído en el tramo de ingreso al Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, desde la Puerta N°08 ubicada en la Av. Universitaria.

6.3.3 Propietario

Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, UNSAAC.

6.3.4 Geología

De acuerdo al Mapa Geológico del Departamento del Cusco (Mapa de Macrozonificación de la Región Cusco – Gobierno Regional del Cusco, Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente), el material de terreno de fundación se encuentra en el “Depósito Coluvial, Eluvial y Aluvial”; que pertenece a la Era Cenozoico, Sistema Cuaternario, Litoestratigrafía que están conformados por una mezcla de limos y gravas.

Corresponden a los conos o abanicos aluviales que se hallan en la desembocadura de las quebradas principales, adyacentes al valle del río Huatanay. Están constituidos por bloques y gravas envueltos por una matriz arenoso-arcillosa. Estos abanicos muestran la actividad geodinámica pasada y presente de las quebradas, por lo que deben ser considerados como peligrosos para las poblaciones que están asentadas en estos lugares.

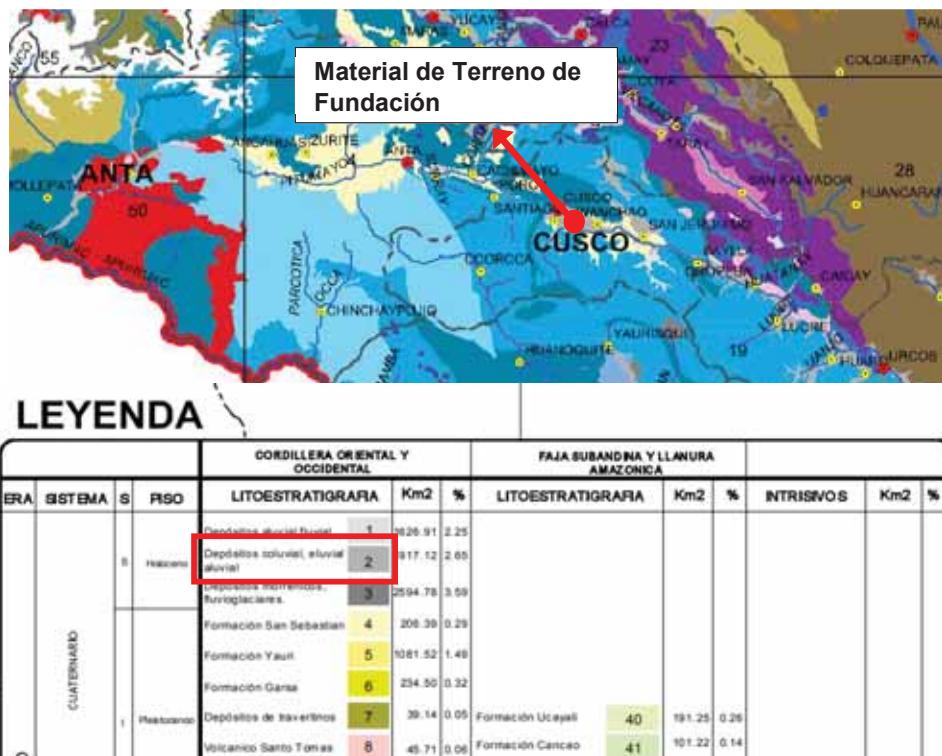


Figura 15: Ubicación del material de terreno de fundacion en el mapa geológico de la región del Cusco

Fuente: Mapa Geológico de la Región Cusco – Gobierno Regional del Cusco, Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente, 2005.

De acuerdo a una descripción Manual- Visual, se determina que el material es de color marrón claro, sin olor característico, de una consistencia medianamente compacta y de mediana plasticidad

CAPITULO VII: ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS Y GEOTEXTILES

7.1 Normas utilizadas

En la presente investigación se utilizarán las siguientes Normas:

- Norma MTC del Manual de Ensayo de Materiales – Edición Mayo del 2016, Sección N° 1 Suelos.
- Norma ASTM Internacional (para suelos y geosintéticos)
- Norma AASHTO - American Association of State Highway Officials (suelos)
- Norma INV (suelos y geosintéticos)

7.2 Lista de ensayos utilizados

ENSAYO	MATERIAL	NORMA MTC	NORMA ASTM	NORMA AASHTO
1. Análisis Granulométrico de suelos por tamizado	Suelo	E 107	D 422	T 88
2. Determinación del Límite Líquido de los Suelos	Suelo	E 110	D 1241	T 89
3. Determinación del Límite Plástico de los Suelos e Índice de plasticidad	Suelo	E 111	D 4318	T 90
4. Abrasión Los Angeles (L.A.) al desgaste de los gregados de tamaños menores de 37,5 mm (1 ½")	Agregados	E 207	C 131	T 96
5. Equivalente de arena de suelos y agregado Fino	Suelo	E 114	D 2419	T 146
6. Partículas chatas y alargadas en agregados	Agregados	E 223	D 4791	-
7. Compactación de suelos en laboratorio (Proctor Modificado)	Suelo	E 115	D 1557	T 180
8. CBR de suelos (laboratorio)	Suelo	E 132	D 1883	T 193
9. Sales Solubles	Suelo	-	D 4791	-
10. La carga de rotura y la elongación de geotextiles (Método Grab)	Geotextil tejido y no tejido	-	D 4632	-

*Tabla 7: Lista de ensayos utilizados
Elaboración propia, 2018*

7.3 Requerimientos para material de subbase

Los requerimientos para el material de subbase que se desarrollan a continuación se realizan para vías de primera clase de acuerdo a la Clasificación de la Red Vial en el Perú, que esta conformado por carreteras que unen ciudades de la nación con puertos y fronteras.

A. Requerimientos Granulométricos para Subbase Granular

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación A (1)	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm. (2")	100	100	-	-
25 mm. (1")	-	75 - 95	100	100
9.5 mm. (3/8")	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 -100
4.75 mm. (N°4)	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 -85
2.0 mm. (N°10)	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70
42.5 µm. (N°40)	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45
75 µm. (N°200)	2 - 8	5 - 15	5 - 15	8 - 15

Notas: (1) La curva de Gradación “A” deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 msnm

Tabla 8: Requerimientos Granulométricos para Subbase Granular

Fuente: Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción”
(EG – 2013)

B. Requerimientos de Ensayos Especiales Subbase Granular

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				< 3000 msnm	≥ 3000msnm
Abrasion Los Angeles	MTC E 207	C 131	T 96	50 % máx.	50 % máx.
CBR (1)	MTC E 32	C 1883	T 193	40 % min.	40 % min.
Límite Líquido	MTC E 110	C 4318	T 89	25 % máx.	25 % máx.
Indice de Plasticidad	MTC E 111	C 4318	T 90	6 % máx.	4 % máx.
Equivalente de Arena	MTC E 114	C 2419	T 176	25 % máx.	35 % máx.
Sales Solubles	MTC E 219	-	-	1 % máx.	1 % máx.
Partículas Chatas y Alargadas	-	D 4791	-	20 % máx.	20 % máx.

(1) Referido al 100% de la Máxima Densidad Seca y una Penetración de Carga de 0.1" (2.5 mm)

(2) La relación ha emplearse para la determinación es 1/3 (espesor/longitud)

Tabla 9: Requerimientos de Ensayos Especiales Subbase Granular

Fuente: Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción”
(EG – 2013)

7.4 Requerimientos para material de subrasante

En la Sub-rasante:

- a) La humedad de compactación no deberá variar en $\pm 2\%$ del Óptimo Contenido de Humedad a fin de lograr los porcentajes de compactación especificados.
- b) El grado de compactación requerido será del 95% de su Máxima Densidad Seca Teórica Proctor Modificado (NTP 339.141:1999) en suelos granulares y del 95% de su Máxima Densidad Seca Teórica Proctor Estándar (NTP 339.142:1999) en suelos finos. Se tolerará hasta dos puntos porcentuales menos en cualquier caso aislado, siempre que la media aritmética de 6 puntos de la misma compactación sea igual o superior al especificado.

Los requisitos mínimos para los diferentes tipos de pavimentos:

Elemento / Tipo de pavimento	Flexible	Rígido
Sub-rasante	95% de compactación: Suelos Granulares – Proctor Modificado Suelos Cohesivos – Proctor Estándar	
	Espesor Compactado: $\geq 250\text{mm}$ – Vías locales y colectoras $\geq 300\text{mm}$ – Vías arteriales y expresas	

Tabla 10: Requisitos mínimos para los diferentes tipos de pavimentos
Fuente: Manual de Carreteras “Especificaciones Técnicas Generales para Construcción”
(EG – 2013)

El Manual de Diseño con Geosintéticos – PAVCO 8va Edición, con respecto al CBR de la subrasante, menciona lo siguiente:

“Para que un geotextil cumpla correctamente la función de separación entre un suelo subrasante y una capa de material granular, el CBR de la subrasante debe estar entre 3% y 10%.”

En efecto, dentro de este rango se asume que la deformación del suelo de subrasante no es lo suficientemente importante para generar grandes esfuerzos de tensión en el geotextil, el cual se diseña como separación y no como refuerzo.

Cuando el CBR es menor, del 3% el geotextil asume grandes deformaciones y comienza a absorber esfuerzos a tensión que lo inducen a trabajar como refuerzo, factor que afecta totalmente el diseño por separación.

En los casos en que el CBR de la subrasante sea menor del 3% se debe hacer un diseño por refuerzo y verificar los criterios del diseño por separación cuando el geotextil se coloca entre dos materiales de diferentes características.

Se realiza el siguiente cuadro como resumen de lo expuesto:

Tipo de geotextil	Geotextil tejido Geotextil no tejido	FUNCION	CBR
		Refuerzo Separación	Entre 3% y 10% Menor al 3%

*Tabla 11: Función – CBR de geotextiles Tejidos y No Tejidos
Elaboración propia, 2018*

7.5 Ensayos de laboratorio

7.5.1 Generalidades

Los suelos tienen su origen en los macizos rocosos preexistentes que constituyen la madre roca, sometida a la acción ambiental disgregadora de la erosión en sus tres facetas: física, química y biológica. De acuerdo con el origen de sus elementos, los suelos se analizan en dos grupos: los suelos cuyo origen se debe a la descomposición física y/o química de las rocas, osea los suelos inorgánicos, y suelos cuyo origen es principalmente orgánico.

Entre los parámetros de identificación son los más significativos la granulometría y la plasticidad. El tamaño de las partículas va desde los tamaños granulares conocidos como gravas y arenas, hasta los finos como la arcilla y el limo. Las variaciones en la consistencia del suelo en función del contenido en agua diferencian también las mencionadas clases granulométricas principales.

Los parámetros de estado fundamentales son la humedad y la densidad, referida al grado de compacidad que muestren las partículas constituyentes

7.5.2 Materiales de cantera

Los materiales de cantera utilizados en la presente investigación, corresponden a las canteras de Huillque y Vicho, las cuales cumplirán la función de subbase en el estudio de los esfuerzos de tensión con y sin geotextiles tejidos y no tejidos en la interfaz terreno de fundación – subbase.

7.5.3 Geotextiles

Identificación del producto	Geotextil Tejido	Geotextil No Tejido
Nombre del fabricante	Geosistemas PAVCO	Geosistemas PAVCO
Nombre del Producto	Geotextil Tejido serie T2400	Geotextil No Tejido serie NW030M

Cantidad	<ul style="list-style-type: none"> - Para los ensayos de carga de rotura y elongación se necesitó 0.3m² de geotextil tejido. - Para el ensayo de análisis de esfuerzos en la interfaz terreno de fundación – subbase se necesitó 1m² de geotextil tejido. 	<ul style="list-style-type: none"> - Para los ensayos de carga de rotura y elongación se necesitó 0.3m² de geotextil no tejido. - Para el ensayo de análisis de esfuerzos en la interfaz terreno de fundación – subbase se necesitó 1m² de geotextil no tejido.
-----------------	---	---

Tabla 12: Especificaciones de Geotextiles Tejidos y No Tejidos

Fuente: Elaboración propia, 2018

7.5.4 Propiedades de los geotextiles tejidos y no tejidos

Los geotextiles tejidos y no tejidos cumplen dos funciones esenciales: refuerzo y separación en el caso de las estructuras de vías. A continuación, se muestran dos cuadros con las propiedades de cada tipo de geotextil.

GEOTEXTIL TEJIDO PAVCO T2400

	PROPIEDADES	NORMA	VALOR TIPICO
MECÁNICAS	Método Grab Resistencia a la tensión Elongación	ASTM D 4632	1530 N (344 lb) 17 %
	Método Tira Ancha Sentido longitudinal Elongacion	ASTM D 4595	41 kN/m (2809 lb/ft) 21%
	Sentido Transversal Elongación	ASTM D 4595	41 kN/m (2809 lb/ft) 16%
	Resistencia al Punzonamiento CBR	ASTM D 6241	5.5 kN (1238 lb)
	Resistencia al rasgado Trapezoidal	ASTM D 4533	570 N (128 lb)
HIDRAULICAS	Tamaño de abertura aparente	ASTM D 4751	0.300 mm
	Permeabilidad	ASTM D 4491	5.3×10^{-2} cm/s
	Permitividad	ASTM D 4491	0.55 s^{-1}
	Tasa de Flujo	ASTM D 4491	1506 l/min/m ²
FISICAS	Espesor	ASTM D 5199	1 mm

	Resistencia UV (%) Retenido@500 hr)	ASTM D 4355	< 70%
	Rollo Ancho	medido	3.85 m
	Rollo Largo	medido	120 m
	Rollo Area	calculado	462 m ²

Tabla 13: Geotextil Tejido T2400 - PAVCO
Fuente: Geosistemas PAVCO

GEOTEXTIL NO TEJIDO PAVCO NW030M

	PROPIEDADES	NORMA	VALOR TIPICO
MECÁNICAS	Método Grab Resistencia a la tensión Elongación	ASTM D 4632	1175 N(265 lb) >50 %
	Método Tira Ancha Sentido longitudinal Elongación	ASTM D 4595	19 kN/m >50%
	Sentido Transversal Elongacion	ASTM D 4595	18 kN/m >50%
	Resistencia al Punzonamiento	ASTM D 4833	670 N (151 lb)
	Resistencia al Punzonamiento CBR	ASTM D 6241	3.2 kN/m
	Resistencia al rasgado Trapezoidal	ASTM D 4533	440 N (99 lb)
HIDRAULICAS	Método Mullen Burst Resistencia al Estallido	ASTM D 3786	2890 kPa (418 PSI)
	Tamaño de abertura aparente	ASTM D 4751	0.15 mm
	Permeabilidad	ASTM D 4491	0.32 cm/s
	Permitividad	ASTM D 4491	1.5 s ⁻¹
	Tasa de Flujo	ASTM D 4491	3390 l/min/m ²
FISICAS	Masa por unidad de area	ASTM D 5261	300 g/m ²
	Resistencia UV (%) Retenido@500 hr)	ASTM D 4355	> 70%
	Rollo Ancho	medido	4 m
	Rollo Largo	medido	100 m
	Rollo Area	calculado	400 m ²

Tabla 14: Geotextil No Tejido NW030M - PAVCO
Fuente: Geosistemas PAVCO

7.5.5 Ensayos de laboratorio

A. ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

De acuerdo al Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2013. La granulometría representa la distribución de los tamaños que posee el agregado y se determina mediante el tamizado según especificaciones técnicas (Ensayo MTC EM 107).

De acuerdo al tamaño de las partículas de suelo, se definen los siguientes términos:

Tipo de Material		Tamaño de las Partículas
Grava		75 mm - 4.75 mm
Arena		Arena gruesa: 4.75 mm - 2.00 mm Arena media: 2.00 mm - 0.425 mm Arena fina: 0.425 mm - 0.075 mm
Material Fino	Limo	0.075 mm - 0.005 mm
	Arcilla	menor a 0.005mm

Tabla 15: Clasificación de los suelos según tamaño de partículas

Fuente: Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2013

Para el cálculo del coeficiente de uniformidad (C_u) y el coeficiente de curvatura (C_c), se utilizarán las siguientes fórmulas:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

Donde:

- **D10:** el diámetro o tamaño por debajo del cual queda el 10% del suelo, en peso
- **D60:** el diámetro o tamaño por debajo del cual queda el 60% del suelo, en peso
- **D30:** el diámetro o tamaño por debajo del cual queda el 30% del suelo, en peso

B. LIMITES DE CONSISTENCIA

Los se usan como parte integral del sistema de clasificación para caracterizar la fracción fina de los suelos. El límite líquido, límite plástico y el índice de plasticidad se emplean, tanto individualmente como en conjunto, con otras propiedades de los suelos, para correlacionar el comportamiento ingenieril de los suelos, como la compresibilidad, permeabilidad, compactabilidad, propensión a la expansión y resistencia al corte. En la investigación estos valores además son necesarios para determinar si el material cumple con los requerimientos para material de subbase de acuerdo al MTC.

Además del límites líquido y plástico, una característica a obtener es el Índice de plasticidad IP que se define como la diferencia entre límite líquido (LL) y límite plástico (LP):

$$IP = LL - LP$$

El índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bastante bien un suelo. Un IP grande corresponde a un suelo muy arcilloso; por el contrario, un IP pequeño es característico de un suelo poco arcilloso. En tal sentido, el suelo en relación a su índice de plasticidad puede clasificarse según lo siguiente:

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Característica
IP > 20	Alta	suelos muy arcillosos
IP ≤ 20 IP > 7	Media	suelos arcillosos
IP < 7	Baja	suelos poco arcillosos plasticidad
IP = 0	No Plástico (NP)	suelos exentos de arcilla

Tabla 16: Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad

Fuente: Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2013

Se debe tener en cuenta que, en un suelo el contenido de arcilla, de acuerdo a su magnitud puede ser un elemento riesgoso en un suelo de subrasante y en una estructura de pavimento, debido sobre todo a su gran sensibilidad al agua.

C. CLASIFICACION DE SUELOS

I. INDICE DE GRUPO

Es un índice normado por AASHTO de uso corriente para clasificar suelos, está basado en gran parte en los límites de Atterberg. El índice de grupo de un suelo se define mediante la fórmula:

$$IG = 0.2(a) + 0.005(ac) + 0.01(bd)$$

Donde:

- **a:** $F - 35$ ($F =$ Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200 – 74 micras). Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.
- **b:** $dF - 15$ ($F =$ Fracción del porcentaje que pasa el tamiz N° 200 – 74 micras). Expresado por un número entero positivo comprendido entre 1 y 40.
- **c:** $LL - 40$ ($LL =$ límite líquido). Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20.

- **d:** $IP - 10$ ($IP =$ índice plástico).
Expresado por un número entero comprendido entre 0 y 20 o más.

El Índice de Grupo es un valor entero positivo, comprendido entre 0 y 20 o más. Cuando el IG calculado es negativo, se reporta como cero. Un índice cero significa un suelo muy bueno y un índice mayor o igual a 20, un suelo no utilizable para caminos.

Indice de Grupo	Suelo de Subrasante
IG > 9	Muy pobre
IG está entre 4 a 9	Pobre
IG está entre 2 a 4	Regular
IG está entre 1 - 2	Bueno
IG está entre 0 - 1	Muy Bueno

Tabla 17: Clasificación de suelos según Índice de Grupo

Fuente: Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2013

II. CLASIFICACION

Determinadas las características de los suelos, según los acápitulos anteriores, se podrá estimar con suficiente aproximación el comportamiento de los suelos, especialmente con el conocimiento de la granulometría, plasticidad e índice de grupo; y, luego clasificar los suelos. Esta clasificación permite predecir el comportamiento aproximado de los suelos, que contribuirá a delimitar los sectores homogéneos desde el punto de vista geotécnico. A continuación, se presenta una correlación de los dos sistemas de clasificación más difundidos, AASHTO y ASTM (SUCS):

Clasificación de Suelos AASHTO M - 145	Clasificación de Suelos SUCS ASTM -D-2487
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A - 2	GM, GC, SM, SC
A - 3	SP
A - 4	CL, ML
A - 5	ML, MH, CH
A - 6	CL, CH
A - 7	OH, MH, CH

Tabla 18: Correlación de Tipos de suelos AASHTO – SUCS

Fuente: Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2013

La Tabla N°18 no presenta la doble simbología de la Clasificación de Suelos SUCS, puesto que sólo permite predecir el comportamiento aproximado de los suelos, que contribuirá a delimitar los sectores homogéneos desde el punto de vista geotécnico. En los anexos se encuentran las tablas de la clasificación SUCS y AASHTO, donde se da más detalle de la simbología de la clasificación de los suelos.

D. DESGASTE POR ABRASION E IMPACTO MAQUINA DE LOS ANGELES

Este ensayo es una medida del desgaste de agregados minerales de gradaciones normalizadas resultantes de una combinación de acciones, las cuales incluyen abrasión o desgaste, impacto y trituración, en un tambor de acero en rotación que contiene un número especificado de esferas de acero, dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo. Al rotar el tambor, la muestra y las esferas de acero se origina un efecto de trituración por impacto. Este ciclo es repetido mientras el tambor gira con el material granular. Luego de un número de revoluciones establecido, el material es retirado del tambor y tamizado para medir su degradación como porcentaje de pérdida.

La carga, dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo será como sigue:

Gradación	Número de Esferas	Masa de la carga – material granular (g)
A	12	5000 ± 25
B	11	4584 ± 25
C	8	3330 ± 20
D	6	2500 ± 15

Tabla 19: Masa de la carga de ensayo de acuerdo a la gradación
Fuente: Manual de ensayo de materiales, 2016

Medida del tamiz (abertura cuadrada)		Masa de Tamaño indicado , g			
Que pasa	Retenido sobre	Gradación			
		A	B	C	D
37,5 mm (1 1/2")	25,0 mm (1")	1250 ± 25	-	-	-
25,0 mm (1")	19,0 mm (3/4")	1250 ± 25	-	-	-
19,0 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")	-	-	2500 ± 10	-
6,3 mm (1/4")	4,75 mm (Nº4)	-	-	2500 ± 10	-
4,75 mm (Nº4)	2,36 mm (Nº8)	-	-		5000
TOTAL		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Tabla 20: Gradación de las muestras de ensayo
Fuente: Manual de ensayo de materiales, 2016

El porcentaje de pérdida determinado se dará mediante la diferencia entre la masa inicial y final de la muestra, como un porcentaje de la masa original de la muestra de ensayo.

E. ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR MODIFICADO

Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101,6 ó 152,4 mm (4 ó 6 pulg) de diámetro

con un pisón de 44,5 N (10 lbf) que cae de una altura de 457 mm (18 pulg), produciendo una Energía de Compactación de 2700 kN·m/m³.

Este ensayo se aplica sólo para suelos que tienen 30% ó menos en peso de sus partículas retenidas en el tamiz de 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ " pulg).

El suelo, con un contenido de humedad seleccionado, se coloca en capas dentro de un molde de dimensiones determinadas. Cada capa es compactada por un cierto número de golpes realizados mediante el empleo de un pisón con peso y altura de caída estandarizada. Se calcula la densidad seca resultante y se repite el procedimiento con distintos contenidos de humedad, un número suficiente de veces como para establecer la correlación entre la densidad seca obtenida y la humedad del suelo. Estos datos graficados, representan la “Curva de Compactación”. A partir de la curva de compactación pueden obtenerse los valores de máxima densidad seca y humedad óptima.

Se proporciona 3 métodos alternativos. El método usado debe ser indicado en las especificaciones del material a ser ensayado. Si el método no está especificado, la elección se basará en la gradación del material.

- **METODO "A"**

Molde	101,6 mm de diámetro (4 pulg)
Material	Se emplea el que pasa por el tamiz 4,75 mm (Nº 4).
Número de capas	5
Golpes por capa	25
Uso	Cuando el 20 % ó menos del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (Nº 4).
Otros Usos	Si el método no es especificado; los materiales que cumplen éstos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método B o C.

Tabla 21: Ensayo de compactación proctor modificado, Método “A”
Fuente: Manual de ensayo de materiales, 2016

- **METODO "B"**

Molde	101,6 mm (4 pulg) de diámetro
Material	Se emplea el que pasa por el tamiz de 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg).
Número de capas	5
Golpes por capa	25
Uso	Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz 4,75 mm (Nº4) y 20% o menos de peso del material es retenido en el tamiz 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg).
Otros Usos	Si el método no es especificado, y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método C.

Tabla 22: Ensayo de compactación proctor modificado, Método “B”
Fuente: Manual de ensayo de materiales, 2016

- **METODO "C"**

Molde	152,4 mm (6 pulg) de diámetro.
Material	Se emplea el que pasa por el tamiz 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg).
Número de capas	5
Golpes por capa	56
Uso	Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ pulg) y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ pulg).
Otros Usos	Si el método no es especificado, y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método A o B

Tabla 23: Ensayo de compactación proctor modificado, Método “C”

Fuente: Manual de ensayo de materiales, 2016

NOTA: en la presente investigación se utilizó el Método “C”, ya que más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 3/8” y menos del 30% en peso es retenido en el tamiz 3/4”.

F. EQUIVALENTE DE ARENA

Es la proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo o material arcilloso en los suelos o agregados finos (ensayo MTC EM 114). Es el ensayo que da resultados parecidos a los obtenidos mediante la determinación de los límites de Atterberg, aunque menos preciso. Tiene la ventaja de ser muy rápido y fácil de efectuar.

El ensayo consiste en colocar cloruro de calcio en un recipiente de vidrio que contiene material que pasa el tamiz N°04, se procede a golpear ligeramente el fondo del recipiente sobre la palma de la mano para liberar las burbujas de aire y así conseguir el humedecimiento total de la muestra, luego se agita con un movimiento horizontal de extremo a extremo durante 30s aproximadamente. Se mantiene el especimen humedecido y quieto durante un periodo de 10min. Finalmente, se realiza la lectura de arcilla.

El valor de Equivalente de Arena (EA) es un indicativo de la plasticidad del suelo, así como lo indica la siguiente tabla:

Equivalente de Arena	Características
si EA > 40	el suelo no es plástico, es arena
si 40 > EA > 20	el suelo es poco plástico y no heladizo
si EA < 20	el suelo es plástico y arcilloso

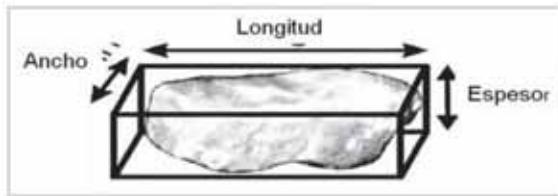
Tabla 24: Clasificación de suelos según Equivalente de Arena

Fuente: Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2013

G. PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS

Las partículas chatas o alargadas pueden interferir con la consolidación y dificultar la colocación de los materiales. Este método provee el medio para verificar si se cumple con las especificaciones que limitan tales partículas o, para determinar la forma característica del agregado grueso. Partículas chatas y alargadas del agregado las partículas con una relación de longitud a espesor superior a un valor especificado.

Longitud: máxima dimensión de las partículas, ancho: máxima dimensión en el plano perpendicular a la longitud, espesor: máxima dimensión perpendicular a lo largo y ancho.

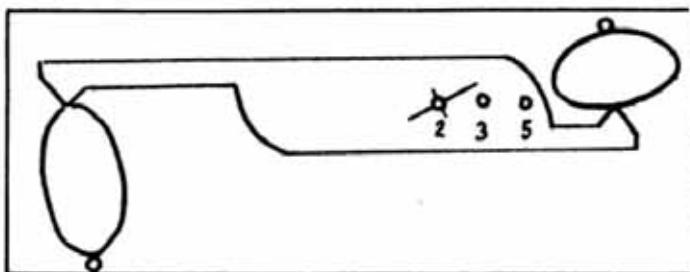


*Figura 16: Denominación del ancho, largo y espesor de una partícula
Fuente: Manual de ensayo de materiales, 2016*

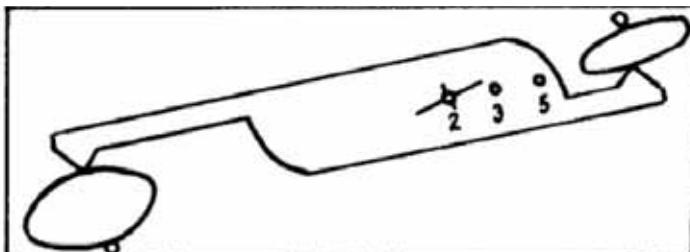
El ensayo se realiza con muestra retenida en el tamiz 3/8", se contabilizan un aproximado de 100 partículas. Se ensaya cada partícula de cada fracción medida y se clasifica como chatas, alargadas ni chatas ni alargadas; como sigue:

- Ensayo de partículas chatas: Ajustar la abertura entre el brazo mayor y el poste, al ancho de la partículas .La partícula es chata si su espesor pasa por la abertura menor (Figura 17 - a).
- Ensayo de partícula alargada: Ajustar la abertura mayor a la longitud de la partícula. La partícula es alargada si su ancho pasa por la abertura menor. (Figura 17 - b).

Luego de la clasificación en los grupos descritos se determina la proporción de la muestra por cada grupo.



a. Ensayo de Partículas Chatas



b. Ensayo de Partículas Alargadas

*Figura 17: Uso del calibrador proporcional
Fuente: Manual de ensayo de materiales, 2016*

H. CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR EN LABORATORIO)

La finalidad de este ensayo es determinar la capacidad de soporte de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables y sirve para evaluar la calidad relativa del suelo para subrasante, subbase y base de pavimentos.

El ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un (%) de la relación de soporte. El (%) CBR, está definido como la fuerza requerida para que un pisón de compactación con una cara circular de $50 \pm 0,2$ mm de diámetro y con una masa de 2500 ± 10 gr., penetre a una profundidad determinada, expresada en porcentaje de fuerza necesaria para que el pisón penetre esa misma profundidad y con igual velocidad, en una probeta normalizada constituida por una muestra patrón de material que pasa el tamiz $\frac{3}{4}$ ".

La expresión que define el CBR, es la siguiente:

$$CBR = \frac{\text{carga unitaria del ensayo}}{\text{carga unitaria patron}} \times 100\%$$

De la ecuación se puede ver que el número CBR, es un porcentaje de la carga unitaria patrón. En la práctica el símbolo de (%) se quita y la relación se presenta simplemente por el número entero. Usualmente el número CBR, se basa en la relación de carga para una penetración de 2.5 mm. (0,1"), sin embargo, si el valor de CBR a una penetración de 5 mm. (0,2") es mayor, el ensayo debe repetirse. Si en un segundo ensayo se produce nuevamente un valor de CBR con una penetración de 5 mm. dicho valor será aceptado como valor del ensayo. Los ensayos de CBR se hacen sobre muestras compactadas con un contenido de humedad óptimo, obtenido del ensayo de compactación Proctor Modificado.

Antes de determinar la resistencia a la penetración, generalmente las probetas se saturan durante 96 horas para simular las condiciones de trabajo más desfavorable y para determinar su posible expansión.

En general se confeccionan 03 probetas como mínimo, las que poseen distintas energías de compactación (lo usual es con 56, 25 y 12 golpes).

Una vez definido el valor del CBR de diseño, para cada sector de características homogéneas, se clasificará a que categoría de subrasante pertenece el sector o subtramo, según lo siguiente:

Categorías de Subrasante	CBR
S0: Subrasante inadecuada	CBR < 3%
S1: Subrasante Pobre	De CBR $\geq 3\%$ A CBR < 6%
S2: Subrasante Regular	De CBR $\geq 6\%$ A CBR < 10%
S3:Subrasante Buena	De CBR $\geq 10\%$ A CBR < 20%

S4: Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S5: Subrasante Excelente	De CBR ≥ 30%

Tabla 25: Categorías de Subrasante

Fuente: *Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2013*

El cálculo del Módulo Resiliente sin tener el dato del CBR se obtiene realizando un ensayo donde un esfuerzo desviador axial repetido, de magnitud, duración y frecuencia fijas se aplica a un espécimen cilíndrico de ensayo, debidamente preparado y acondicionado. Durante y entre las aplicaciones del esfuerzo dinámico desviador, el espécimen es sometido a un esfuerzo estático en su contorno, proporcionado por medio de una cámara de presión triaxial. La respuesta a la deformación axial resiliente (recuperable) del espécimen, es medida y empleada para calcular los módulos resilientes dinámicos dependientes del esfuerzo.

En caso no se pueda realizar el ensayo para el cálculo del Módulo Resiliente, este se puede obtener a partir del CBR, se empleará la siguiente ecuación que correlaciona el $MR - CBR$, obtenida del Appendix CC-1 “Correlation of CBR values with soil index properties” preparado el 2001 por NCHRP Project 1- 37A (National Cooperative Highway Research Program), documento que forma parte de MEPDG Mechanistic - Empirical Pavement Design Guide – AASHTO interim 2008):

$$MR(\text{psi}) = 2555 \times CBR^{0.54}$$

I. SALES SOLUBLES TOTALES

El objetivo de este ensayo es determinar el contenido de cloruros y sulfatos, solubles en agua, de los agregados pétreos empleados en bases estabilizadas y mezclas asfálticas. En el ensayo la muestra de agregado pétreo se somete a continuos lavados con agua destilada a la temperatura de ebullición, hasta la extracción total de las sales. La presencia de éstas se detecta mediante reactivos químicos que, al menor indicio de sales, forman precipitados fácilmente visibles. Del agua total de lavado se toma una parte proporcional de la muestra y se procede a cristalizar para determinar la cantidad de sales presentes.

La cantidad de muestra y aforo debe ajustarse a lo que se indica en la tabla adjunta:

Agregado Pétreo	Cantidad mínima (g)	Aforo mínimo (mL)
Grava 50 - 20 mm	1000	500
Grava 20 - 5 mm	500	500
Arena 20 mm	100	500

Tabla 26: Cantidad de muestra y aforo
Fuente: *Manual de ensayo de materiales, 2016*

El porcentaje de sales solubles se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Sales\ solubles\ (\%) = \frac{1}{\frac{C \times A}{D \times B} - 1} \times 100$$

Donde:

- **A:** peso de muestra seca con masa constante (gr)
- **B:** peso de agua destilada aforada en un matraz (ml)
- **C:** un volumen entre 50ml a 100ml, de la muestra previamente homogeneizada (ml)
- **D:** masa constante cristalizada (gr)

J. CARGA DE ROTURA Y LA ELONGACION DE GEOTEXTILES TEJIDOS Y NO TEJIDOS (METODO GRAB)

Este ensayo tiene por objeto determinar la carga de rotura (tensión Grab) y la elongación (elongación Grab) de los geotextiles tejidos y no tejidos, mediante el método Grab. Determinando así una propiedad índice. Se incluyen los procedimientos para medir la carga de rotura y la elongación mediante el método Grab, tanto en estado seco como en estado húmedo; sin embargo, el ensayo normalmente se realiza en seco a menos que se especifique de otra manera.

Se utilizará una máquina para el ensayo de Tracción (Maquina Universal de Ensayos INSTRON 600DX) – esta máquina debe garantizar que la velocidad de separación se mantenga constante con el tiempo. También, se fabricarán mordazas, estas deben de tener superficies de ajuste planas, paralelas y aptas para evitar el deslizamiento del espécimen durante un ensayo. Cada mordaza tendrá una superficie de 25.4 mm por 50.8 mm, con la dimensión más larga paralela a la dirección de aplicación de la carga. Las superficies de las mordazas deben ser iguales y estar alineadas, una respecto de la otra.

En cuanto al procedimiento del ensayo, un dato importante es la velocidad. Se ajustará la distancia entre las mordazas al comienzo del ensayo a 75 ± 1 mm. Se selecciona la escala de carga de la máquina de ensayo de manera que el valor máximo se presente entre 10% y 90% de la escala total de carga. Se ajusta la máquina para que opere a una velocidad de 300 ± 10 mm/min.

Los resultados a obtener son la carga de rotura y elongacion:

- **Carga de Rotura** – Se calcula la carga de rotura promediando todos los valores de los especímenes ensayados. La carga de rotura es el punto máximo de carga a la cual llega el ensayo.
- **Elongación** – Se calcula la elongación, en la carga de rotura o en otras cargas específicas, promediando los valores de la elongación aparente para todos los resultados de los especímenes ensayados. Se expresa como porcentaje del incremento de longitud con respecto a la longitud inicial tomada de cada espécimen.

7.6 Propiedades físicas, mecánicas y químicas del material de terreno de fundación, subbase y geotextiles

A continuación se presentan tablas con el resumen de resultados de los ensayos realizados para el material de subbase (Cantera Huillque y Vicho), el material de terreno de fundación y los geotextiles ensayados. Los detalles de cada ensayo se adjuntarán en los anexos posteriores.

7.6.1 Resumen de resultados – material de subbase y subrasante

Descripción	Cantera Huillque	Cantera Vicho	Material de Subrasante
Tamaño Máximo Nominal	1 ½"	1 ½"	¾"
% Gravas	66.05 %	57.31 %	19.80 %
% Arenas	31.93 %	40.20 %	29.46 %
% Finos	2.03 %	2.49 %	50.74%
Límite Líquido	18.00 %	19.9 %	20.00 %
Límite Plástico	21.17 %	18.85%	9.16 %
Indice de Plasticidad	0 %	1.05 %	10.84 %
Clasificación SUCS	GP	GW	CL
Clasificación AASHTO	A - 1 - a (0)	A - 1 - a (0)	A - 6 (4)
Indice de Grupo	0	0	4
Densidad Seca Máxima	2.11 gr/cm³	2.10 gr/cm³	1.89 gr/cm³
Contenido de Humedad Óptimo	8.40 %	7.80 %	12.70 %
% de Abrasión	42.80 %	26.90 %	-
CBR 100%	57.00 %	51.00 %	25.00 %
CBR 95%	52.30 %	46.50 %	19.00 %
Modulo de Elasticidad (E=100xCBR)	5230 kg/cm²	4650 kg/cm²	1900 kg/cm²
Sales Solubles Totales	0.0172 %	0.0434 %	0.0814 %
Equivalente de Arena	121.88%	35.00 %	-
Partículas Chatas y Alargadas	10.00 %	12.00 %	-

Tabla 27: Resumen de Resultados – ensayos de Canteras
Elaboración Propia, 2018

7.6.2 Resumen de resultados – geotextiles

Descripción	Geotextil Tejido T2400 – PAVCO	Geotextil No Tejido NW030M - PAVCO
Carga de Rotura Promedio	79.60 kg	95.70 kg
Elongación Promedio	38.03 %	40.75 %

Tabla 28: Resumen de Resultados – ensayos con geotextiles
Elaboración Propia, 2018

7.7 Observaciones, conclusiones y recomendaciones de los ensayos de control (material de subbase, subrasante y geotextil)

7.7.1 Observaciones

- En el análisis granulométrico se observó que tanto la Cantera de Huillque como la Cantera de Vicho tienen curvas que se encuentran dentro de los límites. Mientras, el material de subrasante presenta una gradación óptima para su uso.
- Se observó que la Cantera de Huillque y la Cantera de Vicho se clasifican como gravas, y su poco contenido de finos hace que su cohesión no sea muy buena.
- Al finalizar el ensayo de CBR se observó que las muestras no presentaban mucha cohesión.
- El contenido de humedad de los materiales de las canteras varian conforme varien las condiciones climáticas.

7.7.2 Conclusiones y recomendaciones

7.7.2.1 Conclusiones

- Los índices de plasticidad de la Cantera Huillque y Vicho estan por debajo del 4%, lo cual indica que cumplen con el requerimiento mínimo del MTC, mientras el Suelo que servirá como Subrasante presenta un índice de plasticidad de 10.84%, esto significa que es un suelo arcilloso de plasticidad media ya que su IP se encuentra entre 7% y 20%
- Para dar el uso correcto a los geotextiles tejidos y no tejidos es necesario tener como suelos de subbase a gravas, de acuerdo a la clasificación SUCS y AASHTO la Cantera de Huillque y la Cantera de Vicho se clasifican como Gravas Mal Graduadas.
- El indice de grupo de las Canteras de Huillque y Vicho son cero, esto nos indica que estos suelos son muy buenos de acuerdo a la clasificación del Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, 2013.
- Los porcentajes de abrasión de las Canteras Huillque y Vicho se encuentran por debajo del 50%, que es el requerimiento mínimo según el MTC.
- Los porcentajes de CBR al 100% y 95% de las Canteras Huillque y Vicho se encuentran por encima del 40%, que es el requerimiento mínimo para subbases de acuerdo al MTC. Mientras, el CBR del suelo de subrasante tiene un porcentaje de 19.00%, esto indica que es un suelo bueno para subrasante de acuerdo al Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos ,2013.

- Con respecto a los porcentajes de sales solubles totales, los tres materiales ensayados tienen porcentajes menores al 1.00%, por lo tanto cumplen con el requerimiento mínimo de acuerdo al MTC.
- Los porcentajes de equivalente de arena de las Canteras ensayadas indican que son suelos poco plásticos y no heladizos, y sólo la Cantera de Vicho cumple con el requerimiento máximo del MTC, siendo este 35%.
- Las Canteras de Huillque y Vicho cumplen con el requerimiento máximo de partículas chatas y alargadas de acuerdo al MTC.
- Los valores de Carga de Rotura y Elongación de los Geotextiles Tejidos y No Tejidos ensayados, se encuentran por debajo de los valores indicados en sus especificaciones técnicas. Sin embargo, utilizaremos estos valores para posteriormente hacer un diseño de pavimento y así ver la influencia de su uso en el ensayo de laboratorio planteado.

7.7.2.2 Recomendaciones

- La explotación de las Canteras de Huillque y Vicho deberán ser planificadas y orientadas en mantener un equilibrio ambiental, ecológico y visual, de tal manera que los impactos socio-ambientales sean reducidos.
- Se recomienda el uso del material de la Cantera de Huillque para la conformación de la capa de Subbase, debido a que presenta características óptimas para este fin.
- Implementar el uso y mantenimiento de los equipos de laboratorio para posteriores investigaciones.

CAPITULO VIII: APLICACIÓN DE GEOTEXIL TEJIDO Y NO TEJIDO EN LA INTERFAZ TERRENO DE FUNDACION – SUBBASE

8.1 Planteamiento de aplicación

Las aplicaciones más frecuentes de los geotextiles son la separación y el refuerzo de los diferentes tipos de material de relleno, especialmente en la interfaz terreno de fundación - subbase, por lo tanto se planteó utilizar geotextiles tejidos y no tejidos en la estructura de pavimentos flexibles donde se utilizará dos canteras de la zona que cumplen con los requerimientos mínimos de subbase, así como también un material de subrasante.

Para poder hacer el análisis de esfuerzos y deformaciones en la estructura de pavimentos flexibles, se planteó realizar un ensayo de laboratorio para medir de manera directa los esfuerzos y deformaciones, utilizando strain gauges en la interfaz terreno de fundación – subbase. (Ver Figura N°18). El ensayo consta basicamente de la fabricación de vigas con material de terreno de fundación y subbase, estas tienen dimensiones de 80cm x 20cm x 25cm y estan apoyadas sobre un material compactado de 10cm de espesor que simula la continuación del terreno de fundación.

8.1.1 Ubicación del eje neutro y zona de tracción

Los espesores de la subrasante y la subbase se determinaron ubicando el eje neutro de las dos vigas apiladas, de esa manera se sabrá dónde ubicar el geotextil. Se muestra la sección transversal de la viga.

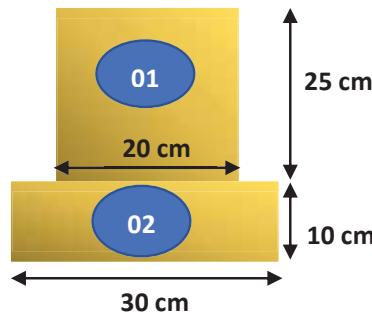


Figura 18: Viga 01 y Viga 02 de dimensiones propuestas – sección transversal
Elaboración propia, 2018

De la Figura N°18, calculamos el eje neutro con la siguiente ecuación:

$$Y = \frac{\sum(A_i \times y_i)}{\sum A_i}$$

FIGURA	AREA (cm ²)	Yi (cm)	Mi=Area x Yi (cm ³)
1	500	22.5	11250
2	300	5.0	1500
\sum	800		12750

$$Y = \frac{12750}{800} = 15.94$$

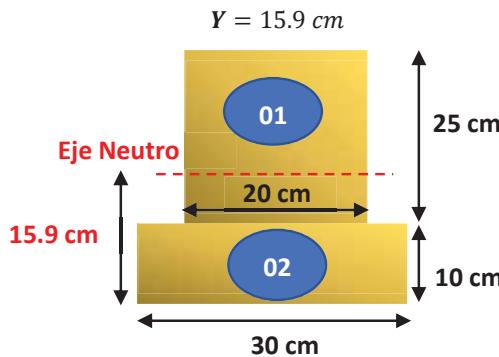


Figura 19: Ubicación del eje neutro, a 15.9 cm de la base
Elaboración propia, 2018

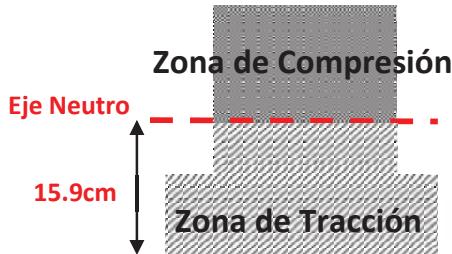


Figura 20: Separación de la zona de compresión y tracción
Elaboración propia, 2018

Siendo uno de los objetivos calcular y analizar los esfuerzos de tensión, ubicaremos el geotextil en la zona de tracción, por lo tanto la configuración de nuestra viga será de 15 cm de terreno de fundación y 20cm de subbase, así como se muestra en la Figura N°21, N°22 y N°23.

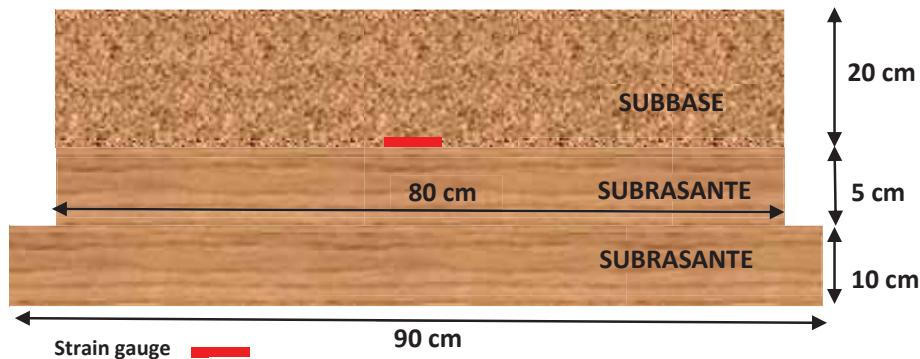


Figura 21: Configuración Terreno de fundación – Subbase, sin geotextil.
Elaboración propia, 2018

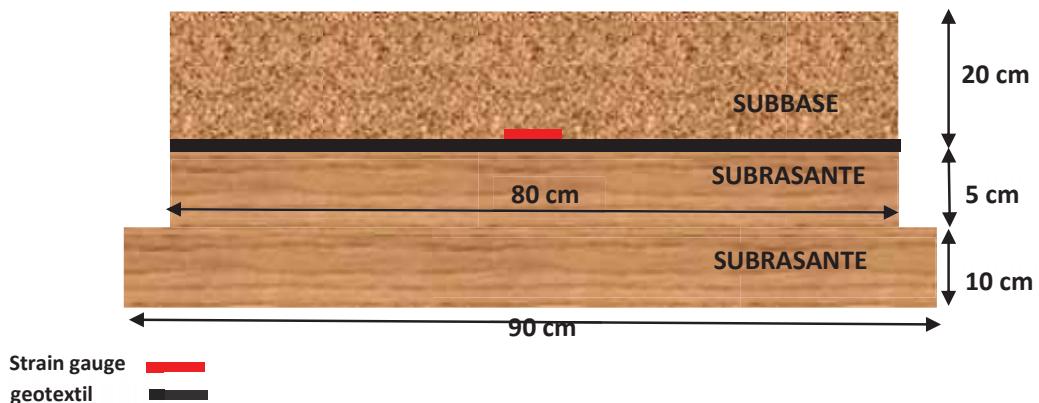


Figura 22: Configuración Terreno de fundación – Subbase, con geotextil no tejido.
Elaboración propia, 2018

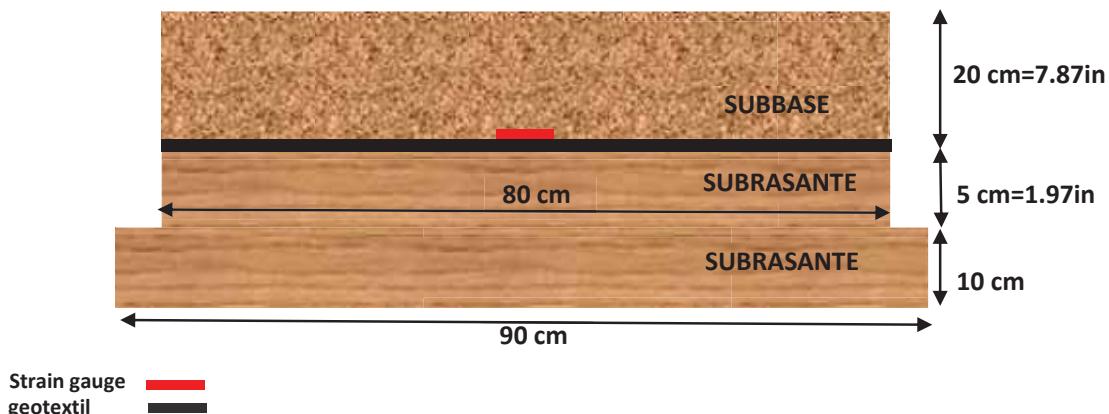


Figura 23: Configuración Terreno de fundación – Subbase, con geotextil tejido.
Elaboración propia, 2018

8.1.2 Análisis con Software Kenlayer

Para poder determinar el tipo de strain gauge (celda de carga) que se utilizará en el ensayo, se realizó previamente un análisis de multicapa para calcular los esfuerzos, deformaciones y deflexiones en un punto específico; y de esa manera adquirir strain gauges con especificaciones técnicas útiles para el ensayo.

Este análisis se realizó con el Software KENLAYER, el software cuenta con herramientas que nos proporcionan un análisis más completo de esfuerzos, deformaciones y deflexiones en puntos específicos y a su vez se pueden ingresar parámetros de distintos tipos de terreno; lo cual favorece al análisis.

Escenario 01 y 02 – Cantera Vicho y Huillque

	Subrasante	Subbase Cantera Vicho	Subbase Cantera Huillque
Espesor de capas	1.97 in	7.87 in	7.87 in
Módulo de elasticidad	25887 PSI	66139 PSI	74388 PSI
Coeficiente de poisson ⁽¹⁾	0.45	0.35	0.35
Radio de contacto (a) ⁽²⁾		4.886 in	
Presión de contacto (q) ⁽³⁾		120 PSI	

Nota: ⁽¹⁾ Los valores sugeridos en el software de análisis son 0,35 para HMA y materiales granulares y 0,45 para suelos de grano fino.

⁽²⁾ El radio de contacto se calcula con la ecuación $a = \sqrt{\frac{P}{(\pi \times q)}}$, donde P es la carga transmitida por rueda, se considerara 9000lb (standard)

⁽³⁾ El valor de la presión de contacto corresponde a un vehículo pesado de acuerdo al MTC

Tabla 29: Datos de entrada para el análisis con Software KENLAYER
Elaboración Propia, 2018

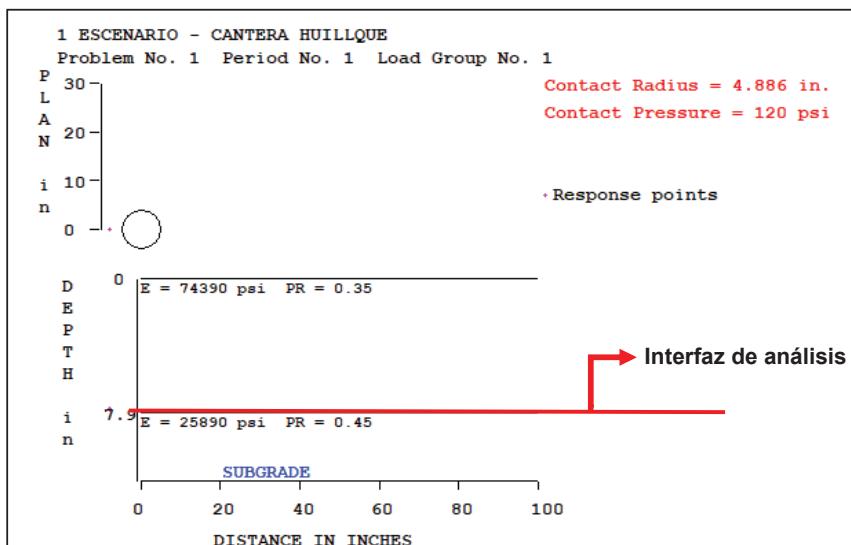


Figura 24: Representación del análisis con KENLAYER - Cantera Huillque
Fuente: Software KENLAYER

Los resultados del análisis son los siguientes:

ESFUERZOS		
Esfuerzo Vertical	14.423 PSI	1.014 kg/cm ²
Esfuerzo Radial	-4.065 PSI	-0.286 kg/cm ²
Esfuerzo Tangencial	-16.260 PSI	-1.143 kg/cm ²
Esfuerzo Cortante	-8.155 PSI	-0.573 kg/cm ²

Tabla 30: Resultados de Esfuerzos con Software KENLAYER
Elaboración Propia, 2018

DEFORMACIONES UNITARIAS	
Deformacion Vertical	0.0002895
Deformación Radial	-0.0000460
Deformación Tangencial	-0.0002673
Deformación Cortante	-0.000296

Tabla 31: Resultados de Deformaciones con Software KENLAYER
Fuente: Elaboración Propia, 2018

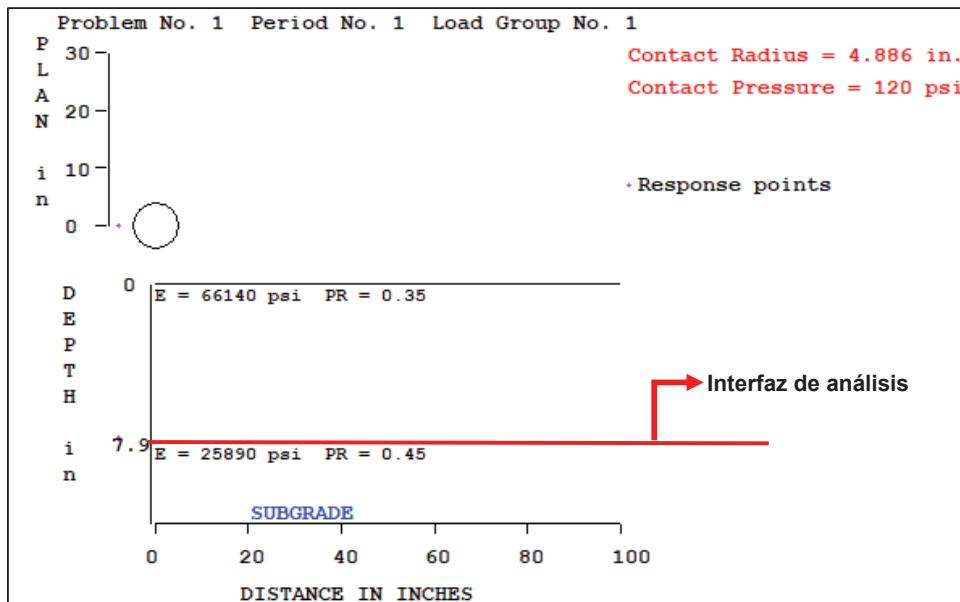


Figura 25: Representación del análisis con KENLAYER - Cantera Vicho
Fuente: Software KENLAYER

Los resultados del análisis son los siguientes:

ESFUERZOS		
Esfuerzo Vertical	14.775 PSI	1.039 kg/cm ²
Esfuerzo Radial	-2.679 PSI	-0.188 kg/cm ²
Esfuerzo Tangencial	-14.091 PSI	-0.991 kg/cm ²
Esfuerzo Cortante	-8.544 PSI	-0.601 kg/cm ²

Tabla 32: Resultados de Esfuerzos con Software KENLAYER
Elaboración Propia, 2018

DEFORMACIONES UNITARIAS	
Deformacion Vertical	0.0003121
Deformación Radial	-0.0000441

Deformación Tangencial	-0.0002771
Deformación Cortante	-0.000349

Tabla 33: Resultados de Deformaciones con Software KENLAYER
Elaboración Propia, 2018

Se asume que la distribución y el área afectada por los esfuerzos en la interfaz subrasante - subbase planteada será de la siguiente manera:

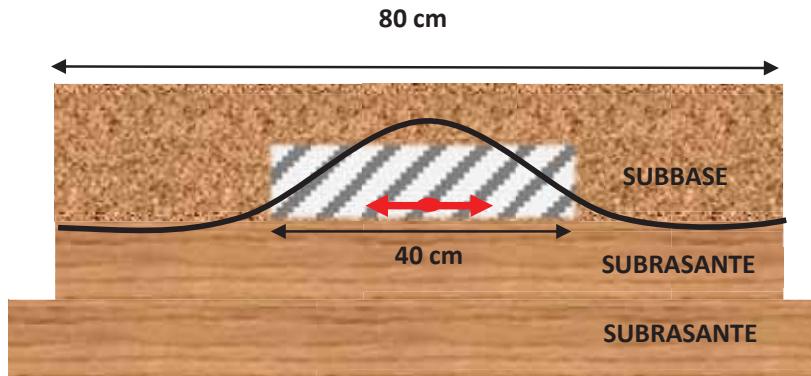


Figura 26: Distribución y el area afectada por los esfuerzos en la interfaz subrasante - subbase
Fuente: Elaboración propia, 2018.

Sabiendo que en la parte central se produce mayor deformación y que esta no se producirá en los 80cm de la viga, se considera el 50% de la longitud total, es decir 40cm. De esa manera calculamos la deformación total en mm.

$$\varepsilon = \frac{\delta}{L}$$

Donde:

ε : deformación radial unitaria máxima = **0.0000441**

δ : deformación total (mm)

L : Longitud original (mm) = **400mm**

Entonces:

$$\delta = 0.0000441 \times 400\text{mm}$$

$$\delta = 0.0176 \text{ mm}$$

8.1.3 Elección del tipo de Strain Gauge

Teniendo como datos preliminares los esfuerzos y deformaciones, elegimos un tipo de Strain Gauge (celda de carga) que tenga la sensibilidad para medir dichos datos.

Para este tipo de aplicación normalmente se utiliza galgas con una rejilla de medición con 10mm o mayor. Elegimos el de la Serie C de la marca HBM (Anexo N°03), que tiene las características necesarias para realizar el ensayo.



*Figura 27: Strain Gauge, Serie C
Elaboración propia, 2018.*

8.1.4 Dispositivo de Lectura de Strain Gauge y diales de deformación

Este equipo registrador consta de sensores (micrómetros, strain gauges, celdas de carga) de forma modular, el desarrollo contempla el dispositivo registrador y el software necesario para la visualización y almacenamiento de la información recolectada en una hoja de cálculo tipo excel. (Ver Anexo N°03)



*Figura 28: Dispositivo Registrador
Elaboración propia, 2018.*

8.2 Ensayo del modelo

8.2.1 Objetivo

Analizar los esfuerzos y deformaciones en la interfaz terreno de fundacion-subbase con y sin geotextiles tejidos y no tejidos.

8.2.2 Finalidad

Este ensayo tiene por finalidad obtener resultados de esfuerzos y deformaciones en la interfaz terreno de fundacion-subbase mediante la utilizacion de strain gauge ubicados en dicha interfaz, para la realización de los ensayos, análisis o investigaciones de laboratorio que requiera un proyecto.

Puede ser aplicado con la metodología de diseño que se basa en el análisis de deformaciones y los esfuerzos que se presentan en la estructura de pavimento

8.2.3 Referencias Normativas

No aplica

8.2.4 Equipos y materiales

EQUIPOS:

- Maquina Universal de Ensayos
- Dispositivo para la medida de deformaciones mediante los strain gauge
- Tecle manual con tripode metalico

MATERIALES:

- Material de subrasante
- Material de subbase
- Geotextil tejido y no tejido
- Encofrado de madera (90x30x15cm)
- Encofrado metálico (80x20x25cm)
- Strain gauge
- Pison y placa de compactacion

Encofrado de madera (90cm x 30cm x 15cm)

Este encofrado contendrá al material de terreno de fundación, deberá ser rígido por la base y los laterales para garantizar el buen comportamiento de la subrasante. Ver detalles en Anexo N°06

Encofrado metálico (80cm x 20cm x 25cm)

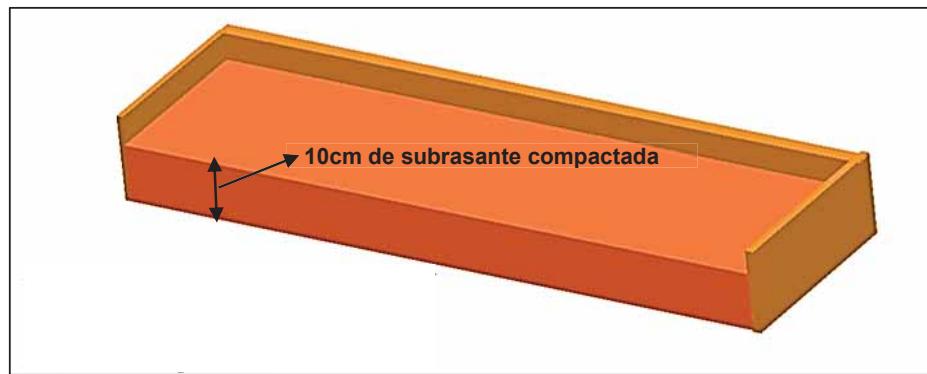
La estructura del encofrado metálico deberá ser lo suficientemente rígido como para garantizar el confinamiento del ensayo. Ver detalles en Anexo N°07

8.2.5 Muestra

La muestra deberá ser preparada y los especímenes para la compactación deberán prepararse con la humedad optima de agua. La muestra utilizada debe pasar el tamiz de 19mm (3/4"), toda la gradación deberá usarse para preparar las muestras a compactar sin modificación.

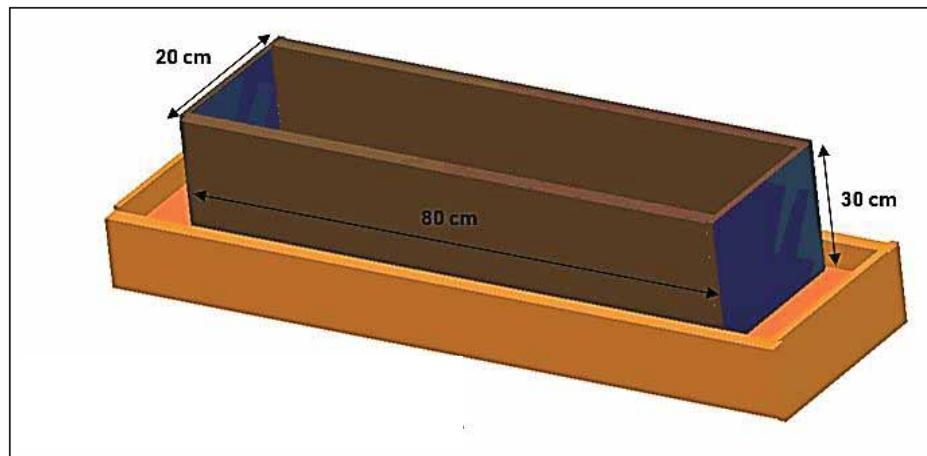
8.2.6 Procedimiento

- I. De acuerdo a la densidad y el contenido de humedad de cada uno de los materiales, ya sea para la subrasante o la subbase, calculamos el peso necesario para la fabricacion de nuestras vigas. Todo este peso calculado deberá ser compactado en el volumen predeterminado.
- II. Compactar 10cm del material de subrasante en el encofrado de madera. La compactación se hará en 5 capas, 56 golpes en cada punto de compactación.



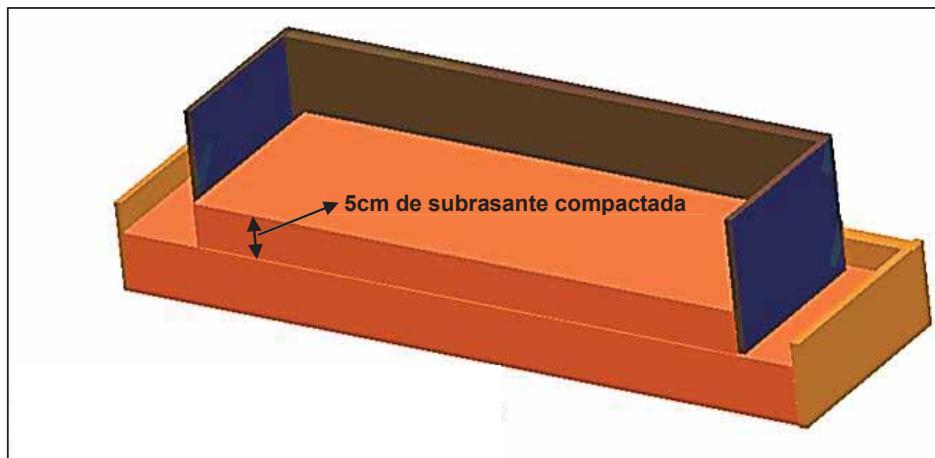
*Figura 29: Subrasante compactada de 10cm de espesor.
Representando el terreno de fundacion infinito de la configuración
Elaboración propia, 2018.*

- III. Armar el encofrado metálico encima de la subrasante compactada



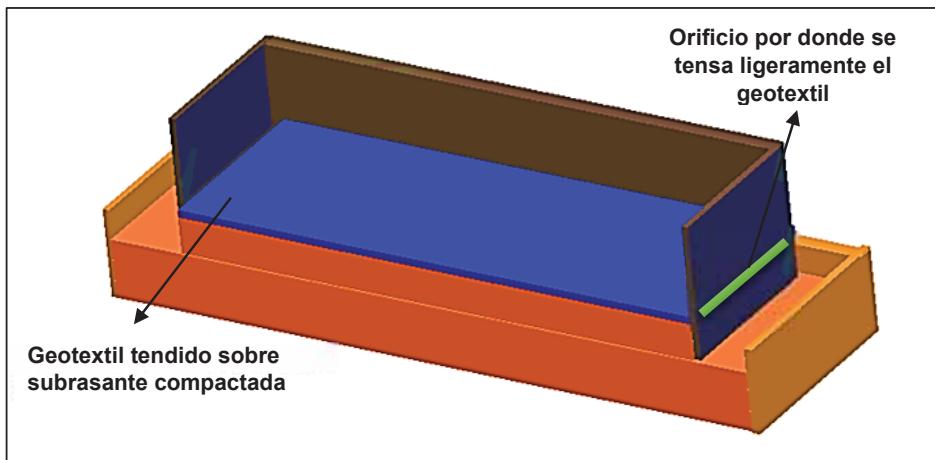
*Figura 30: Encofrado metálico de 80cm x 20cm x 30cm armado encima de la subrasante compactada
Elaboración propia, 2018.*

- IV. Dentro del encofrado metálico, se compacta 5 cm de subrasante.



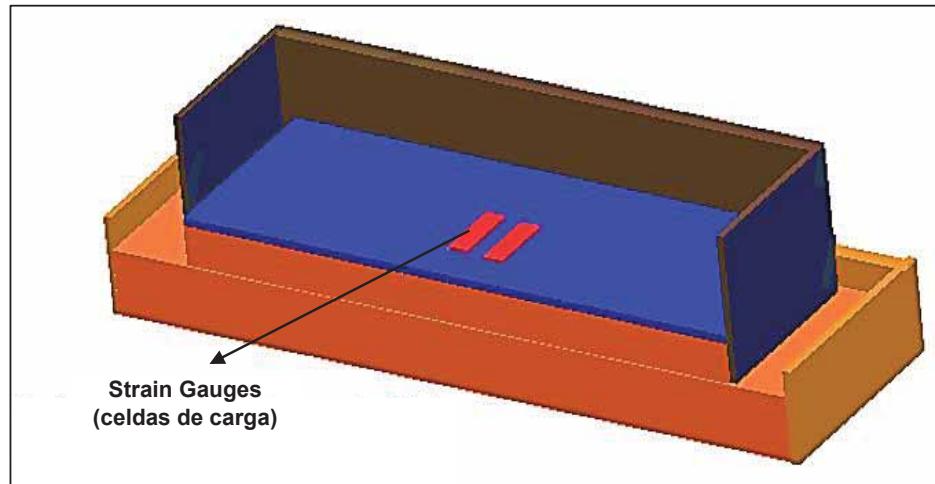
*Figura 31: Material de subrasante compactada al 100% con espesor de 5cm.
Se compacta con los cuatro laterales del encofrado metálico puestos
Elaboración propia, 2018.*

- V. Se tiende el geotextil encima de la subrasante compactada, y se tensa ligeramente de manera longitudinal.



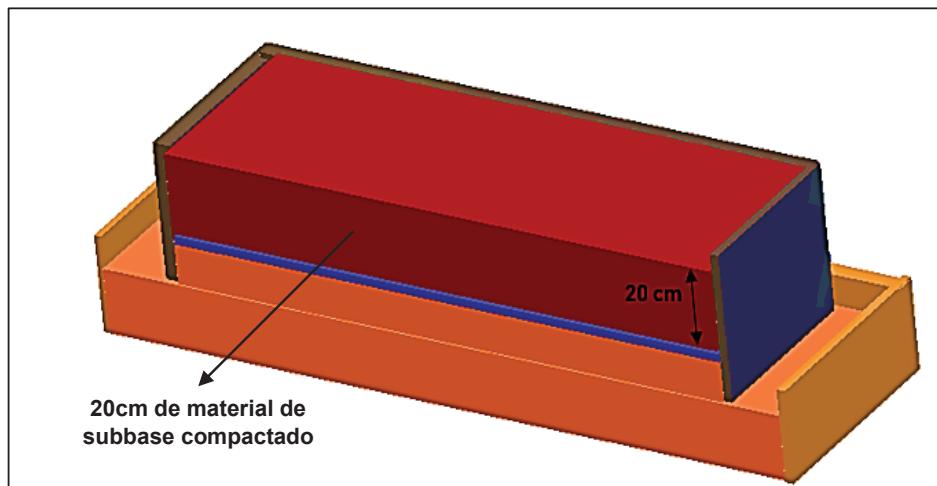
*Figura 32: Geotextil tendido y ligeramente tensado longitudinalmente
Elaboración propia, 2018.*

- VI. Se coloca el strain gauge encima del geotextil compactado, ubicado en la parte central, cubriendo un área de 40x 20cm aproximadamente.



*Figura 33: Ubicación del Strain Gauge encima del geotextil
Elaboración propia, 2018.*

- VII. Seguidamente, se compacta 20cm de material de subbase (05 capas, 56 golpes en cada punto de compactación)



*Figura 34: 20cm de Material de Subrasante compactado
Elaboración propia, 2018.*

VIII. Finalmente, se tiene la siguiente configuración:

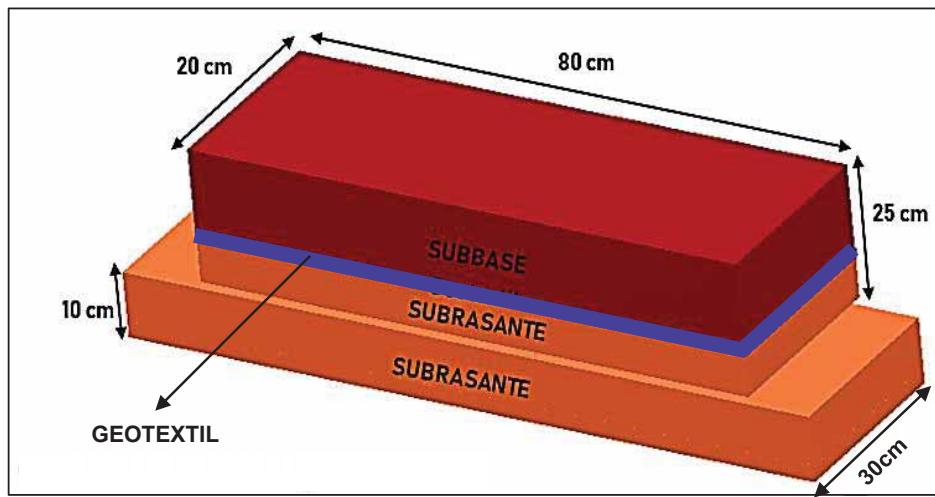


Figura 35: Vista sin encofrados en los laterales.

El ensayo se realizará con el encofrado metálico armado, representando el confinamiento del suelo
Elaboración propia, 2018.

8.2.7 CALCULOS

- Peso necesario para la compactacion mediante la siguiente formula:

$$Wm = \gamma d \times (1 + w) \times Vm$$

Donde:

- Wm : peso del material
- γd : densidad
- w : contenido optimo de agua
- Vm : volumen del encofrado

- Las lecturas de deformación y esfuerzo, se realizarán mediante el dispositivo de lectura de los strain gauge y la máquina universal.

8.3 Resultados del ensayo

Los resultados del ensayo realizado en laboratorio fueron obtenidos de dos fuentes:

I. Máquina Universal de Ensayos INSTRON 600DX

Los datos que se controlaron al emplear la Máquina Universal fueron:

- **Velocidad de ensayo:** se controló la carga en función del tiempo. Esta tuvo un valor de 200 kg/min. Puesto que cuando hicimos el análisis con el Software Kenlayer la carga inicialmente propuesta fue de 9000lg (860kg), y para tener una curva más detallada se

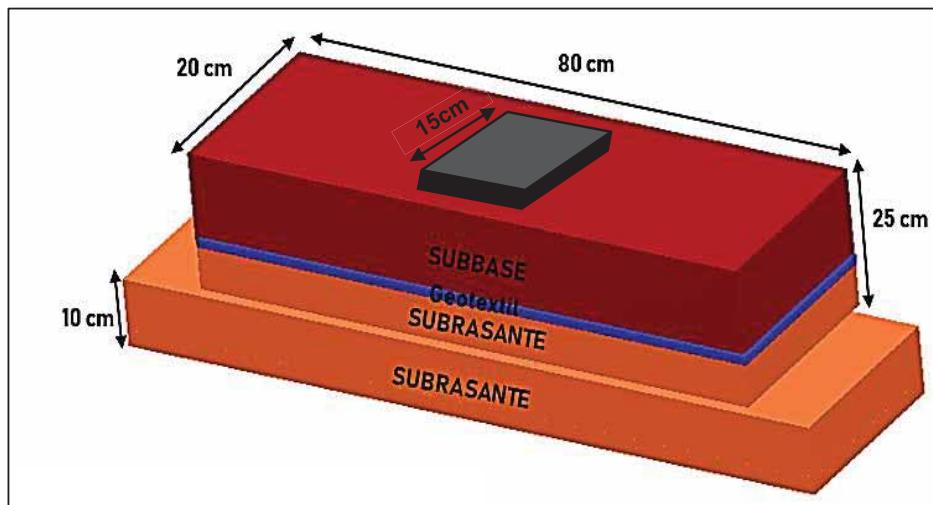
considero como referencia el doble de esta, es decir mas de una tonelada para que de esa manera el ensayo dure 10 minutos aproximadamente.

- **Esfuerzo:** se refiere a la presión de contacto “q”, que en el análisis previo que hicimos tiene un valor de 120PSI (8.443 kg/cm²). Este dato nos sirvio como referencia para verificar que el ensayo sea lo mas real posible, puesto que llegando a esta presión de contacto se originarían los esfuerzos y deformaciones calculadas.

Los datos que se *obtuvieron* al emplear la Máquina Universal fueron:

- **Carga en el Punto de Rotura:** La máxima carga en la cual el ensayo se detuvo
- **Esfuerzo en el Punto de Rotura:** La máxima carga dividida entre en Area de la Carga aplicada. El área tuvo un valor de 225cm² (Plancha metálica de sección: 15cm x 15cm)

Nota: la Carga Aplicada en el ensayo fue distribuida, para poder hacer más real el ensayo, esta fue de forma cuadrada con sección de 15cm x 15cm, ya que en el análisis previo se obtuvo que el radio de contacto fue de 5"(12.7cm), se optó por utilizar un valor mayor entero de 15cm de lado.



*Figura 36: Carga central distribuida, Sección 15cm x 15cm
El ensayo se realizará con el encofrado metálico armado, representando el confinamiento del suelo
Elaboración propia, 2018.*

- **Posición:** valor en mm que desciende la cruceta de Compresión de la Máquina, este se considera como la posición de descenso vertical que registra la máquina al momento del ensayo.

II. Equipo Registrador de Sensores (Strain Gauges)

Los datos que se *obtuvieron* al emplear el Equipo Registrador fueron:

- **Fuerza de tensión:** se refiere a la fuerza de tensión (en kg.) que se origina por la carga aplicada en la superficie de la viga. Esta lectura se origina por la respuesta del strain gauge ubicado encima del geotextil en la interfaz terreno de fundación – subbase.

Los datos que obtenemos mediante el Software se convierten a la Fuerza de Tension Verdadera (Fr), mediante la siguiente fórmula:

$$Fr = \frac{\frac{F'}{\log\left(\frac{205.55}{0.65}\right)}}{17.5}$$

Donde:

- Fr : Fuerza de tension (kg)
- F' : valor que obtenemos con el Software del Equipo Registrador (kg)

- **Deformación vertical:** con el objetivo de comparar y verificar la deformación que se tiene como resultado de la Máquina Universal, se colocaron dos diales sobre la superficie de la viga, para que de esa manera se tenga mejor controlada la deformación vertical.
- **Deformación horizontal:** esta se refiere a la deformación radial.

A partir de los datos de esfuerzo vertical (σ_z) y esfuerzo radial (σ_r), obtenemos los valores de deformacion radial (ϵ_r), con la formula siguiente:

$$\epsilon_r = \frac{1}{E} (\sigma r - \mu(\sigma t + \sigma z))$$

Donde:

- ϵ_r : deformacion radial
- σr : esfuerzo radial ($\frac{kg}{cm^2}$)
- σz : esfuerzo vertical ($\frac{kg}{cm^2}$)
- σt : esfuerzo tangencial ($\frac{kg}{cm^2}$); $\sigma t = \sigma r^{(1)}$
- μ : coeficiente de poisson de la subbase
- E : modulo de elasticidad de la subbase ($\frac{kg}{cm^2}$)

⁽¹⁾ La carga es aplicada sobre un área específica, entonces los esfuerzos y deformaciones mas críticas se producen debajo del centro del área en el eje de simetría. (Yang H. Huang)

8.3.1 Resultados del ensayo Sin geotextil

8.3.1.1 Con Material de Subbase de la Cantera Huillque

1) Esfuerzos Verticales

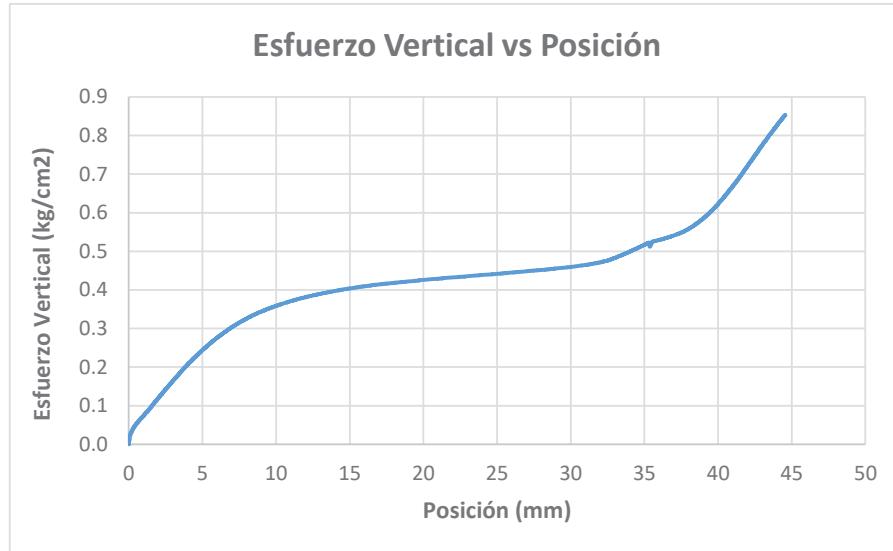


Figura 37: Esfuerzo Vertical vs Posición – Cantera Huillque Sin Geotextil
Elaboración propia, 2018

Esfuerzo Vertical Máximo (σ_z)	0.854 kg/cm ²
Posición Vertical Máxima	44.6mm

2) Esfuerzos y Deformaciones Radiales



Figura 38: Esfuerzo Radial vs Deformación unitaria Radial – Cantera Huillque Sin Geotextil
Elaboración propia, 2018

Nota: el salto que se observa en la Figura N°38 representa un reacomodo del material al momento de hacer el ensayo.

Esfuerzo Radial MÁximo (σ_r)	0.907 kg/cm ²
Deformación unitaria Radial MÁxima	-0.00020585

8.3.1.2 Con Material de Subbase de la Cantera Vicho

1) Esfuerzos Verticales

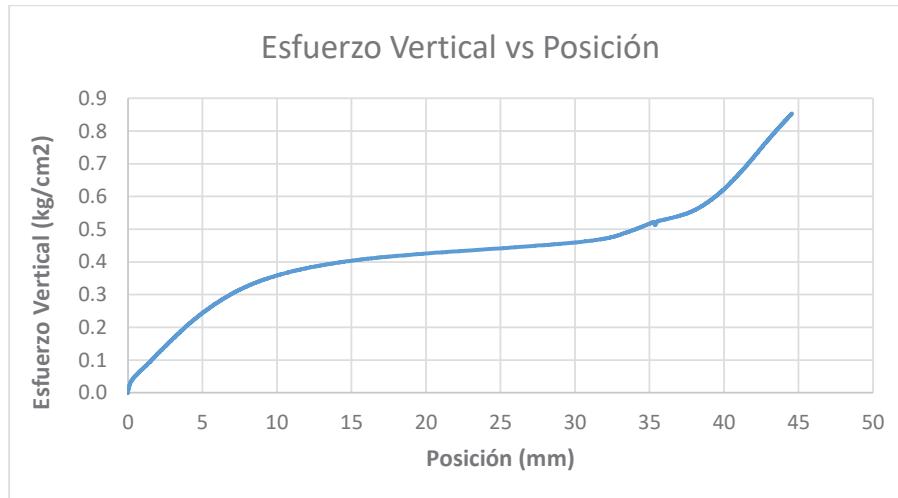


Figura 39: Esfuerzo Vertical vs Posición – Cantera Vicho Sin Geotextil
Elaboración propia, 2018

Esfuerzo Vertical MÁximo (σ_z)	0.882 kg/cm ²
Posición Vertical MÁxima	44.7 mm

2) Esfuerzos y Deformaciones Radiales

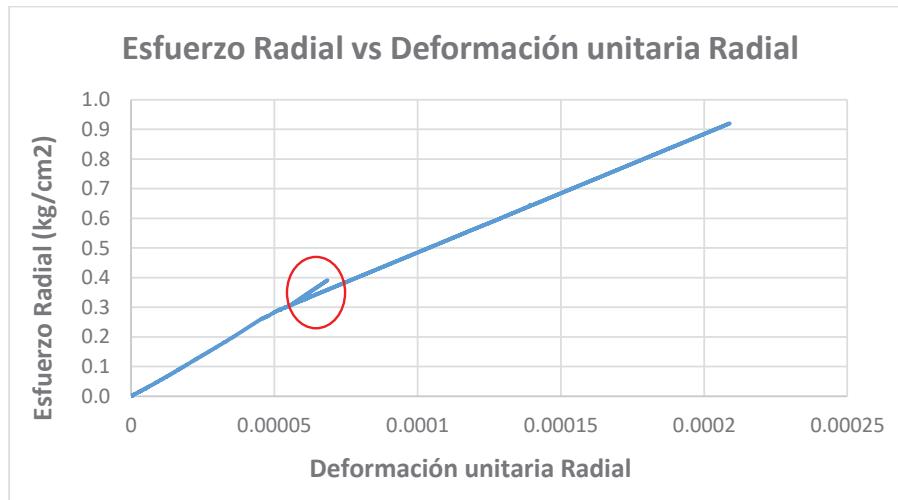


Figura 40: Esfuerzo Radial vs Deformación unitaria Radial – Cantera Vicho Sin Geotextil
Elaboración propia, 2018

Nota: al igual que en la Figura N°38 el salto que se observa en la Figura N°40 representa un reacomodo del material al momento de hacer el ensayo.

Esfuerzo Radial Máximo (σ_r)	0.920 kg/cm ²
Deformación unitaria Radial Máxima	-0.00020892

8.3.2 Resultados del ensayo con Geotextil Tejido

8.3.2.1 Con Material de Subbase de la Cantera Huillque

1) Esfuerzos Verticales

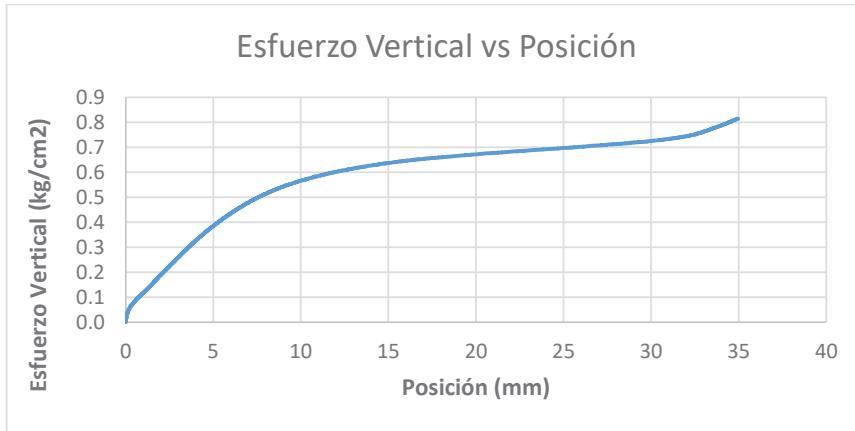


Figura 41: Esfuerzo Vertical vs Posición – Cantera Huillque con Geotextil Tejido
Elaboración propia, 2018

Esfuerzo Vertical Máximo (σ_z)	0.816 kg/cm ²
Posición Vertical Máxima	35.0 mm

2) Esfuerzos y Deformaciones Radiales



Figura 42: Esfuerzo Radial vs Deformación Radial – Cantera Huillque con Geotextil Tejido
Elaboración propia, 2018

Nota: estos dos saltos en la Figura N°42 representan el reacomodo del material compactado al momento de realizar el ensayo.

Esfuerzo Radial Máximo (σ_r)	0.836 kg/cm ²
Deformación unitaria Radial Máxima	-0.00015535

8.3.2.2 Con Material de Subbase de la Cantera Vicho

1) Esfuerzos Verticales

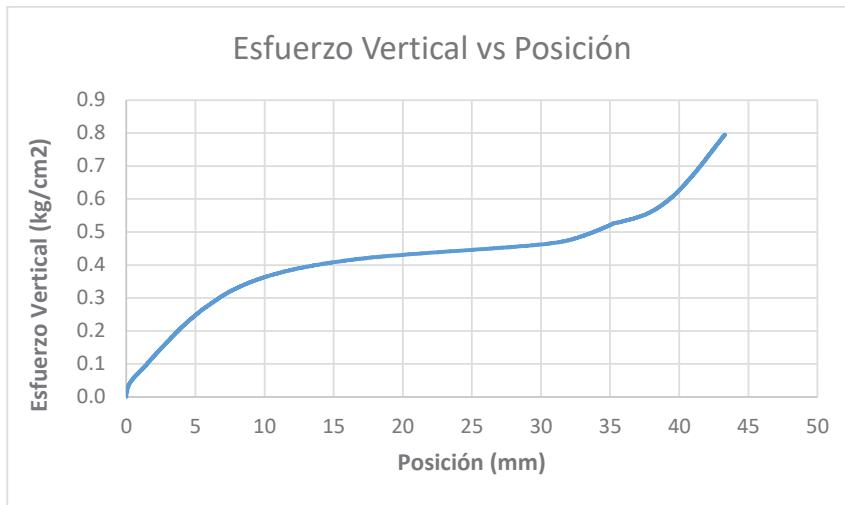


Figura 43: Esfuerzo Vertical vs Posición – Cantera Vicho con Geotextil Tejido
Elaboración propia, 2018

Esfuerzo Vertical Máximo (σ_z)	0.795 kg/cm ²
Posición Vertical Máxima	43.3 mm

2) Esfuerzos y Deformaciones Radiales

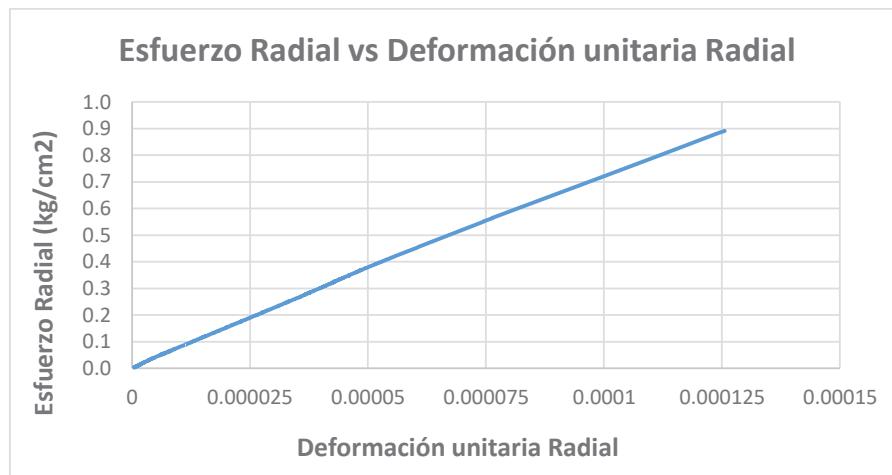


Figura 44: Esfuerzo Radial vs Deformación unitaria Radial - Cantera Vicho con Geotextil Tejido
Elaboración propia, 2018

Esfuerzo Radial Máximo (σ_r)	0.892 kg/cm ²
Deformación Radial Máxima	-0.0001256

8.3.3 Resultados del ensayo con Geotextil No Tejido

8.3.3.1 Con Material de Subbase de la Cantera Huillque

1) Esfuerzos Verticales

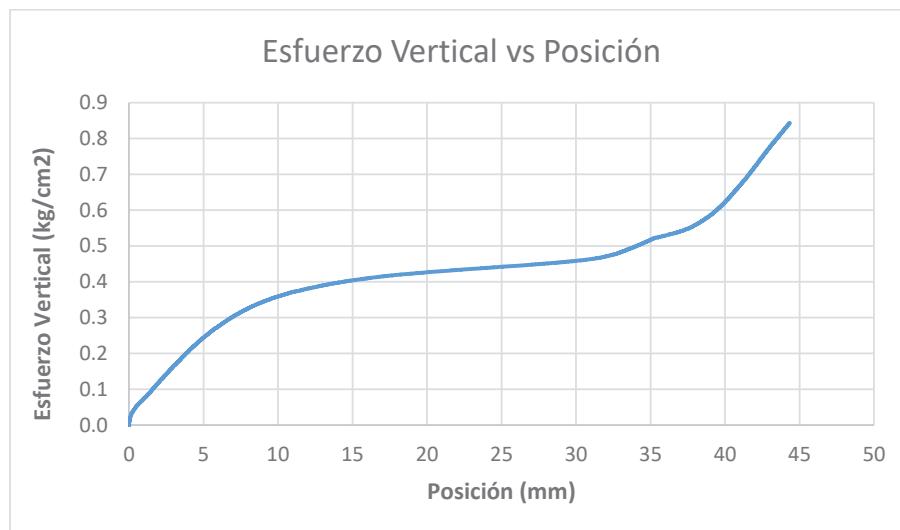


Figura 45: Esfuerzo Vertical vs Posición – Cantera Huillque con Geotextil No Tejido
Elaboración propia, 2018

Esfuerzo Vertical Máximo (σ_z)	0.843 kg/cm ²
Posición Vertical Máxima	44.4mm

2) Esfuerzos y Deformaciones Radiales

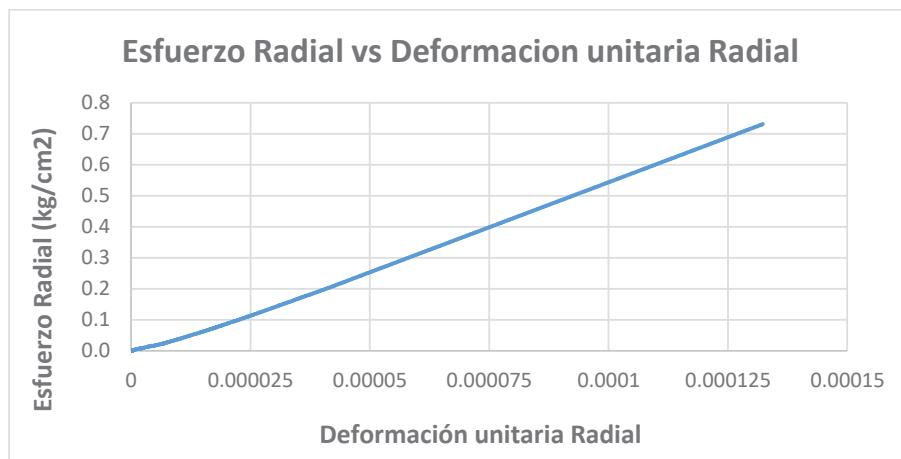


Figura 46: Esfuerzo Radial vs Deformación unitaria Radial - Cantera Huillque con Geotextil No Tejido
Elaboración propia, 2018

Esfuerzo Radial MÁximo (σ_r)	0.730 kg/cm ²
Deformación Radial MÁxima	-0.00013231

8.3.3.2 Con Material de Subbase de la Cantera Vicho

1) Esfuerzos Verticales

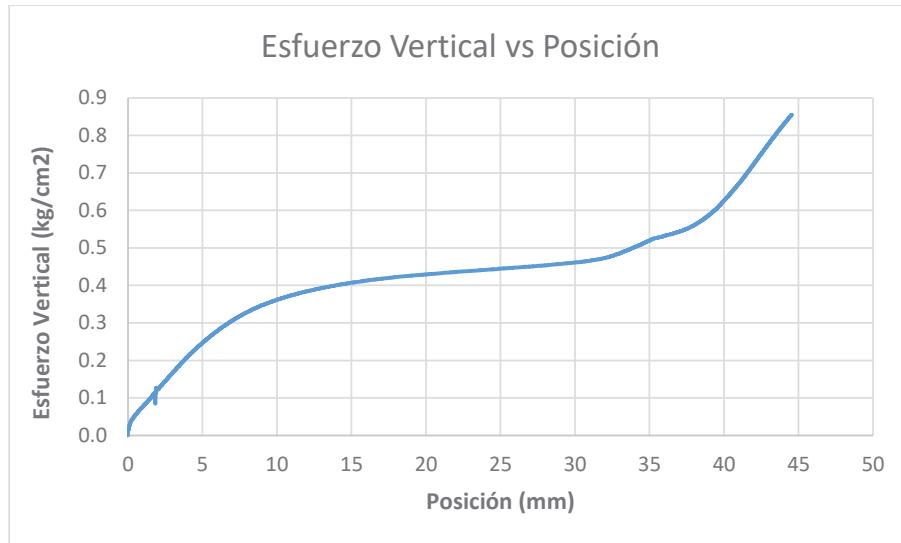


Figura 47: Esfuerzo Vertical vs Posición – Cantera Vicho con Geotextil No Tejido
Elaboración propia, 2018

Esfuerzo Vertical MÁximo (σ_z)	0.855 kg/cm ²
Posición Vertical MÁxima	44.6mm

2) Esfuerzos y Deformaciones Radiales



Figura 48: Esfuerzo Radial vs Deformación unitaria Radial – Cantera Vicho con Geotextil No Tejido
Elaboración propia, 2018

Esfuerzo Radial Máximo (σ_r)	0.724 kg/cm ²
Deformación unitaria Radial Máxima	-0.00010054

Para verificar la sensibilidad de los dispositivos de medición, se adjuntará en el Anexo N°09 un ejemplo de la lectura de las mediciones.

8.4 Análisis del Ensayo

Se analizará el ensayo de dos formas:

- 1) **Análisis por Canteras:** consistira en hacer un análisis de como varían los esfuerzos y deformaciones sin geotextil, con geotextil tejido y con geotextil no tejido de cada cantera.
- 2) **Análisis por Tipo de Geotextil:** consistira en analizar como varían los esfuerzos y deformaciones dependiendo del tipo de geotextil que se empleó.

8.4.1 Análisis por Canteras

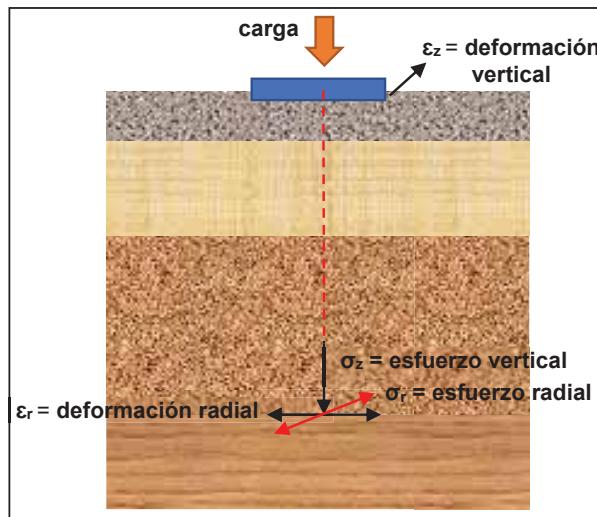


Figura 49: Ubicación de esfuerzos y deformaciones en la configuración de pavimento flexible
Elaboración propia, 2018

8.4.1.1 Cantera Huillque

	SIN GEOTEXTIL	GEOTEXTIL TEJIDO	GEOTEXTIL NO TEJIDO
ESFUERZO VERTICAL	0.854 kg/cm ²	0.816 kg/cm ²	0.843 kg/cm ²
POSICION VERTICAL	44.60 mm	35.00 mm	44.40 mm
ESFUERZO RADIAL	0.907 kg/cm ²	0.836 kg/cm ²	0.730 kg/cm ²
DEFORMACION UNITARIA RADIAL	-0.00020585	-0.00015535	-0.00013231

*Tabla 34: Resultados de esfuerzos y deformaciones – Cantera Huillque
Elaboración propia, 2018*

Si consideramos a los valores de esfuerzo y deformación Sin Geotextil como base, es decir 100%, entonces vemos que al usar Geotextiles Tejidos y No Tejidos varían de la siguiente manera:

	GEOTEXTIL TEJIDO	GEOTEXTIL NO TEJIDO
ESFUERZO VERTICAL	Disminuye en 4.45 %	Disminuye en 1.29 %
POSICION VERTICAL	Disminuye en 21.52 %	Disminuye en 0.45 %
ESFUERZO RADIAL	Disminuye en 7.83 %	Disminuye en 19.51 %
DEFORMACION UNITARIA RADIAL	Disminuye en 24.53 %	Disminuye en 35.73 %

*Tabla 35: Resultados de esfuerzos y deformaciones – Cantera Huillque, en porcentajes
Elaboración propia, 2018*

8.4.1.2 Cantera Vicho

	SIN GEOTEXTIL	GEOTEXTIL TEJIDO	GEOTEXTIL NO TEJIDO
ESFUERZO VERTICAL	0.882 kg/cm ²	0.795 kg/cm ²	0.855 kg/cm ²
POSICION VERTICAL	44.70 mm	43.30 mm	44.60 mm
ESFUERZO RADIAL	0.920 kg/cm ²	0.892 kg/cm ²	0.724 kg/cm ²
DEFORMACION UNITARIA RADIAL	-0.00020892	-0.0001256	-0.00010054

*Tabla 36: Resultados de esfuerzos y deformaciones, Cantera Vicho
Elaboración propia, 2018*

Si consideramos a los valores de esfuerzo y deformación Sin Geotextil como base, es decir 100%, entonces vemos que al usar Geotextiles Tejidos y No Tejidos varían de la siguiente manera:

	GEOTEXTIL TEJIDO	GEOTEXTIL NO TEJIDO
ESFUERZO VERTICAL	Disminuye en 9.86 %	Disminuye en 3.06 %
POSICION VERTICAL	Disminuye en 3.13 %	Disminuye en 0.22 %
ESFUERZO RADIAL	Disminuye en 3.04 %	Disminuye en 21.30 %
DEFORMACION UNITARIA RADIAL	Disminuye en 39.88 %	Disminuye en 51.88 %

*Tabla 37: Resultados de esfuerzos y deformaciones – Cantera Viho, en porcentajes.
Elaboración propia, 2018*

8.4.2 Análisis por Tipo de Geotextil

8.4.2.1 Geotextil Tejido T2400

	Cantera Huillque	Cantera Vicho
ESFUERZO VERTICAL	0.816 kg/cm ²	0.795 kg/cm ²
POSICION VERTICAL	35 mm	43.3 mm
ESFUERZO RADIAL	0.836 kg/cm ²	0.892 kg/cm ²
DEFORMACION UNITARIA RADIAL	-0.0001554	-0.0001256

Tabla 38: Resultados de esfuerzos y deformaciones en GT2400
Elaboración propia, 2018

Al usar Geotextil Tejido de la Serie T2400 – PAVCO, con la Cantera Huillque y Vicho, se observa que los esfuerzos y deformaciones varían de la siguiente manera:

GEOTEXTIL TEJIDO T2400 - PAVCO	
ESFUERZO VERTICAL	Varía en 2.57%
POSICION VERTICAL	Varia en 19.17%
ESFUERZO RADIAL	Varía en 6.28%
DEFORMACION UNITARIA RADIAL	Varía en 19.18%

Tabla 39: Variación de esfuerzos y defromaciones GT2400
Elaboración propia, 2018

8.4.2.2 Geotextil No Tejido NW030M

	Cantera Huillque	Cantera Vicho
ESFUERZO VERTICAL	0.843 kg/cm ²	0.855 kg/cm ²
POSICION VERTICAL	44.40 mm	44.60 mm
ESFUERZO RADIAL	0.730 kg/cm ²	0.724 kg/cm ²
DEFORMACION UNITARIA RADIAL	-0.00013231	-0.00010054

Tabla 40: Resultados de esfuerzos y deformaciones NW030M
Elaboración propia, 2018

Al usar Geotextil No Tejido de la Serie NW030M – PAVCO, con la Cantera Huillque y Vicho, se observa que los esfuerzos y deformaciones varían de la siguiente manera:

GEOTEXTIL NO TEJIDO NW030M - PAVCO	
ESFUERZO VERTICAL	Varía en 1.40%
POSICION VERTICAL	Varia en 0.45%
ESFUERZO RADIAL	Varía en 0.82%
DEFORMACION UNITARIA RADIAL	Varía en 24.01%

Tabla 41: Variación de esfuerzos y deformaciones, NW030M
Elaboración propia, 2018

Finalmente, se hace una comparación en cuanto a la variación de esfuerzos y deformaciones de acuerdo al tipo de Geotextil, ya sea Tejido o No Tejido.

	Geotextil Tejido T2400	Geotextil No Tejido NW030M
ESFUERZO VERTICAL	Varía en 2.57%	Varía en 1.40%
POSICION VERTICAL	Varia en 19.17%	Varia en 0.45%
ESFUERZO RADIAL	Varía en 6.28%	Varía en 0.82%
DEFORMACION UNITARIA RADIAL	Varía en 19.18%	Varía en 24.01%

*Tabla 42: Variación de esfuerzos y deformaciones de GT2400 y NW030M
Elaboración propia, 2018*

8.5 Observaciones, conclusiones y recomendaciones del ensayo

8.5.1 Observaciones

- El planteamiento de la forma de compactación de las vigas fue un éxito, ya que al obtener el peso necesario que debía ingresar a los encofrado y compactarlo en un total nos garantizaba el grado de compactación óptimo.
- La comparación de dos canteras de la zona, hizo que el ensayo sea más productivo, puesto que se obtuvieron más resultados y así se pueda elegir una mejor opción de cantera.
- Al emplear dos tipos de geotextiles (Tejidos y No Tejidos), se puede comparar y elegir el geotextil de acuerdo a su función.
- El uso de los strain gauge facilita la medición de los esfuerzos y deformaciones en un punto específico de la estructura, sólo con su colocación y correcta instalación en el punto de análisis.

8.5.2 Conclusiones y recomendaciones

8.5.2.1 Conclusiones

- Con respecto al Análisis por Canteras y enfocándonos en el Esfuerzo Radial (de tensión), en la cantera Huillque existe una disminución de esfuerzo de 7.83% con el uso de Geotextil Tejido y una disminución de 19.51% con el uso de geotextil No Tejido, esto debido al tipo de Geotextil, ya que con el No Tejido se absorben más los esfuerzos de tensión. Por otro lado las deformaciones radiales producidas también disminuyen en mayor proporción con el uso de Geotextil No Tejido.
- En la Cantera de Vicho el Esfuerzo Radial que se produce en la interfaz Terreno de Fundación – Subbase con el uso de Geotextil Tejido, el esfuerzo disminuye en 3.04% y con el uso del No Tejido disminuye en 21.30%, y al igual que en la Cantera de Huillque se concluye que el Geotextil No Tejido absorbe más los esfuerzos de tensión, así como también las deformaciones radiales.
- Con respecto al Análisis por Tipo de Geotextil, se concluye que el esfuerzo radial con el uso de Geotextil Tejido T2400, es menor en la cantera de Huillque. Mientras que con el uso de Geotextil No Tejido NW030M el esfuerzo radial es menor en la Cantera de Vicho.
- Las deformaciones radiales con el uso de Geotextil Tejido T2400 y el Geotextil No Tejido NW030M son menores en la Cantera de Vicho.

8.5.2.2 Recomendaciones

- Se recomienda el uso de dos (02) Strain Gauges, en el área de estudio de la interfaz analizada ya que al momento de montar la viga en la Máquina Universal para el ensayo, uno de ellos puede fallar por la mala manipulación y para no perder toda la muestra es recomendable la instalación de dos galgas.
- Hacer el estudio en la interfaz subbase-base para ver en que interfaz trabaja mejor el geotextil (subrasante-subbase o subbase-base)

CAPITULO IX :ANALISIS DE RELACION BENEFICIO-COSTO CON EL USO DE GEOTEXTILES TEJIDOS Y NO TEJIDOS EN LA INTERFAZ TERRENO DE FUNDACION – SUBBASE

9.1 Con Geotextil Tejido T2400 – PAVCO

9.1.1 Cantera Huillque

Es importante resaltar que el geotextil tejido permite incrementar las condiciones de soporte de la estructura de pavimento como un todo, sin embargo, en la metodología de diseño se debe evaluar el aporte del geotextil en la capacidad portante del suelo de subrasante para comparar los resultados del diseño de la vía sin geotextil y del diseño con geotextil.

Paso 1. Diseño Inicial de la Estructura de Pavimento

Para este análisis de beneficio – costo, se presenta un diseño inicial de la estructura de pavimento con las siguientes características:

1.-

- Tráfico de Diseño : $N = 1.5 \times 10^6$ ejes equivalentes de 8.20 ton ⁽¹⁾
Periodo de Diseño : 20 años ⁽²⁾
CBR de la subrasante : 19%

Nota:

- ⁽¹⁾ De acuerdo al Manual de Carreteras, Suelos y Geología; los Caminos Pavimentados con pavimentos flexibles, semirrígidos y rígidos, están clasificados en quince (15) rangos de Número de Repeticiones de EE en el carril y periodo de diseño, desde 75,000 EE hasta 30'000,000 EE. Por lo que se utiliza el valor promedio, es decir el que se encuentra en el rango 06. (Ver cuadro 6.15 del Manual de Carreteras, Suelos y Geología 2013)
- ⁽²⁾ Según a la metodología empleada para definir las secciones del catálogo de los pavimentos ha consistido en aplicar el procedimiento de la Guía AASHTO 1993, y aplicar un análisis de comportamiento del pavimento que cubre el periodo de diseño de 20 años de la estructura del pavimento, es decir un periodo de diseño en una etapa.

2.- Diseño Inicial del Pavimento:

Empleamos la metodología de diseño de la AASHTO 93, para la cual necesitamos los siguientes datos:

Confidabilidad (R)	95%
Zr	-1.645
Desviación Standard (So)	0.45
Serviciabilidad Inicial	4

Serviciabilidad Final	2.50
Módulo Resiliente de la Subrasante	$2555^*CBR^{0.64} = 2555^*19^{0.64} = 16819 \text{ PSI}$
Tráfico de Diseño - W ₁₈	1490000

Tabla 43: Datos de entrada para el cálculo del SN
Elaboración propia, 2018

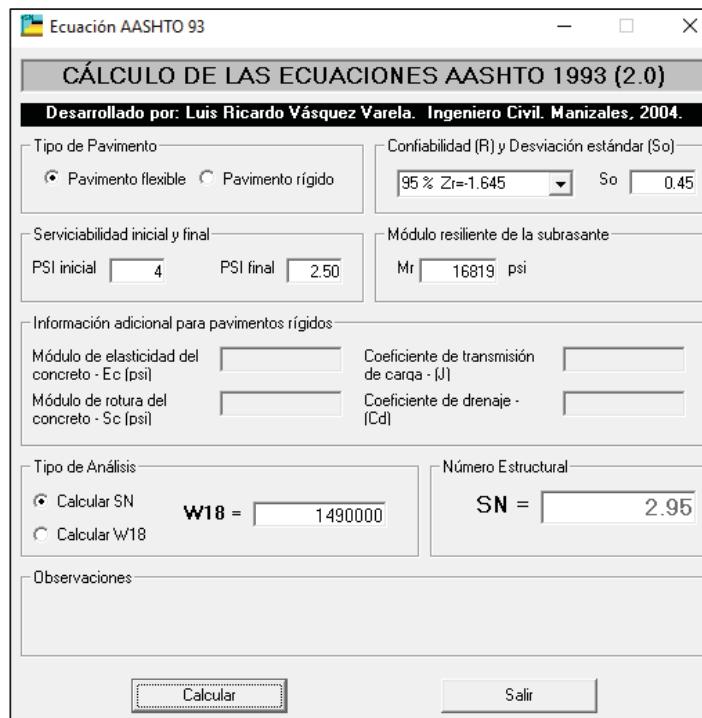


Figura 50: Cálculo del Número Estructural con las Ecuaciones AASHTO 93
Fuente: Software – Ecuaciones AASHTO 93

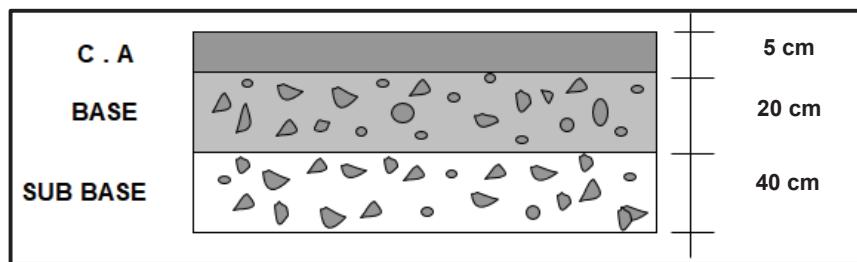
Si los coeficientes estructurales (a_i) y los coeficientes de drenaje (m_i) son:

- $a_1 = 0.125/cm$
- $a_2 = 0.052/cm$
- $a_3 = 0.047/cm$
- $m_2 = 0.8$
- $m_3 = 0.8$

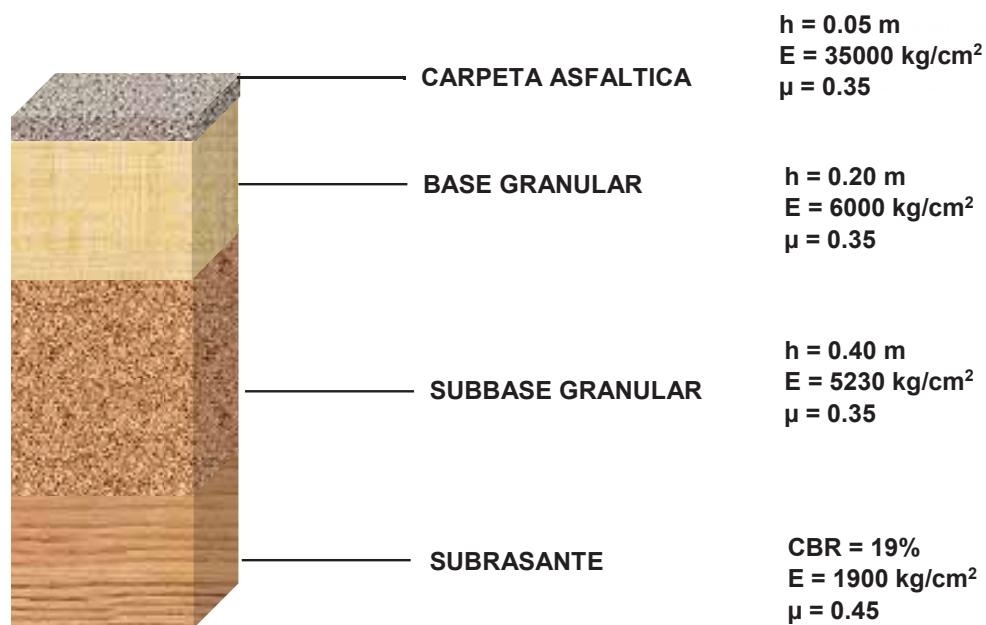
$$S_N = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3$$

$$2.95 < 2.96$$

Entonces los espesores de cada capa serán:



*Figura 51: Configuración de la Estructura de Pavimento Flexible
Elaboración propia, 2018*



*Figura 52:Configuración de la Estructura de Pavimento Flexible para el cálculo de esfuerzos y deformaciones
Fuente: Elaboracion propia, 2018*

Realizando la modelación de la estructura con el Software Kenlayer, se obtiene:

General Information of LAYERINP for Set No. 1

TITLE	ESFUERZOS Y DEFORMACIONES – CANTERA HUILLQUE
Type of material (1=linear, 2=nonlinear, 3=viscoelastic, 4=combined)	(MATL) 1
Damage analysis (0=no, 1=yes with summary only, 2=yes with detailed printout)	(NDAMA) 0
Number of periods per year	(NPY) 1
Number of load groups	(NLG) 1
Tolerance for numerical integration	(DEL) 0.001
Number of layers	(NL) 4
Number of Z coordinates for analysis	(NZ) 1
Maximum cycles of numerical integration	(ICL) 80
Type of responses (1=displacements only, 5=plus stresses, 9=plus strains)	(NSTD) 9
All layer interfaces bonded (1=yes, 0-if some are frictionless)	(NBOND) 1
Number of layers for bottom tension	(NLBT) 1
Number of layers for top compression	(NLTC) 1
System of units (0=English, 1=SI)	(NUNIT) 0

(1) This form appears when the 'General' on the Main Menu of LAYERINP is clicked. You can override any of the default values by typing in a new value. You can use the Tab key to move the cursor from one textbox to the next or just click on the textbox before typing. The use of click has the advantage that you don't have to delete the default before typing in the data you want. If you want to read the remaining text, you can use the scrollbar. You can also use the PgDn key after clicking this textbox to make it active.

(2) TITLE (title of run): Any title or comment can be typed on one line. The title should not be longer than 68 characters including spaces. If you make a mistake in typing, use the Del key to erase any typographical errors. When the total length reaches 68, no additional characters can be added. No comma should be used in TITLE. Use colon or semicolon instead.

(3) MATL (types of material): 1 when all layers are linear elastic, 2 when some layers are nonlinear

*Figura 53: Introducción de la información general
(Número de Capas, número de coordenadas de análisis)*

Fuente: Software Kenlayer

Z Coordinates of Response Points for Data Set No. 1

Point No.	Unit	in.
1	ZC	25.59

(1) This form appears when the 'Zcoord' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of Z coordinates on this form is equal to NZ, as specified in the 'General' menu. This form is different from the one used for General Information in that a dotted rectangle, instead of the cursor, is used to indicate the active cell. If the dotted rectangle is not the location for input, you can use the arrow key to move the dotted rectangle to the cell you want to input, or more conveniently by clicking the cell you want. After you type in the data, the dotted rectangle will be changed into a three dimensional box and you must press the Enter key to make it effective. You can also use the up and down arrow keys to make the entry effective. You should not click the other cell before pressing the Enter key, otherwise the data you have typed will move to the cell you click.

(2) ZC (vertical distance, or z coordinate, of each response point): When the point is located exactly at the interface between two layers, the results are at the bottom of upper layer. If the results at the top of lower layer are desired, a slightly larger z coordinate, say 0.0001 larger, should be used.

(3) After typing in the data in the first cell, move to the next cell by pressing the Enter or arrow down key.

Use <Ctrl>- to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and to clear a cell.

OK

Figura 54: Distancia Vertical de la coordenada de análisis

Fuente: Software Kenlayer

Layer Thickness, Poisson's Ratio and Unit Weight for Data Set No. 1

After typing the value in a cell, be sure to press the Enter key to make it effective.

Unit	in.	pcf
Layer No.	TH	PR
1	1.97	.35
2	7.87	.35
3	15.75	.35
4	XXXXXX	.45

Use <Ctrl>- to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and to clear a cell.

(1) This form appears when the 'Layer' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of layers on this form is equal to NL, as specified in the 'General' menu. This form is different from the one used for General Information in that a dotted rectangle, instead of the cursor, is used to indicate the active cell. If the dotted rectangle is not the location for input, you can use the arrow key to move the dotted rectangle to the cell you want to input, or more conveniently by clicking the cell you want. After you type in the data, the dotted rectangle will be changed into a three dimensional box and you must press the Enter key to make it effective. You can also use the up and down arrow keys to make the entry effective. Note that the dotted rectangle is now in the upper left cell, so you can type in the data right away. If you want to read the remaining text and use the PgDn key, instead of the scrollbar, you

OK

Figura 55: Espesor de Capas y coeficientes de poisson
Fuente: Software Kenlayer

Layer Moduli for Period No. 1 and Data Set No. 1

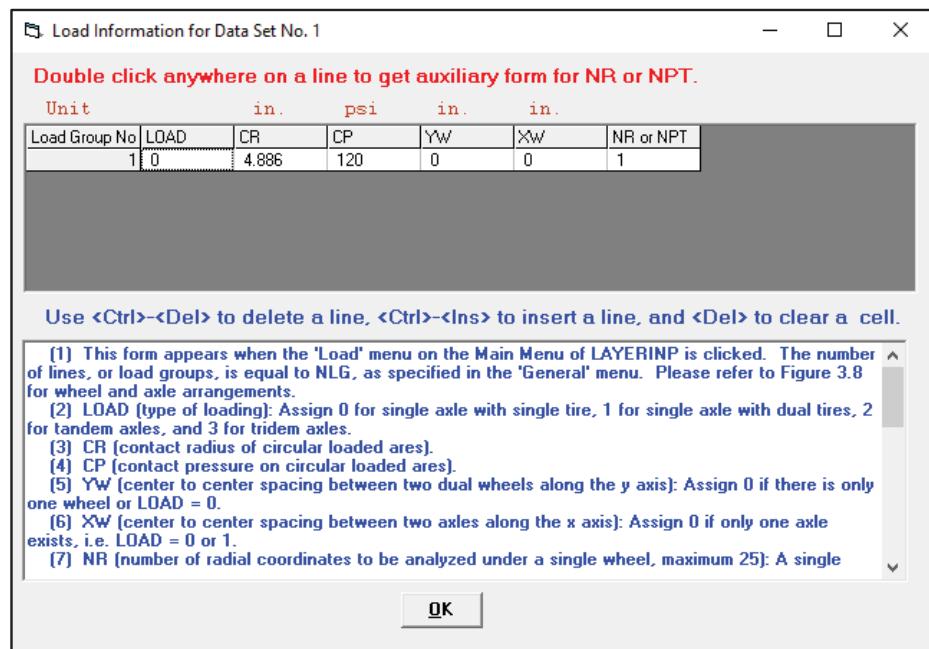
Unit	psi
Layer No.	E
1	497815.5
2	85339.8
3	81072.81
4	35558.25

(1) This form appears when the period button on the Layer Modulus of Each Period is clicked. The number of layers on this form is equal to NL, as specified in the 'General' menu.
(2) E (elastic modulus of each layer): Use as the assumed modulus for the first iteration when the layer is nonlinear. If more convenient, you can enter the modulus in exponential form such as 1.234E5. Assign 0 or any value for viscoelastic layer.
(3) After typing the data in the first cell, move to the next cell by pressing the Enter or arrow down key. After the last cell is filled, be sure to click the Enter key.
(4) You can delete a line, or one layer, by first clicking anywhere on the line to make it active and then press the <Ctrl>- keys. The NL in the 'general' menu will be reduced automatically by 1.
(5) You can add a new line, or one more layer, above any given line by first clicking the cell in the given line to make it active and then press the <Ctrl>-<Ins>. A blank line will appear for you to enter the necessary data. The NL in the 'General' menu will increase automatically by 1. If you want to add a line after the last line, you can change NL in the 'General' menu by adding 1 and a blank line will appear as the last line. Remember that always use the <Ctrl>-<Ins>

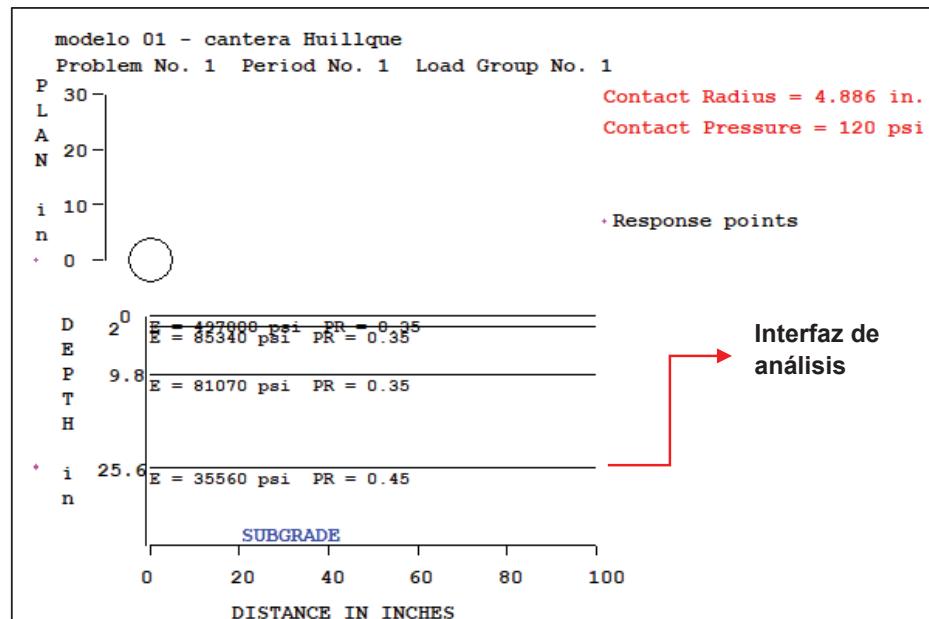
Use <Ctrl>- to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and to clear a cell.

OK

Figura 56: Módulo de Elasticidad
Fuente: Software Kenlayer



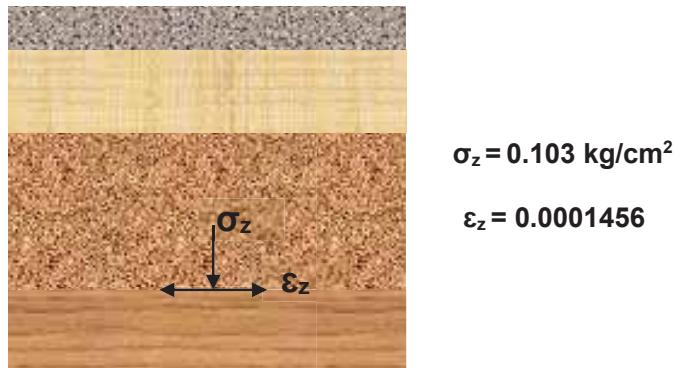
*Figura 57: Datos de radio de contacto, presión de contacto
Fuente: Software Kenlayer*



*Figura 58: Configuración final del análisis
Fuente: Software Kenlayer*

	Esfuerzo		Deformación unitaria
Vertical	1.459 PSI	0.103 kg/cm ²	0.0001456
Radial	-18.775 PSI	-1.320 kg/cm ²	-0.0001913
Tangencial	-10.788 PSI	-0.758 kg/cm ²	-0.00005831
Cortante	-0.506 PSI	-0.036 kg/cm ²	-0.0000169

*Tabla 44: Resultados de esfuerzos y deformaciones
Elaboración propia, 2018*



Paso 2. Planteamiento reducción granulares y análisis de la alternativa

Alternativa 1:

	Espesor	E	Poisson
Carpeta Asfáltica	0.05 m	35000 MPa	0.35
Base Granular	0.20 m	6000 Mpa	0.35
Subbase Granular	0.30 m	5230 Mpa	0.35
Subrasante	CBR = 19%	1900 Mpa	0.45

*Tabla 45: Alternativa 01, varía espesor de subbase granular a 30cm
Elaboracion Propia, 2018*

Los resultados obtenidos después de haber realizado la modelación en el Software Kenlayer son:

	Esfuerzo		Deformación unitaria
Vertical	2.259 PSI	0.159 kg/cm ²	0.00004005
Radial	0.343 PSI	0.024 kg/cm ²	0.000008157
Tangencial	-3.167 PSI	-0.222 kg/cm ²	-0.00005030
Cortante	-0.977 PSI	-0.069 kg/cm ²	-0.0000326

*Tabla 46: Resultados de esfuerzos y deformaciones – Alternativa 1
Elaboración propia, 2018*

$$\sigma_z = 0.159 \text{ kg/cm}^2$$

Paso 3. Esfuerzo normal aplicado

$$\sigma_z = 0.159 \text{ kg/cm}^2 = 0.0159 \text{ MPa} = 15.9 \text{ kPa}$$

Distribuyéndolo en forma horizontal, en un área plana, obtenemos:

$$15.9 \text{ kPa} \times 1.0 \text{ m} = 15.9 \text{ kN/m}$$

$$T_{req} = 15.9 \text{ kN/m}$$

Paso 4. Selección del geotextil

Para este caso se escoge el Geotextil con el que se trabajo previamente T2400, con las siguientes características:

Datos del geotextil propuesto:

T_{ult}	39 KN/m (dato calculado en función de la Carga de rotura promedio del ensayo GRAB)
T_{disp}	T _{ult} / (F _{SID} x F _{S_{DQB}}) *
T_{disp}	39/(1.5 x 1.2)
T_{disp}	21.67

*(Ver tabla N°02)

Tabla 47: Resultados de esfuerzos y deformaciones – Alternativa 1

Fuente: Elaboración propia, 2018

Paso 5. Calculo del Factor de Seguridad Global

$$FS_g = T_{disp}/T_{req}$$

$$FS_g = 21.67/15.9$$

$$FS_g = 1.36 > 1.3$$

Paso 6. Optimizacion del diseño con geotextil

Como el valor del FS_g dio un valor por encima de 1.3, procedemos a optimizar el diseño proponiendo nuevas alternativas de estructura. Para que este valor esté por encima y cercano a 1.3 como se indica en la Metología de Diseño con Geotextiles en el Marco Teórico.

Paso 2. Planteamiento reducción granulares y análisis de la alternativa

Alternativa 2:

	Espesor	E	Poisson
Carpeta Asfáltica	0.05 m	35000 MPa	0.35
Base Granular	0.20 m	6000 Mpa	0.35
Subbase Granular	0.20 m	5230 Mpa	0.35
Subrasante	CBR = 19%	1900 Mpa	0.45

Tabla 48: Alternativa 02, varía espesor de subbase granular a 20cm

Fuente: Elaboración Propia, 2018

Los resultados obtenidos después de haber realizado la modelación en el Software Kenlayer son:

	Esfuerzo		Deformación unitaria
Vertical	2.385 PSI	0.165 kg/cm ²	0.00003578
Radial	0.803 PSI	-0.166 kg/cm ²	-0.000009436
Tangencial	-2.276 PSI	-0.184 kg/cm ²	-0.00004184
Cortante	-1.063 PSI	-0.081 kg/cm ²	-0.0000354

Tabla 49: Resultados de esfuerzos y deformaciones – Alternativa 2

Fuente: Elaboración propia, 2018

$$\sigma_z = 0.165 \text{ kg/cm}^2$$

Paso 3. Esfuerzo normal aplicado

$$\sigma_z = 0.165 \text{ kg/cm}^2 = 0.0165 \text{ Mpa} = 16.5 \text{ kPa}$$

Distribuyéndolo en forma horizontal, en un área plana, obtenemos:

$$16.5 \text{ kPa} \times 1.0 \text{ m} = 16.5 \text{ kN/m}$$

$$T_{req} = 16.5 \text{ kN/m}$$

Paso 4. Selección del geotextil

Para este caso se escoge el Geotextil con el que se trabajo previamente T2400, con las siguientes características:

Datos del geotextil propuesto:

T_{ult}	39 KN/m (dato calculado en función de la Carga de rotura promedio del ensayo GRAB)
T_{disp}	$T_{ult} / (F_{SID} \times F_{S_{DQB}}) *$
T_{disp}	39/(1.5 x 1.2)
T_{disp}	21.67

*(Ver tabla N°02)

Tabla 50: Resultados de esfuerzos y deformaciones – Alternativa 1

Fuente: Elaboración propia, 2018

Paso 5. Cálculo del Factor de Seguridad Global

$$FS_g = T_{disp}/T_{req}$$

$$FS_g = 21.67/16.5$$

$$FS_g = 1.31 > 1.3 \rightarrow \text{cumple}$$

Se toma esta última estructura como recomendación de diseño

Paso 7. Cálculo de la disminución de espesor con geotextil de refuerzo

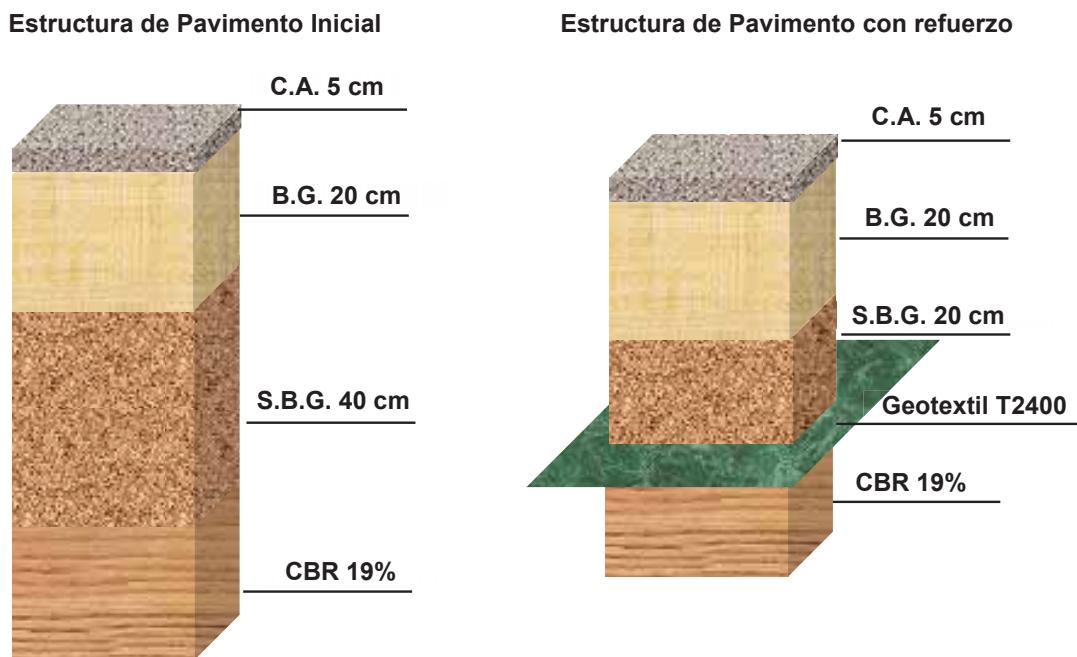


Figura 59: Comparación de la estructura de pavimento con y sin geotextil – Cantera Huillque
Fuente: Elaboración propia, 2018

Disminución material de Subbase Granular: 20 cm

Cuantificación del Ahorro por la colocación del Geotextil T2400

Análisis de precios unitarios							
Presupuesto	0201001 TESIS						Fecha presupuesto
Subpresupuesto	001 TESIS						21/06/2018
Partida Rendimiento	m3/DIA	MQ	SUB-BASE GRANULAR FACTOR DE COMPACTACION 1.20 20.0000	EQ.	20.0000	Costo unitario directo por m3	69.58
Código	Descripción Recurso		Mano de Obra	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S.I.
0101010002	CAPATAZ			hh	0.1669	0.0668	19.18
0101010004	OFICIAL			hh	0.1669	0.0668	15.64
0101010005	PEON			hh	0.9375	0.3750	11.93
							4.47
							6.79
			Materiales				
02070400010001	MATERIAL GRANULAR PARA SUB-BASE			m3		1.2000	30.00
0207070001	AGUA PUESTA EN OBRA			m3		0.0900	1.83
							36.16
			Equipos				
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES			%mo		3.0000	6.79
03011000040001	RODILLO NEUMATICO AUTOPREPESADO 5.5 - 20 ton			hm	0.1669	0.0668	118.97
03011000060003	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 10 ton			hm	0.1669	0.0668	70.20
0301200001	MOTONIVELADORA			hm	0.1669	0.0668	115.20
03012200050001	CAMION CISTERNA (2.500 GLNS.)			hm	0.1669	0.0668	91.10
							6.09
							26.63

Figura 60: Análisis de Precio Unitario – Subbase granular compactada en obra, Cantera Huillque
Fuente: S10 Costos y Presupuestos 2005

Entonces:

Subbase granular compactada en obra: S/. 69.58 / m³

Costo del espesor reducido de subbase granular = 0.20m x S/. 69.58 / m³ = S/. 13.92 /m²

El m² de geotextil T2400 presenta un valor de: US\$ 1.5 / m² = S/. 4.90 /m²

El ahorro, por m² esta dado por = S/. 13.92 /m² – S/. 4.90 /m² = S/. 9.00 /m²

En un kilómetro de vía con una calzada de 7m de ancho y con estas características de espesores el ahorro es de: **S/. 63,000.00**, lo que equivale un ahorro del **50%**

9.1.2 Cantera Vicho

La variación que presenta este análisis, es respecto al Módulo de Elasticidad del material de Subbase, lo cual hace que varien los esfuerzos en el momento del análisis.

Paso 1. Diseño Inicial de la Estructura de Pavimento

Para este análisis de beneficio – costo, se presenta un diseño inicial de la estructura de pavimento con las siguientes características:

1.-

Trafico de Diseño : N = 1.5 x 10⁶ ejes equivalentes de 8.20 ton ⁽¹⁾
Periodo de Diseño : 20 años ⁽²⁾
CBR de la subrasante : 19%

Nota:

⁽¹⁾ De acuerdo al Manual de Carreteras, Suelos y Geología; los Caminos Pavimentados con pavimentos flexibles, semirrígidos y rígidos, en este están clasificados en quince (15) rangos de Número de Repeticiones de EE en el carril y periodo de diseño, desde 75,000 EE hasta 30'000,000 EE. Por lo que se utiliza el valor promedio, es decir el que se encuentra en el rango 06. (Ver cuadro 6.15 del Manual de Carreteras, Suelos y Geología 2013)

⁽²⁾ Según a la metodología empleada para definir las secciones del catálogo de los pavimentos ha consistido en aplicar el procedimiento de la Guía AASHTO 1993, y aplicar un análisis de comportamiento del pavimento que cubre el periodo de diseño de 20 años de la estructura del pavimento, es decir un periodo de diseño en una etapa.

2.- Diseño Inicial del Pavimento:

Empleamos la metodología de diseño de la AASHTO 93, para la cual necesitamos los siguientes datos:

Confidabilidad (R)	95%
Zr	-1.645
Desviacion Standard (So)	0.45
Serviciabilidad Inicial	4

Serviciabilidad Final	2.50
Modulo Resiliente de la Subrasante	$2555^{*}CBR^{0.64} = 16819 \text{ PSI}$
Trafico de Diseño - W ₁₈	1490000

*Tabla 51: Datos de Entrada para el cálculo del SN, Cantera Vicho
Elaboración propia, 2018*

The screenshot shows the software interface for calculating the Structural Number (SN) according to AASHTO 93. The main window title is "Ecuación AASHTO 93". The central panel is titled "CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)" and "Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2004.". The input fields include "Tipo de Pavimento" (Flexible), "Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So)" (95% Zr=1.645, So 0.45), "Serviciabilidad inicial y final" (PSI initial 4, PSI final 2.50), "Módulo resiliente de la subrasante" (Mr 16819 psi), and "Información adicional para pavimentos rígidos" (Ec and Cd). The analysis type selected is "Calcular SN" (W18 = 1490000) resulting in an SN of 2.95.

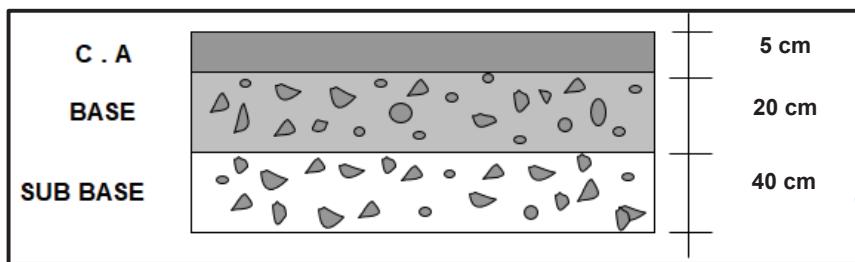
*Figura 61: Cálculo del Número Estructural con las Ecuaciones AASHTO 93 – Cantera Vicho
Fuente: Software – Ecuaciones AASHTO 93*

Si los coeficientes estructurales (a_i) y los coeficientes de drenaje (m_i) son:

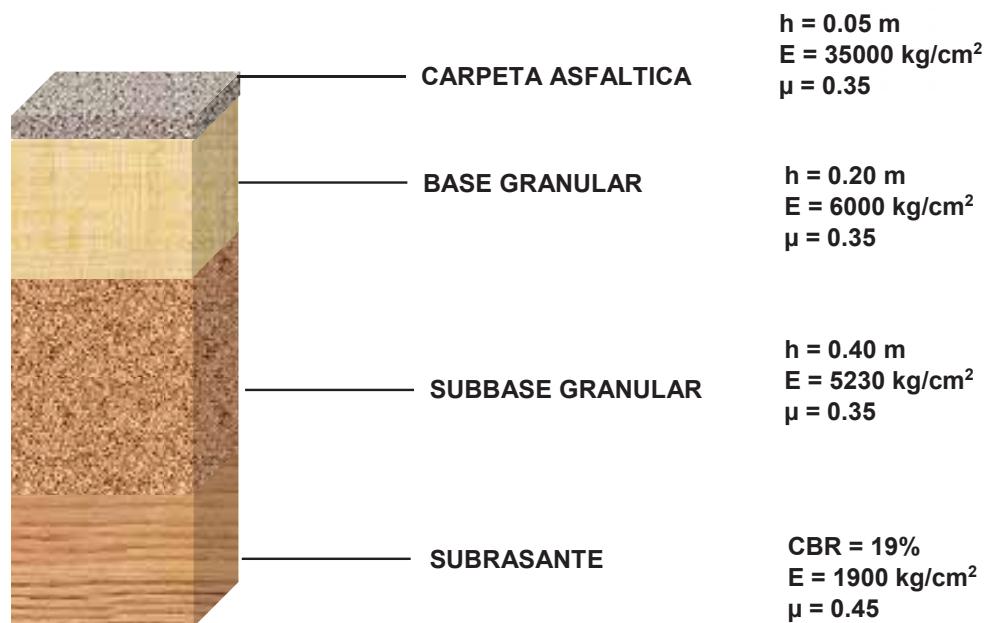
- $a_1 = 0.125/cm$
- $a_2 = 0.052/cm$
- $a_3 = 0.047/cm$
- $m_2 = 0.8$
- $m_3 = 0.8$

$$S_N = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3 \\ 2.95 < 2.96$$

Entonces los espesores de cada capa serán:



*Figura 62: Configuración de la Estructura de Pavimento Flexible – Cantera Vicho
Elaboración propia, 2018*



*Figura 63: Configuración de la Estructura de Pavimento Flexible para el cálculo de esfuerzos y deformaciones – Cantera Vicho
Elaboración propia, 2018*

Realizando la modelación de la estructura con el Software Kenlayer, se obtiene:

General Information of LAYERINP for Set No. 1

TITLE	ESFUERZOS Y DEFORMACIONES – CANTERA VICHO
Type of material (1=linear, 2=nonlinear, 3=viscoelastic, 4=combined)	(MATL) 1
Damage analysis (0=no, 1=yes with summary only, 2=yes with detailed printout)	(NDAMA) 0
Number of periods per year	(NPY) 1
Number of load groups	(NLG) 1
Tolerance for numerical integration	(DEL) 0.001
Number of layers	(NL) 4
Number of Z coordinates for analysis	(NZ) 1
Maximum cycles of numerical integration	(ICL) 80
Type of responses (1=displacements only, 5=plus stresses, 9=plus strains)	(NSTD) 9
All layer interfaces bonded (1=yes, 0-if some are frictionless)	(NBOND) 1
Number of layers for bottom tension	(NLBT) 1
Number of layers for top compression	(NLTC) 1
System of units (0=English, 1=SI)	(NUNIT) 0

[1] This form appears when the 'General' on the Main Menu of LAYERINP is clicked. You can override any of the default values by typing in a new value. You can use the Tab key to move the cursor from one textbox to the next or just click on the textbox before typing. The use of click has the advantage that you don't have to delete the default before typing in the data you want. If you want to read the remaining text, you can use the scrollbar. You can also use the PgDn key after clicking this textbox to make it active.

[2] TITLE (title of run): Any title or comment can be typed on one line. The title should not be longer than 68 characters including spaces. If you make a mistake in typing, use the Del key to erase any typographical errors. When the total length reaches 68, no additional characters can be added. No comma should be used in TITLE. Use colon or semicolon instead.

[3] MATL (types of material): 1 when all layers are linear elastic, 2 when some layers are nonlinear

Figura 64: Introducción de la información general (Número de Capas, número de coordenadas de análisis)

Fuente: Software Kenlayer

Z Coordinates of Response Points for Data Set No. 1

Unit	in.
Point No.	ZC
1	25.59

[1] This form appears when the 'Zcoord' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number of Z coordinates on this form is equal to NZ, as specified in the 'General' menu. This form is different from the one used for General Information in that a dotted rectangle, instead of the cursor, is used to indicate the active cell. If the dotted rectangle is not the location for input, you can use the arrow key to move the dotted rectangle to the cell you want to input, or more conveniently by clicking the cell you want. After you type in the data, the dotted rectangle will be changed into a three dimensional box and you must press the Enter key to make it effective. You can also use the up and down arrow keys to make the entry effective. You should not click the other cell before pressing the Enter key, otherwise the data you have typed will move to the cell you click.

[2] ZC (vertical distance, or z coordinate, of each response point): When the point is located exactly at the interface between two layers, the results are at the bottom of upper layer. If the results at the top of lower layer are desired, a slightly larger z coordinate, say 0.0001 larger, should be used.

[3] After typing in the data in the first cell, move to the next cell by pressing the Enter or arrow down key.

Use <Ctrl>- to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and to clear a cell.

Figura 65: Distancia Vertical de la coordenada de análisis

Fuente: Software Kenlayer

Layer Thickness, Poisson's Ratio and Unit Weight for Data Set No. 1

After typing the value in a cell, be sure to press the Enter key to make it effective.

Unit	in.	pcf
Layer No.	TH	PR
1	1.97	.35
2	7.87	.35
3	15.75	.35
4	XXXXXXXX	.45

Use <Ctrl>- to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and to clear a cell.

(1) This form appears when the 'Layer' menu on the Main Menu of LAYERINP is clicked. The number ^ of layers on this form is equal to NL, as specified in the 'General' menu. This form is different from the one used for General Information in that a dotted rectangle, instead of the cursor, is used to indicate the active cell. If the dotted rectangle is not the location for input, you can use the arrow key to move the dotted rectangle to the cell you want to input, or more conveniently by clicking the cell you want. After you type in the data, the dotted rectangle will be changed into a three dimensional box and you must press the Enter key to make it effective. You can also use the up and down arrow keys to make the entry effective. Note that the dotted rectangle is now in the upper left cell, so you can type in the data right away. If you want to read the remaining text and use the PgDn key, instead of the scrollbar, you

OK

Figura 66: Espesor de Capas y coeficientes de poisson
Fuente: Software Kenlayer

Layer Moduli for Period No. 1 and Data Set No. 1

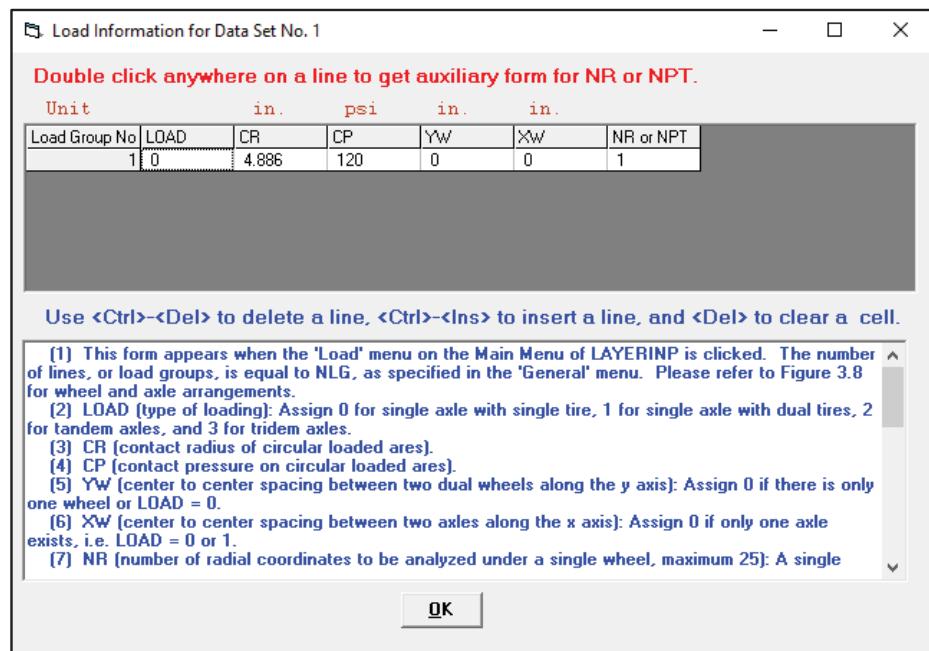
Unit	psi
Layer No.	E
1	497815.5
2	85339.8
3	72538.83
4	35558.25

(1) This form appears when the period button on the Layer Modulus of Each Period is clicked. The number of layers on this form is equal to NL, as specified in the 'General' menu.
(2) E [elastic modulus of each layer]: Use as the assumed modulus for the first iteration when the layer is nonlinear. If more convenient, you can enter the modulus in exponential form such as 1.234E5. Assign 0 or any value for viscoelastic layer.
(3) After typing the data in the first cell, move to the next cell by pressing the Enter or arrow down key. After the last cell is filled, be sure to click the Enter key.
(4) You can delete a line, or one layer, by first clicking anywhere on the line to make it active and then press the <Ctrl>- keys. The NL in the 'general' menu will be reduced automatically by 1.
(5) You can add a new line, or one more layer, above any given line by first clicking the cell in the given line to make it active and then press the <Ctrl>-<Ins>. A blank line will appear for you to enter the necessary data. The NL in the 'General' menu will increase automatically by 1. If you want to add a line after the last line, you can change NL in the 'General' menu by adding 1 and a blank line will appear as the last line. Remember that always use the <Ctrl>-<Ins>

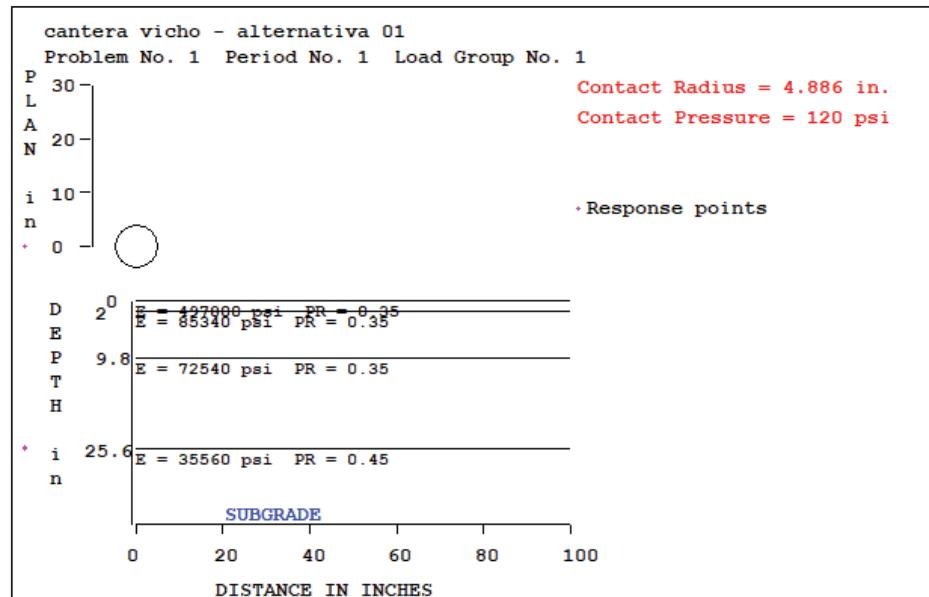
Use <Ctrl>- to delete a line, <Ctrl>-<Ins> to insert a line, and to clear a cell.

OK

Figura 67: Módulo de Elasticidad
Fuente: Software Kenlayer



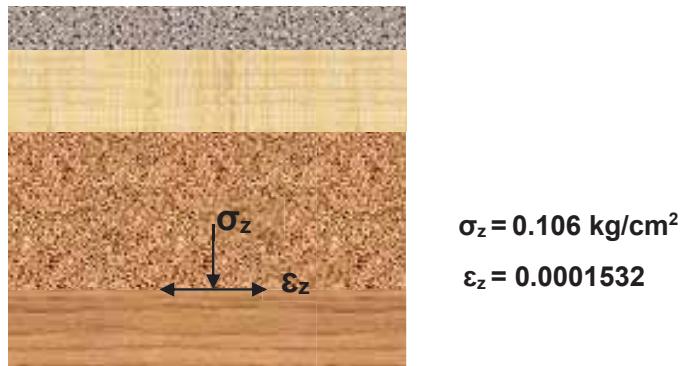
*Figura 68: Datos de radio de contacto, presión de contacto
Fuente: Software Kenlayer*



*Figura 69: Configuración final del análisis
Fuente: Software Kenlayer*

	Esfuerzo		Deformación unitaria
Vertical	1.509 PSI	0.106 kg/cm ²	0.0001532
Radial	-17.410 PSI	-1.224 kg/cm ²	-0.0001989
Tangencial	-10.029 PSI	-0.705 kg/cm ²	-0.00006154
Cortante	-0.532 PSI	-0.037 kg/cm ²	-0.0000198

*Tabla 52: Resultados de esfuerzos y deformaciones
Elaboración propia, 2018*



Paso 2. Planteamiento reducción granulares y análisis de la alternativa

Alternativa 1:

	Espesor	E	Poisson
Carpeta Asfaltica	0.05 m	35000 MPa	0.35
Base Granular	0.20 m	6000 Mpa	0.35
Subbase Granular	0.20 m	5100 Mpa	0.35
Subrasante	CBR = 25%	2500 Mpa	0.45

*Tabla 53: Alternativa 01, varía espesor de subbase granular a 20cm
Elaboración Propia, 2018*

Los resultados obtenidos después de haber realizado la modelación en el Software Kenlayer son:

	Esfuerzo		Deformacion
Vertical	2.412 PSI	0.166 kg/cm ²	0.00003856
Radial	0.856 PSI	-0.060 kg/cm ²	-0.00000958
Tangencial	-1.955 PSI	-0.137 kg/cm ²	-0.00004271
Cortante	-1.093 PSI	-0.077 kg/cm ²	-0.0000407

*Tabla 54: Resultados de esfuerzos y deformaciones – Alternativa 1
Elaboración propia, 2018*

$$\sigma_z = 0.166 \text{ kg/cm}^2$$

Paso 3. Esfuerzo normal aplicado

$$\sigma_z = 0.166 \text{ kg/cm}^2 = 0.0166 \text{ MPa} = 16.6 \text{ kPa}$$

Distribuyéndolo en forma horizontal, en un área plana, obtenemos:

$$16.6 \text{ kPa} \times 1.0 \text{ m} = 16.6 \text{ kN/m}$$

$$T_{req} = 16.6 \text{ kN/m}$$

Paso 4. Selección del geotextil

Para este caso se escoge el Geotextil con el que se trabajo previamente T2400, con las siguientes características:

Datos del geotextil propuesto:

T_{ult}	39 KN/m (dato calculado en función de la Carga de rotura promedio del ensayo GRAB)
T_{disp}	$T_{ult} / (F_{SID} \times F_{S_{DQB}}) *$
T_{disp}	$39 / (1.5 \times 1.2)$
T_{disp}	21.67

*(Ver tabla N°02)

*Tabla 55: Resultados de esfuerzos y deformaciones – Alternativa 1
Elaboración propia, 2018*

Paso 5. Cálculo del Factor de Seguridad Global

$$F_{S_g} = T_{disp} / T_{req}$$

$$F_{S_g} = 21.67 / 16.6$$

$$F_{S_g} = 1.31 > 1.3 \rightarrow cumple$$

Se toma esta última estructura como recomendación de diseño

Paso 7. Cálculo de la disminución de espesor con geotextil de refuerzo

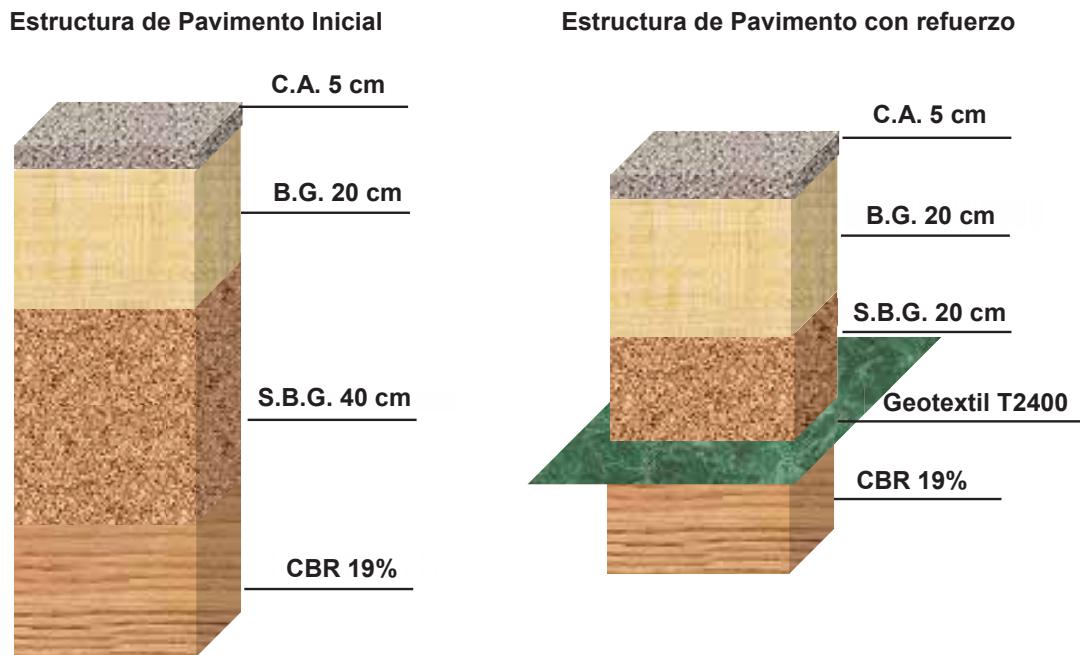


Figura 70: Comparación de la estructura de pavimento con y sin geotextil – Cantera Vicho
Elaboración propia, 2018

Disminución material de Subbase Granular: 20 cm

Cuantificación del Ahorro por la colocación del Geotextil T2400

Análisis de precios unitarios						
Presupuesto	0201001 TESIS			Fecha presupuesto		
Subpresupuesto	001 TESIS			21/06/2018		
Partida		SUB-BASE GRANULAR FACTOR DE COMPACTACION 1.20				
Rendimiento	m3/DIA	MO. 20.0000	EQ. 20.0000	Costo unitario directo por : m3:		75.58
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
0101010002	CAPATAZ	hh	0.1669	0.0668	19.18	1.28
0101010004	OFICIAL	hh	0.1669	0.0668	15.64	1.04
0101010005	PEON	hh	0.9375	0.3750	11.93	4.47
						6.79
	Materiales					
02070400010001	MATERIAL GRANULAR PARA SUB-BASE	m3		1.2000	35.00	42.00
0207070001	AGUA PUESTA EN OBRA	m3		0.0500	1.83	0.16
						42.16
	Equipos					
0301010006	HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		3.0000	6.79	0.20
03011000040001	RODILLO NEUMATICO AUTOPREPULSADO 5.5 -20 ton	hm	0.1669	0.0668	118.97	7.95
03011000060003	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 10 ton	hm	0.1669	0.0668	70.20	4.69
0301200001	MOTONIVELADORA	hm	0.1669	0.0668	115.20	7.70
03012200050001	CAMION CISTERNA (2,500 GLNS.)	hm	0.1669	0.0668	91.10	6.09
						26.63

Figura 71: Análisis de Precio Unitario – Subbase granular compactada en obra
Fuente: S10 Costos y Presupuestos 2005

Entonces:

Subbase granular compactada en obra: S/. 75.58 / m³

Costo del espesor reducido de subbase granular = 0.20m x S/. 75.58 / m³ = S/. 15.12 /m²

El m² de geotextil T2400 presenta un valor de: US\$ 1.5 / m² = S/. 4.90 /m²

El ahorro, por m² esta dado por = S/. 15.12 /m² – S/. 4.90 /m² = S/. 10.20 /m²

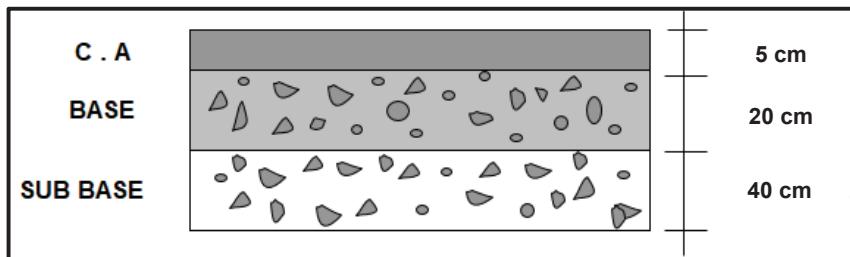
En un kilómetro de via con una calzada de 7m de ancho y con estas características de espesores el ahorro es de: **S/. 71,400.00**, lo que equivale a un ahorro del **50%**

9.2 Con Geotextil No Tejido NW030M – PAVCO

En el caso de geotextiles no tejidos se evaluará la reducción del índice de serviciabilidad en función de las cargas equivalentes sin la instalación de un geotextil como elemento de separación, y determinaremos el incremento en costos por efectos de la contaminación presentada en una vía principal que fue diseñada con la misma estructura anteriormente ya calculada.

9.2.1 Cantera Huillque

1. Los espesores de cada capa serán:



*Figura 72: Configuración de la Estructura de Pavimento Flexible
Elaboración propia, 2018*

- $a_1= 0.125/cm$
- $a_2=0.052/cm$
- $a_3=0.047/cm$
- $m_2=0.8$
- $m_3=0.8$
- $D_1=5cm$
- $D_2=20cm$
- $D_3=40cm$

$$\begin{aligned} S_N &= a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3 \\ S_N &= 2.96 \end{aligned}$$

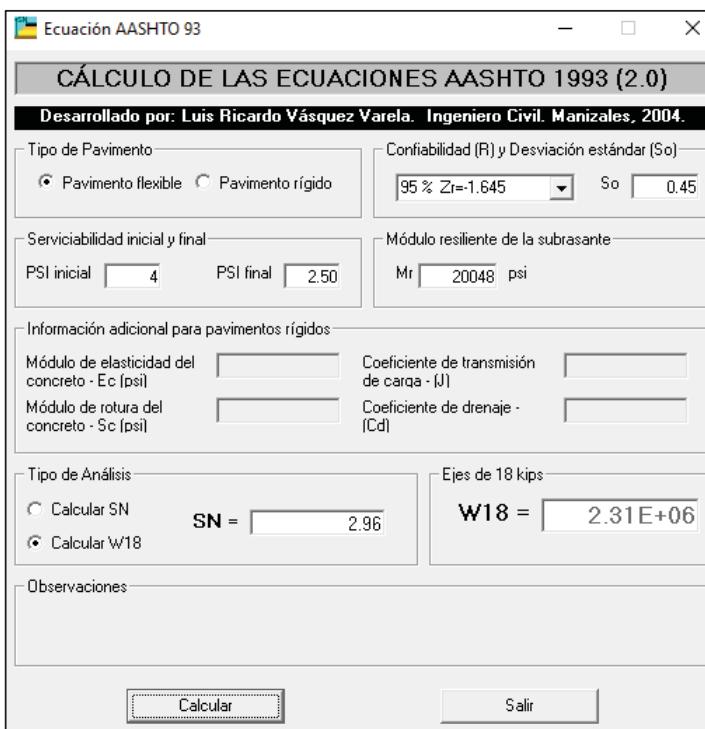
Realizando el calculo de SN, para nuestra estructura se obtiene un valor de 2.96

2. Con el número estructural calculado, determinamos el número de ejes equivalentes que es capaz de soportar la estructura.

Parámetros para el cálculo:

Confiabilidad (R)	95%
Zr	-1.645
Desviación Standard (So)	0.45
Serviciabilidad Inicial	4
Serviciabilidad Final	2.50
Módulo Resiliente de la Subrasante	$2555^*CBR^{0.64} = 20048 \text{ PSI}$
Tráfico de Diseño - W₁₈	1490000

*Tabla 56: Datos de Entrada para el cálculo del SN
Elaboración propia, 2018*



*Figura 73: Cálculo de los ejes equivalentes con las Ecuaciones AASHTO 93
Fuente: Software – Ecuaciones AASHTO 93*

3. Cálculo del nuevo número estructural considerando la contaminación de la subbase

Para cuantificar la reducción en el coeficiente estructural de la capa de la subbase se tomó como referencia la frase “5 kilos de piedra colocados sobre 5 kilos de barro nos da como resultado 10 kilos de barro” citada por Robert Koerner en su libro “Design with Geosynthetics”. Teniendo en cuenta lo anterior, se reduce el coeficiente antes mencionado en un 50% y se procede a calcular el nuevo SN de la estructura de la vía.

- $a1= 0.125$
- $a2=0.052$
- **a3=0.0235**
- $m2=0.8$
- $m3=0.8$
- $D1=5cm$
- $D2=20cm$
- $D3=40cm$

$$\begin{aligned} \text{SN} &= a1 \cdot D1 + a2 \cdot D2 \cdot m2 + a3 \cdot D3 \cdot m3 \\ \text{SN} &= 2.26 \end{aligned}$$

4. Cálculo del nuevo número de ejes equivalentes

El numero estructural reducido de la vía es de 2.26, con este valor se calcula el nuevo numero de ejes equivalentes, conservando los valores recomendados por AASHTO.

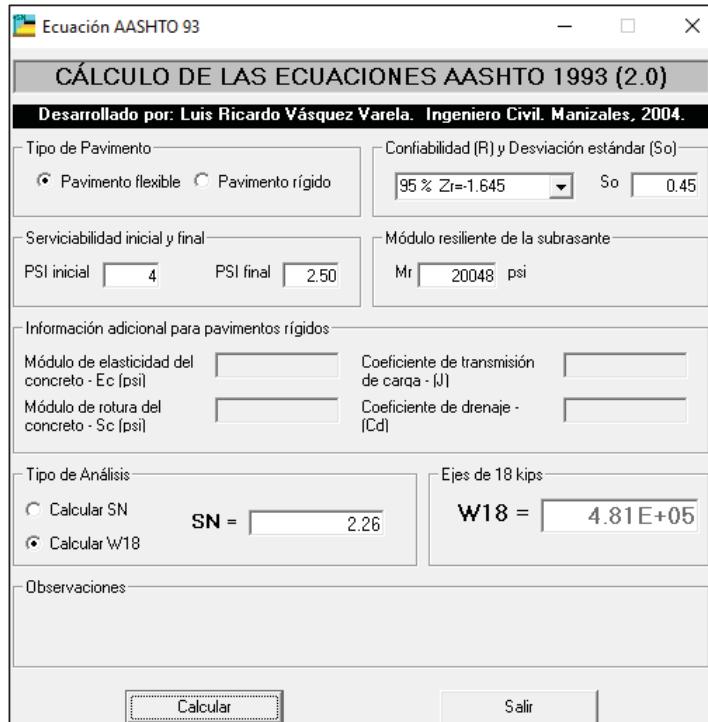


Figura 74: Cálculo de los ejes equivalentes con el número estructural reducido
Fuente: Software – Ecuaciones AASHTO 93

5. Cálculo de la disminución del índice de serviciabilidad en la vía.

Haciendo la relación entre los valores de las cargas equivalentes de la estructura inicial y la afectada por la contaminación, encontramos que la reducción es igual a:

$$1 - \left(\frac{481,000}{2'310,000} \right) \rightarrow 79.20\%$$

6. Para evaluar el beneficio del geotextil como elemento de separación, se calcula el material adicional necesario, para mantener las condiciones iniciales de la vía ($S_N=2.96$), teniendo un coeficiente estructural de la subbase reducido en un 50%.

- $a_1=0.125/cm$
- $a_2=0.052/cm$
- $a_3=0.0235/cm$
- $m_2=0.8$
- $m_3=0.8$
- $D_1=5cm$
- $D_2=20cm$
- $S_N=2.96$

$$\begin{aligned} S_N &= a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3 \\ \text{Entonces } D_3 &= 80 \text{ cm} \end{aligned}$$

Para verificar si el geotextil que empleamos en el ensayo de Tensión Grab, es el adecuado se realiza el siguiente procedimiento:

Se verifica para el geotextil No Tejido NW030M

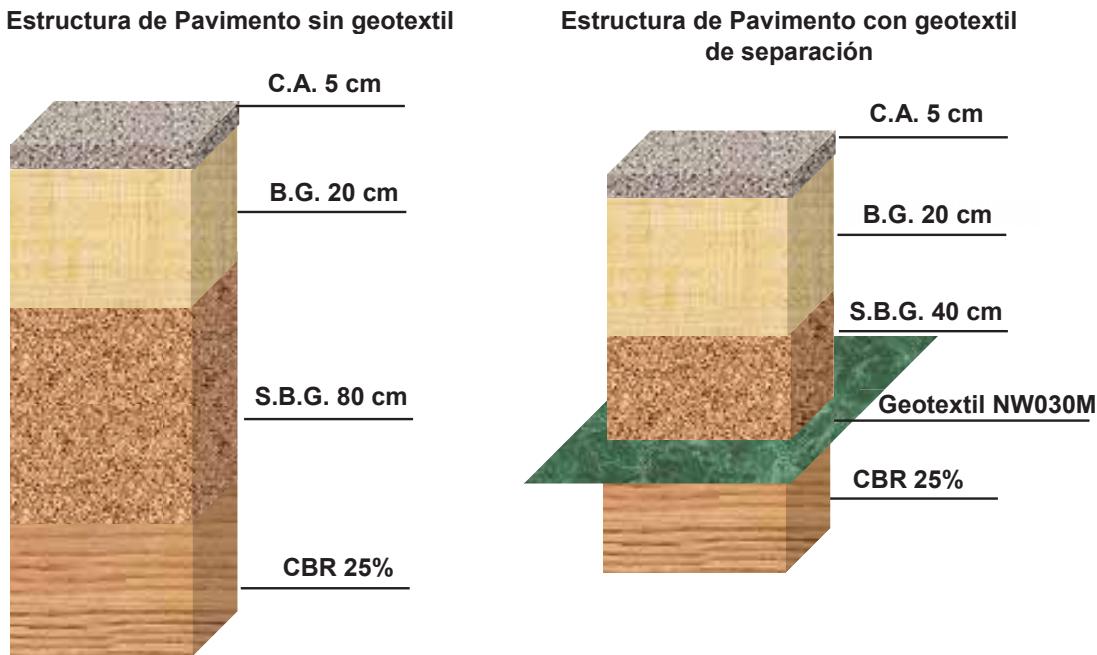
$$\begin{aligned} T_{ult} &= 939 \text{ N (Dato Carga de Rotura - Ensayo Grab)} \\ \varepsilon &= 41\% (\text{Dato Elongacion - Ensayo Grab}) \\ f(\varepsilon) &= 0.51 (\text{ver tabla N°03}) \\ d_a &= 38.1 \text{ mm} = 1 1/2'' \\ p' &= 120 \text{ PSI} = 827.40 \text{kPa (presion de contacto, dato de nuestro diseño de pavimento inicial)} \\ FS_p &= 1.525 (\text{FR}_{ID} * \text{FR}_{DQB}) \text{ ver tabla N°02} \end{aligned}$$

$$F_{SG} = T_{ult} / (FS_p \times p' \times (0.33 \times d_a)^2 \times f(\varepsilon))$$

$$F_{SG} = 939 / (1.525 \times 827.40 \times 10^{-3} \times (0.33 \times 38.10)^2 \times 0.51)$$

$$F_{SG} = 9.23 > 1 \text{ Cumple}$$

Viendo graficamente las dos situaciones evaluadas tenemos:



*Figura 75: Comparación de la estructura de pavimento con y sin geotextil de separación – Cantera Vicho
Elaboración propia, 2018*

Haciendo la comparación de costos de las dos estructuras de la vía considerando solo la reducción de la subbase granular, tenemos:

Capas de la estructura de la vía	Unidad	Espesor (m)	Precio Unitario (S/.)	Precio por capa (S/.)
Subbase Granular	m ³	0.40	69.58	27.82
Geotextil	m ²			4.90
			Total	32.72

*Tabla 57: Estructura de la vía con geotextil
Elaboración propia, 2018*

Capas de la estructura de la vía	Unidad	Espesor (m)	Precio Unitario (S/.)	Precio por capa (S/.)
Subbase Granular	m ³	0.80	69.58	55.66
			Total	55.66

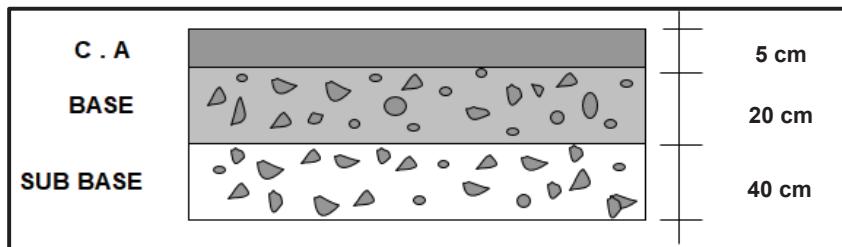
*Tabla 58: Estructura de la vía sin geotextil
Elaboración propia, 2018*

El ahorro en costos gracias a la instalacion de un geotextil como elemento de separacion en esta estructura es de **41%**

9.2.2 Cantera Vicho

En el caso de geotextiles no tejidos se evaluara la reducción del indice de serviciabilidad en función de las cargas equivalentes sin la instalación de un geotextil como elemento de separación, y determinaremos el incremento en costos por efectos de la contaminación presentada en una vía principal que fue diseñada con la misma estructura anteriormente ya calculada.

1. Los espesores de cada capa serán:



*Figura 76: Configuración de la Estructura de Pavimento Flexible
Elaboración propia, 2018*

- $a_1 = 0.125/cm$
- $a_2 = 0.052/cm$
- $a_3 = 0.047/cm$
- $m_2 = 0.8$
- $m_3 = 0.8$
- $D_1 = 5cm$
- $D_2 = 20cm$
- $D_3 = 40cm$

$$\begin{aligned} SN &= a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3 \\ SN &= 2.96 \end{aligned}$$

Realizando el cálculo de SN, para nuestra estructura se obtiene un valor de 2.96

2. Con el número estructural calculado, determinamos el número de ejes equivalentes que es capaz de soportar la estructura.

Parámetros para el cálculo:

Confiabilidad (R)	95%
Zr	-1.645
Desviación Standard (So)	0.45
Serviciabilidad Inicial	4
Serviciabilidad Final	2.50
Módulo Resiliente de la Subrasante	$2555^*CBR^{0.64} = 20048 \text{ PSI}$
Tráfico de Diseño - W ₁₈	1490000

*Tabla 59: Datos de Entrada para el cálculo del SN
Elaboración propia, 2018*

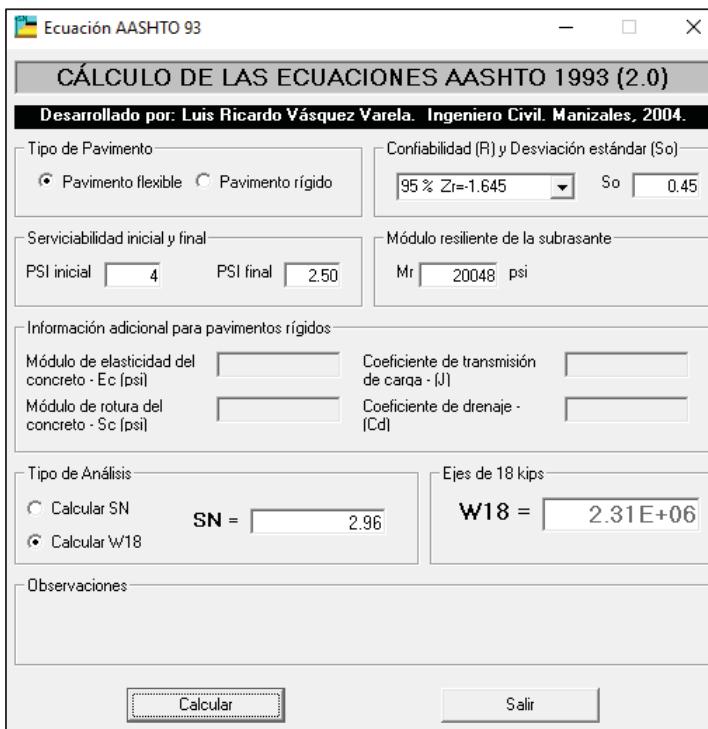


Figura 77: Cálculo de los ejes equivalentes con las Ecuaciones AASHTO 93

Fuente: Software – Ecuaciones AASHTO 93

3. Cálculo del nuevo número estructural considerando la contaminación de la subbase

Para cuantificar la reducción en el coeficiente estructural de la capa de la subbase se tomó como referencia la frase “5 kilos de piedra colocados sobre 5 kilos de barro nos da como resultado 10 kilos de barro” citada por Robert Koerner en su libro “Design with Geosynthetics”. Teniendo en cuenta lo anterior, se reduce el coeficiente antes mencionado en un 50% y se procede a calcular el nuevo SN de la estructura de la vía.

- $a_1 = 0.125$
 - $a_2 = 0.052$
 - **$a_3 = 0.0235$**
 - $m_2 = 0.8$
 - $m_3 = 0.8$
 - $D_1 = 5\text{cm}$
 - $D_2 = 20\text{cm}$
 - $D_3 = 40\text{cm}$
- $$\begin{aligned} \text{SN} &= a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3 \\ \text{SN} &= 2.26 \end{aligned}$$

4. Cálculo del nuevo numero de ejes equivalentes

El numero estructural reducido de la vía es de 2.26, con este valor se calcula el nuevo numero de ejes equivalentes, conservando los valores recomendados por AASHTO.

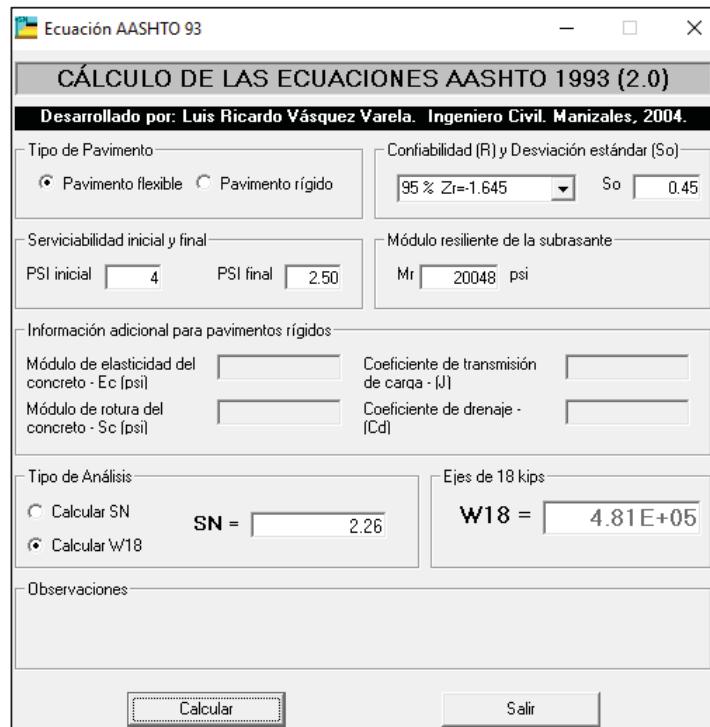


Figura 78: Cálculo de los ejes equivalentes con el número estructural reducido
Fuente: Software – Ecuaciones AASHTO 93

5. Cálculo de la disminución del índice de serviciabilidad en la vía.

Haciendo la relación entre los valores de las cargas equivalentes de la estructura inicial y la afectada por la contaminación, encontramos que la reducción es igual a:

$$1 - \left(\frac{481,000}{2'310,000} \right) \rightarrow 79.20\%$$

6. Para evaluar el beneficio del geotextil como elemento de separación, se calcula el material adicional necesario, para mantener las condiciones iniciales de la vía (SN=2.96), teniendo un coeficiente estructural de la subbase reducido en un 50%.

- $a_1 = 0.125/cm$
- $a_2 = 0.052/cm$
- $a_3 = 0.0235/cm$
- $m_2 = 0.8$
- $m_3 = 0.8$
- $D_1 = 5cm$
- $D_2 = 20cm$

- $S_N=2.96$

$$S_N = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 \cdot m_2 + a_3 \cdot D_3 \cdot m_3$$

Entonces $D_3 = 80 \text{ cm}$

Para verificar si el geotextil que empleamos en el ensayo de Tensión Grab, es el adecuado se realiza el siguiente procedimiento:

Se verifica para el geotextil No Tejido NW030M

$$\begin{aligned} T_{ult} &= 939 \text{ N (Dato Carga de Rotura - Ensayo Grab)} \\ \varepsilon &= 41\% (\text{Dato Elongacion - Ensayo Grab}) \\ f(\varepsilon) &= 0.51 (\text{ver tabla N°03}) \\ d_a &= 50.8 \text{ mm} = 2.0'' \\ p' &= 120 \text{ PSI} = 827.40 \text{kPa (presión de contacto, dato de nuestro diseño de pavimento inicial)} \\ FS_p &= 1.525 (FR_ID * FR_DQB) \text{ ver tabla N°02} \\ F_{SG} &= T_{ult} / (FS_p \times p' \times (0.33 \times d_a)^2 \times f(\varepsilon)) \\ F_{SG} &= 939 / (1.525 \times 827.40 \times 10^{-3} \times (0.33 \times 38.10)^2 \times 0.51) \\ F_{SG} &= 5.20 > 1 \text{ Cumple} \end{aligned}$$

Viendo graficamente las dos situaciones evaluadas tenemos:

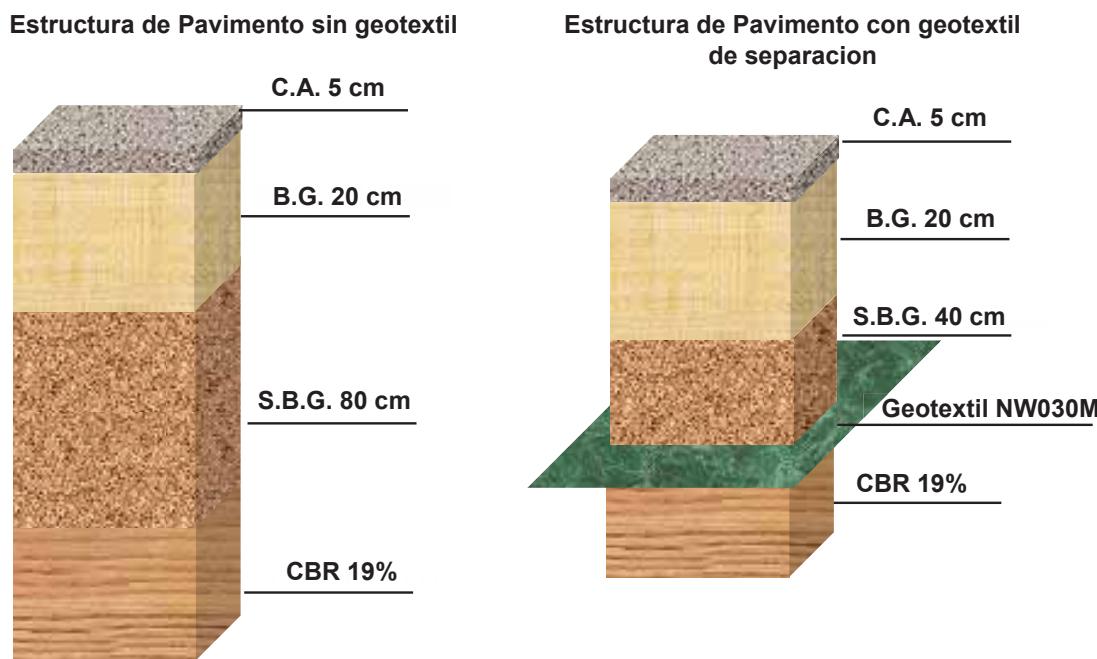


Figura 79: Comparación de la estructura de pavimento con y sin geotextil de separación – Cantera Vicho
Elaboración propia, 2018

Haciendo la comparación de costos de las dos estructuras de la vía considerando solo la reducción de la subbase granular, tenemos:

Capas de la estructura de la vía	Unidad	Espesor (m)	Precio Unitario (S/.)	Precio por capa (S/.)
Subbase Granular	m ³	0.40	75.58	30.23
Geotextil	m ²			4.90
			Total	35.13

*Tabla 60: Estructura de la vía con geotextil
Elaboración propia, 2018*

Capas de la estructura de la vía	Unidad	Espesor (m)	Precio Unitario (S/.)	Precio por capa (S/.)
Subbase Granular	m ³	0.80	75.58	60.46
			Total	60.46

*Tabla 61: Estructura de la vía sin geotextil
Elaboración propia, 2018*

El ahorro en costos gracias a la instalacion de un geotextil como elemento de separacion en esta estructura es de **42%**

9.3 Cuadros comparativos del analisis Beneficio – Costo

GEOTEXTIL TEJIDO T2400		
	Cantera Huillque	Cantera Vicho
Reducción de espesor de subbase	De 40cm a 20cm 50 %	De 40cm a 20cm 50 %
Ahorro por m²	S/. 5.50 /m ²	S/. 6.40 /m ²
Ahorro en 1km de vía con 7m de calzada	S/. 63,000.00 50%	S/. 71,400.00 50%

*Tabla 62: Análisis Beneficio – Costo de geotextil Tejido T2400
Elaboración propia, 2018.*

GEOTEXTIL NO TEJIDO NW030M		
	Cantera Huillque	Cantera Vicho
Reducción de espesor de subbase	De 80cm a 40cm 50 %	De 80cm a 40cm 50 %
Ahorro en S/. por capa/m²	S/. 22.90	S/. 25.30
Ahorro en 1km de vía con 7m de calzada	S/. 33,586.00 41%	S/. 43,758.00 42%

*Tabla 63: Análisis Beneficio – Costo de geotextil No Tejido NW030M
Elaboración propia, 2018.*

CONCLUSIONES

- La influencia de la Carga de Rotura se ve reflejada en la metodología de diseño ya sea con Geotextiles Tejidos y No Tejidos, siendo este dato esencial para el cálculo de la Tensión Disponible y consecuentemente para el cálculo del Factor de Seguridad Global y así poder optimizar el diseño con geotextil, en cuanto a la influencia en los esfuerzos de tensión se concluye que los Geotextiles No Tejidos absorben en mayor proporción los esfuerzos a diferencia de los Geotextiles Tejidos.
- La influencia de la Elongación en los esfuerzos de tensión que se producen en la interfaz terreno de fundación – subbase, se refleja en la metodología de diseño con Gotextiles No Tejidos, ya que es parte del cálculo del Factor de Seguridad Global, siendo uno de los valores que define el cumplimiento o no de un tipo de geotextil en la función de separación.
- La metodología de diseño que se empleo permite definir la reducción del espesor de la capa granular de subbase en una estructura de pavimento flexible, basada en un análisis de las deformaciones y los esfuerzos que se presentan en cada capa de la estructura y en una teoría de la deformación del geotextil sobre suelos blandos bajo la aplicación de la carga.
- Con el resultado de la reducción del espesor de la capa granular de subbase en un 50% se pueden evaluar las diferentes alternativas de diseño al utilizar un geotextil de refuerzo sobre la subrasante, evaluando las posibilidades del mejoramiento de las propiedades de los materiales granulares o el incremento de tránsito de diseño o el aumento de la vida útil de la estructura.
- La metodología de diseño se basa en el análisis de las deformaciones y los esfuerzos que se presentan en la estructura de pavimento, por lo que se utiliza un método racional de diseño de pavimento, en este caso se empleo el Software Kenlayer para el análisis de esfuerzos y deformaciones y el Software AASHTO93 para el cálculo de SN y W₁₈ en estructuras de pavimento flexible.
- Con respecto al ahorro por m² con el uso de Geotextil Tejido T2400 – PAVCO, tanto en la Cantera de Huillque y Vicho, este representa un ahorro del 50% en promedio, mientras

que con el uso de Geotextil No Tejido NW030M – PAVCO el ahorro es de 41%. Ambas cifras determinan que el uso de geotextiles en la interfaz terreno de fundación – subbase optimiza en más de un 40% los costos.

- La cantera que más se acomoda a las condiciones del uso de Geotextil Tejido es la Cantera de Huillque y en el caso de Geotextil No Tejido es la Cantera de Vicho, esto en cuanto a los costos.
- Al emplear la metodología de diseño analizando los esfuerzos y deformaciones, el hecho de haber realizado el ensayo de laboratorio empleando los strain gauge, nos dio una mayor amplitud de conocimiento en el tema del cálculo de esfuerzos y deformaciones, ya que se pudo observar en tiempo real la influencia del geotextil en la interfaz analizada.
- Para dar el uso correcto a los geotextiles tejidos y no tejidos es necesario tener como suelos de subbase a gravas, de acuerdo a la clasificación SUCS y AASHTO la Cantera de Huillque y la Cantera de Vicho se clasifican como Gravas Mal y Bien Graduadas, por lo tanto estos materiales son aptos para el uso de geotextiles tejidos y no tejidos.
- El CBR del suelo de subrasante tiene un porcentaje de 25%, esto indica que es un suelo bueno para subrasante de acuerdo al Manual de Carreteras – Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos ,2013.
- Los valores de Carga de Rotura y Elongación de los Geotextiles Tejidos y No Tejidos ensayados, se encuentran por debajo de los valores indicados en sus especificaciones técnicas. Sin embargo, se utilizó estos valores para hacer un diseño de pavimento y así ver la influencia de su uso en el ensayo de laboratorio y en el diseño de pavimento flexible propiamente dicho.

RECOMENDACIONES

- El diseño inicial sin geotextil es esencial para definir el aporte estructural del geotextil en el pavimento y las variables que se asumen para el diseño son las mismas que se utilizan en la metodología de refuerzo, por lo tanto se debe hacer una evaluación de las condiciones de cada proyecto para tener una alternativa de diseño que funcione correctamente durante el periodo de diseño de la vía.
- Debe realizarse mayores investigaciones que abarquen otro tipo de geosintético, como el caso de geomallas, o en su defecto plantear el uso de un tipo de geosintético natural, de esa manera también habrá un ahorro final.
- Siendo el deflectómetro de impacto, el único medio normado para medir las deformaciones que presenta la subrasante, se recomienda hacer uso de los strain gauge para medir esfuerzos y deformaciones, colocándolos encima de la subrasante en la etapa inicial de un proyecto de vías. Para así poder hacer un monitoreo continuo de las condiciones en las que se encuentra la subrasante.
- Esta investigación no tiene precedentes, se realizaron investigaciones en cuanto a la resistencia de la subrasante y la capacidad estructural de una estructura de pavimentos con información del deflectómetro de impacto, pero nunca antes se analizó los esfuerzos ni las deformaciones con el uso de geotextiles en la interfaz de estudio, es por eso que se recomienda seguir investigando los esfuerzos que se producen en la estructura de pavimento con el uso de Strain Gauge u otro tipo de sensor capaz de registrar medidas de esa magnitud, con la finalidad de incluir una nueva alternativa de construcción de vías técnico económicas a largo plazo.
- Se recomienda hacer el estudio en la interfaz subbase-base para ver en qué interfaz trabaja mejor el geotextil (subrasante-subbase o subbase-base).
- La explotación de las Canteras de Huillque y Vicho deberán ser planificadas y orientadas en mantener un equilibrio ambiental, ecológico y visual, de tal manera que los impactos socio-ambientales sean reducidos.

OBSERVACIONES

- En cuanto a la metodología de diseño con Geotextil de separacion (NW030M – No Tejido), es importante tener en cuenta que si se utiliza un espesor de material granular adicional para reemplazar el uso del geotextil, no se garantiza con esto que la estructura no presente un proceso de contaminación a lo largo del periodo de diseño de la vía.
- Con respecto a los ensayos de laboratorio, en el análisis granulométrico se observó que tanto la Cantera de Huillque como la Cantera de Vicho tienen curvas que se encuentran dentro de los límites. Mientras, el material de subrasante presenta una gradación óptima para su uso.

BIBLIOGRAFIA

1. YANG H. HUANG, Pavement Analysis and Design, 2 ED., 2004.
2. KOERNER R.M., Designing With Geosynthetics, 5 ED. U.S.A., 2005.
3. KOERNER R.M., GSI White Paper # 4: Reduction Factors Using In Geosynthetics Design., U.S.A., 2005.
4. GEOSOFT PAVCO, Manual de Diseño con Geosintéticos, 8 ED. Colombia, 2009.
5. ROBERTO HERNANDEZ SAMPIERI, Metodología de la Investigación, 6 ED. 2014
6. CARACTERIZACION DE LA RESISTENCIA DE LA SUBRASANTE CON LA INFORMACION DEL DEFLECTOMETRO DE IMPACTO
Carlos Hernando Higuera Sandoval, 2009.
7. COMPORTAMIENTO DE LOS ESTADOS TENSIONALES DE UNA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE
Carlos Hernando Higuera Sandoval, 2015.
8. LOS CUENCOS DE DEFLEXION EN ESTRUCTURAS DE PAVIMENTOS FLEXIBLES
Carlos Hernando Higuera Sandoval, 2006.
9. MODELACION GEOTECNICA DE PAVIMENTOS FLEXIBLES CON FINES DE ANALISIS Y DISEÑO EN EL PERU
Jose Wilfredo Gutierrez Lázares, 2007.
10. EVALUACION DE PAVIMENTOS EN BASE A METODOS NO DESTRUCTIVOS Y ANALISIS INVERSO
Edisson Avila, Flavio Albarracín, Jaime Bojorque, 2010,
11. PROJETO DE INSTRUMENTACAO PARA MEDICAO DE DEFORMACAO DO PAVIMENTO
Fernando Pugliero, Jose Augusto Pereira, José Augusto de Oliveira, 2009.
12. METODOLOGIA E ANALISIS EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO GEOTECNICO DA ESTRUCTURA DE PAVIMENTOS TODOVIARIOS
Sergio Luiz Costa Saraiva, 2006.

13. CARACTERIZACION DE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE GEOTEXTILES DE POLIPROPILENO NO TEJIDO MEDIANTE ENSAYOS DE TRACCION Y ELONGACION NORMALIZADOS EN UNA MAQUINA UNIVERSAL PARA POLIMEROS
Jimmy Renzo Cardenas Cuentas, 2015.
14. APLICACIÓN DE GEOTEXTILES EN LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO SOBRE LOS 3500
msnm
Cesar Augusto Lopez Arevalo, 2012.
15. NORMA CE.010 PAVIMENTOS URBANOS
Ministerio de Vivienda Construccion y Saneamiento, 2010.
16. MANUAL DE CARRETERAS, ESPECIFICACIONES TECNICAS GENERALES PARA CONSTRUCCION EG-2013
Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013.
17. MANUAL DE CARRETERAS, SUELOS, GEOLOGIA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS
Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013.
18. MANUAL DE ENSAYOS DE MATERIALES
Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016.

ANEXO N°01: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Título: “La Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de Geotextiles Tejidos y No Tejidos y los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles”

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Problema general ¿Cómo la Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de geotextiles tejidos y no tejidos influyen en los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles?	Objetivo general Analizar la influencia de la Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de geotextiles tejidos y no tejidos influyendo directamente en los esfuerzos de tensión de la interfaz terreno de fundación – subbase, de pavimentos flexibles.	Hipótesis Principal La Carga de Rotura y la Elongación de geotextiles tejidos y no tejidos directamente en los esfuerzos de tensión de la interfaz terreno de fundación – subbase, de pavimentos flexibles.	Variables independientes VI1: Tipo de geotextil (tejido – no tejido)	VI1: Carga de rotura (N) - Elongación (%)	-Ensayo para la determinación de la carga de rotura y la elongación de geotextiles (Método Grab) ASTM D-4632, INVE – 901
Problema específico ¿Cómo la Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de geotextiles tejidos y no tejidos influyen en los esfuerzos de tensión en la interfaz terreno de fundación – subbase, de pavimentos flexibles?	Objetivo específico - Determinar la carga de rotura y la elongación por el Método Grab de un tipo de geotextil tejido y uno no tejido empleando la maquina universal de ensayos. - Analizar la influencia de la Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de geotextiles tejidos y no tejidos en los esfuerzos de tensión en la interfaz terreno de fundación – subbase, de pavimentos flexibles.	Variables dependientes - Propiedades mecánicas del geotextil - Propiedades índices y mecánicas del terreno de fundación y material de subbase.	VI2: Interfaz terreno de fundación - subbase - Esfuerzos de tensión (N/m ²)	VI2: Interfaz terreno de fundación – subbase - Esfuerzos de tensión (N/m ²)	- Ensayo para el cálculo de deflexiones en la interface subrasante – subbase con GT, GNT y sin geotextiles; simulando una configuración de SR-SB en forma de una viga. Aplicando una carga estática y colocando sensores y diales para medir las deflexiones.

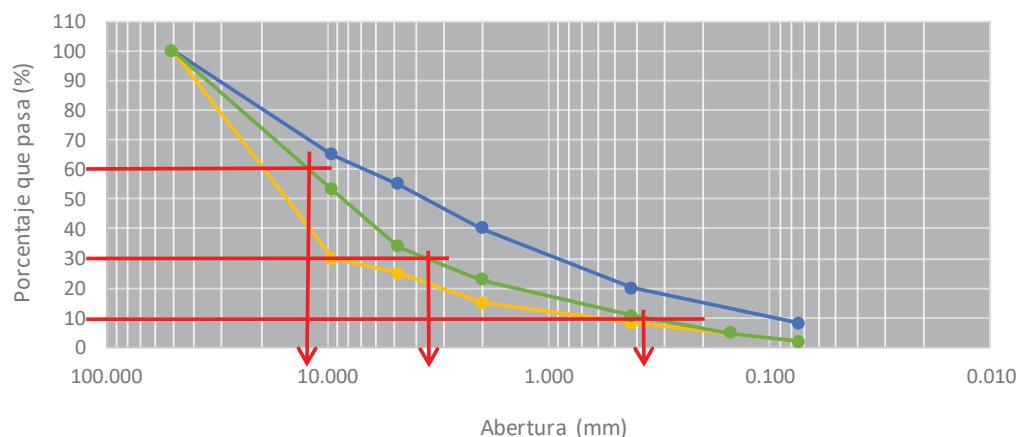
ANEXO N°02: ENSAYOS DE LABORATORIO

TESIS:	<i>"La Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de Geotextiles Tejidos y No Tejidos y los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles"</i>			
Tesista:	<i>Bach. Verónica Isumi Cordoni Jara</i>			
Ensayo :	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO			
Norma :	MTC E 107			
Material:	Cantera Huillque			
Laboratorio:	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC.			

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Peso Inicial de la Muestra Seca :	1930.07 gr	D60 =	13.00	Cu =	35.14		
Peso de la Muestra Despues del Lavado :	1898.75 gr	D30 =	3.60	Cc =	2.69		
Perdida por Lavado :	31.32 gr	D10 =	0.37				
Tolerancia	1.62 %	%	Correcto				
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% PESO RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA "A"		
2"	50.600	0	0.000	0.000	100.000	100	100
1 1/2"	38.100	0	0.000	0.000	100.000		
1"	25.400	38.95	2.018	2.018	97.982		
3/4"	19.050	275.74	14.287	16.305	83.695		
1/2"	12.700	386.43	20.022	36.326	63.674		
3/8"	9.525	204.62	10.602	46.928	53.072	30	65
#4	4.760	368.99	19.118	66.046	33.954	25	55
#10	2.000	218.32	11.312	77.357	22.643	15	40
#40	0.420	229.97	11.915	89.272	10.728	8	20
#100	0.149	113.7	5.891	95.163	4.837		
#200	0.074	54.24	2.810	97.974	2.026	2	8
cazuela		7.79	0.404	100.000	0.000		
lavado		31.32	1.623				
		1898.75	100.000				

CANTERA HUILQUE - ESPECIFIC. "A"



GRAVA :	66.046 %	ARENA :	31.928 %	FINOS :	2.026 %	
Tamaño maximo absoluto :	1 1/2"	Tamaño máximo nominal :	1"			

TESIS:	<i>"La Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de Geotextiles Tejidos y No Tejidos y los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles"</i>						
Tesita:	<i>Bach. Verónica Isumi Cordoni Jara</i>						
Ensayo :	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO						
Norma :	MTC E 107						
Material:	Cantera Vicho						
Laboratorio:	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC.						
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO							
Peso Inicial de la Muestra Seca :	1590.18 gr	D60 =	15.00	Cu =	88.24		
Peso de la Muestra Despues del Lavado :	1559.23 gr	D30 =	0.85	Cc =	0.28		
Perdida por Lavado :	30.95 gr	D10 =	0.17				
Tolerancia	1.95	%	Correcto				
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% PESO RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC. "A"	
2"	50.600	0	0.000	0.000	100.000	100	100
1 1/2"	38.100	204.38	12.853	12.853	87.147		
1"	25.400	126.86	7.978	20.830	79.170		
3/4"	19.050	148.87	9.362	30.192	69.808		
1/2"	12.700	213.19	13.407	43.599	56.401		
3/8"	9.525	64.79	4.074	47.673	52.327	30	65
#4	4.760	153.25	9.637	57.310	42.690	25	55
#10	2.000	122.81	7.723	65.034	34.966	15	40
#40	0.420	158.92	9.994	75.027	24.973	8	20
#100	0.149	248.2	15.608	90.636	9.364		
#200	0.074	109.36	6.877	97.513	2.487	2	8
cazuela		8.6	0.541	100.000	0.000		
lavado		30.95	1.946				
		1559.23	100.000				
CANTERA VICHO - ESPECIFIC. "A"							
● CURVA GRANULOMETRICA ● RANGO SUPERIOR ● RANGO INFERIOR							
GRAVA :	57.310 %	ARENA :	40.202 %	FINOS :	2.487 %		
Tamaño maximo absoluto :	2"	Tamaño máximo nominal :	1 1/2"				

TESIS:	<i>"La Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de Geotextiles Tejidos y No Tejidos y los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles"</i>					
Tesita:	<i>Bach. Verónica Isumi Cordoni Jara</i>					
Ensayo :	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO					
Norma :	MTC E 107					
Material:	Suelo de Subrasante					
Laboratorio:	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC.					
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO						
Peso Inicial de la Muestra Seca :	260 gr	D60 =	0.38	Cu =	-	
Peso de la Muestra Despues del Lavado :	129.21 gr	D30 =	0.00	Cc =	-	
Perdida por Lavado :	52.71 gr	D10 =	0.00			
Tolerancia	1.95 %	Correcto				
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% PESO RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	
2"	50.600	0	0.000	0.000	100.000	
1 1/2"	38.100	0	0.000	0.000	100.000	
1"	25.400	0	0.000	0.000	100.000	
3/4"	19.050	3.5	1.346	1.346	98.654	
1/2"	12.700	8.57	3.296	4.642	95.358	
3/8"	9.525	8.52	3.277	7.919	92.081	
#4	4.760	30.89	11.881	19.800	80.200	
#10	2.000	30.58	11.762	31.562	68.438	
#40	0.420	20.41	7.850	39.412	60.588	
#100	0.149	15.6	6.000	45.412	54.588	
#200	0.074	10.00	3.846	49.258	50.742	
cazuela		1.14	0.438	100	0.000	
lavado		131	50.385			
		129.21	100			
SUELO DE SUBRASANTE						
<p>● CURVA GRANULOMETRICA</p>						
GRAVA :	19.800 %	ARENA :	29.458 %	FINOS :	50.742 %	
Tamaño maximo absoluto :	1"	Tamaño máximo nominal :	3/4"			

Sistema USCS de Clasificación de Suelos

IDENTIFICACION EN EL CAMPO		NOMBRES TÍPICOS		CRITERIOS DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO	
AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	GW	GRAVA BIEN GRADUADA, MEZCLA DE GRAVA Y ARENA CON POCOS FINOS O SIN ELLOS		$C_t = \frac{D_{se}}{D_w}$ MAYOR DE 4 ; $C_f = \frac{(D_{se})^2}{D_w \times D_m}$ ENTRE 1 Y 2	
PREDOMINIO DE UN TAMAÑO U UN TIPO DE TAMAÑO, CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	GP	GRAVAS HAB GRADUADAS, MEZCLAS DE ARENA Y GRAVA CON POCOS FINOS O SIN ELLOS		NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANOLOHETRICOS DE LAS GW	
FRACTION TINA NO PLASTICA (PARA LA IDENTIFICACION VER EL GRUPO HL MAS ABajo)	GM	GRAVAS LINDAS, MEZCLAS HAB GRADUADAS DE GRAVA, ARENA Y LIMO		LIMITES DE ATTENBERG POR DEBAJO DE LA LINEA "A" O IP MENOR QUE 4 ; CASOS LIMITES QUE REQUIEREN EL USO DE SIMBOLOS DOBLES	
FINOS PLASTICOS (PARA IDENTIFICARLOS VER EL GRUPO CL MAS ABajo)	GC	GRAVAS ARCILLAS, MEZCLAS HAB GRADUADAS DE GRAVA, ARENA Y ARCELLA		POR ENCIMA DE LA LINEA "A" O IP MAYOR QUE 7	
AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	SW	ARENAS BIEN GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN ELLOS		EMPLEO DE SIMBOLOS DOBLES CASOS LIMITES QUE REQUIEREN EL USO DE SIMBOLOS DOBLES	
PREDOMINIO DE UN TAMAÑO U UN TIPO DE TAMAÑO, CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	SP	ARENAS HAB GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN ELLOS		$C_t = \frac{D_{se}}{D_w}$ MAYOR DE 6 ; $C_f = \frac{(D_{se})^2}{D_w \times D_m}$ ENTRE 1 Y 2	
FINOS NO PLASTICOS (PARA IDENTIFICACION VER EL GRUPO HL MAS ABajo)	SM	ARENAS LINDAS, MEZCLAS DE ARENA Y LIMO HAB GRADUADAS		NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANOLOHETRICO DE LAS SW	
FINOS PLASTICOS (PARA IDENTIFICACION VER EL GRUPO CL MAS ABajo)	SC	ARENAS ARCILLAS, MEZCLAS HAB GRADUADAS DE ARENAS O ARCELLAS		LIMITES DE ATTENBERG POR ENCIMA DE LA LINEA "A" O IP MAYOR QUE 7	
METODOS DE IDENTIFICACION PARA LA FRACCION QUE PASA POR EL TANIEZ # 40			LINEA A: $Ip = 0.73(WL - 20)$		
RESISTENCIA EN ESTADO SECO (LA DISCREGACION)	ELATANCIA (NECCION A LA AGITACION)				
NULA A LIGERA	BAPIDA A LENTA		COMPARANDO CON SUELOS CON EL MISMO LIMITE LIQUIDO		
MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA		ARENAS CON FINO RETENIDA POR EL TANIEZ # 4		
LIGERA A MEDIA	LENTA A NULA		ARENAS - MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA PASA POR EL TANIEZ # 4		
ALTA A MUY ALTA	NULA		ARENAS - MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA MAS DE LA MITAD DEL TANIEZ # 200		
MEDIO A ALTA	LIGERA A MEDIA		LIMOS Y ARCELLAS CON FINO RETENIDO POR EL TANIEZ # 200		
LIGERA A MEDIA	LENTA A NULA		SUELOS DE GRANDE GRUESO - MAS DE LA MITAD DEL TANIEZ # 200		
ALTA A MUY ALTA	NULA		SUELOS DE GRANDE GRUESO - MAS DE LA MITAD DEL TANIEZ # 50		
MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA		LIMOS Y ARCELLAS CON FINO RETENIDO POR EL TANIEZ # 50		
SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS	FACILMENTE IDENTIFICABLES POR SU COLOR, OLOR, SENSACION ESPECIA Y FRECUENTEMENTE POR SU TEXTURA FIBROSA		CON LIMITE LIQUIDO CON LIMITE DE 50		
			LIMITE LIQUIDO		
			TURIA Y OTROS SUELOS ALIMENTARIOS ORGANICOS		

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos pasa el tamiz #200)						Materiales limoarcillosos (más de 35% pasa el tamiz #200)		
	A-1-a	A-1	A-3^A	A-2	A-4	A-5	A-6	A-7	A-7
Clasificación de grupo	A-1-b			A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7		A-7-5 A-7-6
Tamizado, % que pasa									
No. 10 (2.00mm)	50 máx.	...	...	...	...	...	...	...	...
No. 40 (425 μ m)	30 máx.	50 máx.	51 mín.	...	...	...	...	...	...
No. 200 (75 μ m)	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	35 máx.	36 mín.	36 mín.
Consistencia									
Límite líquido	...	...		B			40 máx.	41 mín.	41 mín.
Índice de plasticidad	6 máx.	N.P.		B			10 máx.	10 máx.	11 mín.
Tipos de materiales característicos	Cantos, grava y arena	Arena fina	Grava y arena limoarcillosas	Suelos limosos	Suelos arcillosos				
Calificación	Excelente a bueno			Regular a malo					

^A La colocación de A3 antes de A2 en el proceso de eliminación de izquierda a derecha no necesariamente indica superioridad de A3 sobre A2.

^B El índice de plasticidad del subgrupo A-7-5 es igual o menor que LL-30. El índice de plasticidad del subgrupo A-7-6 es mayor que LL-30.

Tesis:	<i>"La Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de Geotextiles Tejidos y No Tejidos y los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles"</i>				
Tesista :	<i>Bach. Verónica Isumi Cordoni Jara</i>				
Material :	Cantera Huillque				
Laboratorio :	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC.				
CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN S.U.C.S					
% Que Pasa la Malla N° 200	2.03				
% Que Pasa la Malla N° 4	33.95				
Límite Líquido	LL =	18 %	D60 =	13.0000	Cu = 35.140
Límite Plástico	LP =	21.17 %	D30 =	3.60	Cc = 2.690
Indice de Plasticidad	IP =	0.00 %	D10 =	0.37	Suelo Bien Graduado
Tipo de Suelo Según su Granulometría :	Suelo Grueso Grava				
Tipo de Simbología :	Simbología Normal				
Tipo de Suelo :	GW , GP				
Suelo :	GW Inorgánico				
Características del Suelo :	GW	Grava bien gradada, mezcla de grava y arena con pocos finos o sin ellos			

Tesis :	<i>"La Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de Geotextiles Tejidos y No Tejidos y los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles"</i>				
Tesista :	<i>Bach. Verónica Isumi Cordoni Jara</i>				
CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN A.A.S.H.T.O.					
Material :	Cantera Huillque				
Laboratorio :	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC.				
CLASIFICACIÓN AASHTO					
Parámetros Usados					
% Que Pasa la Malla N° 200	2.03				
% Que Pasa la Malla N° 40	10.73	Determinación del Índice de Grupo IG			
% Que Pasa la Malla N° 10	22.64	a =	0.00	IG =	0.00
Límite Líquido	LL =	18.00 %	b =	0.00	
Límite Plástico	LP =	21.17 %	c =	0.00	
Indice de Plasticidad :	IP =	0.00 %	d =	0.00	
Tipo de Suelo :	Material Granular				
Clasificación de Suelos	A - 1				
Suelo :	A - 1 - a (0)				
Tipo de Material :	Fragmentos de Piedra Grava y Arena				
Terreno de Fundación :	Excelente a Bueno				

Tesis :	<i>"La Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de Geotextiles Tejidos y No Tejidos y los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles"</i>			
Tesista :	<i>Bach. Veronica Isumi Cordoni Jara</i>			
Material :	Cantera Vicho			
Laboratorio :	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC.			
CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN S.U.C.S				
% Que Pasa la Malla N° 200	2.49			
% Que Pasa la Malla N° 4	42.69			
Límite Líquido	LL =	19.9 %	D60 =	15.0000 Cu = 88.240
Límite Plástico	LP =	18.85 %	D30 =	1.20 Cc = 0.280
Indice de Plasticidad	IP =	1.05 %	D10 =	0.17 Suelo Mal Graduado
Tipo de Suelo Según su Granulometria :	Suelo Grueso Grava			
Tipo de Simbología :	Simbología Normal			
Tipo de Suelo :	GW , GP			
Suelo :	GP Inorgánico			
Características del Suelo :	GP		Gravas mal graduadas, mezdas de arena y grava con pocos finos o sin ellos	

Tesis :	<i>"La Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de Geotextiles Tejidos y No Tejidos y los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles"</i>			
Tesista :	<i>Bach. Veronica Isumi Cordoni Jara</i>			
CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN A.A.S.H.T.O.				
Material :	Cantera Vicho			
Laboratorio :	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC.			
CLASIFICACIÓN AASHTO				
Parámetros Usados				
% Que Pasa la Malla N° 200	2.49			
% Que Pasa la Malla N° 40	24.97	Determinación del Indice de Grupo IG		
% Que Pasa la Malla N° 10	34.97	a =	0.00	IG = 0.00
Límite Líquido	LL =	19.90 %	b =	0.00
Límite Plástico	LP =	18.85 %	c =	0.00
Indice de Plasticidad	IP =	1.05 %	d =	0.00
Tipo de Suelo :	Material Granular			
Clasificación de Suelos	A - 1			
Suelo :	A - 1 - a (0)			
Tipo de Material :	Fragmentos de Piedra Grava y Arena			
Terreno de Fundación :	Excelente a Bueno			

Tesis :	<i>"La Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de Geotextiles Tejidos y No Tejidos y los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles"</i>			
Tesista :	<i>Bach. Veronica Isumi Cordoni Jara</i>			
Material :	Suelo de Subrasante			
Laboratorio :	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC.			
CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN S.U.C.S				
% Que Pasa la Malla N° 200	50.74			
Límite Líquido	LL =	20 %	3.4000	-
Límite Plástico	LP =	9.16 %	0.00	-
Indice de Plasticidad	IP =	10.84 %	0.00	Suelo Mal Graduado
Tipo de Suelo Según su Granulometría :	Suelo Fino Baja Plasticidad			
Tipo de Simbología :	Simbología Normal			
Tipo de Suelo :	CL , ML , OL			
Suelo :	CL			
Características del Suelo :	CL		Ardillas inorgánicas de plasticidad baja a media, ardillas con grava, ardillas arenosas, ardillas limosas, ardillas magras.	

Tesis :	<i>"La Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de Geotextiles Tejidos y No Tejidos y los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles"</i>			
Tesista :	<i>Bach. Veronica Isumi Cordoni Jara</i>			
CLASIFICACIÓN DE SUELOS SEGÚN A.A.S.H.T.O.				
Material :	Suelo de Subrasante			
Laboratorio :	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC.			
CLASIFICACIÓN AASHTO				
Parámetros Usados				
% Que Pasa la Malla N° 200	50.74	Determinación del Índice de Grupo IG		
% Que Pasa la Malla N° 40	60.59			
% Que Pasa la Malla N° 10	68.44	a =	15.74	IG = 4.00
Límite Líquido	LL = 20.00 %	b =	35.74	
Límite Plástico	LP = 9.00 %	c =	0.00	
Indice de Plasticidad :	IP = 11.00 %	d =	1.00	
Tipo de Suelo :	Material Limo Ardilloso			
Clasificación de Suelos	A - 6			
Suelo :	A - 6 (4)			
Tipo de Material :	Suelo Ardilloso			
Terreno de Fundación :	Regular a Malo			

TESIS:	<i>"La Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de Geotextiles Tejidos y No Tejidos y los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles"</i>							
Tesita:	<i>Bach. Veronica Isumi Cordoni Jara</i>							
Ensayo :	LIMITES DE CONSISTENCIA							
Límite liquido :	MTC E 110							
Limite Plástico :	MTC E 111							
Material:	Cantera Huillque							
Laboratorio:	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC							
LIMITES DE CONSISTENCIA								
LIMITE LIQUIDO								
Capsula N°	A	B	C	D				
Peso de capsula	52.85	53.45	59.63	52.68				
Capsula+suelo humedo	74.63	71.49	76.05	72.94				
capsula+suelo seco	71.55	68.79	73.53	69.51				
humedad	16.4705882	17.601043	18.1294964	20.38027332				
numero de golpes N	35	26	21	15				
LIMITE PLASTICO								
Capsula N°	1	2						
Peso de capsula	58.8 gr	57.88 gr	LL	18%				
Capsula+suelo humedo	64.15 gr	65.81 gr	LP	21.17%				
capsula+suelo seco	63.45 gr	64.11 gr	IP	0%				
humedad	15.05%	27.29%						

TESIS:	<i>"La Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de Geotextiles Tejidos y No Tejidos y los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles"</i>													
Tesita:	<i>Bach. Veronica Isumi Cordoni Jara</i>													
Ensayo :	LIMITES DE CONSISTENCIA													
Límite liquido :	MTC E 110													
Límite Plástico :	MTC E 111													
Material:	Cantera Vicho													
Laboratorio:	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC.													
LIMITES DE CONSISTENCIA														
LIMITE LIQUIDO														
Capsula N°	A	B	C	D										
Peso de capsula	58.52	58.93	60.77	56.92										
Capsula+suelo humedo	73.38	71.09	68.62	69.8										
capsula+suelo seco	70.99	69.1	67.32	67.58										
humedad	19.1659984	19.567355	19.8473282	20.8255159										
numero de golpes N	30	24	22	13										
<p style="text-align: center;">LIMITE LIQUIDO</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>HUMEDAD (%)</th> <th>NUMERO DE GOLPES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>19.9%</td><td>13</td></tr> <tr><td>19.9%</td><td>21</td></tr> <tr><td>19.9%</td><td>23</td></tr> <tr><td>22.5%</td><td>25</td></tr> </tbody> </table>					HUMEDAD (%)	NUMERO DE GOLPES	19.9%	13	19.9%	21	19.9%	23	22.5%	25
HUMEDAD (%)	NUMERO DE GOLPES													
19.9%	13													
19.9%	21													
19.9%	23													
22.5%	25													
LIMITE PLASTICO														
Capsula N°	1	2												
Peso de capsula	58.89 gr	57.69 gr	LL	19.90%										
Capsula+suelo humedo	61.21 gr	61.48 gr	LP	18.85%										
capsula+suelo seco	60.86 gr	60.85 gr	IP	1.05%										
humedad	17.77%	19.94%												

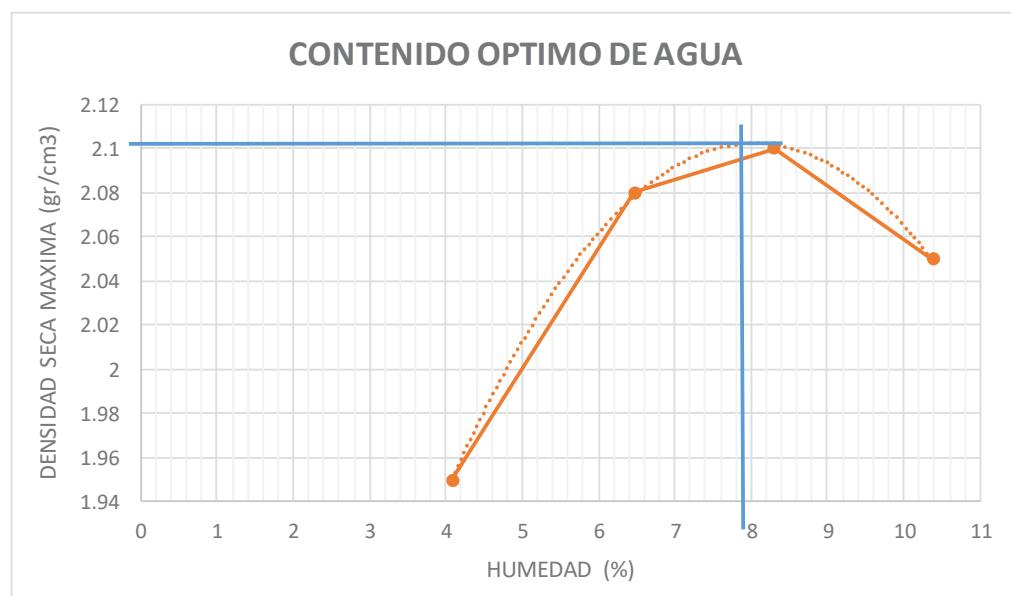
TESIS:	<i>"La Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de Geotextiles Tejidos y No Tejidos y los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles"</i>													
Tesita:	<i>Bach. Verónica Isumi Cordoni Jara</i>													
Ensayo :	LIMITES DE CONSISTENCIA													
Límite liquido :	MTC E 110													
Límite Plástico :	MTC E 111													
Material:	Suelo de Subrasante													
Laboratorio:	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC.													
LIMITES DE CONSISTENCIA														
LIMITE LIQUIDO														
Capsula N°	A	B	C	D										
Peso de capsula	50.05	54.56	52.25	58.13										
Capsula+suelo humedo	62.37	66.47	59.59	69.8										
capsula+suelo seco	60.57	64.54	58.3	67.63										
humedad	17.1102662	19.3386774	21.322314	22.8421053										
numero de golpes N	37	28	18	14										
<p style="text-align: center;">LIMITE LIQUIDO</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>HUMEDAD (%)</th> <th>NUMERO DE GOLPES N</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>22.5</td> <td>15</td> </tr> <tr> <td>21.5</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>19.5</td> <td>28</td> </tr> <tr> <td>17.0</td> <td>37</td> </tr> </tbody> </table>					HUMEDAD (%)	NUMERO DE GOLPES N	22.5	15	21.5	18	19.5	28	17.0	37
HUMEDAD (%)	NUMERO DE GOLPES N													
22.5	15													
21.5	18													
19.5	28													
17.0	37													
LIMITE PLASTICO														
Capsula N°	1	2												
Peso de capsula	53.87 gr	53.25 gr	LL	20%										
Capsula+suelo humedo	67.88 gr	61.84 gr	LP	9.16%										
capsula+suelo seco	66.18 gr	61.47 gr	IP	10.84%										
humedad	13.81%	4.50%												

TESIS:	<i>"La Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de Geotextiles Tejidos y No Tejidos y los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles"</i>			
Tesita:	<i>Bach. Veronica Isumi Cordoni Jara</i>			
Ensayo :	<i>Desgaste por abrasión e impacto máquina de los Angeles</i>			
Norma :	MTC E 207			
Material:	Cantera Huillque			
Laboratorio:	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC.			
DESGASTE POR ABRASION E IMPACTO MAQUINA DE LOS ANGELES				
DATOS DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES		DATOS DE LA CARGA ABRASIVA		
Longitud interior (cm)	50.8	Diámetro promedio (mm)	46.65	
Diámetro Interior (cm)	71.1	Peso Promedio (gr)	146.06	
Revoluciones del cilindro (RPM)	33	Número de Esferas	12	
Número Total de vueltas	500			
Masa de Tamaño indicado (gr)			Peso Retenido (gr) GRADACION A	
Que pasa	Retenido sobre	Gradacion A	Retenido sobre tamiz	Peso
37,5 mm (1 1/2")	25,0 mm (1")	1250 ± 25	25,0 mm (1")	1246.52
25,0 mm (1")	19,0 mm (3/4")	1250 ± 25	19,0 mm (3/4")	1250.95
19,0 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	1250 ± 10	12,5 mm (1/2")	1251.17
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	1250 ± 10	9,5 mm (3/8")	1250.44
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")	-	6,3 mm (1/4")	
6,3 mm (1/4")	4,75 mm (N°4)	-	4,75 mm (N°4)	
4,75 mm (N°4)	2,36 mm (N°8)	-	2,36 mm (N°8)	
TOTAL	5000 ± 10		TOTAL	4999.08
Datos del ensayo				
Peso total antes del ensayo			4999.08 gr	
Peso total despues del ensayo (retenido en tamiz N°12)			2857.77 gr	
Porcentaje de Desgaste			42.8%	

TESIS:	"La Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de Geotextiles Tejidos y No Tejidos y los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles"		
Tesita:	Bach. Veronica Isumi Cordoni Jara		
Ensayo :	Desgaste por abrasión e impacto máquina de los Angeles		
Norma :	MTC E 207		
Material:	Cantera Vicho		
Laboratorio:	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC.		
DESGASTE POR ABRASION E IMPACTO MAQUINA DE LOS ANGELES			
DATOS DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES		DATOS DE LA CARGA ABRASIVA	
Longitud interior (cm)	50.8	Diámetro promedio (mm)	46.65
Diámetro Interior (cm)	71.1	Peso Promedio (gr)	146.06
Revoluciones del cilindro (RPM)	33	Número de Esferas	12
Número Total de vueltas	500		
Masa de Tamaño indicado (gr)			Peso Retenido (gr) GRADACION A
Que pasa	Retenido sobre	Gradacion A	Retenido sobre tamiz
37,5 mm (1 1/2")	25,0 mm (1")	1250 ± 25	25,0 mm (1")
25,0 mm (1")	19,0 mm (3/4")	1250 ± 25	19,0 mm (3/4")
19,0 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	1250 ± 10	12,5 mm (1/2")
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	1250 ± 10	9,5 mm (3/8")
9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")	-	6,3 mm (1/4")
6,3 mm (1/4")	4,75 mm (N°4)	-	4,75 mm (N°4)
4,75 mm (N°4)	2,36 mm (N°8)	-	2,36 mm (N°8)
TOTAL		5000 ± 10	TOTAL
			5001.92
Datos del ensayo			
Peso total antes del ensayo			5001.92 gr
Peso total despues del ensayo (retenido en tamiz N°12)			3656.57 gr
Porcentaje de Desgaste			26.9%

TESIS:	<i>"La Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de Geotextiles Tejidos y No Tejidos y los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles"</i>								
Tesita:	<i>Bach. Veronica Isumi Cordoni Jara</i>								
Ensayo :	<i>Proctor Modificado</i>								
Norma :	MTC E 115								
Material:	Cantera Huillque								
Laboratorio:	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC.								
DENSIDAD SECA									
MUESTRA	H1	H2	H3	H4					
peso base+molde+s.	10800	11000	11400	11300					
suelo humedo	4300	4500	4900	4800					
densidad humeda	2.025	2.119	2.307	2.260					
densidad seca (gr/cm ³)	1.955	2.060	2.089	1.989					
CONTENIDO HUMEDAD									
CAPSULA	1 y B	Q y P	A y R	2 y D					
peso capsula	arriba	60.03	53.63	62.02	58.96				
	abajo	60.52	62.93	62.1	56.36				
peso capsula	arriba	136.33	109.69	101.52	97.16				
+ suelo	abajo	131.54	110.6	125.72	101.08				
peso capsula	arriba	134.32	107.45	97.52	92.77				
+ suelo seco	abajo	128.52	107.5	120.1	95.49				
humedad		2.706	4.162	11.268	12.984				
		4.441	6.955	9.690	14.286				
HUMEDAD (%)	3.57	5.56	10.48	13.64					
CONTENIDO OPTIMO DE AGUA									
<table border="1"> <tr> <td>Contenido Optimo de Agua:</td> <td>8.40%</td> </tr> <tr> <td>Yd maximo:</td> <td>2.11 gr/cm³</td> </tr> </table>						Contenido Optimo de Agua:	8.40%	Yd maximo:	2.11 gr/cm³
Contenido Optimo de Agua:	8.40%								
Yd maximo:	2.11 gr/cm³								

TESIS:	<i>"La Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de Geotextiles Tejidos y No Tejidos y los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles"</i>					
Tesita:	<i>Bach. Veronica Isumi Cordoni Jara</i>					
Ensayo :	<i>Proctor Modificado</i>					
Norma :	MTC E 115					
Material:	Cantera Vicho					
Laboratorio:	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC.					
DENSIDAD SECA						
MUESTRA	V1	V2	V3	V4		
peso base+molde+s.	10800	11150	11450	11300		
suelo humedo	4300	4650	4950	4800		
densidad humeda	2.025	2.190	2.331	2.260		
densidad seca (gr/cm ³)	1.95	2.06	2.10	2.05		
CONTENIDO HUMEDAD						
CAPSULA		M y N	S y X	O y I	T y Z	
peso capsula	arriba	58.16	62.52	49.56	57.99	
	abajo	53.25	60.25	59.62	59.65	
peso capsula + suelo	arriba	106.86	140.25	105.36	101.15	
	abajo	119.31	146.76	123.52	115.54	
peso capsula + suelo seco	arriba	105.23	134.64	98.41	97.05	
	abajo	116.35	142.52	122.03	110.34	
	humedad	3.463	7.779	14.227	10.497	
		4.691	5.154	2.387	10.258	
	HUMEDAD (%)	4.08	6.47	8.31	10.38	



Contenido Optimo de Agua:	7.80%
Yd maximo:	2.10 gr/cm³

TESIS:	<i>"La Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de Geotextiles Tejidos y No Tejidos y los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles"</i>								
Tesita:	<i>Bach. Veronica Isumi Cordoni Jara</i>								
Ensayo :	<i>Proctor Modificado</i>								
Norma :	MTC E 115								
Material:	Material de Subrasante								
Laboratorio:	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC.								
DENSIDAD SECA									
MUESTRA	SR1	SR2	SR3	SR4					
peso base+molde+s.	6484	7084	7300	6956					
suelo humedo	3658	4258	4474	4130					
densidad humeda	1.723	2.005	2.107	1.945					
densidad seca (gr/cm ³)	1.573	1.806	1.836	1.651					
CONTENIDO HUMEDAD									
CAPSULA	1 y 2	3 y 4	5 y 6	7 y 8					
peso capsula	arriba	58.24	62.8	56.03	60.25				
	abajo	58.57	59.66	59.53	59.63				
peso capsula	arriba	136.84	146.25	104.62	129.24				
+ suelo	abajo	152.26	124.43	119.42	132.04				
peso capsula	arriba	129.84	138.58	97.75	119.63				
+ suelo seco	abajo	144.28	117.52	112.52	120.25				
humedad	9.777	10.121	16.467	16.184					
	9.310	11.943	13.021	19.449					
HUMEDAD (%)	9.54	11.03	14.74	17.82					
CONTENIDO OPTIMO DE AGUA									
<p>The graph plots Density Dry (gr/cm³) on the Y-axis (ranging from 1.5 to 2.0) against Moisture (%) on the X-axis (ranging from 4 to 20). Four data series (SR1, SR2, SR3, SR4) are shown as blue lines with circular markers. All series show a similar bell-shaped curve. An orange vertical line is drawn at approximately 12.7% moisture, which corresponds to the peak density for all four samples. The peak density for SR1 is about 1.82 gr/cm³, for SR2 about 1.89 gr/cm³, for SR3 about 1.89 gr/cm³, and for SR4 about 1.82 gr/cm³.</p>									
<table border="1"> <tr> <td>Contenido Optimo de Agua:</td> <td>12.70%</td> </tr> <tr> <td>Yd maximo:</td> <td>1.89 gr/cm³</td> </tr> </table>					Contenido Optimo de Agua:	12.70%	Yd maximo:	1.89 gr/cm³	
Contenido Optimo de Agua:	12.70%								
Yd maximo:	1.89 gr/cm³								

TESIS:	<i>"La Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de Geotextiles Tejidos y No Tejidos y los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles"</i>		
Tesita:	<i>Bach. Veronica Isumi Cordoni Jara</i>		
Ensayo :	<i>Equivalente de Arena</i>		
Norma :	MTC E 114		
Material:	Cantera Huillque y Vicho		
Laboratorio:	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC.		
Cantera Huillque		Cantera Vicho	
	altura (pulg)		altura (pulg)
arena	2.4	arena	2.2
arcilla	6.1	arcilla	6.3
<i>equivalente de arena =</i>	<i>39.34%</i>	<i>equivalente de arena =</i>	<i>35%</i>

TESIS:	<i>"La Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de Geotextiles Tejidos y No Tejidos y los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles"</i>				
Tesita:	<i>Bach. Veronica Isumi Cordoni Jara</i>				
Ensayo :	<i>Partículas Chatas y alargadas</i>				
Norma :	MTC E 223				
Material:	Cantera Huillque y Vicho				
Laboratorio:	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC.				
Cantera Huillque		Cantera Vicho			
peso retenido 3/8"	1116 gr	peso retenido 3/8"	1035 gr		
LARGO	PESO RETENIDO (gr)	Ca	LARGO	PESO RETENIDO (gr)	Ca
50 - 37.5	321.36	29%	50 - 37.5	148.98	14%
37.5 - 25	331.78	30%	37.5 - 25	553.64	53%
25 - 19	333.93	30%	25 - 19	227.33	22%
19 - 12.5	128.54	12%	19 - 12.5	104.89	10%
TOTAL	1115.61		TOTAL	1034.84	
ANCHO	PESO RETENIDO (gr)	Ca	ANCHO	PESO RETENIDO (gr)	Ca
6.3 - 10	1.89	0%	6.3 - 10	0	0%
10 - 12.5	0	0%	10 - 12.5	0	0%
12.5 - 20	33.29	3%	12.5 - 20	0	0%
20 - 25	152.18	14%	20 - 25	42.17	4%
25 - 40	358.18	32%	25 - 40	310.2	30%
40 - 50	319.34	29%	40 - 50	495.74	48%
50 - 63	112.77	10%	50 - 63	186.45	18%
>63	137.35	12%	>63	0	0%
TOTAL	1115		TOTAL	1034.56	

TESIS:	<i>"La Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de Geotextiles Tejidos y No Tejidos y los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles"</i>		
Tesita:	<i>Bach. Veronica Isumi Cordoni Jara</i>		
Ensayo :	<i>California Bearing Ratio - CBR</i>		
Norma :	MTC E 502		
Material:	Cantera Huillque		
Laboratorio:	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC.		

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR

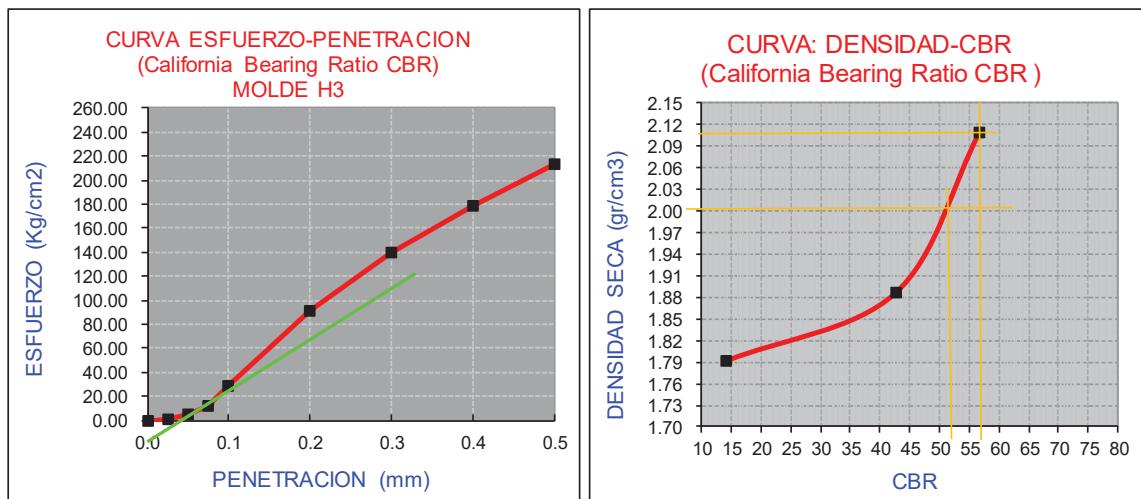
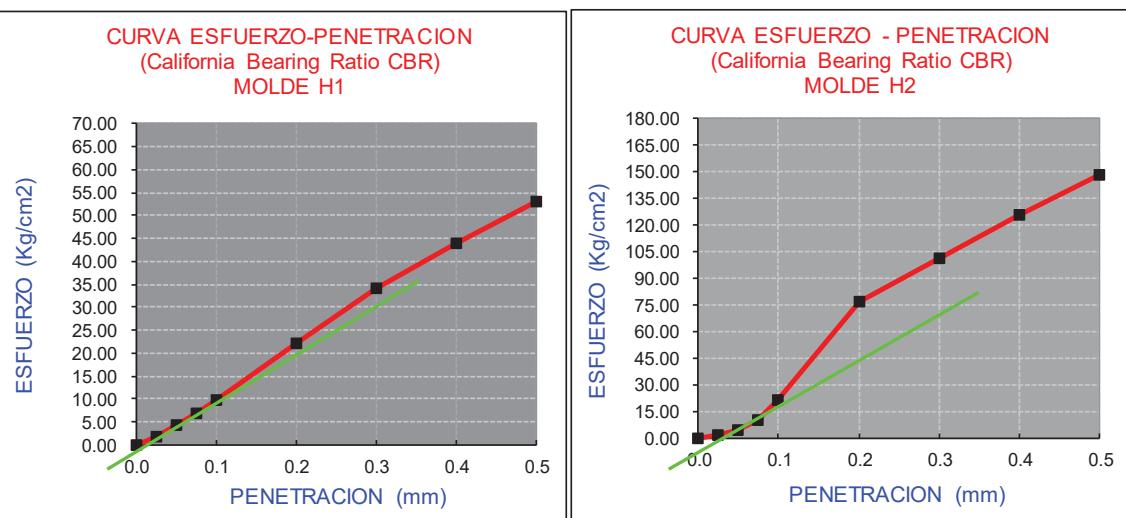
MOLDE	H1	H2		H3					
Altura Molde mm.	129		128		127				
N° Capas	5		5		5				
N° Golpe x Capa	12		25		56				
Cond. Muestra	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES	ANTES DE EMPAPAR	DESPUES			
P. Húm.+ Molde	11450.00	11385.00	12070.00	12100.00	13140.00	13150.00			
Peso Molde (gr)	6766.00	6766.00	7258.00	7258.00	8105.00	8105.00			
Peso Húmedo (gr)	4684.00	4619.00	4812.00	4842.00	5035.00	5200.00			
Vol. Molde (cc)	2371.72	2371.72	2353.33	2353.33	2350.24	2350.24			
Densidad H.(gr/cc)	1.97	1.95	2.04	2.06	2.14	2.21			
Número de Ensayo	H1-A	H1-B	H1-C	H2-A	H2-B	H2-C	H3-A	H3-B	H3-C
P.Húmedo + capsula	148.64	152.36	121.60	139.32	134.74	131.94	122.25	139.49	120.70
Peso Seco + capsula	141.26	144.56	115.89	133.25	128.54	125.36	117.35	133.25	117.56
Peso Agua (gr)	7.38	7.80	5.71	6.07	6.20	6.58	4.90	6.24	3.14
Peso capsula (gr)	52.32	51.24	50.25	58.25	60.58	53.25	57.82	59.63	53.60
P. Muestra Seca	88.94	93.32	65.64	75.00	67.96	72.11	59.53	73.62	63.96
Cont. Humedad	8.30%	8.36%	8.70%	8.09%	9.12%	9.12%	8.23%	8.48%	4.91%
Cont.Hum.Prom.	8.33%	8.70%		8.61%	9.12%			8.35%	4.91%
DENSIDAD SECA	1.823	1.792		1.883	1.885			1.977	2.109

LECTURAS DE EXPANSION

TIEMPO ACUMULADO (Hs)	(Días)	NUMERO DE MOLDE		NUMERO DE MOLDE		NUMERO DE MOLDE			
		LECTURA DEFORM.	(mm)	HINCHAMIENTO (%)	LECTURA DEFORM.	(mm)	HINCHAMIENTO (%)	LECTURA DEFORM.	(mm)
0	0	0.000	0.000	0.0000	0.000	0.000	0.0000	0.000	0.000
24	1	0.001	0.001	0.0010	0.002	0.002	0.0012	0.001	0.001
48	2	0.003	0.003	0.0020	0.003	0.003	0.0025	0.003	0.003
72	3	0.003	0.003	0.0021	0.003	0.003	0.0027	0.004	0.004
96	4	0.003	0.003	0.0022	0.003	0.003	0.0027	0.004	0.004

ENSAYO CARGA - PENETRACION

PENETRACION		MOLDE H1		MOLDE H2		MOLDE H3	
(mm)	(pulg)	CARGA	ESFUERZO (kg/cm2)	CARGA	ESFUERZO (kg/cm2)	CARGA	ESFUERZO (kg/cm2)
0.00	0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.64	0.025	2	1.73	2	1.39	2	1.39
1.27	0.050	5	4.16	6	4.50	7	5.20
1.91	0.075	9	6.93	13	10.05	16	12.47
2.54	0.100	13	9.70	29	21.83	38	28.76
5.08	0.200	29	22.18	101	77.27	119	91.13
7.62	0.300	44	33.96	133	101.53	182	138.95
10.16	0.400	58	44.01	164	125.44	234	178.46
12.70	0.500	69	53.02	195	148.66	280	213.80
15.24	0.600	82	62.37	224	171.18	318	242.91



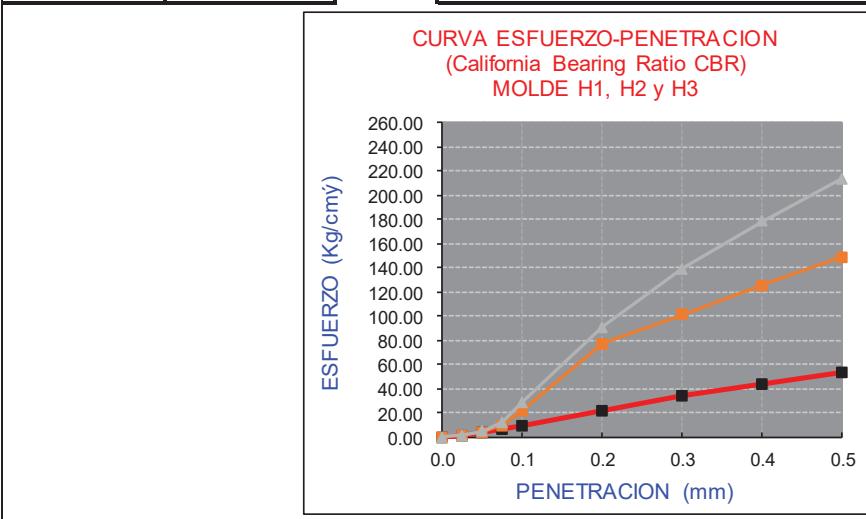
PENTRC.	0.1 (*)	0.2 (*)
MOLDE 1	10.00	23.00
MOLDE 2	30.00	80.00
MOLDE 3	40.00	100.00

DENS	0.1	0.2	CBR
MOLDE 1	1.79	14.21	21.90
MOLDE 2	1.89	42.64	76.17
MOLDE 3	2.11	56.85	95.21

(*) Valores Corregidos

DENS. MAX	2.11 gr/cm ³
95% DENS. MAX	2.00 gr/cm ³

C.B.R. Para el 100% de la M.D.S. =	57.00%
C.B.R. Para el 95% de la M.D.S. =	52.30%



TESIS:	<i>"La Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de Geotextiles Tejidos y No Tejidos y los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles"</i>		
Tesita:	<i>Bach. Veronica Isumi Cordoni Jara</i>		
Ensayo :	<i>California Bearing Ratio - CBR</i>		
Norma :	MTC E 502		
Material:	Cantera Vicho		
Laboratorio:	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC.		

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR

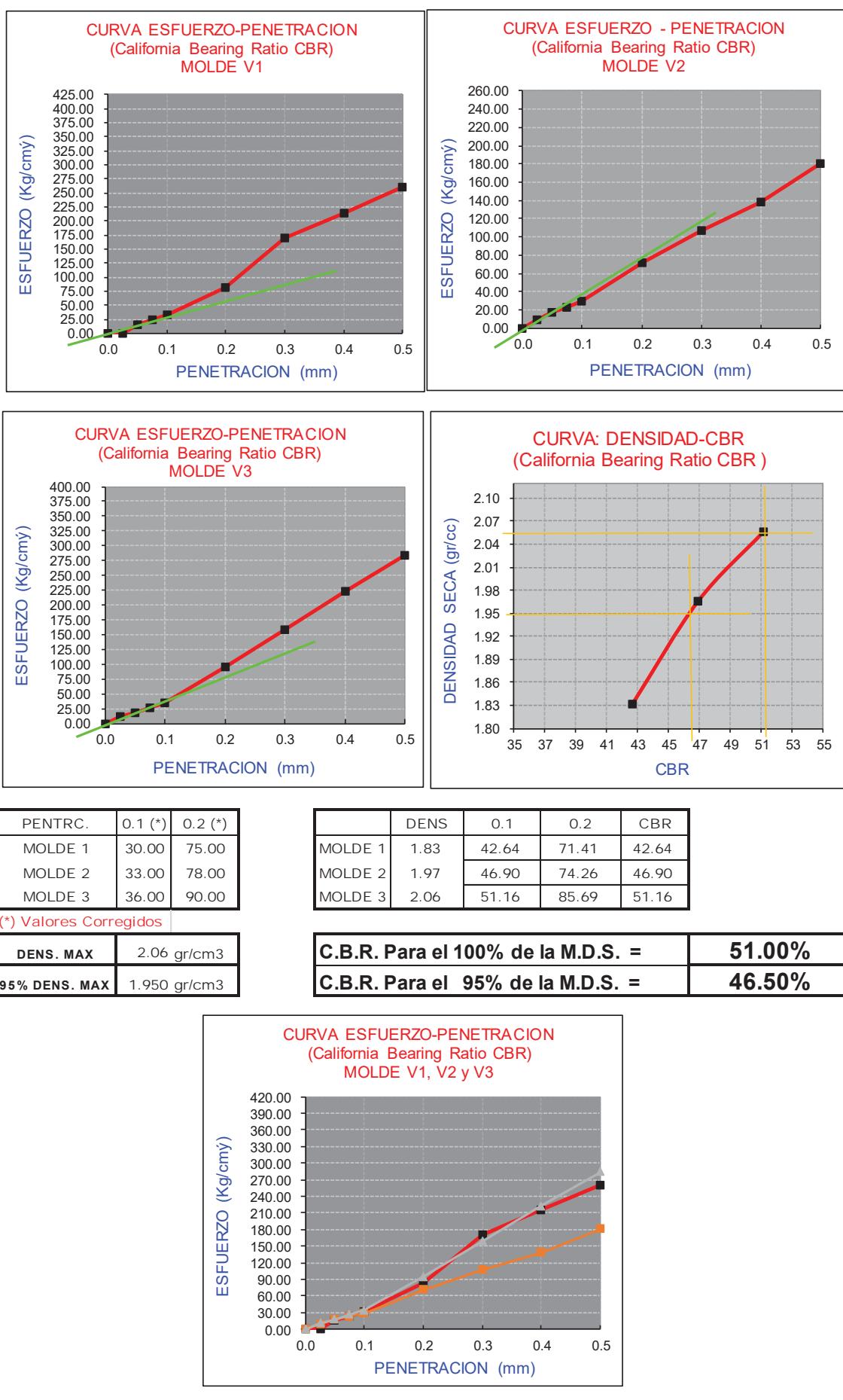
MOLDE	V1	V2	V3
Altura Molde mm.	129	128	127
N° Capas	5	5	5
N° Golpe x Capa	12	25	56
Cond. Muestra		ANTES DE EMPAPAR	DESPUES
P. Húm.+ Molde	12050.00	12100.00	12070.00
Peso Molde (gr)	7471.00	7471.00	7188.00
Peso Húmedo (gr)	4579.00	4629.00	4882.00
Vol. Molde (cc)	2340.82	2340.82	2322.67
Densidad H.(gr/cc)	1.96	1.98	2.10
Número de Ensayo		V1-A	V1-B
P.Húmedo + capsula	106.60	120.90	94.65
Peso Seco + capsula	103.25	116.52	91.47
Peso Agua (gr)	3.35	4.38	3.18
Peso capsula (gr)	59.25	60.31	51.62
P. Muestra Seca	44.00	56.21	39.85
Cont. Humedad	7.61%	7.79%	7.98%
Cont.Hum.Prom.		7.70%	7.98%
DENSIDAD SECA		1.816	1.831
ANTES DE EMPAPAR		1.960	1.965
DESPUES		2.058	2.056

LECTURAS DE EXPANSION

TIEMPO ACUMULADO (Hs)	(Días)	NUMERO DE MOLDE		NUMERO DE MOLDE		NUMERO DE MOLDE	
		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO	LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO	LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO
			(mm)		(%)		(%)
0	0	0.000	0.000	0.000	0.0000	0.000	0.000
24	1	0.000	0.000	0.0001	0.000	0.0001	0.001
48	2	0.000	0.000	0.0001	0.000	0.0002	0.001
72	3	0.001	0.001	0.0004	0.001	0.0007	0.001
96	4	0.001	0.001	0.0005	0.001	0.0007	0.001

ENSAYO CARGA - PENETRACION

PENETRACION		MOLDE V1		MOLDE V2		MOLDE V3	
(mm)	(pulg)	CARGA	ESFUERZO	CARGA	ESFUERZO	CARGA	ESFUERZO
0.00	0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.64	0.025	1	0.69	12	9.43	14	10.84
1.27	0.050	20	15.05	23	17.85	23	17.85
1.91	0.075	31	23.47	31	23.47	34	26.27
2.54	0.100	42	31.89	38	29.08	45	34.70
5.08	0.200	108	82.42	93	71.19	124	95.05
7.62	0.300	222	169.43	141	107.68	207	158.21
10.16	0.400	281	214.35	181	138.56	292	222.77
12.70	0.500	339	259.26	236	180.66	372	284.52
15.24	0.600	519	396.80	303	231.19	483	368.73



TESIS:	<i>"La Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de Geotextiles Tejidos y No Tejidos y los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles"</i>		
Tesita:	<i>Bach. Veronica Isumi Cordoni Jara</i>		
Ensayo :	<i>CBR en laboratorio</i>		
Norma :	<i>MTC E 502</i>		
Material:	Material de Subrasante		
Laboratorio:	Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC.		

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR

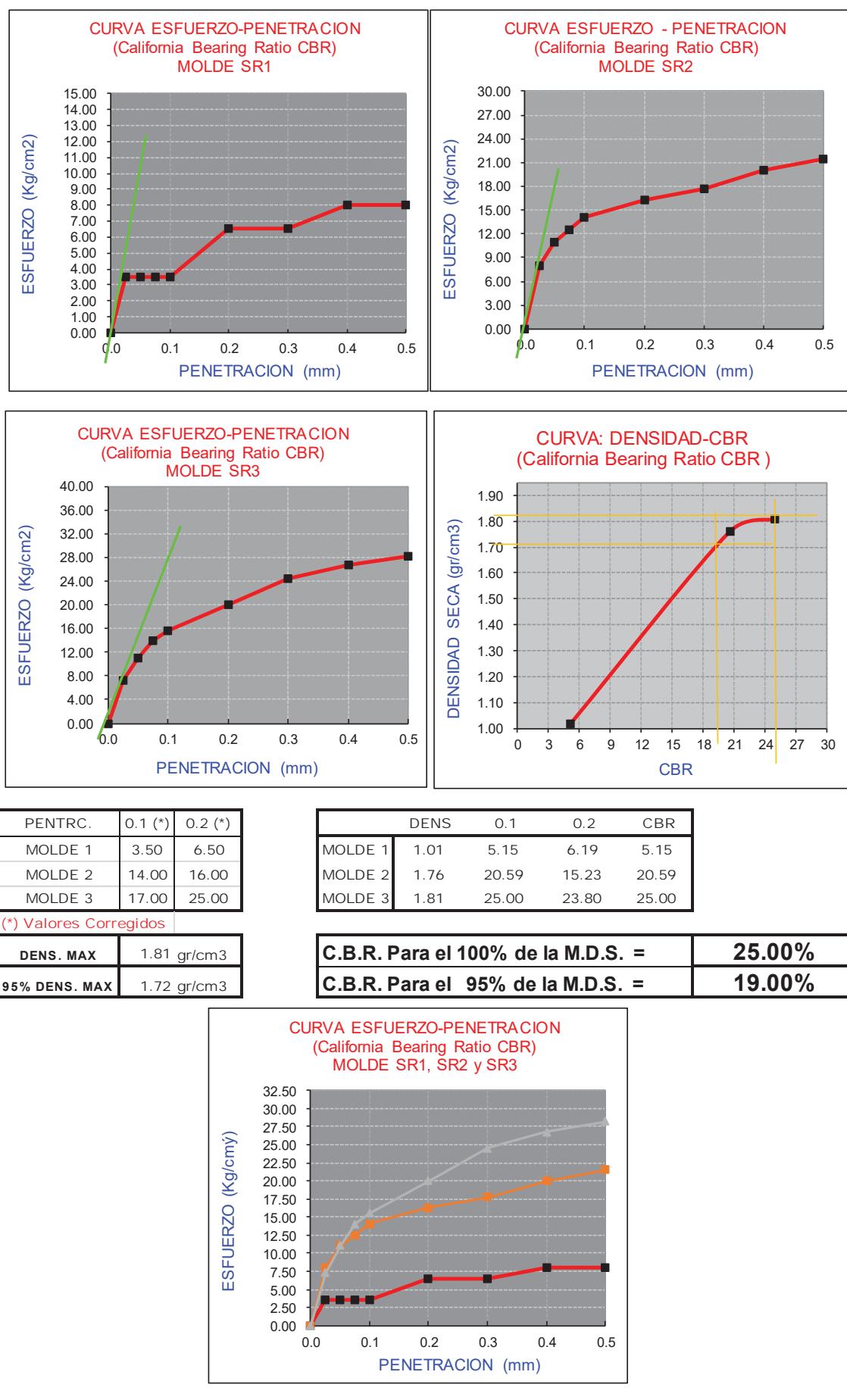
MOLDE	SR1	SR2	SR3
Altura Molde mm.	129	128	127
N° Capas	5	5	5
N° Golpe x Capa	12	25	56
Cond. Muestra		ANTES DE EMPAPAR	DESPUES
P. Húm.+ Molde	10550.00	11050.00	11400.00
Peso Molde (gr)	8300.00	8300.00	8500.00
Peso Húmedo (gr)	2250.00	2750.00	2550.00
Vol. Molde (cc)	2371.72	2371.72	2353.33
Densidad H.(gr/cc)	0.95	1.16	1.08
Número de Ensayo		SR1-A	SR1-B
P.Húmedo + capsula	116.77	133.50	162.36
Peso Seco + capsula	110.65	126.21	149.63
Peso Agua (gr)	6.12	7.29	12.73
Peso capsula (gr)	58.58	62.94	60.51
P. Muestra Seca	52.07	63.27	89.12
Cont. Humedad	11.75%	11.52%	14.28%
Cont.Hum.Prom.		11.64%	14.28%
DENSIDAD SECA		0.850	1.015
		0.969	1.760
		1.779	1.810

LECTURAS DE EXPANSION

TIEMPO ACUMULADO (Hs)	(Días)	NUMERO DE MOLDE SR1		NUMERO DE MOLDE SR2		NUMERO DE MOLDE SR3	
		LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO (mm)	LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO (mm)	LECTURA DEFORM.	HINCHAMIENTO (mm)
			(%)		(%)		(%)
0	0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24	1	0.000	0.000	0.0002	0.004	0.004	0.0032
48	2	0.000	0.000	0.0002	0.004	0.004	0.0034
72	3	0.000	0.000	0.0002	0.005	0.005	0.0038
96	4	0.000	0.000	0.0002	0.005	0.005	0.0040

ENSAYO CARGA - PENETRACION

PENETRACION		MOLDE SR1		MOLDE SR2		MOLDE SR3	
(mm)	(pulg)	CARGA	ESFUERZO (kg/cm ²)	CARGA	ESFUERZO (kg/cm ²)	CARGA	ESFUERZO (kg/cm ²)
0.00	0.000	0	0.00	0	0.00	0	0.00
0.64	0.025	9	3.53	20	8.02	18	7.28
1.27	0.050	9	3.53	27	11.02	27	11.02
1.91	0.075	9	3.53	31	12.52	34	14.01
2.54	0.100	9	3.53	34	14.01	38	15.51
5.08	0.200	16	6.53	40	16.26	49	20.00
7.62	0.300	16	6.53	44	17.76	60	24.49
10.16	0.400	20	8.02	49	20.00	66	26.74
12.70	0.500	20	8.02	53	21.50	69	28.24
15.24	0.600	23	9.52	56	23.00	71	28.98



TESIS: "La Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de Geotextiles Tejidos y No Tejidos y los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles"

Tesita: Bach. Veronica Isumi Cordoni Jara

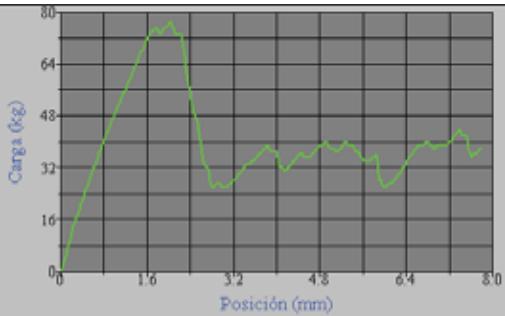
Ensayo : Tension Grab

Norma : ASTM D 4632

Material: Geotextil Tejido

Laboratorio: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC.

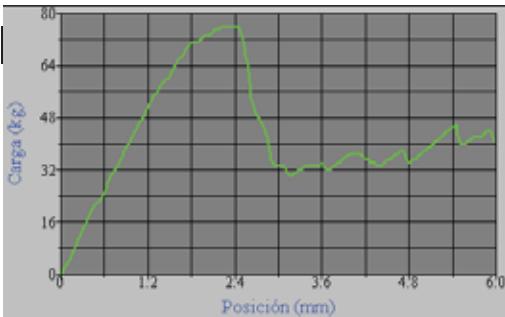
Ensayo N°01



Resultados del ensayo

Carga en el punto de rotura:	38.0000 kg
Punto máximo Carga:	77.0000 kg
Esfuerzo en el punto de rotura:	0.3740 kg/mm ²
Resistencia a la tracción:	0.7579 kg/mm ²
Área:	101.6000 mm ²

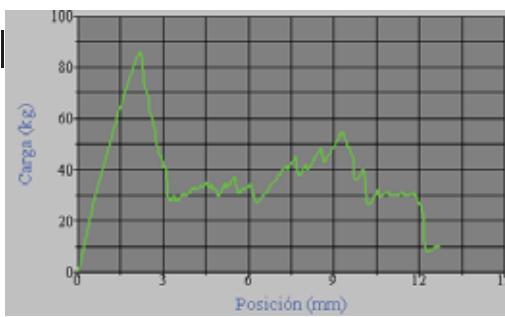
Ensayo N°02



Resultados del ensayo

Carga en el punto de rotura:	42.0000 kg
Punto máximo Carga:	76.0000 kg
Esfuerzo en el punto de rotura:	0.4134 kg/mm ²
Resistencia a la tracción:	0.7430 kg/mm ²
Área:	101.6000 mm ²

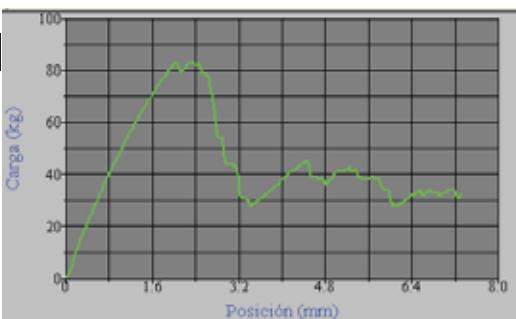
Ensayo N°03



Resultados del ensayo

Carga en el punto de rotura:	10.0000 kg
Punto máximo Carga:	86.0000 kg
Esfuerzo en el punto de rotura:	0.0984 kg/mm ²
Resistencia a la tracción:	0.8465 kg/mm ²
Área:	101.6000 mm ²

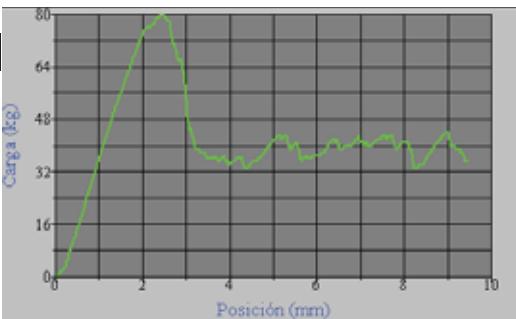
Ensayo N°04



Resultados del ensayo

Carga en el punto de rotura: 32.0000 kg
Punto máximo Carga: 33.0000 kg
Esfuerzo en el punto de rotura: 0.3150 kg/mm²
Resistencia a la tracción: 0.8169 kg/mm²
Área: 101.6000 mm²

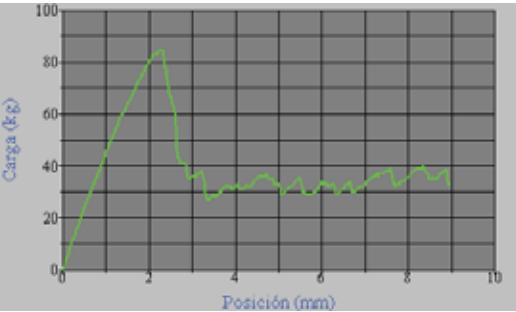
Ensayo N°05



Resultados del ensayo

Carga en el punto de rotura: 35.0000 kg
Punto máximo Carga: 30.0000 kg
Esfuerzo en el punto de rotura: 0.3445 kg/mm²
Resistencia a la tracción: 0.7874 kg/mm²
Área: 101.6000 mm²

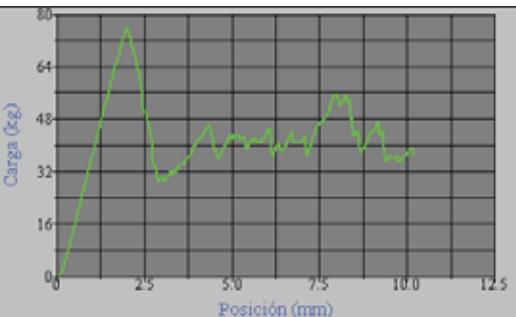
Ensayo N°06



Resultados del ensayo

Carga en el punto de rotura: 33.0000 kg
Punto máximo Carga: 34.0000 kg
Esfuerzo en el punto de rotura: 0.3248 kg/mm²
Resistencia a la tracción: 0.8268 kg/mm²
Área: 101.6000 mm²

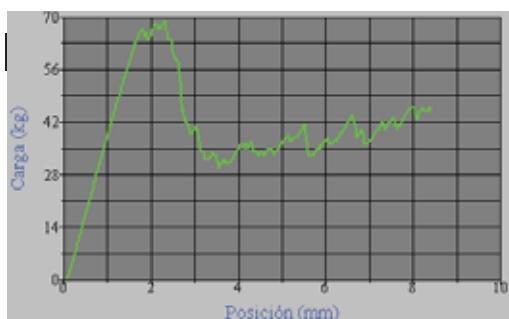
Ensayo N°07



Resultados del ensayo

Carga en el punto de rotura: 39.0000 kg
Punto máximo Carga: 76.0000 kg
Esfuerzo en el punto de rotura: 0.3839 kg/mm²
Resistencia a la tracción: 0.7480 kg/mm²
Área: 101.6000 mm²

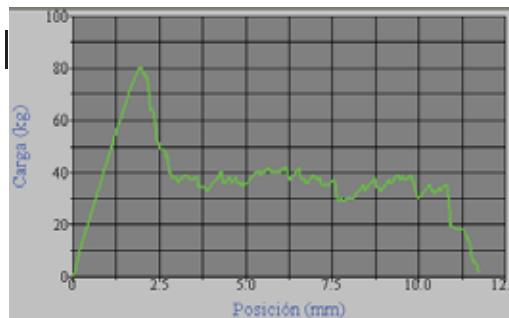
Ensayo N°08



Resultados del ensayo

Carga en el punto de rotura: 46.0000 kg
Punto máximo Carga: 69.0000 kg
Esfuerzo en el punto de rotura: 0.4528 kg/mm²
Resistencia a la tracción: 0.6791 kg/mm²
Área: 101.6000 mm²

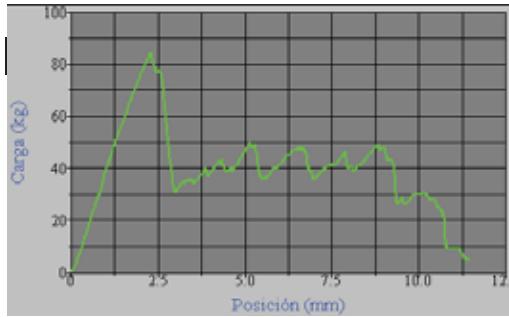
Ensayo N°09



Resultados del ensayo

Vuelta al Inicio
Carga en el punto de rotura: 2.0000 kg
Punto máximo Carga: 81.0000 kg
Esfuerzo en el punto de rotura: 0.0197 kg/mm²
Resistencia a la tracción: 0.7972 kg/mm²
Área: 101.6000 mm²

Ensayo N°10



Resultados del ensayo

Carga en el punto de rotura: 5.0000 kg
Punto máximo Carga: 84.0000 kg
Esfuerzo en el punto de rotura: 0.0492 kg/mm²
Resistencia a la tracción: 0.8268 kg/mm²
Área: 101.6000 mm²

Nº de Probeta	Longitud inicial (mm)	Longitud Final (mm)	% Deformación	Carga de Rotura (kg)	Resistencia a la Tracción (kg/cm ²)
1	103	153	32.68%	77.00	75.79
2	102	161	36.65%	76.00	74.80
3	107	189	43.39%	86.00	84.65
4	104	178	41.57%	83.00	81.69
5	104	154	32.47%	80.00	78.74
6	102	160	36.25%	84.00	82.68
7	100	165	39.39%	76.00	74.80
8	105	157	33.12%	69.00	67.91
9	100	174	42.53%	81.00	79.72
10	101	175	42.29%	84.00	82.68
Promedio	102.8	166.6	38.03%	79.60	78.35

TESIS: "La Carga de Rotura y la Elongación por el Método Grab de Geotextiles Tejidos y No Tejidos y los esfuerzos de tensión en la estructura de pavimentos flexibles"

Tesita: Bach. Veronica Isumi Cordoni Jara

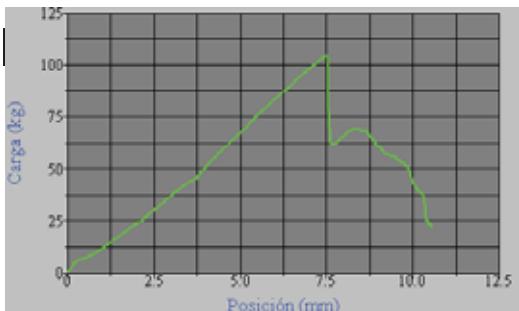
Ensayo : Tension Grab

Norma : ASTM D 4632

Material: Geotextil No Tejido

Laboratorio: Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales, Escuela Profesional de Ingeniería Civil - UNSAAC.

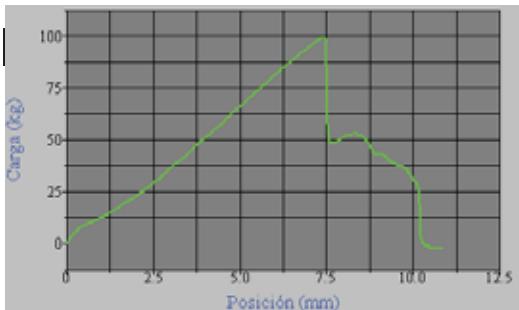
Ensayo N°01



Resultados del ensayo

Carga en el punto de rotura:	22.0000 kg
Punto máximo Carga:	104.0000 kg
Esfuerzo en el punto de rotura:	0.2165 kg/mm ²
Resistencia a la tracción:	1.0236 kg/mm ²
Área:	101.6000 mm ²

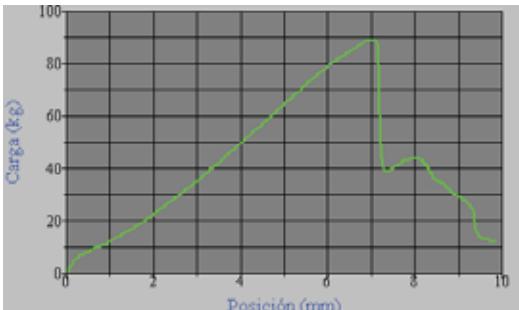
Ensayo N°02



Resultados del ensayo

Carga en el punto de rotura:	-2.0000 kg
Punto máximo Carga:	99.0000 kg
Esfuerzo en el punto de rotura:	-0.0197 kg/mm ²
Resistencia a la tracción:	0.9744 kg/mm ²
Área:	101.6000 mm ²

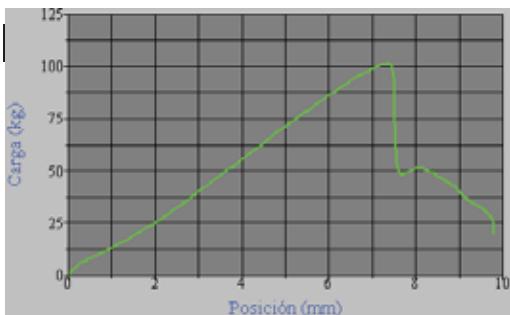
Ensayo N°03



Resultados del ensayo

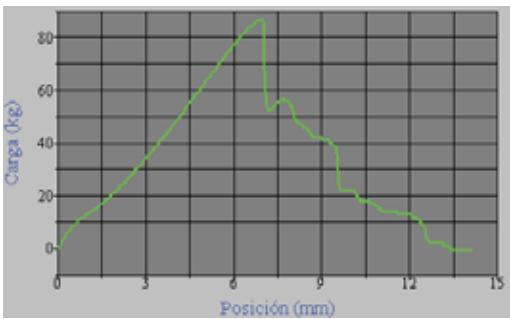
Carga en el punto de rotura:	12.0000 kg
Punto máximo Carga:	89.0000 kg
Esfuerzo en el punto de rotura:	0.1181 kg/mm ²
Resistencia a la tracción:	0.3760 kg/mm ²
Área:	101.6000 mm ²

Ensayo N°04



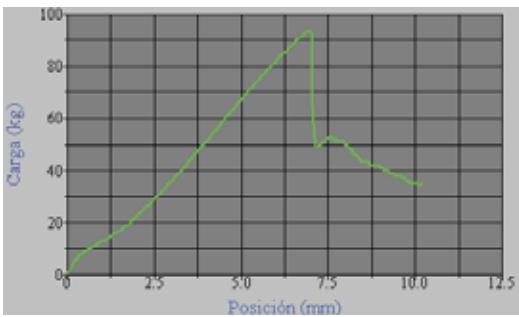
Resultados del ensayo	
Carga en el punto de rotura:	26.0000 kg
Punto máximo Carga:	102.0000 kg
Esfuerzo en el punto de rotura:	0.2559 kg/mm ²
Resistencia a la tracción:	1.0039 kg/mm ²
Área:	101.6000 mm ²

Ensayo N°05



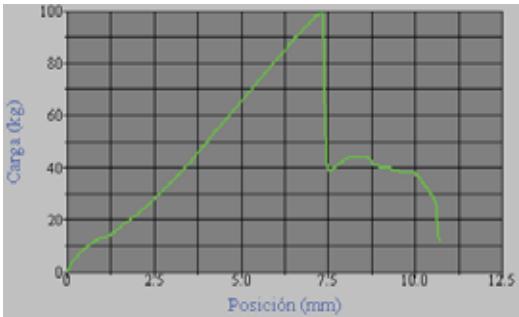
Resultados del ensayo	
Carga en el punto de rotura:	-1.0000 kg
Punto máximo Carga:	87.0000 kg
Esfuerzo en el punto de rotura:	-0.0098 kg/mm ²
Resistencia a la tracción:	0.8563 kg/mm ²
Área:	101.6000 mm ²

Ensayo N°06



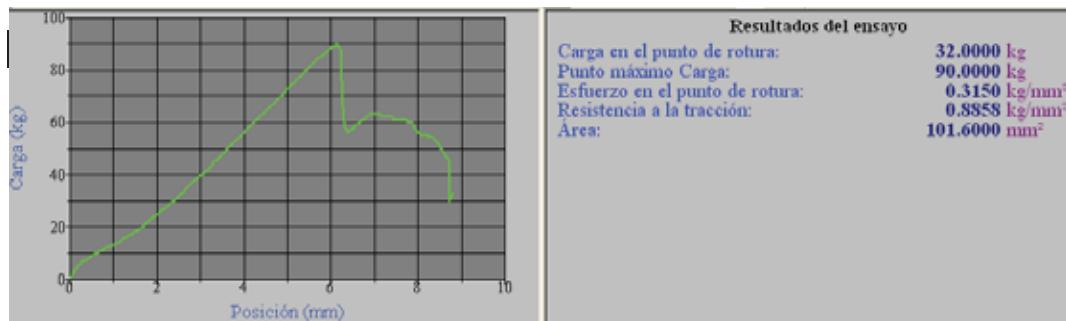
Resultados del ensayo	
Carga en el punto de rotura:	34.0000 kg
Punto máximo Carga:	94.0000 kg
Esfuerzo en el punto de rotura:	0.3346 kg/mm ²
Resistencia a la tracción:	0.9252 kg/mm ²
Área:	101.6000 mm ²

Ensayo N°07

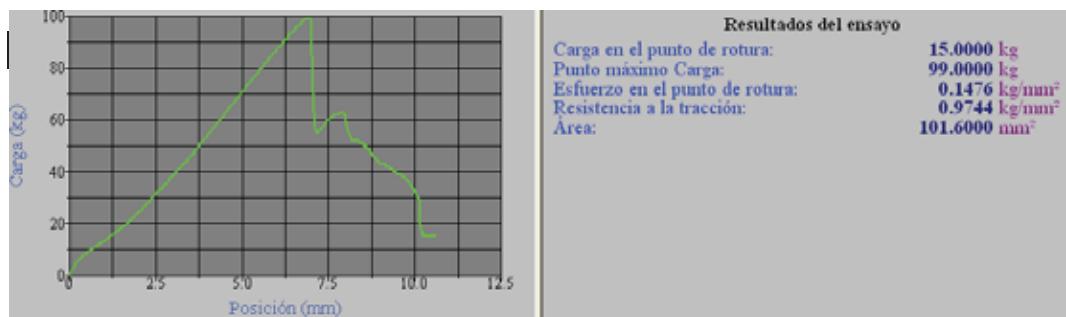


Resultados del ensayo	
Carga en el punto de rotura:	13.0000 kg
Punto máximo Carga:	99.0000 kg
Esfuerzo en el punto de rotura:	0.1280 kg/mm ²
Resistencia a la tracción:	0.9744 kg/mm ²
Área:	101.6000 mm ²

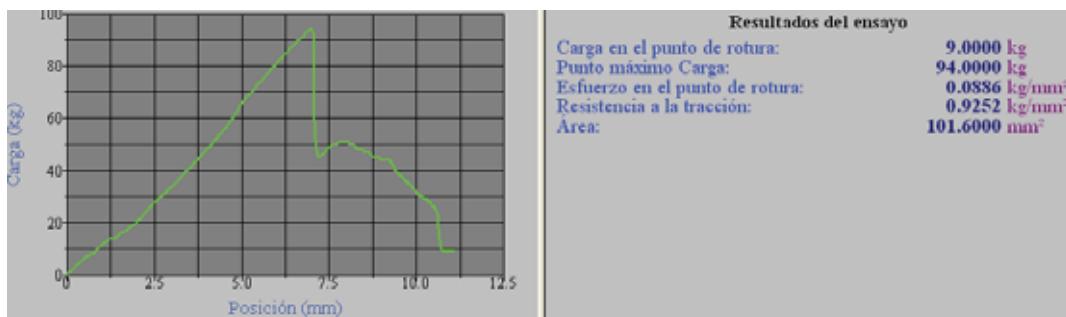
Ensayo N°08



Ensayo N°09



Ensayo N°10



Nº de Probeta	Longitud inicial (mm)	Longitud Final (mm)	% Deformación	Carga de Rotura (kg)	Resistencia a la Tracción (kg/cm ²)
1	103	174	40.80%	104.00	102.36
2	101	172	41.28%	99.00	97.44
3	102	169	39.64%	89.00	87.60
4	100	173	42.20%	102.00	100.39
5	98	185	47.03%	87.00	85.63
6	97	162	40.12%	94.00	92.52
7	102	168	39.29%	99.00	97.44
8	101	155	34.84%	90.00	88.58
9	100	168	40.48%	99.00	97.44
10	100	172	41.86%	94.00	92.52
Promedio	100.4	169.8	40.75%	95.70	94.192

ANEXO N°03: STRAIN GAUGE – SENSOR DE DEFORMACION



SG in series C

- The specialist for extreme temperatures (-269 ... +250°C)
(-452 ... +482°F)
- Temperature response with matching in the range of
-200 ... +250°C (-328 ... +482°F)
- Flexible, therefore easy to handle

Tensile force measurement using C series strain gauges
at low temperatures (permafrost)

Specifications – Series C

SG construction		Foil SG with embedded measuring grid
Measuring grid		
Material	µm (<i>microinch</i>)	CrNi special alloy
Thickness		5 (197)
Carrier		
Material	µm (<i>microinch</i>)	Polyimide
Thickness		45 ± 10 (1772 ± 394)
Covering agent		
Material	µm (<i>microinch</i>)	Polyimide
Thickness		25 ± 12 (984 ± 472)
Connections		Nickel-plated Cu leads, approx. 30 mm long
Nickel-plated in SGs without connection leads		Strain relief solder tabs, 4-wire, copper-beryllium
Nominal resistance	Ω	120 or 350, depending on SG type
Resistance tolerance	%	± 0,3 without; ± 0,35 with connection leads
Gage factor		approx. 2.2
Nominal value of gage factor		Specified on each package
Gage factor tolerance	%	± 1
Temperature coefficient of the gage factor		Specified on each package
Reference temperature	°C (°F)	23 (73.4)
Operating temperature range		
for static, i.e. zero point-related measurements	°C (°F)	-200 ... +200 (-328 ... 392)
for dynamic, i.e. non-zero point-related measurements	°C (°F)	-269 ... +250 (-452.2 ... 482)
Transverse sensitivity at reference temperature when using Z70 adhesive on SG type LC11-6/120	%	Specified on each package - 0.15
Temperature response		Specified on each package
Temperature response matched to thermal expansion coefficient		
α for ferritic steel	1/K	10.8 · 10 ⁻⁶
α for aluminum	1/K	23 · 10 ⁻⁶
Tolerance of temperature response	1/K	± 0.6 · 10 ⁻⁶
Adaptation of temperature response in range	°C (°F)	-200 ... +250 (-328 ... 482)
Mechanical hysteresis ⁽¹⁾ at reference temperature and strain ε = ± 1,000 µm/m (<i>microstrain</i>) on SG type LC11-6/120		
at 1 st load cycle and adhesive Z 70	µm/m (<i>microstrain</i>)	1.25
at 3 rd load cycle and adhesive Z 70	µm/m (<i>microstrain</i>)	0.75
Maximum elongation ⁽¹⁾ at reference temperature using adhesive Z 70 on SG type LC11-6/120		
Absolute strain value ε for positive direction	µm/m (<i>microstrain</i>)	20,000 (△ 2 %)
Absolute strain values for negative direction	µm/m (<i>microstrain</i>)	100,000 (△ 10 %)
Fatigue life ⁽¹⁾ at reference temperature using adhesive Z 70 on SG type LC61-6/120		
Achievable number of load cycles L _w at alternating strain ε _w = ± 1,000 µm/m and zero point drift ε _m Δ ≤ 300 µm/m (<i>microstrain</i>) ε _m Δ ≤ 30 µm/m (<i>microstrain</i>)		>> 10 ⁷ (test was interrupted at 10 ⁷) > 10 ⁷ (test was interrupted at 10 ⁷)
Minimum radius of curvature, longitudinal and transverse, at reference temperature		
within measuring grid area	mm (<i>inch</i>)	0.3 (0.012)
within solder tabs area	mm (<i>inch</i>)	2 (0.079)
Bonding material than can be used		
Cold-curing adhesives		Z 70; X 60; X 280
Hot-curing adhesives		EP 150; EP 310S

⁽¹⁾ The data depend on the various parameters of the specific application and are therefore stated for representative examples only.

Series C

with 1 measuring grid

LC11

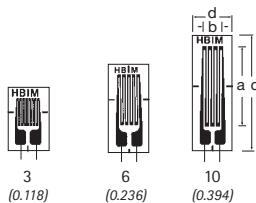
Linear SG

Temperature response matched to steel
with $\alpha = 10.8 \cdot 10^{-6}/K$ ($6.0 \cdot 10^{-6}/^{\circ}F$)

LC1x

Temperature response matched to customer's choice
see page 16

Illustrations show actual size
(Data: grid length in mm/inch)



Contents per package: 10 pcs.

	Variants	Nominal resistance	Dimensions (mm/inch)				Max. perm. effective bridge ex. voltage	Solder terminals	
			Measuring grid		Measuring grid carrier				
	Steel	Aluminum	Other	Ω	a	b	c	d	
1-LC11-3/120				120	3 0.118	3.3 0.13	8.5 0.335	5.5 0.217	6 LS 5
1-LC11-6/120				120	6 0.236	3.2 0.126	12 0.472	5.5 0.217	9 LS 5
		1-LC1x-10/120 ⁽¹⁾		120	10 0.394	3.2 0.126	16 0.63	5.5 0.217	11 LS 5
1-LC11-1.5/350		1-LC1x-1.5/350 ⁽¹⁾		350	1.5 0.059	3.3 0.13	6.4 0.252	5.5 0.217	6 LS 5
1-LC11-3/350		1-LC1x-3/350 ⁽¹⁾		350	3 0.118	3.4 0.134	8.5 0.335	5.5 0.217	10 LS 5
1-LC11-6/350		1-LC1x-6/350 ⁽¹⁾		350	6 0.236	3.3 0.13	12 0.472	5.5 0.217	14 LS 5
1-LC11-10/350		1-LC1x-10/350 ⁽¹⁾		350	10 0.394	3.3 0.13	16 0.63	5.5 0.217	18 LS 5

LC61

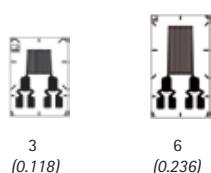
Linear SG

Temperature response matched to steel
with $\alpha = 10.8 \cdot 10^{-6}/K$ ($6.0 \cdot 10^{-6}/^{\circ}F$)

LC6x

Temperature response matched to customer's choice
see page 16

Illustrations show actual size
(Data: grid length in mm/inch)



Contents per package: 10 pcs.

	Variants	Nominal resistance	Dimensions (mm/inch)				Max. perm. effective bridge ex. voltage	Solder terminals	
			Measuring grid		Measuring grid carrier				
	Steel	Aluminum	Other	Ω	a	b	c	d	
1-LC61-3/350		1-LC6x-3/350 ⁽¹⁾		350	3 0.118	3.4 0.134	11 0.433	8 0.315	9.5 -
		1-LC6x-6/350 ⁽¹⁾		350	6 0.236	3.4 0.134	14 0.551	8 0.315	16 -

Maximum elongation ⁽²⁾ at reference temperature using adhesive Z 70 on SG type LC61-3/350	$\mu m/m$ (microstrain)	25,000 ($\triangle 2.5\%$)
Absolute strain value ε for positive direction	$\mu m/m$ (microstrain)	50,000 ($\triangle 5\%$)
Absolute strain value ε for negative direction		
Minimum radius of curvature, longitudinal and transverse, at reference temperature within measuring grid area within solder tabs area	mm (inch) mm (inch)	0.5 (0.02) 10 (0.39)

⁽¹⁾ Only available with matching to aluminum or ferritic steel

⁽²⁾ The data depend on the various parameters of the specific installation and are therefore stated for representative examples only.

...Other specifications as
on Page 46

Series C

with 2 measuring grids, with 3 measuring grids

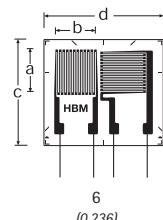
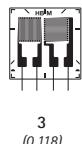
XC11

0°/90° T rosette
Temperature response matched to steel
with $\alpha = 10.8 \cdot 10^{-6}/K$ ($6.0 \cdot 10^{-6}/^{\circ}F$)

XC1x

Temperature response matched to customer's choice
see page 16

Illustrations show actual size
(Data: grid length in mm/inch)



Types available ex stock			Variants	No-nominal resistance	Dimensions (mm/inch)				Max. perm. effective bridge ex. voltage	Solder terminals
Steel	Aluminum	Other			Measuring grid		Measuring grid carrier			
			Ω	a	b	c	d	V		
			1-XY11-1.5/350	350	1.5 0.059	1.5 0.059	6 0.236	8.4 0.331	6	LS 5
1-XC11-3/350			1-XC1x-3/350 ⁽¹⁾	350	3 0.118	3.3 0.12	10 0.394	10 0.394	10	LS 7
			1-XC1x-6/350 ⁽¹⁾	350	6 0.236	6.4 0.252	16 0.63	18 0.709	20	LS 4

Contents per package: 5 pcs.

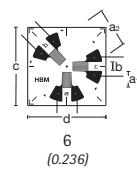
RC11

0°/45°/90° rosette
Temperature response matched to steel
with $\alpha = 10.8 \cdot 10^{-6}/K$ ($6.0 \cdot 10^{-6}/^{\circ}F$)

RC1x

Temperature response matched to customer's choice
see page 16

Illustrations show actual size
(Data: Dimension a2 in mm/inch)



			Variants	No-nominal resistance	Dimensions (mm/inch)				Max. perm. effective bridge ex. voltage	Solder terminals
Steel	Aluminum	Other			Measuring grid		Measuring grid carrier			
			a_1	a_2	b	c	d	V		
1-RC11-4/350			1-RC1x-4/350 ⁽¹⁾	350	1.2 0.047	4 0.157	1.1 0.043	8 0.315	8 0.315	3.5
			1-RC1x-6/350 ⁽¹⁾	350	2 0.079	6 0.236	1.3 0.051	11 0.433	11 0.433	5

⁽¹⁾ Types are only available with matching to aluminum or ferritic steel

Contents per package: 5 pcs.

ANEXO N°04: DISPOSITIVO DE LECTURA DE STRAIN GAUGE

Registrador de Datos - Diales Digitales y Galga Extensiométrica

Características:

Entradas:

8X Canales de entrada de diales digitales Mitutoyo

1X Canal de entrada de celda de carga.

Resolución:

Diales digitales: Resolución propia del equipo

Celda de Carga: 0.005% del rango máximo (Ej. 1kg para una celda de 20Ton.)

Velocidad de adquisición:

2 Muestras por segundo (recogidos simultáneamente de todos los canales)

Alimentación y consumo de energía:

A través del puerto USB (100mA a 5V, 0.5W)

Compatibilidad de software:

Windows, Mac, GNU-Linux

Comunicación con PC:

Dispone de puerto USB

Los datos pueden ser visualizados en tiempo real

Los datos pueden ser guardados en formato CSV (Similar a excel)

Funcionamiento:

Captura de diales digitales

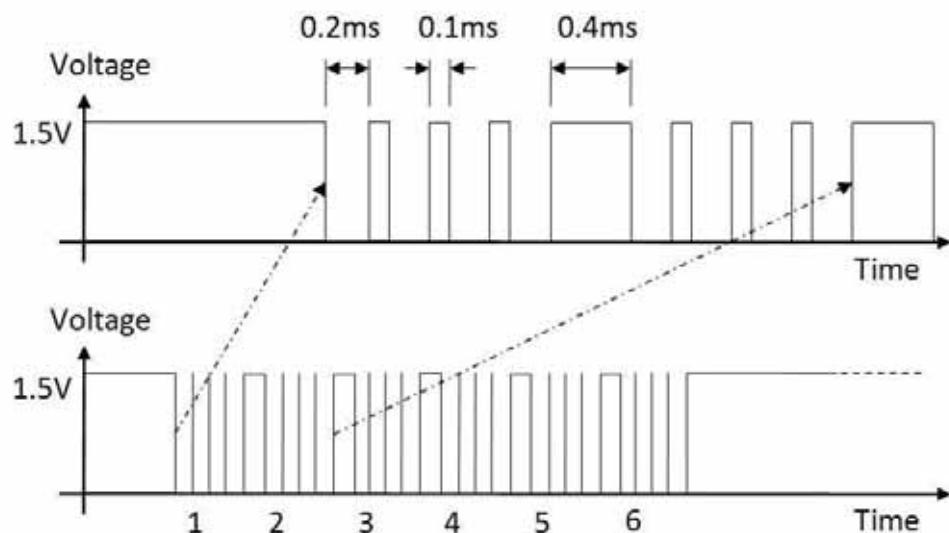
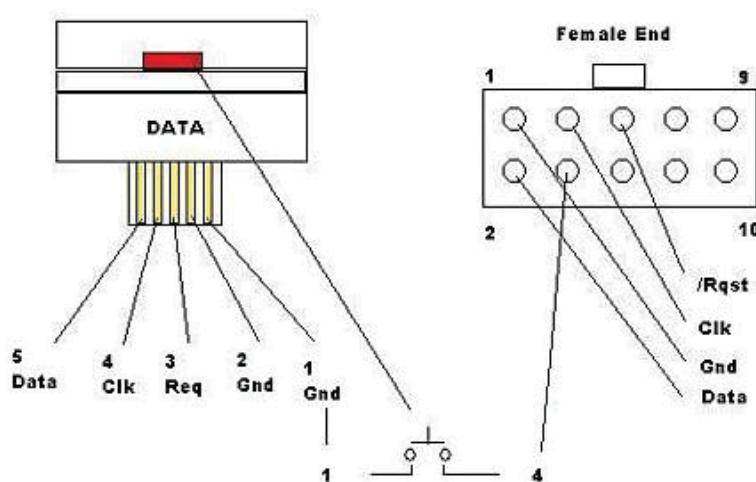
Los diales digitales cuentan con un puerto de comunicación para automatizar las lecturas de los diales digitales (como se observa en la figura), para facilitar la conexión con el micrómetro, se utiliza un cable específico, que se muestra a continuación:





El cable de datos, hace posible el acceso a los pines de comunicación desde otro circuito, los pines o conectores de salida accesibles por los cables son los siguientes:

**Mitutoyo Cable
Micrometer to
Arduino**



Analizando los pulsos eléctricos de los pines DATA y CLK, se observó lo siguiente:

1,0,0,0, 0,0,0,0, 0,0,0,0, 0,0,0,0, 0,0,0,0, (la pantalla muestra 0.00 mm)

1,0,0,0, 1,0,1,1, 1,1,1,0, 0,0,0,0, 0,0,0,0, 0,0,0,0, (la pantalla muestra 10.00mm)

1,0,0,1, 0,0,1,1, 0,0,0,0, 0,0,0,0, 0,0,0,0, 0,1,0,0, (la pantalla muestra -1.00mm)

1,0,0,0, 1,1,0,0, 1,0,1,0, 1,1,1,0, 0,0,0,0, 0,0,0,0, (la pantalla muestra 150.00mm)

Luego se desarrolló un algoritmo que permitiera calcular el valor mostrado en la pantalla, basándose en los “bits” recibidos en las tramas de comunicación

Características físicas de las entradas:

- 8X Entradas de lectura para diales digitales Mitutoyo (Terminal SPC 10)

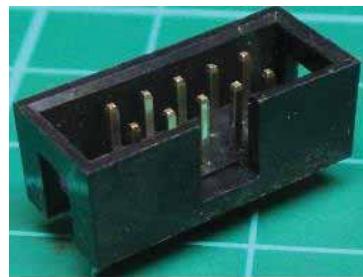


Fig1. Terminal SPC 10

- 1X Entrada para celda de carga (Terminal tipo tornillo)



Fig. 2.- Bloque terminal de 4 pines

Desarrollo de componente de instrumentación y software de medición

Celda de Carga

Para la medición de la fuerza aplicada sobre una muestra, el equipo diseñado cuenta con una celda de carga que consiste en un transductor piezoelectrónico, este tipo de sensor también es utilizado en las balanzas electrónicas, y el principio de funcionamiento es el siguiente:

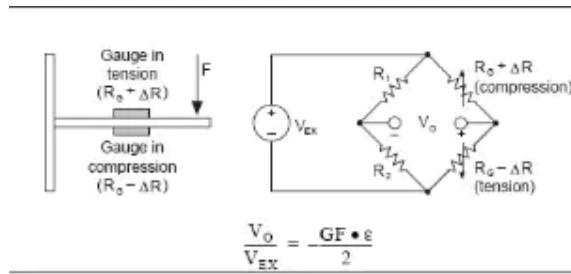


Ilustración 1: Principio de Funcionamiento

La celda de carga en su interior tiene lo que se denomina como puente de Thomson, que consiste en 4 resistencias, un par de ellas de valor fijo y las otras de valor variable en función al esfuerzo ejercido sobre el dispositivo, para medir el esfuerzo es necesario aplicar un potencial eléctrico en dos terminales denominados de alimentación, de esta forma obtendremos un potencial de proporcional al esfuerzo en los terminales de salida del dispositivo.

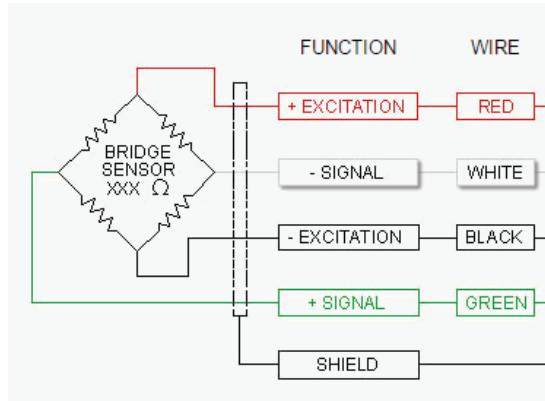


Ilustración 2: Terminales característicos de una celda de carga

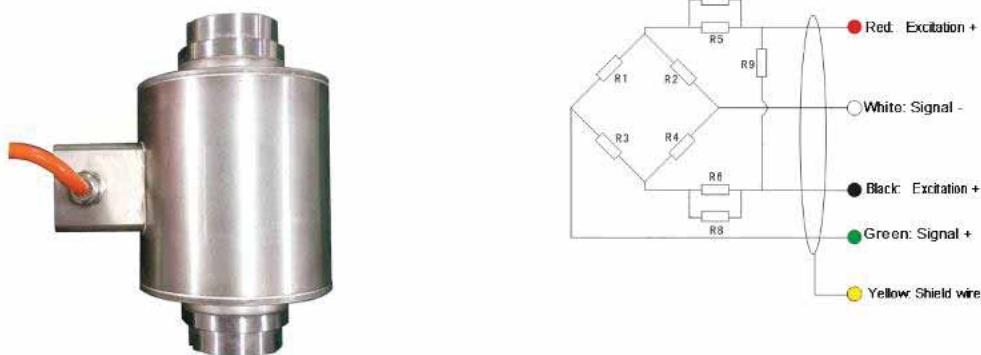


Ilustración 3: Aspecto físico de una celda de carga y terminales de salida

Dado que el rango de medición que se puede lograr con este sensor es bastante amplio (Rango de Kg hasta 20 toneladas), se decidió utilizar un dispositivo electrónico específico, capaz de medir tensiones positivas y negativas, con una resolución de 24 Bits.

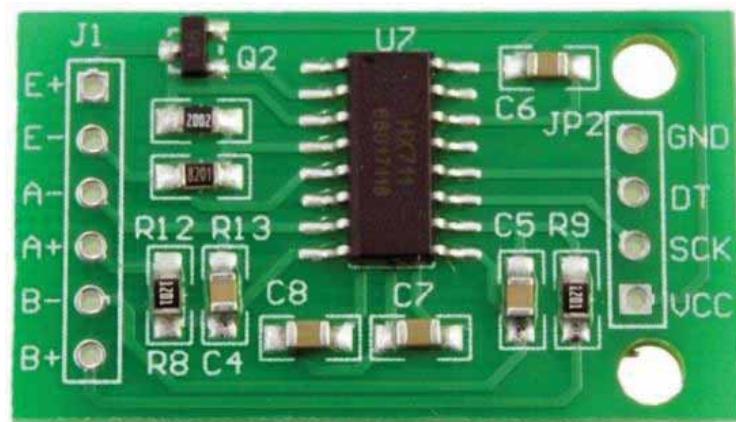


Ilustración 4: HX711, Circuito integrado convertidor de señal analógica a digital.

El circuito utilizado HX711 convierte la señal de salida analógica de la celda de carga a una señal digital, este dato digitalizado que pueden ser leído por un Microcontrolador y este a su vez permite que esa información sea procesada y mostrada.

El Microcontrolador utilizado para la comunicación con el circuito conversor es el ATmega324, para facilitar la implementación de este circuito se utilizó la plataforma *Arduino* y la tarjeta *ArduinoNano* que cuenta con un puerto MiniUSB que facilita la comunicación con una computadora.

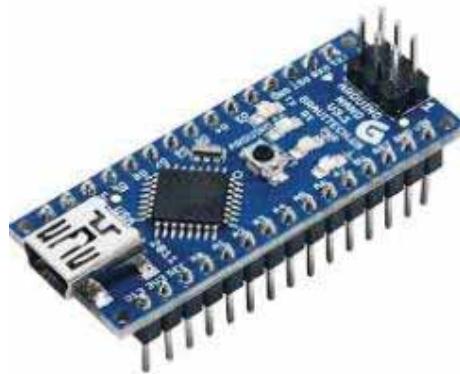
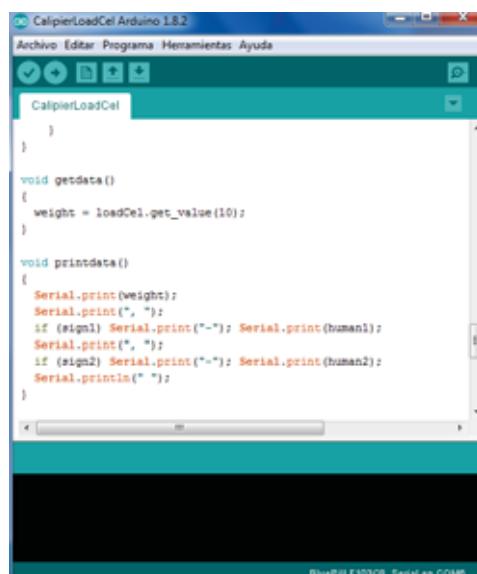


Ilustración 5: Tarjeta de desarrollo Arduino Nano

La programación se realiza en el software Arduino, que cuenta con una librería para el manejo del convertidor analógico digital HX711, lo que facilita la adquisición de datos. Los datos adquiridos se convierten en texto legible y se envían por un terminal de comunicación a la PC donde esté conectado.



Ilustración 6: Pantalla de bienvenida del software Arduino



A screenshot of the Arduino IDE interface. The title bar says "CaliperLoadCel Arduino 1.8.2". The menu bar includes "Archivo", "Editar", "Programa", "Herramientas", and "Ayuda". The main window shows a code editor with the following C++ code:

```
CaliperLoadCel
}

void getdata()
{
    weight = loadCel.get_value(10);
}

void printdata()
{
    Serial.print(weight);
    Serial.print(" ");
    if (sign1) Serial.print("-"); Serial.print(human1);
    Serial.print(" ");
    if (sign2) Serial.print("-"); Serial.print(human2);
    Serial.println(" ");
}
```

Below the code editor is a "Serial Monitor" window with a black background and a single line of text: "Bluetooth F1030B Serial en COM8".

Ilustración 7: Segmento del Código realizado en Arduino

Vernier

El vernier, calibrador o pata de rey es un instrumento de medición de longitud que permite tener gran precisión, es utilizado mayormente en la industria del maquinado, donde se necesitan medidas con error por debajo de decimas de milímetro, el desarrollo de la tecnología ha permitido la fabricación de calibradores digitales que facilitan la lectura de las mediciones.



Ilustración 8: Calibrador Analogico



Ilustración 9: Calibrador Digital

Los fabricantes de vernier digital han dotado a estas herramientas con una salida de datos digital, lo que posibilita que un Microcontrolador pueda adquirir las mediciones, de esta forma los resultados no solo son accesibles desde una pantalla si no también pueden ser procesados por un computador.



Ilustración 10: Conexiones realizadas sobre el calibrador para la captura de datos

Con el uso del mismo Microcontrolador utilizado para la lectura de la celda de carga se puede leer la información del calibrador digital y esta información, puede ser enviada en un mismo paquete de datos a un computador. Teniendo en cuenta la funcionalidad del Microcontrolador, se procedió a diseñar el circuito de instrumentación.

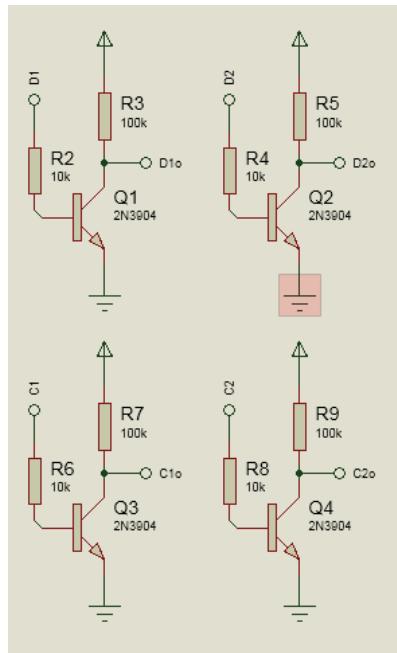


Ilustración 11: Acondicionamiento de señal de salida del vernier

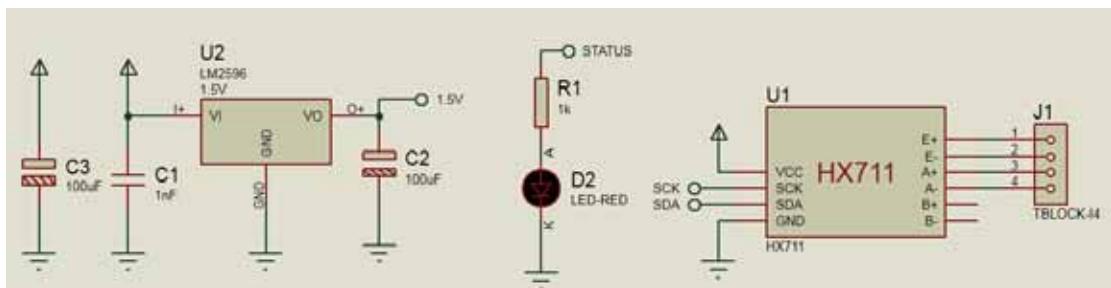


Ilustración 12: Convertidor de tensión para el funcionamiento del vernier (de 5V a 1.5V). Indicador LED. Conexiónado de circuito HX711

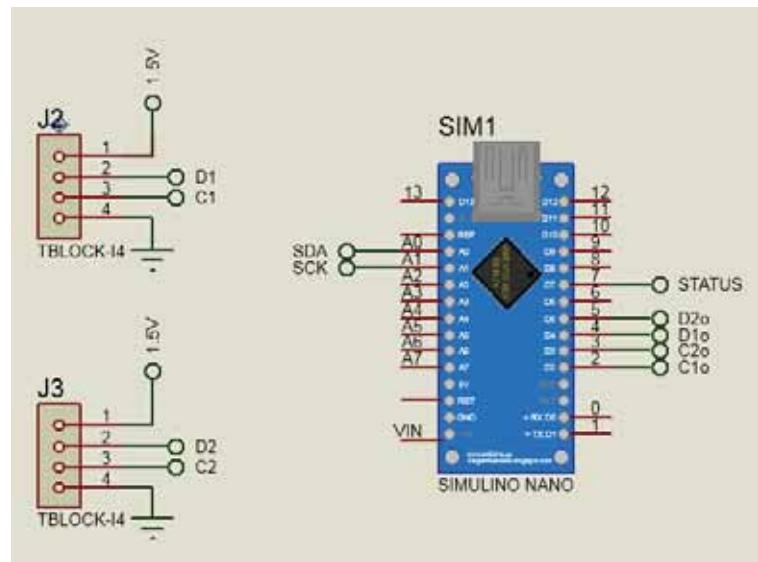


Ilustración 13: Terminales de conexión con calibrador digital y terminales del Arduino Nano

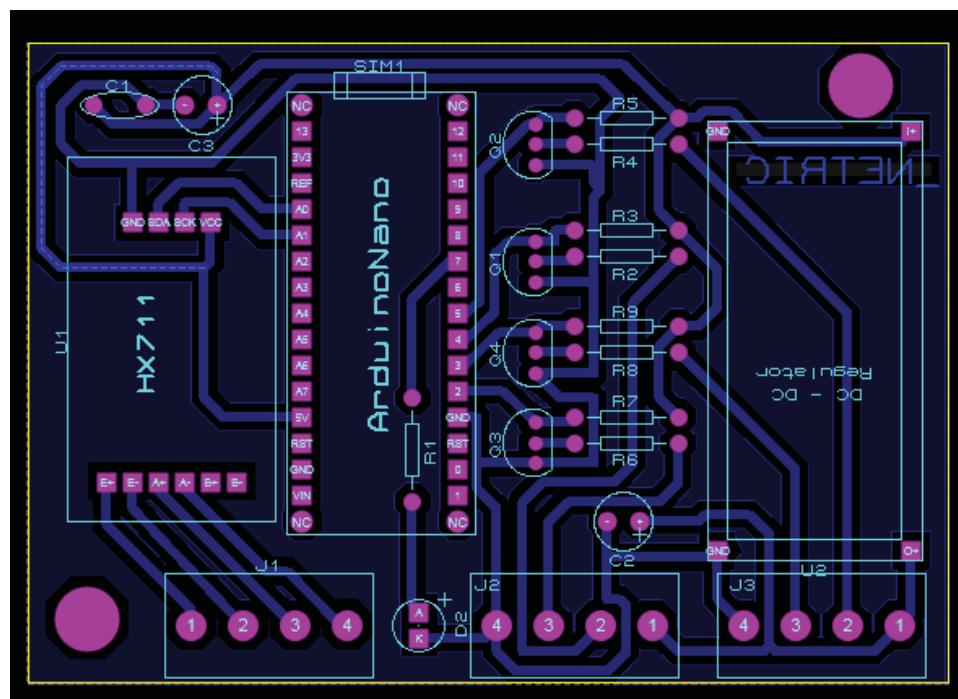


Ilustración 14: Diseño de circuito impreso

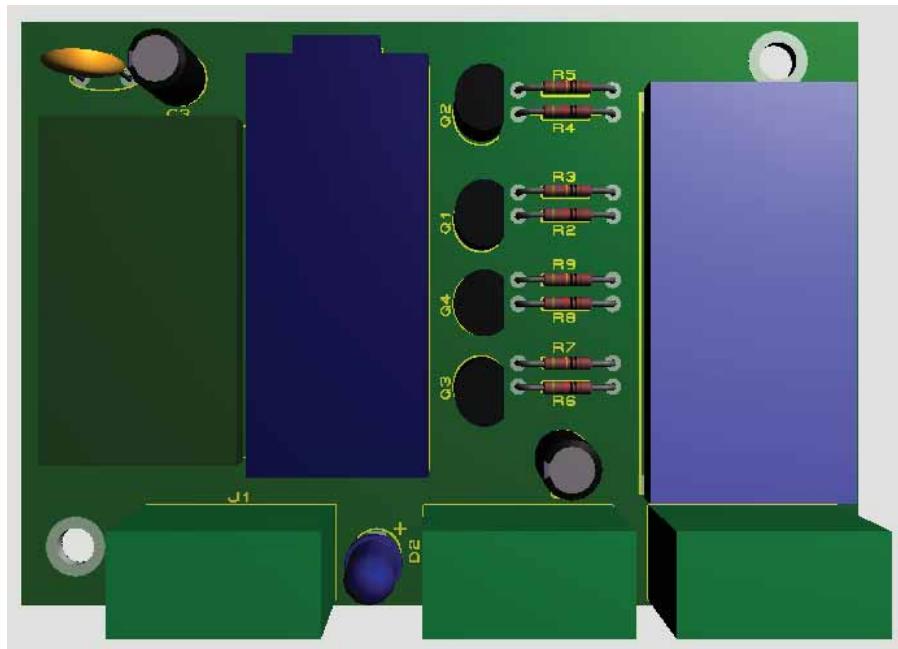


Ilustración 15: Simulación de aspecto final del circuito diseñado

ANEXO N°05: ASTM D 4632 – ENSAYO DE TENSION GRAB



Standard Test Method for Grab Breaking Load and Elongation of Geotextiles¹

This standard is issued under the fixed designation D 4632; 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.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This test method is an index test which provides a procedure for determining the breaking load (grab strength) and elongation (grab elongation) of geotextiles using the grab method. This test method is not suitable for knitted fabrics and alternate test methods should be used. While useful for quality control and acceptance testing for a specific fabric structure, the results can only be used comparatively between fabrics with very similar structures, because each different fabric structure performs in a unique and characteristic manner in this test. The grab test methods does not provide all the information needed for all design applications and other test methods should be used.

1.2 Procedures for measuring the breaking load and elongation by the grab method in both the dry and wet state are included; however, testing is normally done in the dry condition unless specified otherwise in an agreement or specification.

1.3 The values stated in SI units are to be regarded as standard. The values stated in inch-pound units are provided for information only.

1.4 *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 76 Specification for Tensile Testing Machines for Textiles

D 123 Terminology Relating to Textiles

D 1776 Practice for Conditioning and Testing Textiles

¹ This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D35 on Geosynthetics and is the direct responsibility of Subcommittee D35.01 on Mechanical Properties.

Current edition approved July 1, 2008. Published May 1991. Originally approved in 1991. Last previous edition approved in 2003 as D 4632–91(2003).

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 07.01.

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.

D 2905 Practice for Statements on Number of Specimens for Textiles

D 4354 Practice for Sampling of Geosynthetics for Testing

D 4439 Terminology for Geosynthetics

3. Terminology

3.1 Definitions:

3.1.1 *atmosphere for testing geotextiles, n*—air maintained at a relative humidity of $65 \pm 5\%$ relative humidity and temperature of $21 \pm 2^\circ\text{C}$ ($70 \pm 4^\circ\text{F}$).

3.1.2 *breaking load, n*—the maximum force applied to a specimen in a tensile test carried to rupture.

3.1.3 *cross-machine direction, n*—the direction in the plane of the fabric perpendicular to the direction of manufacture.

3.1.4 *elongation at break, n*—the elongation corresponding to the breaking load, that is, the maximum load.

3.1.5 *geotextile, n*—any permeable textile material used with foundation, soil, rock, earth, or any other geotechnical material, as an integral part of a man-made product, structure, or system.

3.1.6 *grab test, n—in fabric testing*, a tension test in which only a part of the width of the specimen is gripped in the clamps.

3.1.6.1 *Discussion*—For example, if the specimen width is 101.6 mm (4 in.) and the width of the jaw faces 25.4 mm (1 in.), the specimen is gripped centrally in the clamps.

3.1.7 *machine direction, n*—the direction in the plane of the fabric parallel to the direction of manufacture.

3.1.8 For definitions of other terms used in this test method, refer to Terminology D 123 or Terminology D 4439.

4. Summary of Test Method

4.1 A continually increasing load is applied longitudinally to the specimen and the test is carried to rupture. Values for the breaking load and elongation of the test specimen are obtained from machine scales or dials, autographic recording charts, or interfaced computers.

5. Significance and Use

5.1 The grab method is applicable whenever it is desired to determine the “effective strength” of the fabric in use, that is, the strength of the material in a specific width, together with

the additional strength contributed by adjacent material. There is no simple relationship between grab tests and strip tests since the amount of fabric assistance depends on the construction of the fabric. It is useful as a quality control or acceptance test.

5.2 The procedure in Test Method D 4632 for the determination of grab strength of geotextiles may be used for acceptance testing of commercial shipments, but caution is advised since information about between-laboratory precision is incomplete. Comparative tests as directed in 5.2.1 are advisable.

5.2.1 In case of a dispute arising from differences in reported test results when using the procedures in Test Method D 4632 for acceptance testing of commercial shipments, the purchaser and the manufacturer should conduct comparative tests to determine if there is a statistical bias between their laboratories. Competent statistical assistance is recommended for the investigation of bias. As a minimum, the two parties should take a group of test specimens that are as homogeneous as possible and which are from a lot of material of the type in question. The test specimens should then be randomly assigned in equal numbers to each laboratory for testing. The average results from the two laboratories should be compared using the appropriate Student's *t*-test and an acceptable probability level chosen by the two parties before testing is begun. If a bias is found, either its cause must be found and corrected or the purchaser and the manufacturer must agree to interpret future test results in the light of the known bias.

5.3 Most geotextile fabrics can be tested by this test method. Some modification of clamping techniques may be necessary for a given fabric, depending upon its structure. Special adaptation may be necessary with strong fabrics, or fabrics made from glass fibers, to prevent them from slipping in the clamps or being damaged as a result of being gripped in the clamps, such as cushioning the clamp or boarding the specimen within the clamp.

5.4 This test method is applicable for testing fabrics either dry or wet. It may be used with constant-rate-of-traverse (CRT) or constant-rate-of-extension (CRE) type tension machines. However, there may be no overall correlation between the results obtained with the CRT machine and the CRE machine. Consequently, these two tension testers cannot be used interchangeably. In case of controversy, the CRE machine shall prevail.

6. Apparatus

6.1 *Tensile Testing Machine*, of the constant-rate-of-extension (CRE) or constant-rate-of-traverse (CRT) type with autographic recorder conforming to the requirements of Specification D 76.

6.2 *Clamps*, having all gripping surfaces parallel, flat, and capable of preventing slipping of the specimen during a test. Each clamp shall have one jaw face measuring 25.4 by 50.8 mm (1 by 2 in.), with the longer dimension parallel to the direction of application of the load. The other jaw face of each clamp shall be at least as large as its mate. Each jaw face shall be in line, both with respect to its mate in the same clamp and to the corresponding jaw of the other clamp.

7. Sampling and Selection

7.1 *Division into Lots and Lot Samples*—Divide the material into lots and take a lot sample as directed in Practice D 4354. Rolls of fabric are the primary sampling unit.

7.2 *Laboratory Sample*—Take for the laboratory sample a swatch extending the width of the fabric and approximately 1 m (39.37 in.) along the selvage from each roll in the lot sample. The swatch may be taken from the end portion of a roll provided there is no evidence that it is distorted or different from other portions of the roll. In cases of dispute, take a swatch that will exclude fabric from the outer wrap of the roll or the inner wrap around the core.

7.3 *Test Specimens*—Cut the number of specimens from each swatch in the laboratory sample determined as directed in Section 8. Take no specimens nearer the selvage of fabric edge than $\frac{1}{20}$ of the fabric width or 150 mm (6 in.), whichever is the smaller. Cut rectangular specimens 101.6 by 203.2 mm (4 by 8 in.). Cut the specimens to be used for grab tests in the machine direction with the longer dimension parallel to the machine direction and the specimens to be used for grab tests in the cross-machine direction with the longer dimension parallel to the cross-machine direction. Locate each group of specimens along a diagonal line on the swatch so that each specimen will contain different warp ends and filling picks. Draw a line 37 mm (1.5 in.) from the edge of the specimen running its full length. For woven and reinforced nonwoven fabrics, this line must be accurately parallel to the lengthwise yarns in the specimen.

8. Number of Specimens

8.1 Unless otherwise agreed upon as when provided in an applicable material specification, take a number of test specimens per swatch in the laboratory sample such that the user may expect at the 95 % probability level that the test result is no more than 5 % above the true average for each swatch in the laboratory sample for each the machine and cross-machine direction, respectively.

8.1.1 *Reliable Estimate of v*—When there is a reliable estimate of *v* based upon extensive past records for similar materials tested in the user's laboratory as directed in the method, calculate the required number of specimens using Eq 1, as follows:

$$n = (tv/A)^2 \quad (1)$$

where:

n = number of test specimens (rounded upward to a whole number),

v = reliable estimate of the coefficient of variation of individual observations on similar materials in the user's laboratory under conditions of single-operator precision, %,

t = the value of Student's *t* for one-sided limits (see Table 1), a 95 % probability level, and the degrees of freedom associated with the estimate of *v*, and

A = 5.0 % of the average, the value of the allowable variation.

8.1.2 *No Reliable Estimate of v*—When there is no reliable estimate of *v* for the user's laboratory, Eq 1 should not be used

TABLE 1 Values of Student's *t* for One-Sided Limits and the 95 % Probability^A

df	One-Sided	df	One-Sided	df	One-sided
1	6.314	11	1.796	22	1.717
2	2.920	12	1.782	24	1.711
3	2.353	13	1.771	26	1.706
4	2.132	14	1.761	28	1.701
5	2.015	15	1.753	30	1.697
6	1.943	16	1.746	40	1.684
7	1.895	17	1.740	50	1.676
8	1.860	18	1.734	60	1.671
9	1.833	19	1.729	120	1.658
10	1.812	20	1.725		1.645

^AValues in this table were calculated using Hewlett Packard HP 67/97 Users' Library Programs 03848D, "One-Sided and Two-Sided Critical Values of Student's *t*" and 00350D, "Improved Normal and Inverse Distribution." For values at other than the 95 % probability level, see published tables of critical values of Student's *t* in any standard statistical text. Further use of this table is defined in Practice D 2905.

directly. Instead, specify the fixed number of 10 specimens for the machine direction tests and 10 specimens for the cross-machine direction tests. The number of specimens is calculated using $v = 9.5\%$ of the average for both machine direction and cross-machine direction. These values for v are somewhat larger than usually found in practice. When a reliable estimate of v for the user's laboratory becomes available, Eq 1 will usually require fewer than the fixed number of specimens.

9. Conditioning

9.1 Bring the specimens to moisture equilibrium in the atmosphere for testing geotextiles. Equilibrium is considered to have been reached when the increase in mass of the specimen in successive weighings made at intervals of not less than 2 h does not exceed 0.1 % of the mass of the specimen. In general practice, the industry approaches equilibrium from the "as received" side.

NOTE 1—It is recognized that in practice geotextile materials are frequently not weighed to determine when moisture equilibrium has been reached. While such a procedure cannot be accepted in cases of dispute, it may be sufficient in routine testing to expose the material to the standard atmosphere for testing for a reasonable period of time before the specimens are tested. A time of at least 24 h has been found acceptable in most cases. However, certain fibers may exhibit slow moisture equilibration rates from the "as received" wet side. When this is known, a preconditioning cycle, as described in Practice D 1776, may be agreed upon between contractual parties.

9.2 Specimens to be tested in the wet condition shall be immersed in water maintained at a temperature of $21 \pm 2^\circ\text{C}$ ($70 \pm 4^\circ\text{F}$). The time of immersion must be sufficient to wet-out the specimens thoroughly, as indicated by no significant change in strength or elongation following a longer period of immersion, and at least 2 min. To obtain thorough wetting, it may be necessary or advisable to add not more than 0.05 % of a nonionic neutral wetting agent to the water.

10. Procedure

10.1 Test the conditioned specimens in the standard atmosphere for testing in accordance with Section 9.

10.2 Set the distance between the clamps at the start of the test at 75 ± 1 mm (3 \pm 0.05 in.). Select the load range of the

testing machine such that the maximum load occurs between 10 and 90 % of full-scale load. Set the machine to operate at a speed of 300 ± 10 mm/min (12 \pm 0.5 in./min).

10.3 Secure the specimen in the clamps of the testing machine, taking care that the long dimension is as nearly as possible parallel to the direction of application of the load. Be sure that the tension in the specimen is uniform across the clamped width. Insert the specimen in the clamps so that approximately the same length of fabric extends beyond the jaw at each end. Locate the jaws centrally in the widthwise direction by having the line which was drawn 37 mm (1.5 in.) from the edge of the specimen run adjacent to the side of the upper and lower front jaws which are nearest this edge. This ensures that the same lengthwise yarns are gripped in both clamps.

10.4 If a specimen slips in the jaws, breaks at the edge of or in the jaws, or if for any reason attributed to a faulty operation the result falls markedly below the average for the set of specimens, discard the result and take another specimen. Continue this procedure until the required number of acceptable breaks have been obtained.

NOTE 2—The decision to discard a break shall be based on observation of the specimen during the test and upon the inherent variability of the fabric. In the absence of other criteria for rejecting a so-called jaw break, any break occurring within 5 mm ($\frac{1}{4}$ in.) of the jaws which results in a value below 80 % of the average of all the other breaks shall be discarded. No other break shall be discarded unless it is known to be faulty.

NOTE 3—It is difficult to determine the precise reason for breakage of test specimens near the edge of the jaws. If breaks are caused by damage to the specimen by the jaws, then the results should be discarded. If, however, they are merely due to randomly distributed weak places in specimens, the results should be considered perfectly legitimate. In some cases, breaks may be caused by a concentration of stress in the area adjacent to the jaws. If this occurs, the specimen is prevented from contracting in width as the load is applied. In such cases, a break near the edge of the jaws is inevitable and shall be accepted as a characteristic of the geotextile when tested by this test method.

10.5 Start the tensile testing machine and the area measuring device, if used, and continue running the test to rupture. Stop the machine and reset to the initial gage position. Record and report the test results for each direction separately.

10.6 If fabric manifests slippage in the jaws, the jaw faces, but not the jaw dimensions, may be modified. If a modification is used, the method of modification should be stated in the report.

10.7 If a measure of the elongation of the specimen is required, the initial length and therefore the measured elongation depend upon the pretension applied in placing the specimen in the clamps of the machine. In this case, secure the specimen in one clamp of the machine and apply a pretension to the specimen of approximately $\frac{1}{2}\%$ of the breaking load, or other initial load specified for the particular material in question, before gripping the specimen in the other clamp.

10.8 Unless otherwise specified, measure the elongation of the fabric at any stated load by means of a suitable autographic recording device, at the same time the breaking strength is determined. Measure the elongation from the point where the curve leaves the zero loading axis established after preload is applied, to a point of corresponding force in millimetres (inches).

11. Calculation

11.1 *Breaking Load*—Calculate the breaking load by averaging the value of breaking load for all accepted specimen results. The breaking load shall be determined separately for the machine direction specimens and cross-machine direction specimens.

11.2 *Apparent Elongation*—Calculate the apparent elongation at the breaking load or at other specified loads by averaging the values of apparent elongation for all accepted specimen results. The apparent elongation shall be determined separately for the machine direction specimens and cross-machine direction specimens and expressed as the percentage increase in length, based upon the initial nominal gage length of the specimen. Report this as the apparent elongation.

NOTE 4—The observed elongation calculated as a percentage of the initial nominal gage length of the specimen should be referred to as “apparent elongation.” Because the actual length of fabric stretched is usually somewhat greater than this initial length due to pull-out of fabric from between the jaws, elongation calculated on initial length may be somewhat in error, depending upon the amount of this pull-out.

12. Report

12.1 Report the following:

12.1.1 State that the tests were performed as directed in Test Method D 4632. Describe the material(s) or product(s) sampled and the method of sampling used.

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).

12.1.2 The average grab breaking load for specimens cut in each direction, for all specimens giving acceptable breaks.

12.1.3 The average grab percent apparent elongation of specimens cut in each direction, for all specimens giving acceptable breaks, if required. Identify this as “apparent breaking elongation,” or “apparent elongation at x lb load,” as required by the test specifications.

12.1.4 Number of specimens tested in each direction.

12.1.5 Condition of specimens (wet or dry).

12.1.6 Type of testing machine used.

12.1.7 Maximum load obtainable in the range used for testing.

12.1.8 Type of padding used in jaws, modification of specimen gripped in the jaws, or modification of jaw faces, if used.

12.1.9 Any modifications of sample specimens as manufactured, or test method as described.

13. Precision and Bias

13.1 *Precision*—The precision of the procedure in Test Method D 4632 is being established.

13.2 *Bias*—The procedure in Test Method D 4632 for measuring the breaking load and elongation by the grab test method has no bias because the value of the breaking load and elongation can be defined only in terms of a test method.

ANEXO N°06: FOTOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO



*Fotografia N°01: Material de Subbase – Cantera Huillque
Se trajo aproximadamente 300kg*



Fotografia N°02: Material de Subbase – Cantera Huillque



Fotografia N°03: Material de Subbase – Cantera Vicho



Fotografia N°04: Material de Subbase – Cantera Vicho
Se trajo aproximadamente 300kg



Fotografia N°05: Material de Subrasante



Fotografia N°06 y N°07: Secado de Muestra – Cantera de Vicho y Huillque



Fotografia N°08: lavado de muestra para ensayo de granulometria



Fotografia N°09: muestra seca para ensayo de granulometria



Fotografia N°10: para ensayo de granulometria
Cantera Vicho



Fotografia N°11 y N°12: ensayos para el calculo de limites de consistencia



Fotografia N°13: Ensayo de CBR – Cantera Huillque



Fotografia N°14: Ensayo de Granulometria – Cantera Vico



Fotografia N°15: Ensayo de Granulometria – Cantera Huillque



Fotografia N°16 y N°17: Ensayo de CBR – Cantera Vicho y Huillque



Fotografia N°18: Toma de datos – Ensayo CBR



Fotografia N°19: Ensayo de Abrasión



Fotografia N°20 y N°21: Ensayo de Equivalente de Arena – Cantera de Huillque y Vicho





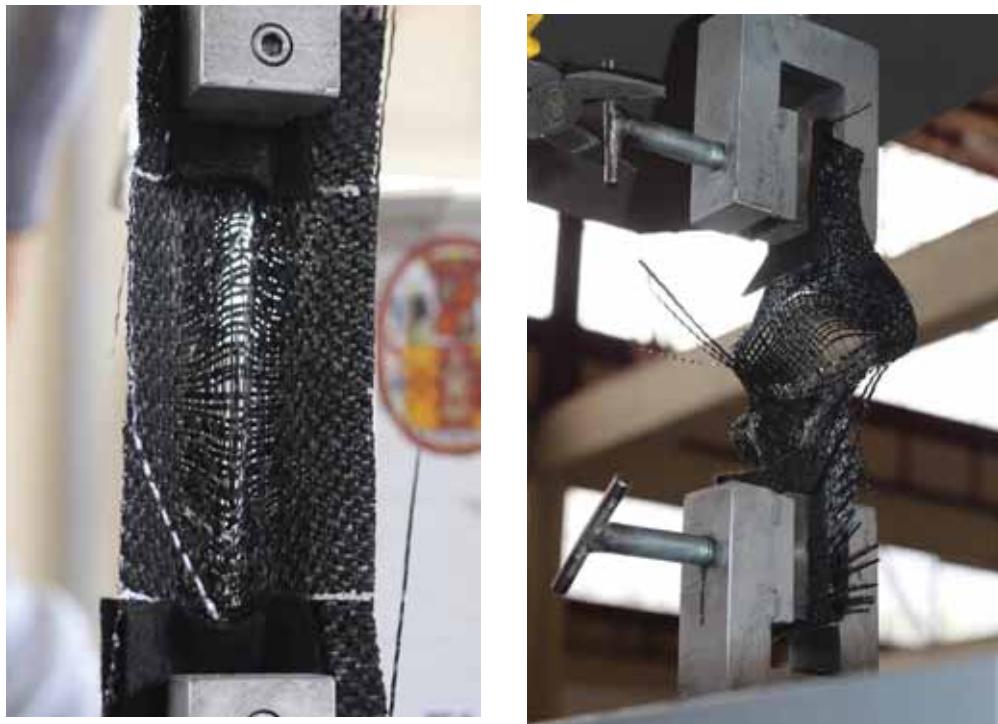
Fotografia N°22: Ensayo de Carga de Rotura y Elongacion GRAB



Fotografia N°23 y N°24: Ensayo de Carga de Rotura y Elongacion
GRAB – Geotextil No Tejido



Fotografia N°25: Punto de Rotura - Geotextil No Tejido NW030M



Fotografia N°26 y N°27: Ensayo de Carga de Rotura y Elongacion
GRAB – Geotextil Tejido



Fotografia N°28: Punto de Rotura – Geotextil Tejido T2400



Fotografia N°29: Subrasante de 10cm escarificada



Fotografia N°30 y N°31: compactacion de los 5cm de subrasante en el encofrado metalico y colocacion del strain gauge sobre el geotextil no tejido



Fotografia N°32: Colocacion del strain gauge sin geotextil



Fotografia N°33: colocacion del strain gaige sobre un retazo de geotextil no tejido para el ensayo



Fotografia N°34: colocacion del strain gaige sobre geotextil tejido T2400



Fotografia N°35: tensado longitudinal ligero del geotextil



Fotografia N°36: colocacion de la viga en al Maquina universal para empezar con el ensayo



Fotografia N°37: Ensayo de Viga N°02 con geotextil No Tejido



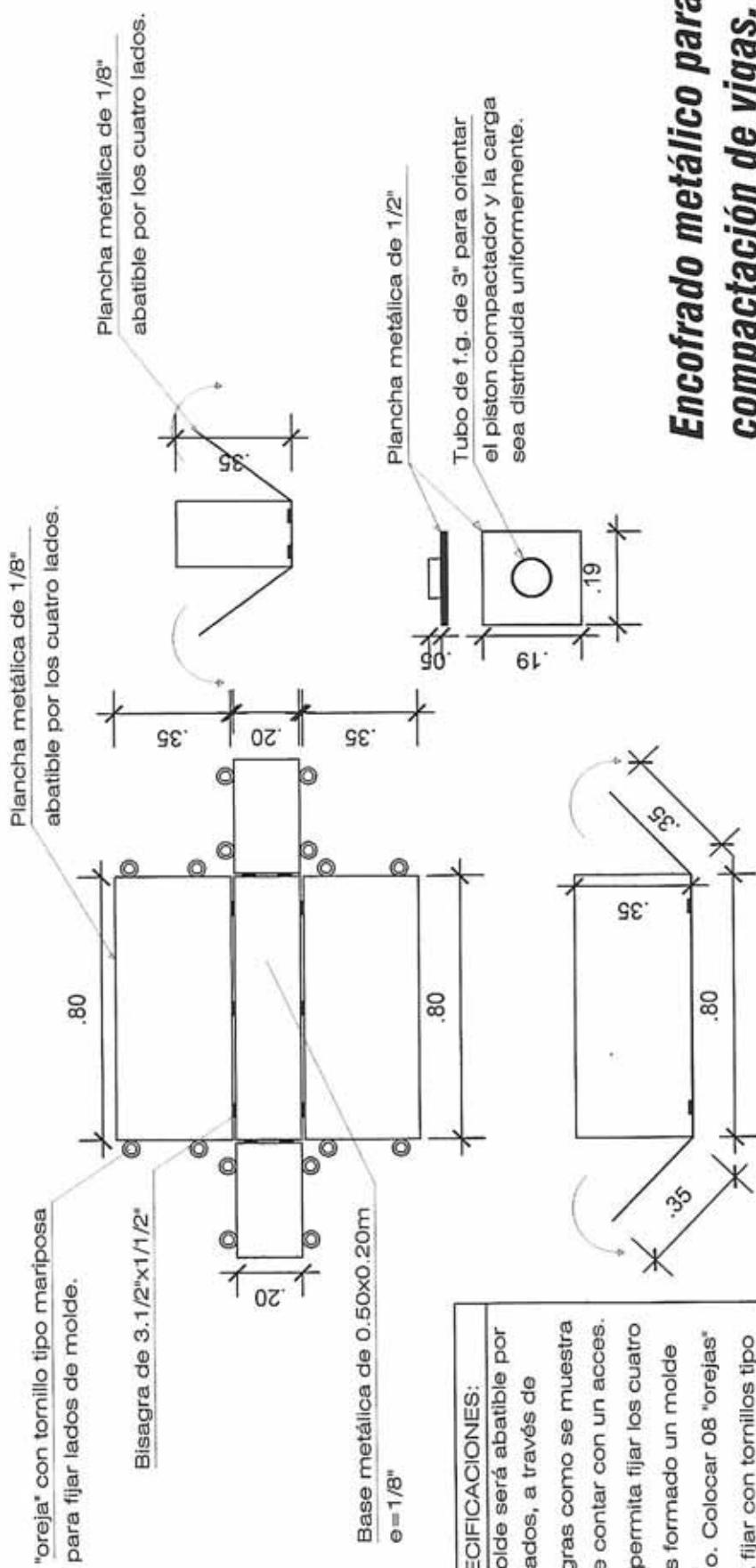
Fotografia N°38: Ensayo de Viga N°04 con geotextil Tejido



Fotografía N°39: Vista general de la realización de los ensayos de vigas, se observa el trípode con un telescopio manual que fue de gran ayuda para montar la viga en la máquina universal.

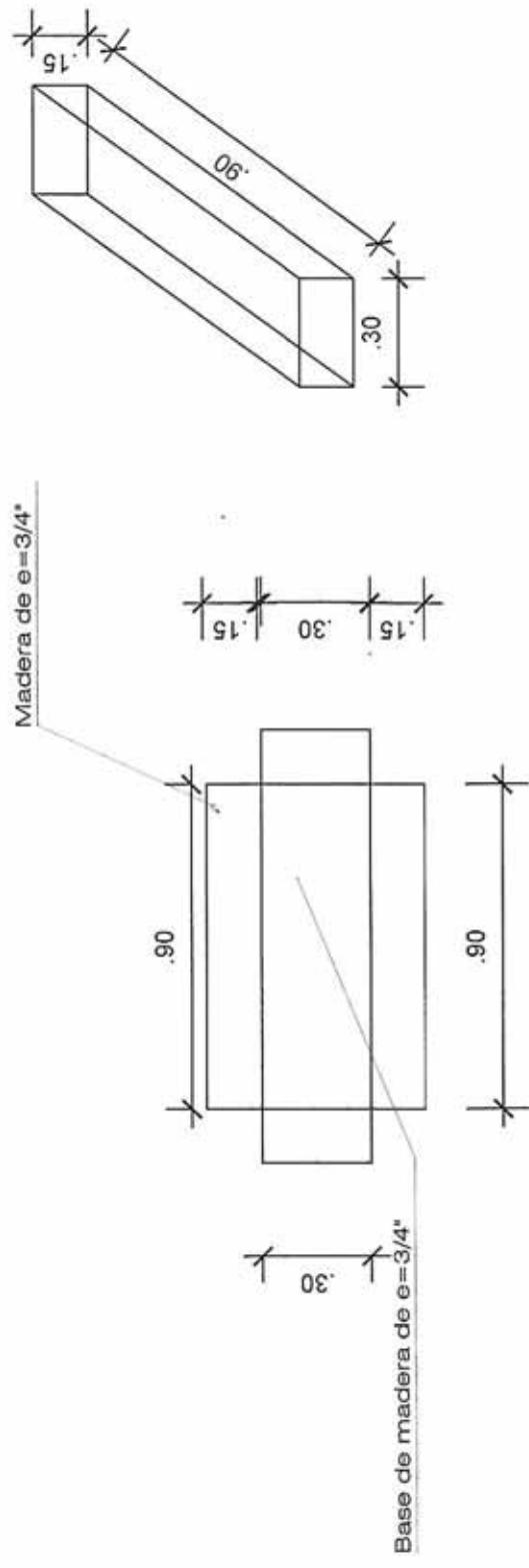
ANEXO N°07: ENCOFRADO METÁLICO

Encofrado metálico para compactación de vigas.



ANEXO N°08: ENCOFRADO DE MADERA

***Encofrado de madera
para confinar terreno de
fundación.***



ANEXO N°09: RESULTADOS DE UN ENSAYO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES (CANTERA VICHO – GEOTEXTIL TEJIDO)

Datos de Máquina Universal – Posición y Esfuerzo Vertical

Posición(mm)	σ_z (kg/cm ²)
0.0000	0.0000
0.0000	0.0004
0.0000	0.0000
0.0000	0.0004
0.0000	0.0008
0.0000	0.0013
0.0000	0.0013
0.0000	0.0017
0.0000	0.0017
0.0000	0.0017
0.0000	0.0021
0.0000	0.0021
0.0000	0.0025
0.0000	0.0025
0.0000	0.0025
0.0000	0.0025
0.0000	0.0029
0.0000	0.0029
0.0000	0.0033
0.0000	0.0033
0.0000	0.0038
0.0000	0.0038
0.0000	0.0038
0.0000	0.0042
0.0000	0.0042
0.0000	0.0046
0.0000	0.0046
0.0000	0.0046
0.0000	0.0050
0.0000	0.0050
0.0000	0.0050
0.0000	0.0054
0.0000	0.0054
0.0000	0.0054
0.0000	0.0058
0.0000	0.0058
0.0000	0.0058
0.0000	0.0063
0.0000	0.0063

0.0000	0.0063
0.0000	0.0067
0.0000	0.0067
0.0000	0.0067
0.0000	0.0071
0.0000	0.0071
0.0000	0.0071
0.0000	0.0075
0.0000	0.0075
0.0000	0.0079
0.0000	0.0079
0.0000	0.0083
0.0000	0.0083
0.0000	0.0083
0.0000	0.0088
0.0000	0.0088
0.0000	0.0088
0.0000	0.0092
0.0000	0.0092
0.0000	0.0092
0.0000	0.0096
0.0000	0.0096
0.0000	0.0096
0.0000	0.0100
0.0000	0.0100
0.0000	0.0100
0.0000	0.0104
0.0000	0.0104
0.0000	0.0104
0.0000	0.0108
0.0000	0.0108
0.0000	0.0108
0.0000	0.0113
0.0000	0.0113
0.0000	0.0113
0.0000	0.0117
0.0000	0.0117
0.0000	0.0117
0.0000	0.0121
0.0000	0.0121
0.0000	0.0121
0.0000	0.0125
0.0000	0.0125

0.0000	0.0125
0.0000	0.0129
0.0000	0.0129
0.0000	0.0129
0.0000	0.0133
0.0000	0.0133
0.0000	0.0133
0.0000	0.0138
0.0000	0.0138
0.0000	0.0138
0.0000	0.0142
0.0000	0.0142
0.0000	0.0142
0.0000	0.0146
0.0000	0.0146
0.0000	0.0146
0.0653	0.0150
0.0653	0.0150
0.0653	0.0150
0.0653	0.0154
0.0653	0.0154
0.0653	0.0154
0.0653	0.0158
0.0653	0.0158
0.0653	0.0158
0.0653	0.0163
0.0653	0.0163
0.0653	0.0163
0.0653	0.0167
0.0653	0.0167
0.0653	0.0167
0.0653	0.0171
0.0653	0.0171
0.0653	0.0171
0.0653	0.0171
0.0653	0.0175
0.0653	0.0175
0.0653	0.0179
0.0653	0.0179
0.0653	0.0179
0.0653	0.0183
0.0653	0.0183
0.0653	0.0183
0.0653	0.0188
0.0653	0.0188

0.0653	0.0188
0.0653	0.0192
0.0653	0.0192
0.0653	0.0192
0.0653	0.0192
0.0653	0.0196
0.0653	0.0196
0.0653	0.0200
0.0653	0.0200
0.0653	0.0200
0.0653	0.0204
0.0653	0.0204
0.0653	0.0208
0.0653	0.0208
0.0653	0.0208
0.0653	0.0213
0.0653	0.0213
0.0653	0.0213
0.0653	0.0217
0.0653	0.0217
0.0653	0.0217
0.0653	0.0221
0.0653	0.0221
0.0653	0.0221
0.0653	0.0225
0.0653	0.0225
0.0653	0.0225
0.0653	0.0229
0.0653	0.0229
0.0653	0.0229
0.0653	0.0233
0.0653	0.0233
0.0653	0.0233
0.0653	0.0238
0.0653	0.0238
0.0653	0.0238
0.0653	0.0242
0.0653	0.0242
0.0653	0.0242
0.0653	0.0246
0.0653	0.0246
0.0653	0.0246
0.0653	0.0250
0.0653	0.0250

0.0653	0.0250
0.0653	0.0254
0.0653	0.0254
0.0653	0.0254
0.0653	0.0258
0.0653	0.0258
0.0653	0.0258
0.0653	0.0263
0.0653	0.0263
0.0653	0.0267
0.0653	0.0267
0.0653	0.0271
0.0653	0.0271
0.0653	0.0271
0.0653	0.0275
0.1307	0.0275
0.1307	0.0275
0.1307	0.0279
0.1307	0.0279
0.1307	0.0279
0.1307	0.0283
0.1307	0.0283
0.1307	0.0283
0.1307	0.0288
0.1307	0.0288
0.1307	0.0288
0.1307	0.0292
0.1307	0.0292
0.1307	0.0296
0.1307	0.0296
0.1307	0.0296
0.1307	0.0300
0.1307	0.0300
0.1307	0.0300
0.1307	0.0304
0.1307	0.0304
0.1307	0.0304
0.1307	0.0308
0.1307	0.0308
0.1307	0.0308
0.1307	0.0313
0.1307	0.0313

0.1307	0.0313
0.1307	0.0317
0.1307	0.0317
0.1307	0.0317
0.1307	0.0321
0.1307	0.0321
0.1307	0.0321
0.1307	0.0325
0.1307	0.0325
0.1307	0.0329
0.1307	0.0329
0.1307	0.0333
0.1307	0.0333
0.1307	0.0333
0.1307	0.0333
0.1307	0.0338
0.1307	0.0338
0.1307	0.0338
0.1307	0.0342
0.1307	0.0342
0.1307	0.0342
0.1307	0.0346
0.1307	0.0346
0.1307	0.0346
0.1307	0.0350
0.1960	0.0350
0.1960	0.0350
0.1960	0.0354
0.1960	0.0354
0.1960	0.0354
0.1960	0.0358
0.1960	0.0358
0.1960	0.0358
0.1960	0.0363
0.1960	0.0363
0.1960	0.0363
0.1960	0.0367
0.1960	0.0367
0.1960	0.0367
0.1960	0.0371
0.1960	0.0371
0.1960	0.0371
0.1960	0.0375
0.1960	0.0375

0.1960	0.0375
0.1960	0.0379
0.1960	0.0379
0.1960	0.0379
0.1960	0.0383
0.1960	0.0383
0.1960	0.0383
0.1960	0.0388
0.1960	0.0388
0.1960	0.0388
0.1960	0.0392
0.1960	0.0392
0.1960	0.0396
0.1960	0.0396
0.1960	0.0396
0.1960	0.0400
0.1960	0.0400
0.1960	0.0400
0.1960	0.0404
0.2613	0.0404
0.2613	0.0404
0.2613	0.0408
0.2613	0.0408
0.2613	0.0408
0.2613	0.0413
0.2613	0.0413
0.2613	0.0413
0.2613	0.0417
0.2613	0.0417
0.2613	0.0417
0.2613	0.0421
0.2613	0.0421
0.2613	0.0421
0.2613	0.0425
0.2613	0.0425
0.2613	0.0425
0.2613	0.0429
0.2613	0.0429
0.2613	0.0429
0.2613	0.0433
0.2613	0.0433
0.2613	0.0433
0.2613	0.0438
0.2613	0.0438

0.2613	0.0438
0.2613	0.0442
0.2613	0.0442
0.2613	0.0442
0.2613	0.0446
0.2613	0.0446
0.2613	0.0446
0.3267	0.0450
0.3267	0.0450
0.3267	0.0454
0.3267	0.0454
0.3267	0.0458
0.3267	0.0458
0.3267	0.0463
0.3267	0.0463
0.3267	0.0467
0.3267	0.0467
0.3267	0.0471
0.3267	0.0471
0.3267	0.0471
0.3267	0.0475
0.3267	0.0475
0.3267	0.0479
0.3267	0.0479
0.3267	0.0483
0.3267	0.0483
0.3267	0.0488
0.3920	0.0488
0.3920	0.0488
0.3920	0.0492
0.3920	0.0492
0.3920	0.0492
0.3920	0.0496
0.3920	0.0496
0.3920	0.0496
0.3920	0.0500
0.3920	0.0500

0.3920	0.0500
0.3920	0.0504
0.3920	0.0504
0.3920	0.0504
0.3920	0.0508
0.3920	0.0508
0.3920	0.0508
0.3920	0.0513
0.3920	0.0513
0.3920	0.0517
0.3920	0.0517
0.4573	0.0521
0.4573	0.0521
0.4573	0.0521
0.4573	0.0525
0.4573	0.0525
0.4573	0.0529
0.4573	0.0529
0.4573	0.0529
0.4573	0.0533
0.4573	0.0533
0.4573	0.0538
0.4573	0.0538
0.4573	0.0538
0.4573	0.0542
0.4573	0.0542
0.4573	0.0542
0.4573	0.0546
0.4573	0.0550
0.4573	0.0550
0.4573	0.0550
0.4573	0.0554
0.4573	0.0554
0.4573	0.0554
0.4573	0.0558
0.5227	0.0558
0.5227	0.0558
0.5227	0.0563
0.5227	0.0563

0.5227	0.0563
0.5227	0.0567
0.5227	0.0567
0.5227	0.0567
0.5227	0.0571
0.5227	0.0571
0.5227	0.0571
0.5227	0.0575
0.5227	0.0575
0.5227	0.0575
0.5227	0.0579
0.5227	0.0579
0.5227	0.0583
0.5227	0.0583
0.5227	0.0583
0.5227	0.0588
0.5227	0.0588
0.5880	0.0588
0.5880	0.0592
0.5880	0.0592
0.5880	0.0592
0.5880	0.0596
0.5880	0.0596
0.5880	0.0596
0.5880	0.0600
0.5880	0.0600
0.5880	0.0600
0.5880	0.0604
0.5880	0.0604
0.5880	0.0604
0.5880	0.0608
0.5880	0.0608
0.5880	0.0608
0.5880	0.0613
0.5880	0.0613
0.5880	0.0613
0.5880	0.0617
0.5880	0.0617
0.5880	0.0621
0.6533	0.0621
0.6533	0.0621
0.6533	0.0621
0.6533	0.0625
0.6533	0.0625

0.6533	0.0629
0.6533	0.0629
0.6533	0.0629
0.6533	0.0629
0.6533	0.0633
0.6533	0.0633
0.6533	0.0633
0.6533	0.0638
0.6533	0.0638
0.6533	0.0642
0.6533	0.0642
0.6533	0.0642
0.6533	0.0646
0.6533	0.0646
0.6533	0.0650
0.7187	0.0650
0.7187	0.0650
0.7187	0.0654
0.7187	0.0654
0.7187	0.0654
0.7187	0.0658
0.7187	0.0658
0.7187	0.0663
0.7187	0.0663
0.7187	0.0663
0.7187	0.0667
0.7187	0.0667
0.7187	0.0667
0.7187	0.0671
0.7187	0.0671
0.7187	0.0671
0.7187	0.0675
0.7187	0.0675
0.7187	0.0679
0.7840	0.0679
0.7840	0.0679
0.7840	0.0679
0.7840	0.0683
0.7840	0.0683
0.7840	0.0683
0.7840	0.0688
0.7840	0.0688

0.7840	0.0688
0.7840	0.0692
0.7840	0.0692
0.7840	0.0696
0.7840	0.0696
0.7840	0.0700
0.7840	0.0700
0.7840	0.0700
0.7840	0.0704
0.8493	0.0704
0.8493	0.0708
0.8493	0.0708
0.8493	0.0708
0.8493	0.0708
0.8493	0.0713
0.8493	0.0713
0.8493	0.0717
0.8493	0.0717
0.8493	0.0717
0.8493	0.0721
0.8493	0.0721
0.8493	0.0721
0.8493	0.0725
0.8493	0.0725
0.8493	0.0729
0.8493	0.0729
0.8493	0.0729
0.8493	0.0733
0.9147	0.0733
0.9147	0.0733
0.9147	0.0738
0.9147	0.0738
0.9147	0.0738
0.9147	0.0742
0.9147	0.0742
0.9147	0.0742
0.9147	0.0746
0.9147	0.0746
0.9147	0.0746
0.9147	0.0750
0.9147	0.0750

0.9147	0.0750
0.9147	0.0754
0.9147	0.0754
0.9147	0.0754
0.9147	0.0758
0.9147	0.0758
0.9147	0.0758
0.9800	0.0763
0.9800	0.0763
0.9800	0.0763
0.9800	0.0767
0.9800	0.0767
0.9800	0.0771
0.9800	0.0771
0.9800	0.0775
0.9800	0.0775
0.9800	0.0775
0.9800	0.0779
0.9800	0.0779
0.9800	0.0779
0.9800	0.0783
0.9800	0.0783
0.9800	0.0783
0.9800	0.0788
0.9800	0.0788
1.0453	0.0788
1.0453	0.0792
1.0453	0.0792
1.0453	0.0796
1.0453	0.0796
1.0453	0.0796
1.0453	0.0800
1.0453	0.0800
1.0453	0.0800
1.0453	0.0804
1.0453	0.0804
1.0453	0.0804
1.0453	0.0808
1.0453	0.0808
1.0453	0.0808
1.0453	0.0813
1.0453	0.0813

1.0453	0.0813
1.0453	0.0817
1.1107	0.0817
1.1107	0.0821
1.1107	0.0821
1.1107	0.0821
1.1107	0.0821
1.1107	0.0825
1.1107	0.0825
1.1107	0.0829
1.1107	0.0829
1.1107	0.0833
1.1107	0.0833
1.1107	0.0833
1.1107	0.0838
1.1107	0.0838
1.1107	0.0838
1.1107	0.0842
1.1107	0.0842
1.1107	0.0846
1.1760	0.0846
1.1760	0.0846
1.1760	0.0850
1.1760	0.0850
1.1760	0.0850
1.1760	0.0854
1.1760	0.0854
1.1760	0.0854
1.1760	0.0858
1.1760	0.0863
1.1760	0.0863
1.1760	0.0863
1.1760	0.0867
1.1760	0.0867
1.1760	0.0871
1.1760	0.0871
1.2413	0.0871
1.2413	0.0875
1.2413	0.0875

1.2413	0.0875
1.2413	0.0879
1.2413	0.0879
1.2413	0.0879
1.2413	0.0883
1.2413	0.0883
1.2413	0.0883
1.2413	0.0888
1.2413	0.0888
1.2413	0.0892
1.2413	0.0892
1.2413	0.0896
1.2413	0.0896
1.2413	0.0896
1.3067	0.0896
1.3067	0.0900
1.3067	0.0900
1.3067	0.0904
1.3067	0.0904
1.3067	0.0904
1.3067	0.0908
1.3067	0.0908
1.3067	0.0913
1.3067	0.0913
1.3067	0.0913
1.3067	0.0913
1.3067	0.0917
1.3067	0.0917
1.3067	0.0921
1.3067	0.0921
1.3067	0.0921
1.3067	0.0925
1.3067	0.0925
1.3067	0.0925
1.3720	0.0929
1.3720	0.0929
1.3720	0.0929
1.3720	0.0933
1.3720	0.0933
1.3720	0.0933
1.3720	0.0938
1.3720	0.0938

1.3720	0.0938
1.3720	0.0942
1.3720	0.0942
1.3720	0.0942
1.3720	0.0946
1.3720	0.0946
1.3720	0.0946
1.3720	0.0950
1.3720	0.0950
1.3720	0.0950
1.3720	0.0954
1.3720	0.0954
1.3720	0.0954
1.4373	0.0958
1.4373	0.0958
1.4373	0.0958
1.4373	0.0963
1.4373	0.0963
1.4373	0.0963
1.4373	0.0967
1.4373	0.0967
1.4373	0.0967
1.4373	0.0971
1.4373	0.0971
1.4373	0.0971
1.4373	0.0975
1.4373	0.0975
1.4373	0.0975
1.4373	0.0979
1.4373	0.0979
1.4373	0.0983
1.4373	0.0983
1.4373	0.0983
1.4373	0.0983
1.5027	0.0988
1.5027	0.0988
1.5027	0.0988
1.5027	0.0992
1.5027	0.0992
1.5027	0.0992
1.5027	0.0996
1.5027	0.0996
1.5027	0.1000
1.5027	0.1000
1.5027	0.1000

1.5027	0.1000
1.5027	0.1004
1.5027	0.1004
1.5027	0.1004
1.5027	0.1008
1.5027	0.1008
1.5027	0.1008
1.5027	0.1013
1.5027	0.1013
1.5027	0.1017
1.5027	0.1021
1.5680	0.1021
1.5680	0.1021
1.5680	0.1021
1.5680	0.1025
1.5680	0.1025
1.5680	0.1025
1.5680	0.1029
1.5680	0.1029
1.5680	0.1029
1.5680	0.1033
1.5680	0.1033
1.5680	0.1038
1.5680	0.1038
1.5680	0.1038
1.5680	0.1042
1.5680	0.1042
1.5680	0.1046
1.5680	0.1046
1.5680	0.1046
1.5680	0.1050
1.6333	0.1050
1.6333	0.1050
1.6333	0.1054
1.6333	0.1054
1.6333	0.1054
1.6333	0.1058
1.6333	0.1058
1.6333	0.1058
1.6333	0.1063
1.6333	0.1063

1.6333	0.1063
1.6333	0.1067
1.6333	0.1067
1.6333	0.1067
1.6333	0.1071
1.6333	0.1071
1.6333	0.1075
1.6333	0.1075
1.6333	0.1079
1.6333	0.1079
1.6987	0.1079
1.6987	0.1083
1.6987	0.1083
1.6987	0.1088
1.6987	0.1088
1.6987	0.1088
1.6987	0.1088

Datos del Dispositivo de lectura de Strain Gauges – Esfuerzo Radial y Deformación Unitaria Radial

Esfuerzo Radial (kg/cm ²)	Deformación Unitaria
0.0026	0.00000040
0.0016	0.00000021
0.0025	0.00000037
0.0039	0.00000055
0.0039	0.00000052
0.0044	0.00000057
0.0059	0.00000079
0.0068	0.00000090
0.0066	0.00000087
0.0065	0.00000084
0.0063	0.00000078
0.0066	0.00000083
0.0058	0.00000067
0.0064	0.00000076
0.0068	0.00000082
0.0068	0.00000082
0.0074	0.00000092
0.0086	0.00000107
0.0094	0.00000118
0.0121	0.00000159
0.0124	0.00000160
0.0117	0.00000150
0.0112	0.00000143
0.0109	0.00000135
0.0116	0.00000145
0.0114	0.00000142
0.0108	0.00000130
0.0111	0.00000134
0.0118	0.00000145
0.0122	0.00000147
0.0126	0.00000153
0.0120	0.00000144
0.0117	0.00000139
0.0118	0.00000138
0.0128	0.00000152
0.0134	0.00000161
0.0132	0.00000155
0.0136	0.00000161
0.0149	0.00000181
0.0154	0.00000186
0.0154	0.00000185
0.0157	0.00000189
0.0156	0.00000185

0.0150	0.00000176
0.0154	0.00000182
0.0167	0.00000198
0.0168	0.00000200
0.0170	0.00000203
0.0173	0.00000204
0.0170	0.00000199
0.0157	0.00000180
0.0169	0.00000194
0.0167	0.00000191
0.0169	0.00000195
0.0172	0.00000196
0.0176	0.00000202
0.0176	0.00000202
0.0176	0.00000199
0.0175	0.00000197
0.0171	0.00000190
0.0176	0.00000195
0.0182	0.00000205
0.0182	0.00000204
0.0192	0.00000216
0.0205	0.00000236
0.0209	0.00000242
0.0203	0.00000229
0.0210	0.00000239
0.0211	0.00000241
0.0224	0.00000257
0.0221	0.00000252
0.0225	0.00000258
0.0226	0.00000257
0.0227	0.00000258
0.0229	0.00000261
0.0232	0.00000262
0.0239	0.00000274
0.0243	0.00000279
0.0246	0.00000280
0.0251	0.00000288
0.0255	0.00000294
0.0257	0.00000294
0.0265	0.00000306
0.0266	0.00000307
0.0267	0.00000305
0.0272	0.00000313
0.0294	0.00000346
0.0291	0.00000337

0.0294	0.00000343
0.0297	0.00000348
0.0297	0.00000344
0.0299	0.00000346
0.0310	0.00000363
0.0312	0.00000364
0.0316	0.00000369
0.0309	0.00000358
0.0314	0.00000363
0.0328	0.00000383
0.0329	0.00000385
0.0331	0.00000385
0.0334	0.00000389
0.0333	0.00000388
0.0342	0.00000398
0.0348	0.00000407
0.0354	0.00000416
0.0360	0.00000422
0.0361	0.00000423
0.0357	0.00000417
0.0361	0.00000421
0.0361	0.00000420
0.0353	0.00000408
0.0364	0.00000422
0.0378	0.00000442
0.0381	0.00000446
0.0383	0.00000447
0.0389	0.00000456
0.0397	0.00000468
0.0394	0.00000460
0.0396	0.00000463
0.0415	0.00000491
0.0415	0.00000488
0.0426	0.00000505
0.0433	0.00000516
0.0444	0.00000532
0.0443	0.00000528
0.0447	0.00000533
0.0452	0.00000538
0.0459	0.00000548
0.0470	0.00000565
0.0480	0.00000576
0.0498	0.00000604
0.0502	0.00000610
0.0511	0.00000620

0.0517	0.00000628
0.0517	0.00000629
0.0526	0.00000639
0.0538	0.00000658
0.0552	0.00000678
0.0553	0.00000679
0.0558	0.00000684
0.0559	0.00000686
0.0560	0.00000684
0.0572	0.00000701
0.0580	0.00000714
0.0504	0.00000596
0.0572	0.00000698
0.0627	0.00000782
0.0657	0.00000823
0.0655	0.00000821
0.0641	0.00000800
0.0641	0.00000796
0.0633	0.00000784
0.0630	0.00000780
0.0633	0.00000780
0.0629	0.00000774
0.0636	0.00000785
0.0626	0.00000766
0.0640	0.00000788
0.0645	0.00000795
0.0657	0.00000810
0.0660	0.00000814
0.0668	0.00000827
0.0671	0.00000828
0.0677	0.00000837
0.0688	0.00000854
0.0697	0.00000863
0.0703	0.00000873
0.0713	0.00000888
0.0725	0.00000903
0.0718	0.00000892
0.0721	0.00000897
0.0730	0.00000907
0.0730	0.00000906
0.0741	0.00000924
0.0752	0.00000937
0.0764	0.00000955
0.0779	0.00000978
0.0787	0.00000986

0.0795	0.00000998
0.0817	0.00001032
0.0832	0.00001050
0.0837	0.00001058
0.0835	0.00001055
0.0842	0.00001062
0.0858	0.00001086
0.0866	0.00001099
0.0880	0.00001116
0.0889	0.00001130
0.0890	0.00001132
0.0883	0.00001118
0.0884	0.00001118
0.0893	0.00001133
0.0911	0.00001157
0.0914	0.00001162
0.0935	0.00001193
0.0958	0.00001224
0.0962	0.00001230
0.0975	0.00001249
0.0982	0.00001257
0.0977	0.00001250
0.0988	0.00001267
0.1003	0.00001286
0.1012	0.00001299
0.1022	0.00001315
0.1023	0.00001312
0.1026	0.00001317
0.1022	0.00001311
0.1027	0.00001315
0.1030	0.00001319
0.1034	0.00001326
0.1037	0.00001326
0.1054	0.00001353
0.1070	0.00001377
0.1080	0.00001389
0.1084	0.00001394
0.1086	0.00001397
0.1091	0.00001402
0.1093	0.00001404
0.1100	0.00001416
0.1105	0.00001420
0.1113	0.00001432
0.1119	0.00001441
0.1126	0.00001448

0.1142	0.00001473
0.1149	0.00001482
0.1156	0.00001489
0.1145	0.00001473
0.1150	0.00001480
0.1161	0.00001495
0.1169	0.00001506
0.1175	0.00001514
0.1181	0.00001521
0.1194	0.00001540
0.1202	0.00001553
0.1203	0.00001550
0.1210	0.00001562
0.1222	0.00001576
0.1233	0.00001593
0.1255	0.00001626
0.1264	0.00001639
0.1269	0.00001644
0.1279	0.00001659
0.1295	0.00001683
0.1307	0.00001697
0.1316	0.00001712
0.1325	0.00001725
0.1324	0.00001720
0.1329	0.00001727
0.1334	0.00001735
0.1333	0.00001731
0.1339	0.00001739
0.1344	0.00001747
0.1360	0.00001767
0.1367	0.00001778
0.1374	0.00001788
0.1383	0.00001799
0.1389	0.00001808
0.1402	0.00001828
0.1401	0.00001823
0.1407	0.00001832
0.1416	0.00001846
0.1424	0.00001855
0.1427	0.00001859
0.1435	0.00001870
0.1443	0.00001880
0.1452	0.00001892
0.1464	0.00001911
0.1473	0.00001922

0.1479	0.00001931
0.1488	0.00001944
0.1491	0.00001945
0.1503	0.00001963
0.1509	0.00001973
0.1511	0.00001972
0.1514	0.00001976
0.1521	0.00001987
0.1529	0.00001996
0.1531	0.00002000
0.1531	0.00001999
0.1540	0.00002009
0.1556	0.00002033
0.1571	0.00002055
0.1580	0.00002066
0.1586	0.00002075
0.1593	0.00002087
0.1598	0.00002089
0.1608	0.00002105
0.1616	0.00002117
0.1619	0.00002118
0.1621	0.00002121
0.1621	0.00002122
0.1634	0.00002137
0.1642	0.00002150
0.1655	0.00002170
0.1669	0.00002187
0.1680	0.00002204
0.1685	0.00002212
0.1694	0.00002221
0.1701	0.00002231
0.1706	0.00002239
0.1716	0.00002252
0.1737	0.00002283
0.1751	0.00002304
0.1757	0.00002310
0.1753	0.00002304
0.1751	0.00002301
0.1751	0.00002298
0.1756	0.00002306
0.1765	0.00002319
0.1768	0.00002321
0.1775	0.00002330
0.1783	0.00002343
0.1790	0.00002350

0.1800	0.00002365
0.1807	0.00002375
0.1814	0.00002383
0.1822	0.00002395
0.1824	0.00002398
0.1830	0.00002404
0.1842	0.00002421
0.1850	0.00002434
0.1860	0.00002445
0.1873	0.00002466
0.1878	0.00002473
0.1881	0.00002473
0.1884	0.00002478
0.1893	0.00002492
0.1903	0.00002503
0.1911	0.00002515
0.1912	0.00002517
0.1918	0.00002523
0.1926	0.00002535
0.1931	0.00002539
0.1938	0.00002550
0.1941	0.00002554
0.1947	0.00002564
0.1954	0.00002571
0.1970	0.00002594
0.1980	0.00002609
0.1993	0.00002627
0.2000	0.00002637
0.2014	0.00002657
0.2013	0.00002653
0.2022	0.00002666
0.2030	0.00002679
0.2047	0.00002701
0.2053	0.00002709
0.2053	0.00002710
0.2059	0.00002715
0.2068	0.00002730
0.2079	0.00002747
0.2085	0.00002752
0.2091	0.00002761
0.2093	0.00002764
0.2101	0.00002773
0.2104	0.00002777
0.2114	0.00002792
0.2121	0.00002799

0.2128	0.00002809
0.2138	0.00002825
0.2143	0.00002828
0.2154	0.00002845
0.2157	0.00002850
0.2165	0.00002859
0.2169	0.00002865
0.2172	0.00002870
0.2185	0.00002885
0.2191	0.00002895
0.2201	0.00002911
0.2207	0.00002915
0.2215	0.00002928
0.2223	0.00002940
0.2227	0.00002943
0.2235	0.00002954
0.2246	0.00002972
0.2256	0.00002983
0.2268	0.00003001
0.2275	0.00003012
0.2283	0.00003021
0.2287	0.00003027
0.2295	0.00003039
0.2305	0.00003050
0.2312	0.00003061
0.2326	0.00003078
0.2334	0.00003091
0.2339	0.00003097
0.2342	0.00003102
0.2353	0.00003116
0.2361	0.00003128
0.2361	0.00003128
0.2364	0.00003130
0.2370	0.00003139
0.2378	0.00003151
0.2389	0.00003163
0.2395	0.00003173
0.2391	0.00003167
0.2397	0.00003172
0.2397	0.00003173
0.2408	0.00003188
0.2423	0.00003208
0.2437	0.00003229
0.2448	0.00003247
0.2455	0.00003253

0.2460	0.00003260
0.2459	0.00003259
0.2458	0.00003254
0.2468	0.00003269
0.2475	0.00003280
0.2476	0.00003278
0.2489	0.00003297
0.2506	0.00003323
0.2501	0.00003313
0.2504	0.00003317
0.2513	0.00003331
0.2516	0.00003332
0.2524	0.00003344
0.2528	0.00003350
0.2539	0.00003363
0.2550	0.00003379
0.2563	0.00003399
0.2572	0.00003410
0.2583	0.00003426
0.2587	0.00003433
0.2592	0.00003437
0.2594	0.00003439
0.2599	0.00003447
0.2600	0.00003445
0.2610	0.00003460
0.2625	0.00003483
0.2637	0.00003497
0.2645	0.00003510
0.2655	0.00003525
0.2657	0.00003524
0.2666	0.00003538
0.2669	0.00003542
0.2676	0.00003550
0.2681	0.00003557
0.2681	0.00003558
0.2692	0.00003570
0.2694	0.00003574
0.2698	0.00003576
0.2708	0.00003591
0.2709	0.00003590
0.2717	0.00003602
0.2723	0.00003611
0.2726	0.00003615
0.2730	0.00003618

0.2734	0.00003624
0.2735	0.00003622
0.2744	0.00003636
0.2754	0.00003651
0.2761	0.00003661
0.2765	0.00003665
0.2764	0.00003662
0.2767	0.00003668
0.2773	0.00003672
0.2788	0.00003696
0.2796	0.00003707
0.2799	0.00003709
0.2803	0.00003714
0.2811	0.00003727
0.2815	0.00003730
0.2821	0.00003738
0.2821	0.00003739
0.2821	0.00003735
0.2829	0.00003745
0.2843	0.00003765
0.2844	0.00003767
0.2845	0.00003764
0.2847	0.00003768
0.2857	0.00003783
0.2860	0.00003783
0.2878	0.00003811
0.2881	0.00003815
0.2887	0.00003821
0.2889	0.00003824
0.2901	0.00003842
0.2903	0.00003843
0.2905	0.00003845
0.2915	0.00003861
0.2913	0.00003854
0.2912	0.00003853
0.2924	0.00003868
0.2931	0.00003878
0.2930	0.00003877
0.2933	0.00003881
0.2948	0.00003900
0.2956	0.00003912
0.2963	0.00003922
0.2975	0.00003937

0.2992	0.00003963
0.2998	0.00003972
0.2999	0.00003971
0.3008	0.00003984
0.3010	0.00003983
0.3016	0.00003993
0.3017	0.00003995
0.3026	0.00004004
0.3030	0.00004011
0.3041	0.00004027
0.3047	0.00004036
0.3046	0.00004032
0.3055	0.00004045
0.3068	0.00004061
0.3075	0.00004072
0.3076	0.00004074
0.3079	0.00004078
0.3081	0.00004078
0.3082	0.00004079
0.3082	0.00004079
0.3088	0.00004085
0.3094	0.00004094
0.3100	0.00004103
0.3104	0.00004105
0.3108	0.00004112
0.3110	0.00004115
0.3116	0.00004121
0.3116	0.00004120
0.3128	0.00004134
0.3135	0.00004145
0.3136	0.00004147
0.3136	0.00004147
0.3138	0.00004146
0.3148	0.00004162
0.3152	0.00004168
0.3159	0.00004175
0.3157	0.00004172
0.3168	0.00004189
0.3174	0.00004194
0.3189	0.00004217
0.3200	0.00004233
0.3203	0.00004235
0.3210	0.00004246
0.3209	0.00004243
0.3212	0.00004245

0.3209	0.00004240
0.3208	0.00004239
0.3213	0.00004244
0.3208	0.00004235
0.3202	0.00004226
0.3210	0.00004235
0.3216	0.00004244
0.3220	0.00004250
0.3222	0.00004249
0.3232	0.00004265
0.3244	0.00004284
0.3249	0.00004287
0.3251	0.00004291
0.3257	0.00004300
0.3264	0.00004307
0.3274	0.00004321
0.3248	0.00004279
0.3239	0.00004265
0.3245	0.00004275
0.3247	0.00004278
0.3256	0.00004288
0.3259	0.00004292
0.3260	0.00004293
0.3269	0.00004303
0.3280	0.00004320
0.3287	0.00004331
0.3292	0.00004335
0.3295	0.00004340
0.3295	0.00004340
0.3313	0.00004363
0.3327	0.00004385
0.3332	0.00004392
0.3338	0.00004398
0.3338	0.00004398
0.3337	0.00004397
0.3345	0.00004405
0.3358	0.00004424
0.3362	0.00004430
0.3369	0.00004438
0.3378	0.00004451
0.3387	0.00004466
0.3385	0.00004459
0.3392	0.00004470
0.3395	0.00004474
0.3398	0.00004476

0.3402	0.00004481
0.3410	0.00004493
0.3411	0.00004492
0.3413	0.00004494
0.3422	0.00004505
0.3428	0.00004514
0.3434	0.00004523
0.3444	0.00004537
0.3453	0.00004548
0.3466	0.00004568
0.3469	0.00004572
0.3471	0.00004572
0.3479	0.00004584
0.3485	0.00004589
0.3493	0.00004602
0.3490	0.00004597
0.3491	0.00004596
0.3496	0.00004602
0.3493	0.00004598
0.3492	0.00004597
0.3492	0.00004594
0.3507	0.00004617
0.3516	0.00004626
0.3521	0.00004634
0.3525	0.00004640
0.3534	0.00004650
0.3535	0.00004651
0.3541	0.00004660
0.3554	0.00004681
0.3566	0.00004695
0.3572	0.00004705
0.3577	0.00004712
0.3585	0.00004720
0.3598	0.00004740
0.3601	0.00004742
0.3607	0.00004750
0.3611	0.00004757
0.3616	0.00004764
0.3611	0.00004754
0.3615	0.00004759
0.3620	0.00004763
0.3622	0.00004767
0.3624	0.00004769
0.3625	0.00004770
0.3631	0.00004776

0.3640	0.00004791
0.3639	0.00004788
0.3646	0.00004795
0.3653	0.00004806
0.3666	0.00004826
0.3677	0.00004839
0.3676	0.00004837
0.3686	0.00004852
0.3699	0.00004869
0.3707	0.00004881
0.3706	0.00004880
0.3712	0.00004885
0.3716	0.00004892
0.3726	0.00004903
0.3736	0.00004918
0.3745	0.00004932
0.3753	0.00004943
0.3761	0.00004953
0.3766	0.00004960
0.3776	0.00004972
0.3787	0.00004989
0.3796	0.00005002
0.3804	0.00005014
0.3806	0.00005014
0.3818	0.00005031
0.3826	0.00005040
0.3839	0.00005060
0.3843	0.00005067
0.3850	0.00005077
0.3854	0.00005080
0.3868	0.00005100
0.3879	0.00005118
0.3883	0.00005120
0.3892	0.00005134
0.3904	0.00005151
0.3905	0.00005150
0.3912	0.00005161
0.3924	0.00005179
0.3927	0.00005180
0.3935	0.00005192
0.3947	0.00005210
0.3954	0.00005217
0.3959	0.00005225
0.3967	0.00005237
0.3981	0.00005255

0.3987	0.00005264
0.3997	0.00005279
0.4007	0.00005290
0.4013	0.00005300
0.4022	0.00005314
0.4028	0.00005319
0.4044	0.00005343
0.4056	0.00005362
0.4064	0.00005370
0.4076	0.00005387
0.4082	0.00005398
0.4096	0.00005415
0.4114	0.00005442
0.4122	0.00005454
0.4128	0.00005459
0.4135	0.00005471
0.4143	0.00005482
0.4150	0.00005490
0.4169	0.00005518
0.4188	0.00005547
0.4201	0.00005564
0.4210	0.00005576
0.4220	0.00005593
0.4228	0.00005600
0.4244	0.00005626
0.4256	0.00005644
0.4265	0.00005653
0.4273	0.00005666
0.4286	0.00005686
0.4304	0.00005709
0.4322	0.00005737
0.4339	0.00005759
0.4351	0.00005776
0.4364	0.00005797
0.4374	0.00005811
0.4382	0.00005820
0.4395	0.00005840
0.4409	0.00005861
0.4424	0.00005880
0.4438	0.00005902
0.4452	0.00005922
0.4466	0.00005940
0.4482	0.00005964
0.4496	0.00005983
0.4511	0.00006005

0.4520	0.00006018
0.4533	0.00006038
0.4544	0.00006052
0.4557	0.00006071
0.4572	0.00006093
0.4584	0.00006108
0.4600	0.00006133
0.4617	0.00006159
0.4633	0.00006179
0.4645	0.00006197
0.4663	0.00006225
0.4679	0.00006245
0.4691	0.00006264
0.4708	0.00006286
0.4724	0.00006310
0.4741	0.00006336
0.4757	0.00006360
0.4773	0.00006381
0.4797	0.00006417
0.4815	0.00006445
0.4832	0.00006466
0.4851	0.00006495
0.4870	0.00006524
0.4887	0.00006546
0.4905	0.00006573
0.4921	0.00006594
0.4941	0.00006625
0.4964	0.00006659
0.4980	0.00006684
0.5007	0.00006721
0.5038	0.00006768
0.5058	0.00006798
0.5074	0.00006819
0.5095	0.00006850
0.5117	0.00006884
0.5135	0.00006908
0.5165	0.00006953
0.5189	0.00006989
0.5214	0.00007023
0.5227	0.00007043
0.5242	0.00007066
0.5258	0.00007087
0.5276	0.00007113
0.5299	0.00007149
0.5319	0.00007176

0.5338	0.00007204
0.5355	0.00007230
0.5373	0.00007253
0.5391	0.00007280
0.5408	0.00007307
0.5415	0.00007314
0.5421	0.00007322
0.5435	0.00007344
0.5448	0.00007360
0.5455	0.00007371
0.5460	0.00007379
0.5470	0.00007390
0.5483	0.00007409
0.5493	0.00007424
0.5503	0.00007436
0.5515	0.00007455
0.5520	0.00007459
0.5529	0.00007473
0.5541	0.00007491
0.5560	0.00007519
0.5577	0.00007542
0.5592	0.00007564
0.5604	0.00007583
0.5615	0.00007596
0.5630	0.00007619
0.5641	0.00007635
0.5647	0.00007641
0.5645	0.00007638
0.7239	0.00010044
0.7242	0.00010049
0.7330	0.00010182
0.7419	0.00010312
0.7507	0.00010445
0.7595	0.00010579
0.7683	0.00010708
0.7771	0.00010842
0.7859	0.00010975
0.7948	0.00011105
0.8036	0.00011238
0.8124	0.00011371
0.8212	0.00011501
0.8300	0.00011634
0.8388	0.00011768
0.8476	0.00011898

