

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE
HUAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS GEOLOGÍA Y
CIVIL
ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE
INGENIERÍA CIVIL



**Evaluación del diseño de losas cortas(TCP)
en pavimentos según tensiones**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

HAMILTON MENDOZA GARCÍA

DIRIGIDO POR:

ING. EDMUNDO CANCHARI GUTIÉRREZ

AYACUCHO - PERÚ

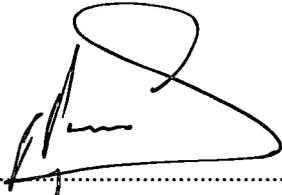
2015

lesin
Civ 441
Men
E.L

**“EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE LOSAS CORTAS (TCP) EN PAVI-
MENTOS SEGÚN TENSIONES”**

RECOMENDADO : 15 de Julio del 2015

APROBADO : 17 de Agosto del 2015



.....
MSc. Ing. Carlos A. PRADO PRADO
(Presidente)



.....
MSc. Ing. José E. ESTRADA CÁRDENAS
(Miembro)

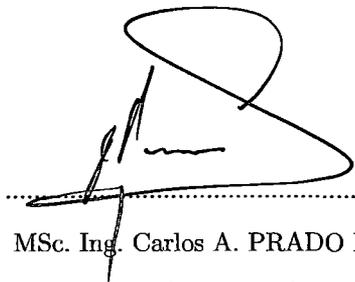


.....
Ing. Edmundo CANCHARI GUTIÉRREZ
(Miembro)



.....
Ing. Floro N. YANGALI GUERRA
(Secretario Docente)

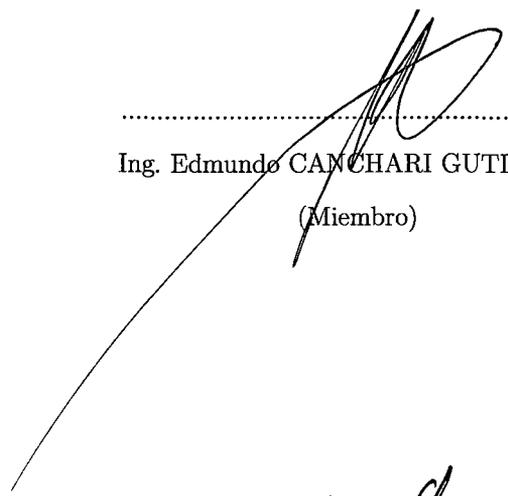
Según el acuerdo constatado en el Acta, levantado el 17 de Agosto del 2015, en la Sustentación de Tesis presentado por el Bachiller en Ciencias de la Ingeniería Civil Sr. **Hamilton MENDOZA GARCÍA**, con la Tesis Titulado “**EVALUACIÓN DEL DISEÑO DE LOSAS CORTAS (TCP) EN PAVIMENTOS SEGÚN TENSIONES**”, fue calificada con la nota de **QUINCE (15)** por lo que se da la respectiva **APROBACIÓN**.



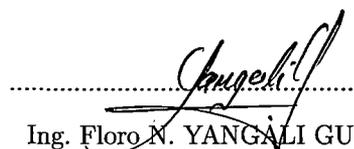
.....
MSc. Ing. Carlos A. PRADO PRADO
(Presidente)



.....
MSc. Ing. José E. ESTRADA CÁRDENAS
(Miembro)



.....
Ing. Edmundo CANCHARI GUTIÉRREZ
(Miembro)



.....
Ing. Floro N. YANGALI GUERRA
(Secretario Docente)

Dedicatoria

A DIOS por iluminar y bendecir mi camino.

A mis Padres: Lauro Mendoza Rojas y Margarita García Huaman por darme la vida, educación y amor incondicional.

A mi hermano: Wilmer, por ser parte de mi alegría, tristeza, fracasos y logros de todos estos años de mi vida.

A mis tíos, por sus consejos y orientaciones

Presentación

Esta tesis que lleva por título *Evaluación del Diseño de Losas Cortas (TCP) en Pavimentos Según Tensiones*, es presentado como parte de los requisitos para optar el título profesional de Ingeniero Civil, de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga y no ha sido presentado previamente para la obtención de otro grado o título en esta universidad u otras. Esperando que este aporte sirva a los profesionales y estudiantes inmersos en este campo. La misma contiene los resultados obtenidos en investigaciones llevadas a cabo en el periodo 2014-2015.

HAMILTON. MENDOZA GARCÍA

hamilmg5@hotmail.com

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

AYACUCHO, 28 DE AGOSTO DE 2015

Agradecimientos

A los docentes de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga - Facultad de Ingeniería de Minas Geología y Civil, por su contribución durante mi desarrollo académico y profesional.

Al Ingeniero Edmundo Canchari Gutiérrez, por la paciencia y comprensión en la asesoría del presente tema de investigación.

A la municipalidad distrital de Jesus de Nazareno, al area de obras por facilitarme información sobre el proyecto Villa San Cristóbal en especial al Sr. Adriel Valenzuela Pillihuaman.

Al laboratorio INGEOTECN, en especial al ingeniero Víctor Portal, por sus orientaciones y por sus consejos.

A la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, forjadora de excelentes profesionales al servicio de la sociedad y del país.

A Fabiola, por brindarme esta tranquilidad en mis momentos de desesperación por culminar la tesis.

Y a todas aquellas personas que de una u otra manera, colaboraron o participaron en la realización de esta investigación, hago extensivo mi más sincero agradecimiento

Resumen

En la presente investigación se desarrollo el estudio las losas cortas TCP, para ello se realizo la recolección de información del material de préstamo, diseño de mezcla y resultados de resistencia de rotura del concreto. A si mismo se realizaron cálculos para determinar el coeficientes de balasto 'k' de la subbase según el Manual de Carreteras (sección suelos y pavimentos) y las variaciones de temperatura con las formulas empleadas en E.E U.U las cuales están ajustadas a su realidad, pero para la presente investigación se usaron datos de la realidad de la región. Con ello se determino los gradientes de temperatura $^{\circ}c/cm$ positiva y negativa, y por último se realizo la distribución de cargas por eje del camión C3.

Para el diseño TCP se verifico que las propiedades que deben de cumplir los materiales de préstamo es contener material fino menor o igual al 8% esto se logra cuando el material se encuentra dentro de la gradación 'A', la cantera analizada para el proyecto Villa San Cristóbal cumple con estas propiedades por ello fue considerado como apto para el presente diseño. Con todos los datos recabados se realizaron los análisis con el software SAP 2000 encontrándose resultados de tensiones para el diseño TCP menores que al diseño de AASHTO ello se logro con la reducción de las dimensiones de las losas esto permitió a que las ruedas o un set de ruedas actúen de manera independiente en cada losa lo cual no ocurre en el AASHTO. Estas reducciones de tensiones permitieron reducir los espesores en 3 cm con ello se logro obtener tensiones semejantes a los obtenidos en losas tradicionales. En cuanto a deformaciones por carga resultaron ser mayores, mientras para las deformaciones por alabeo resultaron ser menores a los obtenidos por diseño tradicional.

Índice general

Portada	I
Acta de Sustentación	
Presentación	I
Dedicatoria	II
Agradecimientos	III
Resumen	IV
Índice General	V
Índice de Cuadros	X
Índice de Figuras	XIII
1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Selección y definición del problema	3
1.3. Planteamiento del problema	4
1.3.1. Problema Principal	5
1.3.2. Problemas Secundarios	5
1.4. Justificación e Importancia	6
1.5. Objetivos de la Tesis	7

1.5.1. Objetivos Generales	7
1.5.2. Objetivos Específicos	7
1.6. Organización del Estudio	7
2. Estado del Arte de los Pavimentos	10
2.1. Descripción y Función de los Pavimentos	11
2.2. Fundamento teórico de pavimentos de concreto	12
2.2.1. El pavimento de concreto en el mundo	12
2.2.2. Problemática de los pavimentos de concreto en el Perú	14
2.3. Estructura de pavimentos rígidos	16
2.3.1. Subrasante	17
2.3.2. Subbase	17
2.3.3. Losa de Concreto	19
2.4. Factores Para el Diseño de los Pavimentos	20
2.4.1. Tráfico	20
2.4.2. Estudio de los Suelos	25
2.4.3. Clima	30
2.4.4. Materiales	30
2.5. Método AASHTO para el Diseño de Pavimento	34
3. Diseño de Pavimentos de Losas Cortas TCP	44
3.1. Consideraciones Generales	44
3.2. Bases teóricos de pavimentos tipo TCP	45
3.3. Concepto de Diseño de Losas con Geometría Optimizada TCP	48
3.4. Funcionamiento de las Losas Cortas	49
3.5. Factores que afectan el comportamiento de los pavimentos de Concreto	50
3.5.1. Efecto de la rigidez de la subbase en el largo del voladizo y tensiones de tracción	50
3.5.2. Efecto del largo de la losa	51
3.5.3. Efecto del alabeo en las losas de concreto	51

3.5.4.	Efecto de las barras de amarre entre pistas en el agrietamiento	54
3.5.5.	Tensiones en losas cortas	55
3.6.	Metodología Diseño TCP	56
3.6.1.	Modelación Suelo	58
3.7.	Factores y parámetros para el Diseño TCP	59
3.7.1.	Largo de la Losa	59
3.7.2.	Tensiones en el Concreto	60
3.7.3.	Daño de fatiga en un punto determinado	61
3.8.	Método TCP para el Diseño de Pavimento	63
4.	Utilización del programa SAP2000 para determinación de esfuerzos en losas de concreto TCP y tradicional	74
4.1.	Generalidades	74
4.2.	Procedimiento para la obtención de tensiones en pavimentos rígidos de losas cortas (TCP) y convencionales	75
4.2.1.	Selección y recopilación de los ensayos realizados a nivel de subrasante	75
4.2.2.	Selección y recopilación de los ensayos realizados a nivel de subbase	77
4.2.3.	Selección del diseño de mezcla	82
4.2.4.	Determinación de carga por tráfico	84
4.2.5.	Determinación de las propiedades de los materiales del concreto	88
4.2.6.	Cálculos realizados con los datos obtención del proyecto Villa San Cristóbal	89
4.2.7.	Aplicación del programa SAP2000 para determinación de tensiones en pavimentos rígidos	89
5.	Aplicación Práctica a un Proyecto Local y Propuesta con Diseño de Losas Cortas 'TCP'	95
5.1.	Generalidades	95

5.2. Proyecto Villa San Cristóbal	96
5.2.1. Ubicación	96
5.2.2. Características del Proyecto	96
5.2.3. Diseño Estructural del Pavimento del Proyecto	97
5.2.4. Diseño de Mezcla del Proyecto en Aplicación	103
5.3. Propuesta con Diseño de Losas Cortas TCP	105
5.3.1. Propiedades a nivel subrasante del terreno de fundación	105
5.3.2. Propiedades a nivel subbase (Material de préstamo)	106
5.3.3. Propiedad de los Concretos	108
5.3.4. Funcionabilidad de los pavimentos TCP	110
5.3.5. Procedimiento de trabajo para el diseño TCP	115
5.3.6. Determinación de esfuerzos (Tensiones) en los pavimentos	117
6. Análisis y Discusión de Resultados	120
6.1. Evaluación del Material de Préstamo	120
6.1.1. Subbase (Cantera Chillico)	120
6.2. Tensiones por carga en losas para el diseño AASHTO y TCP	122
6.2.1. Tensiones en losas para el Jr. Gutiérrez y Jr. La Mar	123
6.2.2. Tensiones en losas para el Jr. Cabuyales	124
6.2.3. Tensiones en losas para el Jr. Acuña y Santa Rosa	125
6.2.4. Deformaciones por cargas dinámicas del camión	128
6.3. Tensiones por variación de temperatura para el AASHTO Y TCP	128
6.3.1. Tensiones por ΔT °C (+)	129
6.3.2. Tensiones por ΔT °C (-)	130
6.3.3. Deformaciones por ΔT °C (+)	131
6.3.4. Deformaciones por ΔT °C (-)	131
7. Conclusiones y Recomendaciones	133
7.1. Conclusiones	133
7.2. Recomendaciones	136

7.3. Temas Afines de Investigación	137
Referencias	138
A. TENSIONES Y DEFORMACIONES OBTENIDAS CON EL SAP 2000	141
B. ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS DEL PROYECTO EN APLICACIÓN	151
C. ANÁLISIS DE CANTERA PARA MATERIAL DE SUB BASE DEL PROYECTO EN APLICACIÓN	155
D. DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN	165
E. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS DEL PROYECTO EN APLICACIÓN	183
F. PANEL FOTOGRÁFICO	187
F.1. Medidas de las Dimensiones del camión C3	188
F.2. losas del proyecto "Villa San Cristóbal"	190

Índice de cuadros

2.1. Requerimientos Granulométricos para Subbase Granular	19
2.2. Requerimientos de Ensayos Especiales	19
2.3. Factores de Distribución Direccional y de Carril	22
2.4. Relaciones para factores equivalentes de carga para Pavimentos Rígidos	23
2.5. Clasificación de suelos según tamaño de partículas	27
2.6. Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad	27
2.7. Clasificación de suelos según Índice de Grupo	28
2.8. Correlación de tipos de suelos AASHTO - SUCS	28
2.9. Categorías de subrasante	29
2.10. Granulometría del agregado fino para pavimentos de concreto hidráulico	32
2.11. Valores máximos de sales y sustancias contenidos en el agua	33
2.12. Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad (R) y Desviación Estándar Normal (Z_r) Para una sola etapa de 20 años según rango de Tráfico	37
2.13. Calificación de la serviciabilidad.	37
2.14. Índice de serviciabilidad final	38
2.15. Valores recomendados del coeficiente de drenaje C_d	42
2.16. Valores de coeficiente de transmisión de cargas J	43
3.1. Tensiones por peso propio de las losas para diferentes geometrías y espesores	57
3.2. Porcentaje de Pasadas	65

ÍNDICE DE CUADROS

3.3. Distribución de Ejes	66
3.4. Daño Admitido (TTracks)	66
3.5. Resistencia a la flexotracción característica (80 %)	68
3.6. Parámetros de diseño	69
3.7. Factores de ajuste por tipo de borde	69
3.8. Transferencia de carga	71
3.9. Índice de rugosidad internacional	72
4.1. PDC-2 Por la C-2 (Jr. Gutierrez con Jr. La Mar)	76
4.2. PDC-1 Por la C-1 (Jr. Cabuyales)	76
4.3. PDC-4 Por la C-4 (Jr. Victor Acuña con Jr. Santa Rosa)	76
4.4. Análisis Granulométrico por Tamizado	77
4.5. Clasificación de los materiales de acuerdo a sus características	78
4.6. Índice de plasticidad	78
4.7. Clasificación del material granular	79
4.8. Resultado de Abrasión Los Ángeles	80
4.9. Valor obtenido CBR	81
4.10. Valor del óptimo contenido de humedad	81
4.11. Resumen de los ensayos del material de subbase	82
4.12. Propiedades físicas del agregado usado en la investigación	83
4.13. Proporciones del diseño de mezcla por metro cúbico de concreto de materiales secos	83
4.14. Conteo vehicular por tipo de vehículo	84
4.15. Valor de tolerancias eje simple y doble	85
4.16. Dimensiones vehiculares largo, ancho y alto	86
4.17. Caracterización de las mezclas de concreto	88
4.18. Cálculos Obtenidos	90
5.1. Clasificación de material de la subrasante	98
5.2. Ensayo Proctor Modificado	98

ÍNDICE DE CUADROS

5.3. Ensayo de CBR de laboratorio	99
5.4. Características del CBR	99
5.5. Reemplazo de subrasante con material clasificado	99
5.6. Resumen de los ensayos del material de subbase	100
5.7. Conteo vehicular por tipo de vehículo	101
5.8. Resumen del calculo del ESAL de diseño	102
5.9. Proporciones del diseño de mezcla por metro cúbico de concreto de materiales secos	104
5.10. Dosificación en peso seco.	104
5.11. Dosificación en volumen corregido por humedad.	104
5.12. Material de subrasante	106
5.13. Material de subrasante	106
5.14. Requerimientos Granulométricos para Subbase Granular	107
5.15. Bandas Granulométricas para subbase, Bases y Capas de Rodadura .	107
5.16. Cuadro Comparativo del Manual de Carreteras Perú - Chile	108
5.17. Relación Agua Cemento	109
5.18. Resistencia a la flexotracción característica (80%)	110
5.19. Parámetros de diseño	110
5.20. MTC - 2013 y Manual de Carreteras - Chile para TCP	116
6.1. Deformación en la dirección 'Z'	128
6.2. Deformación en la dirección 'Z'	131
6.3. Deformación en la dirección 'Z'	132

Índice de figuras

2.1. Problemática de la RVN, Fuente: UNACEM	16
2.2. Sección típica de un pavimento rígido	16
2.3. Bombeo de un pavimento rígido	18
2.4. Caracterización Vehicular, Fuente: MTC, 2013	20
2.5. Configuración de Ejes. (<i>Fuente:</i> MTC, 2013, p.78)[16]	21
2.6. Caracterización Vehicular, Fuente: MTC, 2013	24
2.7. Correlación CBR y módulo de reacción de la subrasante (AASHTO-93)	40
3.1. Tesis Estación y Valverde (P.19)	46
3.2. Tesis Estación y Valverde (P.21)	47
3.3. Tesis Estación y Valverde (P.22)	47
3.4. Tesis Estación y Valverde (P.23)	48
3.5. Tesis Estación y Valverde (P.23)	48
3.6. Fuente: Illonis Center For Transportation. Performance Of Concrete Pavements With Optimized Slab Geometry, Agosto 2009.	49
3.7. Tesis S. BURBOA (P.16)	50
3.8. Tesis S. BURBOA (P.16)	50
3.9. Tesis S. BURBOA (P.16)	51
3.10. Tesis S. BURBOA (P.17)	52
3.11. Fuente: TCPavements (innovación en pavimentos)	53
3.12. Fuente: Tesis S. BURBOA (P.18)	54
3.13. Fuente: Tesis S. BURBOA (P.19)	55

ÍNDICE DE FIGURAS

3.14. Fuente: Tesis S. BURBOA (P.19)	56
3.15. Fuente: Tesis S. BURBOA (P.21)	56
3.16. Fuente: TCPavements (innovación en pavimentos)	58
3.17. Fuente: TCPavements (innovación en pavimentos)	59
3.18. Fuente: TCPavements (innovación en pavimentos)	61
3.19. Fuente: Estación y Valverde (2012, P.25)[8]	64
3.20. Fuente: Estación y Valverde (2012, P.25)[8]	64
3.21. Fuente: Dirección de Vialidad (2012)[13]	67
4.1. Fuente: Resultado del ensayo INGEOTECON	80
4.2. Fuente: Asociación de Representantes Automotrices del Perú-2013 . .	85
4.3. Fuente: Pavimentos industriales (2010 P.16)	86
4.4. Fuente: Asociación de Representantes Automotrices del Perú-2013 . .	87
4.5. Peso por eje cargados SAP 2000	91
4.6. Eje vehicular SAP 2000	92
4.7. Propiedades del concreto SAP 2000	92
4.8. valor del coeficiente de balasto SAP 2000	93
4.9. Reducción del espesor de la losa SAP 2000	93
4.10. Se está cargando el valor de gradiente positivo (+0.745) SAP 2000 . .	94
4.11. Se está cargando el valor de gradiente negativo (-0.66) SAP 2000 . . .	94
5.1. Imagen satelital de la ubicación del proyecto	97
5.2. Fuente: Pavimentos en concreto de losas con dimensiones optimizadas [9]	113
5.3. Fuente: Pavimentos de geometría optimizada [23]	114
5.4. tensiones AASHTO y TCP Jr. Gutiérrez por SAP 2000	117
5.5. tensiones AASHTO Jr. Cabuyales por SAP 2000	118
5.6. tensiones TCP Jr. Cabuyales por SAP 2000	118
5.7. tensiones AASHTO Jr. Acuña por SAP 2000	119
5.8. tensiones TCP Jr. Acuña por SAP 2000	119

ÍNDICE DE FIGURAS

6.1. Curva de la distribución granulométrica de la subbase.	121
6.2. Tensiones vs Longitud y espesor Jr. Gutiérrez y la Mar	124
6.3. Tensiones vs Longitud y espesor Jr. Cabuyales	125
6.4. Tensiones vs Longitud y espesor Jr. Acuña y Santa Rosa	126
6.5. Tensiones en función al coeficiente de balasto 'K'	127
6.6. Tensiones en función a ΔT °C (+)	130
6.7. Tensiones en función a ΔT °C (-)	131
F.1. Vista del camión C3	188
F.2. Medida de la longitud de los ejes delanteros y posteriores del camión C3	188
F.3. Indicando la capacidad de carga del camión C3	189
F.4. Medida de la longitud en el eje tándem del camión C3	189
F.5. Medición de las losas del jirón Cabuyales	190
F.6. Medición de largo de la losa del jirón Cabuyales	190
F.7. Medición de ancho de la losa del jirón Cabuyales	191
F.8. Medición de largo de la losa del jirón La Mar	191
F.9. Medición del Ancho de la losa del jirón Acuña	192
F.10. Medición de Ancho de la junta	192

Capítulo 1

Introducción

1.1. Antecedentes

La ingeniería se encuentra en constante evolución, tal es así que se han incluido nuevos conceptos ya sea en la fase de diseño, construcción o mantenimiento en los pavimentos. En el medio es frecuente el empleo de pavimentos con concreto hidráulico convencional¹, ya sea en zonas urbanas o vías de comunicación vecinal.

El diseño de Losas Cortas (TCP) es una alternativa de pavimento que brindara mejor comportamiento que los diseños tradicionales, pero también cabe destacar que es una investigación Chilena realizado por el ICH Instituto del Cemento y Hormigón de Chile, su teoría se basa en reducir tensiones. Ello se logra mediante cortes adecuados realizados en la parte superior de la losa. Estas nuevas dimensiones de menor longitud hacen que actué una rueda por losa, esto genera que la tensión se desplace a otra parte de la losa y bajen. Este tipo de diseño esta patentado en 30 países de mundo como EE.UU., SUDÁFRICA, RUSIA, AUSTRALIA etc. Asi mismo el presente diseño plantea mejoras a nivel de subbase con material granular con minima presencia de finos, en caso de tener una subrasante con mucho material fino

¹Se denomina concreto hidráulico convencional por que tiene una amplia utilización en obras de concreto mas comunes y usualmente esta compuesto por cemento (generalmente Portland), áridos(grueso y delgado) y una proporción adecuada de agua.

y subbase extremadamente rígido, se recomienda colocar geotextil grueso², sobre la capa granular o asfalto para acomodar mejor la losa.

Dr. Ricardo Salsilli Marúa - U. de Chile [21] Seminario Internacional. Pavimentos de Losas Cortas, Optimizando la Infraestructura Vial con Concreto: Conceptos Asociados a las Pavimentos de Losas Cortas. presenta en su exposición la base y el fundamento de la metodología de diseño que se debería de usar en una losa corta, que en esencia es la misma metodología general que debería usarse en el diseño de pavimento de concreto.

Dr. Juan Pablo Covarrubias, Santiago 30-31 Marzo 2012 [5] Seminario Internacional. Ultimas Tecnologías en Diseño y Construcción de pavimentos de Concreto, el tema tratado en dicha ponencia fue: Mejores Practicas Constructivas de pavimentos de Hormigón.

M. Sc Mauricio Salgado Torres, Marzo 2012 [20], Seminario Internacional. Pavimentos de losas Cortas Optimizando la Infraestructura Vial con Concreto, tema expuesto: Experiencias de Aplicación de losas cortas. El Instituto de Cemento y Concreto de Chile (ICH) es promotor del concreto y las losas cortas están dentro de ellas, las primeras licitaciones que se ganaron con este diseño son: Constructora Vilicic. S.A Mejoramiento Ruta 257CH Sector Cerro Sombrero-Onaissin, Provincia de la Tierra de Fuego en el Sur de Chile Tramo 0.000-15,300 y Constructora SALFA Reposición Ruta M50 Cauquenes - Chanco Tramo 2, Sector Tutuvén - Chanco. Hoy en día se tiene empresas que están considerando el nuevo diseño TCP en los países donde se encuentran patentados.

Pablo Luis Enrique Navarrete Saravia (2008)[7]- Universidad de el Salvador Centro America, realizó una investigación sobre Variables de Entrada al proceso de Diseño

²Producto fabricado a base de fibras sintéticas no biodegradables, enlazadas entre si por medio de procesos mecánicos y térmico. Se caracteriza por su estructura permeable, y su gran resistencia a la tensión, desgarre y deterioro químico

1.2. Selección y definición del problema

de Pavimentos Rígidos Utilizando Métodos Mecanicista, esto como parte de la obtención del título de ingeniero civil. En este trabajo plante las variables que tienen que ser considerados para realizar un diseño mecanicista y la aplicación del programa SAP 2000 en el Diseño de Pavimento Rígidos.

Ing. Civil Luis Rolando Román Avila (2008)[19]- Universidad de San Carlos de Guatemala, realizó una investigación sobre Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico, esto como parte de la obtención del título como Maestro en Ciencia de Ingeniería Vial.

O. E. ESTACIÓN. y D. O. VALVERDE. (2012) [8] - Universidad Nacional del Santa, Chimbote - Perú, realizó una investigación sobre Aplicación de la Tecnología de Pavimento TCP en las Calles 56 y 78 de la Habilitación Urbana Paseo Del Mar - Nuevo Chimbote - Ancash - Perú. Esto como parte de la obtención del título de ingeniero civil.

1.2. Selección y definición del problema

La necesidad de tener mejores vías pavimentadas que permitan un desplazamiento rápido y seguro ya sea una red urbana, rural y carreteras; lleva a evaluar las condiciones actuales en las que se encuentran los pavimentos rígidos y buscar nuevas alternativas de solución. El tener vías en malas condiciones de serviciabilidad genera consigo nuevos problemas como son un aumento en el tiempo de viaje, contaminación por presencia de polvo y acumulación de charcos de agua debido a agrietamiento y erosiones que se generan en los pavimentos. Los diseños establecidos por la MTC-2013, utiliza las metodologías del AASHTO 93 y el PCA. Son los más empleados, pero las características principales que generan las fallas en estos diseños son las dimensiones de las losas las cuales tienden a recibir el esfuerzo generado por las

1.3. Planteamiento del problema

ruedas en los extremos, esto ocasiona a que se tenga mayores tensiones, generando la aparición de fisura en menor tiempo.

La incomodidad que presentan estos pavimentos a parte de las fallas que puedan tener, son la presencia de baches que generalmente son ocasionados por erosiones, escalonamiento y alabeos las cuales son notorias en las juntas, así mismo cuando la losa se alabea generalmente deja un voladizo que es aproximadamente un tercio de su longitud, por ello se deduce que cuanto mas larga sea la losa mayor serán los volados y el área de contacto entre la subbase el pavimento sera menor. Una alternativa de solución es el diseño de losas cortas TCP, el cual se caracteriza en tener longitudes de menor dimensión, al tener menores longitudes se reducirán los alabeos, al reducir los alabeos se reducirá las tensiones y esto ocasionará la reducción de espesores. Debido ha estos parámetros nace la investigación a realizar: Evaluación del diseño de losas cortas (TCP) en pavimentos según tensiones.

1.3. Planteamiento del problema

Los pavimentos rígidos son importantes dentro de toda ciudad, ya que ello mejora las condiciones de vida y una mejor presentación de las calles. Así mismo se debe de conocer las características y propiedades de la subbase y subrasante.

En los diseños del AASHTO 93 de la norma técnica CE.010,[17] presenta recomendaciones de las juntas y dimensiones de las losas indicando longitudes de 3.30m. hasta 4.50m.

Las dimensiones de las losas cuanto más largas y anchas ocasionan a que los esfuerzos generados por los ejes equivalentes se transmitan todo en una sola losa y lo planchan; esto conlleva a decir que la losa cuanto más larga percibe mayor tensión y por ende requiere un mayor espesor para poder resistir dichas tensión. En todas las calles donde se realice un pavimento rígido en nuestra ciudad se emplea casi siempre un espesor de 0.2m.

Una alternativa de solución es el diseño de losas cortas el cual busca dimensionar las

losas de tal forma que cada losa sea cargada solamente por una rueda o por un set de ruedas, esto generara a que se tenga menores tensiones, el cual nos permitirá reducir el espesor de la losa pero con la misma resistencia que un pavimento realizado con el diseño del AASHTO 93. Además se evita el sellado de juntas ya que solo se tendría que realizar cortes.

Por lo cual para poder realizar pavimentos rígidas de losas cortas TCP es necesario tener un conocimiento sobre los diseños mecánico - empírico y diseño tradicionales establecidos por el MTC - 2013.

1.3.1. Problema Principal

- ¿Cuál es la tensión generada en losas cortas (TCP) y pavimentos de AASHTO 93?

1.3.2. Problemas Secundarios

- ¿Cuáles son las dimensiones y espesor adecuada para el pavimento de losas cortas TCP respecto a las tensiones generados por los ejes de acuerdo al tipo de vehículo que transitara?
- ¿De qué manera se reducirán la interacción de la carga y las tensiones de alabeo en un pavimento de losa corta TCP?
- ¿Cuáles son las características y propiedades que deberían de cumplir las estructuras como: la carpeta de rodadura, subbase y subrasante de un pavimento de losa corta TCP y un pavimento utilizando la metodología del AASHTO-93. En un proyecto de la región (Construcción de pistas y veredas en los AA. HH. Villa San Cristóbal, los Rosales, Illa Cruz, Distrito de Jesus Nazareno, Provincia de Huamanga - Ayacucho)?

1.4. Justificación e Importancia

Los problemas que se presenta en el diseño de pavimentos rígidos actuales y tradicionales con la metodología del AASHTO 93 establecidos por el MTC-2013, es que se manejan espesores de 0.20m casi siempre en todas las calles de nuestra ciudad y no interesa si es para un tránsito alto, tránsito medio o tránsito bajo esto genera a tener mayores gastos y en cuanto a deterioro siempre están presente ya sea por tensión por carga (tránsito) y tensión por alabeo (temperatura). Ya que estos generan fisuras en las juntas longitudinales, transversales y centros de la losa.

Todo esto genera a que se sigan realizando estudios e investigaciones de cómo poder corregir los daños que se presentan en los pavimentos rígidos y minimizar costos.

Gracias a estas investigaciones se encontró el diseño de pavimentos TCP diseño de losas cortas la cual nos permite retardar la aparición de las primeras fisuras y mejorar la transferencia de cargas en los extremos de las losas debido a que las tensiones en ellas serán menores, esto conlleva a que se pueda reducir el espesor de la losa en comparación a una losas de 3.30m hasta 4.50m de largo, dichas medidas están establecidos por el AASHTO 93.

En el boletín informativo ASOCEM - actualidad nacional agosto 2013. (reseña y comentarios sobre el manual de suelos y pavimentos MTC - 2013),[3] en el tema de Pavimentos Rígidos de Concreto nos menciona que el manual peruano presenta recomendaciones para las juntas longitudinales y juntas transversales. En relación a las dimensiones de las losas, indicando longitudes de 3.30m. Hasta 4.50m. Por otro lado, recomienda también el uso de losas cuadradas o en todo caso losas cortas en zonas de altura mayores a 3000 msnm, aunque no especifica las razones ni define a que se le denominan losas cortas.

Gracias a la utilización de pavimentos rígidos de losas cortas (TCP) queda demostrado ser una excelente alternativa ya que ofrece mejoras en cuanto a la serviciabilidad y durabilidad, así mismo los costos bajan referencialmente hasta en un 30 % en comparación a un pavimento rígido de diseño tradicional del AASHTO 93, del mismo

modo reduce el tiempo de la apertura al tránsito.

1.5. Objetivos de la Tesis

Los objetivos que guían el desarrollo de esta investigación son:

1.5.1. Objetivos Generales

- Determinar las tensiones en las losas cortas (TCP) y pavimentos con el AASHTO 93.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Determinar las dimensiones y espesor adecuada de las losas cortas TCP respecto a las tensiones generados por los ejes de acuerdo al tipo de vehículo que transitara.
- Determinar de qué manera se reducirán la interacción de la carga y las tensiones de alabeo en un pavimento de losa corta TCP.
- Evaluar las características y propiedades que deberían de cumplir las estructuras como: la carpeta de rodadura, subbase y subrasante de un pavimento de losa corta TCP y un pavimento utilizando la metodología del AASHTO-93. En un proyecto de la región ³.

1.6. Organización del Estudio

En esta sección se plantea el proceso que debe seguir el desarrollo secuencial del presente tema de investigación.

- El **Capítulo 1**, describe en forma general la tesis en introducción, motivación de la investigación, los objetivos de la tesis y la organización de investigación.

³Construcción de pistas y veredas en los AA. HH. Villa San Cristóbal, los Rosales, Illa Cruz, Distrito de Jesus Nazareno, Provincia de Huamanga - Ayacucho

- En el **Capítulo 2**, se hace una mirada al estado de arte de los pavimentos, los factores a tener en cuenta para el diseño de los pavimentos, especialmente para pavimentos de concreto hidráulico y finalmente se presentara un enfoque para el diseño de pavimentos. Los conceptos descritos en este capítulo están en concordancia con la normativa peruana.
- **Capítulo 3**, se detallaran ampliamente los conceptos y fundamentos del diseño de losas cortas (TCP), las tensiones, descripción de las características y propiedades que deben de poseer los materiales que componen la subbase, subrasante y carpeta de rodadura de concreto hidráulico.
- En el **Capítulo 4**, se detallaran los datos obtenidos de los ensayos geológicos de la subrasante CBR(%), del material de préstamo subbase análisis granulométrico, porcentaje de fino y CBR (%) de la cantera Chillico, diseño de mezcla, resistencia a la rotura a los 28 días. con los datos obtenidos del proyecto (Construcción de pistas y veredas en los AA. HH. Villa San Cristóbal, los Rosales, Illa Cruz, Distrito de Jesus Nazareno, Provincia de Huamanga - Ayacucho) se realizaran los cálculos con el SAP.2000. Con lo cual se determinaran las tensiones en los pavimentos tanto para losas cortas TCP y pavimentos tradicionales.
- El **Capítulo 5**, es un síntesis de los aspectos técnicos del proyecto(diseño estructural del pavimento, diseño de mezcla y resistencias de rotura del concreto), así mismo se hace la evaluación del referido proyecto, con la propuesta de la alternativa del diseño de losas cortas (TCP).
- En el **Capítulo 6**, se hace el análisis de resultados obtenidos para el diseño de losas cortas TCP frente a los del AASHTO. En función a las tensiones, deformaciones generados por las cargas de los ejes de camión y alabeos para lo cual se uso el software SAP 2000. A si mismo respecto a las propiedades para cada diseño.

- El **Capítulo 7**, abarca las conclusiones que se obtuvieron durante la realización de la presente tesis y las recomendaciones según las experiencias adquiridas, además se menciona algunos temas afines de investigación.
- En la **Bibliografía**, se presenta el material e información utilizada en el presente estudio (libros, tesis, revistas, apuntes).
- En el **Apéndice A**, se muestran los resultados de las tensiones y deformaciones por cargas dinámicas y temperaturas obtenidas con el SAP 2000.
- En el **Apéndice B**, se adjunta el estudio de mecánica de suelos realizado para el Proyecto Villa San Cristóbal, este estudio servirá para obtener los valores K1 en relación al CBR(%) los cuales serán usados en los cálculos para el modelo.
- En el **Apéndice C**, se adjunta el estudio de análisis de cantera para el material de subbase para el Proyecto Villa San Cristóbal, este estudio servirá para obtener los valores K2 en relación al CBR(%), con los valores de K a nivel de subrasante y subbase determinara el Kc compuesto el cual viene a ser el coeficiente de balasto.
- En el **Apéndice D**, Se adjuntará el diseño de mezcla de concreto realizados para el proyecto Villa San Cristobal. la cual serán usados en el modelo.
- En el **Apéndice E**, Se adjuntaran los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión de los concretos del proyecto Villa San Cristóbal, el cual nos permite obtener valores la cual serán usados en la modelo para determinar tensiones en los pavimentos.
- En el **Apéndice F**, se adjunta la galería fotográfica de los trabajos realizados para la obtención de carga y dimensión de losas para. La cual servirá para la determinación de tensiones en pavimentos de losas cortas y tradicionales.

Capítulo 2

Estado del Arte de los Pavimentos

En el presente capítulo se abordan los aspectos sobre el diseño de pavimentos y desempeño en relación a tensiones, la cual están vinculados con el crecimiento que experimenta las poblaciones que trae consigo las necesidades de contar con una infraestructura vial que permita el desarrollo económico y social, es así que el estado del conocimiento de los pavimentos a ido evolucionando a nivel de: estudios ,conceptos, construcción y conservación. Mientras las características deseadas para un buen desempeño son: resistencia y durabilidad de los materiales ante las cargas de tráfico y los agentes del intemperismo, serviciabilidad, buen drenaje la que evitar la presencia de erosiones, todo ello deben ser económicos tanto en los costos de construcción y mantenimiento, así mismo ser durables, seguros y que tengan una relación de armonía con el medio ambiente. El diseño de pavimentos sigue en constante evolución, cuando en un inicio el calculo de los espesores se realizaban en base a experiencias, el cual nos habla de un diseño empírico desarrollado por la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), hasta plantear métodos mecánicos de diseño y evaluación, aunque cabe resaltar que el método empírico a un juega un papel importante en la actualidad, puesto que investigadores y académicos concuerdan que el comportamiento de los pavimentos esta influenciado por varios factores que no permiten una modelación por métodos mecánicos. Pero en la actualidad el MEPDG 2002 (Mechanistic Empirical Pave-

2.1. Descripción y Función de los Pavimentos

ment Design Guide)¹, vienen usando método empírico - mecánico, la cual no es usado por falta de calibración a la realidad de nuestro país. Hay muchas agencias de investigación que han desarrollado modelos de diseño y evaluación de pavimentos, sin embargo solo unos cuantos son de mayor uso dentro del país como la del instituto del asfalto, Portland Cement Association² (PCA) y American Association of State Highway and Transportation Officials³(AASHTO). En la actualidad el país cuenta con el *Manual de carreteras (Sección Suelos y Pavimentos)*[16], el cual tiene un alcance a caminos pavimentados y no pavimentados de bajo, medio y alto volumen de tránsito que no supere un tráfico de hasta 30,000,000 de ejes equivalentes en el carril y periodo de diseño. luego tenemos la *Norma Técnica CE.010*,[17] referido a pavimentos urbanos. Ambos documentos hacen referencia a la metodología de diseño del AASHTO - 1993, *Guía Para el Diseño de Estructuras de Pavimentos*, si bien la última versión del AASHTO viene a ser la Guía de Diseño Empírico - Mecánico publicada en julio del 2008, este no es de amplia práctica en el país por la inexistencia de una adecuada zonificación climática, así como de una base de datos que registre temperatura, humedad, precipitación y vientos que caracterizan el clima de cada una de las zonas del territorio nacional dichos registros deberían ser tomados a cada hora. Gracias al MTC⁴ en coordinación con el SENAMHI⁵ se tienen registros de precipitaciones y temperaturas máximas y mínimas media anuales. Detalladas en los manuales antes mencionadas, aunque en un futuro los métodos con bases mecánicas serán empleados para los propósitos de evaluación y diseño.

2.1. Descripción y Función de los Pavimentos

El pavimento viene a ser la estructura que esta compuesto por un conjunto de capas que tiene por finalidad brindar una superficie de rodadura que permita un tráfico

¹Guía de Diseño Mecánico Empírico de pavimentos

²Asociación de cemento portland

³Asociación americana de oficiales de carreteras estatales y transporte

⁴Ministerio de Transportes y Comunicaciones

⁵Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología

seguro de los usuarios. Estas capas de la estructura se apoyan sobre la subrasante de la vía y han de resistir los esfuerzos que imprimen los vehículos así como los efectos producidos por el medio ambiente.

2.2. Fundamento teórico de pavimentos de concreto

De acuerdo a investigaciones realizadas sobre los pavimentos rígidos se mostrara a continuación comportamiento de las losas en relación a cargas en posiciones distintas. así mismo la interacción suelo estructuras

2.2.1. El pavimento de concreto en el mundo

El diseño de pavimentos ha evolucionado con el tiempo, desde una perspectiva artística y netamente empírica hasta ser considerado toda una ciencia, según M. Becerra, [1]

Antes de 1920, los espesores de las capas que conforman los pavimentos se basaron netamente en la experiencia, es decir, la misma estructura era utilizada sin discriminar la clase de vía, el tipo de suelo o el tránsito esperado. Con el tiempo, las entidades administradoras de caminos y la industria de los materiales de construcción, desarrollaron métodos de diseño de pavimentos intentando sustentar un comportamiento adecuado del mismo, teniendo en cuenta la inversión de dinero que significa construir y mantener un camino.

A continuación se presentan los principales hitos en la historia mundial de los pavimentos de concreto.

- Westergaard en 1926, plantea la primera teoría relacionada al comportamiento estructural de los pavimentos de concreto, como consecuencia de lo expresado por Hertz respecto a los esfuerzos en losas suspendidas. Es sin duda el estudio teórico más extenso e importante, que inició en 1926 y terminó en 1948.

2.2. *Fundamento teórico de pavimentos de concreto*

Relaciona el cálculo de esfuerzos y deflexiones en los pavimentos de concreto, los estudios consideraron las temperaturas en la losa, así como tres posiciones de carga en una losa alargada: aplicada cerca de la esquina, aplicada cerca de la junta pero a una distancia considerable de la esquina y aplicada en el interior del paño a una distancia considerable de toda junta y esquina. El análisis asume de manera simplificada que la presión de reacción entre la subrasante y la carpeta de rodadura en cualquier punto es proporcional a la deflexión en ese punto, independientemente de las deflexiones en otros puntos. También asumió que el contacto entre la subrasante y la carpeta de rodadura se da a plenitud.

- Pickett en 1951, comparó la carga crítica en la esquina obtenida en los estudios de Westergaard con mediciones realizadas en el campo, encontrando que las estimaciones realizadas en las aproximaciones teóricas del esfuerzo cuando se tenía la carga crítica aplicada en la esquina de la losa eran siempre muy pequeñas. Pickett asumió que parte de la losa no está totalmente apoyada sobre el suelo, para lo que desarrolló fórmulas semi empíricas que concordaban con los resultados de los experimentos en campo. Lamentablemente, debido a la complejidad de las fórmulas y al estado de arte de la tecnología, no se le prestó mayor atención.
- Entre los años 1958 y 1960 se llevó a cabo el AASHO Road Test en Ottawa, Illinois (USA). El AASHO Road Test definió la ecuación empírica fundamental que guiaría las metodologías de diseño AASHTO hasta el suplemento de 1998. Nótese que esta metodología se basa en el concepto de pérdida de serviciabilidad del pavimento por el paso de los vehículos y el tiempo.
- Con el ingreso de los procesadores, se realizaron soluciones numéricas que asumen que no existe pleno contacto entre la subrasante y la carpeta de rodadura, como son los métodos de los elementos discretos y el de los elementos finitos.

2.2. Fundamento teórico de pavimentos de concreto

- Aunque los estudios de Westergaard contribuyeron en gran medida al desarrollo de los métodos de diseño, nunca dejó de reconocer que los resultados teóricos debían ser revisados comparándolos con resultados en campo del comportamiento del pavimento.

Otros desarrollos importantes que se dieron en paralelo fueron: (1) la concepción de las propiedades de fatiga del concreto; (2) los conceptos de bombeo con los que se demostró que la subrasante debía ser protegida. Debido a estos ensayos se decidió introducir capas granulares que protejan la pérdida de finos en la subrasante; y (3) los métodos probabilísticos que dieron origen al término de confiabilidad, ampliamente utilizado en los métodos de diseño AASHTO 1986, 1993, el suplemento 1998, la guía de diseño empírica mecanicista MEPDG 2002.

2.2.2. Problemática de los pavimentos de concreto en el Perú

En la actualidad, las tecnologías de diseño, materiales y construcción, tanto en asfalto como en concreto, han sufrido importantes avances. Ambas alternativas de pavimentación, tienen indiscutiblemente ventajas y desventajas dependiendo del proyecto en el que se los evalúe, por ello la importancia de que ambas sean evaluadas.

La problemática del pavimento de concreto se puede resumir en:

- **Paradigmas**, Anteriormente era innegable que los pavimentos de concreto eran mucho más costosos en términos de inversión inicial, e inclusive incómodos para los usuarios de las vías debido a sus prácticas constructivas. Sin embargo, estas razones han cambiado con el tiempo favorablemente para el concreto, debido a:
 - a) La estabilidad en los precios del cemento y al inminente alza en los derivados del petróleo
 - b) La tecnología de pavimentación en concreto ha permitido reemplazar las

2.2. Fundamento teórico de pavimentos de concreto

juntas de contracción de una pulgada por otras de seis milímetros, haciendo el pavimento de concreto mucho más confortable.

- **Falta de parámetros**, Debido a la falta de pavimentos masivos de concreto, las entidades administradoras tienen muchos problemas para realizar estudios de perfil, factibilidad y definitivos, acertados en alternativas de pavimentos de concreto. El Ministerio de Economía y Finanzas (MEF) y el MTC deben realizar estudios conjuntos para poder acceder a este tipo de información.
- **Falta de recursos y equipos**, Se debe trabajar con los principales referentes para poder entregar una oferta en pavimentación con concreto a niveles de diseño, construcción, evaluación.

A continuación se presentan los resultados de la encuesta realizada por UNACEM en el II Conversatorio de Pavimentos de Concreto en febrero del 2011 gracias a la participación de expertos técnicos del ámbito vial.

¿Cuál es la problemática del ingreso de pavimentos de concreto en nuestras redes viales?

Las respuestas obtenidas se clasificaron de la siguiente manera:

A: Alto costo de construcción.

B: Falta de equipos de construcción en pavimentos de concreto.

C: Falta de comunicación y capacitación en temas referidos a pavimentos de concreto.

D: Tiempo de apertura al tránsito superior.

E: Falta de personal capacitado en diseño, construcción, supervisión y evaluación.

F: Falta de propuestas en pavimentos de concreto.

G: El concreto como material.

H: No hay oferta en pavimentación con concreto.

I: Reacción ante climas y geografías diversos.

J: Por costumbre se trabaja con pavimentos de asfalto.

K: Falta de normatividad en pavimentos en concreto.

L: Para evaluación se emplea solo el HDM3 que trabaja solo a nivel de asfalto.

En la figura 2.1 muestra la jerarquía de la problemática de los pavimentos de concreto, según los participantes.

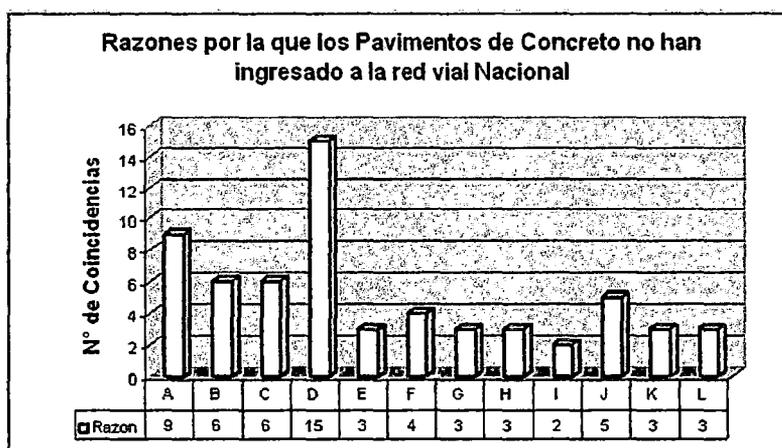


Figura 2.1: Problemática de la RVN, Fuente: UNACEM

2.3. Estructura de pavimentos rígidos

Son aquellos que generalmente se encuentran apoyados sobre una subbase y donde el componente principal es la losa de concreto hidráulico, como se muestra en la figura 2.2. El concreto es capaz de resistir ciertos esfuerzos de tensión es por eso que aun cuando se tengan subrasantes con características débiles, presentarán resultados satisfactorios, es así que las capas inferiores ejercen poca influencia en el diseño del espesor del pavimento (C. Tovar, 2014) [24]

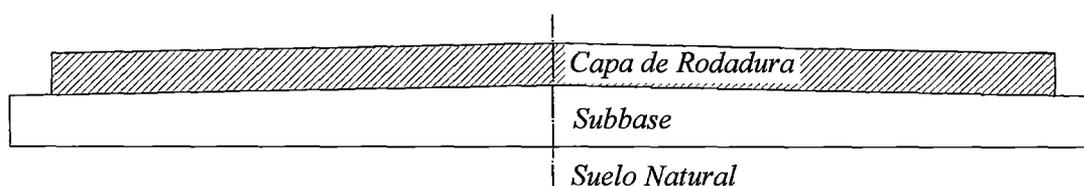


Figura 2.2: Sección típica de un pavimento rígido

2.3.1. Subrasante

Esta capa viene a ser la parte superior del terraplén o el fondo de las excavaciones del terreno natural y es necesario que proporcione un buen soporte para la estructura que se colocará y las solicitaciones que se transmitan. El material que compone esta capa puede ser del lugar o en su defecto será reemplazado por material seleccionado si sus condiciones no son buenas.

Existen ciertas consideraciones que debe cumplir la subrasante según indica el MTC y otros autores.

- Los 0.30 m de suelo debajo del nivel superior de la subrasante, deberán ser compactadas al 95 % de la máxima densidad seca obtenida del ensayo proctor modificado.
- Los suelos por debajo de 0.60 m del nivel superior de la subrasante deberán ser suelos adecuados y estables con $CBR > 6\%$, los suelos que estén fuera de este límite deberían ser tratados.

2.3.2. Subbase

En sus inicios los pavimentos de concreto fueron directamente construidos sobre la subrasante, sin embargo el incremento de las cargas en las ruedas del tráfico y la exposición al agua hizo necesario el empleo de una capa que mejore las condiciones; y como la mayor parte de los esfuerzos son disipados en la capa de rodadura los materiales que constituyen la subbase por lo general serán de menor capacidad de soporte que los requeridos para la base de los pavimentos flexibles.

Es importante mencionar algunas características que brinda la subbase y fueron descritos por, Reyes (2003, p.267-272)[18].

- La función más importante de la subbase es impedir la ocurrencia del bombeo (*pumping*), se muestra en la figura 2.3, este fenómeno se presenta en las juntas, grietas, bordes del pavimento y consiste en la ascensión de los finos de los suelos

2.3. Estructura de pavimentos rígidos

a la superficie producto del agua infiltrado y la presión ejercida por las cargas circulantes a través de las losas.

- Mejora el drenaje del pavimento impidiendo la acumulación de agua bajo la losa de concreto, ésta también ayuda a controlar la acción de las heladas.
- Suministra un apoyo uniforme, estable y permanente; además de facilitar los trabajos de construcción de la losa de concreto.
- Ayuda a controlar la contracción y los cambios volumétricos de la subrasante y disminuir la acción superficial de tales cambios sobre el pavimento.

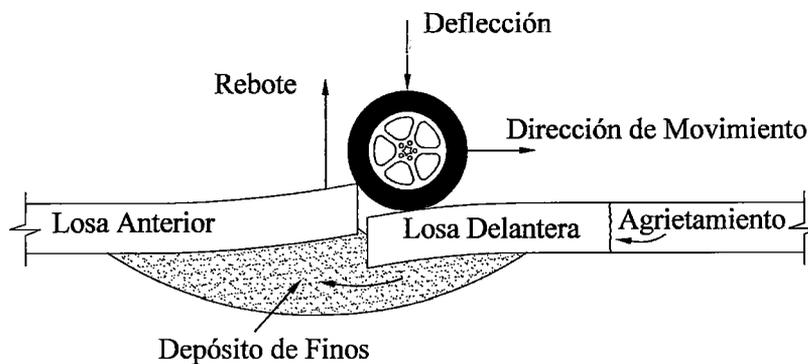


Figura 2.3: Bombeo de un pavimento rígido

Así mismo el material granular para la capa de subbase deberá cumplir los requisitos mínimos establecidos en la **Sección 402** de las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras (EG - Vigente) [15]. Además, deberán ajustarse a una de las franjas granulométricas indicadas en el siguiente cuadro. 2.1 (1) La curva de Gradación A deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 msnm. Además, el material también deberá cumplir con los requisitos de calidad, indicados en el cuadro. 2.2 Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca deberá dar lugar a una curva granulométrica uniforme y sensiblemente paralela a los límites de la franja, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior de un tamiz adyacente y viceversa.

Cuadro 2.1: Requerimientos Granulométricos para Subbase Granular

Tamiz	Porcentaje Que Pasa en peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm. (2")	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
425 um. (N°40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 um. (N°200)	2-8	5-15	5-15	8-15

(Fuente: EG-MTC, 2013, p.360)[15]

Requisitos de calidad que deben de cumplir los materiales de subbase.

Cuadro 2.2: Requerimientos de Ensayos Especiales

Tamiz	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimiento	
				< 3000 msnm	≥3000 msnm
Abrasión los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	50 % máx.	50 % máx.
CBR (1)	MTC E 132	D 1883	T 193	40 % mín.	40 % mín.
Límite Líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25 % máx.	25 % máx.
Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 90	6 % máx.	4 % máx.
Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	25 % mín.	35 % mín.
Sales Solubles	MTC E 219			1 % máx.	1 % máx.
Partículas Chatas y Alargadas		D 4791		20 % máx.	20 % máx.

(Fuente: EG-MTC, 2013, p.360)[15]

2.3.3. Losa de Concreto

Esta capa cumple una función estructural muy importante, pues soporta y disipa la mayor parte de esfuerzos que se le aplican, por lo demás, presenta características similares a la capa de rodadura de los pavimentos flexibles.

2.4. Factores Para el Diseño de los Pavimentos

Es importante conocer los factores que influyen en el diseño de los pavimentos, no se pretende realizar una revisión exhaustiva, pero si conceptualizar de manera clara y precisa los aspectos que influyen en el diseño de los pavimentos, de tal forma que se conozca los fundamentos básicos y no haya dudas en secciones posteriores.

2.4.1. Tráfico

Es el factor más importante⁶ a considerar en el diseño de los pavimentos. El tránsito está compuesto por vehículos de diferentes pesos y número de ejes que producen tensiones y deformaciones en el pavimento. En el Perú, el MTC dispone los lineamientos para caracterizar los vehículos según su configuración de ejes y pesos máximos permitidos. Ver la figura.2.4

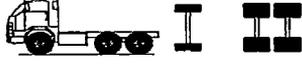
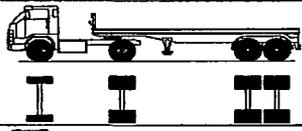
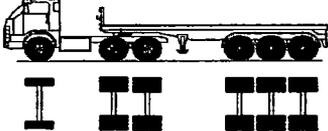
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores			
			1°	2°	3°	4°	
C2		12,30	7	11	—	—	18
C3		13,20	7	18	—	—	25
T2S2		20,50	7	11	18	—	36
T3S3		20,50	7	18	25	—	48*

Figura 2.4: Caracterización Vehicular, Fuente: MTC, 2013

El tránsito estimado se transforma a un número de cargas por eje simple equivalente de 18 Kips (80 KN) o ESAL (*Equivalent Single Axle Load*)⁷

Existen algunos términos y definiciones que son importantes conocer:

⁶Diversos autores señalan al tráfico como el factor más importante, entre los que se puede referenciar; M. Becerra (2012, pag.80)[1], MTC (2013)[16]

⁷Carga equivalente por eje simple

2.4. Factores Para el Diseño de los Pavimentos

- **Tipos de eje:** en la figura 2.5 se presentan la configuración de ejes.
- **Volumen de tránsito:** se define como la cantidad de vehículos que pasan por un punto durante una unidad de tiempo.

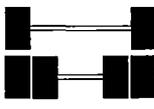
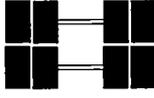
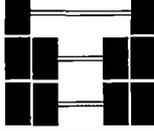
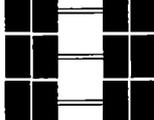
Conjunto de Eje (s)	Nomenclatura	Nº de Neumáticos	Gráfico
EJE SIMPLE (Con rueda simple)	1RS	2	
EJE SIMPLE (Con rueda doble)	1RD	4	
EJE TANDEM (1 eje de rueda simple + 1 eje de rueda doble)	1RS + 1RD	6	
EJE TANDEM (2 ejes de rueda doble)	2RD	8	
EJE TRIDEM (1 eje de rueda simple + 2 ejes de rueda doble)	1RS + 2RD	10	
EJE TRIDEM (3 ejes de rueda doble)	3RD	12	

Figura 2.5: Configuración de Ejes. (Fuente: MTC, 2013, p.78)[16]

Determinación del Tráfico

Existe una diversidad de vehículos que circulan sobre los pavimentos durante su vida útil de diseño. La clasificación de estos vehículos es presentando en el *Reglamento Nacional de Vehículos (2003, p.78-85)*[14], donde nos muestra características como el número, tipo, peso de los ejes de los vehículos. Además se realizará el conteo para estimar el índice medio diario (IMD), que representa el promedio de vehículos que pasan por un punto en un periodo de tiempo, este podrá ser índice medio diario anual (IMDA), índice medio diario mensual (IMDM) o índice medio diario semanal (IMDS).

Factor Direccional y Factor Carril

El factor direccional representa al número de vehículos pesados que circulan en una dirección o sentido de tráfico, usualmente corresponde a la mitad del tránsito presentado en ambos sentidos. El factor carril corresponde al carril que recibe el mayor número de ejes equivalentes.

En base a ambos factores descritos se obtiene el factor ponderado, que fue desarrollado según la guía AASHTO 93 y se presenta en el cuadro 2.3.

Cuadro 2.3: Factores de Distribución Direccional y de Carril

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de la calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentido	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentido	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentido	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentido	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentido	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentido	4	0.50	0.50	0.25

(Fuente: MTC, 2013, p.75)[16]

Proyección del Tránsito

La tasa de crecimiento del tránsito esta correlacionado con el crecimiento económico y este a su vez relacionado con el producto bruto interno (PBI), usualmente las tasas de crecimiento varían de 2% a 6%. La proyección del tránsito se calcula con la fórmula exponencial 2.4.1.

$$T_n = T_o(1 + r)^{n-1} \quad (2.4.1)$$

Donde:

T_n = Tránsito proyectado al año "n" (Veh/día)

T_o = Tránsito actual, año cero (Veh/día)

n = Número de años del periodo de diseño

r = Tasa anual de crecimiento del tránsito

A partir de la ecuación 2.4.1 es posible determinar el factor de crecimiento acumulado (Fca) para el periodo de diseño y queda expresado en la ecuación 2.4.2.

$$Fca = \frac{(1+r)^n - 1}{r} \quad (2.4.2)$$

Factor Equivalente de Carga (FEC)

Conocido como LEF (Load Equivalent Factor) por sus siglas en inglés. Con el objeto de convertir el tráfico a un número de ESAL de 18 kips, se utiliza factores equivalentes de carga FEC. Estos factores se han obtenido a partir de los resultados del AASHTO ROAD TEST. El factor equivalente de carga es un valor numérico que puede ser determinado con la siguiente relación.

$$FEC = \left(\frac{P1}{Po} \right)^4 \quad (2.4.3)$$

donde:

Po = Carga estándar

$P1$ = Carga cuya equivalencia con la estándar se desea calcular

La sección suelos y pavimentos del MTC (Pag. 79)[16] presenta relaciones simplificadas para el calculo del FEC que resultaron de correlacionar los valores de las tablas del apéndice D de la guía AASHTO 93 las cuales se presentan en los cuadros 2.4.

Cuadro 2.4: Relaciones para factores equivalentes de carga para Pavimentos Rígidos

Tipo de Eje	Eje Equivalente ($EE_{8,2tn}$)
Eje simple de ruedas simples	$EE_{S1} = (P/6,6)^{4,1}$
Eje simple de ruedas dobles	$EE_{S2} = (P/8,2)^{4,1}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple)	$EE_{TA1} = (P/13,0)^{4,1}$
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles)	$EE_{TA2} = (P/13,3)^{4,1}$
Eje Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple)	$EE_{TR1} = (P/16,6)^{4,0}$
Eje Tridem (3 ejes de ruedas dobles)	$EE_{TR2} = (P/17,5)^{4,0}$

(Fuente: MTC, 2013, p.79)[16]

2.4. Factores Para el Diseño de los Pavimentos

Donde: P = peso real por eje en toneladas.

Factor Camión

El factor camión (FC) nos brinda una manera de expresar el daño que produce el tráfico, en términos del deterioro que produce un vehículo en particular, hay que considerar la suma de los daños producidos por cada eje de ese tipo de vehículo. De este criterio nace el concepto de Factor Camión, que se define como el número de ESAL's por número de vehículo.

Si determinamos el factor camión de un C2 según muestra la figura 2.6 para un pavimento rígido sería:

Configuración Vehicular	Descripción Gráfica de los Vehículos							Long. Máxima (m)
C2								12.30
	$EE_{E1} = [P/6.5]^{4.1}$	$EE_{E2} = [P/8.2]^{4.1}$						
Ejes	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
Carga Según Censo de Carga (Ton)	7	10						
Tipo de Eje	Eje Simple	Eje Simple						
Tipo de Rueda	Rueda Simple	Rueda Doble						
Peso	7	10						
Factor E.E.	1.273	2.256						
								Total Factor Camión C2
								3.529

Figura 2.6: Caracterización Vehicular, Fuente: MTC, 2013

De esta manera estos valores se pueden tomar como representativos para estos tipos de vehículos, y con la premisa que no superan los límites de carga establecidos por ley.

B3 : 3.071

C2 : 3.529

C3 : 3.406

T3S3: 6.390

El efecto de los vehículos ligeros es despreciable en el diseño de espesores.

Determinación del Número de Ejes Equivalentes de 8.2 Toneladas

Una vez que se a determinado el número acumulado que transitarán en el carril de diseño y durante el periodo de diseño, es posible convertir esta cantidad de vehículos comerciales a ejes simples equivalentes de 8.2 toneladas mediante el factor camión.

$$ESAL_{Diseño} = \sum (ESAL_{día-carril} \times Fca \times 365) \quad (2.4.4)$$

de 2.4.4 se sabe:

$$ESAL_{día-carril} = IMD \times Fd \times Fc \times FC \quad (2.4.5)$$

Donde:

$ESAL_{Diseño}$ = Número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 Tn.

$ESAL_{día-carril}$ = Ejes equivalentes por cada tipo de vehículo pesado por día para el carril de diseño.

Fca = Factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado.

IMD = Índice medio diario inicial según el vehículo pesado seleccionado.

Fd = Factor direccional.

Fc = Factor carril de diseño.

FC = Factor camión.

\sum = Sumatoria de ejes equivalentes de todos los tipos de vehículos pesados por día para el carril de diseño por factor de crecimiento acumulado por 365 días del año.

2.4.2. Estudio de los Suelos

En esta sección se hará el estudio y descripción de los aspectos fundamentales relacionados con el suelo, puesto que es importante conocer las características de la capa donde se asentarán los pavimentos.

Características de la Subrasante

La sección suelos y pavimentos del MTC (2013)[16], así como la norma CE.010 (2010)[17] nos brindan pautas para determinar las características físico-mecánicas de los materiales de la subrasante, que puede ser mediante pozos exploratorios o calicatas con una profundidad mínima de 1.50m, el número y la ubicación de estos ensayos se describen en ambas normativas según sea el caso.

- Una identificación geotécnica, que permita aproximar el comportamiento predecible del suelo al comportamiento general de una familia conocida. Esta etapa se fundamenta en la clasificación de los suelos.
- Un estudio de los parámetros de estado, pues para una familia de suelos existen parámetros característicos de su compartimiento, por ejemplo el proctor y el CBR⁸.
- Una evaluación de la capacidad portante, que va a depender del contenido de agua, apoyada también por el CBR.

Descripción de los Suelos

Para poder describir los suelos es necesario conocer las propiedades de éstos.

1. Granulometría

Nos indica como se encuentran distribuidos los elementos del suelo en función de su tamaño, como se muestra en el siguiente cuadro. 2.5.

2. Plasticidad

La plasticidad de un suelo solo depende de los elementos finos y para conocer la plasticidad de los suelos se hace uso de los límites de Atterberg. (MTC, 2013, p.36, 37)[16] El índice de plasticidad (IP), se refiere a la diferencia entre límite

⁸California Bearing Ratio

Cuadro 2.5: Clasificación de suelos según tamaño de partículas

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 0.005 mm

(Fuente: MTC, 2013, p.36)[16]

líquido (LL) y límite plástico (LP), la cual indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencias plásticas.

Cuadro 2.6: Clasificación de suelos según Índice de Plasticidad

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Características
$IP > 20$	Alta	Suelos muy arcillosos
$20 \geq IP > 7$	Media	Suelos arcillosos
$IP < 7$	Baja	Suelos poco arcillosos
$IP = 0$	No Plástico (NP)	Suelos exentos de arcilla

(Fuente: MTC, 2013, p.37)[16]

3. Índice de Grupo

Es un índice normado por AASHTO, para clasificar suelos y está basado en los límites de Atterberg.

$$IG = 0,2(a) + 0,005(ac) + 0,01(bd) \quad (2.4.6)$$

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.

$b = F-15$ (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.

2.4. Factores Para el Diseño de los Pavimentos

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

A partir del índice de grupo podemos clasificar los suelos como sigue

Cuadro 2.7: Clasificación de suelos según Índice de Grupo

Índice 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 a 2	Bueno
IG está entre 0 a 1	Muy Bueno

(Fuente: MTC, 2013, p.38)[16]

Clasificación de los Suelos

Al existir una diversidad de tipos de suelo, es necesario desarrollar métodos que permitan clasificar en función a las características descritos anteriormente.

Actualmente los sistemas más usados para la clasificación, son el AASHTO y el sistema unificado de clasificación de suelos (SUCS).

En el cuadro 2.8 se presenta una correlación del sistema AASHTO y el SUCS.

Cuadro 2.8: Correlación de tipos de suelos AASHTO - SUCS

Clasificación de Suelos AASHTO 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

(Fuente: MTC, 2013, p.39)[16]

Valor Soporte o Resistencia de los Suelos

Uno de los ensayos más difundidos para la resistencia de los suelos es la *Relación Californiana de Soporte CBR* (California Bearing Ratio).

Es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante de un suelo, bajo condiciones de densidad y humedad controladas. Se expresa como el tanto por ciento de la carga necesaria para introducir un pistón de sección circular en una muestra de suelo, respecto a la profundidad de penetración del pistón en una piedra tipo triturada. (MTC, 2013, p.40)[16]

En el cuadro 2.9 se presenta la clasificación de la subrasante en función del CBR.

Cuadro 2.9: Categorías de subrasante

Categorías de Subrasante	CBR
S_0 : Subrasante Inadecuada	$3\% > CBR$
S_1 : Subrasante Pobre	$6\% > CBR \geq 3\%$
S_2 : Subrasante Regular	$10\% > CBR \geq 6\%$
S_3 : Subrasante Buena	$20\% > CBR \geq 10\%$
S_4 : Subrasante Muy Buena	$30\% > CBR \geq 20\%$
S_5 : Subrasante Excelente	$CBR \geq 30\%$

(Fuente: MTC, 2013, p.40)[16]

Para obtener el Módulo Resiliente a partir del CBR se usará la ecuación 2.4.7 según la sección suelos y pavimentos del MTC (2013, P.41)[16], preparado por NCHRP (National Cooperative Highway Research Program).

$$Mr(psi) = 2555 \times CBR^{0,64} \quad (2.4.7)$$

Módulo Resiliente

Según MTC (2013, p.42)[16] es una medida de la propiedad elástica de suelos, reconociéndola ciertas características no lineales. El módulo de resiliencia se puede usar directamente en el diseño de pavimentos flexibles; para el diseño de pavimentos rígidos debe convertirse a modulo de reacción de la subrasante (valor K).

2.4.3. Clima

Por las características de la región son dos factores que influyen el diseño y el comportamiento de los pavimentos: los cambios de temperatura y las lluvias que se presentan.

Temperatura

En el territorio peruano, sobre todo en las zonas alto andinos, hay épocas en donde se presentan grandes rangos de variaciones de temperatura, aproximadamente 40⁹ grados centígrados. Estas variaciones de la temperatura genera en los pavimentos rígidos esfuerzos muy elevados¹⁰, que genera el levantamiento de las esquinas debilitándolo hasta su rompimiento.

Lluvias

Las lluvias por su acción directa en la evaluación del nivel freático influye en la resistencia, la compresibilidad y los cambios volumétricos de los suelos de la subrasante. Este parámetro también influye en algunas actividades de construcción tales como el movimiento de tierras y la colocación y compactación de capas granulares y asfálticos. (MTC, 2013, p.92)[16]

2.4.4. Materiales

Los materiales deben cumplir con las especificaciones técnicas mínimas de acuerdo a las normativas vigentes en el país, también debe estudiarse la disponibilidad de los materiales en la zona, para una correcta elección de la estructura del pavimento que sean factibles técnica y económicamente.

⁹ Así lo señala la sección Suelos y Pavimentos del MTC (2013, P.91)[16] y se presentaría en los meses de Junio a Octubre.

¹⁰ Estos esfuerzos, en algunos casos pueden ser superior a los generados por las cargas de los vehículos que circulan sobre los pavimentos rígidos

Materiales Para los pavimentos Rígidos (Concreto Hidráulico)

Los pavimentos de concreto hidráulico tendrán que cumplir las especificaciones técnicas generales para la construcción de carreteras.

Definiremos algunos aspectos que considero son necesarios conocer.

1. Concreto Hidráulico

El concreto es un producto artificial compuesto que consiste de un medio ligante denominado pasta¹¹, dentro del cual se encuentran embebidas partículas de un medio ligado denominado agregado.

En termino sencillos se podría entender al concreto hidráulico como la mezcla de cemento, agregado fino, agregado grueso, agua y cuando el caso lo requiera, aditivos.

Los materiales deben presentar las siguientes características.

a) Cemento

Se define como cemento a los materiales pulverizados, que por la adición de una cantidad de agua, forman una pasta capaz de endurecer bajo el agua como al aire.

El cemento a utilizar será Portland¹² y deberá cumplir con los requisitos indicados en la norma ASTM C 150.

Los tipos de cementos que fabrican y usan en el país son el I, II y V; además de los cementos combinados (puzolánicos), como son los tipos IP, IPM y IS.

b) Agregado Fino

Es aquel que proviene de la desintegración natural o artificial de las rocas, el cual pasa el tamiz NTP 4.75 mm (N°. 4) y cumple con los límites establecidos en las normas NTP 400.037 o ASTM C 33. (EG - MTC,

¹¹Pasta es la combinación química del material cementante (cemento) con el agua.

¹²El cemento Portland resulta de la combinación del clinker molido y la adición de cerca del 6% de sulfato de calcio (yeso). El clinker resulta de la cocción de una fuente molida de cal, sílice, alumina y óxido de hierro a una temperatura aproximada de 1500 °C.

2013)[15]

El agregado fino estará graduado dentro de los límites indicados en el cuadro 2.10.

Cuadro 2.10: Granulometría del agregado fino para pavimentos de concreto hidráulico

Tamiz		Porcentaje que pasa
Normal	Alternativo	
9.5 mm	3/8"	100
4.75 mm	N° 4	95-100
2.36 mm	N° 8	80-100
1.18 mm	N° 16	50-85
600 μm	N° 30	25-60
300 μm	N° 50	10-30
150 μm	N° 100	2-10

(Fuente: (EG - MTC, 2013, p.804)[15])

c) Agregado Grueso

Se define como agregado grueso al material retenido en el tamiz NTP 4.75 mm (N° 4). El agregado grueso puede consistir de piedra partida, grava natural o triturada, agregados metálicos naturales o artificiales, o una combinación de ellos. Estará conformado por partículas cuyo perfil sea preferentemente angular o semiangular, limpias, duras, compactas, resistentes, de textura preferentemente rugosa, y libres de material escamoso o partículas blandas. (EG - MTC, 2013)[15]

d) Agua

Indica que el agua en combinación con el material cementante reacciona químicamente para la formación de gel¹³ y que la masa de concreto en conjunto adquiera propiedades que en su estado no endurecido facilite manipulación y trabajabilidad, y en su estado endurecido lo convierte en un producto con las características deseadas.

A continuación se presenta en el cuadro 2.11, los valores máximos de sales

¹³Se define como gel a la parte sólida de la pasta, la cual es el resultado de la reacción química del cemento con el agua durante el proceso de hidratación

y sustancias aceptados para que el agua pueda ser usado en el concreto y esta expresado en partes por millón.

Cuadro 2.11: Valores máximos de sales y sustancias contenidos en el agua

Sustancia	Límite
Cloruros	300 ppm
Sulfatos	300 ppm
Sales de magnesio	150 ppm
Sales solubles totales	500 ppm
pH	mayor de 7
Sólidos en suspensión	1500 ppm
Materia orgánica	10 ppm

(Fuente: Tovar, 2014, p.33)[24]

e) **Aditivos**

Se podrán usar aditivos de reconocida calidad para modificar las propiedades del concreto, con la finalidad de adecuarlo a las condiciones especiales del pavimento por construir. Su empleo se deberá definir por medio de ensayos efectuados con antelación a la obra, con las dosificaciones que garanticen el efecto deseado, sin que se perturben las propiedades restantes de la mezcla, ni representen peligro para la armadura que pueda tener el pavimento. Los aditivos a usar pueden ser inclusores de aire, reductores de agua, acelerantes y retardantes de fragua; los cuales deben cumplir las especificaciones indicadas en las normas. (EG - MTC, 2013, p.809)[15]

2. Hidratación y Curado del Concreto

La hidratación es la reacción química que se produce por el contacto del agua con el cemento, para cumplir con el ciclo de hidratación es necesario que se provea de un adecuado procedimiento de curado así como el tiempo necesario. Se define como curado al periodo durante el cual el concreto es mantenido húmedo y a temperatura adecuada, tales que permitan completar la hidratación del cemento, así como alcanzar las resistencias deseadas. El curado¹⁴ podrá ser

¹⁴Las formas previstas para el curado, que en este documento se señalan son descritos en EG - MTC (2013)[15]

mediante: humedad, productos químicos y laminas para cubrir el concreto.

- El curado por humedad, es el método más sencillo y efectivo. Consiste en inundar la superficie con agua¹⁵. Es importante que la temperatura del agua y del concreto no exceda los 7 °C para evitar un choque térmico.
- En el caso de los productos químicos, se empleará un producto de calidad certificada que, aplicado mediante aspersión sobre la superficie del pavimento garantice el correcto curado de éste. El producto por utilizar, debe satisfacer todas las especificaciones de calidad que indique su fabricante. La efectividad de los productos de curado se debe demostrar mediante experiencias.
- Las láminas para cubrir el concreto pueden ser: cubiertas húmedas de tela, costales, paja o arena húmedos en un espesor de 25 mm, y deben permanecer húmedas durante todo el periodo de curado. Otros tipos de cubierta pueden ser de polietilenos generalmente en color blanco, los cuales deben extenderse tan pronto termine las operaciones de acabado superficial.

2.5. Método AASHTO para el Diseño de Pavimento

La guía para el diseño de pavimentos rígidos fue presentado en la “Guide for Design of Pavement Structures”, en 1986; en 1993 se presenta una revisión del manual que a sido adoptada por las normativas peruanas vigentes (Manual de Carreteras “Sección Suelos y Pavimentos”[16] y Norma Técnica CE 010[17]).

El método AASHTO permite calcular el espesor de un pavimento de concreto para que esta pueda soportar el paso del tránsito estimado, expresado en ejes equivalentes de 80 kN, sin producir la disminución en el índice de servicio (PSI), el cual se calcula a partir de una serie de medidas en el pavimento (regularidad superficial,

¹⁵El agua, debe cumplir los requisitos señalados en items anteriores.

2.5. Método AASHTO para el Diseño de Pavimento

agrietamiento, baches). La formula general a la que llegó el AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos se expresa en la ecuación 2.5.1.

$$\begin{aligned} \text{Log}_{10}W_{82} = & Z_R S_O + 7,35 \text{Log}_{10} (D + 25,4) - 10,39 + \frac{\text{Log}_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4,5-1,5} \right)}{1 + \frac{1,25 \times 10^{19}}{(D+25,4)^{8,46}}} \\ & + (4,22 - 0,32P_t) \times \text{Log}_{10} \left(\frac{M_r C_{dx} (0,09D^{0,75} - 1,132)}{1,51 \times J \left(0,09D^{0,75} - \frac{7,38}{\left(\frac{E_c}{k}\right)^{0,25}} \right)} \right) \end{aligned} \quad (2.5.1)$$

Donde:

W_{18} = Número de cargas de 18 kips (80 kN o 8.2 t) previstas.

Z_r = Desviación estándar normal.

S_o = Desvío estándar de todas las variables.

D = Espesor de la losa del pavimento (en pulgadas).

ΔPSI = Pérdida de serviciabilidad prevista en el diseño.

P_t = Índice de serviciabilidad final.

M_r = Resistencia media del concreto (en Mpa) a flexo tracción a los 28 días.

J = Coeficiente de transferencia de carga en las juntas.

C_d = Coeficiente de drenaje.

E_c = Módulo de elasticidad del concreto en Mpa.

K = Módulo de reacción (coeficiente de balasto), dada en Mpa/m de la superficie (base, subbase o subrasante).

El procedimiento de diseño normal es suponer un espesor de pavimento e iniciar a realizar tanteos, hasta llegar a una igualdad y posteriormente evaluar todos los factores adicionales de diseño, si se cumple el equilibrio en la ecuación el espesor supuesto es correcto.

Las variables que influyen en el cálculo del espesor del pavimento son:

Tráfico

El método en estudio, requiere la transformación de todo el tránsito que circula sobre el pavimento a lo largo del periodo de diseño a ejes simples equivalentes de 18 kips (W_{18}). Cabe precisar que este factor fue explicado extensamente en la sección 2.4.1.

Confiabilidad (R)

La confiabilidad es la probabilidad de que el pavimento se comporte satisfactoriamente durante su vida útil o período de diseño, resistiendo las condiciones de tráfico y medio ambiente dentro de dicho período. Si el número de ESALs previstos es menor que el número de ESALs reales, la vida útil del pavimento se acortará. Por lo tanto, la variabilidad en el diseño, en la construcción afectan en gran medida la bondad de un diseño.

Según el AASHTO 93 la confiabilidad (R) de un pavimento puede definirse en términos de ESALs como:

$$R(\%) = 100P(N_t > N_T)$$

Donde:

N_t = Número de ESALs de 80 kN que llevan al pavimento a su serviciabilidad final.

N_T = Número de ESALs de 80 kN previstos que actuarán sobre el pavimento en su período de diseño (vida útil).

Los siguientes valores de confiabilidad en relación al Número de Repeticiones de ESALs son sugeridos por el MTC. 2.12

Serviciabilidad

Mediante la serviciabilidad se puede medir el comportamiento del pavimento, la misma que se relaciona con la seguridad y comodidad que puede brindar al usuario que circula por la vía (comportamiento funcional). Además relaciona las características físicas que puedan presentarse en el pavimento como los agrietamientos, fallas, etc,

2.5. Método AASHTO para el Diseño de Pavimento

Cuadro 2.12: Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad (R) y Desviación Estándar Normal (Zr) Para una sola etapa de 20 años según rango de Tráfico

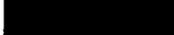
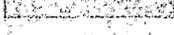
Tipo de caminos	Trafico	Ejes Equivalentes Acumulados	Nivel de Confiabilidad (R)	Desviación Estándar N.(ZR)	
Camiones de Bajo Volumen de Tránsito	T_{P1}	150,001	300,000	70 %	-0.524
	T_{P2}	300,001	500,000	75 %	-0.674
	T_{P3}	500,001	750,000	80 %	-0.842
	T_{P4}	750,001	1,000,000	80 %	-0.842
Resto de camiones	T_{P5}	1,000,001	1,500,000	85 %	-1.036
	T_{P6}	1,500,001	3,000,000	85 %	-1.036
	T_{P7}	3,000,001	5,000,000	85 %	-1.036
	T_{P8}	5,000,001	7,500,000	90 %	-1.282
	T_{P9}	7,500,001	10,000,000	90 %	-1.282
	T_{P10}	10,000,001	12,500,000	90 %	-1.282
	T_{P11}	12,000,001	15,000,000	90 %	-1.282
	T_{P12}	15,000,001	20,000,000	90 %	-1.282
	T_{P13}	20,000,001	25,000,000	90 %	-1.282
	T_{P14}	25,000,001	30,000,000	90 %	-1.282
	T_{P15}		> 30,000,000	95 %	-1.645

(Fuente: MTC, 2013, p.266)[16]

que podrían afectar la capacidad de soporte de la estructura (comportamiento estructural).

El PSI califica a la superficie del pavimento de acuerdo a una escala de valores de 0 a 5 (cuadro 2.13). La serviciabilidad es una medida subjetiva de la calificación del pavimento, sin embargo la tendencia es poder definirla con parámetros medibles como son: el índice de perfil, índice de rugosidad internacional, coeficiente de fricción, distancias de frenado, visibilidad, etc.

Cuadro 2.13: Calificación de la serviciabilidad.

Calificación	Índice de servicio
Excelente	
Muy bueno	
Bueno	
Regular	
Malo	
Intransitable	

La pérdida de serviciabilidad se define como la diferencia entre el índice de servicio inicial y final $\Delta PSI = P_o - P_t$.

El Índice de Serviciabilidad Inicial (P_o), Es la condición que tiene un pavi-

2.5. Método AASHTO para el Diseño de Pavimento

mento inmediatamente después de la construcción del mismo. Para un pavimento de concreto el AASHTO recomienda un valor de 4.5

El Índice de Serviciabilidad Final (P_t), ocurre cuando la superficie del pavimento ya no cumple con las expectativas de comodidad y seguridad exigidas por el usuario. La calificación que se espera tener de la serviciabilidad esta dado en función de la importancia de la vía y se presenta en el cuadro 2.14.

Cuadro 2.14: Índice de serviciabilidad final

Clasificación	P_t
Autopistas	3.00
Colectores	2.50
Calles comerciales e industriales	2.25
Calles residenciales y estacionamientos	2.00

El Suelo y el Efecto de las Capas de Apoyo (Kc)

El parámetro que caracteriza al tipo de subrasante es el módulo de reacción de la subrasante (K). Adicionalmente se contempla una mejora en el nivel de soporte de la subrasante con la colocación de capas intermedias granulares o tratadas, efecto que mejora las condiciones de apoyo y puede llegar a reducir el espesor calculado de concreto. Esta mejora se introduce con el módulo de reacción combinado (Kc), M. Becerra (2012, p.118-120) [1]

El ensayo para determinar el módulo de reacción de la subrasante, llamado también ensayo de placa, tiene por objetivo determinar la presión que se debe ejercer para lograr una cierta deformación, para este caso es de 13 mm. El ensayo esta normado en ASTM D ¹⁶ - 1196 y AASHTO T - 222. Las unidades de K son Mpa/m.

No obstante, se puede utilizar la alternativa que da AASHTO a través de ciertas correlaciones directas que permiten obtener el coeficiente de reacción k en función de la clasificación de suelos y el CBR (California Bearing Ratio) ¹⁷; en tal sentido

¹⁶ASTM: la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales

¹⁷CBR:Ensayo de Relación de Soporte de California

2.5. Método AASHTO para el Diseño de Pavimento

se recomienda considerar las siguientes ecuaciones:

Si $CBR > 10\%$, entonces:

$$K = 46 + 9,08 x (\text{Log}(CBR))^{4,34}, \text{ en Mpa/m} \quad (2.5.2)$$

Si $CBR < 10\%$, entonces:

$$K = 2,25 + 52,5 x (\text{Log}(CBR)), \text{ en Mpa/m} \quad (2.5.3)$$

El Valor del K combinado será finalmente:

$$K_C = \left[1 + (h/38)^2 x (K_1/K_0)^{2/3} \right]^{0,5} x K_0 \quad (2.5.4)$$

Donde:

K_1 (kg/cm^3) : Coeficiente de reacción de la sub base granular

K_C (kg/cm^3) : Coeficiente de reacción combinado

K_0 (kg/cm^3) : Coeficiente de reacción de la subrasante

h (cm) : Espesor de la subbase granular

También para la estimación del módulo de reacción se puede usar las correlaciones que están en función de la clasificación de suelos y el CBR, que nos da el AASHTO como alternativa y es presentado en la figura 2.7.

Resistencia a flexo tracción del concreto (Mr)

Debido a que los pavimentos de concreto JPCP trabajan principalmente a flexión es que se introduce este parámetro en la ecuación AASHTO 93. El módulo de rotura (Mr) esta normalizado por ASTM C - 78. Obviamente, a mayor Mr, menor espesor de pavimento. El mínimo valor de Mr para el caso de pavimentos es de $Mr = 40$

2.5. Método AASHTO para el Diseño de Pavimento

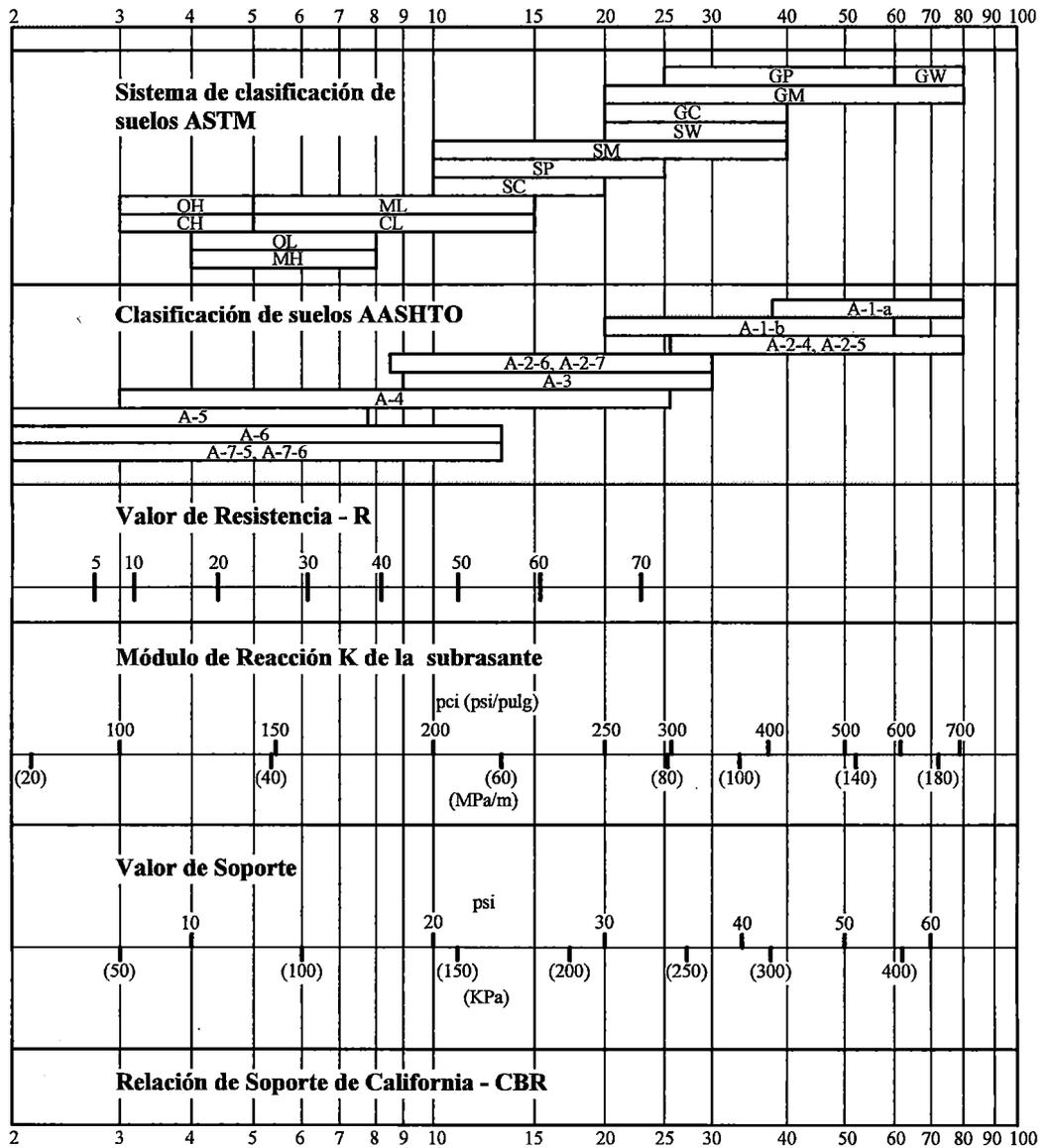


Figura 2.7: Correlación CBR y módulo de reacción de la subrasante (AASHTO-93)

Kg/cm², que da un valor a compresión de $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$, con una relación agua - cementante de 0.5. El valor no está regido a la AASHTO, es un tema de la tecnología propia del material para soportar el desgaste por el paso de los neumáticos. No se recomienda concretos con $Mr > 50 \text{ Kg/cm}^2$, pues éstos hacen demasiada rígida la carpeta de rodadura. El módulo de rotura (Mr) del concreto se correlaciona con el módulo de compresión ($f'c$) del concreto mediante la siguiente regresión:

Donde los valores "a" varían entre 1.99 y 3.18.

2.5. Método AASHTO para el Diseño de Pavimento

$$M_r = a\sqrt{f'c} \quad (2.5.5)$$

(Valores en kg/cm²), según el ACI 363

Es conveniente recalcar que el M_r es el parámetro de diseño para AASHTO 93.

Módulo elástico del concreto (E)

El módulo de elasticidad (E) del concreto es un parámetro particularmente importante para el dimensionamiento de estructuras de concreto armado. La predicción del mismo se puede efectuar a partir de la resistencia a compresión o flexotracción, a través de correlaciones establecidas. En el caso de concretos de alto desempeño, con resistencia a compresión superior a $f'c > 400$ Kg/cm², se estima utilizando las fórmulas propuestas por distintos códigos puede ser incierta puesto que existen variables que no han sido contempladas, lo que las hace objeto de continuo estudio y ajuste.

AASHTO 1993 indica que el módulo elástico puede ser estimado usando una correlación recomendada por el American Concrete Institute (ACI) ¹¹:

$$E = 57,000 x (f'c)^{0,5}, \quad (f'c \text{ en psi}) \quad (2.5.6)$$

El ensayo ASTM C - 469 calcula el módulo de elasticidad del concreto

Drenaje (Cd)

La presencia de agua o humedad en la estructura del pavimento trae consigo los siguientes problemas:

- Erosión del suelo por migración de partículas.
- Ablandamiento de la subrasante por saturación prolongada, especialmente en situaciones de congelamiento.

¹¹ACI: Instituto Americano de Concreto

2.5. Método AASHTO para el Diseño de Pavimento

- Degradación del material de la carpeta de rodadura por humedad.
- Deformación y fisuración creciente por pérdida de capacidad estructural.

La metodología de diseño AASHTO 93 incorpora el coeficiente de drenaje (C_d) para considerarlo en el diseño.

El coeficiente de drenaje C_d varía entre 0.70 y 1.25, según las condiciones antes mencionadas. Un C_d alto implica un buen drenaje y esto favorece a la estructura, reduciendo el espesor de concreto a calcular.

Pasos para el cálculo del C_d :

- Se caracteriza la calidad del material como drenaje en función de sus dimensiones, granulometría, y características de permeabilidad. Se puede considerar como un drenaje: excelente, bueno, regular, pobre o muy pobre.
- Una vez caracterizado el material y su calidad de drenaje, se calcula el C_d correlacionándolo con el grado de exposición de la estructura a niveles de humedad próximos a la saturación, utilizando para ello el Cuadro 2.15

Cuadro 2.15: Valores recomendados del coeficiente de drenaje C_d

Cd	Tiempo que tarda el agua en ser evacuada	Porcentaje de tiempo en que la estructura del pavimento está expuesta a niveles de humedad próximos a la saturación			
		<1 %	1 %-5 %	5 %-25 %	>25 %
Excelente	2 horas	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno	1 día	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Mediano	1 semana	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Malo	1 mes	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy malo	Nunca	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

(Fuente: MTC-2013, P.271)[16]

Transferencia de cargas (J)

Las cargas de tránsito deben ser transmitidas de una manera eficiente de una losa a la siguiente para minimizar las deflexiones en las juntas. Las deflexiones excesivas

2.5. Método AASHTO para el Diseño de Pavimento

producen bombeo de la subbase y posteriormente rotura de la losa de concreto.

El método AASHTO considera la transferencia de cargas mediante el factor de transferencia de cargas J. La efectividad de la transferencia de cargas de una losa a otra depende de varios factores: La cantidad de tráfico, la utilización de pasajuntas y la presencia de soporte lateral de las losas (sardinell). El cuadro 2.16, muestra los valores para el coeficiente J.

Cuadro 2.16: Valores de coeficiente de transmisión de cargas J

Tipo de Berma	Asfáltica		Concreto hidráulico	
	SI	NO	SI	NO
Pasajuntas				
Valores J	3.2	3.8 - 4.4	2.8	3.8

(Fuente: MTC, 2013, p.271)[16]

Los investigadores recomiendan el uso de pasajuntas cuando:

- El tráfico pesado sea mayor al 25 % del tráfico total.
- El número de Ejes Equivalentes de diseño sea mayor de 5.0 millones de Esals.

Capítulo 3

Diseño de Pavimentos de Losas Cortas TCP

3.1. Consideraciones Generales

En el 2005 el panorama cambió, especialistas del área estaban pensando cómo revertir esta situación y apareció la losa corta o de geometría optimizada que vino a provocar la gestación de diferentes técnicas que se comenzaron a desarrollar en pro de mejorar el uso de esta nueva tecnología, señala J. Covarrubias [5], gerente general de TCPavements (TCP).

Las losas cortas, una invención chilena, se han logrado validar - de acuerdo a sus promotores - en el mercado de América Latina e incluso está siendo integrado a las técnicas aprobadas por Estados Unidos. Este tipo de pavimentación en concreto es más eficiente que las técnicas tradicionales. Dichas losas posibilitan la reducción de espesores hasta en un 30 %, en relación al concreto tradicional, y por consiguiente la disminución de costos.

En cuanto a estudios de losas cortas según M. Becerra (2012, p.225-226) [1] El análisis se debe realizar mediante la estimación de esfuerzos y deformaciones máximas admisibles para una estructura de pavimento de concreto, de esta manera, el análisis se limita a modelar, dentro de algún programa de elementos finitos aplicado para

3.2. Bases teóricas de pavimentos tipo TCP

pavimentos. Los esfuerzos y deformaciones que el diseñador aceptará después del paso de cargas de tránsito, pudiendo considerarse la acción del clima mediante la inclusión de gradientes térmicos y de humedad.

En la actualidad existen software dentro del marco de elementos finitos como el EverFe, publicado por el Transportation Research Board (TRB)¹ en el artículo: No. 1629, Design and Rehabilitation of Pavements 1998². El EverFe es capaz de modelar tanto pavimentos convencionales como aquellos con losas optimizadas.

Por otro lado, existen softwares comerciales mucho más poderosos para el análisis y simulación de pavimentos de concreto con elementos finitos. El más reconocido actualmente es el ISLAB 2000, empleado en el MEPDG 2008.

Desde hace unos años, investigaciones realizadas por el Instituto Chileno del Cemento y Hormigón (ICH), y estudios independientes por parte del Dr. Juan Pablo Covarrubias, en la Universidad de Illinois, han logrado justificar el empirismo con el que se trabajaron inicialmente en losas optimizadas en algunos países de Centro América, fortaleciendo la teoría mecanicista para este tipo de innovaciones.

En el 2013, la empresa de capitales chileno TCpavement, lanza esta tecnología a través de su software Optipave (que incluye corridas del ISLAB 200) con la finalidad de obtener, las reducciones de espesores en losas optimizadas.

3.2. Bases teóricas de pavimentos tipo TCP

Este diseño fue planteado en Chile por el Ingeniero Juan Pablo Covarrubias, como una alternativa de solución ante el ineficiente desempeño de los pavimentos tradicionales, a lo largo de su vida útil, lo cual no solo genera mayores gastos, también genera congestión vehicular durante la etapa de mantenimiento o reparación de las vías.

Se llegó al diseño TCP empezando por un concepto simple; se deben dimensionar las losas de tal forma que, cada losa sea cargada solamente por una rueda o por un

¹TRB: Junta de investigación del transporte

²Diseño y rehabilitación de pavimentos de 1998

3.2. Bases teóricas de pavimentos tipo TCP

set de ruedas, de este modo las losas no sean sobrecargadas, gracias a este concepto, se llegó a demostrar mediante en AASHTO Roas Test, el cual fue realizado por la Universidad de ILLINOIS (EE.UU.), donde se realizó un modelo a escala real de una vía con este pavimento como se muestra en la (Figura 3.1), de manera que se pueda observar y supervisar el comportamiento real ante el tráfico. O. ESTACIÓN y D. VALVERDE (2012, p.19-22) [8]

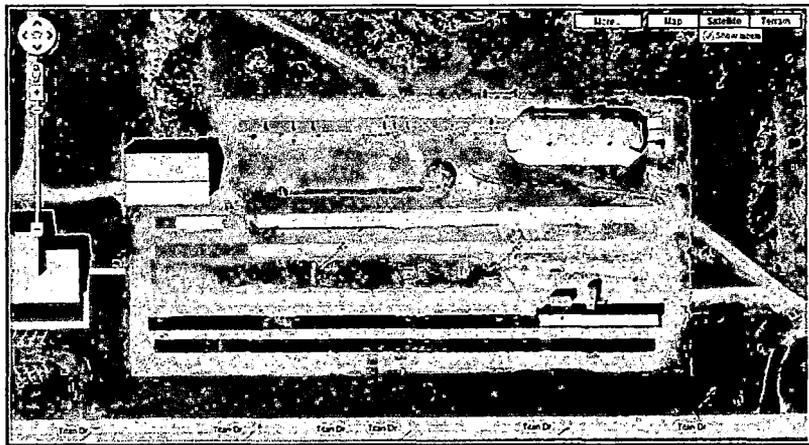


Figura 3.1: Tesis Estación y Valverde (P.19)

Lo cual comprobó la teoría que se afirmaba, haciendo uso de programas de cómputo como el ISLAB2000 y el EverFE, mediante los cuales se hallan los esfuerzos aplicados en las diferentes capas de la estructura del pavimento, asimismo sus deformaciones. Es importante comprender el comportamiento de los pavimentos de concreto. Esta geometría de las losas es contraria a las consideraciones de diseño. Por esta condición de las losas, las cargas de los camiones generan las tensiones de tracción en la cara superior. Las dimensiones de las losas tienen un importante efecto en las tensiones en el concreto, lo que es causa del agrietamiento producido por fatiga. También tiene un efecto la posición de las ruedas sobre las losas. Esta combinación de posición de las ruedas y la geometría de las losas es la principal característica de este tipo de pavimentos.

Para lograr esta condición, es necesario dimensionar la losa de tal forma que dado un camión patrón; cada rueda, o set de ruedas, pise una losa a la vez. Como existen

3.2. Bases teóricas de pavimentos tipo TCP

diferentes tipos de vehículos, se diseña para el más dañino, salvo que se conozca el tráfico y se diseñe para el tipo de vehículo que pasara mayoritariamente por dicha vía. En la (Figura 3.2) se muestra el esquema lateral carga vehículo patrón.

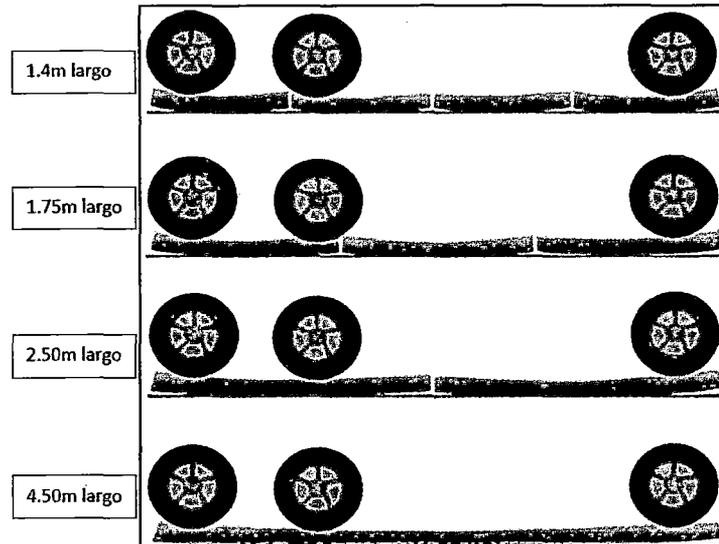


Figura 3.2: Tesis Estación y Valverde (P.21)

Al disminuir las tensiones en la parte superior de la losa se traduce en una mayor vida útil del pavimento, o visto desde otro punto de vista, permite reducir el espesor de este para lograr las mismas tensiones y vida útil obtenidas en el diseño tradicional. Es en el último caso donde las tensiones generadas por las cargas son menores, por ende se puede utilizar un menor espesor de concreto. En la (Figura 3.3) se muestra la importancia de la carga en la geometría de la losa.

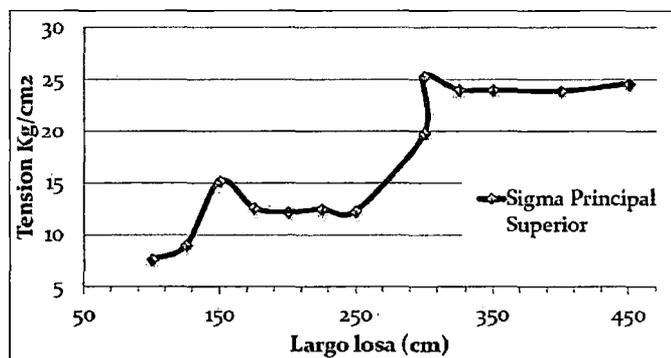


Figura 3.3: Tesis Estación y Valverde (P.22)

3.3. Concepto de Diseño de Losas con Geometría Optimizada TCP

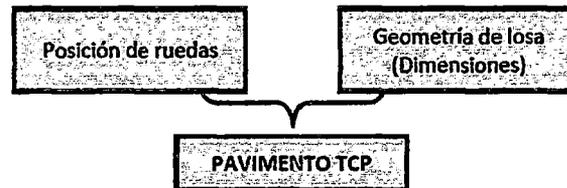


Figura 3.4: Tesis Estación y Valverde (P.23)

- Largo de losa es parte del diseño del espesor (1,3 a 2,5 m. de largo).
- Tamaño de losa optimizada por posición de las cargas del camión de diseño.

El concepto general de capas delgadas de concreto es que mediante la reducción de esfuerzos de tracción en el pavimento, conlleva a la reducción del espesor de las losas. Los esfuerzos de tracción en una losa de concreto son una función de las condiciones ambientales y de la carga. Estos esfuerzos de tracción se reducen mediante la modificación del tamaño de la losa de los más comunes de 4.50 m por 3.60 m. a aproximadamente losas de 1.80 m x 1.80 m. Propuesto por el diseño TCP, de esta forma solo una rueda carga sobre la losa en cualquier momento o situación.



Figura 3.5: Tesis Estación y Valverde (P.23)

La tensión crítica en la superficie de la losa por la aplicación de ejes de carga en ambas direcciones en losas típicas de dimensiones aproximadamente (3.60 x 4.50 m) es calculado como se muestra en la (Figura 3.6)

La geometría de la losa (tamaño y espesor), se modificó para lograr similares esfuerzos en tracción. Reduciendo el tamaño de la losa la carga y esfuerzos decrecen y así

ESFUERZO MAX (KG/CM ²)	DIMENSIONES DE LOSA		
	LONGITUD (m)	ANCHO (m)	ESPESOR (m)
25.035	4.50	3.60	0.25
24.613	2.5	1.80	0.14
25.105	1.80	1.80	0.16
24.824	1.40	1.80	0.13

Figura 3.6: Fuente: Illinois Center For Transportation. Performance Of Concrete Pavements With Optimized Slab Geometry, Agosto 2009.

el espesor de la losa requerido para un nivel de tensión dada es significativamente menor.

Con la reducción de tamaño y espesor de la losa, las deflexiones del pavimento aumentan significativamente, por lo tanto el potencial de bombeo, la erosión y la deformación permanente de las capas de subbase llegan a ser fundamentales. En forma similar al problema adoptado por el método PCA para el diseño de pavimento rígido lo que demuestra que en cierto espesor de losa podría proporcionar una vida de fatiga infinita, pero la erosión o bombeo podrían ser el factor de control.

Por lo tanto la menor geometría de la losa requiere especial atención durante las fases de diseño y construcción con una particular atención en el diseño y las especificaciones de las capas de soporte y sistema de juntas, de los cuales hablaremos posteriormente.

3.4. Funcionamiento de las Losas Cortas

El largo y ancho de las losas tiene un importante efecto en las tensiones del concreto, que es la causa del agrietamiento producido por fatiga. También tiene un efecto la posición de las ruedas sobre las losas. Esta combinación de posición de las ruedas y la geometría de las losas es una innovación que está protegida por solicitudes de patente presentadas a nivel mundial. (S. BURBOA (2010, p.15-21)) [2]

En los últimos años, el estudio de las losas de concreto y su comportamiento han

3.5. Factores que afectan el comportamiento de los pavimentos de Concreto

dado como resultado la aplicación de nuevas tecnologías para el diseño de carreteras. Este sistema consiste en rediseñar las dimensiones de las losas, losas tradicionales que generalmente están entre los 4.50m por 3.60m a losas cortas de 1.80m por 1.80m. Debido a este redimensionamiento se pueden disminuir los espesores de las capas de concreto para las carpetas de rodadura, además se deja a un lado la utilización de acero de refuerzo.

3.5. Factores que afectan el comportamiento de los pavimentos de Concreto

3.5.1. Efecto de la rigidez de la subbase en el largo del voladizo y tensiones de tracción

En el diseño AASHTO, se considera como óptimo un largo de losa de 4,5 metros, con un ancho igual al ancho de la pista. Esta dimensión de la losa hace que el camión la pise con el eje delantero en un borde y los ejes traseros en el otro borde. En el sentido transversal, las ruedas de un lado del camión pisan cerca de un borde y las del otro lado cerca del otro borde. En ambos casos el camión "plancha" la losa, generando las grietas transversales y longitudinales. (Covarrubias, 2007)[23] (ver figura 3.7 y figura 3.8).



Figura 3.7: Tesis S. BURBOA (P.16)

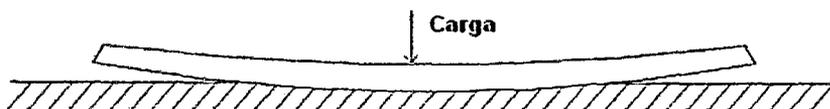


Figura 3.8: Tesis S. BURBOA (P.16)

3.5. Factores que afectan el comportamiento de los pavimentos de Concreto

Al alabearse la losa y levantar sus bordes, su apoyo en la base es un círculo Ver Figura 3.9 cuya dimensión depende de la rigidez de la base. Si la base es muy rígida, el círculo será pequeño y los voladizos largos. Esto genera tensiones de tracción altas en la cara superior, cuando la losa es pisada por un camión. Al revés, si la base es poco rígida, el círculo rojo será mayor y el largo del voladizo menor, por lo tanto las tensiones de tracción en la cara superior serán menores, pero aumentarán las tensiones de tracción en la cara inferior cuando el camión pisa el centro de la losa. Lo aconsejable es trabajar con valores de soporte del suelo entre 30 y 50 % para encontrar una rigidez ideal. (Covarrubias, 2007)[23]. Alabeo medido en una losa de piso industrial. (15 cms. de espesor y 4 mts. de largo).

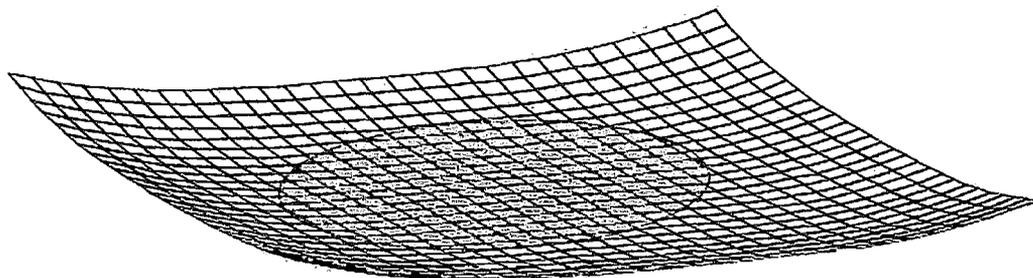


Figura 3.9: Tesis S. BURBOA (P.16)

3.5.2. Efecto del largo de la losa

Cuando una losa se alabea generalmente deja un voladizo que es aproximadamente un tercio de su longitud. Por lo tanto, cuanto mayor sea la losa, mayor será el voladizo que se generará. Es por lo mismo que se recomienda reducir las dimensiones de las losas. Como se muestra en la figura 3.10. Voladizo creado por la rigidez de las bases.

3.5.3. Efecto del alabeo en las losas de concreto

El alabeo se produce por una fuerza ubicada en la superficie de la losa, la cual se origina por el secado y la retracción causada por un diferencial térmico en la misma superficie de concreto.

El alabeo causado por secado se debe a un diferencial de humedad entre la parte

3.5. Factores que afectan el comportamiento de los pavimentos de Concreto

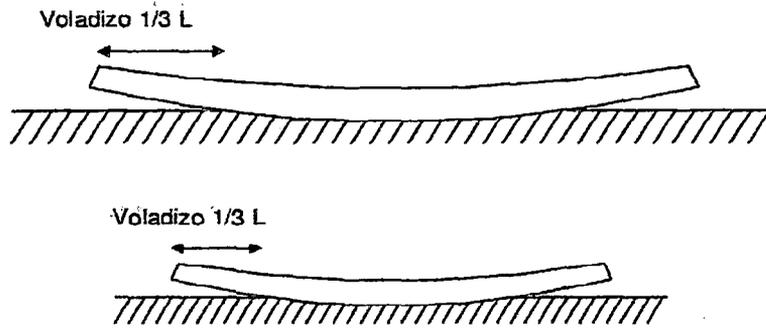


Figura 3.10: Tesis S. BURBOA (P.17)

superior e inferior de la carpeta, la parte superior siempre está seca mientras que la parte inferior se encuentra bajo la acción de la humedad de la tierra condensada bajo el pavimento. Esto produce un alabeo hacia arriba.

El alabeo de construcción es permanente y se puede medir cuando el gradiente térmico real es cero. De esta forma se puede cuantificar. En Chile se midió, y se comparo con un gradiente térmico equivalente el cual fue de $-17,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. El mayor gradiente térmico real fue medido a medio día y fue de $+19^{\circ}\text{C}$.

Ya que ambos alabeos están medidos en $^{\circ}\text{C}$ se pueden sumar. Se aprecia que la suma en el peor caso es de $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esto significa que la losa esta casi siempre con las puntas hacia arriba y en solo algunos momentos plana. (cavarrubias, 2007)[23]

Esta fuerza que produce el alabeo depende del largo de la losa, por lo tanto losas pequeñas tienen menos alabeo. Además losas más cortas tendrán menos brazo de palanca, lo que reduce las tensiones superiores.

El resultado de estas fuerzas es que mientras más grande es la losa mayor será dicha fuerza y por lo tanto mayor el alabeo.

En la siguiente (Figura 3.11) se pueden apreciar las diferentes deformaciones (alabeo) entre los distintos tamaños de losa. Además se calcularon las tensiones por peso propio que estas deformaciones generan en la losa. Se puede apreciar que losas de menos de 3.0 m. de dimensión tienen un alabeo considerablemente menor y por lo tanto las tensiones generadas son menores.

El alabeo por construcción se reducirá considerablemente con la aplicación de bue-

3.5. Factores que afectan el comportamiento de los pavimentos de Concreto

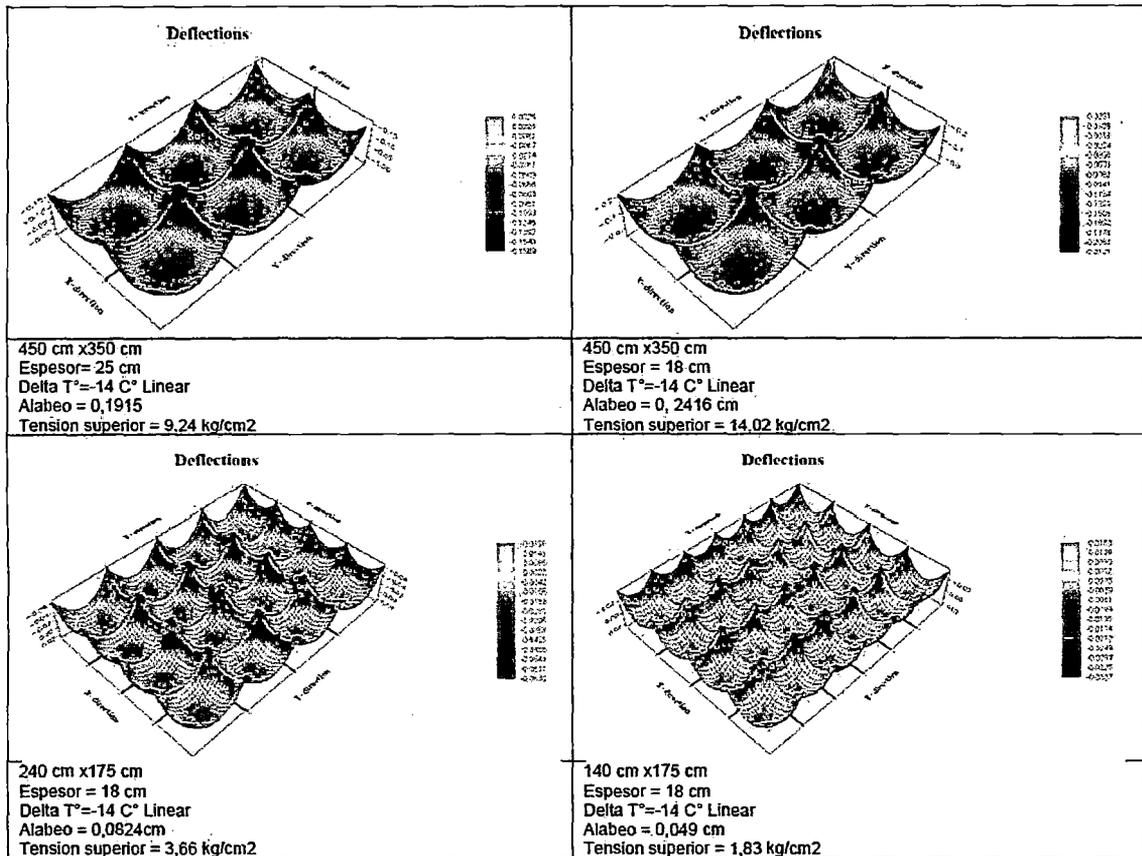


Figura 3.11: Fuente: TCPavements (innovación en pavimentos)

nas prácticas constructivas. Un proceso de curado eficiente mantendrá la humedad superficial en la losa antes de que se produzca la rigidez del elemento de concreto, no utilizar materiales impermeables bajo el pavimento, no saturar la base antes de colocar la carpeta y controlar la temperatura de la base son algunos de los factores que ayudan a reducir el alabeo. (Covarrubias, 2007).

La colocación del concreto en la tarde, reduce el alabeo por retracción térmica de la losa. Si se efectúa durante las horas más calurosas del día, la parte superior de la carpeta se secará y endurecerá a mayor velocidad. Si se generan cortes en la superficie de la losa, se puede cortar la fuerza y reducir su magnitud y por lo tanto el alabeo de las losas como se muestra en la (Figura 3.12)

Esto muestra lo importante que es aserrar las juntas lo antes posible, antes que se genere la fuerza de retracción. Mientras mayor sea la longitud de la losa, mayores fuerzas de alabeo se presentarán. Es así que las losas de menor longitud tienen

3.5. Factores que afectan el comportamiento de los pavimentos de Concreto

menores fuerzas de superficie, lo que disminuye el alabeo (Covarrubias, 2007).

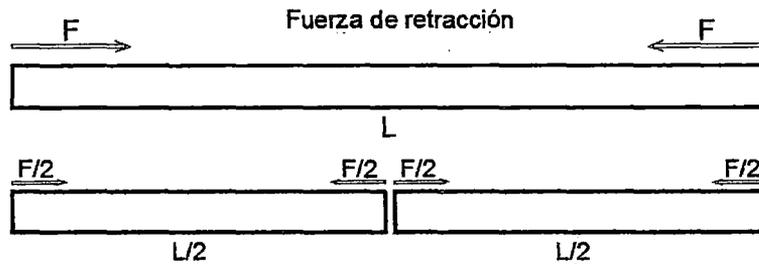


Figura 3.12: Fuente: Tesis S. BURBOA (P.18)

3.5.4. Efecto de las barras de amarre entre pistas en el agrietamiento

Se puede apreciar en la (Figura 3.13), que las barras de amarre colocadas entre las pistas en la junta longitudinal, aumentan el agrietamiento. Esto se produce porque si se permite a la losa balancearse, se reduce el largo del voladizo, disminuyendo las tensiones. La losa funciona como una balanza, haciendo que ajuste los largos de voladizo en torno a la posición de las cargas y al punto de apoyo. Al existir las barras de amarre, y afirmar la losa en un costado, desbalancea la posición de las cargas respecto al punto de apoyo, aumentando las tensiones en el hormigón de las losas y por lo tanto aumentando el consumo de fatiga y disminuyendo la duración del pavimento.

Se puede suponer un efecto similar producido por las barras de traspaso de carga. Por esta razón el nuevo sistema de diseño de pavimentos delgados, no lleva fierros en las juntas de las losas, para dejarlas balancearse. Las barras de amarre entre pistas se colocan para evitar que se desplacen entre ellas. El nuevo sistema de diseño soluciona esto colocando barras clavadas verticales al lado externo de las losas exteriores, y con esto evitar desplazamientos que separen las pistas (Covarrubias, 2007). [23]

3.5. Factores que afectan el comportamiento de los pavimentos de Concreto

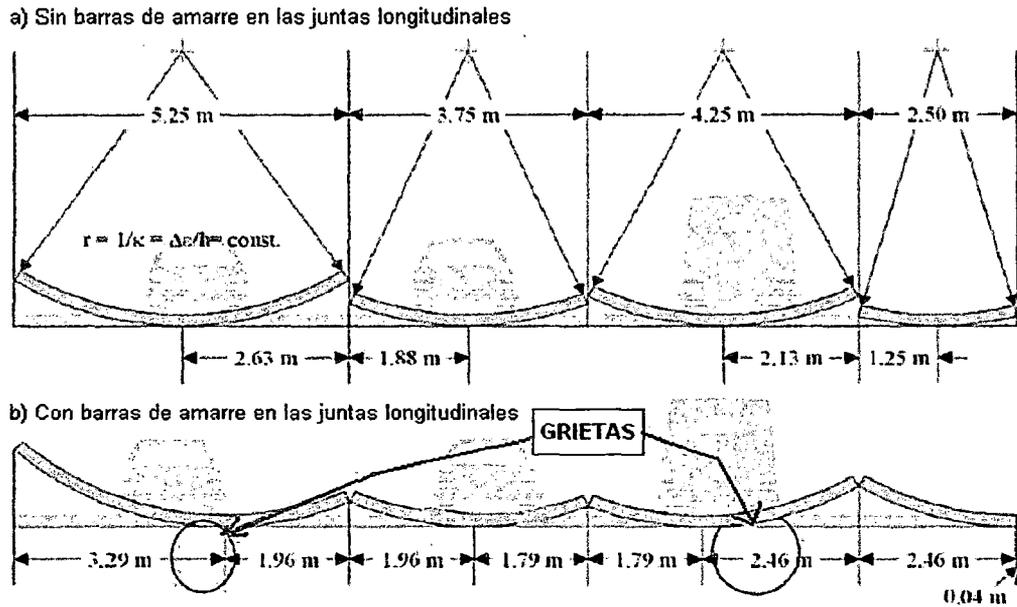


Figura 3.13: Fuente: Tesis S. BURBOA (P.19)

3.5.5. Tensiones en losas cortas

Podemos apreciar que en losas de largo y ancho tradicional, los ejes delanteros y traseros y las ruedas de un mismo eje de los camiones se posan y cargan la losa en los bordes, planchándolas cuando tienen los bordes levantados (Covarrubias, 2007). Esta posición de las cargas genera tensiones de tracción en la cara superior de las losas, generando grietas que se inician de arriba hacia abajo. Cuando la losa tiene un largo menor a la distancia ente los ejes delantero y trasero del camión o un ancho menor a la distancia entre ruedas de un mismo eje, como indican los diseños de pavimentos delgados, las losas son cargadas con un set de ruedas por losa. Esto disminuye en forma importante las tensiones en el concreto, disminuyendo el consumo de fatiga por pasada y mejorando el comportamiento (Covarrubias, 2007).[23] En la (Figura 3.14) se muestra el efecto de la configuración geométrica de las cargas versus las losas.

Sin embargo, se debe considerar el peso del concreto de la losa. Cuando la losa es cargada en uno de sus bordes, el otro se levanta, levantando la losa siguiente ver (Figura 3.15). En este caso, el peso de la losa produce tensiones en la cara superior en el punto de apoyo. Considerando un voladizo de 0,41 veces el largo, tomado

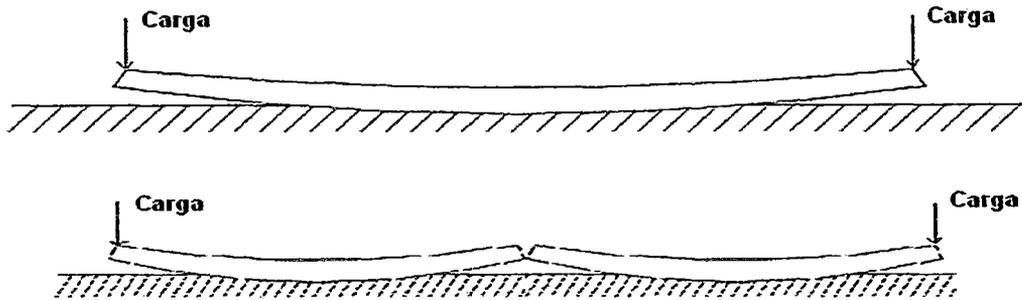


Figura 3.14: Fuente: Tesis S. BURBOA (P.19)

de mediciones en USA, las tensiones de tracción en la cara superior son las que muestra el cuadro 3.1, se puede apreciar que los valores de estas tensiones son altas y del mismo orden de magnitud que las tensiones producidas por las cargas. Esto ha evitado hasta ahora poder tener pavimentos de concreto delgados. Se puede también apreciar que al acortar las losas, estas tensiones disminuyen su magnitud a valores bastante menores a los de las cargas. Para este análisis se consideró un traspaso de cargas de 70 % entre losas.

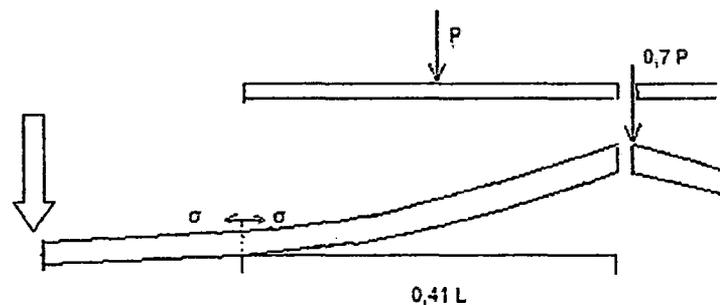


Figura 3.15: Fuente: Tesis S. BURBOA (P.21)

3.6. Metodología Diseño TCP

El nuevo concepto del diseño "TCP" es que cada losa del pavimento sea pisada, por un set de ruedas a la vez. Esto permite reducir significativamente las tensiones superiores de la losa, esta configuración de cargas versus las dimensiones de las losas, ya no produce el efecto de "planchado", debido a que cada losa soporta las cargas bajo las ruedas, apoyada en el suelo J. Covarrubias T y J. Covarrubias V (2007) [23]

Cuadro 3.1: Tensiones por peso propio de las losas para diferentes geometrías y espesores

Largo (m)	Espesor (cm)	σ_c (Mpa)
4.5	15	4.0
4.5	12	5.0
4.5	10	6.0
4.5	8	7.5
1.75	15	0.6
1.75	12	0.8
1.75	10	0.9
1.75	8	1.1

(Fuente: S. BURBOA, 2000, p.21)[2]

En el siguiente esquema representaran los siguientes gráficos de tensiones en la parte superior de la losa, para diferentes configuraciones geométricas de las cargas con respecto sus dimensiones. Para realizar estos gráficos se utilizo ISLAB2000.

En la (figura 3.16) se muestra la comparación entre diferentes tamaños de losas optimizadas según la carga de los camiones y el espesor requerido en cada situación para obtener la misma vida útil.

En la (figura 3.17) se muestra cómo las tensiones son similares en el pavimento, aunque el espesor disminuye considerablemente. Otra forma de analizar este fenómeno es mantener el espesor y calcular las tensiones superiores. Además se puede apreciar los diferentes tráficos aceptados para cada caso.

Se puede apreciar que la geometría de la losa es relevante en el funcionamiento de los pavimentos, también se muestra que existe un diseño óptimo y que no es una selección al azar del tamaño y geometría de la losa. La interacción entre el tamaño de la losa y la posición de las cargas es muy importante.

Además se puede destacar que losas más pequeñas no siempre tienen un mejor comportamiento.

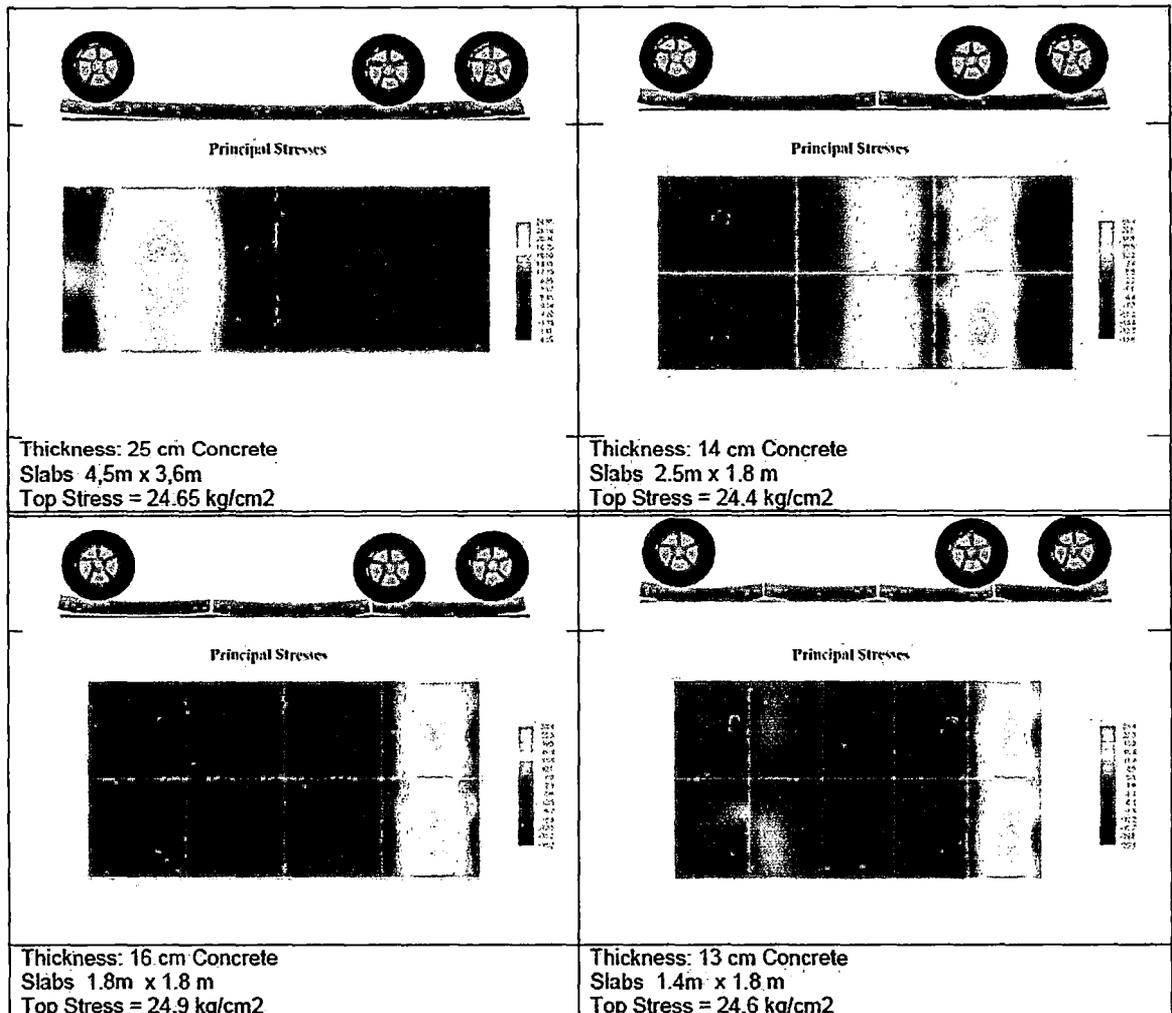


Figura 3.16: Fuente: TCPavements (innovación en pavimentos)

3.6.1. Modelación Suelo

Otro aspecto importante en el diseño TCP es la modelación del suelo. Siempre se ha considerado que la losa de concreto son suficientemente resistentes para soportar la cargas de los vehículos y no soportan tensiones por punzonamiento. En caso de losas gruesas, es preferible utilizar subbases blandas con (CBR 20%-50%) para mejorar el apoyo de ésta en el suelo. Al utilizar losas más pequeñas este efecto es menos relevante ya que el voladizo es menor. En casos que se tengan losas con espesores menores a 12 cm, requieren que la base sea más rígida y que colabore con las cargas bajo las ruedas, que producen tensiones de punzonamiento. Es por ello que para estos espesores menores a 12 cm la subbase debe tener una rigidez suficiente para

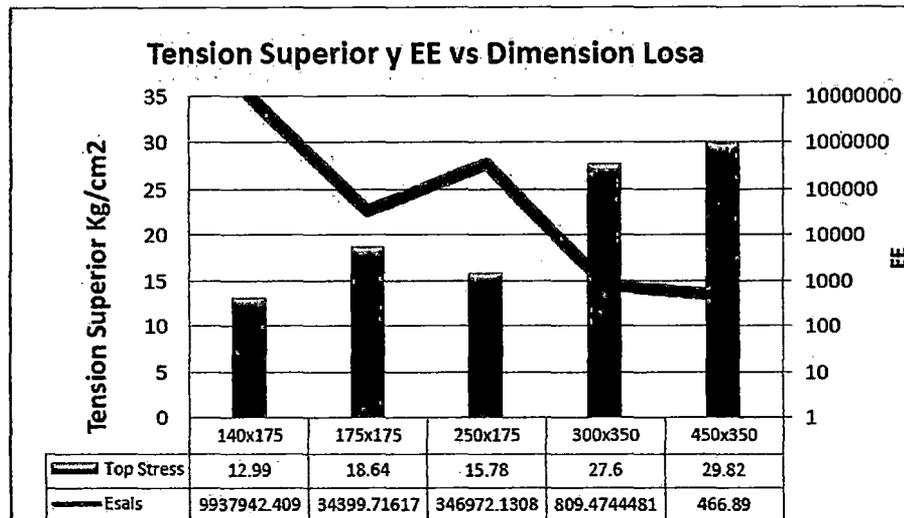


Figura 3.17: Fuente: TCPavements (innovación en pavimentos)

tomar estas cargas con (CBR >80 %). (Covarrubias, 2008).

3.7. Factores y parámetros para el Diseño TCP

3.7.1. Largo de la Losa

Dimensionar losas que solo puedan contener un set de ruedas, con la finalidad de que el concreto trabaje a compresión y no a flexión. Dirección de vialidad (Chile) [13]

El largo de la losa se debe definir antes del calculo del espesor según los criterios siguientes.

- 140 cm : caso donde el eje tandem queda en losas distintas.
- 180 cm : caso donde el eje tandem queda en la misma losa.
- 220 cm : caso donde el eje tandem queda en el centro de una losa y en borde de otra.

Para pavimentos de tránsito y clima normal se recomiendan losas de 220 cm de largo. Para climas extremos (gradientes térmicos altos) o tránsitos en mas de una

dirección se recomiendan losas de 180 cm de largo. El ancho de las losas deberá ser media pista (175 cm) y deberá considerar las condiciones de borde con que se diseñe.

3.7.2. Tensiones en el Concreto

Calcular las tensiones generadas en el concreto para diferentes condiciones (alabeo, espesor, Carga Trafico, Tipo de eje, etc.). En lugares críticos dentro de la losa.

Número de pasadas admisibles

Calcular el número máximo de pasadas, dadas las tensiones máximas generadas. Se puede emplear los modelos de verificación por fatiga de PCA 84 o mejor aún los indicados en MEPDG 2008.

$$\log(N_{ijkl}) = 2x \left(\frac{C_3 x \sigma_{ijkl}}{MOR x C_1 x C_2} \right)^{-i,22} \quad (3.7.1)$$

Donde:

N_{ijkl} : Número de pasadas admisibles para posición del eje k, condición de alabeo i y condición de carga j, superior o inferior (l)

σ_{ijkl} : Tensión principal maxima calculada para posición del eje k, condición de alabeo i, condición de carga j, superior o inferior (l)

MOR : Resistencia a la flexotracción media a 90 días

C_1 : Factor de calibración por geometría y espesor de la losa, determinado según la (figura3.18)

C_2 : Factor de calibración por uso de fibras estructurales en concreto, si no se usan fibras el valor sera 1, en caso contrario sera determinado según:

$$C_2 = \left(1 + \frac{R_{3,e}}{100} \right)$$

$R_{3,e}$ = Razón equivalente de resistencia residual a 3 mm de flecha en ensayo de viga en aire.

C_3 : Factor por tipo de borde (se utiliza sólo en posiciones de borde) ver cuadro 3.7

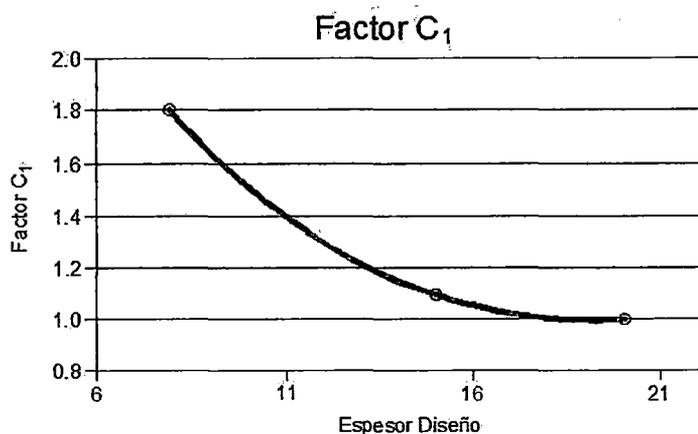


Figura 3.18: Fuente: TCPavements (innovación en pavimentos)

3.7.3. Daño de fatiga en un punto determinado

Utilizando la hipótesis de Miner, el daño por fatiga para cada posición es determinado en la parte superior e inferior de la losa sobre la base de la siguiente fórmula:

$$FD_k = \sum_i \frac{n_{ijk}}{N_{ijk}} \quad (3.7.2)$$

Donde:

FD_k : Daño por fatiga para una posición determinada del eje k

n_{ijk} : Número de pasadas para la tensión local l para condición i,j,k

N_{ijk} : Número de pasadas permitidas para la tensión local l para condición i,j,k

i : Condición de alabeo

j : Condición de carga

k : Posición eje

Porcentajes de losas agrietadas para un 50% de confiabilidad

El porcentaje de losas agrietadas se determinan para el 50% de confiabilidad para cada posición superior e inferior, basado en MEPDG daño causado por fatiga en el

3.7. Factores y parámetros para el Diseño TCP

modelo de agrietamiento (ARA, 2007).

$$\%Crack_{kl} = \frac{1}{1 + FD_{kl}^{-1,98}} \quad (3.7.3)$$

Donde:

$\%Crack_{kl}$: Porcentaje de losas agrietadas en posición del eje k

FD_{kl} : Daño por fatiga con eje en la posición k y ubicación de esfuerzo l

Cálculo del porcentaje de losas agrietadas totales, fibra superior e inferior

$$Tcracks_l = MAX(\%Crack_{kl}) \quad (3.7.4)$$

Cálculo del porcentaje de losas agrietadas final 50 % de confiabilidad

Combinando el agrietamiento desde cada posición para determinar el total de fisuras en el pavimento para el 50 por ciento de confiabilidad:

$$TTCracks50 = Tcracksi + Tcrackss - Tcracksi * Tcrackss \quad (3.7.5)$$

Donde:

$TTCracks50$: % total de losas fisuradas, 50 % de confiabilidad

$Tcracksi$: % losas fisuradas desde la parte inferior

$Tcrackss$: % losas fisuradas desde la superficie

Cálculo confiabilidad porcentajes de losas agrietadas

La Confiabilidad es determinada con la misma metodología que el MEPDG (ARA 2007) y se presenta a continuación:

$$TTcracks_m = TTcracks_{50} \times Z_r \times S_e \quad (3.7.6)$$

$$S_e = (5,3116 \times TTcracks_{50}^{0,3903}) + 2,99 \quad (3.7.7)$$

Donde:

$TTcracks_m$: % losas agrietadas, m % confiabilidad

$TTcracks_{50}$: % total de losas agrietadas, 50 % confiabilidad

Z_r : Coeficiente estadístico, asociado al nivel de confianza (1-R) en una curva de distribución normal

S_e : Desviación normal del error combinado

3.8. Método TCP para el Diseño de Pavimento

Los valores y parámetros necesarios para establecer el espesor requerido se explica a continuación.

Posición de daño crítico

Para evaluar el comportamiento del pavimento ante cargas cíclicas y repetitivas se estudia la posición del eje que genera mayor daño por fatiga. como se muestra en la (figura3.19) y la (figura3.20)

Mediante el AASHTO Road Test, de acuerdo a los ensayos a escala real realizados, se determinó las siguientes posiciones de carga, estas zonas son las que sufren la máxima fatiga, por lo que el análisis que se debe realizar es de acuerdo a estas posiciones de carga y se escoge para el diseño el modelo que presente una respuesta

3.8. Método TCP para el Diseño de Pavimento

mayor.

La cantidad de pasadas recomendadas por posición se indica en el cuadro 3.2. Las cuales ponderan la cantidad de pasadas solicitantes (EE de diseño) para encontrar la cantidad de pasadas reales en cada punto, emplear la ecuación 3.8.1

A continuación se muestra los porcentajes de pasadas en distintos puntos de las losas de pavimento.

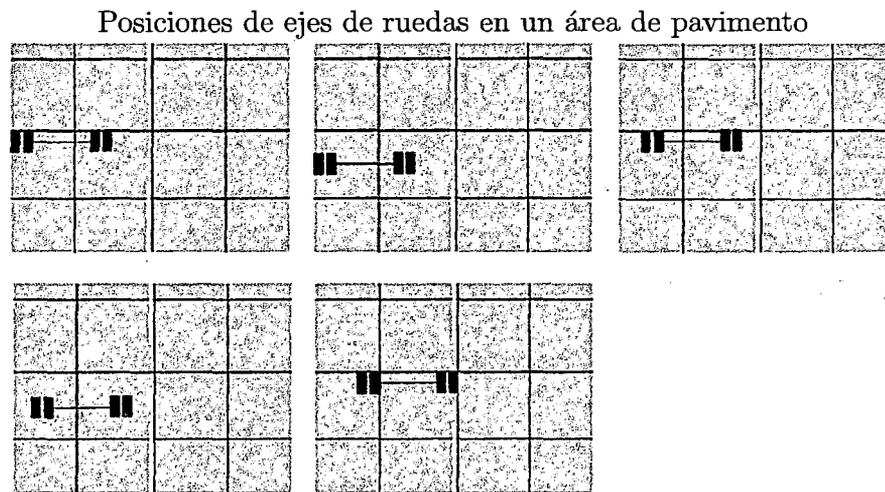


Figura 3.19: Fuente: Estación y Valverde (2012, P.25)[8]

Porcentaje de pasadas sobre cada lugar en las losas

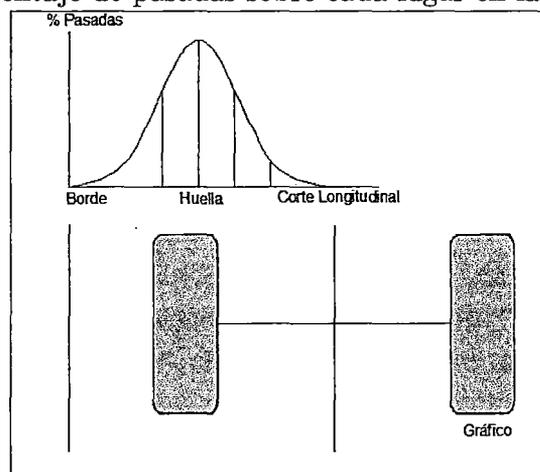


Figura 3.20: Fuente: Estación y Valverde (2012, P.25)[8]

Como el eje tandem produce flexión en la losa, generando tensiones superiores no consideradas en las pasadas anteriores, es que se realiza una verificación en la esquina, utilizando las mismas ecuaciones de fatiga.

3.8. Método TCP para el Diseño de Pavimento

Este análisis se realiza solo para la fibra superior y en las posiciones de esquina y huella en el corte transversal. Se determina la cantidad de ejes tandem y tridem que pasarán aplicando la ecuación 3.8.2

$$N^{\circ} \text{ de ciclos de carga} = F_u \times EE \quad (3.8.1)$$

$$N^{\circ} \text{ de ciclos de carga tandem} = EE \times F_u \times (\% \text{ Ejes Tandem} + 2 \times \% \text{ Ejes Tridem}) \quad (3.8.2)$$

Cuadro 3.2: Porcentaje de Pasadas

Posición	Pasadas (Fu %)
Borde	8 %
Huella (40 cm. del borde)	30 %
Corte Longitudinal	8 %

(Fuente: Programa Optipave, Ayuda)

Tránsito

El método requiere determinar y definir lo siguiente:

1. **Ejes equivalentes solicitantes** las solicitaciones que deberá soportar la estructura se expresa como ejes equivalentes (EE) acumulados durante el periodo de vida de diseño. Salvo que se indique o autorice especialmente de otra manera, los pavimentos de concreto con losas de espesor optimizado deberán diseñarse en una sola etapa.
2. **Distribución de ejes** El valor se expresa como porcentaje de los ejes equivalentes generados por cada tipo de eje. Si no se dispone de esta información los valores a utilizar son los que se indican en el cuadro 3.3 (deben sumar 100 %) Para tránsitos menores a un millón de ejes equivalentes y en caso que no se disponga de esta información, se debe considerar un distribución de 50 % para (ESRS) y 50 % para (ESRD).

Cuadro 3.3: Distribución de Ejes

Tipo de eje	Distribución de ejes (%)
Eje simple rueda simple ESRS	20 %
Eje simple rueda doble ESRD	40 %
Eje doble rueda doble EDRD	30 %
Eje triple rueda doble ETRD	10 %

(Fuente: Dirección de Vialidad 2012)[13]

3. **Sobrecarga** El método tiene incluida las posibles sobrecargas en los ejes ya que, como factor de seguridad, evalúa no solo el ESRD estándar si no que también evalúa un ESRD con un 20% de sobrecarga tomado en cuenta las posibles interacciones que pueda existir por este efecto.

En caso de existir sobrepeso mayor a lo señalado, se recomienda considerar un 10% de sobrecarga para un diseño seguro.

Porcentaje de Losas Agrietadas (TTcracks)

Debe tenerse en consideración que este parámetro solo determina un umbral de daño en un tiempo determinado y no necesariamente la vida útil del pavimento.

En el cuadro 3.4 se encuentran los valores recomendados para el porcentaje de losas agrietadas.

Cuadro 3.4: Daño Admitido (TTracks)

Clasificación del camino	Losas agrietadas (%)
Vías principales y auto pistas	10-20
Vías colectoras	10-30
Caminos secundarios	30-50

(Fuente: Dirección de Vialidad 2012)[13]

Confiability

El factor de confiabilidad (M) que es función de un valor asociado al nivel de confianza de la distribución normal (Z_r) y de la desviación normal del error combinado

(Se) de todos los parámetros que intervienen en el comportamiento del pavimento.

Módulo de reacción de la subrasante

El módulo de reacción de la subrasante, k (Mpa/m) es el parámetro que se utiliza para caracterizar la capacidad de soporte de la subrasante

1. **Método de cálculo del valor de k para un sistema multicapas** si el diseño se realiza considerando un sistema multicapas, como el mostrado en la (figura3.21), el módulo de reacción de este sistema se determina aplicando el método KSEM, el cual modela el ensayo de placa de carga.

Porcentaje de pasadas sobre cada lugar en las losas

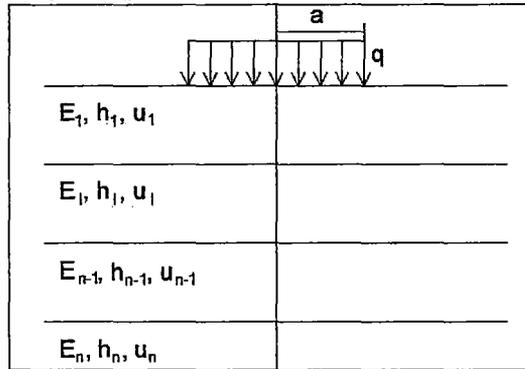


Figura 3.21: Fuente: Dirección de Vialidad (2012)[13]

$$k = \frac{0,0167087 \times E_n}{(1 - u^2) \left(\frac{1 - \frac{E_n}{S}}{\left[1 + \left(\frac{h_1 + h_2 + \dots + h_{n-1}}{38,1} \right)^2 \left(\frac{S}{E_n} \right)^{\frac{2}{3}} \right]^{\frac{1}{2}} + \frac{E_n}{S}} \right)} \quad (3.8.3)$$

Donde:

$$S = E_1 \left[\frac{h_1 + h_2 \sqrt[3]{\frac{E_2}{E_1}} + h_3 \sqrt[3]{\frac{E_3}{E_1}} + \dots + h_{n-1} \sqrt[3]{\frac{E_{n-1}}{E_1}}}{\sum_{i=1}^{n-1} h_i} \right]^3 \quad (3.8.4)$$

S : Módulo equivalente (kg/cm²)

E_i : Módulo de la elasticidad de la capa i (kg/cm²)

h_i : Espesor de la capa i (cm)

u : Relación de poisson de la capa n

Propiedad de concreto

se deben definir las siguientes propiedades del concreto

1. **Resistencia a la flexotracción** Para el modelo se utiliza la resistencia media a la flexo tracción a 90 días con un 20 % de fracción defectuosa, valor con el que se debe diseñar el pavimento. Se recomienda los valores que se indican en la cuadro 3.5

Cuadro 3.5: Resistencia a la flexotracción característica (80 %)

Tipo de via	Resistencia a la flexotracción características a 90 días (Mpa)	
	Rango	Recomendado
Vias principales y autopistas	5.0-5.5	5.3
Vias colectoras	4.6-5.5	5.3
Caminos secundarios	4.6-5.3	5.0

(Fuente: Dirección de vialidad, 2012)[13]

2. **Módulo de elasticidad de concreto** Para el módulo de elasticidad del concreto de características normales se recomienda utilizar el valor de 29,000 Mpa. Si no se tienen valores obtenidos por resistencia de concreto a 90 días.
3. **Módulo de poisson, coeficiente de dilatación térmica y retracción a 365 días** Cuando no se disponga de información se recomienda utilizar para los diseños los valores indicados en el cuadro 3.6

Factores de borde por tipo de ajuste

Se define como borde, aquel que es adyacente por el exterior a una pista de 3.5 metros de ancho. Los tipos de borde aplicables a esta tecnología son los que se indican a continuación y los factores a considerar en cada caso se indican en el cuadro 3.7

Cuadro 3.6: Parámetros de diseño

Parámetros	Valor
Módulo de poisson	0.15
Coefficiente de dilatación térmica (1/°C)	0.00001
Retracción a 365 (m/m)	0.001

(Fuente: Dirección de Vialidad 2012)[13]

Cuadro 3.7: Factores de ajuste por tipo de borde

Tipo de borde	Factor de ajuste (C_3)
Libre	1.00
Berma granular	0.95
Berma asfáltica	0.90
Berma de concreto	0.85
Sobreechancho	0.80
Vereda	0.80

(Fuente: Dirección de Vialidad 2012)[13]

Alabeo

Debido a que los pavimentos cambian su condición de alabeo continuamente, el método de diseño considera este cambio como porcentaje del tiempo en el año con condiciones de alabeo cada 5 °C. El valor utilizado es un gradiente térmico que equivale a la suma de alabeos generados en la losa (térmicos, hidráulicos, y de construcción).

Los alabeos equivalentes se calculan según la ecuación 3.8.5

$$\Delta T^o = \Delta T_c^o + \Delta T_d^o \quad (3.8.5)$$

ΔT^o : Gradiente térmico equivalente (°C)

ΔT_c^o : Gradiente térmico equivalente de construcción (°C)

ΔT_d^o : Gradiente térmico por variación de temperatura (°C)

Esfuerzos de alabeo

Una de las sollicitaciones a las que se ven sometidas las losas es el alabeo. Como ya se señaló, éste tiene una componente debida al gradiente de temperatura, otra de humedad y finalmente una de construcción, según (Ministerio de Vivienda y Urbanismo)[25]

Para determinar el diferencial de temperatura positivo o negativo se utiliza la siguiente ecuación 3.8.6 y 3.8.7 :

$$\Delta T(+) = 12,33 - \frac{2385,715}{D} + 0,707 * WIND + 0,596 * TEMP - 5,924,10^{-4} * PRECIP \quad (3.8.6)$$

$$\Delta T(-) = -28,62 + \frac{2377,897}{D} + 0,817 * WIND + 0,227 * TEMP + 0,0002884 * PRECIP \quad (3.8.7)$$

Donde:

$\Delta T(+)$: Diferencial de temperatura positivo asociado a alabeo convexo (°C)

$\Delta T(-)$: Diferencial de temperatura negativo asociado a alabeo cóncavo (°C)

D : Espesor de la losa (mm)

$WIND$: Velocidad media anual del viento (nudos)

$TEMP$: Temperatura media anual del ambiente (°C)

$PRECIP$: Precipitación media anual (mm)

Cabe señalar que los gradientes que se obtienen a lo largo del país, con estas ecuaciones, pueden no ser totalmente representativos debido a que la relación empleada, es originaria de los Estados Unidos (sólo ha sido traspasada a las unidades de medida nacional) y su alcance y campo de aplicación directo, es el método AASHTO 1998. Con respecto al alabeo debido a humedad y construcción se emplea la recomenda-

3.8. Método TCP para el Diseño de Pavimento

ción dada por AASHTO 1998, tomando un promedio de los valores recomendados, es decir, 0,033 (°c/mm). Cabe destacar que este valor sólo se empleará en el caso de gradiente por temperatura negativo, ya que así se establece en la guía AASHTO 1998.

Transferencia de carga

La importancia de la transferencia de carga radica en que los esfuerzos internos inducidos por las cargas de tránsito dependen en gran medida de la capacidad de colaboración estructural de losas vecinas. En pavimentos de concreto simple sin barras de traspaso de carga la transferencia de carga es producida por la trabazón mecánica de los áridos. los valores recomendados se indican en el cuadro.3.8

Cuadro 3.8: Transferencia de carga

Condición	Transferencia de carga (%)
Transferencia de carga baja (árido de mala calidad)	30
Transferencia de carga normal (valor recomendado para el diseño)	50
Transferencia de carga alta (con barras de traspaso de cargas)	70

(Fuente: Dirección de vialidad, 2012)[13]

Índice de rugosidad internacional (IRI)

El método considera los estados de serviciabilidad inicial y final del pavimento. El estado inicial esta dado por el IRI al momento de la puesta en servicio del camino, el cual depende de la calidad de la construcción que se utilice. El estado final esta dado por el valor de IRI al final de la vida del diseño. Los valores recomendados se indican en el cuadro.3.9

Cuadro 3.9: Índice de rugosidad internacional

IRI inicial	2.0
IRI final	3.5

(Fuente: Dirección de Vialidad 2012)[13]

Características de la subbase

Los pavimentos de concreto de losas de espesor optimizadas consideran, exigencias mayores a la subbase granular que se colocara directamente bajo este pavimento. El objetivo es que esta capa cumpla dos funciones principales: la primera, debido al menor espesor del pavimento, aumentar la capacidad estructural del sistema; y la segunda, proveer una capa que no se erosione bajo la junta del pavimento. Por esto, el material a utilizar dependerá del tránsito, espesor del pavimento y precipitaciones del lugar donde se realice el proyecto.

Se utilizara subbase granular $CBR \geq 80\%$ en cualquiera de las siguientes condiciones.

- Pavimentos de espesor menor a 12 cm en toda condición de clima.
- Espesor de pavimento mayor o igual a 12 cm y precipitaciones mayores a 800 mm al año.
- Tránsito mayor a 25,000,000 EE.

En todo los demás casos, incluidos todos los pavimentos con fibra, se debe de diseñar con una subbase granular mínimo 120 mm de espesor compactado con un $CBR \geq 50\%$. La cantidad de finos bajo la malla #200 no deberá ser mayor a 8%.

Geotextil

Esta tecnología considera la colocación de un geotextil bajo la subbase granular para evitar contaminación de esta capa con finos provenientes de la subrasante. Se deberá colocar un geotextil entre la subrasante y la subbase granular cuando se cumplan al menos dos de los tres siguientes casos:

3.8. Método TCP para el Diseño de Pavimento

- Tránsito mayor a 1,000,000 EE.
- Precipitaciones mayores a 800 mm al año.
- Subrasante con $CBR \leq 20\%$

Capítulo 4

Utilización del programa SAP2000 para determinación de esfuerzos en losas de concreto TCP y tradicional

4.1. Generalidades

El análisis se debe realizar mediante la estimación de esfuerzos y deformaciones máximas admisibles para una estructura de pavimento de concreto propuesta. De esta manera, el análisis se limita a modelar, dentro de algún programa de elementos finitos aplicado para pavimentos, Es así que el diseñador evaluará y aceptará los esfuerzos y deformaciones que se generan después del paso de cargas de tránsito.

Por lo tanto el presente capítulo se ha desarrollado, utilizando el programa Sap 2000 mediante el cual se determinará las tensiones y el espesor de la losa de concreto simple, usando las variables de entrada usado por los métodos mecanicistas en el diseño de pavimentos rígidos. El modelo matemático en que se basa este programa de cálculo se basa en la teoría de elementos finitos. Los esfuerzos considerados por westergaard, según Y. Huang [11]

4.2. *Procedimiento para la obtención de tensiones en pavimentos rígidos de losas cortas (TCP) y convencionales*

4.2. Procedimiento para la obtención de tensiones en pavimentos rígidos de losas cortas (TCP) y convencionales

La metodología seguida para la obtención de esfuerzos en pavimentos rígidos de losas cortas (TCP) y convencionales, es lo siguiente:

- Selección y recopilación de los ensayos realizados a nivel de subrasante.
- Selección y recopilación de los ensayos realizados a nivel de subbase.
- Selección de diseño de mezcla .
- Determinación de las propiedades de los materiales del concreto.
- Aplicación del programa SAP 2000 en el diseño de pavimentos rígidos.

4.2.1. Selección y recopilación de los ensayos realizados a nivel de subrasante

Módulo de Reacción de la Subrasante (K)

Conocido también como ensayo de placa, tiene por objetivo conocer la presión que se requiere ejercer sobre el suelo para que presente una deformación dada. Esta norma bajo AASHTO T - 222. Este valor es utilizado directamente en las metodologías de diseño PCA 84, AASHTO 93 y en diseños nivel 3 del MEPDG 2010. Debido a que la implementación en campo es lenta y por lo tanto costosa, se han desarrollado correlaciones entre el CBR y el módulo K como simplificación. Entre los ensayos realizados en el proyecto tenemos, el próctor modificado, PDC y CBR. en la subrasante representativa del terreno de fundación. En los siguientes cuadros 4.1, 4.2 y 4.3 se muestran los resultados del CBR mínimo, intermedio y alto las cuales serán tomadas en la presente investigación, los demás resultados serán anexados en el apéndice B. Resultado del CBR mínimo para el jirón Gutiérrez y La Mar

4.2. Procedimiento para la obtención de tensiones en pavimentos rígidos de losas cortas (TCP) y convencionales

Cuadro 4.1: PDC-2 Por la C-2 (Jr. Gutierrez con Jr. La Mar)

Profundidad en (mm)	Numero de Golpes(golp)	DN (mm/golp)	CBR (%)	CBR (%) Diseño		
0.0	180.0	0.0	5.0	36.0	5.3	7.0
180.0	340.0	5.0	13.0	20.0	10.2	
340.0	655.0	13.0	24.0	28.6	6.8	
665.0	1000.0	24.0	41.0	20.3	10.0	

Fuente: Resultado del ensayo INGEOTECON

Resultado del CBR intermedio para el jirón Cabuyales

Cuadro 4.2: PDC-1 Por la C-1 (Jr. Cabuyales)

Profundidad en (mm)	Numero de Golpes(golp)	DN (mm/golp)	CBR (%)	CBR (%) Diseño		
0.0	163.0	0.0	7.0	23.3	8.6	16.9
163.0	236.0	7.0	20.0	5.6	42.3	
236.0	315.0	20.0	47.0	2.9	87.7	
315.0	371.0	47.0	63.0	3.5	71.8	

Fuente: Resultado del ensayo INGEOTECON

Resultado del CBR máximo para el jirón V. Acuña y Santa Rosa

Cuadro 4.3: PDC-4 Por la C-4 (Jr. Victor Acuña con Jr. Santa Rosa)

Profundidad en (mm)	Numero de Golpes(golp)	DN (mm/golp)	CBR (%)	CBR (%) Diseño		
0.0	160.0	0.0	21.0	7.6	30.0	29.7
160.0	395.0	21.0	45.0	9.8	22.7	
395.0	515.0	45.0	67.0	5.5	43.7	
515.0	540.0	67.0	71.0	6.3	37.5	

Fuente: Resultado del ensayo INGEOTECON

Los estudios geotécnico del proyecto arrojaron los siguientes valores de CBR representativos de acuerdo a los ensayos de PDC.

Se considerarán como materiales aptos para las capas de la sub rasante suelos con $CBR \geq 6\%$. En caso de ser menor, se procederá a la estabilización de los suelos. De acuerdo a los resultados de los ensayos tenemos un $CBR \geq 7\%$.

4.2. Procedimiento para la obtención de tensiones en pavimentos rígidos de losas cortas (TCP) y convencionales

4.2.2. Selección y recopilación de los ensayos realizados a nivel de subbase

La cantera analizada para el material de préstamo (subbase), es la cantera de Chillico. La subbase debe de estar constituido por tres tamaños o tipos de material: grava (que le da resistencia), arena (que llenara los vacíos que dejan las gravas y dará la estabilidad a la capa) y finos (que mejora la estabilidad de la capa). Entre los ensayos realizados tenemos:

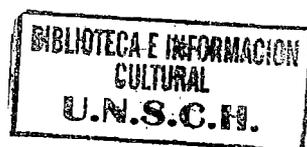
Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422, MTC E107

En el siguiente cuadro 4.4 se muestra el resultado del tamizado del material de la cantera Chillico

Cuadro 4.4: Análisis Granulométrico por Tamizado

Tamiz ASTM	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr.)	% Reten Parcial	% Reten Acumulado	% Que Pasa
1 1/2"	38.100				100
1"	25.400	97.48	7.1	7.1	92.9
3/4"	19.050	166.55	12.1	19.52	80.8
1/2"	12.700	106.45	7.7	26.9	73.1
3/8"	9.525	114.02	8.3	35.1	64.9
1/4"	6.350	152.21	11.0	46.2	53.8
Nº 4	4.760	70.28	5.1	51.3	48.7
Nº 8	2.380	173.66	12.6	63.9	36.1
Nº 10	2.000	55.05	4.0	67.9	32.1
Nº 16	1.190	96.60	7.0	74.9	25.1
Nº 20	0.840	49.03	3.6	78.4	21.6
Nº 30	0.590	61.58	4.5	82.9	17.1
Nº 40	0.426	32.29	2.3	85.3	14.7
Nº 50	0.297	21.55	1.6	86.8	13.2
Nº 60	0.250	19.15	1.4	88.2	11.8
Nº 80	0.177	22.21	1.6	89.8	10.2
Nº 100	0.149	7.41	0.5	90.4	9.6
Nº 200	0.075	31.88	2.3	92.7	7.3
Fondo				92.7	
Lavado		101.1	7.3	100.0	
TOTAL		1378.5	100.0		

Fuente: Resultado del ensayo INGEOTECON



4.2. Procedimiento para la obtención de tensiones en pavimentos rígidos de losas cortas (TCP) y convencionales

De los ensayos granulométricos se resumió los siguientes valores el cual nos permitirá conocer las propiedades y clasificación del material de préstamo (subbase) se muestra en el siguiente cuadro 4.5.

Cuadro 4.5: Clasificación de los materiales de acuerdo a sus características

Cantera	(%) Grava	(%) Arena	(%) Finos	D_{10} (mm)	D_{30} (mm)	D_{60} (mm)	Cu	Cc	D_{15} (mm)	D_{50} (mm)	D_{85} (mm)
Chillico	51.3	41.4	7.3	0.1674	1.7547	8.1295	48.6	2.3	0.444	5.161	21.233

Fuente: Resultado del ensayo INGEOTECN

Las fracciones gruesas de las canteras analizadas presentan partículas chatas y alargadas (relación 1/3) muy por debajo de los límites permisibles (20 % máximo)

Determinación del límite plástico e índice de plasticidad (ASTM D-4318, MTC E 111-2013) y límite líquido de los suelos (ASTM D-4318, MTC E 110-2013)

De los ensayos realizados el índice de plasticidad de la cantera Chillico es aceptable para los límites recomendados para material de subbase (6 % como máximo para pavimentos por debajo de los 3000 msnm). En cuanto a los límites permisibles de límite líquido (25 % máximo para material de subbase), el límite de la cantera de Chillico está por muy debajo de este valor. Según los ensayos de laboratorio se obtuvieron los siguientes resultados se muestra en el siguiente cuadro 4.6

Cuadro 4.6: Índice de plasticidad

Cantera	LL (%)	LP (%)	IP (%)
Chillico	9.4	3.2	6.2

Fuente: Resultado del ensayo INGEOTECN

Clasificación SUCS ASTM D-2487 y Clasificación de Suelos AASTHO M-145, ASTM D-3282

El material analizado presenta un índice de grupo igual a cero (0) lo cual indica que es un material apto para usarse en carreteras. El índice de grupos es el método adoptado

4.2. Procedimiento para la obtención de tensiones en pavimentos rígidos de losas cortas (TCP) y convencionales

por la AASHTO para clasificar suelos. Los materiales de la cantera analizada se clasifico como se muestra en el siguiente cuadro 4.7

Cuadro 4.7: Clasificación del material granular

Cantera	AASHTO	SUCS	Nombre de Grupo
Chillico	A-2-4(0)	GW-GC-GM	Graba bien graduada con arcilla limosa con arena

Fuente: Resultado del ensayo INGEOTECN

Gradación de los materiales

Pocos depósitos naturales de material tienen una gradación ideal, por lo que será necesario zarandear el material para obtener la granulometría especificada. Según los resultados se concluye que el material para sub base deberá zarandearse por la zaranda de 2" La sub base deberá dar lugar a una curva granulométrica uniforme y sensible paralela a los límites de franja de acuerdo a las siguientes gradaciones el tema fue tratado en el capítulo 2.

El material zarandeado por la malla de 2" de la cantera de Chillico se observa que se adecúa más a la gradación A y B como se muestra en la figura 4.1. Para el presente tema de investigación de pavimentos de losas cortas (TCP) se exige que el porcentaje de material fino sea menor a 8%.

4.2. Procedimiento para la obtención de tensiones en pavimentos rígidos de losas cortas (TCP) y convencionales

California Bearing Ratio (CBR) ASTM D-1883, MTC E132

El CBR, es un ensayo relativamente simple comúnmente usado para obtener un índice de la resistencia en los materiales de préstamo en pavimentos y correlaciones respectivas para obtener el modulo de reacción del suelo (K) en caso de pavimentos rígidos. Los resultados obtenidos del CBR se muestran en el siguiente cuadro 4.9.

Cuadro 4.9: Valor obtenido CBR

Cantera	AASHTO	CBR al 100 % MDS (0.1")	CBR al 95 % MDS (0.1")	Expansión
Chillico	A-2-4(0)	72 %	46 %	NE

Fuente: Ensayo INGEOTECN

Proctor Modificado ASTM D-1557, MTC-E115

Para el presente diseño se requerirá que el material de sub base este adecuadamente compactada para así reducir los vacíos y aumentara el número de puntos de contacto entre partículas y el correspondiente rozamiento. La capa de sub base debe ser compactada por lo menos al 100 % de la densidad máxima, determinada según el método AASHTO T180. El contenido de agua bajo el cual se alcanza el máximo peso específico seco (MDS) se denomina óptimo contenido de humedad (OCH), el siguiente cuadro 4.10 muestra el valor obtenido en laboratorio

Cuadro 4.10: Valor del óptimo contenido de humedad

Proctor Modificado	Clasificación AASHTO	MDS Máxima densidad seca (gr/cm ³)	OCH Óptimo contenido de humedad (%)
Cantera Chillico	A-2-4(0)	2.15	4.4

Fuente: Ensayo INGEOTECN

A continuación se presenta el cuadro 4.11 con el resumen de las propiedades y características que presenta el material de préstamo (subbase) de la cantera Chillico, las cuales serán empleadas en los cálculos posteriores para la presente modelación.

4.2. Procedimiento para la obtención de tensiones en pavimentos rígidos de losas cortas (TCP) y convencionales

Cuadro 4.11: Resumen de los ensayos del material de subbase

Ensayos	Norma MTC	Requerimiento		Chillico
		< 3000 msnm	≥3000 msnm	
Abrasión	MTC E 207	50 % máx.	50 % máx.	21.7 %
CBR. Referido al 100 % de la MDS y una penetración de carga de 0.1"	MTC E 132	40 % mín.	40 % mín.	72 %
Límite líquido	MTC E 110	25 % máx.	25 % máx.	9.4 %
Índice de plastico	MTC E 111	6 % máx.	4 % máx.	6.2 %
Equivalencia de arena	MTC E 114	25 % mín.	35 % mín.	Aceptable
Sales solubles	MTC E 219	1 % máx.	1 % máx.	Aceptable
Partículas chatas y alargadas, la relación 1/3 espesor/longitud	MTC E 211	20 % máx.	20 % máx.	Cumple

Fuente: Ensayo INGEOTECN

4.2.3. Selección del diseño de mezcla

El diseño de mezcla consignado en el expediente técnico del Proyecto Villa San Cristóbal se trabajó con la cantera Chanchara, que se encuentra ubicado en la localidad de Compañía. Sin embargo para la ejecución, el contratista opto por una cantera diferente, Muyurina. En el cuadro 4.12, se muestra el resumen de las características físicas del agregado, obtenidas por distintos ensayos y los cuales reúnen los requerimientos de calidad de la norma ASTM C 33. los resultados que se muestran fueron asumidos como verídicos y tomados del diseño de mezcla realizado para el proyecto. La absorción del agregado grueso no supera el límite permisible del 4 %, sin embargo la absorción del agregado fino esta por encima del límite, 5 %. El informe de canteras del diseño de mezcla del Proyecto Villa San Cristóbal, además señala que los agregados se clasifican en agregados de origen natural pero tratados. De acuerdo a su perfil las partículas del agregado grueso se pueden considerar como agregados de perfil angular.

Con las características físicas del agregado se realizó un nuevo estudio de diseño de mezcla como se muestra en los siguientes cuadros.4.13

El nuevo estudio de diseño de mezcla de concreto realizado para la ejecución del Proyecto Villa San Cristóbal, se anexa en la presente investigación.

4.2. Procedimiento para la obtención de tensiones en pavimentos rígidos de losas
esortas (TCP) y convencionales

Cuadro 4.12: Propiedades físicas del agregado usado en la investigación

Ensayos de Laboratorio	Resultados
Peso unitario suelto seco (PUSS) (ASTM C-29)	
Agregado Grueso	1386 kg/m ³
Agregado Fino	1636 kg/m ³
Peso unitario compactado seco (PUCS) (ASTM C-29)	
Agregado Grueso	1475 kg/m ³
Agregado Fino	1768 kg/m ³
Peso específico y Absorción del Agregado Grueso	
Peso específico	2.54
Absorción	1.97 %
Peso específico y Absorción del Agregado Fino	
Peso específico	2.42
Absorción	5.72 %
Contenido de Humedad	
Agregado Grueso	0.92 %
Agregado Fino	3.38 %

(Fuente: Proyecto Villa San Cristóbal)

Cuadro 4.13: Proporciones del diseño de mezcla por metro cúbico de concreto de materiales secos

RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO					
f'c (kg/cm ²)	Cemento (kg)	Agregado Fino (kg)	Agregado Grueso (kg)	Agua (Lt)	Total (kg/m ³)
280	370.30	835.20	866.10	181.00	2252.60
245	342.90	845.90	877.20	181.00	2247.00
210	316.60	874.50	868.60	181.00	2240.70
175	282.20	900.10	869.70	181.00	2233.10

(Fuente: Proyecto Villa San Cristóbal)

4.2. Procedimiento para la obtención de tensiones en pavimentos rígidos de losas cortas (TCP) y convencionales

4.2.4. Determinación de carga por tráfico

En el cuadro 4.14 se detalla la encuesta vehicular realizada para el proyecto Villa San Cristóbal. El cual muestra como vehículo más pesado el camión 3E, que es un camión de tres ejes.

Cuadro 4.14: Conteo vehicular por tipo de vehículo

Tipo de Vehículo	IMD	Distribución (%)
Automóvil	9	30.00
Camioneta	6	20.00
Camioneta Rural	2	6.67
Micro B2	9	30.00
Bus Grande B3-1	0	0.00
Camión 2E	3	10.00
Camión 3E	1	3.33
IMD	30	100.00

(Fuente: Proyecto Villa San Cristóbal)

Para el presente análisis se tomo la carga del camión 3 ejes (tandem) C3, el cual viene a ser el vehículo más pesado de acuerdo al registro de controles vehiculares realizados para el diseño AASHTO.

Control de los pesos y medidas vehiculares

De acuerdo (Reglamento Nacional de Vehículos Decreto Supremo N058-2003-MTC.)[6] Los Pesos y Medidas de todos los vehículos que ingresan al SNTT¹ deben sujetarse a lo dispuesto en el RENAV². Están exonerados del control de PxE, los vehículos que transiten con un PBV que no exceda del 95 % de la sumatoria de PxE o conjunto de ejes como se muestra en la figura 4.2, en tanto este valor no supere el PBV máx. Permitido por el RENAV. (Artículo 2 del D.S. N° 006-2008-MTC)[14]. Estarán fuera de cualquier multa por exceso de peso.

¹Sistema Nacional de Transporte Terrestre

²Reglamento Nacional de Vehículos

4.2. Procedimiento para la obtención de tensiones en pavimentos rígidos de losas cortas (TCP) y convencionales

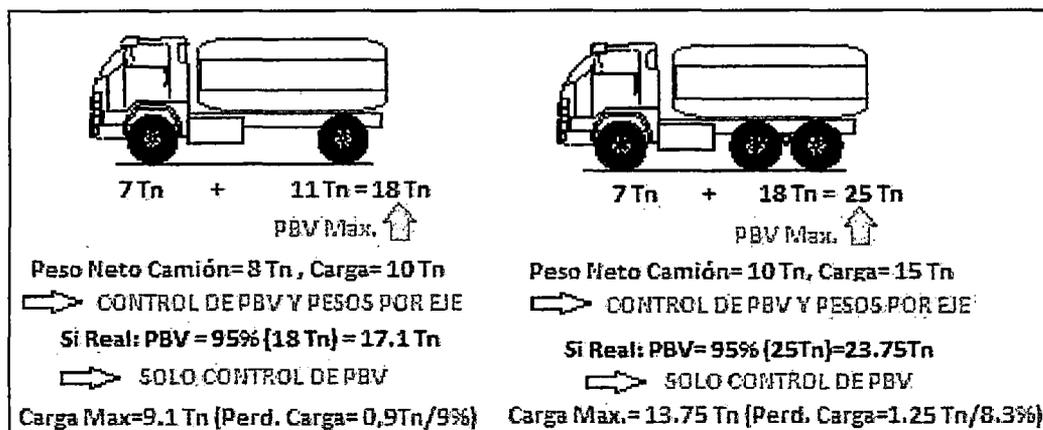


Figura 4.2: Fuente: Asociación de Representantes Automotrices del Perú-2013

Tolerancia del pesaje dinámico

La tolerancia en el PxE y PBV ³ sólo se admite para el pesaje dinámico en las estaciones y unidades móviles de pesaje, no implica una capacidad adicional de carga a la especificada en el RENAV.

- La tolerancia en el PBV es de 3%
- La tolerancia en los PxE es de 5%

En el siguiente cuadro 4.15 se presentan las tolerancias de las cargas por eje de acuerdo al MTC.

Cuadro 4.15: Valor de tolerancias eje simple y doble

Eje (s)	Neumáticos	Capacidad máxima permitida en kg.	Tolerancia
Simple	02	7,000	350 kg.
Simple	04	11,000	550 kg.
Doble	04	12,000	600 kg.
Doble	06	16,000	800 kg.
Doble	08	18,000	900 kg.

Fuente: Asociación de Representantes Automotrices del Perú-2013

³Peso Bruto Vehicular

4.2. Procedimiento para la obtención de tensiones en pavimentos rígidos de losas cortas (TCP) y convencionales

Medidas vehiculares

En el presente cuadro 4.16 se detallaran las dimensiones de los vehículos de acuerdo al MTC.

Cuadro 4.16: Dimensiones vehiculares largo, ancho y alto

Ancho máximo	Medida
Ancho máximo (sin espejos) para todo tipo de vehículo (incluida la mercancía o bienes transportadas)	2.6 m
Altura máxima	
Vehículos de categoría M con carrocería integral	4.30 m
Vehículos de categoría O en general	4.10 m
Longitud máxima	
Remolque (no incluye punta de lanza)	10.00 m
Remolque balanceado (no incluye punta de lanza)	8.50 m
Semirremolque	14.68 m

Fuente: Asociación de Representantes Automotrices del Perú-2013

Distribución de cargas

La distribución de las cargas generadas por los ejes del camión tanto simple como tándem de acuerdo A. Hospitaler [10] plantea que la distribución de las cargas en función a ejes y ruedas. Las consideraciones a tomar en cuenta se detallan en la siguiente figura 4.3.

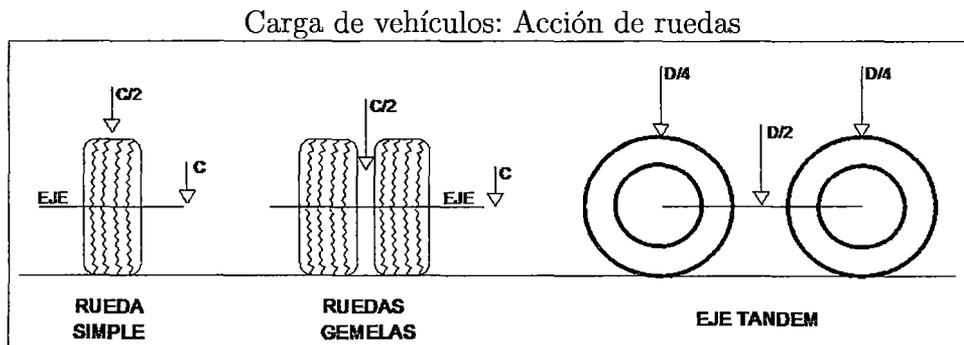


Figura 4.3: Fuente: Pavimentos industriales (2010 P.16)

Ejes Simples, es cada uno del vehículo, que forman un solo apoyo de chasis, en eje

4.2. Procedimiento para la obtención de tensiones en pavimentos rígidos de losas cortas (TCP) y convencionales simple con rueda simple o ruedas gemelas, la carga $P1=C/2$ siendo C la carga por eje.

Eje tándem, en cada eje del tándem cada una de las dos ruedas simples o conjunto de dos ruedas gemelas transmitirá $P=D/4$, siendo D la carga por eje.

Para la determinación de la distancia del centro de los neumáticos de un eje tándem se determinará teniendo en cuenta que estas varían desde 1.20m. hasta 2.40m. Para el presente tema de investigación la distancia obtenida fue de 1.27m. la cual fue medida a un camión C3. A continuación se muestran en la figura 4.4 las cargas por eje en toneladas.

Pesos y medidas máximas permitidas

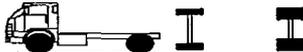
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores			
			1°	2°	3°	4°	
C2		12,30	7	11	—	—	18
C3		13,20	7	18	—	—	25

Figura 4.4: Fuente: Asociación de Representantes Automotrices del Perú-2013

Eje simple $P=C/2$

$$P=7/2 = 3.5 \text{ t}$$

Eje doble $P=D/4$

$$P= 18/4 = 4.5 \text{ t}$$

Estas cargas serán usadas como datos de entrada para el SAP 2000, así como su ubicación exacta en función a las longitudes que fueron tomadas de un camión C3.

4.2. Procedimiento para la obtención de tensiones en pavimentos rígidos de losas cortas (TCP) y convencionales

4.2.5. Determinación de las propiedades de los materiales del concreto

Resistencia a flexotracción del concreto (MR)

La resistencia a compresión ($f'c$) es la resistencia a 28 días, de acuerdo a los ensayos realizados en campo se tiene: $f'c=216$ kg/cm² a los 7 días. Información utilizada en el presente análisis ya que no se pudo obtener información de rotura a los 28 días debido a que las documentaciones están proceso de investigación.

La resistencia a flexión o módulo de ruptura (Mr) es uno de los parámetros más significativos empleados para el diseño de pavimentos, donde 'a' se encuentra entre 1.99 y 3.18 de acuerdo al (MTC, 2013 P.269).[16] El módulo de rotura (Mr) del concreto se correlaciona con el módulo de compresión ($f'c$) del concreto mediante la siguiente regresión 4.2.1:

$$Mr = a\sqrt{f'c} \quad (4.2.1)$$

Donde Mr presenta (Valores en kg/cm²), según el ACI 363. Resulta conveniente conocer la resistencia de concreto de acuerdo a la relación agua cemento el cual detallaremos en el siguiente cuadro 4.17.

Cuadro 4.17: Caracterización de las mezclas de concreto

a/c	f'c (kg/cm ²)	Mr (kg/cm ²)	Contenido de cemento (kg/m ³)
0.70	210	35	280 kg.
0.50	280	40	350 kg.
0.45	320	45	380 kg.
0.40	420	50	415 kg.

Fuente: M. Becerra (2012 Pag. 91)[1]

Para el diseño de pavimentos de losas cortas (TCP) se recomienda que el contenido de cemento mínimo sea de 300 kg/m³. En el proyecto 'Villa San Cristóbal' se realizó el diseño para resistencia de $f'c=210$ kg/cm² en donde se puede notar que el contenido de cemento es menor a 300 kg/m³. El sustento para el presente diseño fue que vía

4.2. Procedimiento para la obtención de tensiones en pavimentos rígidos de losas cortas (TCP) y convencionales

es de bajo volumen de tránsito.

Módulo elástico del concreto

La predicción del mismo se puede efectuar a partir de la resistencia a compresión o flexo tracción, a través de correlaciones establecidas. AASHTO 93 indica que el modulo elástico puede ser estimado usando una correlación con la resistencia del concreto, precisando la correlación recomendada por el ACI 4.2.2:

$$E = 57,000(f'c)^{0,5} \quad (4.2.2)$$

El ensayo ASTM C-469 calcula el módulo de elasticidad del concreto Donde ($f'c$ se encuentra en PSI).

4.2.6. Cálculos realizados con los datos obtención del proyecto Villa San Cristóbal

Con los datos recabados se realizaran los cálculos pertinentes para obtener los valores necesarios las cuales serán insertadas como datos en el programa SAP 2000 el cual trabaja con elementos finitos. Con todo esto obtendremos tensiones en losas tanto tradicionales y losas cortas TCP.

Así mismo se detallaran las dimensiones de las losas y los espesores de las juntas. En el siguiente cuadro 4.18 se muestran los datos a usarse.

4.2.7. Aplicación del programa SAP2000 para determinación de tensiones en pavimentos rígidos

En el programa SAP 2000 primeramente se define las características geométricas de las losas, después las propiedades del concreto, así como también el espesor de la losa, luego se seleccionan los extremos de la losa está analizando tanto en la dirección X como en Y para poner su debido apoyo esto se hace para que el elemento

4.2. Procedimiento para la obtención de tensiones en pavimentos rígidos de losas cortas (TCP) y convencionales

Cuadro 4.18: Cálculos Obtenidos

Detalles (kg/cm ³)	Nombre de la calles y datos a usarse en el SAP 2000		
Espesor subbase h=20cm Espesor Losa h=20cm	Jr. Gutiérrez Jr. La Mar	Jr. Cabullales	Jr. Víctor Acuña Jr. Santa Rosa
CBR (%) de la subrasante	7	16.9	29.7
Coefficiente de balasto (kg/cm ³)	6.19	8.55	11.53
Modulo de elasticidad subbase (kg/cm ²)	711.36	711.36	711.36
Mr del concreto a 7 días rotura f'c (kg/cm ²)	216	216	216
Modulo de elasticidad E del concreto (kg/cm ²)	222126.68	222126.68	222126.68
Módulo de poisson (u)	0.15	0.15	0.15
Coefficiente de expansión térmica (1/°C)	0.00001	0.00001	0.00001
Retracción a 360 días m/m	0.001	0.001	0.001
$\Delta T^{\circ}C$ (+)	14.9	14.9	14.9
$\Delta T^{\circ}C$ (-)	- 6.6	- 6.6	- 6.6
Características	Dimensionamiento de losas para el diseño AASHTO 93		
Longitud de eje a eje (m)	3.0	3.0	4.0
espesor de juntas en (m)	0.04	0.04	0.04
Ancho T = 5.50m. solo la losa	2.73	2.73	2.73
espesor de juntas en (m)	0.04	0.04	0.04
Características	Dimensionamiento de losas para el diseño TCP		
Longitud de eje a eje (m)	2.5	2.5	2.5
espesor de juntas en (m)	0.0019	0.0019	0.0019
Ancho T = 5.50m. solo la losa	1.374	1.374	1.374
espesor de juntas en (m)	0.0019	0.0019	0.0019

Fuente: Elaboración Propia

4.2. Procedimiento para la obtención de tensiones en pavimentos rígidos de losas cortas (TCP) y convencionales

no quede inestable nuevamente el elemento se vuelve a seleccionar para colocar los valores del módulo de reacción combinado del suelo, así como los respectivos valores de las cargas muertas (peso propio de las losas) y carga viva en movimiento (valor del peso del vehículo pesado en análisis).

Después de haber realizado lo anterior se procede a obtener los resultados, de acuerdo a esto se selecciona el espesor de la losa que ofrece una misma tensión que el pavimento de 20 cm. La cual viene a ser el espesor propuesto para el proyecto 'Villa san Cristóbal', así mismo deberá de cumplir un buen desempeño

A continuación se representa la forma gráfica en como intervienen las variables de entrada, tomando muy en cuenta los esfuerzos de tracción que se generan en la losa.

Primero

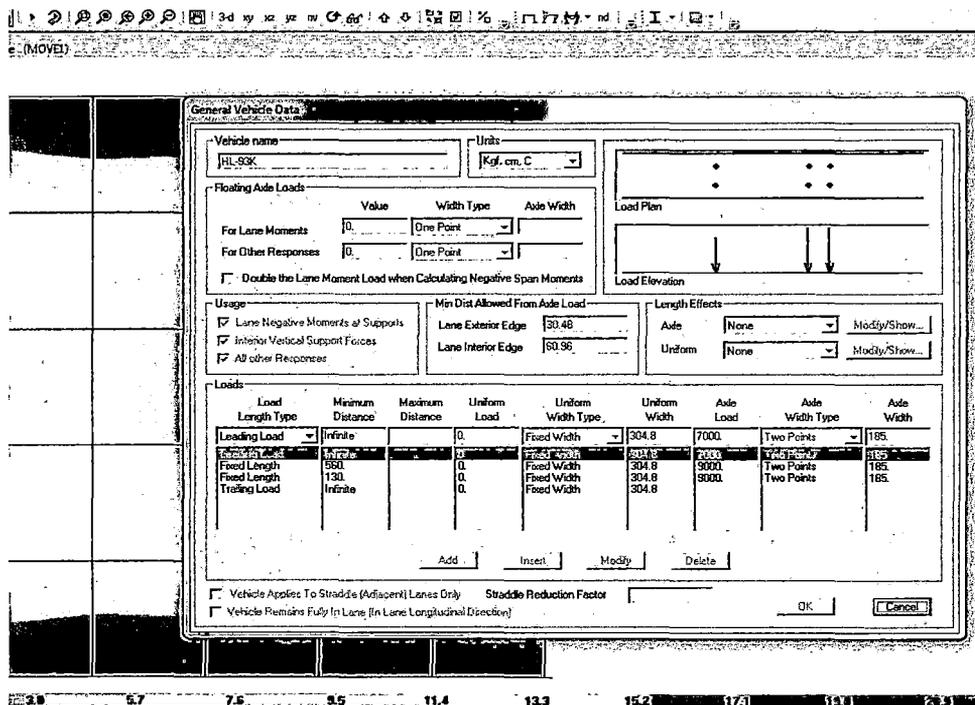


Figura 4.5: Peso por eje cargados SAP 2000

Segundo

4.2. Procedimiento para la obtención de tensiones en pavimentos rígidos de losas cortas (TCP) y convencionales

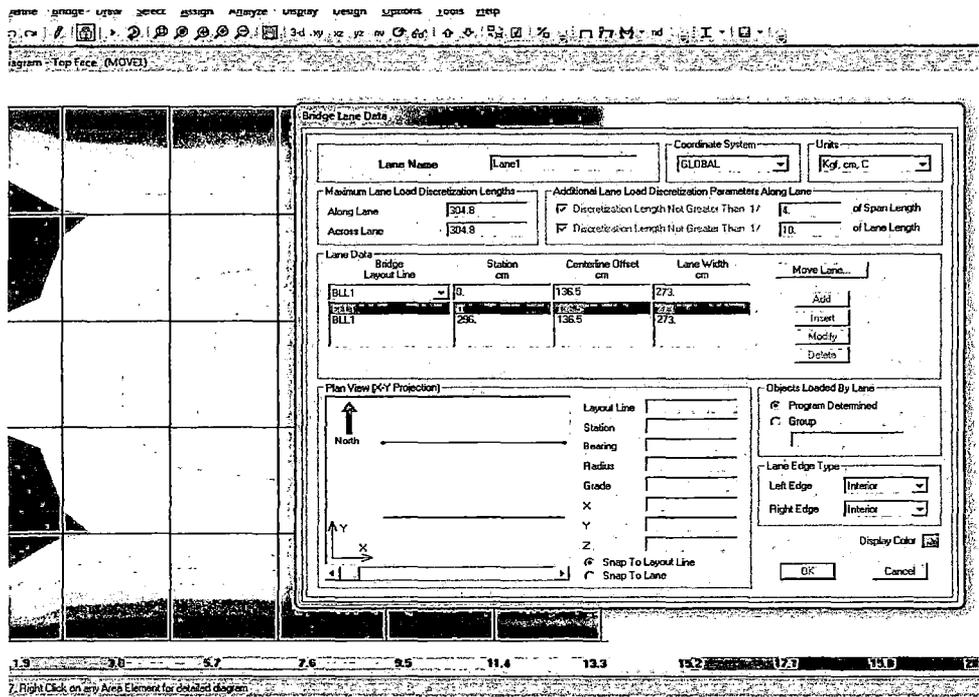


Figura 4.6: Eje vehicular SAP 2000

Tercero

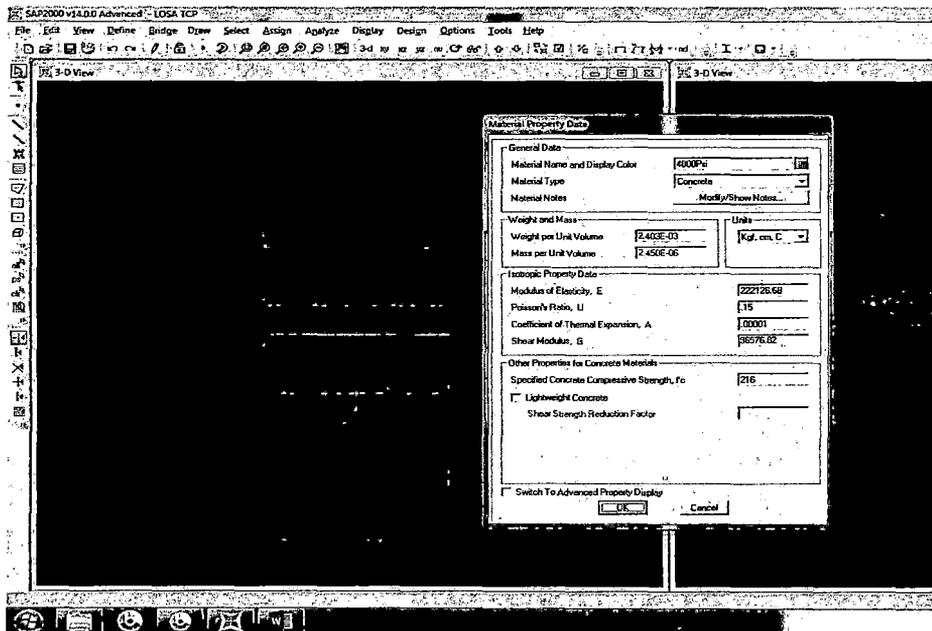


Figura 4.7: Propiedades del concreto SAP 2000

4.2. Procedimiento para la obtención de tensiones en pavimentos rígidos de losas cortas (TCP) y convencionales

Cuarto

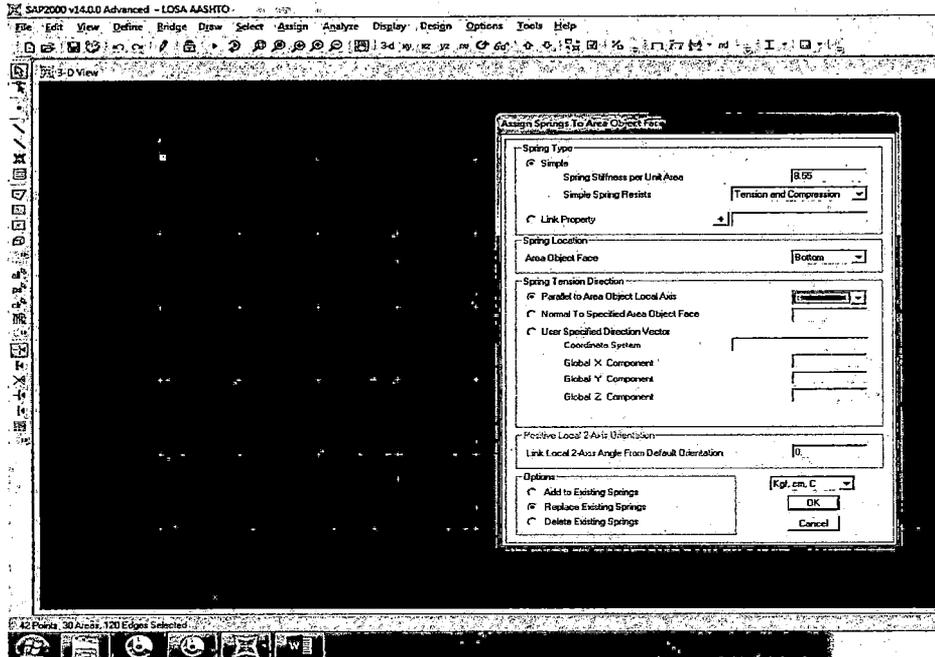


Figura 4.8: valor del coeficiente de balasto SAP 2000

Quito

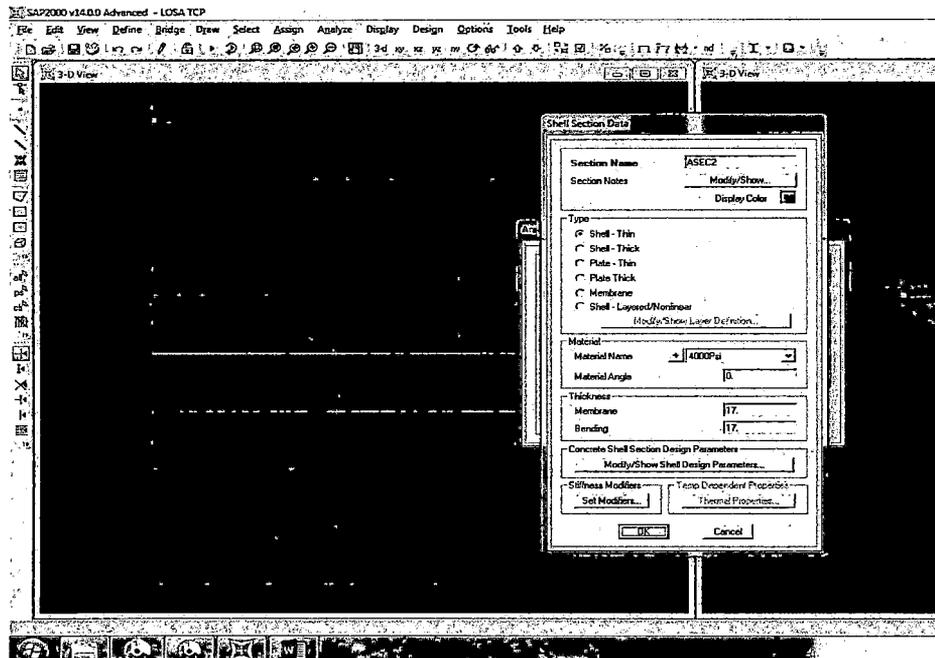


Figura 4.9: Reducción del espesor de la losa SAP 2000

4.2. Procedimiento para la obtención de tensiones en pavimentos rígidos de losas cortas (TCP) y convencionales

Sexto

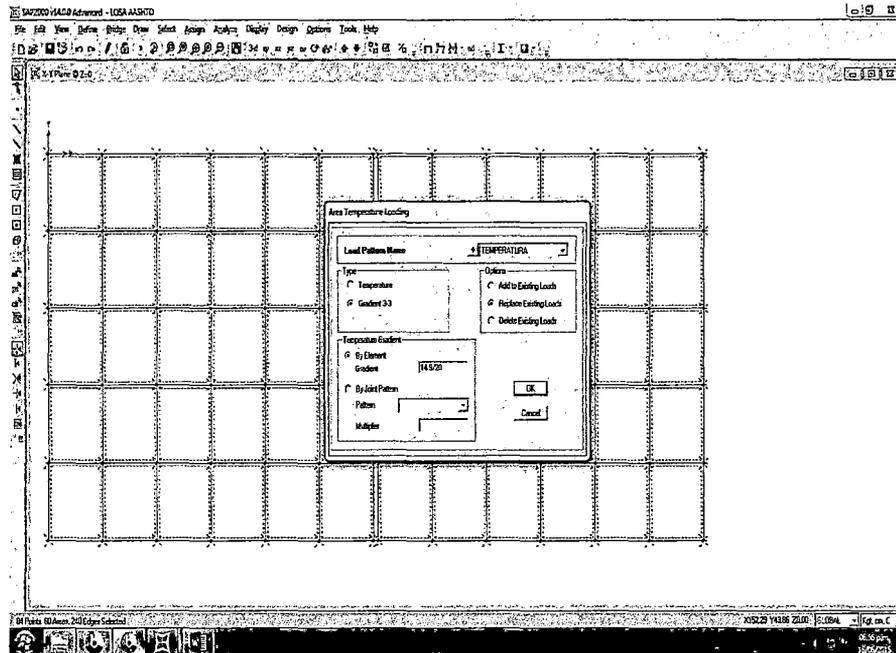


Figura 4.10: Se está cargando el valor de gradiente positivo (+0.745) SAP 2000

Séptimo

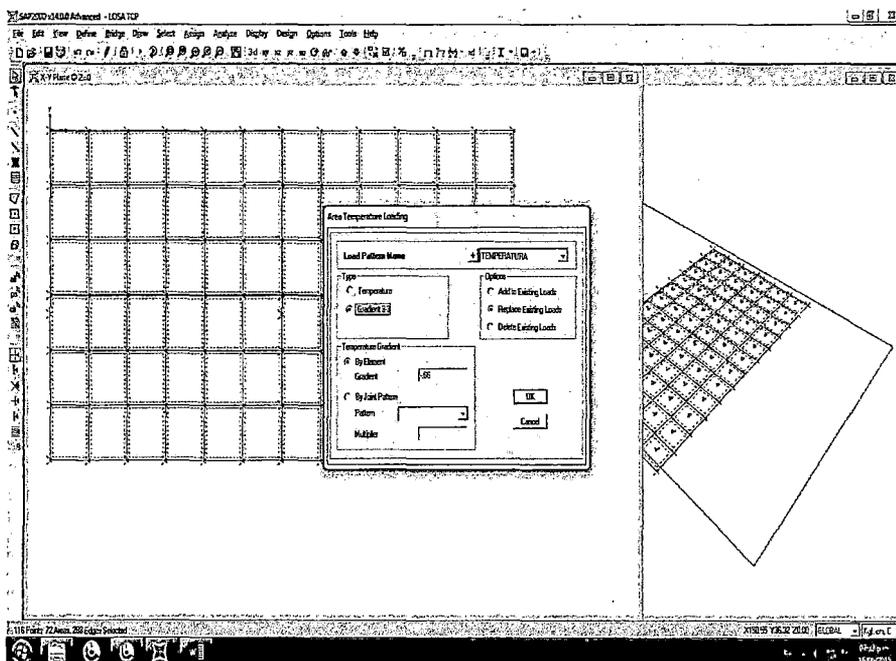


Figura 4.11: Se está cargando el valor de gradiente negativo (-0.66) SAP 2000

Capítulo 5

Aplicación Práctica a un Proyecto Local y Propuesta con Diseño de Losas Cortas 'TCP'

5.1. Generalidades

En la actualidad el diseño de losas cortas 'TCP' (Thin Concrete Pavement)¹, vienen siendo aplicados en playas de estacionamiento, residencias, zonas urbanas y otros. El cual Plantea algunos cambios con respecto al diseño tradicional y propone pavimentos con geometría optimizada, capaces de distribuir mejor la carga y evitar el agrietamiento a temprana edad. La presente investigación se ocupará, en la determinación de esfuerzos de pavimentos y propiedad a nivel de subbase y carpeta de rodadura, la cual será evaluado en el proyecto denominado "Construcción de Pistas y Veredas en los AA.HH. Villa San Cristóbal, Los Rosales, Illa Cruz, Distrito de Jesús Nazareno, Provincia de Huamanga - Ayacucho", denominado por simplicidad como "Proyecto Villa San Cristóbal", gestionado por la municipalidad distrital de Jesús Nazareno. Las calles a intervenir con el proyecto son: jr. Abraham Valdelomar, jr. Los Rosales, jr. Los Lirios, jr. San Cristóbal, calle Primavera, calle Las Palmeras,

¹TCP: Pavimento de concreto delgado

jr. Víctor Acuña, jr. Santa Rosa, jr. Bastidas, jr. Medellín, jr. Gutierrez, jr. La Mar, jr. Los Cabuyales, jr. Panamá, jr. Garcilaso, jr. Alegría y calle 03.

Es importante señalar que la topografía de algunas calles del proyecto impediría la aplicación de los pavimentos de geometría optimizada debido a que presentan pendientes muy elevadas, la cual sería una limitante en los procesos constructivos del TCP e incluso es un desafío para la realidad actual del proyecto.

Pese a la observación hecha, se considera el Proyecto Villa San Cristóbal como caso de aplicación por la accesibilidad a la información que nos brinda la municipalidad y la necesidad que el Diseño TCP sea evaluado con los materiales que se disponen en la localidad.

5.2. Proyecto Villa San Cristóbal

5.2.1. Ubicación

El proyecto se encuentra ubicado en el departamento de Ayacucho, provincia de Huamanga, distrito de Jesús Nazareno, en los lugares de los AA.HH. Villa San Cristóbal, Los Rosales, Illa Cruz.

En la figura 5.1 se muestra las inmediaciones del proyecto.

5.2.2. Características del Proyecto

El proyecto consiste en la construcción de pistas y veredas en los AA.HH. Villa San Cristóbal, Los Rosales, Illa Cruz y tiene como objetivos mejorar la calidad de vida de los pobladores que habitan en el entorno del proyecto, así como reducir los costos de operación y mantenimiento de la vía, reducir los tiempos de transporte y la contaminación ambiental por emisiones de partículas suspendidas.

El proyecto comprende el corte de material de subrasante, el relleno con material propio seleccionado en tramos necesarios, la eliminación de material excedente y realizar la conformación de la subrasante, seguidamente la conformación y colocación de



Figura 5.1: Imagen satelital de la ubicación del proyecto

la sub base con un espesor de 0.20 m, luego dar pase a la construcción de sardineles, cunetas y la construcción de la capa de rodadura de concreto con espesor de 0.20 m y una resistencia de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$. Se tendrá también la construcción de veredas para peatones con anchos adecuados y rampas para el acceso de las personas con discapacidad.

La modalidad de ejecución es por contrata e implica la colocación de 15137.09 m^2 de pavimento rígido (concreto hidráulico), con anchos de calle que tienen 3.00 m, 5.5 m, 5.70 m, 6.00 m, 6.50 m.

5.2.3. Diseño Estructural del Pavimento del Proyecto

La descripción de las funciones así como los factores que afectan el diseño de los pavimentos y el enfoque a seguir en el diseño de los pavimentos se abordó en el capítulo 2. En esta sección se presenta un resumen del diseño estructural del pavimento, que forma parte del expediente técnico del Proyecto Villa San Cristóbal.

Características de la Subrasante

Para determinar las características de la subrasante se elaboraron 19 calicatas y 03 exploraciones a cielo abierto, como indica el estudio de suelo realizado, el resumen de los resultados obtenidos se muestra a continuación.

Cuadro 5.1: Clasificación de material de la subrasante

Muestra	AASHTO	SUCS	Nombre de Grupo
Jr. Los Cabuyales	A-1-a	GP-GM	Grava mal graduada con limo y arena
Jr. A. Valdelomar - Jr. Los Rosales	A-2-4	SC-SM	Arena limo - arcillosa
Jr. San Cristóbal - Calle las Palmeras	A-2-4	SP	Arena mal graduada con grava
Jr. Cabuyales - Jr. Panamá	A-1-a	GP-GM	Grava mal graduada con limo y arena
Prolg. Los Incas - Jr. Medellín	A-6	CL	Arcilla ligera arenosa
Prolg. Los Incas - Jr. La Mar	A-2-4	SM	Arena limosa con grava

(Fuente:Proyecto Villa San Cristóbal)

Cuadro 5.2: Ensayo Proctor Modificado

Exploración	Estrato	AASHTO	SUCS	Máx. Densidad seca (gr/cm ³)	Óptimo Contenido de humedad (%)
Jr. A. Valdelomar - Jr. Los Rosales	Subrasante	A-2-4	SC - SM	1.65	15.0
Jr. San Cristóbal - calle las palmeras	Subrasante	A-2-4	SP	1.85	12.3

(Fuente:Proyecto Villa San Cristóbal)

Las características de los suelos que indican la calidad de la subrasante se muestra en el cuadro 5.4.

De las conclusiones establecidas en el estudio de suelos, es necesario realizar mejoramientos a nivel de la subrasante en diversos sectores del proyecto, debido a la presencia de rellenos antrópicos no controlados. Este mejoramiento se hará en las calles que muestra el cuadro 5.5.

Luego de haberse estabilizado los tramos y obtenido una subrasante totalmente

Cuadro 5.3: Ensayo de CBR de laboratorio

Muestra	CBR (%) Diseño
Jr. Los Cabuyales	16.9
Jr. Gutiérrez - Jr. La Mar	7
Jr. Víctor Acuña - Jr. Medellín	25.8
Jr. Víctor Acuña - Jr. Santa Rosa	29.7
Jr. A. Valdelomar - Jr. Los Rosales	11.1
Jr. Los Rosales - Calle 03	19.2

(Fuente:Proyecto Villa San Cristóbal)

Cuadro 5.4: Características del CBR

Categoría	Rango	Descripción
S0	CBR <3 %	Subrasante muy pobre
S1	CBR = 3 - 5 %	Subrasante pobre
S2	CBR = 6 - 10 %	Subrasante regular
S3	CBR = 11 - 19 %	Subrasante buena
S4	CBR >20 %	Subrasante muy buena

(Fuente:Proyecto Villa San Cristóbal)

Cuadro 5.5: Reemplazo de subrasante con material clasificado

Calle	Longitud	Profundidad
Jr. A. Valdelomar	51.03	0.40
Jr. Los Rosales	130.50	0.40 - 0.60
Jr. Los Lirios	169.23	0.40
Jr. Víctor Acuña	459.06	0.20
Jr. Santa Rosa	89.16	0.20

(Fuente:Proyecto Villa San Cristóbal)

conformada y compactada según los requisitos exigidos, se procederá a la colocación de la sub base granular de acuerdo al expediente 0.20m. A continuación se presenta el cuadro 5.6 con el resumen de las propiedades del material de préstamo (subbase)

Cuadro 5.6: Resumen de los ensayos del material de subbase

Ensayos	Norma MTC	Requerimiento		Chillico
		< 3000 msnm	≥3000 msnm	
Abrasión	MTC E 207	50 % máx.	50 % máx.	21.7 %
CBR. Referido al 100 % de la MDS y una penetración de carga de 0.1”	MTC E 132	40 % mín.	40 % mín.	72 %
Límite líquido	MTC E 110	25 % máx.	25 % máx.	9.4 %
Índice de plástico	MTC E 111	6 % máx.	4 % máx.	6.2 %
Equivalencia de arena	MTC E 114	25 % mín.	35 % mín.	Aceptable
Sales solubles	MTC E 219	1 % máx.	1 % máx.	Aceptable
Partículas chatas y alargadas, la relación 1/3 espesor/longitud	MTC E 211	20 % máx.	20 % máx.	Cumple

Fuente: Proyecto Villa San Cristóbal

Determinación del Tráfico del Proyecto

La estimación del volumen de tráfico que servirá para calcular el índice medio diario (IMD), se realiza en base a los objetivos del proyecto y los antecedentes existentes. El índice medio diario asumido para el cálculo y diseño del pavimento rígido se fundamenta en el flujo vehicular existente en el jr. Los Cabuyales, teniendo en consideración la cercanía y conectividad de las vías en estudio con la vía de evitamiento norte que se dirige al terrapuerto de la ciudad.

De la clasificación establecida por el MTC, se dice que son vehículos menores cuando tienen hasta 04 ruedas y son mayores cuando tienen de 06 ruedas a más. Estos últimos son los que tienen mayor incidencia en el diseño de espesor del pavimento, según recomiendan el AASHTO y PCA.

El conteo de campo se realizó en cada hora desde las 5:00 am hasta las 9:00 pm, horas en que se produce el tráfico crítico. Además se proyectó un porcentaje adicional para las horas nocturnas, con la finalidad de tener el registro total diario. En el

cuadro 5.7 se muestra en resultado del conteo vehicular.

Cuadro 5.7: Conteo vehicular por tipo de vehículo

Tipo de Vehículo	IMD	Distribución (%)
Automóvil	9	30.00
Camioneta	6	20.00
Camioneta Rural	2	6.67
Micro B2	9	30.00
Bus Grande B3-1	0	0.00
Camión 2E	3	10.00
Camión 3E	1	3.33
IMD	30	100.00

(Fuente: Proyecto Villa San Cristóbal)

Una vez estimado el volumen del tránsito se procederá a calcular los demás parámetros que permitan determinar el ESAL de diseño, el procedimiento a seguir fue descrito en el en la sección 2.4.1 del capítulo 2.

Estimación del ESAL de diseño o Ejes Equivalentes

Siguiendo lo señalado en la sección anterior se determinó el ESAL de diseño, con las ecuaciones 5.2.1 y 5.2.1.

$$ESAL_{Diseño} = \sum (ESAL_{día-carril} \times Fca \times 365) \quad (5.2.1)$$

$$ESAL_{día-carril} = IMD \times Fd \times Fc \times FC \quad (5.2.2)$$

Donde:

$ESAL_{Diseño}$ = Número de repeticiones de ejes equivalentes de 8.2 Tn.

$ESAL_{día-carril}$ = Ejes equivalentes por cada tipo de vehículo pesado por día para el carril de diseño.

Fca = Factor de crecimiento acumulado por tipo de vehículo pesado.

IMD = Índice medio diario inicial según el vehículo pesado seleccionado.

Fd = Factor direccional.

F_c = Factor carril de diseño.

FC = Factor camión.

El resultado del cálculo se muestra en el cuadro 5.8.

Cuadro 5.8: Resumen del calculo del ESAL de diseño

Clasificación Vehicular		IMD*	% Tasa de Crecimiento	ESAL año (20)	ESAL año (20) F dist. Carril (1.00)
Automóvil	A	12	1.48	72.78	39.86
Station Wagon	SW	0	1.48	0	0
Camioneta	C	8	1.48	50.73	27.90
Panel	P	0	1.48	0	0
Camioneta Rural	CR	2	1.48	196.55	108.10
Bus 2 ejes	B2	13	7.46	588,224.33	323,523.38
Bus 3 ejes	B3	0	7.46	0	0
Camión 2 ejes	C2	3	7.46	160,424.82	88,233.65
Camión 3 ejes (tandem)	C3	1	7.46	24,750.69	13,612.88
TOTAL		39		773719.90	4.26E+05

(*) El IMD incluye 15 % de tráfico generado

Diseño de Espesor del Pavimento

El diseño de espesor del pavimento del Proyecto Villa San Cristóbal se realizó siguiendo la filosofía propuesta por el AASHTO en la guía para el diseño estructural de pavimentos, dicho método de diseño fue presentado y discutido en la sección 2.4.4 del capítulo 2. Del cálculo realizado se estimó que para el proyecto corresponde un espesor de 7.60" (19.304 cm), para adaptarse mejor al proceso constructivo se eligió el valor de 20.00 cm.

El espesor del pavimento fue diseñado para una resistencia a la compresión de concreto ($f'c$) de 210 kg/cm^2 , sin embargo el AASHTO recomienda una resistencia mínima a la flexotracción del concreto (Módulo de Rotura) de 40 kg/cm^2 , que equivale a un $f'c$ de 280 kg/cm^2 . Para calles con bajos volúmenes de tránsito podría resultar lo propuesto en el proyecto de aplicación.

5.2.4. Diseño de Mezcla del Proyecto en Aplicación

El diseño de mezcla consignado en el expediente técnico del Proyecto Villa San Cristóbal se trabajó con la cantera Chanchara, que se encuentra ubicado en la localidad de Compañía. Sin embargo para la ejecución, el contratista optó por un cantera diferente, Muyurina, para el cual realizó un nuevo estudio de diseño de mezcla, C. TOVAR. [24]

Del nuevo estudio de diseño de mezcla de concreto realizado para la ejecución del Proyecto Villa San Cristóbal, anexo en la presente investigación, se rescata las siguientes conclusiones.

- El agregado grueso presenta una granulometría no uniforme puesto que no cumple con los límites inferiores, deficiencia de partículas menos gruesas, el tamaño máximo es de 1 1/2", siendo el tamaño máximo nominal de 1" y se clasifica como grava mal graduada (GP). EL agregado fino (Arena), la muestra corresponde a arenas bien graduadas SW, del análisis de la arena se puede observar que este cumple con la gradación de las arenas de nuestra norma (límites extremos), se encuentra ligeramente fuera del Huso C que es el más recomendado para elaborar concretos con cemento Portland.
- Para la mezcla de concreto se recomienda una consistencia plástica de 3" a 4" medida con el cono de Abrams, teniendo en cuenta una adecuada compactación mecánica.
- El diseño de mezcla calculado se presenta a continuación en los cuadros 5.9, 5.10 y 5.11, las dosificaciones fueron corregidos por la humedad de los agregados al momento de la entrega de las muestras, pudiendo variar considerablemente la humedad en diferentes momentos de la ejecución de la obra, lo que podría variar la humedad superficial como la absorción efectiva, por lo que se deberá hacer las correcciones respectivas cuando los responsables lo crean conveniente.

Cuadro 5.9: Proporciones del diseño de mezcla por metro cúbico de concreto de materiales secos

RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO					
f'c (kg/cm²)	Cemento (kg)	Agregado Fino (kg)	Agregado Grueso (kg)	Agua (Lt)	Total (kg/m³)
280	370.30	835.20	866.10	181.00	2252.60
245	342.90	845.90	877.20	181.00	2247.00
210	316.60	874.50	868.60	181.00	2240.70
175	282.20	900.10	869.70	181.00	2233.10

Cuadro 5.10: Dosificación en peso seco.

DOSIFICACIÓN EN PESO SECO (C:AF:AG:AGUA)				
f'c (kg/cm²)	Cemento	Agregado Fino (AF)	Agregado Grueso (AG)	Agua (lt/bls)
280	1.00	2.26	2.34	20.80
245	1.00	2.47	2.56	22.40
210	1.00	2.76	2.74	24.30
175	1.00	3.19	3.08	27.30

Cuadro 5.11: Dosificación en volumen corregido por humedad.

DOSIFICACIÓN EN VOLUMEN (C:AF:AG:AGUA)				
f'c (kg/cm²)	Cemento	Agregado Fino (AF)	Agregado Grueso (AG)	Agua (lt/bls)
280	1.0	1.9	2.7	21.0
245	1.0	2.1	3.0	22.5
210	1.0	2.4	3.2	24.0
175	1.0	2.8	3.6	27.0

5.3. Propuesta con Diseño de Losas Cortas TCP

Se plantea la propuesta de pavimentación con diseño de losas cortas 'TCP', con las propiedades y características que presenta el proyecto en aplicación el cual ya fue descrito en el capítulo 3

5.3.1. Propiedades a nivel subrasante del terreno de fundación

De acuerdo al manual de carreteras del MTC-2013 las características de los materiales detallado en la sección 2.4.2 del capítulo 2 (categoría, rango, descripción), recomienda que se consideran como materiales aptos para las capas de la subrasante, suelos con $CBR \geq 6\%$. En caso de ser menor (subrasante pobre o subrasante inadecuada), se procederá a estabilizar los suelos.

En el caso del diseño de losas cortas 'TCP' si el material de subrasante tiene presencia de mucho fino, se deberá colocar un geotextil entre la subrasante y la subbase cuando se cumpla al menos dos de los siguientes casos:

- Tránsito mayor a 1,000,000 EE.
- Precipitaciones mayores a 800mm al año.
- Subrasante con $CBR < 20\%$

De acuerdo a los ensayos realizados para el presente proyecto 'Villa San Cristóbal' luego de hacer las mejoras en las calles indicados en la cuadro 5.5, se verificó si los tramos a pavimentar requerían el empleo de geotextil, los resultados emitidos por el laboratorio recomienda que no es necesario su empleo tal como se muestra en los cuadros 5.12 y 5.13, dicho informe será anexado el presente tema de investigación. Así mismo se verificó la información que nos brinda el MTC en coordinación con el senamhi, el cual nos permitió verificar las precipitaciones de acuerdo a nuestras condiciones geográficas las cuales varía entre 700-1000 mm.

5.3. Propuesta con Diseño de Losas Cortas TCP

Cuadro 5.12: Material de subrasante

EXPLORACIÓN		D15(mm)	D50(mm)	D85(mm)
C-01/ Jr. los Rosales	E-2	0.184	14.588	32.207
C-09/ Jr. A. Valdelomar-Jr. los Rosales	E-2	0.032	0.251	3.274
C-12/ Jr. San Cristóbal-Calles las Palmeras	E-2	0.490	4.233	20.160
C-13/ Jr. Cabuyales-Jr. Panama	E-2	0.301	4.140	17.882
C-18/ Prolg. los Incas-Jr. Medellin	E-2	0.017	0.057	0.512
C-19/ Prolg. los Incas-Jr. la Mar	E-2	0.037	0.447	5.114

(Fuente:Proyecto Villa San Cristóbal)

Cuadro 5.13: Material de subrasante

EXPLORACIÓN	$D_{15(F)}/D_{85(S)} \leq 5$	$D_{50(F)}/D_{50(S)} \leq 25$	$D_{15(F)}/D_{15(S)} \geq 5$
C-01/ Jr. los Rosales	0.01	OK	2.4
C-09/ Jr. A. Valdelomar-Jr. Rosales	0.14	OK	13.9
C-12/ Jr. San Cristóbal-C. Palmeras	0.02	OK	0.9
C-13/ Jr. Cabuyales-Jr. Panama	0.02	OK	1.5
C-18/ Prolg. los Incas-Jr. Medellin	0.87	OK	26.1
C-19/ Prolg. los Incas-Jr. la Mar	0.09	OK	11.9

Por lo tanto el uso de geotextiles no es indispensable

(Fuente:Proyecto Villa San Cristóbal)

5.3.2. Propiedades a nivel subbase (Material de préstamo)

Los materiales para la construcción de la subbase granular deberán satisfacer los requisitos indicados en la (Subsección 400.02. EG-Vigente) MTC [15]. Las cuales fueron detalladas en la sección 2.3.2 del capítulo 2 (tabla de graduación).

De acuerdo a la información recabada del proyecto "Villa San Cristóbal" el material granular empleado en el proyecto fueron extraídos de la cantera Chillico. Luego de los análisis realizados al material subbase, la cual fue detallada en la sección 4.2.2 del capítulo 4. Muestra que la curva granulométrica se encuentra entre la Gradación A y Gradación B donde los limitantes varían de acuerdo al siguiente cuadro 5.14

En cuanto al manual de carretera Chilena [12] los materiales de subbase debe de cumplir los siguientes requisitos. El material granular retenido en el tamiz (N°4), deben ser partículas resistentes, durables, constituidas de fragmentos de roca, grava o escoria. Así mismo los agregados finos que pasa el tamiz (N°4), deben estar constituidas por arenas naturales o trituradas y por partículas minerales que pasan el

5.3. Propuesta con Diseño de Losas Cortas TCP

Cuadro 5.14: Requerimientos Granulométricos para Subbase Granular

Tamiz	Porcentaje Que Pasa en peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm. (2")	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
425 um. (N°40)	8-20	15-30	15-30	25-45
75 um.(N°200)	2-8	5-15	5-15	8-15

(Fuente: EG-MTC, 2013, p.360)[15]

tamiz (N°200), También debe de cumplir con la graduación TM-50a el cual muestra los limitantes en el siguiente cuadro. 5.15

Cuadro 5.15: Bandas Granulométricas para subbase, Bases y Capas de Rodadura

Tamiz	TM-50a	TM-50b	TM-50c	TM-40a	TM-50b	TM-40c	TM-25
50	100	100	100				
40		70-100		100			
25	55-100	55-85	70-100	70-100	80-100	80-100	100
20		45-75	60-90	50-80			70-100
10	30-75	35-65	40-75	25-50	50-80	50-80	50-80
5	20-65	25-55	30-60	10-30	35-65	35-65	35-65
2.5							
2	10-50	15-45	15-45		25-50	25-50	25-50
0.5	5-30	5-25	10-30	0-5	10-30	15-30	10-30
0.08	0-20	0-10	0-15	0-3	5-15	5-20	0-15

(Fuente: Dirección de vialidad - Chile 2014, Capítulo 8.100 - Suelos)[12]

Para un diseño de losas cortas 'TCP' se exige que la cantidad de finos bajo la malla (N°200) no debe ser mayor a 8%. Las demás condiciones requeridas se encuentran detalladas en la sección 3.8 del capítulo 3 (Características de la subbase).

En cuanto a los demás análisis y ensayos realizados por el (EG-Vigente) y para el diseño de losas cortas 'TCP' tenemos los siguientes requerimientos a cumplir, las cuales se detallaran en el siguiente cuadro.5.16

Los resultados obtenidos a nivel de subbase del proyecto 'Villa San Cristóbal' cumplen con los requerimientos establecidos por el MTC-2013 (EG-Vigente) y el manual

5.3. Propuesta con Diseño de Losas Cortas TCP

Cuadro 5.16: Cuadro Comparativo del Manual de Carreteras Perú - Chile

Ensayo	Norma	Norma	Norma	Requerimiento		Manual Chileno
	MTC	ASTM	AASHTO	< 3000 msnm	Diseño TCP	
Abrasión los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	50 % máx.	40 % máx.	Manual de Carretera
CBR (1)	MTC E 132	D 1883	T 193	40 % mín.	50 % mín.	Manual de Carretera
Limite Líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	25 % máx.	35 % máx.	Manual de Carretera
Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 90	6 % máx.	8 % máx.	Manual de Carreteras

Fuente: Elaboración Propia

chileno. Los resultados se encuentran detallados en la sección 4.2.2 del capítulo 3, de acuerdo al cuadro comparativo se puede notar que los requerimientos del manual chileno son más exigentes a comparación del peruano.

5.3.3. Propiedad de los Concretos

Los agregados deberán de cumplir los siguientes requisitos definidos por el manual de carreteras - chileno Dirección de vialidad CHILE - (volumen N° 5).[13]

Agregado grueso

Tamaño máximo absoluto del material será 40 mm o 20 mm. Desgaste de los ángeles, máximo será 35 %. Porcentaje que pasa el tamiz 0,08 (ASTM N° 200): máximo 0.5 % en peso.

Agregado fino

En cuanto a la composición granulométrica de la fracción fina el porcentaje que pasa por el tamiz 0.08 mm (ASTM N° 200) será máximo 2 %.

Por lo general los pavimentos de concreto se diseñan con mezclas, cuyos Módulo de Rotura a Flexión (M_r) están entre 40 y 50 kg/cm^2 . A mayor resistencia M_r menor espesor de concreto para la carpeta de rodadura. Resistencias menores no son apropiadas por temas de desgaste, tampoco el empleo de resistencias mayores, debido a

5.3. Propuesta con Diseño de Losas Cortas TCP

que la losa se vuelve demasiado rígida. (M. Becerra P. 91)[1]

Asimismo el tipo de agregado tiene implicancia en la resistencia al desgaste. Por ello, se sugiere el empleo de concreto con relaciones a/c menores a 0.5, o su equivalente a compresión $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$.

En el proyecto 'Villa San Cristóbal' el pavimento fue diseñado para una resistencia a la compresión de $(f'c)=210 \text{ kg/cm}^2$, sin embargo el AASHTO recomienda una resistencia mínima a la flexotracción $Mr=40 \text{ kg/cm}^2$, que equivale a un $f'c$ de 280 kg/cm^2 .

Para calles con bajos volúmenes de tránsito podrá resultar lo propuesto en el proyecto de aplicación. La caracterización de las mezclas de concreto en relación a/c se presentan de acuerdo al cuadro, 5.17 con resistencia a la flexotracción (Mr) a los 28 días el cual es comúnmente usado como una representación de la resistencia de diseño del concreto.

Cuadro 5.17: Relación Agua Cemento

a/c	f'c (kg/cm ²)	Mr (kg/cm ²)	contenido de Cemento (kg/m ³)
0.7	210	35	280
0.5	280	40	350
0.45	320	45	380
0.4	420	50	415

Fuente: M. Becerra (2012, P. 91)[1]

Para el diseño de losas cortas 'TCP' recomienda tener las siguientes consideraciones de acuerdo a la (Dirección de vialidad anexo N°1 - Chile)[13] se tiene el siguiente cuadro 5.18 de resistencia de flexotracción.

Así mismo el módulo de poisson, coeficiente de dilatación térmica y retracción a 365 días. Cuando no se disponga de información se recomienda utilizar para los diseños los valores indicados en el cuadro. 5.19

Cuadro 5.18: Resistencia a la flexotracción característica (80 %)

Tipo de via	Resistencia a la flexotracción características a 90 días (Mpa)	
	Rango	Recomendado
Vias principales y autopistas	5.0-5.5	5.3
Vias colectoras	4.6-5.5	5.3
Caminos secundarios	4.6-5.3	5.0

(Fuente: Dirección de vialidad, 2012)[13]

Cuadro 5.19: Parámetros de diseño

Parámetros	Valor
Módulo de poisson	0.15
Coefficiente de dilatación térmica (1/°C)	0.00001
Retracción a 365 (m/m)	0.001

(Fuente: Dirección de Vialidad 2012)[13]

5.3.4. Funcionabilidad de los pavimentos TCP

Para el diseño estructural del pavimento 'TCP' se sigue la misma filosofía que para el concreto convencional AASHTO - 93. En la sección 5.2.3, se presenta el resumen del diseño estructural del pavimento para el Proyecto Villa San Cristóbal, del cual se determinarían los esfuerzos en las losas de dimensión $L = 3$ m por $A = 2.73$ m y $L = 4$ m por $A = 2.73$ m y las propuestas por el diseño 'TCP' cuyas dimensiones propuesta son $L = 2.5$ m por $A = 1.36$ m

Módulo de elasticidad del concreto

Para el módulo de elasticidad del concreto de características normales se recomienda utilizar el valor de 29,000 Mpa. este valor se utilizará en el caso de que no se tenga valores obtenidos por resistencia a los 90 días.

Serviciabilidad

La serviciabilidad según él (AASHTO-93) se define como la capacidad del pavimento de servir al tránsito que circula por la vía, y se magnifica en una escala de 0 a 5,

5.3. Propuesta con Diseño de Losas Cortas TCP

donde 0 significa una calificación de intransitable y 5 una calificación de excelente que es un valor ideal que en la práctica no se da. El valor de 0 es un indicador muy pesimista, pues AASHTO 93 emplea el valor de 1.5 como índice de serviciabilidad del pavimento.

Índice de rugosidad internacional (IRI)

para el caso de diseño mecanísticos trabajan con el IRI. estos valores serán usados cuando no se tenga información al respecto. El cuadro fue detallado en el capítulo.

3

Efecto Alabeo de Construcción y Largo Losa en el IRI

AASHTO 93-98, no consideran el alabeo de construcción como dato de entrada del modelo, mientras que el MEPDG (AASHTO 2008) usa un valor por defecto de -6°C . Los alabeos de construcción medidos en Chile varían entre -11°C y -41°C dependiendo de la locación del pavimento y de los métodos de construcción, y en todos los casos es muy superior al propuesto en el MEPDG.

El gradiente de construcción, en conjunto con el largo de losa, afectan fuertemente el IRI, que por lo tanto no solo es dependiente de la calidad de la construcción.

En el futuro, los diseños de pavimentos de concreto, deberían considerar magnitudes reales como parámetros de diseño.

Se requieren de losas de mayor espesor en zonas donde la probabilidad de un gradiente de construcción sea elevado.

Posibles soluciones

- Mejorar las prácticas de pavimentación, poniendo énfasis en: la hora en que se pavimentará, la temperatura del concreto, la dosificación y las condiciones de este.
- Mejorar los procedimientos de curado y las protecciones necesarias para el curado del pavimento.

5.3. Propuesta con Diseño de Losas Cortas TCP

- En el caso de losas largas dimensionarlas para disminuir este efecto.
- En el caso de Losas Cortas alejarse de la dimensión 2.5 m ya que este largo de losa afecta mas el IRI.
- Se recomienda, en casos de gradientes altos losas de 1.75 m para minimizar el efecto.

Juntas

Se debe considerar en el diseño la utilización de juntas con el propósito de aliviar los esfuerzos y evitar que las grietas inducidas se presenten de manera desordenada y sin patrones geométricos debido a la contracción por secado del concreto, cambios de humedad y temperatura, aplicación de las cargas por tránsito, restricciones del terreno de apoyo y características de los materiales empleados. De acuerdo a (O. ESTACIÓN y D. VALVERDE) [8] Las funciones específicas de las juntas son las que se mencionan a continuación:

- Control del agrietamiento transversal y longitudinal provocado por las restricciones de contracción combinándose con los efectos de pandeo o alabeo de las losas, así como las cargas de tráfico.
- Dividir el pavimento en incrementos prácticos para la construcción (carriles de circulación).
- Absorber los esfuerzos provocados por los movimientos de las losas.
- Proveer una adecuada transferencia de carga.

Corte de Juntas en pavimentos TCP

Se deberá cortar las juntas de contracción longitudinal y transversal en el pavimento a partir del momento en que se pueda colocar una máquina de corte sobre la superficie de rodadura sin dejar marcadas las huellas (aproximadamente 6 horas). Se

5.3. Propuesta con Diseño de Losas Cortas TCP

debe considerar que el endurecimiento del concreto y la temperatura ambiente para definir el momento cuando se debe efectuar el corte de juntas, el cual deberá realizarse lo antes posible para evitar fisuras por retraso de corte y disminuir tensiones de alabeo en las losas. (O. ESTACIÓN y D. VALVERDE) [8]

En el caso, de que no se pueda disponer de una cantidad suficiente de equipos, se deberá comenzar cortando la junta o juntas longitudinales más cercanas a los bordes del pavimento construido como se muestra en la figura 5.2 (cuando se pavimenta a dos carriles a la vez) , los cortes se harán transversales por lo menos una por el medio, y luego el corte longitudinal restante y realizándose el resto de los cortes intermedios, tan pronto como sea posible. La secuencia de los cortes es importante para el comportamiento futuro.

El corte se deberá realizar con sierra delgada de 1,9 mm. de ancho para evitar el ingreso de partículas dañinas al interior de la junta.



Figura 5.2: Fuente: Pavimentos en concreto de losas con dimensiones optimizadas [9]

Se debe enfatizar la importancia de las etapas de corte para juntas y curado del concreto, para contrarrestar la formación de grietas por alabeo de la estructura del pavimento, que se presenta con efectos de contracción y por gradiente de temperatura.

Escalonamiento en pavimentos con diseño TCP

- Publicaciones de TCPavement indican que el alabeo que produce el escalonamiento es 5 veces menor en losas optimizadas y correlaciona con los resultados de losas convencionales M. BECERRA [1]
- Usan subbases granulares con menos de 8% de finos, el agua no afecta la estructura y la salida de finos no cambia la capacidad estructural de la subbase.
- Tienen losas más pequeñas esto genera a que las losas trabajen a compresión
- El escalonamiento final recomendado para el diseño es 2.5 mm.

Transferencia de carga para distintas aperturas de grietas

En el proyecto 'Villa San Cristóbal' se pudo notar que las aberturas dejadas para las juntas tienen 4cm. mientras para el diseño TCP se definió juntas de 1.9mm. Las cuales serán usadas en el modelamiento con SAP 2000. De acuerdo al siguiente figura 5.3 notamos que existe mucha diferencia en cuanto a efectividad de transferencia de carga. Estos estudios fueron realizados por Colley y Humphrey

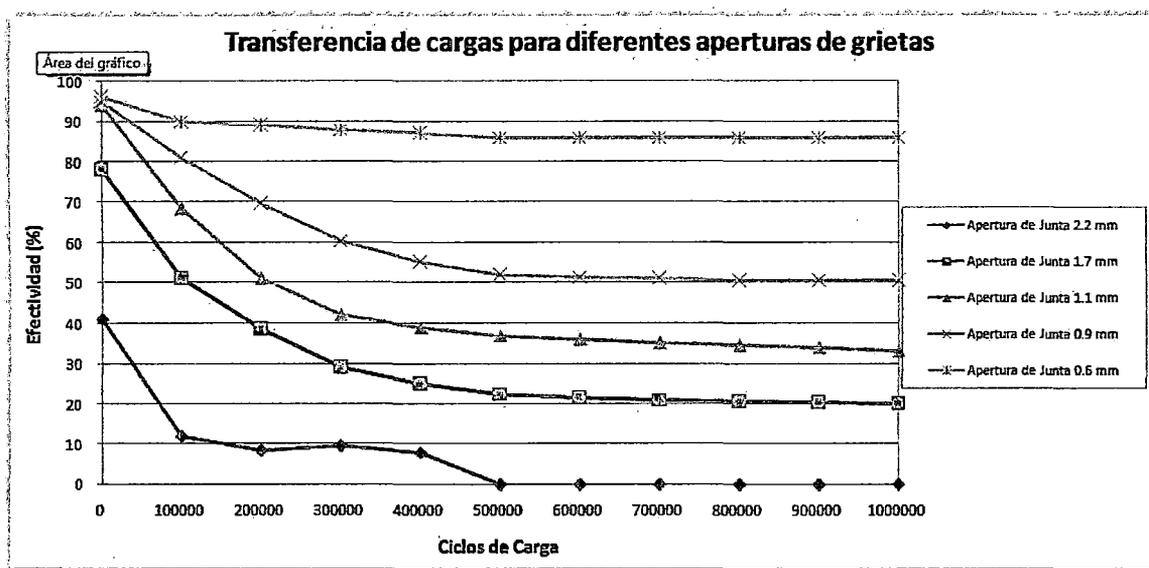


Figura 5.3: Fuente: Pavimentos de geometría optimizada [23]

5.3.5. Procedimiento de trabajo para el diseño TCP

Según (Dirección de Vialidad, Gobierno de Chile)[13] deberían tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- La temperatura del concreto deberá ser inferior a 35°C
- El profesional responsable deberá tener presente las condiciones climáticas del sector donde se colocara el pavimento de concreto de modo de pavimentar cuando las condiciones de temperatura ambiente, humedad relativa del aire y velocidad del viento sean favorables para ello.
- Para evitar movimientos laterales se deberán instalar barras de fierro estriado (Pines) de calidad o superior de 16 mm de diámetro y 0.4 m de longitud, las cuales en uno de sus extremos deberán ser cortadas a 45° generando una punta para su hincamiento.
- El pavimento no llevará barras de traspaso de carga, ni de amarre, salvo en los siguientes casos:

a) Juntas de construcción transversal.

Espesores mayores $e > 15\text{cm}$: Se colocaran barras de traspaso de carga de diámetro 25 mm y longitud 35 cm, lisas, cada 30 cm en la mitad del espesor de las losas.

Pavimentos de menos de 15 cm de espesor: Se deberán usar barras de transferencia de cargas planas del tipo Diamond Dowels o se podrán utilizar barras de amarre estriadas de 10 mm cada 60 cm de 65 cm de longitud.

b) Juntas de construcción longitudinal.

llevara barras de amarre estriadas de diámetro 10 mm y longitud de 65 cm, a cada 85 cm. En caso que el pavimento se construya en el ancho total (dos pistas) estas barras no se deberán colocar.

- Cualquiera fuere el espesor resultante al aplicar las relaciones que se incluyen, los pavimentos de concreto de losas optimizadas a diseñar para la dirección de

5.3. Propuesta con Diseño de Losas Cortas TCP

Vialidad deberán tener entre 80 mm y 220 mm de espesor.

A continuación se presenta el siguiente cuadro 5.20 con las comparaciones en cuanto a requisitos y exigencias dadas por los manuales tanto para el diseño del AASHTO - 93 y el diseño TCP para el cual rige el manual chileno.

Cuadro 5.20: MTC - 2013 y Manual de Carreteras - Chile para TCP

CARACTERÍSTICAS	MTC	TCP	
Metodología	Empírico	Mecanicista - Empírico	
Criterio de desempeño	Pérdida de servicio	Daño por fatiga	
Factores climáticos	Efectos de humedad	ΔT °C (+) ΔT °C (-)	Temperatura media anual
Tamaño máximo del agregado grueso	$T < h/3$	40 mm	Para espesores iguales o mayores a 12 cm.
Trabajabilidad del concreto molde fijo	3" - 4"	8 - 14 cm	En caso de cerchas y vibradores manuales
Trabajabilidad del concreto con molde deslizante	3 - 6 cm	5 - 7 cm	
Resistencia a la flexión Mr a 28 días	4 Mpa. $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	4.5 a 5.2 Mpa.	Recomendado a 90 días
Modulo de Elasticidad	24,798 Mpa. $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	29,000 Mpa.	recomendado si no se tiene información
Contenido de cemento	350 kg/m^3 $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$	300 kg/m^3	mínimo para concreto de alta resistencia
Profundidad del mortero para el rallado	2 mm	3 mm	
Ancho de corte en juntas con profundidad de h/3	3 mm	1.9 - 2.5 mm	Esta permitido hasta profundidades de 7 cm
Las juntas podrán ser cortadas pasado las	8 horas	6 horas	
Sellado de juntas pasado los 21 a 28 días	Si	No	
Deterioros observados son agrietamientos	Transversal	Longitudinal	En ese orden para cada caso
Curado del concreto con agua sin agente químico	7 días	7 días	Recomienda el uso de mantas térmicas
Apertura al tránsito cuando el Mr es	10 días $Mr > 3,6 \text{ Mpa}$	2.5 Mpa. 3.5 Mpa.	Espesor $\geq 12 \text{ cm}$ <i>Espesor < 12cm</i>
Serviciabilidad PSI	$Po = 5$ $Pt = 0$	IRIo = 2 IRIt = 3.5	Índice de rugosidad internacional

Fuente: Elaboración Propia

5.3.6. Determinación de esfuerzos (Tensiones) en los pavimentos

Luego de los cálculos realizados con el software SAP 2000, se encontraron los resultados que muestran disminución de esfuerzos en las losas, luego de que hayan sido dimensionadas para soportar una o un set rueda por losa. A continuación se muestran las tensiones obtenidas para las siguientes calles en función a la reducción de longitud y coeficiente de balasto 'K', cuyo valor tomado fue el mínimo, intermedio y el máximo del proyecto "Villa San Cristóbal".

Tensiones en losas del Jr. Gutiérrez y Jr. La Mar: Para el mismo espesor y longitud diferente, figura 5.4

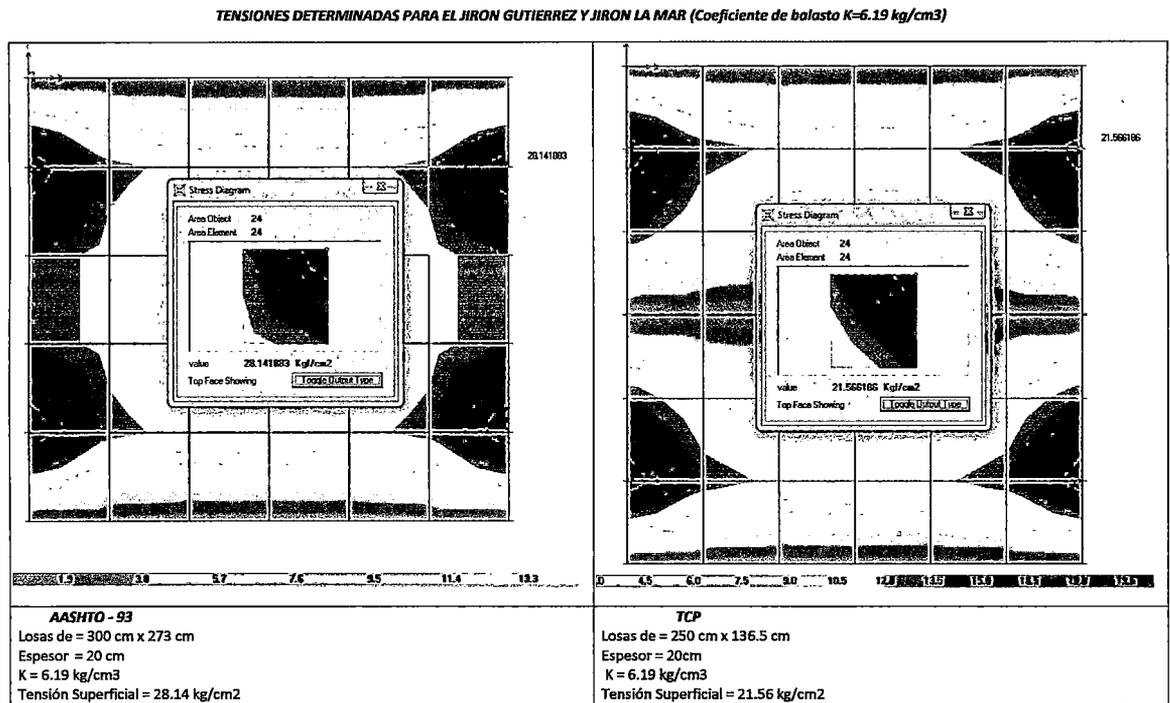


Figura 5.4: tensiones AASHTO y TCP Jr. Gutiérrez por SAP 2000

5.3. Propuesta con Diseño de Losas Cortas TCP

Tensiones en losas del Jr. Cabuyales: Para el mismo espesor y longitud diferente, figura 5.5 y 5.6

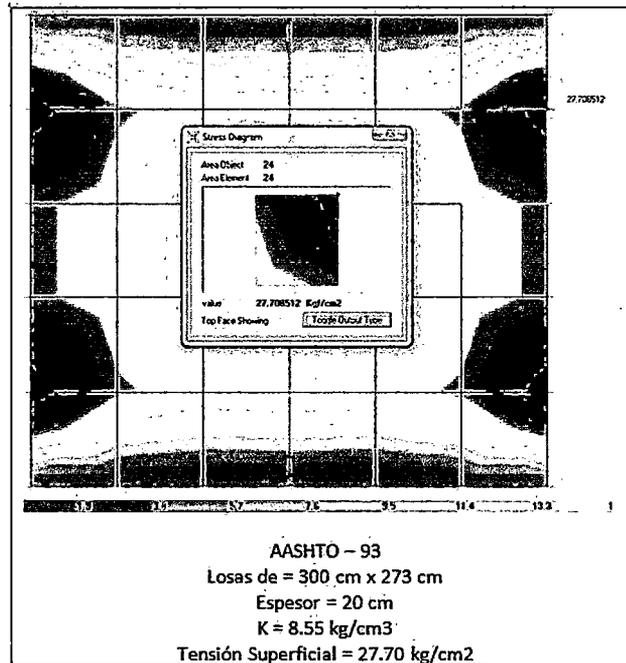


Figura 5.5: tensiones AASHTO Jr. Cabuyales por SAP 2000

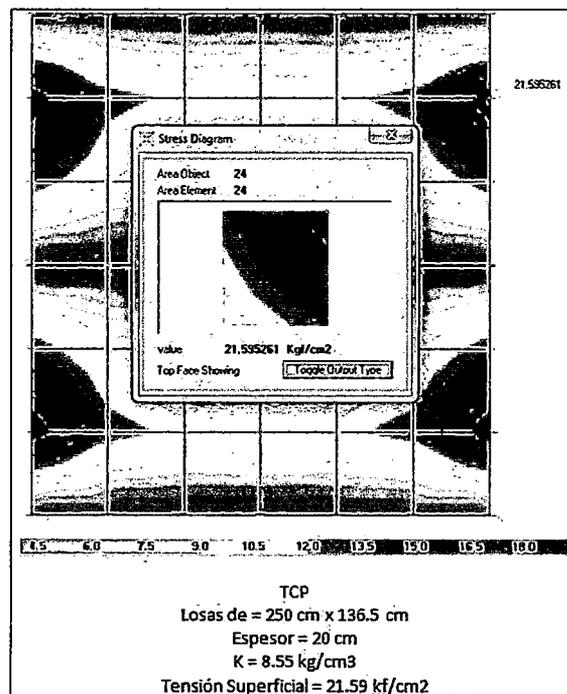


Figura 5.6: tensiones TCP Jr. Cabuyales por SAP 2000

5.3. Propuesta con Diseño de Losas Cortas TCP

Tensiones en losas del Jr. Acuña y Jr. Santa Rosa: Para el mismo espesor y longitud diferente, figuras 5.7 y 5.8

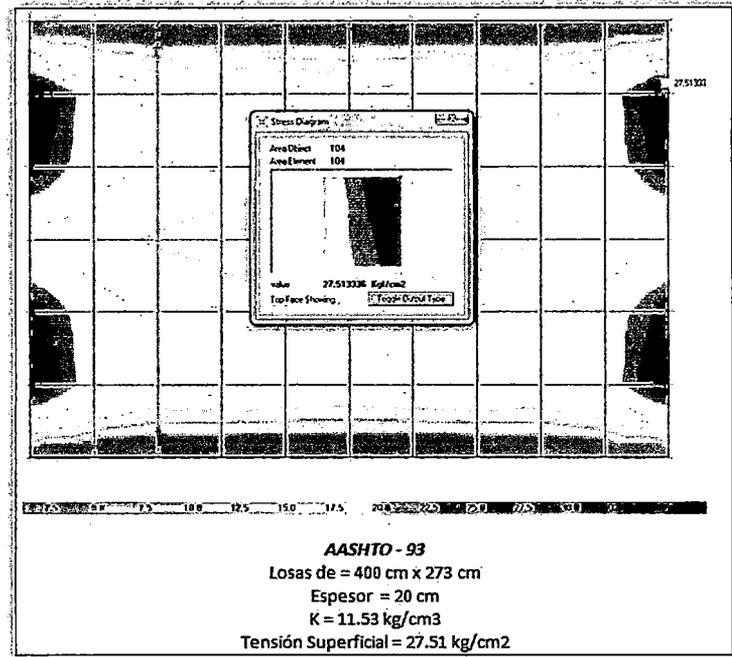


Figura 5.7: tensiones AASHTO Jr. Acuña por SAP 2000

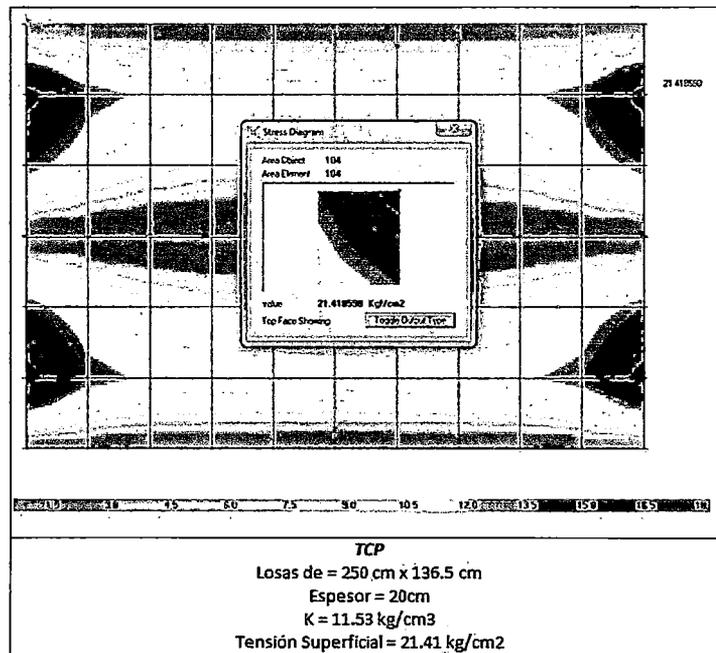


Figura 5.8: tensiones TCP Jr. Acuña por SAP 2000

Capítulo 6

Análisis y Discusión de Resultados

En este capítulo se hará una evaluación de los requerimientos necesarios para el diseño de losas cortas TCP, así mismo se evaluarán los principales resultados (de tensiones) obtenidos en la presente investigación.

6.1. Evaluación del Material de Préstamo

6.1.1. Subbase (Cantera Chillico)

La fracción gruesa (piedras) de la cantera de Chillico tiene aristas, es decir forma sub redondeada y texturas de superficie semi lisas. Las fracciones gruesas de la cantera analizada presentan partículas Chatas y alargadas (relación 1/3) muy por debajo de los límites permisibles (20 % máximo) según Manual de Carreteras (EG - 2013, P. 360)[15], por lo tanto no se tendrán problemas de trabajabilidad y facilidad de compactación, no se quebrarán las partículas fácilmente en el momento de la compactación.

Se puede mencionar que los límites permisibles del índice de plasticidad para la cantera de Chillico son aceptables para los límites recomendados para material de subbase (6 % como máximo para pavimentos ubicados por debajo de los 3000 msnm) según el Manual de Carreteras (EG - 2013).

En cuanto a los límites permisibles del límite líquido (25 % máximo para material

6.1. Evaluación del Material de Préstamo

de subbase), el límite líquido de la cantera de Chillico está muy por debajo de este valor. El límite líquido es un indicativo de la plasticidad de suelo.

En la cantera el índice de grupo (IG) tiene como valor cero (0), es un índice adoptado por la AASHTO de uso corriente para clasificar suelos. Un índice de cero significa un suelo muy bueno, lo que indica que es un material apto para usarse en carreteras. En cuanto a la gradación del material de subbase, existen pocos depósitos naturales que tienen una gradación ideal, que solo necesitan ser zarandeados. Para la cantera Chillico se concluyó que el material para la subbase deberá zarandearse por la zaranda de 2" tal como se muestra en la figura 6.1.

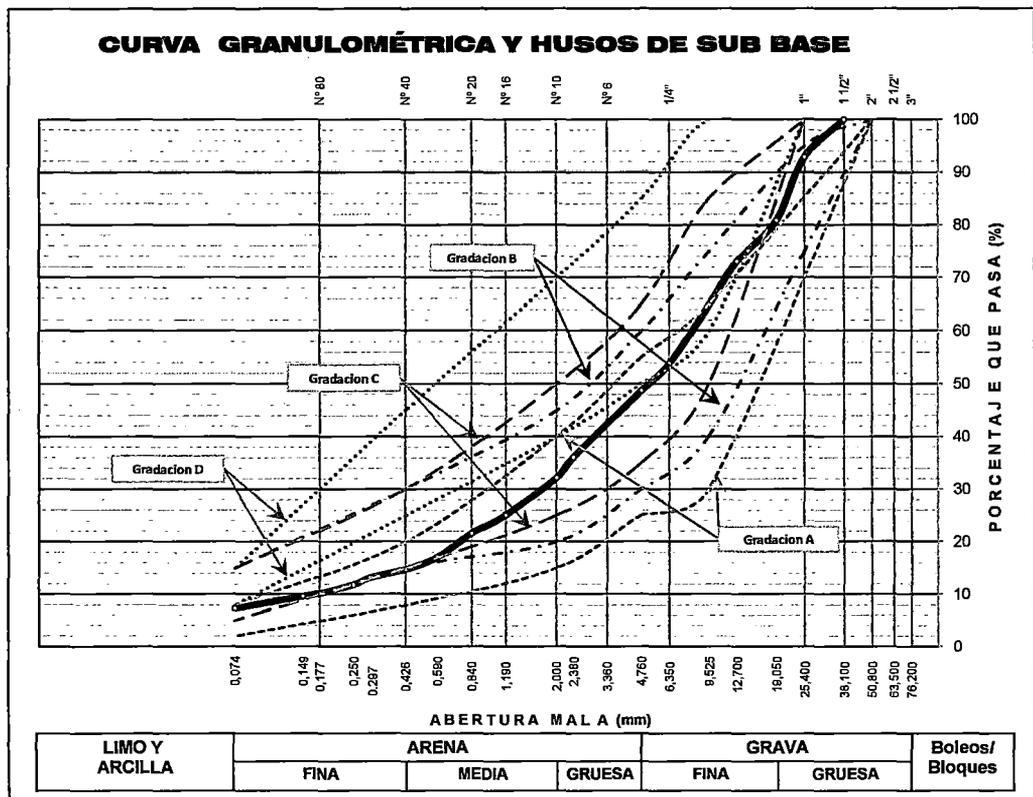


Figura 6.1: Curva de la distribución granulométrica de la subbase.

Según los resultados del gráfico se pudo notar que la subbase se encuentra dentro de la gradación 'A' cumple con estar dentro de las franjas limitantes establecidos por el manual de carreteras (EG - 2013, P. 360).[15]

Así mismo podemos notar en el gráfico que la curva de la subbase comienza a salir

6.2. Tensiones por carga en losas para el diseño AASHTO y TCP

a partir del tamiz 1/2" para arriba, empezando a formar parte de la gradación 'B'. Se podrían realizar reajustes para obtener la curva granulométrica de la subbase dentro de la gradación 'A' haciendo que las partículas retenidas en el tamiz superior sean mayores que los porcentajes que pasan, para ello se requerirá que el material presente mayores dimensiones lo que generara que el material de subbase mejore en la capacidad de soporte y un mejor filtro para el drenaje.

6.2. Tensiones por carga en losas para el diseño AASHTO y TCP

En este capítulo se presentarán los resultados de simulaciones numéricas de elementos finitos de las pruebas de carga dinámicas según Da Silva [22], que tiene como objetivo primordial interpretar los resultados que abordan el tema de tensiones para diferentes configuraciones de losas.

El programa SAP 2000 se empleo para el modelado finito de placas, de acuerdo con la teoría clásica de placas moderadamente gruesas, emplea un miembro de placa en flexión con cuatro nodos y doce grados de libertad. La subbase se supone que es un líquido muy denso, representado por resortes de rigidez e independiente el uno del otro y todas las capas por debajo de la placa se convirtió en una sola, a excepción de la subbase tratadas con cemento. Esto nos permite tratar la subbase como un modelo de resorte Winkler.

Las dimensiones de las losas de acuerdo al proyecto 'Villa San Cristóbal' según el diseño del AASHTO - 93 son:

- Jr. Gutiérrez y Jr. La Mar: longitud de la losa ($L = 300$ cm), ancho de losa ($A = 273$ cm), espesor de junta ($e = 4$ cm).
- Jr. Los Cabuyales: longitud de la losa ($L = 300$ cm), ancho de losa ($A = 273$ cm), espesor de junta ($e = 4$ cm).

6.2. Tensiones por carga en losas para el diseño AASHTO y TCP

- Jr. Víctor Acuña y Jr. Santa Rosa: longitud de la losa ($L = 400$ cm), ancho de losa ($A = 273$ cm), espesor de junta ($e = 4$ cm).

Las siguientes calles fueron tomados como muestra debido a que poseen los CBR = 7%, CBR = 16.9% y CBR = 29.7% respectivamente. Ya que poseen valores mínimos, intermedios y máximos las cuales influyen, así como la subbase en el coeficiente de balasto (K) del terreno donde se apoyara el pavimento.

En cuanto al dimensionamiento de las losas planteadas para el proyecto, según el diseño de losas cortas TCP son:

- Jr. Gutiérrez y Jr. La Mar: longitud de la losa ($L = 250$ cm), ancho de losa ($A = 136.5$ cm), espesor de junta ($e = 0.19$ cm).
- Jr. Los Cabuyales: longitud de la losa ($L = 250$ cm), ancho de losa ($A = 136.5$ cm), espesor de junta ($e = 0.19$ cm).
- Jr. Víctor Acuña y Jr. Santa Rosa: longitud de la losa ($L = 250$ cm), ancho de losa ($A = 136.5$ cm), espesor de junta ($e = 0.19$ cm).

6.2.1. Tensiones en losas para el Jr. Gutiérrez y Jr. La Mar

De acuerdo al modelamiento realizado con el SAP 2000 para un espesor de 20 cm se determinaron tensiones por carga dinámica para el diseño AASHTO - 93 igual a 28.14 kg/cm^2 , mientras para el diseño TCP = 21.56 kg/cm^2 tal como se muestra en el caso 'A' de la figura 6.2, en el caso 'B' se muestra el incremento de tensiones al reducir los espesores. Según investigaciones del doctor R. Salsilli [21], manifiesta que para obtener una tensión próxima al AASHTO se tendrá que reducir el espesor del diseño TCP. Las tensiones en el diseño AASHTO fueron generadas por 8 neumáticos las cuales actúan en una sola losa. Mientras la tensiones para el diseño TCP fueron generadas por 4 neumáticos por losa, esto generó la diferencia en la obtención de tensiones.

6.2. Tensiones por carga en losas para el diseño AASHTO y TCP

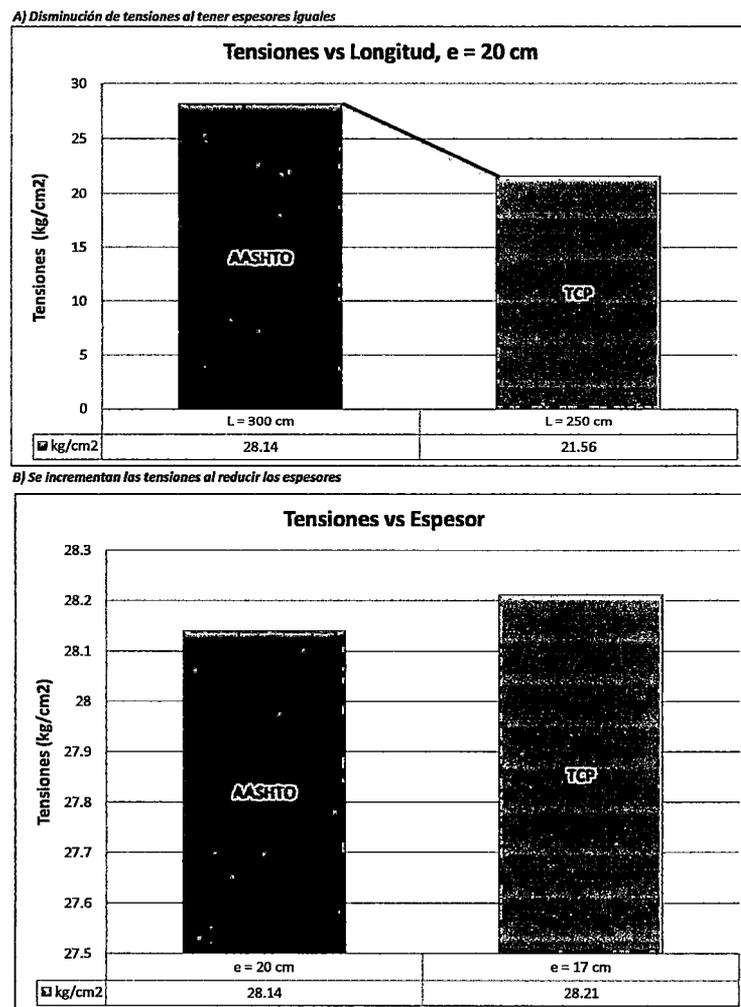


Figura 6.2: Tensiones vs Longitud y espesor Jr. Gutiérrez y la Mar

6.2.2. Tensiones en losas para el Jr. Cabuyales

De acuerdo al análisis realizado con el software SAP 2000 para un espesor de 20 cm se determinaron tensiones por carga dinámica para el diseño AASHTO - 93 igual a 27.71 kg/cm^2 , mientras para el diseño TCP = 21.59 kg/cm^2 tal como se muestra en el caso 'A' de la figura 6.3, en el caso 'B' se muestra el incremento de tensiones al reducir los espesores de 21.59 kg/cm^2 a 27.85 kg/cm^2 . Según investigaciones del doctor R. Salsilli [21], manifiesta que para obtener una tensión próxima al AASHTO se tendrá que reducir el espesor del diseño TCP. Las tensiones en el diseño AASHTO fueron generadas por 8 neumáticos las cuales actúan en una sola losa. Mientras la

6.2. Tensiones por carga en losas para el diseño AASHTO y TCP

tensiones para el diseño TCP fueron generadas por 4 neumáticos por losa, esto generó la diferencia en la obtención de tensiones.

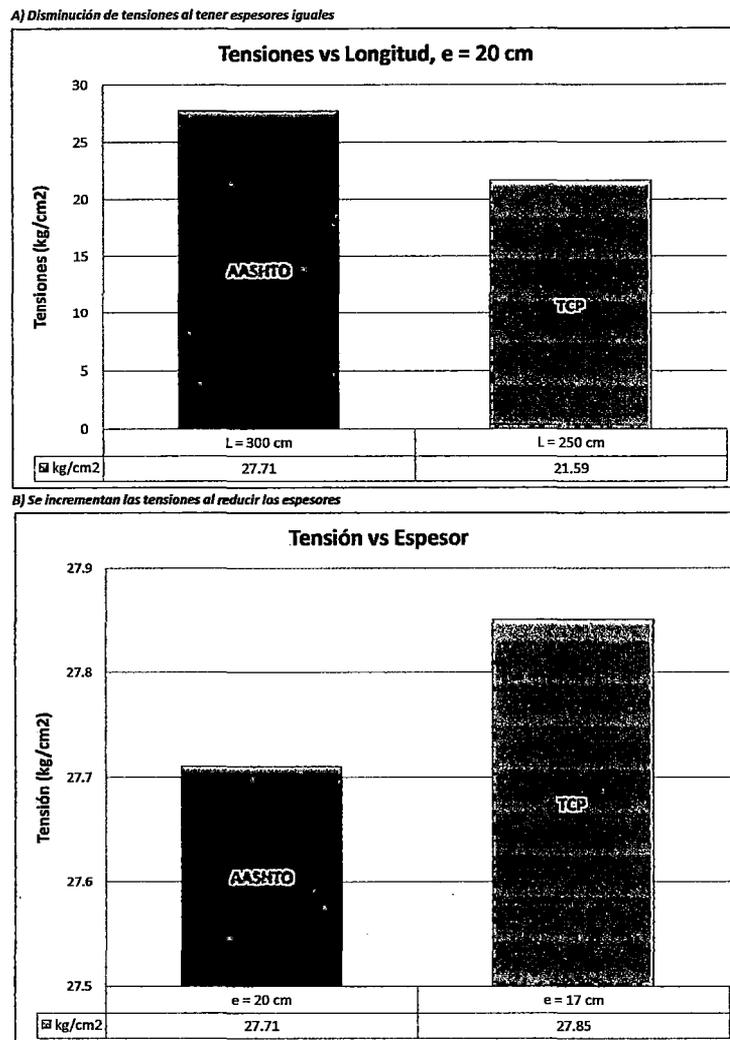


Figura 6.3: Tensiones vs Longitud y espesor Jr. Cabuyales

6.2.3. Tensiones en losas para el Jr. Acuña y Santa Rosa

De acuerdo al análisis realizados con el software SAP 2000 para un espesor de 20 cm se determinaron tensiones por carga dinámica para el diseño AASHTO - 93 igual a 27.51 kg/cm^2 , mientras para el diseño TCP = 21.41 kg/cm^2 tal como se muestra en el caso 'A' de la figura 6.4, en el caso 'B' se muestra el incremento de tensiones al reducir los espesores de 21.41 kg/cm^2 a 27.68 kg/cm^2 . Según investigaciones del

6.2. Tensiones por carga en losas para el diseño AASHTO y TCP

doctor R. Salsilli [21], manifiesta que para obtener una tensión próxima al AASHTO se tendrá que reducir el espesor del diseño TCP. Las tensiones en el diseño AASHTO fueron generadas por 8 neumáticos las cuales actúan en una sola losa. Mientras la tensiones para el diseño TCP fueron generadas por 4 neumáticos por losa, esto genero la diferencia en la obtención de tensiones.

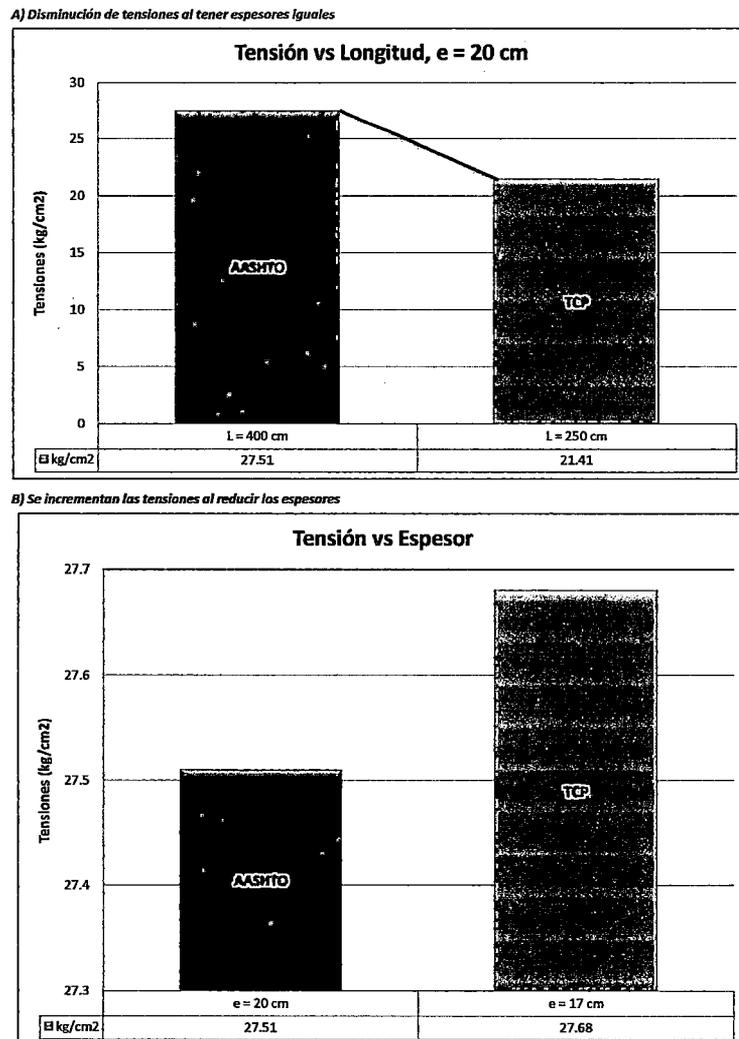


Figura 6.4: Tensiones vs Longitud y espesor Jr. Acuña y Santa Rosa

Las tensiones obtenidas para el diseño AASHTO - 93 resultaron ser mayores que las tensiones obtenidas para losas con diseño TCP, debido a que se redujeron las dimensiones de las losas esto genero a que los neumáticos de los ejes actúan independientemente en cada losa. Se nota que las tensiones son diferentes para cada calle

6.2. Tensiones por carga en losas para el diseño AASHTO y TCP

esto es generado por el coeficiente de balasto (K) a continuación se detallará la figura 6.5, que relaciona las tensiones en función de 'K' tanto para el diseño AASHTO y TCP.

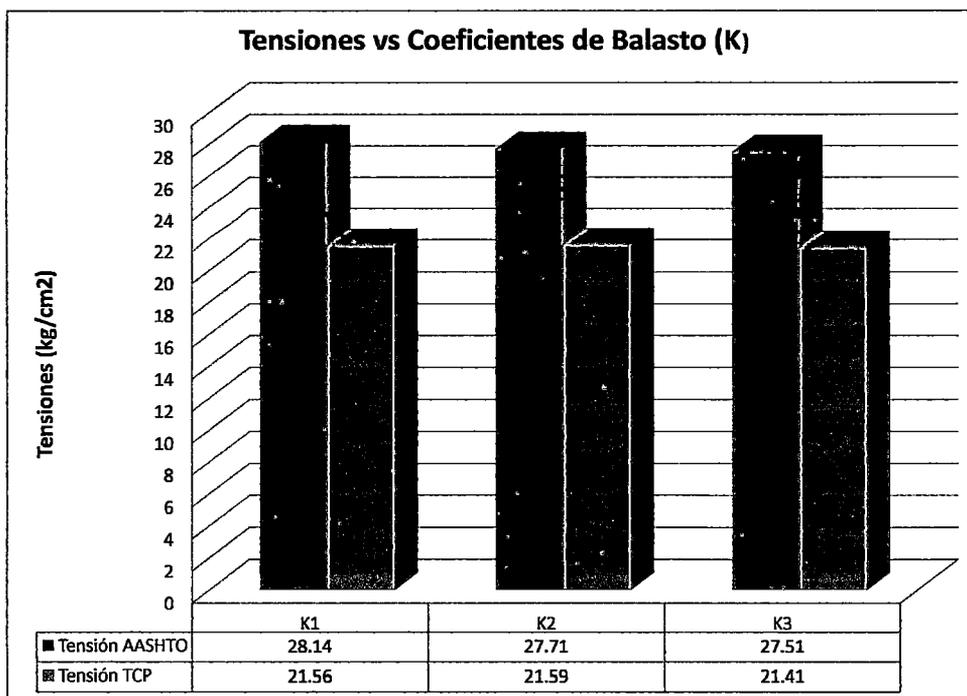


Figura 6.5: Tensiones en función al coeficiente de balasto 'K'

Los coeficientes de balasto usados para la determinación de tensiones son: $k_1 = 6.19 \text{ kg/cm}^3$, $k_2 = 8.55 \text{ kg/cm}^3$, $k_3 = 11.53 \text{ kg/cm}^3$, del Jr. Gutiérrez y la Mar, Jr. Cabuyales, Jr. Acuña y Santa Rosa respectivamente, muestra disminución de tensiones cuando incrementa el coeficiente de balasto, esto demuestra que al tener un mejor material como apoyo del concreto permite reducir tensiones y espesores, siempre se deberán tener en cuenta las dimensiones de las losas, ya que a mayor longitud de ellas se requerirá un área de contacto mayor entre la losa y la subbase para lograrlo el material en el que se apoyara no deberá ser muy rígida por que si lo fuera generaría un área de contacto mínimo y para poder soportar las tensiones generadas por cargas dinámicas del tránsito se tendría que incrementar el espesor.

6.2.4. Deformaciones por cargas dinámicas del camión

Las deformaciones generadas por el paso del camión en una losa con diseño AASHTO y TCP se detallaran en el siguiente cuadro 6.1.

Cuadro 6.1: Deformación en la dirección 'Z'

Deformación Giros	Jr. Gutiérrez y La Mar		Jr. Cabuyales		Jr. Acuña y Santa Rosa	
	AASHTO	TCP	AASHTO	TCP	AASHTO	TCP
Z	-0.01679	-0.27831	-0.01392	-0.08636	-0.14832	-0.17306
θ_x	-0.00024	0.00276	-0.00020	0.00233	0.00144	0.00192
θ_y	0.00013	-0.00202	0.00010	-0.00185	-0.00139	-0.00164
θ_z	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

Fuente: Elaboración Propia

De acuerdo a los análisis realizado con el software SAP 2000 se encontraron diferencias en cuanto a giros y deformaciones en Z, notándose que las deformaciones generadas para el diseño TCP resultan ser mayores a los diseños de losas con el AASHTO, esto se produce debido a la reducción del espesor de las losas, ya que las losas al tener menor espesor suelen ser más vulnerables a efectos de punzonamiento generado por las cargas es por ello que se requiere un mayor aporte del material de subbase para resistir dichos efectos sin ningún tipo de inconveniencia. Debido a ello el diseño TCP considera un $CBR \geq 50\%$, en caso de losas con espesores menores a 12 cm se recomienda $CBR \geq 80\%$.

6.3. Tensiones por variación de temperatura para el AASHTO Y TCP

Según las formulaciones de Bradbury manifiesta que los esfuerzos por alabeo se incrementan cuando el soporte es muy rígido Así mismo; el aumento de la longitud de la losa incrementa los esfuerzos por alabeo térmico.

El gradiente Térmico resulta ser la sumatoria del gradiente térmico equivalente de construcción más gradiente térmico por variación de temperatura, según el AASHTO 1998 el gradiente por humedad y construcción recomienda usar el gradiente 0.33

6.3. Tensiones por variación de temperatura para el AASHTO Y TCP

$^{\circ}C/cm$, Cabe destacar que este valor sólo se empleará en el caso de gradiente por temperatura negativo.

Las tensiones obtenidas según el gradiente térmico positivo $+0.745^{\circ}C/cm$ y Gradiente térmico negativo $-0.66^{\circ}C/cm$ se detallaran en los siguientes casos.

6.3.1. Tensiones por $\Delta T^{\circ}C (+)$

Para el siguiente análisis con gradiente térmico positivo de $+0.745^{\circ}C/cm$ se determino las tensiones para distintas condiciones del AASHTO y TCP como se muestra en la figura 6.6, llegándose a verificar que las tensiones para el AASHTO con espesor de 20 cm y 17 cm varían en función a su longitud y coeficiente de balasto es por ello que a menor valor de 'K' se obtendrán menores tensiones. En el cuadro se aprecia que la tensión para el k3 resulta ser menor que para el k2, esto sucede por la diferencia de las longitudes de las losas, ya que el k3 posee una longitud de 400 cm, mientras el k2 posee una longitud de 300 cm. Se aclara este punto debido a que los valores del coeficiente de balasto para $k3 = 11.53 kg/cm^3$ y $k2 = 8.55 kg/cm^3$, según estos valores las tensiones de k3 debería ser mayor al del k2.

Mientras que las tensiones para losas con diseño TCP se incrementan en función al coeficiente de balasto 'K' debido a que la longitud de la losa es constante de 250 cm de largo.

6.3. Tensiones por variación de temperatura para el AASHTO Y TCP

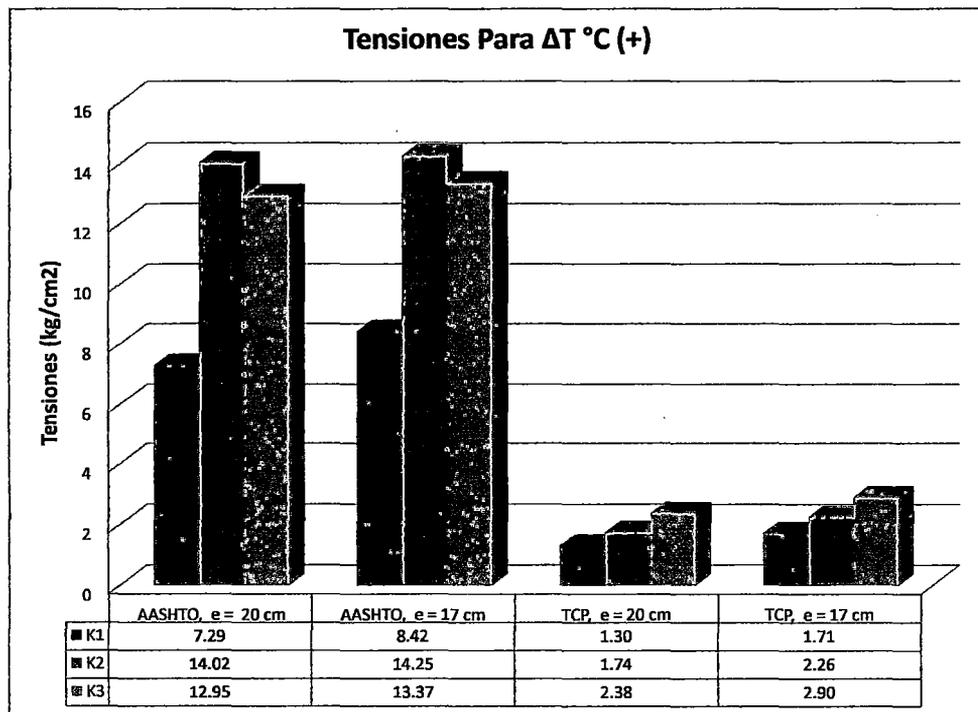


Figura 6.6: Tensiones en función a ΔT °C (+)

6.3.2. Tensiones por ΔT °C (-)

Las tensiones obtenidas para gradiente de -0.66 °C/cm resultan ser menores que las tensiones obtenidas para gradientes positivos como se muestra en la figura 6.7, esto se produce debido a que la temperatura media anual para la localidad en análisis es de 15 °C.

Si se realizaría el proyecto en zonas con temperatura media anual inferiores ocasionaría a que las tensiones por gradiente negativo sean superiores y habría que tener mayor consideración al efecto que generarían estos climas.

6.3. Tensiones por variación de temperatura para el AASHTO Y TCP

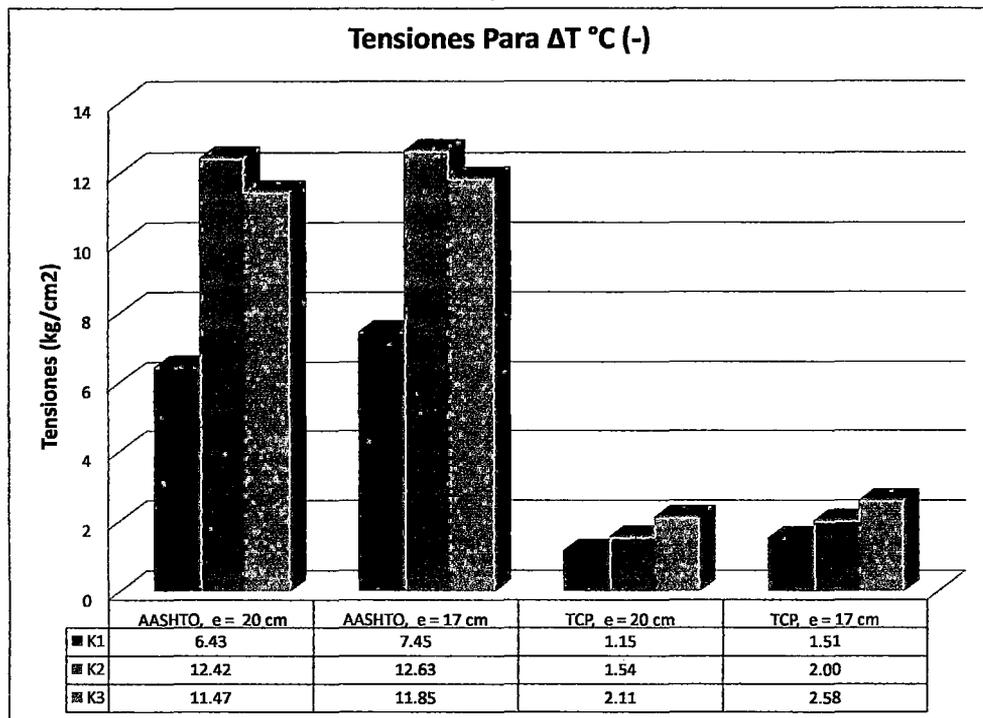


Figura 6.7: Tensiones en función a ΔT °C (-)

6.3.3. Deformaciones por ΔT °C (+)

Los resultados obtenidos se muestran en el siguiente cuadro 6.2.

Cuadro 6.2: Deformación en la dirección 'Z'

Deformación Giros	Jr. Gutiérrez y La Mar		Jr. Cabuyales		Jr. Acuña y Santa Rosa	
	AASHTO	TCP	AASHTO	TCP	AASHTO	TCP
Z	0.02899	0.01708	0.01678	0.01249	0.016070	0.00887
θ_x	0.00000	0.00016	-0.00006	-0.00016	0.000140	0.00016
θ_y	0.00000	0.00000	0.00009	0.00014	0.000005	0.00000
θ_z	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.000000	0.00000

Fuente: Elaboración Propia

6.3.4. Deformaciones por ΔT °C (-)

Los resultados obtenidos se muestran en el siguiente cuadro 6.3.

El alabeo es la distorsión o deformación que sufre una losa tomando una forma curva hacia arriba o hacia abajo encorvando sus bordes.

6.3. Tensiones por variación de temperatura para el AASHTO Y TCP

Cuadro 6.3: Deformación en la dirección 'Z'

Deformación Giros	Jr. Gutiérrez y La Mar		Jr. Cabuyales		Jr. Acuña y Santa Rosa	
	AASHTO	TCP	AASHTO	TCP	AASHTO	TCP
Z	0.05468	0.03018	0.03796	0.02754	0.04439	0.02507
θ_x	0.00064	0.00043	-0.00052	-0.00043	0.00057	-0.00042
θ_y	0.00064	0.00059	-0.00052	-0.00054	-0.00054	-0.00046
θ_z	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000

Fuente: Elaboración Propia

Los valores encontrados para el diferencial de temperatura positiva asociado al alabeo convexo, y el diferencial de temperatura negativa asociada al alabeo cóncavo en $^{\circ}C$.

Muestran deformaciones menores para el diseño TCP que para el AASHTO - 93, esto en la dirección 'Z'. De acuerdo a teorías los cambios en las dimensiones de las losas que conducen el alabeo son más frecuentemente relacionados con los gradientes de humedad y temperatura. Así mismo expresa que las losas delgadas y los espaciamientos muy largos de las juntas tienden a incrementar el alabeo.

Debido a ello las deformaciones para el diseño TCP resultan ser menores ya que se tomaron losa con dimensiones de $L = 250$ cm y $A = 136.5$ cm mientras que para el AASHTO se tomaron losas de $L = 300$ cm a $L = 400$ cm con anchos de $A = 273$ cm, estas reducciones en las dimensiones de las losas provocaron menores deformaciones.

Capítulo 7

Conclusiones y Recomendaciones

7.1. Conclusiones

Basándose en la información recopilada, el análisis de ésta y el diseño comparativo planteado en un tramo de prueba, se puede concluir los siguientes puntos:

1. El empleo del diseño 'TCP' en los pavimentos es relativamente nueva, si bien hay experiencias en los países de Chile, Guatemala y obras privadas en Perú. A pesar de ello en nuestro medio aún no es de conocimiento masivo. El alto rendimiento de colocación y la economía lograda frente a los pavimentos de concreto convencional, debido a la reducción de espesores con la misma vida útil como se demostró en la investigación, hacen del Diseño TCP una alternativa potencial de aplicación.
2. Los materiales granulares constituyen la mayor proporción en la preparación del material de subbase para el diseño TCP, por lo tanto, el cumplimiento de los estándares mínimos de calidad y una buena distribución granulométrica, limitando el tamaño máximo nominal a 3/8", aseguran obtener un material dentro de los limitantes de la gradación 'A'. Si se da que la granulometría del agregado presenta porcentajes de finos superiores al 8%, generaría que para una resistencia dada, se requiera mayores espesores del concreto para

lograr una adecuada funcionabilidad y así evitar las fallas debido al lavado del material fino.

3. El coeficiente de balasto 'K' es un factor que se encuentra relacionado con el CBR de la subrasante y material de préstamo, es importante tomar en cuenta para el diseño TCP, pues a mayor porcentaje de CBR se incrementaría la capacidad de soporte de la subbase, permitiéndole reducir los espesores del concreto.
4. Las losas de concreto tradicional son suficientemente resistentes para soportar la carga de los vehículos y no tener tensiones por punzonamiento, en este caso de losas gruesas, es preferible utilizar subbases blandas (CBR 20% - 50%) para mejorar el apoyo de ésta en el suelo. Mientras para losas TCP se usaran $CBR \geq 50\%$ Al utilizar losas más pequeñas este efecto es menos relevante ya que el voladizo es menor, para las losas con espesores menores a 12 cm, requieren que la subbase sea más rígida y que colabore con las cargas bajo las ruedas, que producen tensiones de punzonamiento. Debido a ello la subbase debe tener una rigidez suficiente para tomar estas cargas ($CBR \geq 80\%$).
5. En vista que los métodos de diseño de mezcla del concreto convencional, con $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ para el proyecto 'Villa San Cristóbal' no son recomendables para el diseño de mezcla TCP, debido a que el requerimiento mínimo de cemento es de 300 kg/m^3 , pues para una resistencia de $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ la cantidad de cemento es menor al tratarse de un procedimiento cotidiano y simple dentro de las exigencias, puede emplearse tanto en el diseño como el control del TCP, aunque para proyectos de gran envergadura habría que emplearse concretos con resistencia de $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ a $f'c=320 \text{ kg/cm}^2$ para una mejor funcionabilidad y durabilidad para pavimentos con espesor de 10 - 15 cm.
6. Las tensiones obtenidas por cargas dinámicas y alabeos para losas con diseño

TCP resultaron ser menores que para el AASHTO.

7. Basándose en el contenido teórica planteado en el capítulo III y con los resultados obtenidos en las simulaciones efectuadas con el programa SAP 2000. Se concluye que los esfuerzos resultantes por cargas de eje y ambientales son menores en las losas de dimensiones optimizadas con respecto a los producidos en las losas con dimensiones tradicionales y además que son menos susceptibles al aumento de esfuerzos generados por los cambios de temperatura.
8. Basados en las configuraciones de los Ejes de carga de un camión C3 y en el dimensionamiento de las losas, realizadas en el programa SAP 2000, se determina como losas de dimensiones optimizadas aquellas configuraciones donde se apoya una rueda o un set de ruedas por cada losa en los pavimentos de concreto hidráulico y esto fue posible en losas con dimensiones de 250x136.5 centímetros.
9. Las reducciones de espesores fue de 3 cm con respecto al diseño del AASHTO la cual plantea un espesor de 20 cm para el proyecto Villa San Cristóbal, la reducción del espesor no fue tan considerable, debido a que el software empleado no es de exclusividad para pavimentos, mientras que los software como el ISLAB 2000 el EverFE 2.24, son de exclusividad para determinaciones de tensiones en las losas permitiéndonos reducir espesores hasta en 10 cm con la misma resistencia a tensión que un pavimento de 20 cm planteados con diseño AASHTO.
10. Las deformaciones generadas por cargas dinámicas en las losas con diseño TCP resultaron ser mayores que las deformaciones de losas con AASHTO, esto se generó debido a que sus espesores son menores. Por ello necesitan un mayor aporte de resistencia a nivel de subbase ya que para un pavimento tradicional las tensiones son absorbidas por la losa del concreto debido al espesor que tiene. Mientras las deformaciones por variación de temperatura positiva y negativa

resultaron ser menores debido a la reducción de las dimensiones de las losas ya que los alabeos están directamente relacionados con la longitud de éstas.

7.2. Recomendaciones

1. La elección del material granular para la subbase de concreto TCP, debe ser estricto en el cumplimiento de las normas y límites para tener los resultados esperados. En el caso del estudio hubiese sido recomendable que el material se encuentre exclusivamente dentro de los limitantes de la gradación 'A' establecidos por el manual de carreteras, ya que este tipo de mejoras permitiría tener mayor cantidad de material granular lo cual incrementaría en función a capacidad de soporte y drenaje.
2. En el terreno fundación los CBR encontrados a nivel de subrasante se recomienda que se encuentren por encima del 10% ya que esto permitiría un mayor incremento de resistencia del material donde se encontrará apoyado en concreto.
3. Los diseños de mezclas realizados se deberían de hacer para concretos con $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ para vías con alto y bajo volumen vehicular ya que esto generará una mejor funcionabilidad, durabilidad y reducción de espesor para diseño TCP.
4. Las variaciones de temperatura encontradas con fórmulas ajustadas a las realidades de Estados Unidos, se recomienda que el MTC en coordinación con el SENAMHI reajusten a las condiciones de nuestro país ya que esto permitiría mejoras en cuanto diseños de acuerdo al tipo de zona donde se realizarán las pavimentaciones.
5. Se recomienda realizar un estudio del progreso del deterioro de pavimentos construidos con losas de dimensiones menores a las convencionales para poder determinar la funcionalidad de estos en la práctica.

6. Se recomienda utilizar losas de dimensiones optimizadas que sean mayores a 140x140 cm y menores a 250x250 cm dependiendo de las condiciones geográficas y temperaturas, así mismo para obtener un mejor desempeño de este tipo de pavimento, se recomienda siempre tomar en cuenta el dimensionamiento de los ejes y ancho de los carriles.
7. Con el empleo del diseño de losas cortas TCP no se pretende reemplazar los métodos conocidos y practicados, sino, que sea una alternativa de aplicación en vías principales y de menor importancia, permitiendo el estudio de su comportamiento y confiabilidad para su masificación.

7.3. Temas Afines de Investigación

En el desarrollo de la investigación surgieron interrogantes que no se pudieron abordar y que serían materia de otras tesis, por lo que dejo a consideración:

1. Realizar un análisis de las canteras próximas a la ciudad, para determinar el más óptimo de los materiales granulares y que brinde mejores resistencia a nivel de subbase.
2. Evaluar el uso del diseño TCP para rehabilitación y mantenimiento de vías frente a otras alternativas.
3. Desarrollar una comparación económica del diseño TCP frente a los diseños tradicionales como pavimentos rígidos y flexibles.
4. Aprovechando la determinación de tensiones, el lógico siguiente paso, es determinar el espesor en función al ESAL y construir el tramo de prueba, para recopilar la mayor cantidad de datos posibles que aporten a mejorar la aplicación de los pavimentos de geometría optimizada 'TCP'.

Referencias Bibliográficas

- [1] BECERRA, M. *Tópicos de Pavimentos de Concreto (Diseño, Construcción y Supervisión)*. Editorial Flujo Libre 2012 LB 001, Lima 2012.
- [2] BURBOA, S. *Análisis de Rehabilitación de Pavimentos de Asfalto con Carpetas Delgadas de Hormigón*. Universidad Austral de Chile, 2010.
- [3] C.CHANG. Boletín informativo asocem. *Reseña y comentarios sobre el Manual de Suelos y Pavimentos MTC 2013* (Actualidad Nacional Agosto 2013).
- [4] CHANG, C. Reflexiones para el diseño y rehabilitación de pavimentos rígidos en obras viales. *Asociación de Productores de Cemento (ASOCEM) - Perú* (2013).
- [5] COVARRUBIAS, J. P. Seminario internacional. últimas tecnologías en diseño y construcción de pavimentos de hormigón. *El tema tratado en dicha ponencia fue: Mejores Prácticas Constructivas de pavimentos de Hormigón*. (Marzo, 2012).
- [6] ENRIQUE, P. L. *Variables de Entrada al proceso de Diseño de Pavimentos Rígidos Utilizando Métodos Mecanicista*. Universidad de el Salvador Centro America, 2008.
- [7] ESTACIÓN, O. E., AND VALVERDE, D. O. *Aplicación de la Tecnología de Pavimento TCP en las Calles 56 y 78 de la Habilitación Urbana Paseo Del Mar - Nuevo Chimbote - Ancash - Perú*. Universidad Nacional del Santa, Chimbote - Perú, 2012.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [8] GRANADOS, M. *Pavimentos en Concreto de Losas con Dimensiones Optimizadas*. Universidad del Sinú de Montería, 2011.
- [9] HOSPITALER, A. Los pavimentos industriales. *Cargas, Deformaciones y Esfuerzos de los Pavimentos de Hormigón* (2010).
- [10] HUANG, Y. *Pavement Analysis and Design*. Pearson Prentice Hall, Second Edition, The United States of America, 2004.
- [11] MANUAL DE CARRETERAS, C. *Especificaciones y Métodos de Muestreo, Ensayos y Control*. MOP-DGOP-Dirección de Vialidad-Chile, 2014.
- [12] MINISTERIO DE OBRAS PUBLICAS, C. *Dirección de Vialidad, Gobierno de Chile*. Difusión nuevas tecnologías y especificaciones técnicas, Agosto, 2012.
- [13] MTC. *Reglamento Nacional de Vehículos*. MTC, 2003.
- [14] MTC. *Manual de Carreteras "Especificaciones Técnicas Generales Para la Construcción EG-2013"*. MTC, Enero, 2013.
- [15] MTC. *Manual de Carreteras "Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos"; Sección Suelos y Pavimentos*. MTC, Febrero, 2013.
- [16] MVCS. *Norma Técnica CE. 010 "Pavimentos Urbanos"*. Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), Enero, 2010.
- [17] PERÚ, A. D. R. A. D. Control de los pesos y medidas vehiculares. *Reglamento nacional de vehículos Decreto Supremo N 058-2003-MTC* (2013).
- [18] REYES, F. *Diseño Racional de Pavimentos*. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería - Centro Editorial Javeriano, Primera Edición, Colombia, Noviembre, 2003.
- [19] ROMÁN, L. R. *Método Constructivo de Losas Cortas en Pavimentos de Concreto Hidráulico*. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2008.

- [20] SALGADO, M. Seminario internacional. pavimentos de losas cortas optimizando la infraestructura vial con hormigón. *Experiencias de Aplicación de losas cortas* (2012).
- [21] SALSILLI, R. Pavimentos de losas cortas, optimizando la infraestructura vial con hormigón. *Seminario Internacional, Organizado por el Instituto de Cemento y Hormigón de Chile ICH* (Marzo, 2012).
- [22] SILVA, D. D. *Estudio del Comportamiento de Pavimentos de Concreto Simple en condiciones de Aderencia entre la Placa de Concreto y Base Cimentada o Asfaltada*. Escuela Politecnica de la Universidad de Sau Paulo, Brasil, 2003.
- [23] T., J. P. C., AND V., J. P. C. Boletín informativo tcpavements. *Diseño TCP (Pavimentos de concreto con losas de dimensiones optimizadas)* (Noviembre, 2007).
- [24] TOVAR, C. *Evaluación del empleo de concreto compactado con rodillo en los pavimentos: Impacto Técnico y Económico*. Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga, 2014.
- [25] URBANISMO, M. D. V. Y. *Código de Normas y Especificaciones Técnicas de Obras de Pavimentación*. División Técnica de Estudio y Fomento Habitacional, octubre 2008, Santiago Chile.

Apéndice A

TENSIONES Y

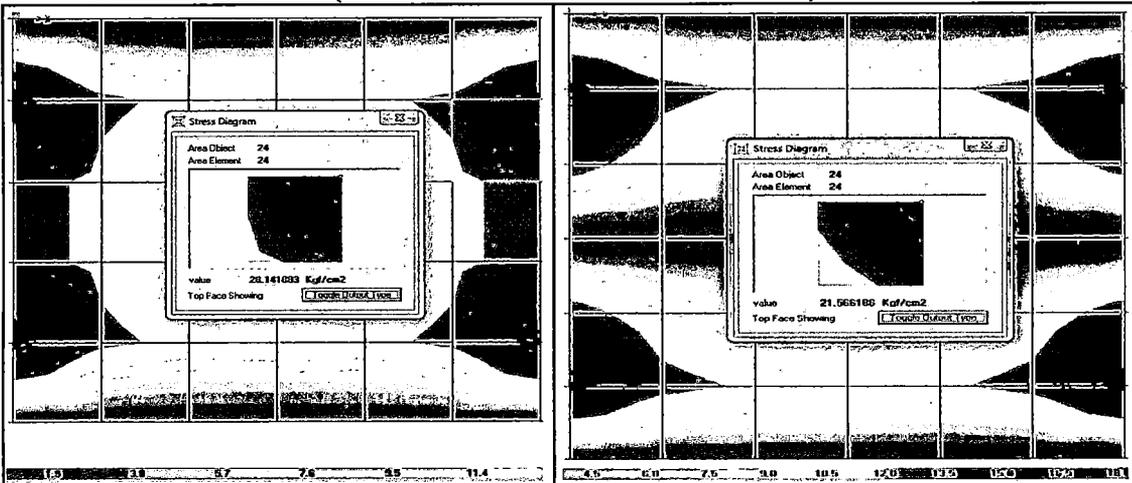
DEFORMACIONES

OBTENIDAS CON EL SAP 2000

Se determinaron tensiones por carga dinámica con sus respectivas deformaciones, así mismo se determinaron las tensiones y deformaciones por ΔT °C (+) y (-) las cuales generaron diferentes alabeos en la losa.

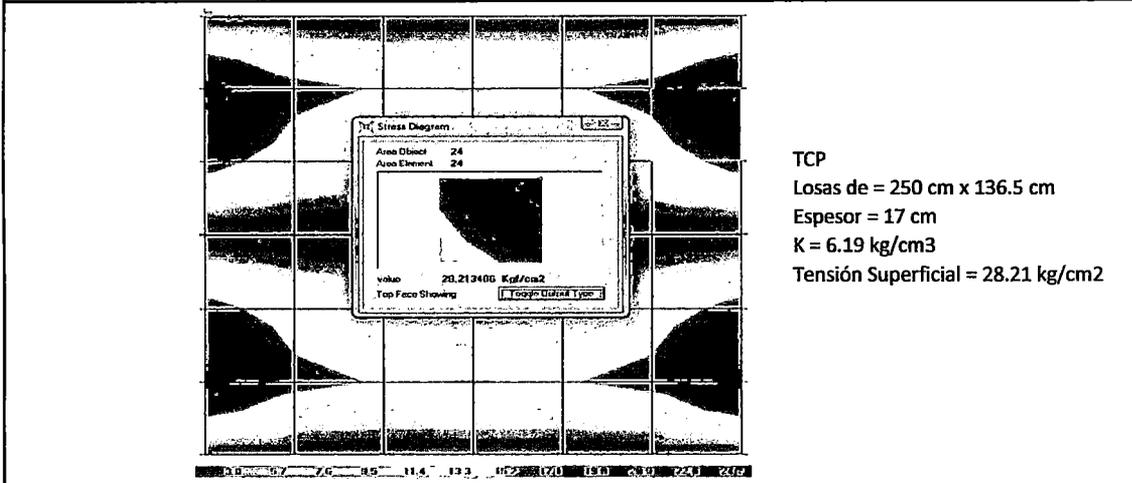
APÉNDICE A. TENSIONES Y DEFORMACIONES OBTENIDAS CON EL SAP 2000

JIRÓN GUTIÉRREZ Y LA MAR (TENSIONES POR CARGA Y DEFORMACIÓN)

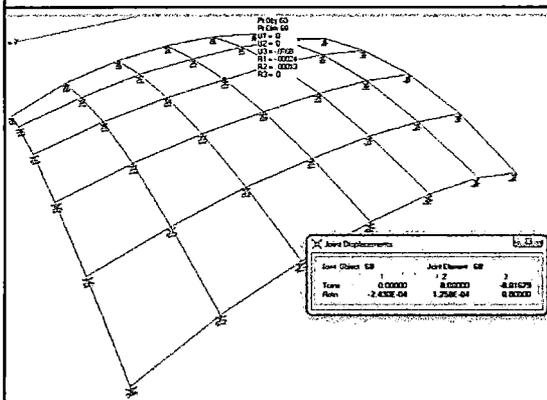


AASHTO
 Losas de = 300 cm x 273 cm
 Espesor = 20 cm
 K = 6.19 kg/cm3
 Tensión Superficial = 28.14 kg/cm2

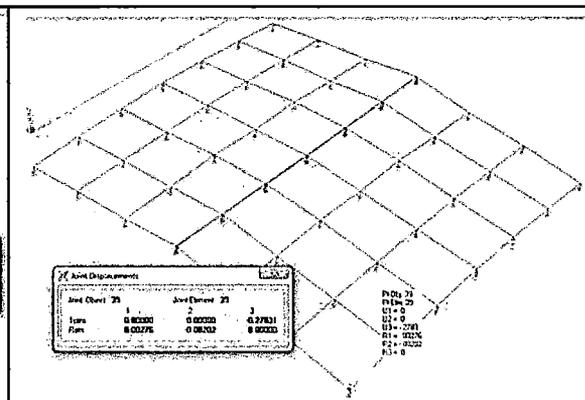
TCP
 Losas de = 250 cm x 136.5 cm
 Espesor = 20 cm
 K = 6.19 kg/cm3
 Tensión Superficial = 21.56 kg/cm2



TCP
 Losas de = 250 cm x 136.5 cm
 Espesor = 17 cm
 K = 6.19 kg/cm3
 Tensión Superficial = 28.21 kg/cm2



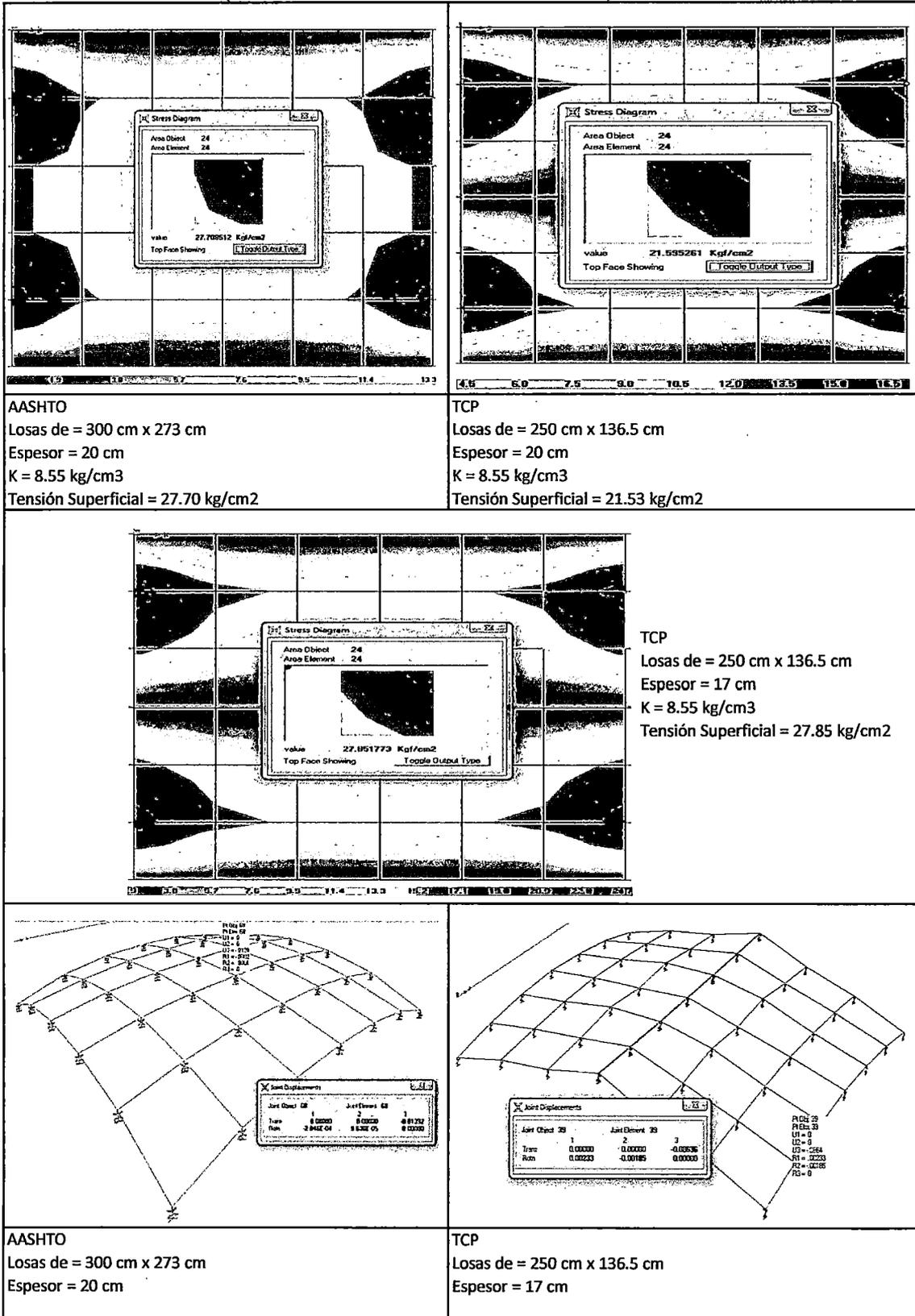
AASHTO
 Losas de = 300 cm x 273 cm
 Espesor = 20 cm



TCP
 Losas de = 250 cm x 136.5 cm
 Espesor = 17 cm

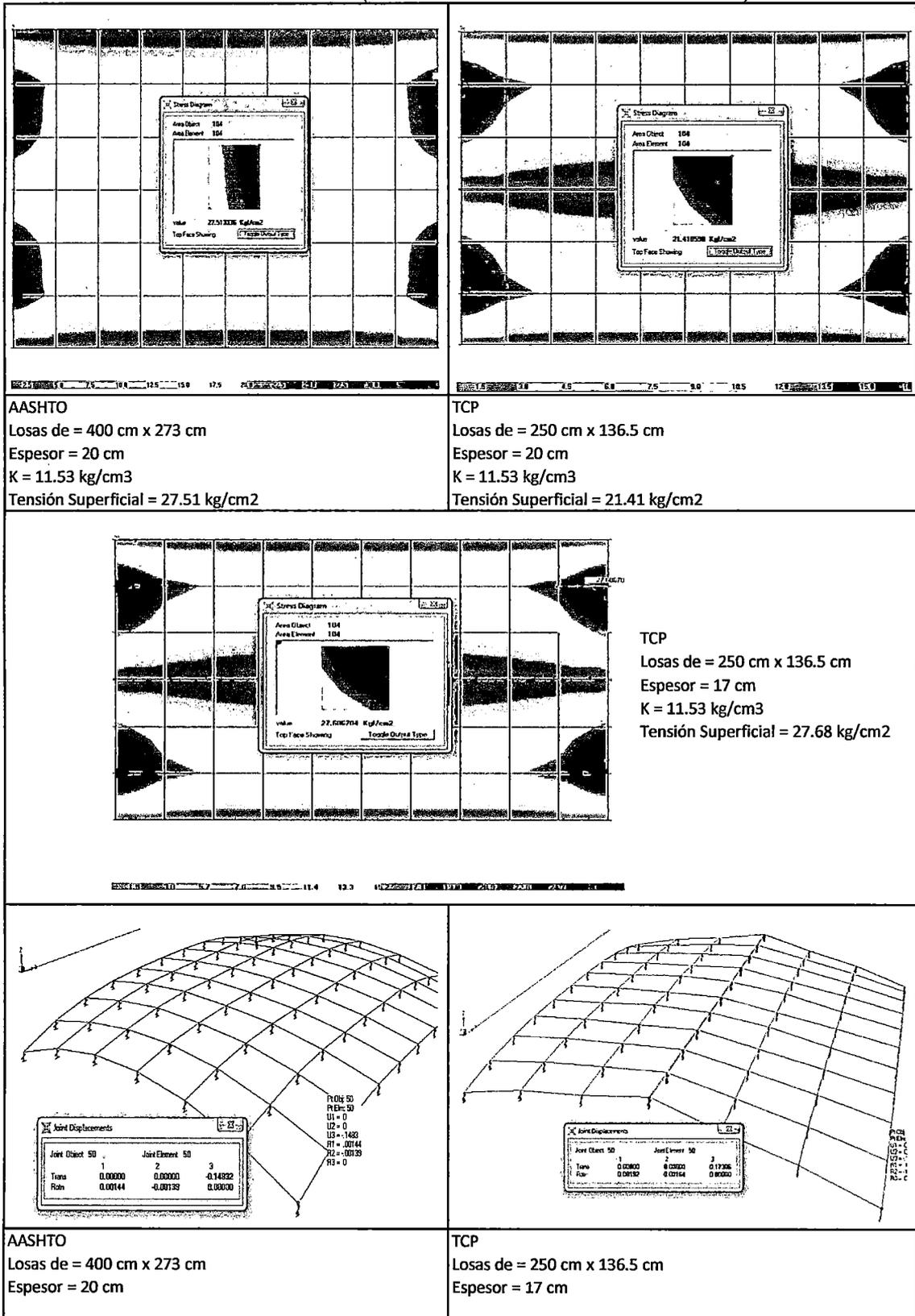
APÉNDICE A. TENSIONES Y DEFORMACIONES OBTENIDAS CON EL
SAP 2000

JIRÓN LOS CABUYALES (TENSIONES POR CARGA Y DEFORMACIÓN)



APÉNDICE A. TENSIONES Y DEFORMACIONES OBTENIDAS CON EL
SAP 2000

JIRÓN VICTOR ACUÑA Y SANTA ROSA (TENSIONES POR CARGA Y DEFORMACIÓN)



AASHTO
Losas de = 400 cm x 273 cm
Espesor = 20 cm
K = 11.53 kg/cm³
Tensión Superficial = 27.51 kg/cm²

TCP
Losas de = 250 cm x 136.5 cm
Espesor = 20 cm
K = 11.53 kg/cm³
Tensión Superficial = 21.41 kg/cm²

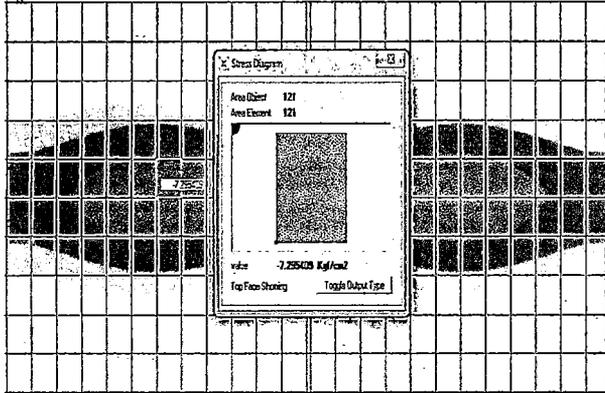
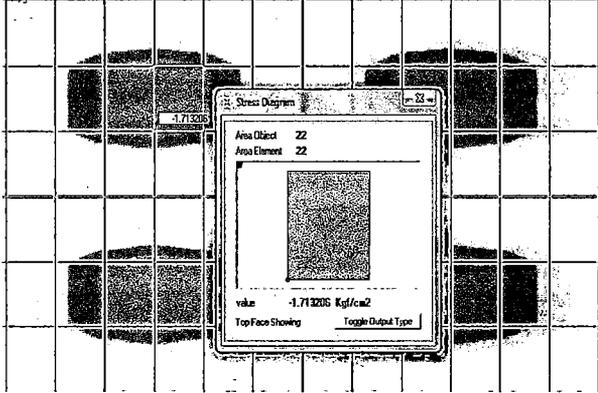
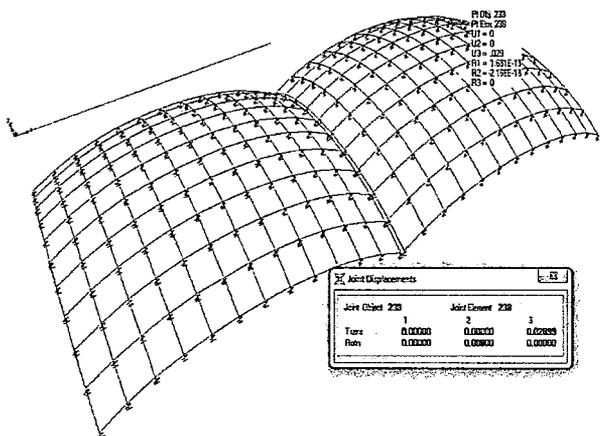
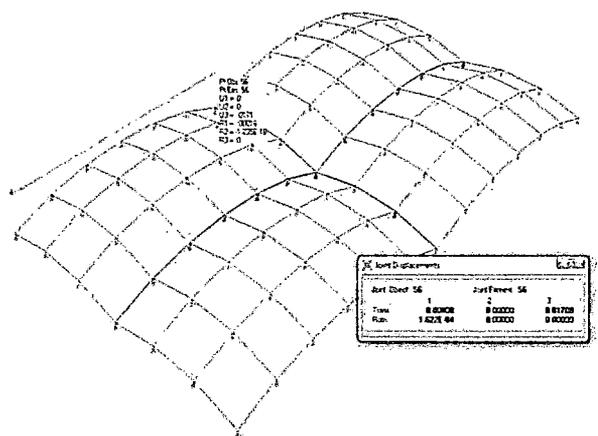
TCP
Losas de = 250 cm x 136.5 cm
Espesor = 17 cm
K = 11.53 kg/cm³
Tensión Superficial = 27.68 kg/cm²

AASHTO
Losas de = 400 cm x 273 cm
Espesor = 20 cm

TCP
Losas de = 250 cm x 136.5 cm
Espesor = 17 cm

**APÉNDICE A. TENSIONES Y DEFORMACIONES OBTENIDAS CON EL
SAP 2000**

JIRÓN GUTIERREZ Y JIRON LA MAR (TENSIONES POR TEMPERATURA GRADIENTE + 0.745 °C/cm)

Tensiones T.(+) en AASHTO	Tensiones T.(+) en TCP
	
<p>AASHTO Losas de = 300 cm x 273 cm Espesor = 20 cm K = 6.19 kg/cm3 ΔT °C = + 14.9 lineal Tensión = 7.29 kg/cm2</p>	<p>TCP Losas de = 250 cm x 136.5 cm Espesor = 17 cm K = 6.19 kg/cm3 ΔT °C = + 14.9 lineal Tensión = 1.71 kg/cm2</p>
Deformación T.(+) en AASHTO	Deformación T.(+) en TCP
	
<p>AASHTO Losas de = 300 cm x 273 cm Espesor = 20 cm ΔT °C = + 14.9 Tensión = 7.29 kg/cm2 Deformación = 0.028 cm</p>	<p>TCP Losas de = 250 cm x 136.5 cm Espesor = 17 cm ΔT °C = + 14.9 lineal Tensión = 1.71 kg/cm2 Deformación = 0.017 cm</p>

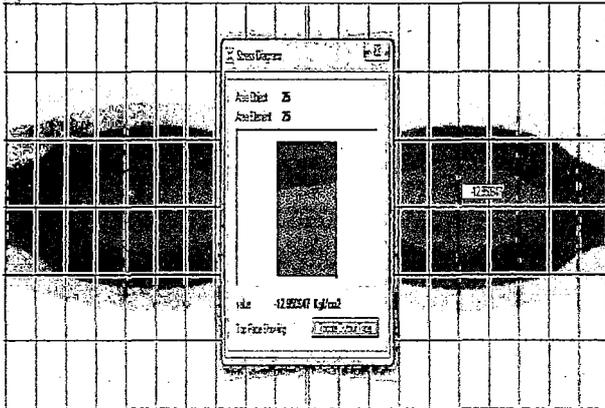
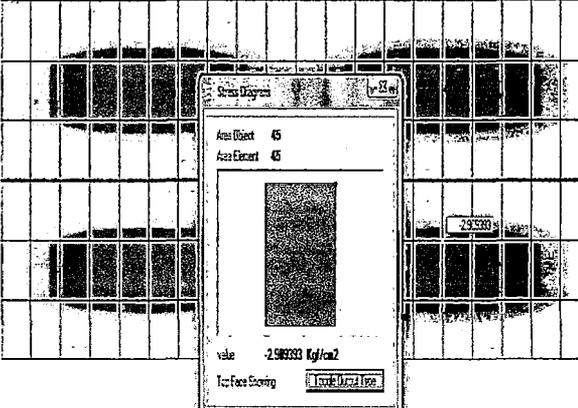
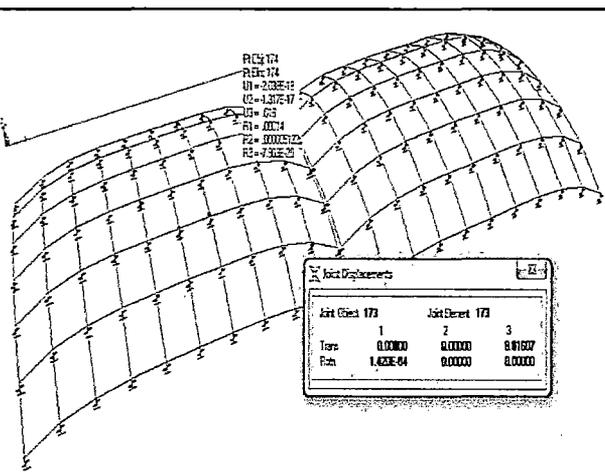
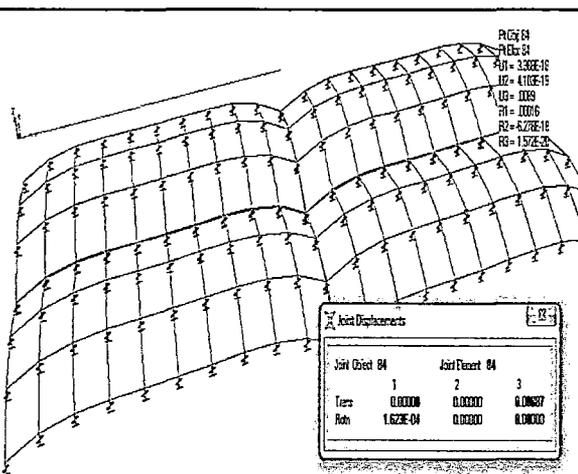
APÉNDICE A. TENSIONES Y DEFORMACIONES OBTENIDAS CON EL
SAP 2000

JIRÓN CABUYALES (TENSIONES POR TEMPERATURA GRADIENTE + 0.745 °C/cm)

Tensiones T.(+) en AASHTO	Tensiones T.(+) en TCP
<p>AASHTO Losas de = 300 cm x 273 cm Espesor = 20 cm K = 8.55 kg/cm3 ΔT °C = + 14.9 lineal Tensión = 14.02 kg/cm2</p>	<p>TCP Losas de = 250 cm x 136.5 cm Espesor = 17 cm K = 8.55 kg/cm3 ΔT °C = + 14.9 lineal Tensión = 2.60 kg/cm2</p>
Deformación T.(+) en AASHTO	Deformación T.(+) en TCP
<p>AASHTO Losas de = 300 cm x 273 cm Espesor = 20 cm ΔT °C = + 14.9 Tensión = 14.02 kg/cm2 Deformación = 0.016 cm</p>	<p>TCP Losas de = 250 cm x 136.5 cm Espesor = 17 cm ΔT °C = + 14.9 lineal Tensión = 2.60 kg/cm2 Deformación = 0.012 cm</p>

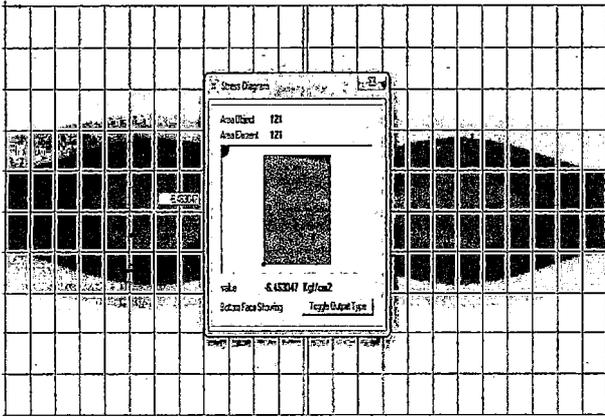
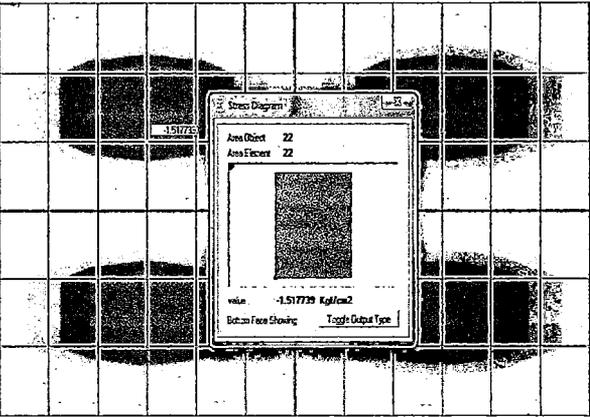
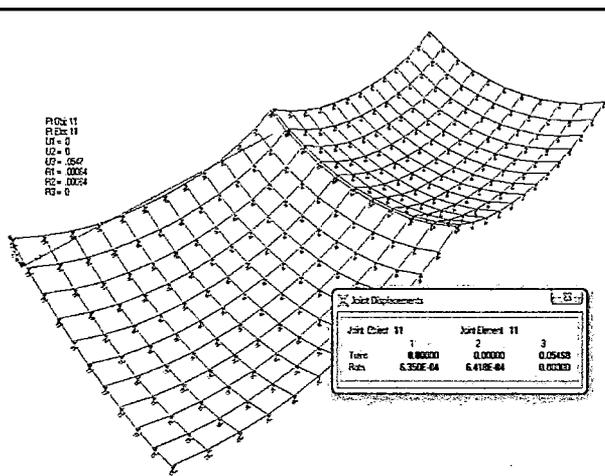
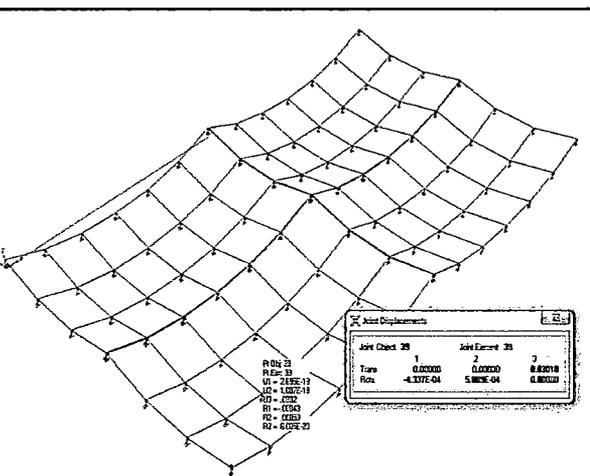
APÉNDICE A. TENSIONES Y DEFORMACIONES OBTENIDAS CON EL
SAP 2000

JIRÓN VICTOR ACUÑA Y SANTA ROSA (TENSIONES POR TEMPERATURA GRADIENTE + 0.745 °C/cm)

Tensiones T.(+) en AASHTO	Tensiones T.(+) en TCP																								
 <p>Stress Diagram</p> <p>Area Element: 25 Area Element: 25</p> <p>Value: 12.92507 kg/cm2</p> <p>Top Face Coloring: [Color Selection]</p>	 <p>Stress Diagram</p> <p>Area Element: 65 Area Element: 65</p> <p>Value: 2.98933 kg/cm2</p> <p>Top Face Coloring: [Color Selection]</p>																								
<p>AASHTO</p> <p>Losas de = 400 cm x 273 cm</p> <p>Espesor = 20 cm</p> <p>K = 11.53 kg/cm3</p> <p>ΔT °C = + 14.9 lineal</p> <p>Tensión = 12.95 kg/cm2</p>	<p>TCP</p> <p>Losas de = 250 cm x 136.5 cm</p> <p>Espesor = 17 cm</p> <p>K = 11.53 kg/cm3</p> <p>ΔT °C = + 14.9 lineal</p> <p>Tensión = 2.90 kg/cm2</p>																								
Deformación T.(+) en AASHTO	Deformación T.(+) en TCP																								
 <p>Joint Displacements</p> <p>Joint Element: 173 Joint Element: 173</p> <table border="1"> <tr> <td>Trans</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Displ</td> <td>0.00000</td> <td>0.00000</td> <td>0.01607</td> </tr> <tr> <td>Rot</td> <td>1.623E-04</td> <td>0.00000</td> <td>0.00000</td> </tr> </table>	Trans	1	2	3	Displ	0.00000	0.00000	0.01607	Rot	1.623E-04	0.00000	0.00000	 <p>Joint Displacements</p> <p>Joint Element: 84 Joint Element: 84</p> <table border="1"> <tr> <td>Trans</td> <td>1</td> <td>2</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Displ</td> <td>0.00000</td> <td>0.00000</td> <td>0.00807</td> </tr> <tr> <td>Rot</td> <td>1.623E-04</td> <td>0.00000</td> <td>0.00000</td> </tr> </table>	Trans	1	2	3	Displ	0.00000	0.00000	0.00807	Rot	1.623E-04	0.00000	0.00000
Trans	1	2	3																						
Displ	0.00000	0.00000	0.01607																						
Rot	1.623E-04	0.00000	0.00000																						
Trans	1	2	3																						
Displ	0.00000	0.00000	0.00807																						
Rot	1.623E-04	0.00000	0.00000																						
<p>AASHTO</p> <p>Losas de = 400 cm x 273 cm</p> <p>Espesor = 20 cm</p> <p>ΔT °C = + 14.9</p> <p>Tensión = 12.95 kg/cm2</p> <p>Deformación = 0.016 cm</p>	<p>TCP</p> <p>Losas de = 250 cm x 136.5 cm</p> <p>Espesor = 17 cm</p> <p>ΔT °C = + 14.9 lineal</p> <p>Tensión = 2.90 kg/cm2</p> <p>Deformación = 0.008 cm</p>																								

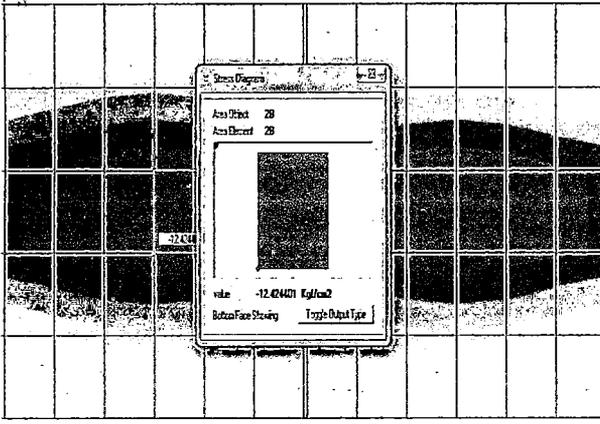
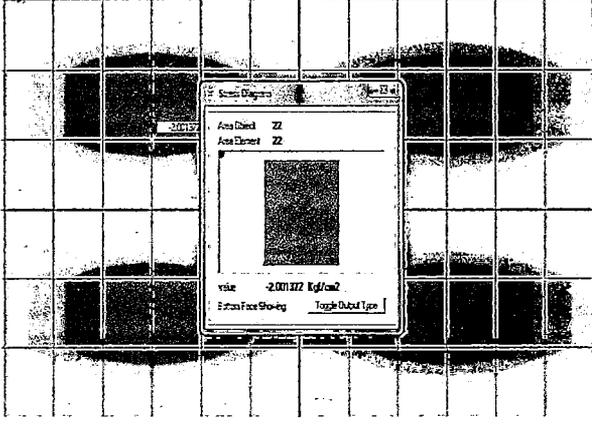
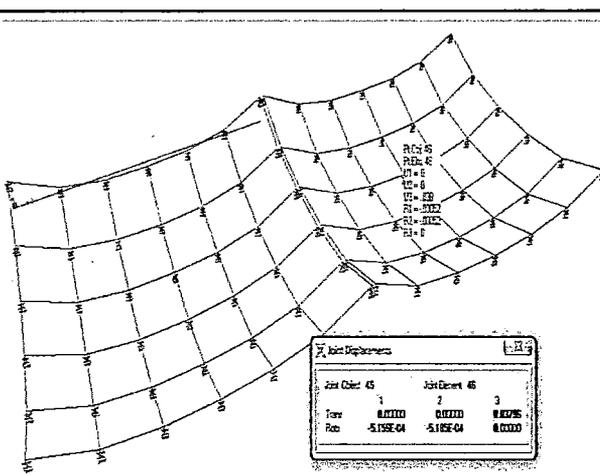
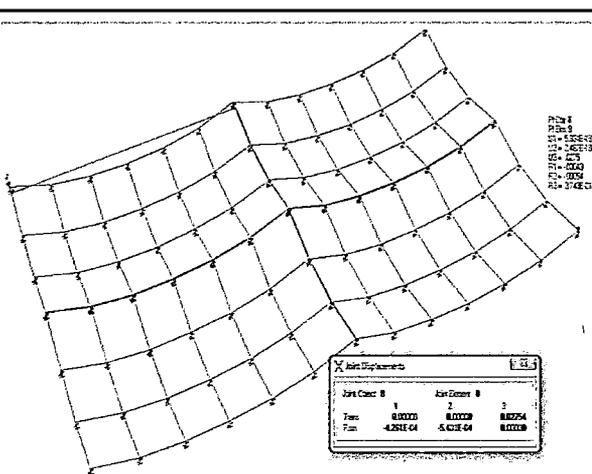
APÉNDICE A. TENSIONES Y DEFORMACIONES OBTENIDAS CON EL
SAP 2000

JIRÓN GUTIERREZ Y JIRON LA MAR (TENSIONES POR TEMPERATURA GRADIENTE - 0.66 °c/cm)

Tensiones T.(-) en AASHTO	Tensiones T.(-) en TCP
	
<p>AASHTO Losas de = 300 cm x 273 cm Espesor = 20 cm K = 6.19 kg/cm3 ΔT °C = - 6.6 lineal Tensión = 6.46 kg/cm2</p>	<p>TCP Losas de = 250 cm x 136.5 cm Espesor = 17 cm K = 6.19 kg/cm3 ΔT °C = - 6.6 Tensión = 1.51 kg/cm2</p>
Deformación T.(-) en AASHTO	Deformación T.(-) en TCP
	
<p>AASHTO Losas de = 300 cm x 273 cm Espesor = 20 cm ΔT °C = - 6.6 Tensión = 6.46 kg/cm2 Deformación = 0.054 cm</p>	<p>TCP Losas de = 250 cm x 136.5 cm Espesor = 17 cm ΔT °C = - 6.6 Tensión = 1.51 kg/cm2 Deformación = 0.030 cm</p>

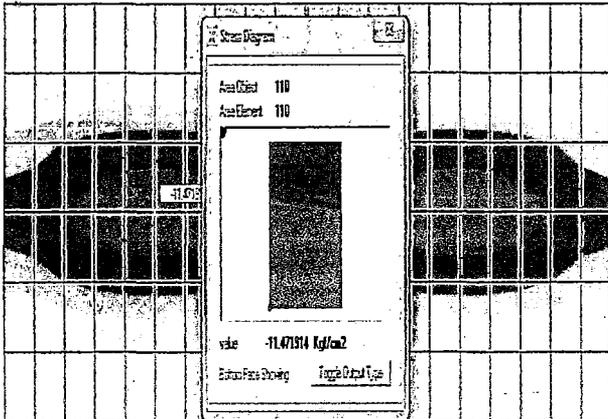
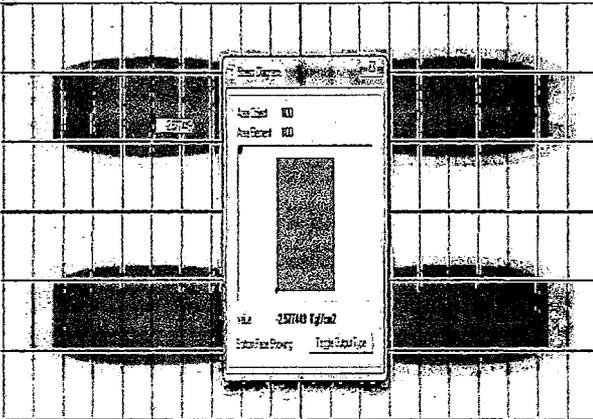
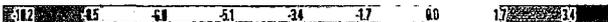
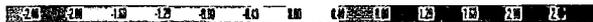
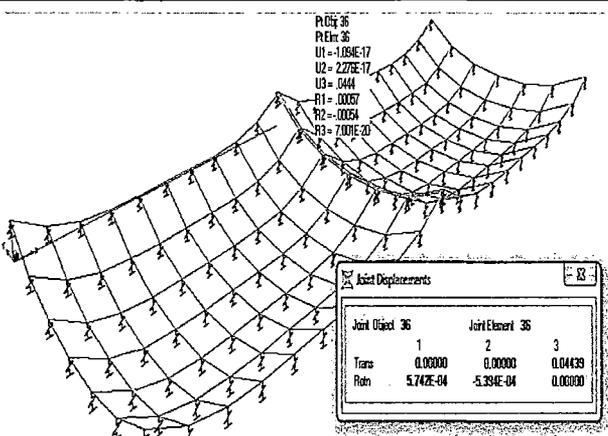
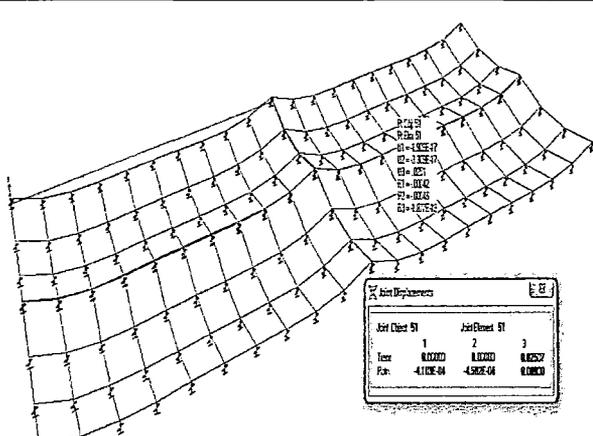
APÉNDICE A. TENSIONES Y DEFORMACIONES OBTENIDAS CON EL
SAP 2000

JIRÓN LOS CABUYALES (TENSIONES POR TEMPERATURA GRADIENTE - 0.66 °c/cm)

Tensiones T.(-) en AASHTO	Tensiones T.(-) en TCP
	
<p>AASHTO Losas de = 300 cm x 273 cm Espesor = 20 cm K = 8.55 kg/cm3 ΔT °C = - 6.6 lineal Tensión = 12.42 kg/cm2</p>	<p>TCP Losas de = 250 cm x 136.5 cm Espesor = 17 cm K = 8.55 kg/cm3 ΔT °C = - 6.6 Tensión = 2.0 kg/cm2</p>
Deformación T.(-) en AASHTO	Deformación T.(-) en TCP
	
<p>AASHTO Losas de = 300 cm x 273 cm Espesor = 20 cm ΔT °C = - 6.6 Tensión = 12.42 kg/cm2 Deformación = 0.037 cm</p>	<p>TCP Losas de = 250 cm x 136.5 cm Espesor = 17 cm ΔT °C = -6.6 Tensión = 2.0 kg/cm2 Deformación = 0.027 cm</p>

APÉNDICE A. TENSIONES Y DEFORMACIONES OBTENIDAS CON EL
SAP 2000

JIRÓN VICTOR ACUÑA Y SANTA ROSA (TENSIONES POR TEMPERATURA GRADIENTE - 0.66 °C/cm)

Tensiones T.(-) en AASHTO	Tensiones T.(-) en TCP
	
	
<p>AASHTO Losas de = 400 cm x 273 cm Espesor = 20 cm K = 11.53 kg/cm³ ΔT °C = - 6.6 lineal Tensión = 11.47 kg/cm²</p>	<p>TCP Losas de = 250 cm x 136.5 cm Espesor = 17 cm K = 11.53 kg/cm³ ΔT °C = - 6.6 Tensión = 2.57 kg/cm²</p>
Deformación T.(-) en AASHTO	Deformación T.(-) en TCP
	
<p>AASHTO Losas de = 400 cm x 273 cm Espesor = 20 cm ΔT °C = - 6.6 Tensión = 11.47 kg/cm² Deformación = 0.044 cm</p>	<p>TCP Losas de = 250 cm x 136.5 cm Espesor = 17 cm ΔT °C = -6.6 Tensión = 2.57 kg/cm² Deformación = 0.025 cm</p>

Apéndice B

ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS DEL PROYECTO EN APLICACIÓN

INGEOTECOM



CONSULTORES Y EJECUTORES EN INGENIERIA

**ESTUDIO GEOTECNICO CON FINES
DE PAVIMENTACION**

Proyecto:

**"CONSTRUCCION DE PISTAS Y VEREDAS
EN LOS AA. HH. VILLA SAN CRISTOBAL,
LOS ROSALES, ILLA CRUZ"**

Ubicación:

JESUS NAZARENO / HUAMANGA / AYACUCHO

Fecha:

DICIEMBRE DEL 2011

ORGANIZACION MESA PERUANA DE BOLSAS DE TRABAJO EN LA ZONA RURAL (MESA PERUANA DE BOLSAS DE TRABAJO EN LA ZONA RURAL) - CRI: 966 155112 O 966 6124701 CORREO: VPT@MESA PERUANA DE BOLSAS DE TRABAJO EN LA ZONA RURAL

LEONARDO DANTE COELLO ARANGO
INGENIERO CIVIL
Dist. Colegio de Ingenieros del Perú N° 79403

Víctor Portal Quicaña
Ingeniero Civil CIP N° 71239
Consultor en Geotecnia y Concreto

APÉNDICE B. ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS DEL PROYECTO
EN APLICACIÓN

INFORMACIÓN

De los ensayos de la subrasante

MUESTRA	% GRAVA	% ARENA	% FINOS	D ₁₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	Cu	Cc	D ₁₅ (mm)	D ₈₅ (mm)	D ₂₅ (mm)
: C-01 / JR. LOS CABUYALES : E - 2	70.8	18.5	10.7	0.0692	5.2601	21.1225	305.2	18.9	0.184	14.588	32.207
: C-09 / JR. A. VALDELOMAR - JR. LOS ROSALES : E - 2	10.8	54.5	34.7	0.0213	0.0639	0.5068	25.9	0.4	0.032	0.251	3.274
: C-12 / JR. SAN CRISTOBAL - CALLE LAS PALMERAS : E - 2	47.2	48.2	4.6	0.2753	1.3539	7.2170	26.2	0.9	0.490	4.233	20.106
: C-13 / JR. CABUYALES - JR. PANAMA : E - 2	47.6	46.0	6.4	0.1682	0.8908	7.3718	39.2	0.5	0.301	4.140	17.882
: C-18 / PROLG. LOS INCAS - JR. MEDELLIN : E - 2	0.8	33.9	65.3	0.0113	0.0340	0.0579	6.0	1.5	0.017	0.057	0.512
: C-19 / PROLG. LOS INCAS - JR. LA MAR : E - 2	15.5	54.7	29.9	0.0248	0.0757	0.7194	29.0	0.3	0.037	0.447	5.114

MUESTRA	LL %	LP %	IP %	AASTHO	SUCS	Nombre de Grupo (ASTM 2000) D-2487
: C-01 / JR. LOS CABUYALES : E - 2	27.6%	24.8%	2.6%	A-1-a (0)	GP-GM	GRAVA MAL GRADUADA CON LIMO Y ARENA
: C-09 / JR. A. VALDELOMAR - JR. LOS ROSALES : E - 2	26.3%	21.2%	5.1%	A-2-4 (0)	SC-SM	ARENA LIMO - ARCILLOSA
: C-12 / JR. SAN CRISTOBAL - CALLE LAS PALMERAS : E - 2	32.1%	24.8%	7.3%	A-2-4 (0)	SP	ARENA MAL GRADUADA CON GRAVA
: C-13 / JR. CABUYALES - JR. PANAMA : E - 2	NP	NP	NP	A-1-a (0)	GP-GM	GRAVA MAL GRADUADA CON LIMO Y ARENA
: C-18 / PROLG. LOS INCAS - JR. MEDELLIN : E - 2	33.7%	20.6%	12.9%	A-5 (7)	CL	ARCILLA LIGERA ARENOSA
: C-19 / PROLG. LOS INCAS - JR. LA MAR : E - 2	26.3%	22.9%	3.3%	A-2-4 (0)	SM	ARENA LIMOSA CON GRAVA

Se ha realizado ensayos de próctor modificado y CBR en la sub rasante representativa del terreno de fundación, además se ha hecho ensayos de PDC en los terrenos que fue posible realizar la penetración, siendo el resumen los siguientes:

ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO						
EXPLORACION	ESTRATO	AASTHO	SUCS		MAXIMA DENSIDAD SECA MDS (gr/cm ³)	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD OCH (%)
: C-09 / JR. A. VALDELOMAR - JR. LOS ROSALES	SUB RASANTE	A-2-4 (0)	SC-SM	ARENA LIMO - ARCILLOSA	1.65	15.0
: C-12 / JR. SAN CRISTOBAL - CALLE LAS PALMERAS	SUB RASANTE	A-2-4 (0)	SP	ARENA MAL GRADUADA CON GRAVA	1.85	12.3

ENSAYO DE CBR DE LABORATORIO						
EXPLORACION	SUCS		CBR 0.1" AL 100% DE LA MDS (%)	CBR 0.1" AL 95% DE LA MDS (%)	CBR 0.2" AL 100% DE LA MDS (%)	CBR 0.2" AL 95% DE LA MDS (%)
: C-09 / JR. A. VALDELOMAR - JR. LOS ROSALES	SC-SM	ARENA LIMO - ARCILLOSA	38.00	15.30	45.70	16.70
: C-12 / JR. SAN CRISTOBAL - CALLE LAS PALMERAS	SP	ARENA MAL GRADUADA CON GRAVA	51.00	30.00	70.00	29.50

Victor Portal Quicena
Ingeniero Civil CIP N° 71239
Consultor en Geotecnia y Construcción

APÉNDICE B. ESTUDIOS DE MECÁNICA DE SUELOS DEL PROYECTO
EN APLICACIÓN

INGENIERIA

PDC -1 POR LA C-1 (JR. LOS CABUYALES)

Profundidad (mm)		Numero de Golpes (golp)		DN (mm/golp)	CBR (%)	CBR(%) Diseño
0.0	163.0	0.0	7.0	23.3	8.6	
163.0	236.0	7.0	20.0	5.6	42.3	
236.0	315.0	20.0	47.0	2.9	87.7	
315.0	371.0	47.0	63.0	3.5	71.8	

PDC -2 POR LA C-2 (JR. GUTIERREZ CON JR. LA MAR)

Profundidad (mm)		Numero de Golpes (golp)		DN (mm/golp)	CBR (%)	CBR(%) Diseño
0.0	180.0	0.0	5.0	36.0	5.3	
180.0	340.0	5.0	13.0	20.0	10.2	
340.0	655.0	13.0	24.0	28.6	6.8	
655.0	1000.0	24.0	41.0	20.3	10.0	

PDC -3 POR LA C-3 (JR. VICTOR ACUÑA CON JR. MEDELLIN)

Profundidad (mm)		Numero de Golpes (golp)		DN (mm/golp)	CBR (%)	CBR(%) Diseño
0.0	120.0	0.0	5.0	24.0	8.3	
120.0	205.0	5.0	29.0	3.5	70.8	
205.0	305.0	29.0	45.0	6.3	37.5	
305.0	423.0	45.0	63.0	6.6	35.5	

PDC -4 POR LA C-4 (JR. VICTOR ACUÑA CON JR. SANTA ROSA)

Profundidad (mm)		Numero de Golpes (golp)		DN (mm/golp)	CBR (%)	CBR(%) Diseño
0.0	160.0	0.0	21.0	7.6	30.0	
160.0	395.0	21.0	45.0	9.8	22.7	
395.0	515.0	45.0	67.0	5.5	43.7	
515.0	540.0	67.0	71.0	6.3	37.5	

PDC -5 POR LA C-9 (JR. VALDELOMAR CON JR. LOS ROSALES)

Profundidad (mm)		Numero de Golpes (golp)		DN (mm/golp)	CBR (%)	CBR(%) Diseño
0.0	90.0	0.0	5.0	18.0	11.5	
90.0	310.0	5.0	14.0	24.4	8.1	
310.0	490.0	14.0	35.0	8.6	26.3	
490.0	645.0	35.0	60.0	6.2	37.8	

PDC -6 (JR. LOS ROSALES CON CALLE SN)

Profundidad (mm)		Numero de Golpes (golp)		DN (mm/golp)	CBR (%)	CBR(%) Diseño
0.0	190.0	0.0	18.0	10.6	20.8	
190.0	275.0	18.0	24.0	14.2	15.0	
275.0	460.0	24.0	49.0	7.4	31.0	
460.0	580.0	49.0	61.0	10.0	22.2	

Se presentan algunas características de los materiales:

Categoría	Rango	Descripción
S0	CBR < 3%	Subrasante muy pobre
S1	CBR = 3% - 5%	Subrasante pobre
S2	CBR = 6 - 10%	Subrasante regular
S3	CBR = 11 - 19%	Subrasante buena
S4	CBR > 20%	Subrasante muy buena

Victor Portal Quicaña
Ingeniero Civil CIP N° 171239
Especialista en Geotecnia y Construcción

Apéndice C

ANÁLISIS DE CANTERA PARA MATERIAL DE SUB BASE DEL PROYECTO EN APLICACIÓN

APÉNDICE C. ANÁLISIS DE CANTERA PARA MATERIAL DE SUB BASE
DEL PROYECTO EN APLICACIÓN

INGEOTECON



CONSULTORES Y EJECUTORES EN INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE CANTERAS PARA
MATERIAL DE SUB BASE**

**"CONSTRUCCION DE PISTAS,
VEREDAS EN LOS AA. HH. VILLA SAN
CRISTOBAL, LOS ROSALES, ILLACRUZ"**

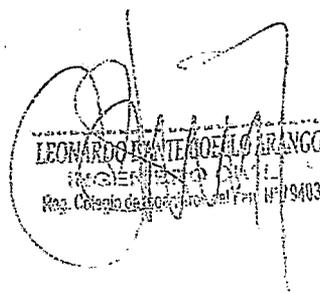
Ubicación:

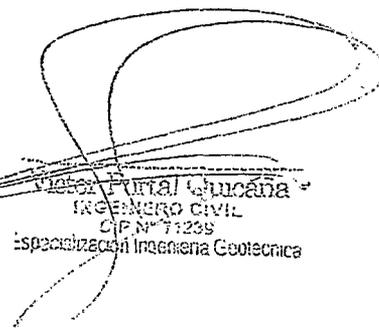
JESUS NAZARENO / HUAMANGA / AYACUCHO

Fecha:

DICIEMBRE DEL 2011

Urbanización Mana Parí 240 de Bolívar EMADI MZ K1 Lote 3) Cel: 066 965155118) RPM #893444


LEONARDO ANTE GUELO ARANGO
INGENIERO CIVIL
Reg. Colegio de Ingenieros del Perú N° 79403


Victor Portal Guacana
INGENIERO CIVIL
CIP N° 71238
Especialización Ingeniería Geotécnica

APÉNDICE C. ANÁLISIS DE CANTERA PARA MATERIAL DE SUB BASE DEL PROYECTO EN APLICACIÓN

CONSULTORES Y EJECUTORES EN INGENIERIA
AREA DE LABORATORIO DE GEOTECHIA Y CONCRETO

Proyecto	: "CONSTRUCCION DE PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA. HH. VILLA SAN CRISTOBAL, LOS ROSALES, ILLA CRUZ"		
Solicitante	: ING. LEONARDO DANTE COELLO ARANGO	Region	: AYACUCHO
Calicata	: CANTERA CHILICO	Provincia	: HUAMANGA
Estrato	: MATERIAL DE SUB BASE	Distrito	: JESUS DE NAZARENO
Fecha	: DICIEMBRE 2011	Lugar	: JESUS DE NAZARENO

DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO E INDICE DE PLASTICIDAD (ASTM D-4318, MTC E 111-2000)

DEFINICIONES : El Limite Plastico de un suelo es el contenido de humedad expresado en % del suelo secado en horno, cuando esta se haya entre limite del estado semisolido y el estado plastico.

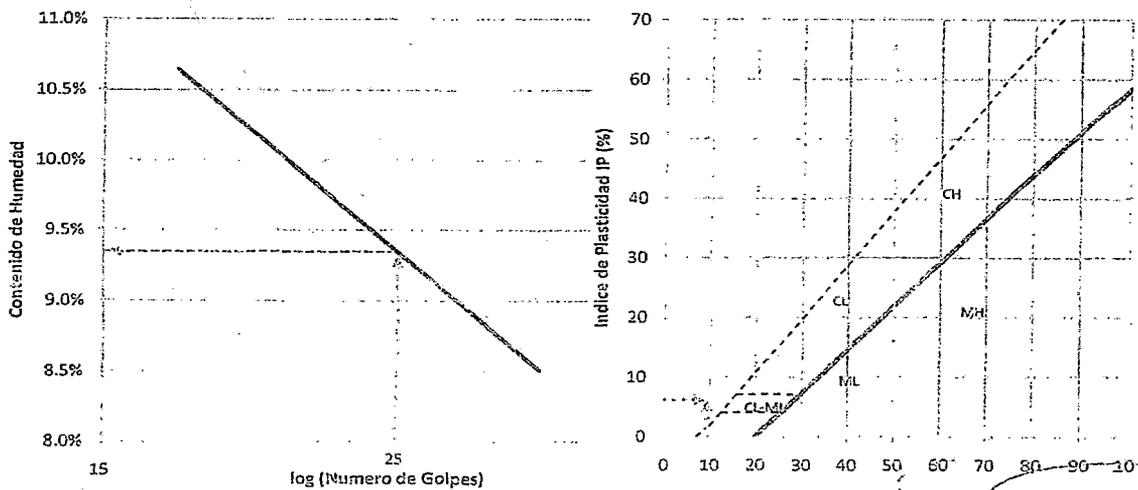
Nº	DESCRIPCION	Unidad	86.0	85.0	94.0
1	RECIPIENTE	Nº	86.0	85.0	94.0
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	24.21	25.45	22.29
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	23.45	24.66	21.62
3	PESO RECIPIENTE	gr	0.00	0.00	0.00
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	0.76	0.79	0.67
5	PESO SECO (2)-(4)	gr	23.45	24.66	21.62
6	HUMEDAD	%	3.2%	3.2%	3.1%
LIMITE PLASTICO		%	3.2%		

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS (ASTM D-4318, MTC E 110-2000)

DEFINICIONES : El limite liquido de un suelo es el contenido de humedad expresado en % del suelo secado en horno, cuando esta se haya entre limite del estado plastico y el estado liquido

Nº	DESCRIPCION	Unidad	93.0	90.0	83.0
1	RECIPIENTE	Nº	93.0	90.0	83.0
1	PESO SUELO HUMEDO+RECIPIENTE	gr	36.88	37.78	32.43
2	PESO SUELO SECO+RECIPIENTE	gr	33.96	34.63	29.30
3	PESO RECIPIENTE	gr	0.00	0.00	0.00
4	PESO AGUA (1)-(2)	gr	2.92	3.15	3.13
5	PESO SECO (2)-(4)	gr	33.96	34.63	29.30
6	HUMEDAD	%	8.6%	9.1%	10.7%
7	NUMERO DE GOLPES	Nº	32.00	27.00	17.00
LIMITE LIQUIDO		%	9.4%		

INDICE PLASTICO (%) IP=LL-LP= 6.2%



APÉNDICE C. ANÁLISIS DE CANTERA PARA MATERIAL DE SUB BASE DEL PROYECTO EN APLICACIÓN

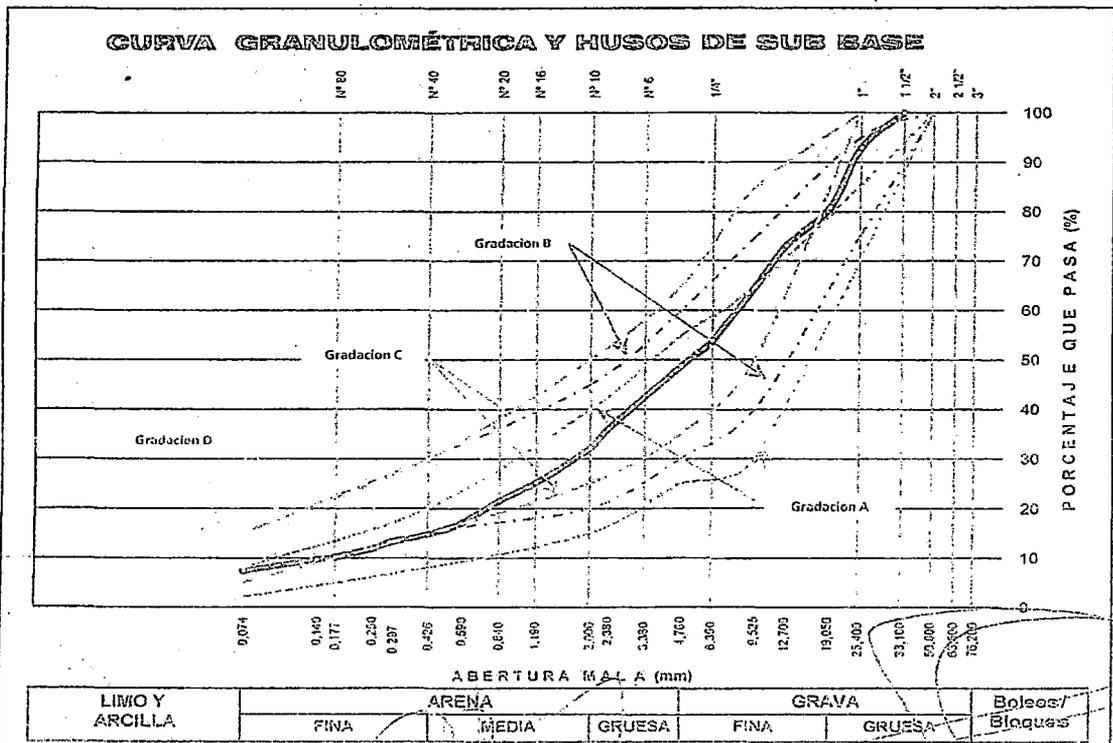
175

INGEOTECNOCON
CONSULTORES Y EJECUTORES EN INGENIERIA
AREA DE LABORATORIO DE GEOTECNIA Y CONCRETO

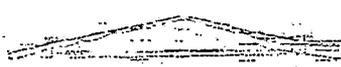
ENSAYOS ESTÁNDAR DE CLASIFICACIÓN (ASTM D 422, D 4318, D 2487, D 2216, D 4254, D 854, D 1557)

Proyecto	: "CONSTRUCCION DE PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA. HH. VILLA SAN CRISTOBAL, LOS ROSALES, ILLA CRUZ"		
Solicitante	: ING. LEONARDO DANTE COELLO ARANGO	Dep.	: AYACUCHO
Descripción	: CANTERA CHILICO	Provincia	: HUAMANGA
Estrato	: MATERIAL DE SUB BASE	Distrito	: JESUS DE NAZARENO
Fecha	: DICIEMBRE 2011	Lugar	: JESUS DE NAZARENO

	TAMIZ ASTER	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr.)	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	3"	76.200					PESOS (gr)
	2 1/2"	63.500				100.0	Peso seco inicial 1378.5
	2"	50.800				100.0	Peso seco lavado 1277.4
	1 1/2"	38.100				100.0	Pérdida por lavado 101.1
	1"	25.400	97.48	7.1	7.1	92.9	ENSAYOS ESTÁNDAR
	3/4"	19.050	166.55	12.1	19.2	80.8	% Grava 51.3
	1/2"	12.700	106.45	7.7	26.9	73.1	% Grava gruesa 0.0
	3/8"	9.525	114.02	8.3	35.1	64.9	% Grava fina 51.3
	1/4"	6.350	152.21	11.0	46.2	53.8	% Arena 41.4
	Nº 4	4.750	70.28	5.1	51.3	48.7	% Arena gruesa 16.6
	Nº 6	3.350			51.3	48.7	% Arena media 17.4
	Nº 8	2.380	173.66	12.6	63.9	36.1	% Arena fina 7.4
	Nº 10	2.000	55.05	4.0	67.9	32.1	% de Finos 1.3
	Nº 16	1.190	96.60	7.0	74.9	25.1	D ₁₀ = D _(10%) = 0.1674
	Nº 20	0.840	49.03	3.6	78.4	21.6	D _{30(10%)} = 1.7547
	Nº 30	0.600	61.58	4.5	82.9	17.1	D _{60(10%)} = 8.1295
	Nº 40	0.426	32.29	2.3	85.3	14.7	Indice de Grupo (0)
	Nº 50	0.297	21.55	1.6	86.8	13.2	U _{15(10%)} = 0.4436
	Nº 60	0.250	19.15	1.4	88.2	11.8	U _{50(10%)} = 5.1613
	Nº 80	0.177	22.21	1.6	89.8	10.2	D _{85(10%)} = 21.2329
Nº 100	0.149	7.41	0.5	90.4	9.6	AASTHO A-2-4 (0)	
Nº 200	0.074	31.88	2.3	92.7	7.3	Clasificación SUCS GW-GC-GM	
Fondo							GRAVA BIEN GRADUADA CON
Lavado			101.1	7.3	100.0		ARCILLA LIMOSA CON ARENA
TOTAL			1378.5	100.0			



APÉNDICE C. ANÁLISIS DE CANTERA PARA MATERIAL DE SUB BASE DEL PROYECTO EN APLICACIÓN



CONSULTORES Y EJECUTORES EN INGENIERIA
AREA DE LABORATORIO DE GEOTECNIA Y CONCRETO

DETERMINACION DE HUSO GRANULOMETRICO PARA SUELOS DONDE EL AFIRMADO TRABAJE COMO FILTRO

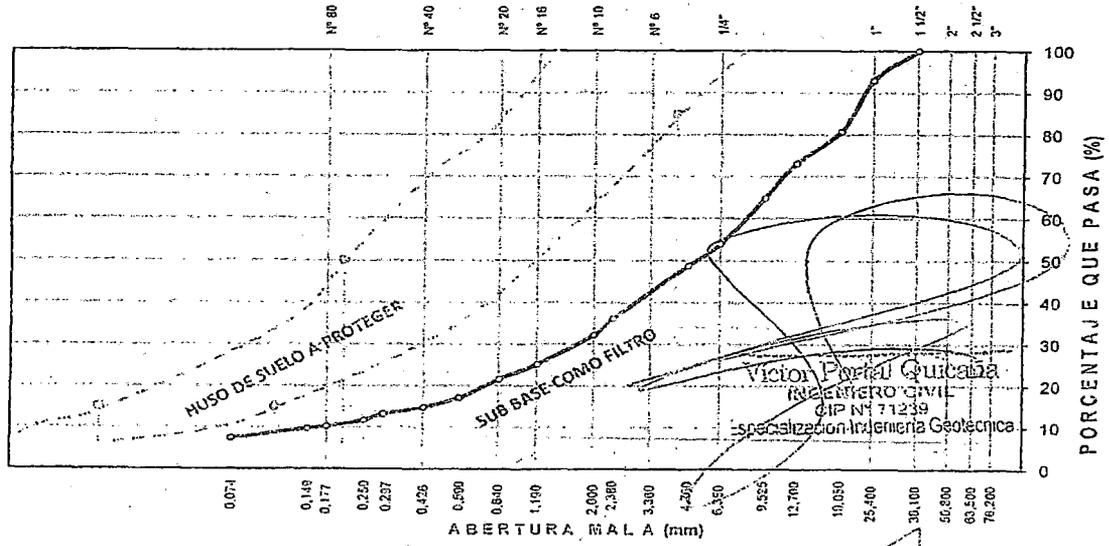
Proyecto	: "CONSTRUCCION DE PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA. HH. VILLA SAN CRISTOBAL, LOS ROSALES, ILLA CRUZ"		
Solicitante	: ING. LEONARDO DANTE COELLO ARANGO	Dep.	: AYACUCHO
Descripción	: CANTERA CHILICO	Provincia	: HUAMANGA
Estrato	: MATERIAL DE SUB BASE	Distrito	: JESUS DE NAZARENO
Fecha	: DICIEMBRE 2011	Lugar	: JESUS DE NAZARENO

DEFINICIONES : Dos factores principales influyen al seleccionar el material de un filtro: la granulometria para el material del filtro debe ser tal que: a) El suelo a proteger no sea lavado por el filtro b) que no se genere una carga de presion hidrostática excesiva en el suelo con un coeficiente inferior de permeabilidad.

DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
AFIRMADO	
% Grava	51.3
% Grava gruesa	0.0
% Grava fina	51.3
% Arena	41.4
% Arena gruesa	16.6
% Arena media	17.4
% Arena fina	7.4
% de Finos	7.3
$D_{10} = D_{c(mm)}$	0.1674
$D_{30(mm)}$	1.7547
$D_{60(mm)}$	8.1295
Cu =	48.6
Cc =	2.3
$D_{15(mm)}$	0.4436
$D_{50(mm)}$	5.1613
$U_{55(mm)}$	21.2329
Clasificación SUCS	GW-GC-GM
GRAVA BIEN GRADUADA CON ARCILLA LIMOSA CON ARENA	

SUELO A PROTEGER	
Según Terzaghi y Peck 1967	
$D_{85(S)} \Rightarrow D_{15(F)}/5 =$	4.2466 mm
$D_{15(S)} \Leftarrow D_{15(F)}/4 =$	0.1109 mm
Adicionalmente Según el Departamento de Marina de los Estados Unidos 1971	
$D_{50(S)} \Rightarrow D_{50(F)}/25 =$	0.2065 mm
$D_{15(S)} \Rightarrow D_{15(F)}/20 =$	0.0222 mm

Clasificación AASHTO
A-2-4 (0)



CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AFIRMADO COMO FILTRO Y
HUSO DEL SUELO A PROTEGER

LEONARDO DANTE COELLO ARANGO
INGENIERO CIVIL
CIP N° 71239
Especialización Ingeniería Geotécnica

**APÉNDICE C. ANÁLISIS DE CANTERA PARA MATERIAL DE SUB BASE
DEL PROYECTO EN APLICACIÓN**



INGENIERIA
CONSULTORES Y EJECUTORES EN INGENIERIA
AREA DE LABORATORIO DE GEOTECNIA Y CONCRETO

GRAVEDAD ESPECIFICA DE LOS SOLIDOS

Proyecto : "CONSTRUCCION DE PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA. HH. VILLA SAN CRISTOBAL, LOS ROSALES, ILLA CRUZ"

Solicitante	: ING. LEONARDO DANTE COELLO ARANGO	Region	: AYACUCHO
Material	: MATERIAL DE SUB BASE	Provincia	: HUAMANGA
Estrato	: CANTERA DE CHILLICO	Distrito	: JESUS DE NAZARENO
Fecha	: DICIEMBRE DEL 2012	Lugar	: JESUS DE NAZARENO

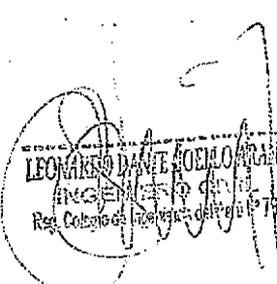
MATERIAL RETENIDO EN LA MALLA N°4 (ASTM C-127)

	IDENTIFICACION		ENSAYO N°01	ENSAYO N°02	ENSAYO N°03	PROMEDIO
1	Peso en el aire de la muestra seca	gr	675.3			2.65
2	Peso en el aire de la muestra SSS	gr	689.8			
3	Peso sumergido en agua de la muestra SSS (gr)	gr	420.4			
	Gravedad Especifica Aparente = A/(B-C)		2.51			
	Gravedad Especifica Aparente SSS = B/(B-C)		2.56			
	Gravedad Especifica Nominal = A/(A-C)		2.65			
4	% de absorción	%	2.15			

MATERIAL PASANTE LA MALLA N°4

	IDENTIFICACION		MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	PROMEDIO
1	Capacidad de Picnometro	cm3	500	500		2.60
2	Peso de la muestra seca	gr	124.3	126.6		
3	Peso de Picnometro con la muestra y agua	gr	744.7	756.2		
4	Peso de Picnometro alorado lleno de agua	gr	668.1	678.1		
5	Corrección por temperatura (K)		0.99823	0.99823		
	Gravedad especifica de la muestra		2.60	2.61		

Porcentaje Retenido en la Malla N°4 (%)	51.3
Porcentaje que pasa la Malla N°4 (%)	48.7
Gravedad especifica de los sólidos	2.63


LEONARDO DANTE COELLO ARANGO
 INGENIERO CIVIL
 Reg. Colegio de Ingenieros del Perú N° 78403


Victor Portal Quicana
 INGENIERO CIVIL
 CIP N° 71234
 Especialización Ingenua Geotécnica

APÉNDICE C. ANÁLISIS DE CANTERA PARA MATERIAL DE SUB BASE DEL PROYECTO EN APLICACIÓN

ING. LEONARDO DANTE COELLO ARANGO
CONSULTORES Y EJECUTORES EN INGENIERIA
AREA DE LABORATORIO DE GEOTECNIA Y CONCRETO

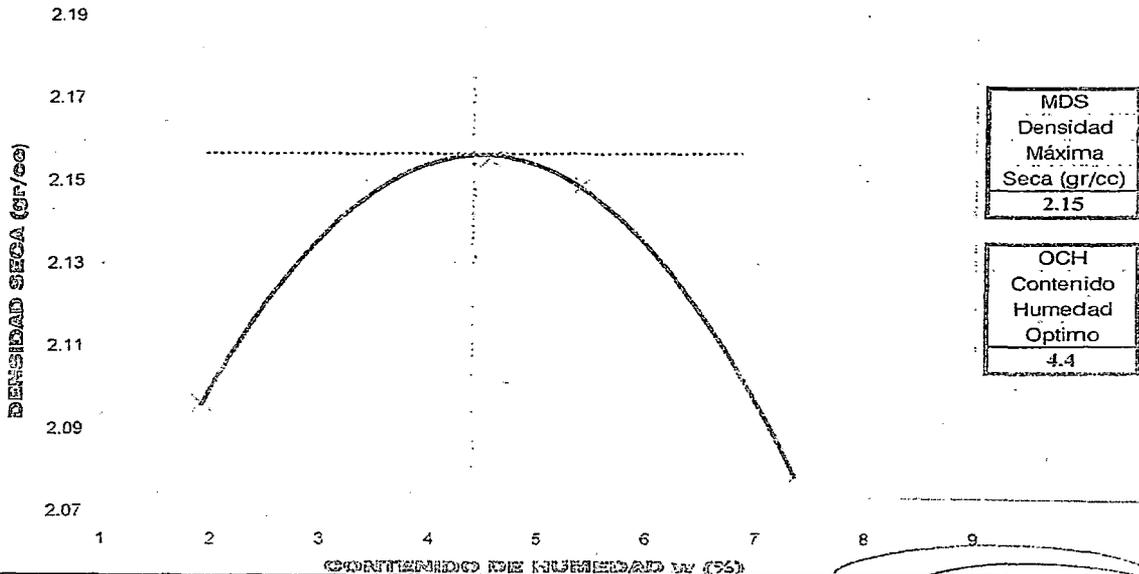
PROCTOR MODIFICADO (ASTM D 1557) METODO C

Proyecto	: "CONSTRUCCION DE PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA. HH. VILLA SAN CRISTOBAL, LOS ROSALES, ILLA CRUZ"		
Solicitante	: ING. LEONARDO DANTE COELLO ARANGO	Region	: AYACUCHO
Material	: MATERIAL DE SUB BASE	Provincia	: HUAMANGA
Coordenadas	: CANTERA DE CHILICO	Distrito	: JESUS DE NAZARENO
Fecha	: DICIEMBRE DEL 2012	Lugar	: JESUS DE NAZARENO

ENSAVO DE COMPACTACIÓN						
Determinación Nº		01	02	03	04	
Peso del molde y muestra	gr	10,325.0	10,559.0	10,583.0	10,515.0	
Peso del molde	gr	6,050.20	6,050.20	6,050.20	6,050.20	
Peso de la muestra compacta	gr	4,274.80	4,508.80	4,532.80	4,464.80	
Volumen del molde	cc	2,001.14	2,001.14	2,001.14	2,001.14	
Densidad húmeda	gr/cc	2.14	2.25	2.27	2.23	
Densidad seca	gr/cc	2.10	2.16	2.15	2.08	

CONTENIDO DE HUMEDAD						
Tarro Nº		18.0	23.0	11.0	85.0	
Peso del tarro	gr	68.32	62.00	68.02	52.65	
Peso tarro + suelo húmedo	gr	572.04	581.00	543.00	538.00	
Peso de tarro + suelo seco	gr	562.61	558.50	518.66	504.76	
Peso del agua	gr	9.43	22.50	24.34	33.24	
Peso del suelo seco	gr	494.29	496.50	450.64	452.11	
Contenido de humedad	%	1.91	4.53	5.40	7.35	

CURVA DE PROCTOR MODIFICADO



DIRECCIÓN GENERAL DE INGENIERÍA CIVIL Y DE OBRAS PÚBLICAS - DICOOP - PERÚ. OFICINA GENERAL DE REGISTRO Y CONTROL DE OBRAS PÚBLICAS - OROPCOP - PERÚ. OFICINA GENERAL DE REGISTRO Y CONTROL DE OBRAS PÚBLICAS - OROPCOP - PERÚ. OFICINA GENERAL DE REGISTRO Y CONTROL DE OBRAS PÚBLICAS - OROPCOP - PERÚ.

LEONARDO DANTE COELLO ARANGO
 INGENIERO EN INGENIERIA
 Reg. Colección de Inge. N.º 1111111111

Víctor Manuel Guzmán
 INGENIERO EN INGENIERIA CIVIL
 O.P. N.º 1111111111
 Colección de Inge. N.º 1111111111

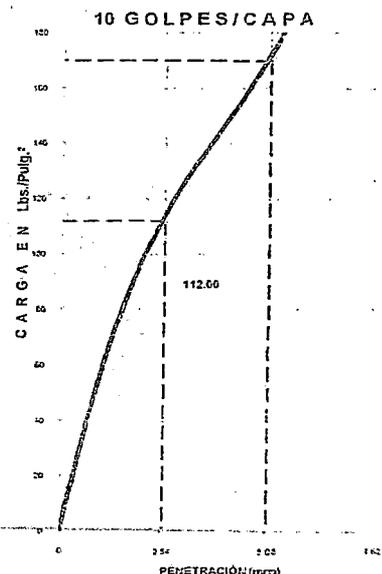
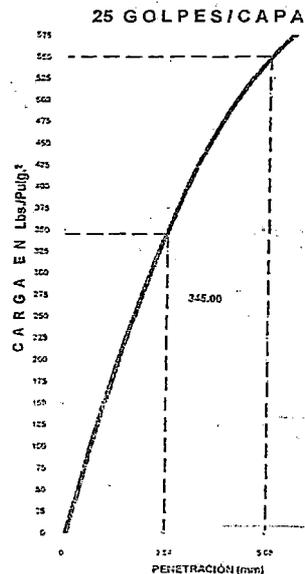
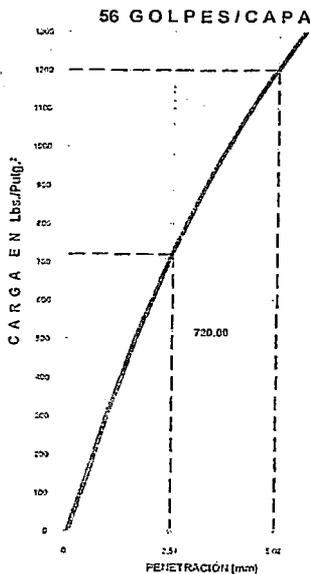
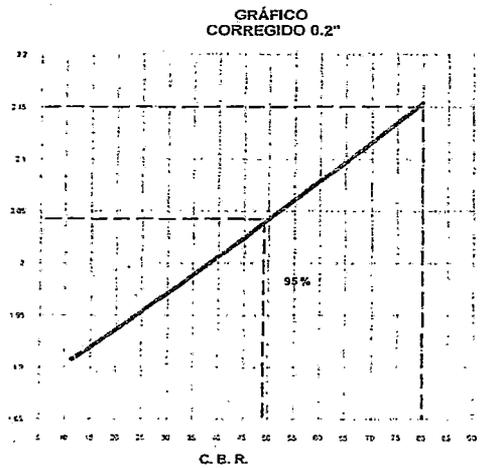
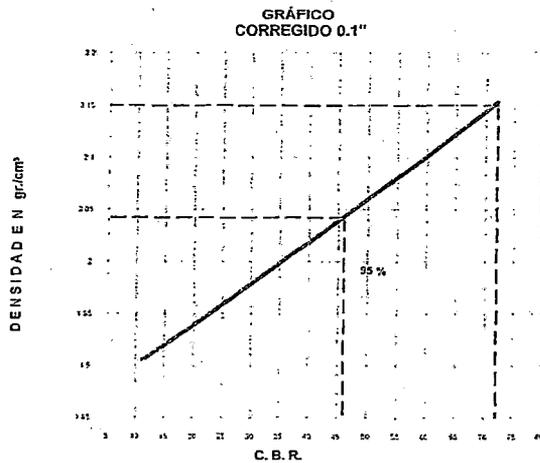
APÉNDICE C. ANÁLISIS DE CANTERA PARA MATERIAL DE SUB BASE DEL PROYECTO EN APLICACIÓN

INGENIEROS

CONSULTORES Y EJECUTORES EN INGENIERIA
AREA DE LABORATORIO DE GEOTECNIA Y CONCRETO

RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)

PROYECTO	: CONSTRUCCION DE PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA. HH. VILLA SAN CRISTOBAL, LOS ROSALES, ILCA CRUZ		
SOLICITANTE	: ING. LEONARDO DANTE COELLO ARANGO		
MUESTRA	: MATERIAL DE SUB BASE - CANTERA DE CHILICO		
MATERIAL	: MATERIAL DE SUB BASE		
FECHA	: DICIEMBRE 2011		
DEPARTAMENTO	: AYACUCHO		
PROVINCIA	: HUAMANGA		
DISTRITO	: JESUS DE NAZ	LUGAR : JESUS DE NAZARENO	
	MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr./cm ³)	2.15	
	OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	4.40	
	CER AL 100% DE LA MDS (%)	72.0	
	CER AL 95% DE LA MDS (%)	46.0	
	GRAVA %	ARENAL %	FINOS %
	51.3	41.4	7.3
	LL %	LP %	IP %
	0.4%	3.2%	6.2%
	AASHTO	IG	(0)
	A-2-1	IG	(0)
	SUCS	GW-GC-GM	EMBERDO 4 d ₅₀ EXPANSIÓN NE



DIRECCION. URD. MARIA PARADO DE BELIDO NE. NI. LOTE 3 ENADI. CEL. 961351118. 96139800. FIJO 314887 RPM = 893444 CORREO: vpl_ypl1@hotmail.com. ingeotecv.p@gmail.com

LEONARDO DANTE COELLO ARANGO
INGENIERO CIVIL
CIP 11038

LEONARDO DANTE COELLO ARANGO
INGENIERO CIVIL
CIP 11038
Especialización Ingeniería Geotécnica

**APÉNDICE C. ANÁLISIS DE CANTERA PARA MATERIAL DE SUB BASE
DEL PROYECTO EN APLICACIÓN**



INGENIERÍA
CONSULTORES Y EJECUTORES EN INGENIERIA
AREA DE LABORATORIO DE GEOTECNIA Y CONCRETO

**ABRACION LOS ANEGELES (L.A) AL DESGASTE DE LOS
AGREGADOS MENORES A 1 1/2" (MTC E 207-2000)**

Proyecto : "CONSTRUCCION DE PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA. HH. VILLA SAN CRISTOBAL, LOS ROSALES, ILLA CRUZ"

Solicitante : ING. LEONARDO DANTE COELLO ARANGO Region : AYACUCHO

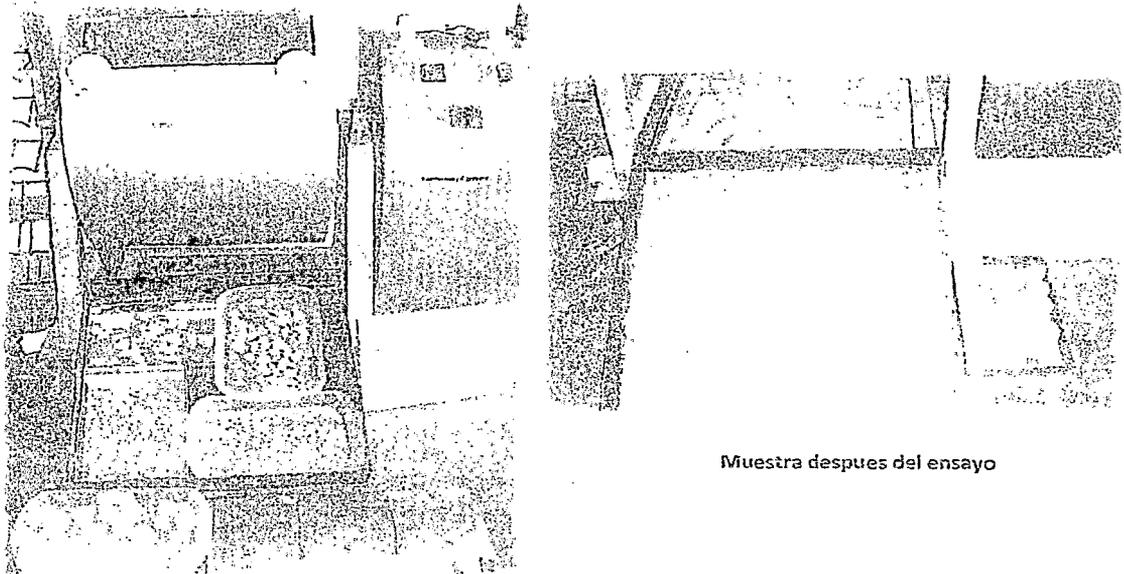
Material : SUB BASE Provincia : HUAMANGA

: CANTERA DE CHILLICU Distrito : JESUS DE NAZARENO

Fecha : DICIEMBRE 2011 Lugar : JESUS DE NAZARENO

Granulometria de la muestra del agregado para ensayo					
Pasa Tamiz	Retenido Tamiz	A (12 esf) Peso (gr)	B (11 esf) Peso (gr)	C (8 esf) Peso (gr)	D (6 esf) Peso (gr)
1 1/2"	37.5mm	1"	25mm	1252.60	
1"	25mm	3/4"	19mm	1247.00	
3/4"	19mm	1/2"	12.5mm	1249.40	
1/2"	12.5mm	3/8"	9.5mm	1250.50	
3/8"	9.5mm	1/4"	6.3mm		
1/4"	6.3mm	Nº 4	4.75mm		
Nº 4	4.75mm	Nº 8	2.36mm		
TOTAL (gramos)				4,999.50	

Muestra despues del ensayo			
Peso de la muestra despues del ensayo	3,915.7		
% de Desgaste	21.7		



Muestra antes del ensayo

Muestra despues del ensayo

DIRECCION URB. MARIA TERESA DE BELIDO N2 K1 LOTE 2 ENAOL CEL 96613470, CORREO spq@pqr.org.pe

LEONARDO DANTE COELLO ARANGO
INGENIERO CIVIL
Nº 10000000000000000000

Victor Porcel Guacafia
INGENIERO CIVIL
Nº 10000000000000000000
Especialización Ingeniería Geotécnica

Apéndice D

DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN

En este apéndice se muestra el Diseño de Mezcla realizado para el proyecto "Construcción de Pistas y Veredas en los AA.HH. Villa San Cristóbal, Los Rosales, Illa Cruz, distrito de Jesús Nazareno - Huamanga - Ayacucho".



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De los Agregados.-

Los agregados fueron muestreados en la obra por los solicitantes.

Por su origen los agregados analizados, se clasifican en agregados de origen natural pero tratados. De acuerdo a su gravedad específica, estos se clasifican en agregados de peso normal. De acuerdo a su perfil las partículas del agregado grueso se pueden considerar como agregados de perfil angular.

El agregado grueso corresponde a Piedras Chancadas provenientes de la cantera Muyurina. El agregado fino corresponde a Arenas provenientes de la cantera Muyurina.

Del análisis granulométrico del agregado grueso se ha determinado el Tamaño Máximo que es de $TM = 1 \frac{1}{2}$ " y el Tamaño Máximo Nominal siendo este de $TMN = 1$ " y se clasifica como Grava Mal graduada GP.

En cuanto al Agregado Grueso este cumple con la gradación del Huso Granulométrico N° 467 ($1 \frac{1}{2}$ " a N° 4") establecido en las normas.

Del análisis granulométrico del agregado fino (Arena), la muestra corresponde a Arenas bien graduada SW, del análisis de la arena se puede observar que este cumple con la gradación de las arenas de nuestra Norma (límites extremos), se encuentra ligeramente fuera del Huso C que es el más recomendado para elaborar concretos con cemento Portland.

Del análisis granulométrico del Agregado Fino se ha determinado el Modulo de Fineza, con lo que se puede intuir una fineza promedio del material, siendo este valor de $MF = 3.31$, el cual no se encuentra dentro del rango recomendado que es de 2.35 a 3.15, pero esto se tendrá en cuenta en el diseño de mezcla de concreto.

Los agregados gruesos presentan materiales pasantes por la malla N° 200 (finos como limos y arcillas) en proporciones menores al 1%, por lo que no es necesario el lavado respectivo.

INGEOTECON

ING. VICTOR PORTAL QUICANA
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
CIP: 71938

Para el agregado fino el porcentaje de finos limos y arcillas se encuentran en proporciones mayores al 5%, por lo que se recomienda el lavado del agregado antes de su uso. Después de ello se deberá tener en cuenta que durante toda la obra se mantenga estos límites de los finos en cuanto a los máximos permitidos.

Algunas propiedades ensayadas a los agregados puestos en obra se presentan a continuación:

AGREGADO	Tamaño Máximo TM	Tamaño Máximo Nominal TMN	Modulo de Fineza	Superficie específica (cm ² /gr)	Porcentaje Grava (%)	Porcentaje Arena (%)	Porcentaje de Finos (%)
AGREGADO GRUESO	1.5	1	7.77	3.80	98.6	1.1	0.32
AGREGADO FINO	--	--	3.31	72.38	7.5	86.9	5.60
AGREGADO GLOBAL	1 1/2"	1"	5.6	--	54.0	43.1	2.91

AGREGADO	PUS (kg/m ³)	PUCS (kg/m ³)	PEM Gs	% ABSORCION	% VACIOS PUS	% VACIOS PUCS	SUCS
AGREGADO GRUESO	1386	1475	2.54	1.97	45.5	42.0	GP
AGREGADO FINO	1636	1768	2.42	5.72	32.4	27.0	SW
AGREGADO GLOBAL	HUSO 1 1/2"	Dosificación:	% AG=	51.0	% AF=	49.0	GP

De los aditivos.-

A criterio de los responsables de la ejecución podría usarse algún aditivo para controlar alguna propiedad del concreto, como es el caso de un aditivo reductor de agua, aditivos curadores, impermeabilizantes, etc., según las necesidades del Proyecto al momento.

Del proporcionamiento del concreto.-

La selección de las proporciones de los materiales integrantes del concreto deberá permitir que: Se logre la trabajabilidad y consistencia que permitan que el concreto sea colocado fácilmente en los encofrados y alrededor del acero de refuerzo bajo las condiciones de colocación a ser empleadas, sin segregación o exudación excesiva. Se logre resistencia y durabilidad a las condiciones especiales de exposición a que pueda estar sometido el concreto.

INGEOTECON
ING. VICTOR PORTAL QUICANA
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
CIP: 71239

APÉNDICE D. DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN



Se recomienda una consistencia plástica de 3" a 4" medida con el cono de Abrams, teniendo en cuenta una adecuada compactación mecánica.

El diseño de mezcla calculado se presenta a continuación, las dosificaciones fueron corregidos por la humedad de los agregados al momento de la entrega de las muestras, pudiendo variar considerablemente la humedad en diferentes momentos de la ejecución de la obra, lo que podría variar la Humedad superficial como la absorción efectiva, por lo que se deberá hacer las correcciones respectivas cuando los responsables lo crean conveniente, además se hizo las conversiones respectivas de peso a volumen teniendo en cuenta los errores que se cometen por esta transformación debido básicamente al cálculo del peso unitario.

Las proporciones del diseño de mezcla por metro cubico de concreto de materiales secos, para un agregado grueso de TMN 1" es de:

RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (REAJUSTE)						
f _c (kg/cm ²)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	TOTAL (kg/m ³)
	0.45	402.2	812.3	864.2	181.0	2259.6
	0.50	362.0	841.2	866.6	181.0	2250.8
280		370.3	835.2	866.1	181.0	2252.6
245		342.9	845.9	877.2	181.0	2247.0
210		316.6	874.5	868.6	181.0	2240.7
175		282.2	900.1	869.7	181.0	2233.1
140		259.7	917.1	870.3	181.0	2228.1

La dosificación en volumen corregido por la humedad es de (Cemento:Arena:Piedra:Agua):

INGEOTECON
 ING. VICTOR PORTAL QUICANA
 CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
 CIP: 71239



DOSIFICACION EN VOLUMEN REAJUSTE (C:AF:AG:AGUA lt/bls)					
f'c (kg/cm ²)	Relacion agua/cem. W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)
Durabilidad	0.45	1.0	1.7	2.5	19.0
Durabilidad	0.50	1.0	2.0	2.8	21.0
280	Resistencia	1.0	1.9	2.7	21.0
245	Resistencia	1.0	2.1	3.0	22.5
210	Resistencia	1.0	2.4	3.2	24.0
175	Resistencia	1.0	2.8	3.6	27.0
140	Resistencia	1.0	3.1	3.9	29.5

Para la preparación del concreto se recomienda primero echar el agua luego un 10% aproximadamente de agregado grueso, luego el cemento completando finalmente con los agregados, es aconsejable el uso de cuberas cuando el concreto sea preparado con trompito.

De los ensayos al concreto endurecido.-

Las muestras para ensayos de resistencia en compresión de cada clase de concreto colocado cada día deberán ser tomadas:

- No menos de una muestra de ensayo por día.
- No menos de una muestra de ensayo por cada 50 metros cúbicos de concreto colocado.
- No menos de una muestra de ensayo por cada 300 metros cuadrados de área superficial para pavimentos o losas.

Se recomienda curar tanto en agua sumergida como a pie de obra, e identificadas adecuadamente.



APÉNDICE D. DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO

(MTC E 204 - 2000)

Proyecto : "CONSTRUCCIÓN PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH LOS ROSALES, VILLA SAN CRISTOBAL, ILLACRUZ EN EL DISTRITO DE JESÚS NAZARENO - HUAMANGA - AYACUCHO"

Solicitante : CONSORCIO CONASSA

Region : AYACUCHO

Cantera : MATERIAL PUESTO EN OBRA (CANT_MUYURINA)

Provincia : HUAMANGA

Material : PIEDRA CHANCADA

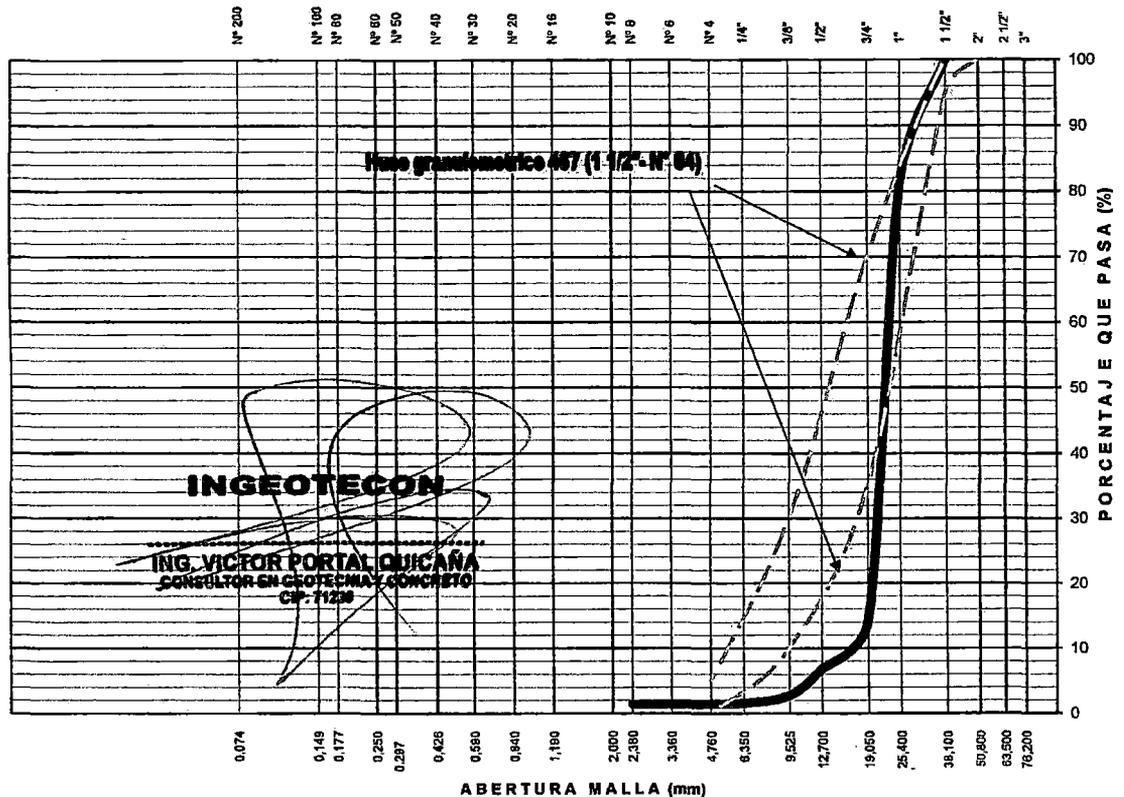
Distrito : JESUS NAZARENO

Fecha : ABRIL DE 2014

Lugar : JESUS NAZARENO

TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	HUSO 467 (1 1/2" N° 4)	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
							PESOS (gr)	
3"	76.200				100.00		Peso seco inicial	2580.0
2 1/2"	63.500				100.00		Peso seco lavado	2571.7
2"	50.800				100.00	100 - 100	Pérdida por lavado	8.3
1 1/2"	38.100				100.00	95 - 100	ENSAYOS ESTÁNDAR	
1"	25.400	481.80	18.67	18.67	81.33		% Grava	98.6
3/4"	19.050	1731.02	67.09	85.77	14.23	35 - 70	% Arena	1.1
1/2"	12.700	189.85	7.36	93.13	6.87		% de Finos	0.3
3/8"	9.525	106.02	4.11	97.24	2.76	10 - 30	D ₁₀ = D _{60(mm)} =	15.3976
1/4"	6.350	30.95	1.20	98.43	1.57		D _{30(mm)} =	20.5423
N° 4	4.760	3.70	0.14	98.58	1.42	0 - 5	D _{60(mm)} =	23.3816
N° 8	2.380	1.18	0.05	98.62	1.38		Cu =	1.52
N° 10	2.000	0.84	0.03	98.66	1.34		Cc =	1.17
N° 16	1.190	4.26	0.17	98.82	1.18		D _{15(mm)} =	19.1226
N° 20	0.840	2.97	0.12	98.94	1.06		D _{50(mm)} =	22.4352
N° 30	0.590	5.44	0.21	99.15	0.85		D _{85(mm)} =	27.8988
N° 40	0.426	3.18	0.12	99.27	0.73		Clasificación SUCS	GP
N° 50	0.297	2.31	0.09	99.36	0.64		GRAVA MAL GRADUADA	
N° 60	0.250	2.04	0.08	99.44	0.56		Tamaño Maximo (Pulg)"	1 1/2
N° 80	0.177	2.55	0.10	99.54	0.46		Tamaño Maximo Nominal (Pulg)"	1
N° 100	0.149	0.95	0.04	99.58	0.42		Gravedad específica	2.54
N° 200	0.075	2.65	0.10	99.68	0.32		Módulo de Fineza	7.77
Lavado		8.3	0.32	100.00	0.00		Superficie específica (cm ² /gr)	3.80
TOTAL		2580.0	100.0					

CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GRUESO



APÉNDICE D. DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO FINO

(MTC E 204-2000)

Proyecto : "CONSTRUCCIÓN PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH LOS ROSALES, VILLA SAN CRISTOBAL, ILLACRUZ EN EL DISTRITO DE JESÚS NAZARENO – HUAMANGA - AYACUCHO"

Solicitante : CONSORCIO CONASSA

Region : AYACUCHO

Cantera : MATERIAL PUESTO EN OBRA (CANT_MUYURINA)

Provincia : HUAMANGA

Material : ARENA

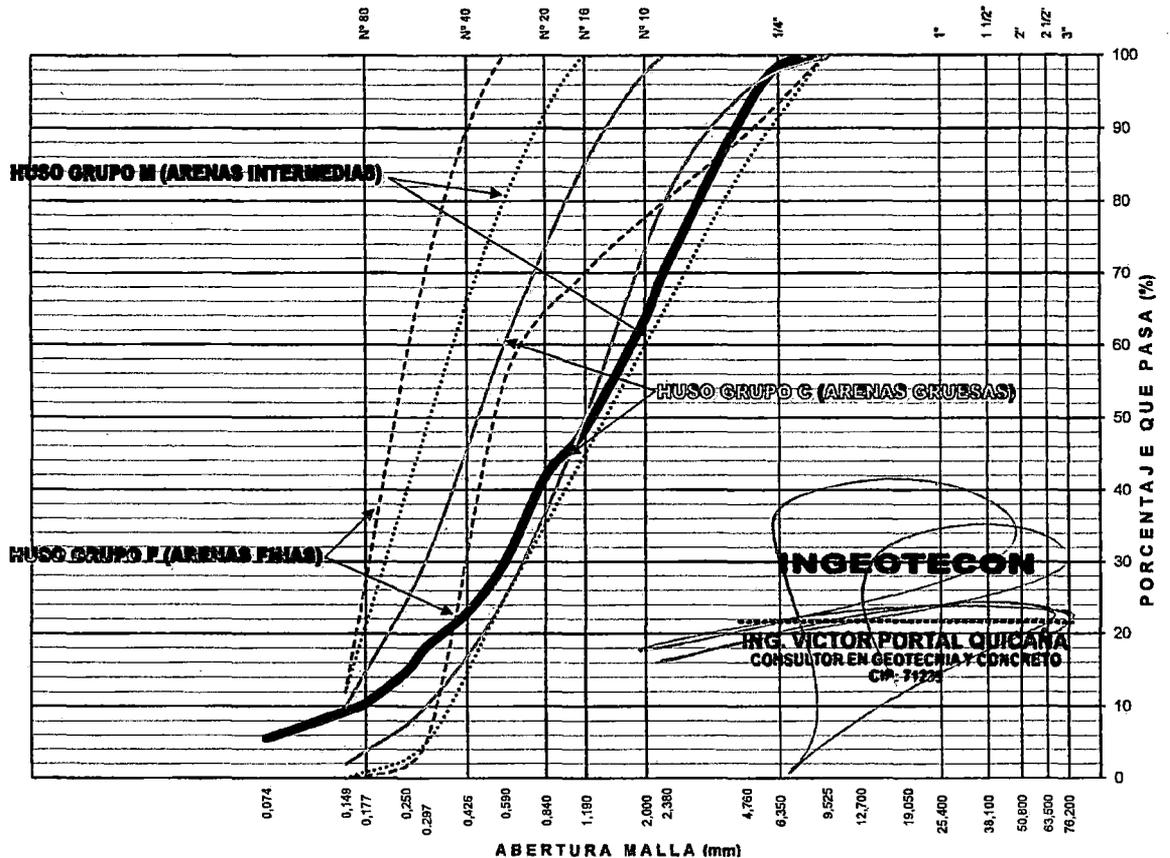
Distrito : JESUS NAZARENO

Fecha : ABRIL DE 2014

Lugar : JESUS NAZARENO

TAMIZ ASTM	Abertura (mm)	PESO (gr) RETENIDO	% RETEN PARCIAL	% RETEN ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIF. LIM. TOTAL	DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO
3"	76.200		-	-	100.00		PESOS (gr)
2 1/2"	63.500		-	-	100.00		
2"	50.800		-	-	100.00		Peso seco inicial 1239.4
1 1/2"	38.100		-	-	100.00		Peso seco lavado 1170.0
1"	25.400		-	-	100.00		Pérdida por lavado 69.4
3/4"	19.050		-	-	100.00		ENSAYOS ESTÁNDAR
1/2"	12.700		-	-	100.00		
3/8"	9.525		-	-	100.00	100	% Arena 86.9
1/4"	6.350	18.57	1.50	1.50	98.50		% de Finos 5.6
Nº 4	4.760	74.87	6.04	7.54	92.46	89 - 100	D ₁₀ = D _{ef(mm)} = 0.1662
Nº 8	2.380	269.17	21.72	29.26	70.74	65 - 100	D ₃₀ = 0.5918
Nº 10	2.000	88.14	7.11	36.37	63.63		D _{60(mm)} = 1.8050
Nº 16	1.190	187.00	15.09	51.46	48.54	45 - 100	Cu = 10.86
Nº 20	0.840	83.42	6.73	58.19	41.81		Cc = 1.17
Nº 30	0.590	147.49	11.90	70.09	29.91	25 - 100	D _{15(mm)} = 0.2547
Nº 40	0.426	86.53	6.98	77.07	22.93		D _{50(mm)} = 1.2681
Nº 50	0.297	60.24	4.86	81.93	18.07	5 - 70	D _{85(mm)} = 3.9424
Nº 60	0.250	42.30	3.41	85.34	14.66		Clasificación SUCS SW
Nº 80	0.177	52.65	4.25	89.59	10.41		ARENA BIEN GRADUADA
Nº 100	0.149	13.26	1.07	90.66	9.34	0 - 12	
Nº 200	0.075	46.38	3.74	94.40	5.60		Módulo de Fineza 3.31
Lavado		69.4	5.60	100.00	0.00		Superficie específica (cm ² /gr) 72.4
TOTAL		1,239.42	100.00				

CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO FINO (ARENA)



APÉNDICE D. DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GLOBAL

Proyecto : "CONSTRUCCIÓN PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH LOS ROSALES, VILLA SAN CRISTOBAL, ILLACRUZ EN EL DISTRITO DE JESÚS NAZARENO - HUAMANGA - AYACUCHO"

Solicitante : CONSORCIO CONASSA

Region : AYACUCHO

Cantera : MATERIAL PUESTO EN OBRÁ (CANT. MUYYURINA)

Provincia : HUAMANGA

Material : AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO

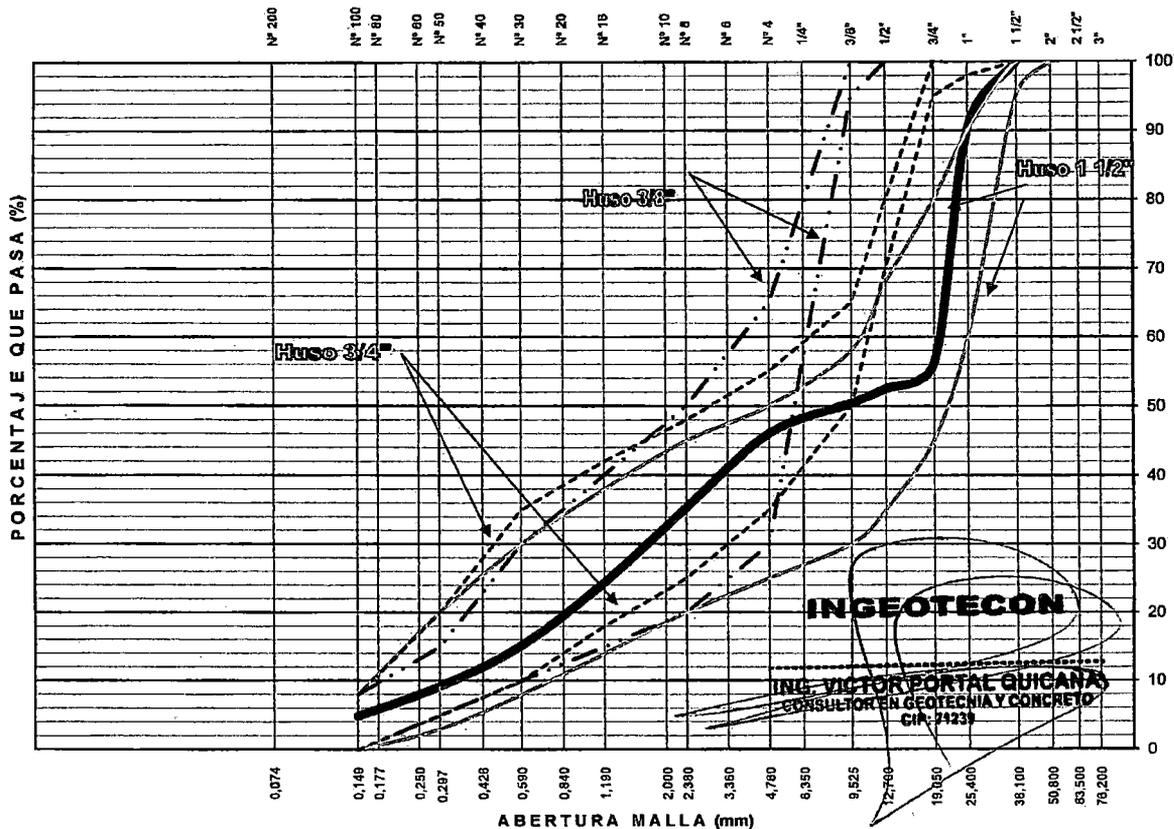
Distrito : JESUS NAZARENO

Fecha : ABRIL DE 2014

Lugar : JESUS NAZARENO

	TAMIZ	ABERTURA	% PASA (A.	% PASA (A.	% RETEN	% QUE	ESPECIF.		DATOS DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	
	ASTM	(mm)	GRUESO)	FINO)	ACUMULADO	PASA	M450	L11/2"		
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO	3"	76.200	100.00	100.00	0.0	100.00			RESULTADOS	
	2 1/2"	63.500	100.00	100.00	0.0	100.00			% Grava	54.0
	2"	50.800	100.00	100.00	0.0	100.00	100	100	% Arena	43.1
	1 1/2"	38.100	100.00	100.00	0.0	100.00	95	100	% de Finos	2.9
	1"	25.400	81.33	100.00	9.5	90.48	60	90	D ₁₀ = D _{0(mm)} =	0.3405
	3/4"	19.050	14.23	100.00	43.7	56.26	45	80	D _{30(mm)} =	1.7980
	1/2"	12.700	6.87	100.00	47.5	52.51	35	68	U _{60(mm)} =	19.7443
	3/8"	9.525	2.76	100.00	49.6	50.41	30	58	Cu =	58.0
	1/4"	6.350	1.57	98.50	50.9	49.06	-	-	Cc =	0.5
	Nº 4	4.760	1.42	92.46	54.0	46.03	25	50	D _{15(mm)} =	0.5856
	Nº 8	2.380	1.38	70.74	64.6	35.37	20	45	D _{50(mm)} =	8.5578
	Nº 10	2.000	1.34	63.63	68.1	31.86	-	-	D _{85(mm)} =	24.3838
	Nº 16	1.190	1.18	48.54	75.6	24.39	14	38	Clasificación SUCS	GP
	Nº 20	0.840	1.06	41.81	79.0	21.03	-	-	GRAVA MAL GRADUADA CON	
	Nº 30	0.590	0.85	29.91	84.9	15.09	8	30	ARENA	
	Nº 40	0.426	0.73	22.93	88.4	11.61	-	-	Tamaño Maximo	1 1/2"
	Nº 50	0.297	0.64	18.07	90.8	9.18	3	20	Tamaño Maximo Nominal	1"
	Nº 60	0.250	0.56	14.66	92.5	7.47	-	-	Módulo de Fineza	5.58
	Nº 80	0.177	0.46	10.41	94.7	5.34	-	-	% según analisis del Agregado Global	
	Nº 100	0.149	0.42	9.34	95.2	4.79	-	-	% del Agregado Grueso	51.0
Nº 200	0.075	0.32	5.60	97.1	2.91	-	-	% del Agregado fino	49.0	

CURVA GRANULOMÉTRICA DEL AGREGADO GLOBAL



APÉNDICE D. DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN



PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS

Proyecto : "CONSTRUCCIÓN PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH LOS ROSALES, VILLA SAN CRISTOBAL, ILLACRUZ EN EL DISTRITO DE JESÚS NAZARENO – HUAMANGA - AYACUCHO"

Solicitante : CONSORCIO CONASSA Region : AYACUCHO
 Cantera : MATERIAL PUESTO EN OBRA (CANT_MUYURINA) Provincia : HUAMANGA
 Material : AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO Distrito : JESUS NAZARENO
 Fecha : ABRIL DE 2014 Lugar : JESUS NAZARENO

AGREGADO GRUESO (MTC E 206 - 2000, NTP 400.021)

OBJETIVO: Obtencion de los Pesos Especificos aparente y nominal, asi como la absorcion despues de 24 horas de sumergidos en agua.

DEFINICIONES: En un solido permeable, si se incluye en su volumen la parte de vacios accesibles al agua en las condiciones que se establezcan, se define el volumen denominado aparente, si se excluye este volumen de vacios al volumen resultante, se le denomina nominal.

IDENTIFICACIÓN		ENSAYO Nº 01	ENSAYO Nº 02	ENSAYO Nº 03	PROMEDIO
A	Peso en el aire de la muestra seca (gr)	478,80	423,90		
B	Peso en el aire de la muestra SSS (gr)	489,30	431,30		
C	Peso sumergido en agua de la muestra SSS (gr)	300,00	265,60		
	Peso Especifico Aparente = A/(B-C)	2.53	2.56		2.54
	Peso Especifico Aparente SSS = B/(B-C)	2.58	2.60		2.59
	Peso Especifico Nominal = A/(A-C)	2.68	2.68		2.68
	% de Absorción = ((B - A)/A) x 100	2.19	1.75		1.97

AGREGADO FINO (MTC E 205 - 2000)

IDENTIFICACIÓN		ENSAYO Nº 01	ENSAYO Nº 02	ENSAYO Nº 03	PROMEDIO
A	Peso al aire de la muestra secada (gr)	115.10	60.72		
B	Peso del Picnometro aforado lleno de agua (gr)	656.07	345.15		
C	Peso del Picnometro con la muestra y agua (gr)	730.12	384.33		
D	Peso de la muestra en SSS (gr)	121.86	64.10		
	Peso Especifico Aparente = A/(B-C+S)	2.41	2.44		2.42
	Peso Especifico Aparente SSS = S/(B-C+S)	2.55	2.57		2.56
	Peso Especifico Nominal = A/(A-C+B)	2.80	2.82		2.81
	% de Absorción = ((S - A)/A) x 100	5.87	5.57		5.72

Porcentaje Retenido en la Malla Nº4 (%)	53.97
Porcentaje que pasa la Malla Nº4 (%)	46.03
Gravedad especifica de los sólidos	2.49

Asociación Covadonga Mz P-2 lote 8 - Ayacucho, Cel: 999402095, RPM: #893444, FIJO: 066318525, INGEOTECVPQ@HOTMAIL.COM

INGEOTECON

ING. VICTOR PORTAL QUICANA
 CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
 CIP: 71239

APÉNDICE D. DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN

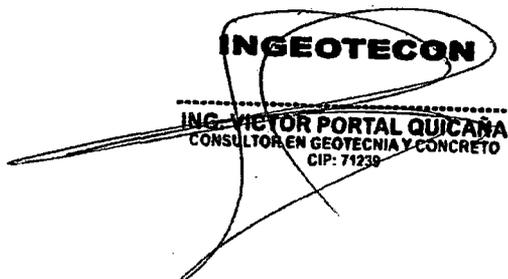


Proyecto : "CONSTRUCCIÓN PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH LOS ROSALES, VILLA SAN CRISTOBAL, ILLACRUZ EN EL DISTRITO DE JESÚS NAZARENO - HUAMANGA - AYACUCHO"
Solicitante : CONSORCIO CONASSA **Region** : AYACUCHO
Cantera : MATERIAL PUESTO EN OBRA (CANT_MUYURINA) **Provincia** : HUAMANGA
Material : AGREGADO GRUESO Y FINO **Distrito** : JESUS NAZARENO
Fecha : ABRIL DE 2014 **Lugar** : JESUS NAZARENO

PORCENTAJE DE VACIOS			
IDENTIFICACIÓN		Agregado Grueso	Agregado Fino
A	Peso Unitario Suelto Seco (gr/cm ³)	1,366	1,636
B	Peso Unitario Compactado Seco (gr/cm ³)	1,475	1,768
C	Gravedad Especifica de Masa	2.54	2.42
D	Peso de los Solidos (gr)	2,544	2,422
Porcentaje de Vacios (%) Agregado suelto		45.5	32.4
Porcentaje de Vacios (%) Agregado varillado		42.0	27.0
CONTENIDO DE HUMEDAD, ABSORCION EFECTIVA Y HUMEDAD SUPERFICIAL			
IDENTIFICACIÓN		Agregado Grueso	
A	Peso Humedo de la muestra (gr)	119.67	124.66
B	Peso Seco de la muestra (gr)	118.56	123.54
C	Peso del agua en la muestra (gr)	1.11	1.12
D	% de absorcion		2.17
Contenido de Humedad (%)		0.94	0.91
Contenido de Humedad (%)			0.92
Absorcion Efectiva (%)			1.25
Humedad Superficial (%)			-
IDENTIFICACIÓN		Agregado Fino	
A	Peso Humedo de la muestra (gr)	77.95	67.51
B	Peso Seco de la muestra (gr)	75.40	65.31
C	Peso del agua en la muestra (gr)	2.55	2.20
D	% de absorcion		3.95
Contenido de Humedad (%)		3.38	3.37
Contenido de Humedad (%)			3.38
Absorcion Efectiva (%)			0.57
Humedad Superficial (%)			-

Nota: El agregado fue muestreado en obra, cuya humedad en ese momento fue la que se determina

Asociación Covadonga Mz P-2 lote 8 - Ayacucho, Cel: 999402095, RPM: #893444, FJJO: 086318525, INGEOTECVPQ@HOTMAIL.COM


INGEOTECON
ING. VICTOR PORTAL QUICANA
 CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
 CIP: 71239



DISEÑOS

APÉNDICE D. DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN



DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

Proyecto : "CONSTRUCCIÓN PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH LOS ROSALES, VILLA SAN CRISTOBAL, ILLACRUZ EN EL DISTRITO DE JESÚS NAZARENO – HUAMANGA - AYACUCHO"

Solicitante : CONSORCIO CONASSA Region : AYACUCHO

Cantera : MATERIAL PUESTO EN OBRA (CANT_MUYURINA) Provincia : HUAMANGA

Material : AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO Distrito : JESUS NAZARENO

Fecha : ABRIL DE 2014 Lugar : JESUS NAZARENO

DATOS DE LOS AGREGADOS

CARACTERISTICA	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
CANTERA	MATERIAL PUESTO EN OBRA (CANT_MUY)	MATERIAL PUESTO EN OBRA (CANT_MUY)
MATERIAL	PIEDRA CHANCADA	ARENA
PERFIL	ANGULAR	ZARANDEADO
PUS (kg/m3)	1386	1636
PUCS (kg/m3)	1475	1768
PESO ESPECIFICO NOMINAL	2.54	2.42
PESO ESPECIFICO APARENTE	2.68	2.81
ABSORCION (%)	1.97	5.72
HUMEDAD (%)	0.92	3.38
MODULO DE FINEZA	7.77	3.31
TAMAÑO MAXIMO	1 1/2 "	--
TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	1 "	--
PUSH (kg/m3)	1399	1692

DATOS DEL CEMENTO

MARCA	ANDINO
TIPO	PORTLAND TIPO I
PESO ESPECIFICO	3.12

INGEOTECON

ING. VICTOR PORTAL QUICANA
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
CIP: 7173

RESISTENCIA PROMEDIO f_{cr}

RESISTENCIA DE DISEÑO f _c (kg/cm2)	280	f _{cr} =	364 kg/cm2
RESISTENCIA DE DISEÑO f _c (kg/cm2)	245	f _{cr} =	329 kg/cm2
RESISTENCIA DE DISEÑO f _c (kg/cm2)	210	f _{cr} =	294 kg/cm2
RESISTENCIA DE DISEÑO f _c (kg/cm2)	175	f _{cr} =	245 kg/cm2
RESISTENCIA DE DISEÑO f _c (kg/cm2)	140	f _{cr} =	210 kg/cm2

ASENTAMIENTO

MEZCLA SECA	0"-2"	
MEZCLA PLASTICA	3"-4"	CONSISTENCIA: 3"-4" PLASTICA
MEZCLA FLUIDA	>5"	

CONTENIDO DE AIRE

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	1.00 "	AIRE ATRAPADO	1.5 %
-----------------------	--------	---------------	-------

VOLUMEN UNITARIO DE AGUA

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL	1.00 "		
ASENTAMIENTO	3"-4"	VOLUMEN UNITARIO DE AGUA =	181 l/m3

RELACION AGUA/CEMENTO W/C Y FACTOR CEMENTO

f _c (kg/cm2)	f _{cr} (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg/m3)	FACTOR CEMENTO (bl/m3)	VOLUMEN ABSOLUTO (m3)
		0.45	402.2	9.5	0.1289
		0.50	362.0	8.5	0.1160
280	364	0.49	370.3	8.7	0.1187
245	329	0.53	342.9	8.1	0.1099
210	294	0.57	316.6	7.4	0.1015
175	245	0.64	282.2	6.6	0.0905
140	210	0.70	259.7	6.1	0.0832

APÉNDICE D. DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN



DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

Proyecto : "CONSTRUCCIÓN PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH LOS ROSALES, VILLA SAN CRISTOBAL, ILLACRUZ EN EL DISTRITO DE JESÚS NAZARENO - HUAMANGA - AYACUCHO"

Solicitante : CONSORCIO CONASSA Region : AYACUCHO

Cartera : MATERIAL PUESTO EN OBRA (CANT_MUYURINA) Provincia : HUAMANGA

Material : AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO Distrito : JESUS NAZARENO

Fecha : ABRIL DE 2014 Lugar : JESUS NAZARENO

SELECCIÓN DE LOS AGREGADOS							
w/c o f'c (kg/cm ²)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO (m ³)	METODO A.C.I		MODULO DE FINEZA		AGREGADO GLOBAL	
		VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO GRUESO (m ³)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO FINO (m ³)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO GRUESO (m ³)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO FINO (m ³)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO GRUESO (m ³)	VOLUMEN ABSOLUTO DEL AGREGADO FINO (m ³)
0.45	0.675	0.359	0.316	0.335	0.340	0.344	0.331
0.50	0.688	0.359	0.316	0.330	0.358	0.351	0.337
280	0.685	0.359	0.316	0.331	0.354	0.350	0.336
245	0.694	0.359	0.316	0.336	0.358	0.354	0.340
210	0.703	0.359	0.316	0.325	0.378	0.358	0.344
175	0.714	0.359	0.316	0.320	0.394	0.364	0.350
140	0.721	0.359	0.316	0.317	0.404	0.368	0.353

VOLUMEN DEL AGREGADO GRUESO, SECO Y COMPACTADO POR M3 DEL CONCRETO= 0.619

MODULO DE FINEZA DEL AGREGADO FINO 3.31

TAMAÑO MAXIMO NOMINAL DEL AGREGADO GRUESO 1.00 "

MODULO DE FINEZA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS m

Durabilidad / f'c (kg/cm ²)	FACTOR CEMENTO (bl/m ³)	m	Porcentaje de agregado fino (%)	Porcentaje de agregado grueso (%)
w/c=0.45	9.5	5.52	50.4	49.6
w/c=0.50	8.5	5.45	52.0	48.0
280	8.7	5.47	51.6	48.4
245	8.1	5.42	52.7	47.3
210	7.4	5.37	53.8	46.2
175	6.6	5.31	55.2	44.8
140	6.1	5.27	56.1	43.9

INGEOTECON

ING. VICTOR PORTAL QUICANA
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
CIP: 71239

METODO DEL AGREGADO GLOBAL

% del Agregado Grueso 51.0 %

% del Agregado fino 49.0 %

RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL ACI)

f'c (kg/cm ²)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	TOTAL (kg/m ³)
	0.45	402.2	765.8	913.0	181.0	2262.0
	0.50	362.0	765.8	913.0	181.0	2221.8
280		370.3	765.8	913.0	181.0	2230.1
245		342.9	765.8	913.0	181.0	2202.7
210		316.6	765.8	913.0	181.0	2176.4
175		282.2	765.8	913.0	181.0	2142.0
140		259.7	765.8	913.0	181.0	2119.4

APÉNDICE D. DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN



DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

Proyecto : "CONSTRUCCIÓN PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH LOS ROSALES, VILLA SAN CRISTOBAL, ILLACRUZ EN EL DISTRITO DE JESÚS NAZARENO - HUAMANGA - AYACUCHO"

Solicitante : CONSORCIO CONASSA Region : AYACUCHO

Cantera : MATERIAL PUESTO EN OBRA (CANT_MUYURINA) Provincia : HUAMANGA

Material : AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO Distrito : JESUS NAZARENO

Fecha : ABRIL DE 2014 Lugar : JESUS NAZARENO

RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL MODULO DE FINURA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	402.2	823.4	852.5	181.0	2259.1
	0.50	362.0	865.9	840.6	181.0	2249.5
280		370.3	857.1	843.1	181.0	2251.5
245		342.9	868.0	853.9	181.0	2245.9
210		316.6	915.2	825.8	181.0	2238.7
175		282.2	953.4	813.8	181.0	2230.4
140		259.7	978.8	805.5	181.0	2225.0

RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL AGREGADO GLOBAL)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	402.2	801.2	875.8	181.0	2260.2
	0.50	362.0	816.5	892.5	181.0	2252.0
280		370.3	813.3	889.1	181.0	2253.7
245		342.9	823.7	900.5	181.0	2248.1
210		316.6	833.7	911.4	181.0	2242.8
175		282.2	846.8	925.7	181.0	2235.7
140		259.7	855.4	935.1	181.0	2231.2

RESUMEN DE MATERIALES HUMEDOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL ACI)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	402.2	791.6	921.4	208.5	2323.8
	0.50	362.0	791.6	921.4	208.5	2283.5
280		370.3	791.6	921.4	208.5	2291.8
245		342.9	791.6	921.4	208.5	2264.5
210		316.6	791.6	921.4	208.5	2238.2
175		282.2	791.6	921.4	208.5	2203.8
140		259.7	791.6	921.4	208.5	2181.2

RESUMEN DE MATERIALES HUMEDOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL MODULO DE FINURA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	402.2	851.1	860.4	209.2	2323.0
	0.50	362.0	895.2	848.3	210.1	2315.6
280		370.3	886.0	850.9	209.9	2317.1
245		342.9	897.3	861.8	210.3	2312.4
210		316.6	946.1	833.5	211.1	2307.3
175		282.2	985.6	821.3	211.9	2301.0
140		259.7	1011.8	812.9	212.4	2296.8

ING. VICTOR PORTAL GUICANA
CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
CIP: 71239

APÉNDICE D. DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN



DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

Proyecto : "CONSTRUCCIÓN PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH LOS ROSALES, VILLA SAN CRISTOBAL, ILLACRUZ EN EL DISTRITO DE JESÚS NAZARENO - HUAMANGA - AYACUCHO"

Solicitante : CONSORCIO CONASSA Region : AYACUCHO

Cantera : MATERIAL PUESTO EN OBRA (CANT_MUYURINA) Provincia : HUAMANGA

Material : AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO Distrito : JESUS NAZARENO

Fecha : ABRIL DE 2014 Lugar : JESUS NAZARENO

RESUMEN DE MATERIALES HUMEDOS POR M3 DE CONCRETO (METODO DEL AGREGADO GLOBAL)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	402.2	828.2	883.9	209.0	2323.3
	0.50	362.0	844.0	900.8	209.5	2316.3
280		370.3	840.8	897.3	209.4	2317.7
245		342.9	851.5	908.7	209.7	2313.0
210		316.6	861.9	919.8	210.1	2308.4
175		282.2	875.4	934.2	210.6	2302.4
140		259.7	884.3	943.7	210.9	2298.5

RESUMEN DE MATERIALES SECOS POR M3 DE CONCRETO (REAJUSTE)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	402.2	812.3	864.2	181.0	2259.6
	0.50	362.0	841.2	866.6	181.0	2250.8
280		370.3	835.2	866.1	181.0	2252.6
245		342.9	845.9	877.2	181.0	2247.0
210		316.6	874.5	868.6	181.0	2240.7
175		282.2	900.1	869.7	181.0	2233.1
140		259.7	917.1	870.3	181.0	2228.1

DOSIFICACION EN PESO SECO (C:AF:AG:AGUA lt/bls)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)
	0.45	1.00	2.02	2.15	19.1
	0.50	1.00	2.32	2.39	21.3
280		1.00	2.26	2.34	20.8
245		1.00	2.47	2.56	22.4
210		1.00	2.76	2.74	24.3
175		1.00	3.19	3.08	27.3
140		1.00	3.53	3.35	29.6

RESUMEN DE MATERIALES HUMEDOS POR M3 DE CONCRETO (REAJUSTE)

f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO (kg)	AGREGADO FINO (kg)	AGREGADO GRUESO (kg)	AGUA (lt)	TOTAL (kg/m3)
	0.45	402.2	839.7	872.1	209.1	2323.1
	0.50	362.0	869.6	874.5	209.8	2315.9
280		370.3	863.4	874.1	209.7	2317.4
245		342.9	874.4	885.3	210.0	2312.7
210		316.6	904.0	876.6	210.6	2307.8
175		282.2	930.5	877.8	211.2	2301.7
140		259.7	948.1	878.3		

INGEOTECON
 ING. VICTOR PORTAL QUICANA
 CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
 CIP: 71239

APÉNDICE D. DISEÑO DE MEZCLA DEL PROYECTO EN APLICACIÓN



DISEÑO DE MEZCLA DE CONCRETO

Proyecto : "CONSTRUCCIÓN PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH LOS ROSALES, VILLA SAN CRISTOBAL, ILLACRUZ EN EL DISTRITO DE JESÚS NAZARENO - HUAMANGA - AYACUCHO"

Solicitante : CONSORCIO CONASSA Region : AYACUCHO
 Cantera : MATERIAL PUESTO EN OBRA (CANT_MUYURINA) Provincia : HUAMANGA
 Material : AGREGADO GRUESO Y AGREGADO FINO Distrito : JESUS NAZARENO
 Fecha : ABRIL DE 2014 Lugar : JESUS NAZARENO

DOSIFICACION EN PESO HUMEDO (C:AF:AG:AGUA lt/bls)					
f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)
	0.45	1.00	2.09	2.17	22.1
	0.50	1.00	2.40	2.42	24.6
280		1.00	2.33	2.36	24.1
245		1.00	2.55	2.58	26.0
210		1.00	2.86	2.77	28.3
175		1.00	3.30	3.11	31.8
140		1.00	3.65	3.38	34.6

DOSIFICACION EN VOLUMEN (C:AF:AG:AGUA lt/bls)					
f'c (kg/cm2)	W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)
Durabilidad	0.45	1.0	1.85	2.33	22.1
Durabilidad	0.50	1.0	2.13	2.59	24.6
280	Resistencia	1.0	2.07	2.53	24.1
245	Resistencia	1.0	2.26	2.77	26.0
210	Resistencia	1.0	2.53	2.97	28.3
175	Resistencia	1.0	2.92	3.34	31.8
140	Resistencia	1.0	3.24	3.63	34.6

DOSIFICACION EN VOLUMEN REAJUSTE (C:AF:AG:AGUA lt/bls)					
f'c (kg/cm2)	Relacion agua/cem. W/C	CEMENTO	AGREGADO FINO AF	AGREGADO GRUESO AG	AGUA (lt/bls)
Durabilidad	0.45	1.0	1.7	2.5	19.0
Durabilidad	0.50	1.0	2.0	2.8	21.0
280	Resistencia	1.0	1.9	2.7	21.0
245	Resistencia	1.0	2.1	3.0	22.5
210	Resistencia	1.0	2.4	3.2	24.0
175	Resistencia	1.0	2.8	3.6	27.0
140	Resistencia	1.0	3.1	3.9	29.5

INGEOTECÓN

ING. VICTOR PORTAL QUICANA
 CONSULTOR EN GEOTECNIA Y CONCRETO
 C.P. 71239

Apéndice E

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS DEL PROYECTO EN APLICACIÓN

APÉNDICE E. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS
DEL PROYECTO EN APLICACIÓN

 (43)  WAGECONS S.R.L.	
CONTROL DE CALIDAD DE (RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS)	
SOLICITA	
CONSORCIO CONASSA	
PROYECTO	
 ZATT CONSULTORES Y CONTRATISTA GENERALES SRL	CONSTRUCCIÓN DE PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH. VILLA SAN CRISTOBAL, LOS ROSALES E ILLACRUZ, DEL DISTRITO DE JESÚS NAZARENO, PROVINCIA DE HUAMANGA - AYACUCHO.
UBICACIÓN:	
LUGAR	VILLAS
DISTRITO	BUS NAZARENO
PROVINCIA	HUAMANGA
DEPARTAMENTO	AYACUCHO
AYACUCHO - PERU	
MARZO DEL 2015	
<small>INFORME TÉCNICO N° 002/JESUS-GAZ/2015</small>	

**APÉNDICE E. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS
DEL PROYECTO EN APLICACIÓN**

VAZ T GEOTEST SRL
ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES
(RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS)

35

ENSAYO 04 Resistencia a la Compresión del Concreto

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

NORMAS ASTM C 39 / AASHTO T 22 / MTC E 704 - 2000

Obra : CONSTRUCCIÓN DE PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH, VILLA SAN CRISTÓBAL, LOS ROSALES E ILLACRUZ, DISTRITO DE JESÚS NAZARENO – HUAMANGA – AYACUCHO

Solicitante : CONSORCIO CONASSA Dep. : AYACUCHO

Muestra : PROBETAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO Provincia : HUAMANGA

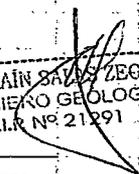
Fecha : Marzo del 2015 Distrito : JESÚS NAZARENO

Lugar : VILLA SAN CRISTÓBAL

Nº	ESTRUCTURA DE PROCEDENCIA	IDENTIFICACION	FECHA DE MOLDEO	A DE DISEÑO	FECHA DE ROTURA	EDAD (Días)	LECTURA ESPECÍMENE	LECTURA EN (KN)	LECTURA EN (KG.)	RESISTENCIA DEL ESPECÍMENE (Kg/cm²)	RESISTENCIA (%)
01	Jr. Primavera (Pavimento 0+000 - 0+008.70)	M-1	13/01/15	175.00	27/01/15	14	15.1	309.12	31,521.47	176.03	100.59%

CONSIDERACIONES:

-- Los testigos de concreto han sido preparados en obra por el solicitante.


JAIME EFRAÍN SAAVEDRA ZEGARRA
 INGENIERO GEÓLOGO
 C.I.R. Nº 21291

TÉCNICO LABORATORISTA

VAZ T GEOTEST CONSULTORES Y


 JEFE DE LABORATORIO

OBRA: CONSTRUCCIÓN DE PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH, VILLA SAN CRISTOBAL, LOS ROSALES E ILLACRUZ, DISTRITO DE JESÚS NAZARENO – HUAMANGA – AYACUCHO.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

Dirección: Jr. Celedonio IP 315 / San Juan Bautista / Ayacucho.

Teléfonos: 055 - 316306 RPN # 894077 - 956-188922 RPN # 599026 - 966-915554 RPN # 07288811- 886-5018311

APÉNDICE E. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS DEL PROYECTO EN APLICACIÓN

VAZ T GEOTEST SRL
ENSAYOS DE CONTROL DE CALIDAD DE MATERIALES
 (RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS CONCRETOS)

34

ENSAYO 05 Resistencia a la Compresión del Concreto

ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

NORMAS ASTM C 39 / AASHTO T 22 / MTC E 704 - 2000

Obra : CONSTRUCCIÓN DE PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH. VILLA SAN CRISTÓBAL, LOS ROSALES E ILLACRUZ, DISTRITO DE JESÚS NAZARENO - HUAMANGA - AYACUCHO
 Solicitante : CONSORCIO CONASSA Dep. : AYACUCHO
 Muestra : PROBETAS CILÍNDRICAS DE CONCRETO Provincia : HUAMANGA
 Fecha : Marzo del 2015 Distrito : JESÚS NAZARENO
 Lugar : VILLA SAN CRISTÓBAL

Nº	ESTRUCTURA DE PROCEDENCIA	IDENTIFICACION	FECHA DE MOLDEO	A DE DISEÑO	FECHA DE ROTURA	EDAD (Días)	DIÁMETRO O ESPECÍMEN (mm)	LECTURA A (KN)	LECTURA EN (Kg)	RESISTENCIA DEL ESPECÍMEN (Kg/cm²)	RESISTENCIA A (%)
01	Jr. Primavera (Pavimento 0+000 - 0+008.70)	M-1	13/01/15	210.00	20/01/15	7	15.0	365.00	37,219.64	210.63	100.30%
02	Jr. Cabayales (Pavimento Vereda 0+190 - 0+193)	M-1	15/01/15	210.00	22/01/15	7	15.0	364.80	37,199.25	210.51	100.24%
03	Jr. Cabayales (Pavimento Vereda 0+209 - 0+212)	M-1	15/01/15	210.00	22/01/15	7	15.1	378.20	38,565.67	215.36	102.55%
04	Jr. Bastidas (Pavimento Vereda 0+130 - 0+137)	M-1	16/01/15	210.00	23/01/15	7	15.1	370.21	37,750.91	210.81	100.39%
05	Jr. Acuña (Muro - Vereda) 0+090 - 0+091.70)	M-1	17/01/15	210.00	24/01/15	7	15.1	380.00	38,749.22	216.39	103.04%
06	Jr. Los Limos (Muros - fondo de Alcantarilla 0+028.30)	M-1	19/01/15	210.00	26/01/15	7	15.1	380.21	38,770.63	216.51	103.10%
07	Jr. San Cristobal (Pavimento Vereda 0+290 - 0+293.70)	M-1	20/01/15	210.00	27/01/15	7	15.1	378.51	38,597.28	215.54	102.64%
08	Jr. Los Lirios (Zapata de Muro Escaleras 0+080)	M-1	22/01/15	210.00	29/01/15	7	15.1	378.24	38,569.75	215.39	102.56%
09	Jr. Primavera (Sardinela Vereda 0+000 - 0+008.70)	M-1	23/01/15	210.00	30/01/15	7	15.1	377.26	38,469.81	214.83	102.30%

CONSIDERACIONES:

- Los testigos de concreto han sido preparados en obra por el solicitante.

JAIME EFRAÍN SILLAS ZEGARRA
 INGENIERO GEÓLOGO
 C.I.R. N° 21291

TÉCNICO LABORATORISTA

VAZ T GEOTEST CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES S.R.L.

Diego Vargas Diguán
 INGENIERO GEÓLOGO

JEFE DE LABORATORIO

OBRA: CONSTRUCCIÓN DE PISTAS Y VEREDAS EN LOS AA.HH. VILLA SAN CRISTOBAL, LOS ROSALES E ILLACRUZ, DISTRITO DE JESÚS NAZARENO - HUAMANGA - AYACUCHO.

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

Dirección: Jr. Calvoa N° 315 / San Juan Bautista / Ayacucho.

Teléfonos: 066 - 316306 RPM # 894077 - 966-138922 RPM # 594026 - 966-945554 RPM # 0236800 - 966-506661

Apéndice F

PANEL FOTOGRAFICO

F.1. Medidas de las Dimensiones del camión C3



Figura F.1: Vista del camión C3

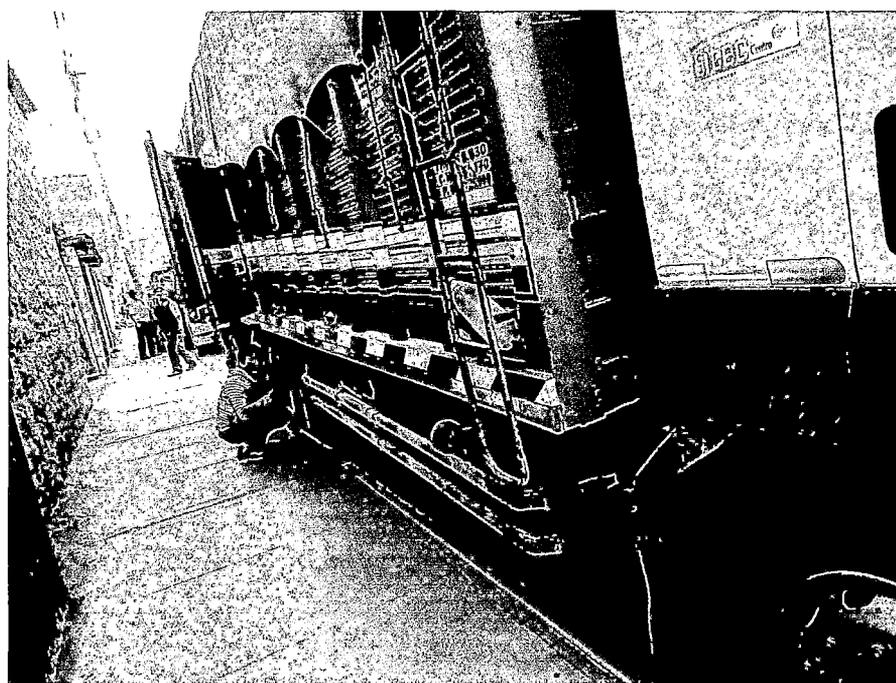


Figura F.2: Medida de la longitud de los ejes delanteros y posteriores del camión C3

F.1. Medidas de las Dimensiones del camión C3



Figura F.3: Indicando la capacidad de carga del camión C3



Figura F.4: Medida de la longitud en el eje tándem del camión C3

F.2. losas del proyecto "Villa San Cristóbal"

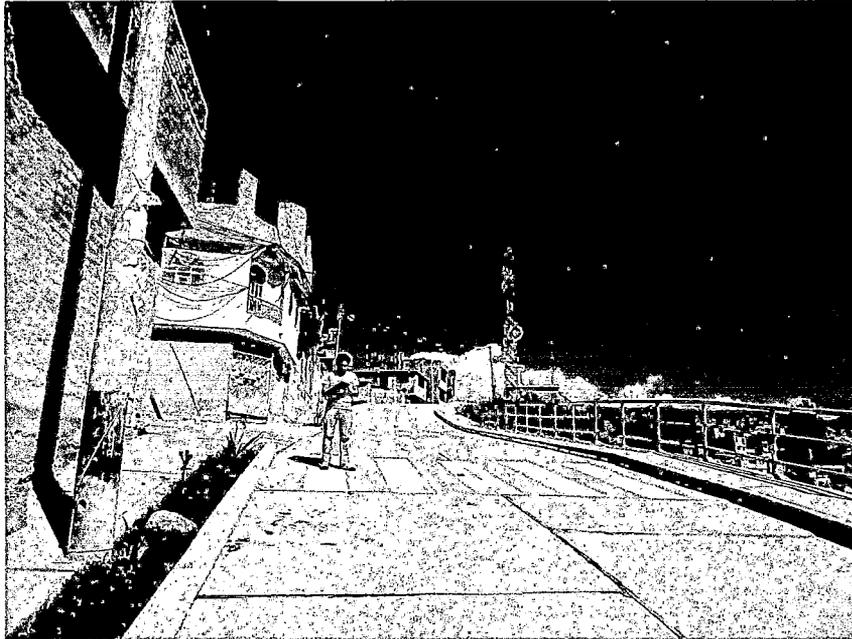


Figura F.5: Medición de las losas del jirón Cabuyales



Figura F.6: Medición de largo de la losa del jirón Cabuyales



Figura F.7: Medición de ancho de la losa del jirón Cabuyales



Figura F.8: Medición de largo de la losa del jirón La Mar



Figura F.9: Medición del Ancho de la losa del jirón Acuña



Figura F.10: Medición de Ancho de la junta