

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“UTILIZACIÓN DE ULTRA-THIN WHITETOPPING COMO MÉTODO DE
REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN LA CIUDAD DE TACNA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO CIVIL**

Presentado por:

Bach. Ing. Civil URETA ESPINOZA YOUNG CARLOS

TACNA - PERÚ

2018

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

TESIS

**“UTILIZACIÓN DE ULTRA-THIN WHITETOPPING COMO MÉTODO
DE REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN LA
CIUDAD DE TACNA”**

Tesis sustentada y aprobada el 10 de setiembre del 2018; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE:



Ing. Pedro Valerio Maquera Cruz

SECRETARIO:



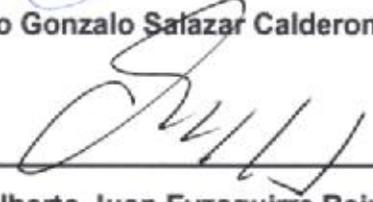
Ing. Martin Paucara Rojas

VOCAL:



Ing. Rolando Gonzalo Sañazar Calderon Juarez

ASESOR:



Ing. Omar Alberto Juan Eyzaguirre Reinoso

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Young Carlos Ureta Espinoza, en calidad de: Bachiller de la Escuela Profesional de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 70615265.

Declaro bajo juramento que:

1. Soy autor de la tesis titulada:
"UTILIZACIÓN DE ULTRA-THIN WHITETOPPING COMO MÉTODO DE REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN LA CIUDAD DE TACNA".
La misma que presento para optar:
EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra y/o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas

pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro y/o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 26 de setiembre del 2018.



Young Carlos Ureta Espinoza

70615265

DEDICATORIA

A mis Padres, Guillermo Sánchez y Lucila Espinoza, por siempre creer en mí y guiarme en mi desarrollo personal y profesional, por darme no sólo el sustento sino una familia y un hogar.

A mi Padre, Favio Ureta y a mi tío Javier Ureta, quienes, a pesar de todo estuvieron en los momentos más dificultosos de mi vida para darme el consejo y el apoyo necesario para salir adelante.

A mis pequeños hermanos Guillermo y Benjamín, porque la responsabilidad que Dios me dio de recorrer, antes que ellos, este camino y el deseo de que ellos lo hagan mejor de lo que yo lo hice significó motivación pura en toda mi vida.

A mi mejor amiga y mi amada Esposa, Melanie López, porque decidió siempre estar a mi lado, sin importar lo difícil que pareciera el camino, por su comprensión y su amor constante.

Y a la persona que le dio sentido a mi vida y a la de mi esposa, mi amado hijo, Eidan Alejandro, porque todo lo que hago y haré siempre será por y para él.

A todos ellos, dedico este trabajo.

Young Carlos Ureta Espinoza

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, por estar siempre para apoyarme y, a pesar de todo, seguir creyendo en mí, por hacer de mí el hombre que hoy soy y porque sin ellos nada de esto sería posible.

A mi amada esposa, por darme el soporte necesario para desarrollar esta investigación, haciendo mucho más de lo que podría pedir de ella.

A mi amado hijo, porque desde que mire sus ojos fue el mayor motivo para desarrollar esta investigación de la mejor manera.

A mi asesor y padre, Ing. Guillermo Sánchez Luque, por su disposición y apoyo incondicional, por su guía en momentos de frustración y porque no le basto ser un excelente padre, sino que fue el mejor asesor.

A mi asesor de tesis, Ing. Omar Eyzaguirre Reinoso, por su apoyo, guía y disposición para despejar todas las dudas que se me presentaron en este camino.

A todos mis Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil que me brindaron los conocimientos para mi desarrollo profesional.

A mis amigos de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, André Enríquez Calderón y Kevin Maquera Taco, porque no olvidare lo que hicieron por mí, porque solo un amigo da de su tiempo, atención y verdadero interés para enseñarte y ayudarte.

Young Carlos Ureta Espinoza

RESUMEN

El trabajo de investigación denominado **“UTILIZACIÓN DE ULTRA-THIN WHITETOPPING COMO MÉTODO DE REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS EN LA CIUDAD DE TACNA”** se ha realizado con la finalidad de proponer el mencionado método de rehabilitación de pavimentos asfálticos para el distrito de Tacna como una alternativa eficiente y definitiva.

El uso de Ultra-Thin Whitetopping permite una rápida rehabilitación de la vía con daños funcionales y estructurales en la carpeta asfáltica existente, ampliando su vida útil, reduciendo los costos de mantenimiento, corrigiendo las deformaciones tanto en los perfiles longitudinales como transversales, optimizando el nivel de servicio y, por ende, alcanzando una mayor comodidad de los usuarios además de la disminución de los costos de operación.

A esta técnica de rehabilitación se le dio por nombre Whitetopping (cubierta blanca). La traducción desde el inglés de esta palabra marca la diferencia entre el color de un pavimento de concreto (blanco) versus a uno de asfalto (negro).

Nótese que, según el espesor de la sobrecapa de concreto, podemos clasificar en tres grupos principales para el uso de esta técnica de rehabilitación de pavimentos asfálticos. Si las capas son mayores a los 20 cm de espesor se refiere a Whitetopping convencional, y si los espesores varían entre los 10 a 20 cm tenemos un Thin Whitetopping (Whitetopping Delgado) y por último al trabajar con espesores menores a 10 cm se denomina Ultra-Thin Whitetopping (Whitetopping Ultra Delgado).

Es imperativo dar a notar que en la presente tesis se ha dado principal énfasis en el tercer grupo de la clasificación mencionada anteriormente, Ultra-Thin Whitetopping, siendo aplicado a la realidad del distrito de Tacna, en las zonas especificadas (Calle Arias y Aragüez y Calle Modesto Molina), y a elaborar un diseño con la finalidad de dar solución según lo mencionado en el segundo párrafo del presente resumen.

La investigación estará enfocada en realizar el análisis previo, que consiste en la evaluación del pavimento existente, así como la revisión del historial de éste con el fin de conocer su comportamiento a través del tiempo; esto nos será de utilidad llegando a conocer valores de diseño importantes que utilizaremos en la etapa del diseño propiamente dicho de la capa de Ultra-Thin Whitetopping. Cabe resaltar que esta etapa previa también nos permitirá conocer que tratamiento previo se le dará al pavimento existente antes de la colocación de la capa de concreto.

Se realizará el diseño del Ultra-Thin Whitetopping mediante las metodologías de la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), la ACPA (American Concrete Pavement Association) y la PCA (Portland Cement Association), que toman como principales factores de diseño la adherencia entre pavimento existente y sobrecarpeta Whitetopping, espesor de la capa UTW y espaciamiento de juntas. El tránsito actual y proyectado es una variable importante a tener en cuenta ya que será la base para definir el espesor de la nueva capa UTW.

A continuación, se procederá con la descripción de buenas prácticas en el proceso constructivo que estarán enfocados principalmente en cumplir con la adherencia entre ambas capas de pavimento tomando como principal indicador que la falla nunca se de en la zona de adherencia sino en la del pavimento deteriorado.

PALABRAS CLAVE: ULTRA-THIN WHITETOPPING; SOBRECARPETA DE CONCRETO; ADHERENCIA CONCRETO/ASFALTO

ABSTRACT

The researched work designated **“UTILIZATION OF ULTRA-THIN WHITETOPPING AS REHABILITATION METHOD OF ASPHALTIC PAVEMENTS IN THE CITY OF TACNA”** has been realized in order to propound the mentioned asphaltic pavements rehabilitation method for the district of Tacna as an efficient and definitive alternative.

The use of Ultra-Thin Whitetopping allows a rapid rehabilitation of the road with functional and structural damage to the existing asphalt layer, extending its useful life, reducing maintenance costs, correcting deformations in both longitudinal and transverse profiles, optimizing the level of service and, therefore, reaching a greater comfort for users in addition to the reduction of operating costs.

This rehabilitation technique was called Whitetopping (white cover). The translation from English of this word makes noticing the difference between the color of a concrete pavement (white) versus an asphalt one (black).

Note that, depending on the thickness of the concrete overlay, we can classify in three main groups for the use of this rehabilitation of asphaltic pavements technique. If the layers are greater than 20 cm thick it refers to conventional Whitetopping, and if the thickness varies between 10 to 20 cm we have a Thin Whitetopping (Thin Whitetopping) and finally when the thickness is less than 10 cm it is called Ultra-Thin Whitetopping (Ultra-Thin Whitetopping).

It is essential to point out that in this thesis the third group of the classification mentioned above was highlighted, Ultra-Thin Whitetopping, which is applied to the reality of the Tacna district, in the specified areas (Arias and Aragüez Street and Modesto Molina Street), and developing a design in order to propound a solution as mentioned in the second paragraph of this abstract.

The research will be focused on carrying out the previous analysis, which consists of the evaluation of the existing pavement, as well as the review of the history of the pavement in order to know its behavior through the time, this information will be useful for us, knowing important design values which we will use in the design stage of the Ultra-Thin Whitetopping layer. Note that, this previous stage will also allow us to know what previous treatment will be given to the existing pavement before the placement of the concrete layer.

The design of the Ultra-Thin Whitetopping will be carried out through AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), ACPA (American Concrete Pavement Association) and PCA (Portland Cement Association) methodologies, which take as main design factors the adherence between existing pavement and Whitetopping overlay, UTW layer thickness and joint spacing. The current and projected traffic is an important variable to take into account because it will be the basis for defining the thickness of the new UTW layer.

Next, we will proceed with the description of good practices in the construction process that will be mainly focused on complying with the adhesion between both layers of pavement, taking as main indicator that the failure is never in the area of adhesion but in the deteriorated area of the pavement.

KEYWORDS: ULTRA-THIN WHITETOPPING; CONCRETE OVERLAY;
ADHESION CONCRETE/ASPHALT

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I : PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1.	FORMULACION DEL PROBLEMA.....	20
1.1.1.	Problema general	20
1.1.2.	Problemas específicos.....	20
1.2.	JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	21
1.3.	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.....	22
1.3.1.	Objetivo general.....	22
1.3.2.	Objetivos específicos.....	22
1.4.	HIPOTESIS	22
1.4.1.	Hipótesis general	22
1.4.2.	Hipótesis específicas	22

CAPÍTULO II : MARCO TEÓRICO

2.1.	ANTECEDENTES DEL ESTUDIO	23
2.2.	BASES TEORICAS	23
2.2.1.	Pavimentos asfálticos.....	23
2.2.2.	Fallas en los pavimentos asfálticos.....	24
2.2.3.	Causantes de fallas en los pavimentos asfálticos	25
2.2.4.	Muestreo de tipos de fallas en pavimentos.....	25
2.3.	CARACTERISTICAS DE TRANSITO	28
2.3.1.	Índice medio diario anual (IMDA)	28
2.3.2.	Composición del Tráfico	29
2.3.3.	Determinación del Tráfico (Aforos o Conteos).....	29
2.3.4.	Intensidad de Trafico	29
2.3.5.	Proyección de Tráfico	29
2.3.6.	Pronósticos del Tránsito Futuro	30

2.3.7. Medidas vehiculares permisibles	30
2.4. WHITETOPPING	33
2.4.1. Tipos de Whitetopping según su espesor	33
2.4.2. Características de un Ultra-Thin Whitetopping	33
2.4.3. Cuándo utilizar Ultra-Thin Whitetopping	35
2.4.4. Ventajas de Ultra-Thin Whitetopping	35
2.5. METODOLOGÍA DE DISEÑO ULTRA-THIN WHITETOPPING	37
2.5.1. Materiales	37
2.5.1.1. Cemento Portland.....	37
2.5.1.2. Agua.....	38
2.5.1.3. Agregado grueso y Agregado fino	38
2.5.1.4. Fibras	38
2.5.1.5. Aditivo	38
2.5.2. Evaluación del pavimento existente.....	39
2.5.3. Indicadores de funcionabilidad Ultra-Thin Whitetopping	42
2.5.3.1. Adherencia.....	42
2.5.3.2. Espaciamiento de juntas	44
2.5.3.3. Espesor de la capa de asfalto existente	45
2.5.4. Metodologías de diseño de la sobrecarpeta	46
2.5.4.1. AASHTO – 93	46
2.5.4.2. American Concrete Pavement Association (ACPA)	47
2.5.4.3. Portland Cement Concrete (PCC).....	53
2.5.5. Control de Calidad de Agregados	54
2.5.5.1. Agregado fino.....	55
2.5.5.2. Agregado grueso	55
2.5.5.3. Absorción y Contenido de Humedad	55
2.5.5.4. Peso específico.....	56

2.5.5.5. Peso unitario compactado seco	56
2.5.6. Fibras (SIKA)	56
2.5.6.1. Fibras sintéticas	57
2.5.6.2. Consideraciones para el uso de fibras	57
2.5.6.3. Beneficios del uso de fibras sintéticas	58
2.5.6.4. Sika Fiber Force PP-65	58
2.6. DEFINICION DE TERMINOS	60

CAPÍTULO III : MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACION	62
3.1.1. Tipo de Investigación	62
3.1.1. Nivel de Investigación	62
3.2. MUESTRA DE ESTUDIO	63
3.2.1. Clima	63
3.2.2. Ubicación geográfica del distrito de Tacna	64
3.2.3. Límites geográficos del distrito de Tacna	65
3.3. COMPOSICION VEHICULAR	66
3.3.1. Análisis de la infraestructura y el transporte	66
3.3.2. Información existente sobre el Tráfico	66
3.3.3. Conteo del Tráfico	67
3.3.4. Cálculo del índice medio diario (IMD)	70
3.3.5. Cálculo del índice medio diario semanal (IMDS)	70
3.3.6. Factores de corrección	70
3.3.7. Índice medio diario anual (IMDA)	70
3.3.8. Vida útil del pavimento	71
3.3.9. Tasa de crecimiento anual	71
3.3.10. Factor de crecimiento	71
3.3.11. Cálculo del número de repeticiones de ejes equivalentes	71

3.4.	DISEÑO DE MEZCLA	75
3.4.1.	Agregado grueso	75
3.4.2.	Agregado fino.....	76
3.4.3.	Cemento Portland.....	77
3.3.4.	Agua.....	77
3.4.5.	Fibra de polipropileno	77
3.4.6.	Dosificación de la mezcla	78
3.5.	VARIABLES PARA EL DISEÑO DE LA SOBRECARPETA ULTRA-THIN WHITETOPPING	79
3.5.1.	Categoría por eje	80
3.5.2.	Serviciabilidad.....	81
3.5.2.1.	Serviciabilidad Inicial (Po)	81
3.5.2.2.	Serviciabilidad Final (Pt).....	81
3.5.3.	Módulo de Rotura a Flexión (M_r).....	83
3.5.4.	Módulo de Elasticidad del Concreto (\mathcal{E}_c)	84
3.5.5.	Coeficiente de Drenaje (C_d).....	84
3.5.6.	Módulo de Reacción de la Subrasante (k).....	86
3.5.7.	Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes (ESALs)	87
3.5.8.	Espaciamiento de Juntas	87
3.5.9.	Coeficiente de Transferencia de Carga (J)	88
3.5.10.	Confiabilidad (R)	89
3.5.11.	Desviación Estándar (SD)	91
3.5.12.	Porcentaje de Tensión Residual	92
3.5.13.	Coeficiente de Dilatación Térmica del Concreto.....	92
3.5.14.	Módulo de Elasticidad del Pavimento Existente	93
3.5.15.	Espesor del Pavimento Existente.....	94
3.6.	DISEÑO DE LA SOBRECARPETA ULTRA-THIN WHITETOPPING	96
3.6.1.	Método de Diseño por AASHTO - 93.....	96

3.6.2. Método de Diseño por American Concrete Pavement Association (ACPA)	99
3.6.3. Método de Diseño por Portland Cement Concrete (PCC).....	102
3.6.4. Espesor de la Sobrecarpeta Ultra-Thin Whitetopping	105
3.7. PROCESO CONSTRUCTIVO	106
3.7.1. Trabajos Previos	111
3.7.2. Fresado	111
3.7.3. Limpieza del pavimento asfáltico	112
3.7.4. Empañamiento del Terreno	112
3.7.5. Colocación del Concreto	113
3.7.6. Texturizado del Concreto	115
3.6.7. Curado del Concreto.....	115
3.7.8. Aserradura de Juntas	116

CAPÍTULO IV : COSTOS Y PRESUPUESTOS

4.1. PARTIDAS	118
4.2. RECURSOS	118
4.2.1. Mano de Obra	119
4.2.2. Materiales	120
4.2.3. Equipos	121
4.3. PRESUPUESTO DEL PROYECTO	122
4.3.1. Presupuesto – Arias y Aragüez	122
4.3.1. Presupuesto – Modesto Molina	123

CAPÍTULO V : CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES.....	124
5.2. RECOMENDACIONES	125

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: ESTRUCTURA TÍPICA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE	24
FIGURA 2: BACHES EN TRAMO ARIAS Y ARAGÜEZ.....	25
FIGURA 3: AGRIETAMIENTO EN TRAMO ARIAS Y ARAGÜEZ	26
FIGURA 4: DESPRENDIMIENTO EN TRAMO MODESTO MOLINA.....	27
FIGURA 5: COMPARACIÓN ENTRE DIPOSITIVO DE TRANSMISIÓN DE CARGAS Y EFECTO TRABAZÓN DE AGREGADOS.....	35
FIGURA 6: CHECKLIST PARA EVALUACIÓN DEPAVIMENTO FLEXIBLE	40
FIGURA 7: WHITETOPPING CONVENCIONAL TRABAJA NO ADHERIDO / ULTRA- THIN WHITETOPPING TRBAJA ADHERIDO.....	43
FIGURA 8: EXTRACCIÓN DE TESTIGOS (DIAMANTINAS) PARA SER ENSAYADAS COMO CONTROL DE CALIDAD DE ADHERENCIA	44
FIGURA 9: ESPACIAMIENTOS CORTOS: TRABAJA COMO MECANISMO Y NO COMO ESTRUCTURA	45
FIGURA 10: COMPARATIVO DE WHITETOPPING SIN/CON ADHERENCIA AL PAVIMENTO EXISTENTE	46
FIGURA 11: PRESENTACIÓN COMERCIAL SIKA FIBER FORCE.....	59
FIGURA 12: DELIMITACIÓN DE TRAMOS DE MODESTO MOLINA Y ARIAS Y ARAGÜEZ TOMADOS COMO MUESTRA PARA LOS DISEÑOS.....	63
FIGURA 13: MAPA POLÍTICO DE TACNA (PROVINCIA)	65
FIGURA 14: PESO DEL AGUA SEGÚN TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO	76
FIGURA 15: CORRELACIÓN TIPO DE SUELO – CBR – MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE (k)	87
FIGURA 16: DISEÑO DE SOBRECARPETA – ARIAS Y ARAGÜEZ - DIPAR	97
FIGURA 17: DISEÑO DE SOBRECARPETA – MODESTO MOLINA - DIPAR	98
FIGURA 18: DISEÑO DE SOBRECARPETA – ARIAS Y ARAGÜEZ – PCC INLAY/OVERLAY DESIGN SHEET	103
FIGURA 19: DISEÑO DE SOBRECARPETA – MODESTO MOLINA –PCC INLAY/OVERLAY DESIGN SHEET	104
FIGURA 20: TRABAJO PREVIO: RELLENO DE ZONAS DAÑADAS CON PIEDRA TRITURADA, MEZCLA EN FIO O EN CALIENTE	106
FIGURA 21: FRESADO EN SECO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO	107
FIGURA 22: LIMPIEZA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO EN SECO/EN HUMEDO	108
FIGURA 23: EMPAÑAMIENTO DEL TERRENO	108
FIGURA 24: COLOCADO DEL CONCRETO	109

FIGURA 25: TEXTURIZADO DEL CONCRETO	109
FIGURA 26: CURADO DEL CONCRETO.....	110
FIGURA 27: ASERRADO DE JUNTAS.....	110

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA N° 1 TIPOS DE VEHÍCULOS Y SUS CARACTERÍSTICAS.....	29
TABLA N° 2 GUÍA PARA REPARAR FALLAS EXISTENTE EN PAVIMENTO ASFÁLTICO ANTES DE APLICAR UNA SOBRECAPA DE CONCRETO	41
TABLA N° 3 NÚMERO PERMISIBLE DE CAMIONES (EN MILES) POR CARRIL PARA UTW, CATEGORIA A, K=27 MPa/m	49
TABLA N° 4 NÚMERO PERMISIBLE DE CAMIONES (EN MILES) POR CARRIL PARA UTW, CATEGORIA A, K=54 MPa/m	50
TABLA N° 5 NÚMERO PERMISIBLE DE CAMIONES (EN MILES) POR CARRIL PARA UTW, CATEGORIA B, K=27 MPa/m	51
TABLA N° 6 NÚMERO PERMISIBLE DE CAMIONES (EN MILES) POR CARRIL PARA UTW, CATEGORIA B, K=54 MPa/m	52
TABLA N° 7 DATOS TÉCNICOS DE SIKA® FIBER FORCE PP-65.....	59
TABLA N° 8 CONTEO DE VEHICULOS POR TIPO - ARIAS Y ARAGÜEZ.....	68
TABLA N° 9 CONTEO DE VEHICULOS POR TIPO – MODESTO MOLINALINA...69	
TABLA N°10 CALCULO DE NUMERO DE ESAL - ARIAS Y ARAGÜEZ	73
TABLA N° 11 CALCULO DE NUMERO DE ESAL – MODESTO MOLINA.....	74
TABLA N° 12 GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO	75
TABLA N° 13 GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO.....	77
TABLA N° 14 DOSIFICACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLA POR METRO CÚBICO	78
TABLA N° 15 CATEGORÍAS DE DISEÑO.....	80
TABLA N° 16 CARGAS MÁXIMAS EN PERU	80
TABLA N° 17 PARÁMETROS DE SERVICIABILIDAD	81
TABLA N° 18 ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (Pt).....	82
TABLA N° 19 SERVICIABILIDAD DE DISEÑO.....	82
TABLA N° 20 CALIDAD DE DRENAJE.....	85
TABLA N° 21 VALORES RECOMENDADOS DE COEFICIENTE DE DRENAJE (Cd) PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS.....	85
TABLA N° 22 COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CARGAS.....	89
TABLA N° 23 NIVELES DE CONFIABILIDAD - AASHTO.....	90
TABLA N° 24 VALORES PROPUESTOS DE DESVIACIÓN ESTÁNDAR	91
TABLA N° 25 COEFICIENTE DE DILATACIÓN TÉRMICA DEL CONCRETO.....	93
TABLA N° 26 MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL PAVIMENTO EXISTENTE.....	93

TABLA N° 27 ESPESORES DE PAVIMENTO EXISTENTE SEGÚN ZONA DE ESTUDIO.....	94
TABLA N° 28 NÚMERO PERMISIBLE DE CAMIONES (EN MILES) POR CARRIL PARA UTW, CATEGORIA A, K=54 MPa/m	100
TABLA N° 29 NÚMERO PERMISIBLE DE CAMIONES (EN MILES) POR CARRIL PARA UTW, CATEGORIA A, K=54 MPa/m	101
TABLA N° 30 COMPARACIÓN DE ESPESORES DE DISEÑO.....	105
TABLA N° 31 SUPERFICIE A REMOVER (FRESADO).....	111
TABLA N° 32 SUPERFICIE PARA LIMPIEZA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO	112
TABLA N° 33 SUPERFICIE PARA EMPAÑAMIENTO DEL TERRENO.....	113
TABLA N° 34 ENCOFRADO DE LA SOBRECARPETA EN AREAS DE INTERSECCIÓN DE CALLE.....	114
TABLA N° 35 VOLUMEN DE VACIADO DE CONCRETO	114
TABLA N° 36 TEXTURIZADO DEL CONCRETO	115
TABLA N° 37 CURADO DEL CONCRETO	116
TABLA N° 38 METRADO ASERRAURA DE JUNTAS	117
TABLA N° 39 PARTIDAS.....	118
TABLA N° 40 MANO DE OBRA.....	119
TABLA N° 41 MATERIALES	120
TABLA N° 42 EQUIPOS	121
TABLA N° 43 PRESUPUESTO - ARIAS Y ARAGÜEZ	122
TABLA N° 44 PRESUPUESTO - MODESTO MOLINA	123

ÍNDICE DE ECUACIONES

ECUACION N° 1	47
ECUACION N° 2	53
ECUACION N° 3	53
ECUACION N° 4	54
ECUACION N° 5	54
ECUACION N° 6	70
ECUACION N° 7	70
ECUACION N° 8	71
ECUACION N° 9	72
ECUACION N° 10	72
ECUACION N° 11	72
ECUACION N° 12	82
ECUACION N° 13	83
ECUACION N° 14	83
ECUACION N° 15	84

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO I: MATRIZ DE CONSISTENCIA	129
ANEXO II: FICHA TÉCNICA CEMENTO YURA TIPO IP	131
ANEXO III: ESPECIFICACIONES ESTÁNDAR PARA AGREGADOS DEL CONCRETO	132
ANEXO IV: FICHA TÉCNICA SIKA VISCOCRETE.....	133
ANEXO V: FICHA TÉCNICA FIBER FORCE PP-65	134
ANEXO VI: PÁNEL FOTOGRÁFICO - ESPESORES DE PAVIMENTO EXISTENTE EN ZONA DE ESTUDIO	135
ANEXO VII: CÁLCULO DE ESPESOR DE SOBRECARPETA POR MÉTODO AASHTO-93 MEDIANTE SOFTWARE DIPAR.....	138

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la recurrente metodología de solución a las fallas en el pavimento asfáltico, usado en nuestra región, son los recapeos o sobrecarpetas de asfalto, pero al hacer uso de éstos, si bien se corrige las fallas funcionales, las fallas estructurales permanecen y con el paso del tiempo, la nueva capa presentará las mismas fallas que presentaba el pavimento antes de ser rehabilitado.

Whitetopping tuvo sus inicios en 1918 en todo tipo de pavimentos como autopistas, carreteras primarias y secundarias, aeropuertos y parqueos. Este tipo de rehabilitación de pavimentos flexibles consiste en el uso de sobrecarpetas de concreto colocadas encima del pavimento existente, el cual, ha sufrido daños causados por tráfico no previsto y el uso del pavimento por el tráfico previsto, la exposición al agua y otros agentes degradadores y por condiciones climáticas no promedio. Los primeros conceptos sobre Ultra-Thin Whitetopping fueron desarrollados en Kentucky alrededor de 1988 con espesores de 9 cm (3.5 pulgadas). Ya para 1991, en Louisville, Kentucky, se comenzó a usar fibras para reforzar el concreto con secciones de 5 a 9 cm (2 a 3.5 pulgadas) y con espaciamientos más cortos que los usados en el Whitetopping convencional de 0.60 a 1.80 m (2 a 6 pies) donde se tuvo resultados mucho mejores de los esperados, por lo que, se tomó la iniciativa por proyectos en todo el país, México, Canadá y Suecia, recopilándose gran información basada en la propia experiencia.

En la presente investigación se hace la propuesta referente a dicha solución eficiente y novedosa en nuestro país, aplicable en pavimentos asfálticos degradados que consiste en el colocado de una sobrecarpeta de concreto que es llamada Whitetopping. Mediante ésta el pavimento queda renovado, solucionando los problemas generados por el uso de la vía. Esta técnica ayuda a habilitar la vía de manera rápida, por su sencilla colocación y rápido proceso constructivo, lo que la convierte en una técnica muy eficiente y viable de rehabilitación de pavimentos.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, para dar solución a las fallas en el asfalto el método más común usado en nuestra región son los recapeos de asfalto, pero al usar esta metodología, si bien se corrige las fallas funcionales, las fallas estructurales permanecen y con el paso del tiempo, la nueva capa presentará las mismas fallas que presentaba el pavimento original.

El uso de un pavimento flexible implica que el costo inicial del pavimento sea menor que el de un pavimento rígido, pero basándonos en la experiencia en cuanto a la performance de cada tipo de pavimento, con el segundo tipo podremos tener mayor tiempo de vida útil y menos gastos por reparaciones, lo que se resume en un costo inicial ligeramente mayor y un ahorro muy considerable a la larga. Siendo Tacna una ciudad donde más del 70% de su red vial es pavimento asfáltico (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2003), podemos deducir que la inversión por reparaciones está significando no solo altos costos sino también innecesarios que, podrían ser destinados para fines mucho más útiles.

1.1. FORMULACION DEL PROBLEMA

1.1.1. Problema general

¿Cómo solucionar de forma definitiva las deficiencias que se presentan en pavimentos asfálticos en el distrito de Tacna?

Tomando como enfoque nuestra región, podemos concluir en que el mayor porcentaje de vías está constituido por materiales asfálticos que, al transcurrir el tiempo se puede observar la aparición de fallas debido a su uso continuo, lo cual requiere un mantenimiento constante que debe ser encarado de manera rápida y duradera, evitando así el deterioro de la vía y accidentes.

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cómo beneficiaría el Ultra-Thin Whitetopping a la red vial urbana en el distrito de Tacna?
- ¿Cuáles son los principales tipos de fallas que se presentan en los pavimentos asfálticos locales?
- ¿Cómo realizar un diseño de mezcla efectivo para la sobrecapa de Ultra-Thin Whitetopping?

- ¿De qué forma trabajaría la capa de Ultra-Thin Whitetopping al ser colocado sobre el pavimento asfáltico existente?
- ¿Qué prácticas mejorarían y asegurarían el proceso constructivo del Ultra-Thin Whitetopping?
- ¿De qué forma el uso de Ultra-Thin Whitetopping significaría un equilibrio entre costo y funcionalidad?

1.2. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Con el transcurso del tiempo, los pavimentos asfálticos se ven afectados por diferentes factores ocasionando diferentes tipos de fallas y este fenómeno se presenta con mayor frecuencia en zonas de gran circulación vehicular, lo que ocasiona que los gastos de reparación y mantenimiento sean elevados; también es importante tener en cuenta que por los diversos y continuos trabajos realizados por la compañía del agua es necesario rehabilitar muchas de las vías. Es por ello que es necesario que se introduzcan nuevas tecnologías de rehabilitación para pavimentos flexibles con el fin de proporcionar mejores condiciones de uso sin tener que recurrir continuamente a reparaciones y recapeos, y de esa forma, superar no solo fallas funcionales sino también estructurales.

La rehabilitación de pavimentos trae consigo un análisis económico en el que debe estar previstas toda la gama de metodologías para reparar la vía dañada y esto puede traer como consecuencia altos precios. El uso de nuevos métodos por lo general significa montos altos que es necesario analizar durante el tiempo, ya que al considerar los casi nulos periodos de mantenimiento del pavimento implicaría la reducción de costos a largo plazo a pesar de la posibilidad de un costo inicial ligeramente más alto.

Podemos también hacer notar que con una red vial en óptimas condiciones permitirá a los usuarios contar con mayor facilidad para transportarse de un lugar a otro, así como mayor fluidez en el intercambio de mercancía siendo nuestra región un notable punto de movimiento comercial y también disminuyendo costos por transporte, combustible y mantenimiento de vehículos.

Finalmente, todo en cuanto a aspectos ambientales que han sido producidos por los recapeos está bajo consideración de la Ley General del Medio Ambiente en Perú (Ley No 28611).

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.3.1. Objetivo general

- Proponer el método Ultra-Thin Whitetopping como método eficiente y definitivo de rehabilitación para pavimentos asfálticos en el distrito de Tacna.

1.3.2. Objetivos específicos

- Realizar un análisis de las ventajas y beneficios del uso de Ultra-Thin Whitetopping.
- Enlistar una serie de fallas que, comúnmente, se dan en pavimentos asfálticos.
- Estudiar la importancia de seguir ciertos lineamientos en el diseño de mezcla para la elaboración del Ultra-Thin Whitetopping.
- Describir las variables que influyen en el diseño de la sobrecarpeta Ultra-Thin Whitetopping.
- Elaborar una comparación objetiva de los resultados de los diseños según tres metodologías propuestas.
- Desarrollar los principales parámetros de construcción para el uso de esta tecnología.
- Evaluar los costos por la ejecución de una sobrecarpeta Ultra-Thin Whitetopping.

1.4. HIPOTESIS

1.4.1. Hipótesis general

- Mediante el análisis de la realidad de nuestra red vial en el distrito de Tacna, podemos observar la necesidad de un novedoso y más eficiente método de rehabilitación. Ultra-Thin Whitetopping es la alternativa que proporciona una solución sostenible frente a los problemas de fallas en los pavimentos asfálticos que conforman casi la totalidad de vías de la ciudad.

1.4.2. Hipótesis específicas

- Con el uso de UTW podremos acabar con gastos de mantenimiento constante al pavimento asfáltico.
- Se comprobará la sencillez del proceso constructivo y de esa forma, evitando inconvenientes con el desvío del tráfico desde las vías a reparar.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO

Al encontrarse dañado el pavimento con fallas como ahuellamiento, grietas, piel de cocodrilo y baches, como comúnmente se puede apreciar en nuestra ciudad, se vuelve importante encontrar nuevos métodos de rehabilitación con el fin de recuperar la calidad inicial, o mayor, del pavimento; esto a la vez para reducir la probabilidad de accidentes provocados por las fallas en mención. Es más que usual el uso de recapeos en nuestro país, para llegar a rehabilitar el pavimento, pero hay que tener en consideración que los recapeos son parchados superficiales que no llegan a reparar fallas en la estructura del pavimento, lo que implica que luego de cierto periodo de tiempo presentara los mismos inconvenientes que se presentaron anteriormente. Explicado lo anterior, Ultra-Thin Whitetopping se muestra como una propuesta definitiva, viable y sostenible en el tiempo.

2.2. BASES TEORICAS

2.2.1. Pavimentos asfálticos

Se entiende por pavimento asfáltico o flexible todo aquel que está compuesto por una mezcla asfáltica como material ligante (cemento asfáltico, emulsiones o asfaltos cortados) y un componente granular (gravas trituradas, filler o relleno mineral, arena, etc.) que es capaz de soportar cierto nivel de deformación elástica trabajando como un elemento conjunto sin romperse, también que tiene como característica que sus componentes van reduciendo su resistencia conforme el nivel se acerca más a la subrasante.

Los pavimentos flexibles se componen de capas entre la subrasante y la rasante o superficie de rodamiento, tiene como fin proporcionar una capa uniforme para soportar la carga del tránsito vehicular y la exposición al ambiente o cualquier otro agente climático natural de la zona que perjudique al pavimento.

El fundamento estructural del pavimento flexible consiste en base y la sub-base que, ligadas a la superficie de rodadura, distribuyen la carga hacia la subrasante.

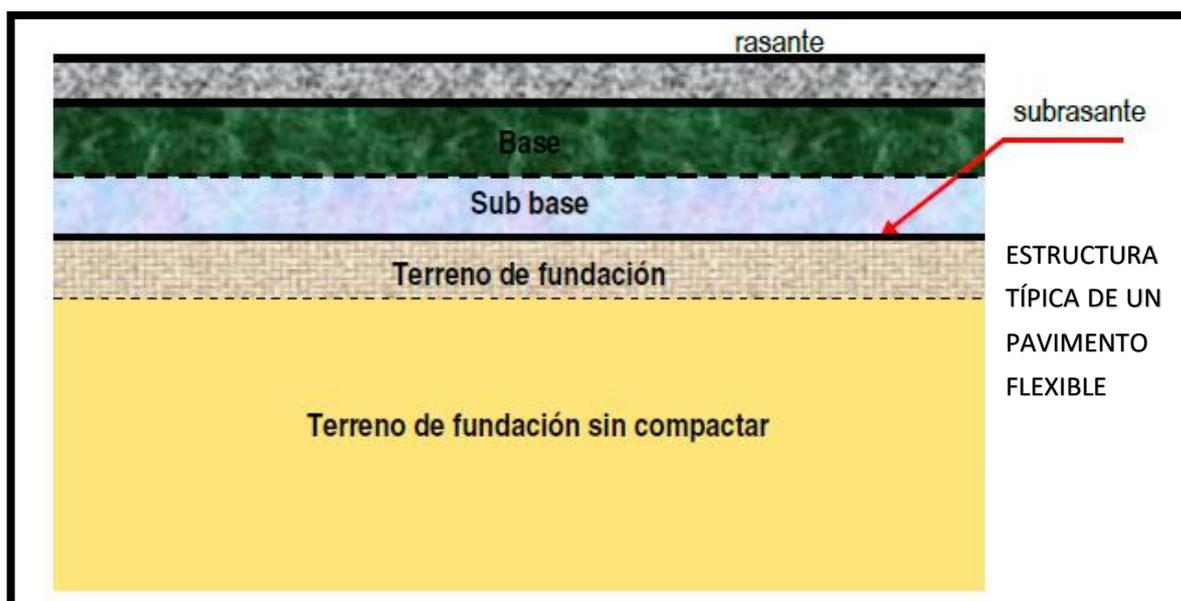


FIGURA 1: ESTRUCTURA TÍPICA DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

Fuente: <https://nelsonsanchezms.wordpress.com>

2.2.2. Fallas en los pavimentos asfálticos

Una falla en el pavimento se define por una deficiencia o pérdida de funcionalidad para la que se diseñó inicialmente. Las cargas que se aplican en el pavimento debido al tránsito vehicular genera reacciones mecánicas que conocemos como esfuerzos, lo que conllevan a afectar al pavimento por medio de deformaciones unitarias y deflexiones en el mismo, afectando el material en sus componentes provocando deterioros que, con el transcurrir del tiempo se acumulan progresivamente hasta llegar a ser permanentes. Estos deterioros permanentes son clasificados de acuerdo a su forma y severidad.

Vale la pena recalcar la suma importancia del cuidado que requiere la inspección visual en campo con la finalidad de poder obtener resultados dentro de lo real.

Las fallas en pavimentos flexibles pueden ser:

Fallas Funcionales: Son básicamente deficiencias superficiales que están ligadas directamente con el nivel de serviciabilidad del pavimento y se perciben por medio de ondulaciones longitudinales, deformaciones transversales, la textura de la superficie y el porcentaje de baches y áreas reparadas.

Fallas Estructurales: Están asociadas con la capacidad de resistir cargas, esto debido a deficiencias en el acoplamiento entre carpeta y material de base, inestabilidad de alguna de las capas internas, repeticiones continuas de carga.

2.2.3. Causantes de fallas en los pavimentos asfálticos

Las principales causas de fallas tienen raíz en los siguientes factores:

Tránsito: Este factor está comprendido principalmente por la presión que ejercen las llantas de los vehículos, tipo de carrocería y las repeticiones que actúan sobre el pavimento.

El suelo: Éste representa el soporte final del pavimento, por lo que, dependiendo de la calidad del suelo y sus características geotécnicas puede afectar directamente al pavimento.

Materiales: Los materiales son la composición de la estructura del pavimento, también influyen en el pavimento conforme a sus espesores y propiedades mecánicas.

2.2.4. Muestreo de tipos de fallas en pavimentos

- **Bacheo**

El bacheo en el pavimento representa el área del pavimento que fue reemplazada con material nuevo con la finalidad de reparar el pavimento. Sin importar que tan bueno sea el bacheo en el pavimento, siempre será considerado una falla. Es muy usual que alguna deficiencia en el pavimento esté relacionada con la zona de bache.

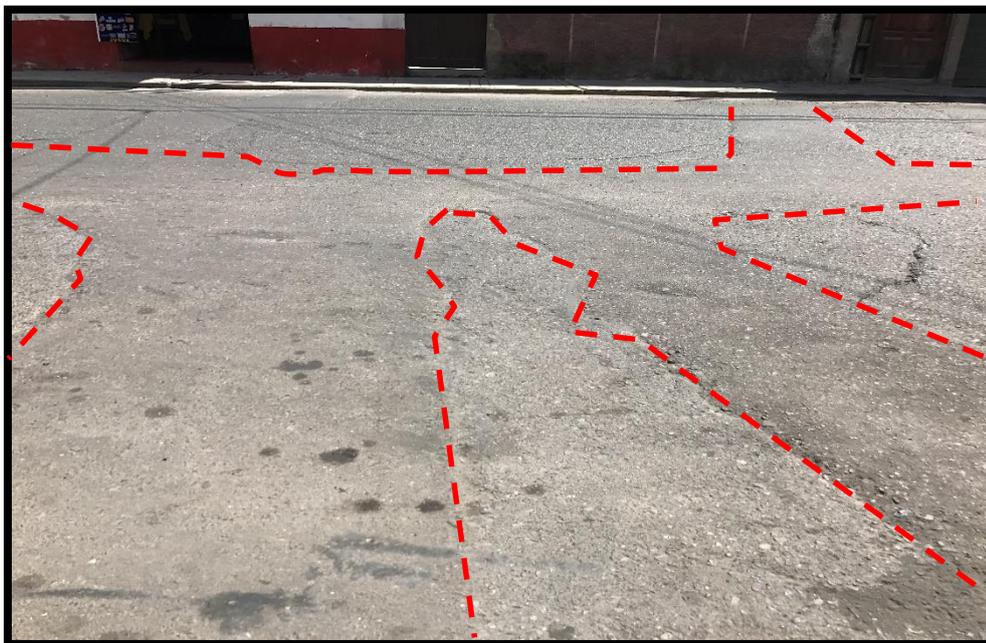


FIGURA 2: BACHES EN TRAMO ARIAS Y ARAGÜEZ

Fuente: Propia

- **Grietas en bloques**

Este tipo de falla tiene como característica el crear fisuras en el pavimento en forma de bloques, partiéndolo debido a la contracción del este último, esto a causa de los ciclos diarios de temperatura. Estas fallas denotan el endurecimiento maduro del pavimento y no necesariamente significa sobreesfuerzo por tránsito.



FIGURA 3: AGRIETAMIENTO EN TRAMO ARIAS Y ARAGÜEZ

Fuente: Propia

- **Desprendimiento**

Este tipo de fallas tiene su origen en el constante tránsito que, hace que el agregado pierda propiedades adherentes, quedando liso y suave al tacto, lo que disminuye el agarre que debería proporcionar al contacto con los neumáticos.

Si bien este tipo de falla no merece una reparación, es importante notar que la textura del pavimento en sí no cumple con un estándar aceptable.

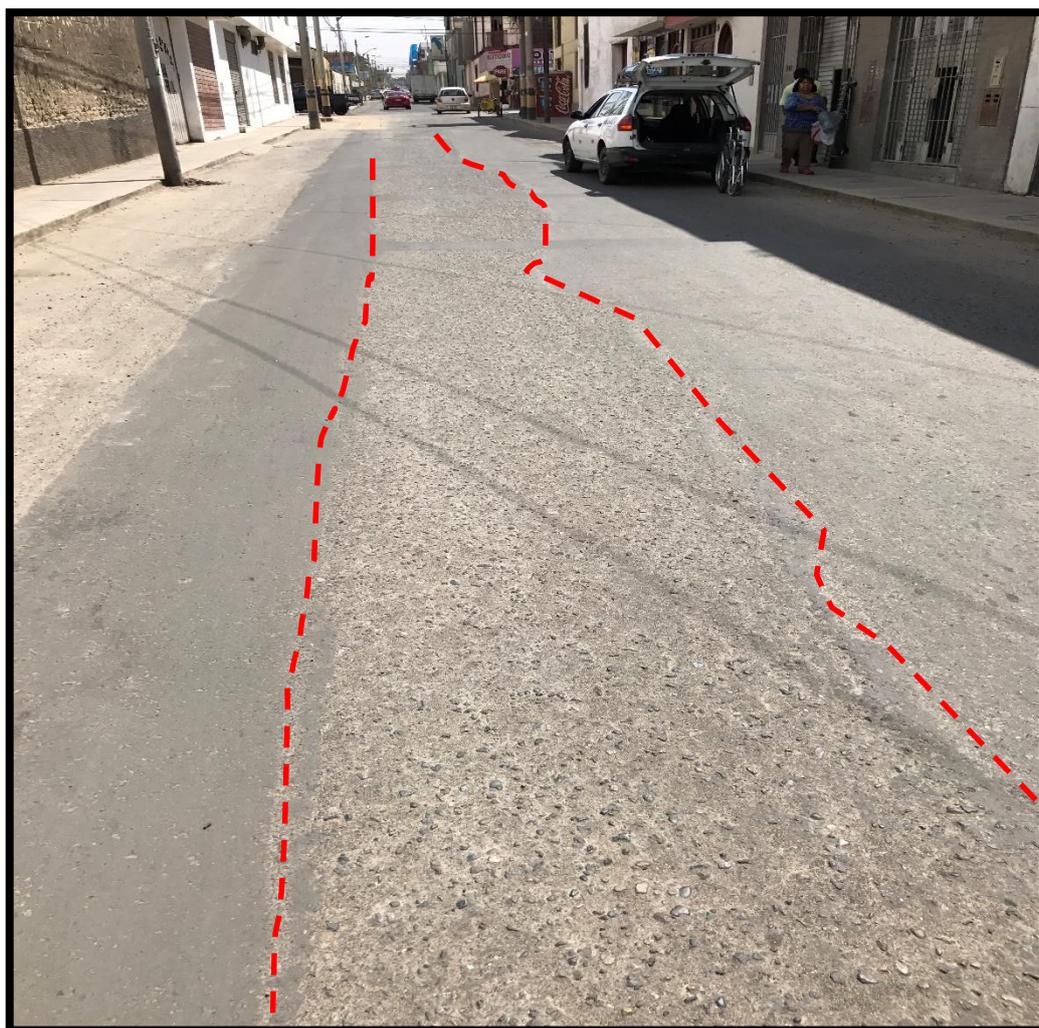


FIGURA 4: DESPRENDIMIENTO EN TRAMO MODESTO MOLINA

Fuente: Propia

2.3. CARACTERÍSTICAS DE TRANSITO

Las características y el diseño de una carretera deben basarse, explícitamente, en la consideración de los volúmenes de tránsito y de las condiciones necesarias para circular por ella, con seguridad vial ya que esto le será útil durante el desarrollo de carreteras y planes de transporte, en el análisis del comportamiento económico, en el establecimiento de criterios de definición geométrica, en la selección e implantación de medidas de control de tránsito y en la evaluación del desempeño de las instalaciones de transportes.

Conjuntamente con la selección del vehículo de proyecto, se debe tomar en cuenta la composición del tráfico que utiliza o utilizará la vía, obtenida sobre la base de estudio de tráfico y sus proyecciones que consideren el desarrollo futuro de la zona tributaria de la carretera y la utilización que tendrá cada tramo del proyecto vial.

2.3.1. Índice medio diario anual (IMDA)

Representa el promedio aritmético de los volúmenes diarios para todos los días del año, previsible o existente en una sección dada de la vía.

Los valores de IMDA para tramos específicos de carretera, proporcionan al proyectista, la información necesaria para determinar las características de diseño de la carretera y su clasificación.

La carretera se diseña para un volumen de tránsito, que se determina como demanda diaria promedio a servir hasta el final del período de diseño, calculado como el número de vehículos promedio, que utilizan la vía por día actualmente y que se incrementa con una tasa de crecimiento anual.

La demanda o volumen de tráfico (IMDA), requiere ser expresado en términos de ejes equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente simple (ESAL) es igual al efecto de deterioro causado sobre el pavimento, por un eje simple de dos ruedas cargado con 8.2 toneladas de peso, con neumáticos con presión de 80 lb./pulg².

El carril de diseño del pavimento de una carretera de dos carriles, considerará solo el 50% del IMDA.

2.3.2. Composición del Tráfico

La variedad de vehículos que circulan por las carreteras es enorme, los mismos que se los puede agrupar en los siguientes tipos:

TABLA N° 1 TIPOS DE VEHÍCULOS Y SUS CARACTERÍSTICAS

TIPO	DESCRIPCIÓN	CARGA
Livianos	Automóviles, camionetas, vagonetas	≤ 2.0 Tn.
Medianos	Camiones medianos, microbuses y otros	≤ 5.5 Tn.
Pesados	Camiones grandes, ómnibus, etc.	9.5 - 10.2 Tn.
Muy Pesados	Camión tractor, semirremolques, remolques con tres o más ejes	12.0 - 15.0 Tn.

Fuente: REGLAMENTO NACIONAL DE VEHICULOS, DECRETO SUPREMO N° 058

– 2003 – MTC

2.3.3. Determinación del Tráfico (Aforos o Conteos)

Los aforos cortos son mayormente para intensidades de tráfico vehicular constante, aquellos flujos que no tienen mucha fluctuación en un determinado tiempo, se pueden realizar conteos de 10 a 15 minutos y estos se multiplican por factores para determinar el volumen horario. Los aforos largos se realizan de 12 a 16 horas al día durante periodos de 3 a 10 días, como ha sido el caso de la presente investigación. Los aforos continuos se realizan durante 24 horas los 365 días del año, como el caso de peajes y estaciones de control vehicular.

2.3.4. Intensidad de Tráfico

Es el número de vehículos que pasan por una carretera en un tiempo determinado. La intensidad de tráfico es continuamente variable y viene condicionada con la demanda, la cual varía de manera considerable en cada tramo.

2.3.5. Proyección de Tráfico

El diseño de carreteras, no debe basarse solamente en los volúmenes actuales, sino que debe tomar en cuenta también los probables en los años futuros. Como base para un proyecto, generalmente se toma un período mínimo de 10 a 15 años para pavimentos flexibles y de 20 a 25 años para pavimentos rígidos.

2.3.6. Pronósticos del Tránsito Futuro (Robert G. Packard - Portland Cement Association, 1984)

- **Tránsito Actual**

- Tránsito Existente: Es el volumen de tráfico establecido mediante el conteo en carreteras existentes, o el que se usaría en una nueva carretera si estuviera abierta al tráfico en el presente.
- Tránsito Atraído: En el caso de un mejoramiento, su tráfico actual se compone del existente que utiliza esa vía antes de la mejora más el tráfico que atrae de otras vías próximas, por las ventajas que después de mejorada ofrece.

- **Incremento de Tránsito**

- Crecimiento Normal de Tránsito: Esta referido al crecimiento que se origina por el uso necesario de un vehículo para movilizarse a realizar sus actividades propias, dicho crecimiento se hace notar todos los días del año.
- Tránsito Generado: Éste consiste en la migración de vehículos de una comunidad hacia otra la cual es claramente diferenciada de la masa vehicular de uso público.
- Tránsito de Desarrollo: Tiene por composición la masa vehicular que ha tomado como preferencia otra vía por razones de mejor serviciabilidad de la misma.

2.3.7. Medidas vehiculares permisibles (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2003)

- **Ancho máximo**

Ancho máximo (sin espejos) para todo tipo de vehículo incluida la mercancía o bienes transportados) 2,60m

- **Altura máxima**

Vehículos de la categoría N en general 4,10m

Vehículos de categoría M con carrocería convencional 3,60m

Vehículos de categoría M con carrocería integral.....	4,30m
Vehículos de categoría O de compartimento cerrado tipo Semirremolque.....	4,30m
Vehículos de categoría O diseñados para el transporte de Contenedores.....	4,30m
Vehículos de categoría O diseñados para el transporte de Contenedores de gran volumen (High Cube).....	4,60m

• Clasificación Vehicular

Categoría L: Vehículos automotores con menos de cuatro ruedas.

L1: Vehículos de dos ruedas, de hasta 50 cm³ y velocidad máxima de 50 km/h.

L2: Vehículos de tres ruedas, de hasta 50 cm³ y velocidad máxima de 50 km/h.

L3: Vehículos de dos ruedas, de más de 50 cm³ o velocidad mayor a 50 km/h.

L4: Vehículos de tres ruedas asimétricas al eje longitudinal del vehículo, de más de 50 cm³ o una velocidad mayor de 50 km/h.

L5: Vehículos de tres ruedas simétricas al eje longitudinal del vehículo, de mas de 50 cm³ o velocidad mayor a 50 km/h y cuyo peso bruto vehicular no exceda de una tonelada.

Categoría M: Vehículos automotores de cuatro ruedas o más diseñados y construidos para el transporte de pasajeros.

M1: Vehículos de ocho asientos o menos, sin contar el asiento del conductor.

M2: Vehículos de más de ocho asientos, sin contar el asiento del conductor y peso bruto vehicular de 5 toneladas o menos.

M3: Vehículos de más de ocho asientos, sin contar el asiento del conductor y peso bruto vehicular de más de 5 toneladas.

Los vehículos de las categorías M2 y M3, a su vez de acuerdo a la disposición de los pasajeros se clasifican en:

Clase I: Vehículos contruidos con áreas para pasajeros de pie permitiendo el desplazamiento frecuente de éstos

Clase II: Vehículos contruidos principalmente para el transporte de pasajeros sentados y, también diseñados para permitir el transporte de pasajeros de pie en el pasadizo y/o en un área que no excede el espacio provisto para dos asientos dobles.

Clase III: Vehículos contruidos exclusivamente para el transporte de pasajeros sentados.

Categoría N: Vehículos automotores de cuatro ruedas o más diseñados y contruidos para el transporte de mercancía.

N1: Vehículos de peso bruto vehicular de 3,5 toneladas o menos.

N2: Vehículos de peso bruto vehicular mayor a 3,5 toneladas hasta 12 toneladas.

N3: Vehículos de peso bruto vehicular mayor a 12 toneladas.

Categoría O: Remolques (incluidos semirremolques).

O1: Remolques de peso bruto vehicular de 0,75 toneladas o menos.

O2: Remolques de peso bruto vehicular de más 0,75 toneladas hasta 3,5 toneladas.

O3: Remolques de peso bruto vehicular de más de 3,5 toneladas hasta 10 toneladas.

O4: Remolques de peso bruto vehicular de más de 10 toneladas.

2.4. WHITETOPPING

Como su traducción al español lo describe, es una sobrecarpeta blanca que, es obviamente originada por el acabado del concreto colocado encima del pavimento asfáltico. La capa de concreto de cemento portland trabajara conjuntamente con la capa de pavimento existente quitando la necesidad de espesores mayores o reparaciones totales del pavimento.

2.4.1. Tipos de Whitetopping según su espesor (ACI Committee 325, 2006)

Conforme el espesor de la sobrecapa de concreto sea definido para el diseño, se tiene distintas clasificaciones para esta técnica de rehabilitación; cabe resaltar que el espesor debe ser el resultado de los volúmenes de tráfico esperados. La clasificación está establecida de la siguiente forma:

- A) **Whitetopping Convencional (WTP)**: Sobrecarpeta de concreto con un espesor de 20 cm (8 pulgadas) o más, diseñada y construida sin consideración a la adherencia entre la capa de concreto y el pavimento asfáltico (o su terminología en inglés Hot Mix Asphalt, HMA).
- B) **Thin Whitetopping (TWT)**: Sobrecarpeta de concreto con espesores de más de 10 cm (4 pulgadas) y menos de 20 cm (8 pulgadas) que, en la mayoría de los casos se considera la adherencia entre la capa de concreto y el pavimento asfáltico (Kumavat, 2007).
- C) **Ultra-Thin Whitetopping (UTW)**: Sobrecarpeta de concreto con espesores iguales o menores de 10 cm (4 pulgadas) y como mínimo de 5 cm (2 pulgadas) que, para asegurar una buena performance, es necesario asegurar la buena adherencia entre Concreto de Cemento Portland (PCC) y HMA (Kumavat, 2007).

2.4.2. Características de un Ultra-Thin Whitetopping

Una sobrecarpeta UTW se puede diferenciar de un pavimento rígido convencional debido a su composición, espesor, espaciamiento de juntas, etc. Tal como se describe a continuación:

- Los sistemas convencionales de Whitetopping trabajan como sobrecarpetas rehabilitadoras de pavimentos sin necesidad de adherirse al pavimento

existente, mientras que, el UTW trabaja conjuntamente con el pavimento existente como una sola estructura compuesta, esto a causa de su bajo espesor.

- Para un óptimo desempeño del nuevo pavimento mixto (PCC/HMA), es necesario contar con un espesor mínimo de 7.5 cm de pavimento asfáltico (HMA) en condiciones estructurales operativas.
- Los espesores para un UTW estarán dentro de un rango de 5 a 10 cm de espesor, lo que favorece su facilidad de colocación y también lo hace más funcional.
- La separación de juntas cumple un papel importante en su diseño, tomando como rango de espaciamiento de 12 a 18 veces el espesor de la sobrecarpeta UTW.
- Las juntas necesitan ser por demás estrechas, y debido al espesor de la sobrecarpeta, se anula la necesidad de usar selladores de juntas, reduciendo costos por dicha actividad y mantenimiento de tales.
- El bajo espesor de sobrecarpeta hace que la colocación de dicho pavimento sea sencilla y práctica, sin necesidad de equipos especiales, aun al grado de solo requerirse usar encofrados o moldes comunes.
- No es necesario usar dispositivos de transmisión de cargas (barras pasajuntas, dowels), debido a los cortos espaciamientos entre juntas, la losa vecina, por el efecto trabazón de agregados, colabora ante la acción de carga vehicular.

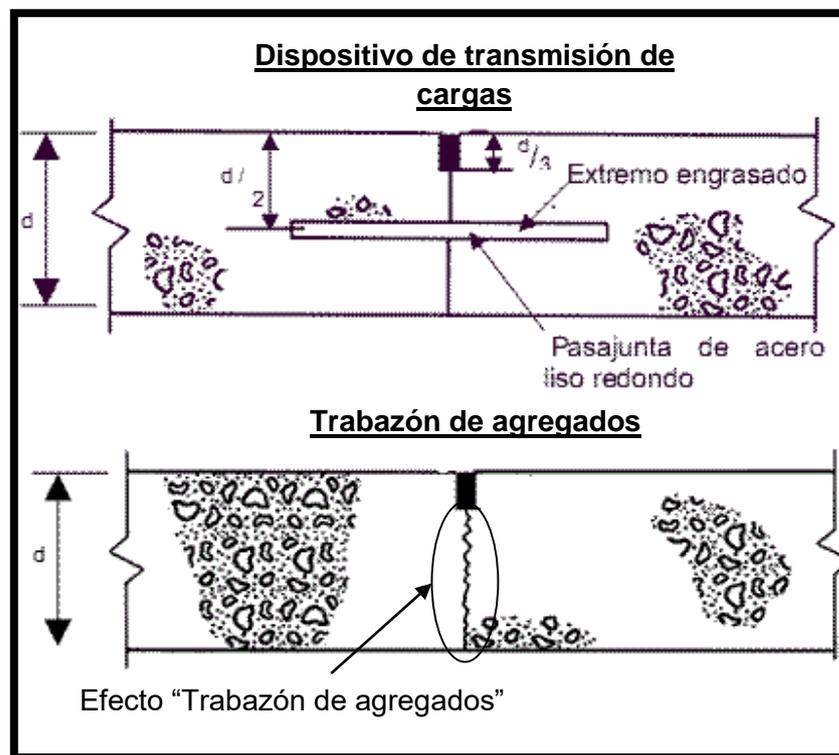


FIGURA 5: COMPARACIÓN ENTRE DIPOSITIVO DE TRANSMISIÓN DE CARGAS Y EFECTO TRABAZÓN DE AGREGADOS

Fuente: Propia

2.4.3. Cuándo utilizar Ultra-Thin Whitetopping

Ultra-Thin Whitetopping puede ser usado para rehabilitar muchos tipos de vías (aeropuertos, carreteras, estacionamientos, etc.), pero tiene como limitante el que se cuente con el soporte de apoyo necesario proveniente del pavimento asfáltico existente. Es por ello que, el tipo de suelo es un factor que se debe tener en consideración siempre en un diseño UTW. También se debe tomar en cuenta el espesor remanente del pavimento existente, ya que, dicha estructura será parte de la composición del nuevo pavimento mixto proporcionando resistencia ante esfuerzos por carga vehicular.

2.4.4. Ventajas de Ultra-Thin Whitetopping (Indian Roads Congress, 2008)

- Propone una solución definitiva y sostenible, es decir, sin necesidad de constantes trabajos de reparación, teniendo un pavimento en buenas condiciones por un largo periodo de tiempo.

- Tratándose de un pavimento rígido, reduce costos de mantenimiento y ofrece mayor comodidad y serviciabilidad al usuario.
- La superficie de rodadura se presenta invulnerable ante agentes que afectan a los pavimentos flexibles mas no a los pavimentos rígidos.
- Los trabajos previos, ya sea, de reparación o reemplazo de material, no llegan a ser de gran demanda de recursos, así también, la preparación del terreno necesita empañamiento y humectación que no dejan de ser trabajos menores.
- Debido a la superficie clara del pavimento de concreto, se reducen los gastos por luminosidad, recursos que se podrán usar para impulsar alguna otra iniciativa educativa o social; cosa que no puede ser posible con un pavimento flexible, a causa de su color oscuro.
- Al prescindir de constantes trabajos de reparación o mantenimiento, se anulan los retrasos por dichos trabajos, así como, se ahorra recursos que tendrían como destino la creación de rutas alternas y todo lo que ello involucra, por no ser necesario.
- El práctico proceso constructivo que se propone en la colocación de un UTW hace que sea económicamente atractivo para el cliente, ya que, no será necesario hacer grandes inversiones en movimientos de tierras o excavaciones, lo que significaría gran ahorro y comodidad constructiva, siendo el Whitetopping una sobrecapa que se coloca en el pavimento existente.
- Se ha comprobado que un pavimento rígido, por su comportamiento mecánico, resulta en un considerable ahorro de combustible para los usuarios, esto debido a que el pavimento flexible genera mayor hundimiento ante la acción de la carga de los neumáticos, mientras que las losas de concreto sufren menor deflexión ante las mismas.
- Debido a la textura de acabado que se le da al UTW, y por tratarse de un pavimento de concreto, sufre de ahuellamientos mínimos, lo que disminuye la probabilidad de accidentes; los pavimentos rígidos no se ahuecan por cargas pesadas, lo que si sucede en pavimentos flexibles.
- A diferencia de un recapeo convencional, el UTW, siendo una sobrecarpeta de concreto, puede rellenar ahuellamientos, compensando su resistencia ante esfuerzos por carga vehicular, ya que, el asfalto en si no podría compensar la falla del pavimento.

2.5. METODOLOGÍA DE DISEÑO ULTRA-THIN WHITETOPPING

Existen varias metodologías de diseño para un UTW, dependiendo del departamento de investigación que lo desarrolle y las variables que tome para dicho el diseño, eso sumado a la experiencia acumulada con el fin de mejorar sus procedimientos y obtener resultados más reales y eficientes.

A diferencia de los métodos tradicionales de diseño para pavimentos rígidos, el diseño UTW, por ser una sobrecarpeta de muy bajo espesor, tiene algunas limitantes causadas básicamente por la estructura existente del pavimento, lo que hace que no siempre pueda diseñarse para periodos largos (20 a 30 años) como es el caso para un pavimento rígido convencional.

Las propiedades de la estructura del pavimento existente (sub-base, base, superficie de rodadura) son de tomar en cuenta para el diseño, y en algunos de los casos influirán grandemente como factor colaborativo del nuevo pavimento.

2.5.1. Materiales

Podemos mencionar una enorme variedad de combinación de materiales, así como de, mezclas resultantes de dichas combinaciones, lo que siempre será manejable de acuerdo a los requerimientos del proyecto y sus partidas o trabajos principales. Es por ello que, para este tipo de proyecto, se hará mención, en esta sección, de los materiales a utilizar.

2.5.1.1. Cemento Portland

El cemento es una sustancia pulverizada proveniente de combinar arcilla y caliza, al mezclarse con el agua puede formar una pasta que al contacto con el aire se endurece. El cemento Portland tiene como característica el lento tiempo de fraguado y que puede alcanzar gran resistencia.

Al ser el componente activo del concreto podemos deducir que del cemento dependen muchas de las propiedades y características del concreto, con un volumen de ente el 7 al 15%.

Para la presente investigación se recomienda el uso de un cemento puzolánico marca Yura, Tipo IP, por sus propiedades mecánicas y fácil accesibilidad al producto. Para mayores detalles y especificaciones del concreto, ver ANEXO II.

2.5.1.2. Agua

Se entiende por el recurso en estado líquido que tiene como características ser incoloro, inodoro e insípido compuesta por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Es el causante de la plasticidad de la pasta, por ende, al endurecerse el concreto, la mayor parte del agua se evapora.

2.5.1.3. Agregado grueso y Agregado fino

Estos representan el material ligante y al igual que sus nombres, constituyen una parte gruesa y otra fina.

La arena es lo que conocemos como agregado fino y la piedra o grava es lo que conocemos como agregado grueso. Ambos disponen de características propias, así como de tamaños requeridos para un eficiente diseño de mezcla.

Para mayores detalles de las especificaciones del agregado fino y el agregado grueso conforme a su tamaño y características, ver ANEXO III.

2.5.1.4. Fibras

A pesar de la gran variedad de fibras que se tiene en el mercado, podemos clasificarlas en dos grupos, microfibras y macrofibras. Para el presente caso y por el tipo de estructura se recomienda el uso de macrofibras debido a que estas tienen como finalidad prevenir el fisuramiento del concreto endurecido. El tipo de material también es importante, por la clase de estructura y por la suma exposición al ambiente que tendrá el pavimento, se recomienda el uso del polipropileno, que aportan resistencia ante la fatiga y el impacto, sin mencionar, que son económicas a comparación de otros tipos de fibra.

2.5.1.5. Aditivo

El aditivo utilizado para el presente proyecto será Sika ViscoCrete-1110 PE, fabricado por Sika, un aditivo súper plastificante, productor de resistencia y economizador de cemento, la dosificación varía entre 0.3% y 0.5% del peso del cemento de la mezcla, según el aumento de manejabilidad que se desee o la cantidad de agua que se proponga obtener

Para mayor detalle de las especificaciones del aditivo Sika en mención, ver ANEXO VI.

2.5.2. Evaluación del pavimento existente

Una evaluación objetiva de las condiciones del pavimento existente es fundamental para el diseño final de una sobrecarpeta Ultra-Thin Whitetopping debido a la claridad técnica que esto significa.

Para una evaluación exhaustiva y en el caso de que se haga la aplicación de todo lo mencionado en la presente investigación, es importante mencionar que se recomienda tomar las siguientes directrices, con el fin de tener la mayor y más detallada información de las condiciones reales del proyecto, los pasos a seguir son los siguientes:

- Realizar una evaluación visual global de las condiciones del pavimento existente.
- Hacer una medición de ahuellamientos.
- Chequeo de la deflectometría.
- Extracción de probetas para determinar el espesor de la capa existente.
- Se recomienda también, para un detalle mucho más minucioso, la excavación de calicatas, con la finalidad de determinar por medio de ensayos de mecánica de suelos el Módulo de Reacción de la Subrasante (k).
- Evaluar las condiciones del tránsito vehicular y drenaje.

Vale la pena resaltar la importancia de la evaluación del tránsito vehicular, tanto en los aforos como en las condiciones de drenaje, y también en la tasa de crecimiento que tenga la vía a diseñar, ya que, ellos influyen directamente y en gran manera en el diseño del espesor de la sobrecarpeta, por ende, en la factibilidad del proyecto, esto debido a que el uso de espesores mayores a los de un UTW pueden acarrear trabajos que no necesariamente tengan relación con la rehabilitación del pavimento.

Teniendo como base, la información muy bien definida sobre las condiciones del tránsito y las condiciones mecánicas del suelo, procedemos a iniciar la definición de las variables para el diseño de la sobrecarpeta UTW. Tener en cuenta que un diseño confiable y conservador tendrá como resultado estándares altos de serviciabilidad durante su extenso periodo de vida útil.

PAVEMENT EVALUATION CHECKLIST (FLEXIBLE)

PROYECTO N°: _____ UBICACIÓN: _____
 CÓDIGO PROYECTO (SA #): _____ DIRECCIÓN: DE KM A KM _____
 FECHA: _____ HECHO POR: _____
 PROFESIÓN: _____

TRAFICO:

- EE existente anuales: _____
 - EE diseño _____

DATOS EXISTENTES DEL PAVIMENTO

- Subrasante (AASHTO) – Condición de la berma
 - Base (tipo/espesor) (buena, regular, mala)
 - Espesor del pavimento – Condición de los sellos de junta
 - Rigidez del suelo (R/MR) (bueno, regular, malo)
 - Suelo con napa (si/no) – Separación pavimento-berma
 - Condición de drenaje (buena, regular, mala)

INSPECCION VISUAL

Tipo	Severidad	% Aproximado
Piel de cocodrilo		
Afloramiento		
Grietas de bloques		
Desplazamiento		
Depresiones		
Reflexión de grietas en juntas		
Grietas transversales		
Deterioro de parches		
Pulimento de áridos		
Baches		
Perdida de áridos		
Ahuellamiento		
Otros		

FIGURA 6: CHECKLIST PARA EVALUACIÓN DE PAVIMENTO FLEXIBLE
Fuente: Propia basado en "APLICACIÓN EN CHILE DE PAVIMENTOS DELGADOS DE HORMIGÓN"

La ACPA proporciona algunas directrices sobre si es o no necesario el realizar trabajos de reparaciones y que tipo de trabajos se necesita como preparación al colocado de la sobrecarpeta. Esto tiene como finalidad uniformizar el pavimento en cuanto al soporte que proporcionara al nuevo pavimento. Dichas correcciones se especifican a continuación:

TABLA N° 2 GUÍA PARA REPARAR FALLAS EXISTENTE EN PAVIMENTO ASFÁLTICO ANTES DE APLICAR UNA SOBRECAPA DE CONCRETO

CONDICIÓN GRAL DEL PAVIMENTO	TRABAJO DE REPARACIÓN
Ahuellamiento (menos de 5 cm)	Ninguno
Ahuellamiento (más de 5 cm)	Fresado o nivelación
Desplazamiento	Fresado
Huecos	Relleno con roca triturada, mezcla fría o mezcla caliente
Falta de Subrasante	Retirar y reemplazar
Piel de Cocodrilo	Ninguno
Falla de bloque	Ninguno
Grietas transversales	Ninguno
Grietas longitudinales	Ninguno
Desprendimiento de áridos	Ninguno
Afloramiento	Ninguno

Fuente: Whittopping: State of the Practice (ACPA)

Basados en la tabla anterior podemos concluir que los trabajos a realizar como preparación de la colocación de un Ultra-Thin Whitetopping, son más de uniformización que de reparación, por lo que, no dejan de ser trabajos menores. Estos trabajos tendrán como finalidad poder alcanzar el funcionamiento óptimo del nuevo pavimento. En base a tres indicadores podemos llegar a garantizar que sea así, tales son:

- Adherencia entre la capa existente y la sobrecarpeta.
- Espaciamiento de juntas.
- Espesor del pavimento existente.

El UTW tendrá una óptima funcionalidad, siempre y cuando, se logre la adherencia perfecta entre el pavimento existente y la sobrecarpeta de concreto con la ayuda del fresado, también cuando el espaciamiento de juntas sea corto y preferentemente uniforme, acompañado de un espesor de pavimento existente considerable para que colabore con un soporte aceptable, aun después del fresado.

2.5.3. Indicadores de funcionabilidad Ultra-Thin Whitetopping

Como se mencionó en la Sección anterior, existen tres indicadores de una correcta y óptima funcionabilidad de un UTW (Fontes & Tadeu Balbo) que, han sido propuestos en base a la experiencia de proyectos pasados semejantes, y con la intención de impulsar esta novedosa técnica de rehabilitación de pavimentos, resaltando que la información recopilada está basada en investigaciones hechas por la American Concrete Pavement Association (ACPA).

2.5.3.1. Adherencia

La adherencia entre el pavimento asfáltico y la sobrecarpeta de concreto permite un funcionamiento como una sección compuesta. Esto causa que las capas actúen monolíticamente y compartan las cargas. Con la adherencia, el eje neutro en el concreto cambia desde la mitad de la losa UTW hasta el fondo de la misma. Este descenso del eje neutro disminuye los esfuerzos llevándolos a valores que el concreto puede soportar, a pesar de su bajo espesor. El buen comportamiento del nuevo pavimento mixto se basa en que el concreto, debido a que el eje neutro ha descendido, soportará en su mayoría cargas por compresión, lo que favorecerá la performance del pavimento y no será necesario el uso de espesores mayores.

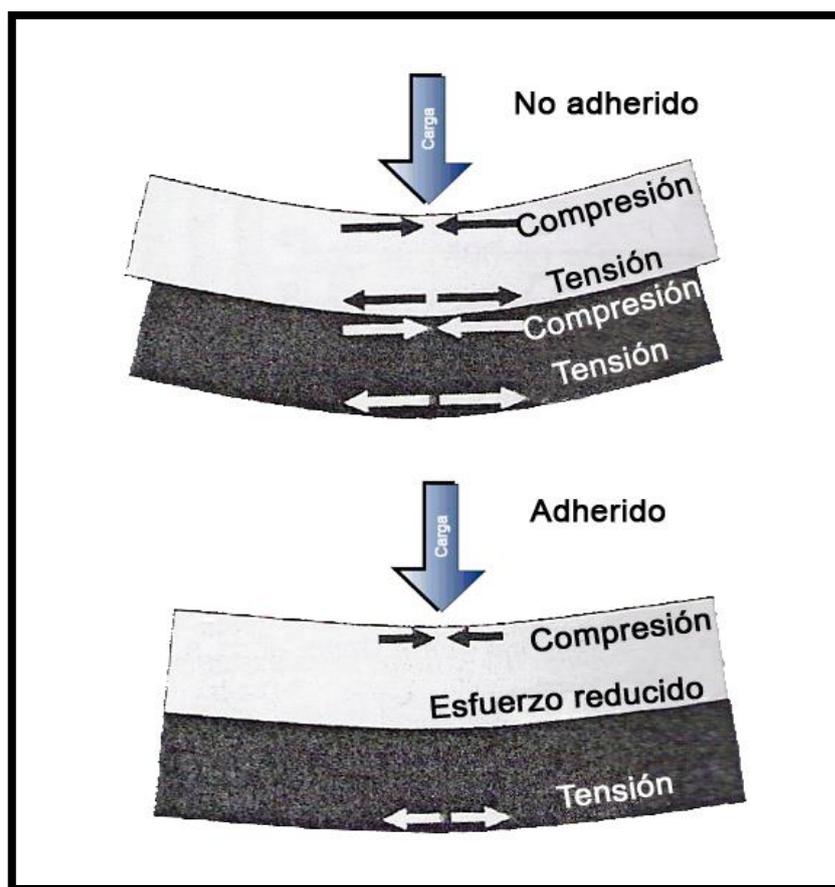


FIGURA 7: WHITETOPPING CONVENCIONAL TRABAJA NO ADHERIDO / ULTRA-THIN WHITETOPPING TRBAJA ADHERIDO

Fuente: Ultrathin Whitetopping State of the Practice for Thin Concrete Overlays of Asphalt

Según dicta la experiencia, se ha comprobado que el método más eficaz y simple de asegurar una buena adherencia es el fresado; cabe mencionar que el fresado puede ser parte de una partida de reparación previa al colocado de la sobrecarpeta, pero es independiente al fresado que se hará con el fin de lograr una buena adherencia.

Con el fin de establecer un control de calidad respecto a la adherencia de la sobrecarpeta de concreto y el pavimento asfáltico existente, es requerido la extracción de testigos a través de diamantinas que, posteriormente serán ensayadas según la norma ASTM C78.



FIGURA 8: EXTRACCIÓN DE TESTIGOS (DIAMANTINAS) PARA SER ENSAYADAS COMO CONTROL DE CALIDAD DE ADHERENCIA

Fuente: Propia basado en Proyecto Ruta 24 – Uruguay

2.5.3.2. Espaciamiento de juntas

La finalidad de un corto espaciamiento de juntas tiene lugar en el disminuir el brazo de momento al recibir la aplicación de alguna carga, lo que hace que los esfuerzos por flexión sean menores y la energía sea absorbida por el pavimento existente, también implica que el pavimento trabajara como un mecanismo apoyada por cada uno de sus componentes y no como una estructura sola. Existen algunos criterios para elegir el espaciamiento de juntas pero que en forma general depende del espesor de la sobrecarpeta UTW y del tránsito que soportara el nuevo pavimento.

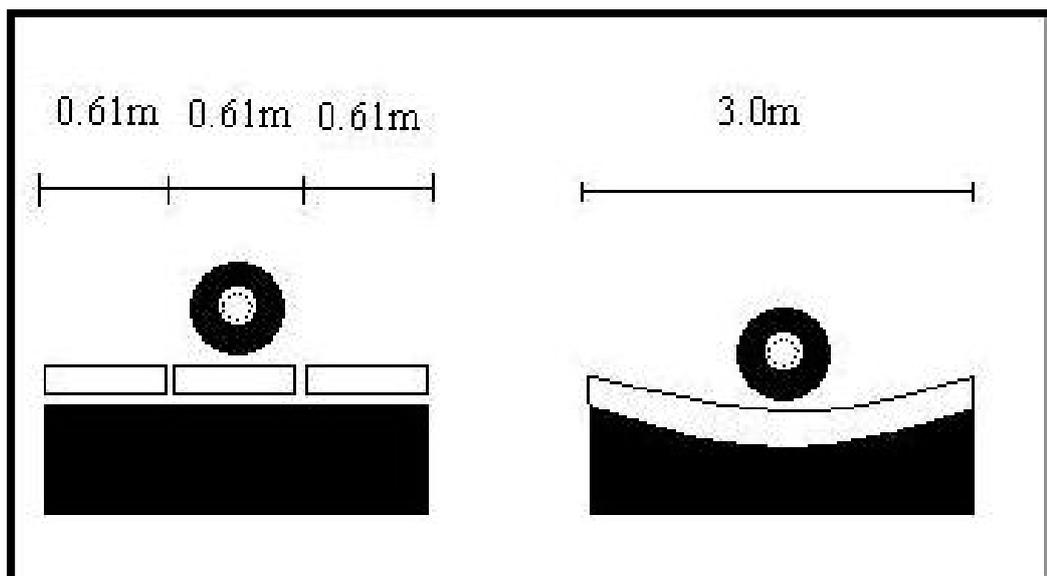


FIGURA 9: ESPACIAMIENTOS CORTOS: TRABAJA COMO MECANISMO Y NO COMO ESTRUCTURA

Fuente: Ultrathin Whitetopping State of the Practice for Thin Concrete Overlays of Asphalt

2.5.3.3. Espesor de la capa de asfalto existente

Como se ha mencionado en secciones anteriores es importante contar con un espesor de pavimento existente mayor o igual a los 7.5 cm, aun después del fresado, esto con la finalidad de proporcionar el soporte adecuado para la sobrecarpeta UTW.

El planteamiento de una capa de pavimento existente como soporte suficiente para contribuir a la capacidad de carga del futuro pavimento, disminuir la fatiga del pavimento en la zona por debajo de la superficie de rodaje, y con el principio de “a mayor espesor, menor esfuerzo”, nos permite concluir que, si ese soporte no fuera el adecuado tendríamos que eliminar el factor “adherencia”, para que la sobrecarpeta sea independiente del pavimento existente, por no colaborar estructuralmente, lo que haría que el espesor de sobrecarpeta sea mucho mayor, eliminando la posibilidad de usar un Ultra-Thin Whitetopping; esto a raíz de lo explicado anteriormente sobre el desplazamiento del eje neutro hacia el fondo de la sobre carpeta UTW. Todo esto es posible gracias a la colaboración de un pavimento existente razonablemente operativo y con un espesor de apoyo mayor a 7.5 cm.

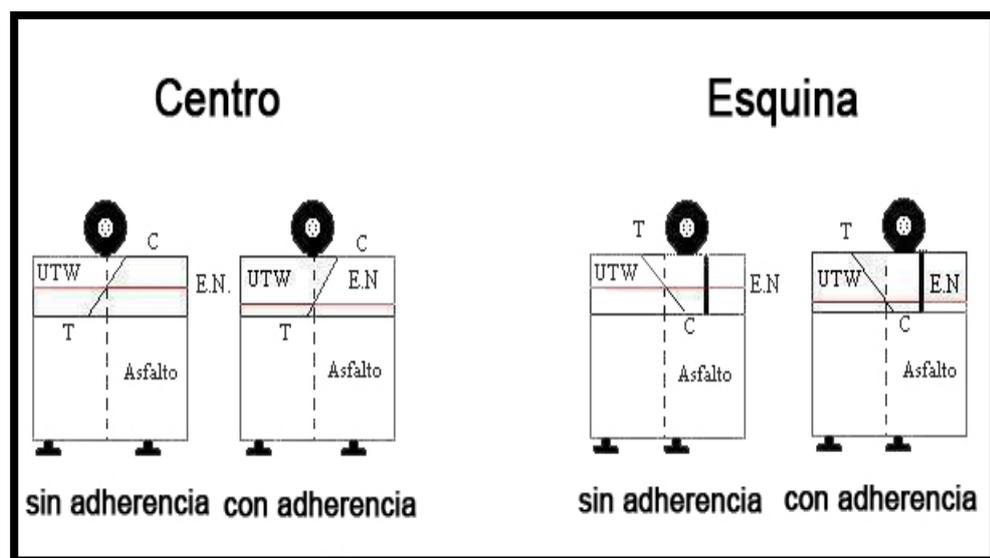


FIGURA 10: COMPARATIVO DE WHITETOPPING SIN/CON ADHERENCIA AL PAVIMENTO EXISTENTE

Fuente: Propia basada en APLICACIÓN EN CHILE DE PAVIMENTOS DELGADOS DE HORMIGÓN

2.5.4. Metodologías de diseño de la sobrecarpeta

No hay exclusividad en cuanto a la preparación del diseño de la sobrecarpeta UTW, por lo que, según sea la metodología de la organización o departamento de investigación se puede tener opciones según la conveniencia de lo necesitado.

2.5.4.1. AASHTO – 93 (American Association of State Highway and Transportation Officials, 1993)

El método AASHTO – 93 asume que un pavimento recién construido comienza a dar un servicio de alto nivel. A medida que transcurre el tiempo, y con él las repeticiones de carga de tránsito, el nivel de servicio baja. El método impone un nivel de servicio final que se debe alcanzar al concluir el periodo de diseño.

Mediante un proceso iterativo se van asumiendo espesores de losa de concreto hasta que la ecuación AASHTO 93 llegue al equilibrio. El espesor de concreto calculado finalmente debe soportar el paso de un número determinado de cargas sin que se produzca un deterioro del nivel de servicio inferior al estimado. La ecuación AASHTO 93 se presenta a continuación:

ECUACION N° 1: $\log_{10} W_{82} = Z_R S_o + 7.35 \log_{10} (D + 25.4) - 10.39 +$

$$\left(\frac{\log_{10} \left(\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right)}{1 + \frac{1.25 \times 10^{19}}{(D + 25.4)^{8.46}}} \right) + (4.22 - 0.32 P_t) \times$$

$$\log_{10} \left(\frac{M_r C_d (0.09 D^{0.75} - 1132)}{1.51 \times J \left(0.09 D^{0.75} - \frac{7.38}{(E_c/k)^{0.25}} \right)} \right)$$

Donde:

- W_{82} : No. de Repeticiones Previstas de Ejes Equivalentes de 8.2 toneladas métricas (ESAL), a lo largo de su vida útil.
- Z_R : Desviación normal estándar
- S_o : Error estándar combinado en la predicción del tránsito y en la variación del comportamiento esperado del pavimento
- D : Espesor de pavimento de concreto, en milímetros
- ΔPSI : Diferencia entre los índices de servicio inicial y final
- P_t : Índice de serviciabilidad o servicio final
- M_r : Resistencia media del concreto (en Mpa) a flexo tracción a los 28 días (método de carga en los tercios de luz)
- C_d : Coeficiente de drenaje
- J : Coeficiente de transmisión de carga en las juntas
- ϵ_c : Módulo de elasticidad del concreto, en Mpa
- k : Módulo de reacción de la subrasante ($psi/in.$)

El cálculo del espesor “D” se puede calcular utilizando directamente la fórmula AASHTO 93, con una hoja de cálculo, mediante el uso de nomogramas, o mediante el uso de un software especializado.

2.5.4.2. American Concrete Pavement Association (ACPA)

El método ACPA ha sido desarrollado a partir de las muchas experiencias en los Estados Unidos con proyectos relacionados a Whitetopping, de lo cual, se han establecido variables y tablas basadas en un análisis mecánico que nos dan como resultado la capacidad de carga y la vida útil de la sobrecarpeta.

Las tablas en mención toman las siguientes variables y valores para el diseño:

- Espesor de la sobrecarpeta UTW (h_1): 50 mm, 75 mm y 100 mm
- Espesor del Pavimento Existente (h_2): 75 mm, 100 mm, 125 mm y 150 mm
- Espaciamiento de juntas: 0.60 m, 0.90 m, 1.20 m y 1.80 m
- Módulo de Rotura (M_r): 4.8 MPa y 5.5 MPa.
- Módulo de Reacción de la Subrasante (k): 27 MPa/m y 54 MPa/m.
- Las tablas cubren dos categorías de carga:
 - Eje simple: 8.0 Tn y 11.6 Tn
 - Eje doble: 16.0 Tn y 19.6 Tn
- Categoría de Camión:
 - Carga por eje categoría A (camiones pequeños): con un máximo de carga por eje simple de 80kN (18,000lb) y para eje doble 160 kN (36,000 lb).
 - Carga por eje categoría B (camiones medianos): con un máximo de carga por eje simple 116 kN (26,000 lb) y para eje doble de 196 kN (44,000 lb).

Tomando las variables anteriores podemos tomar posición en las tablas que se muestran a continuación para obtener como resultado el número de camiones (en miles) por eje que soportaría el pavimento a lo largo de un determinado tiempo de vida útil, y dicho tiempo de vida útil será obtenido de la división del valor tomado de la tabla entre la cantidad de vehículos en un año. Para una mejor ilustración, se muestran las tablas seguidamente:

**TABLA N° 3 NÚMERO PERMISIBLE DE CAMIONES (EN MILES) POR CARRIL
PARA UTW, CATEGORIA A, K=27 MPa/m**

MÓDULO DE ROTURA (Mpa)	h2 ESPESOR DEL ASFALTO EXISTENTE (cm)	h1, ESPESOR DE LA SOBRECARPETA ULTRA-THIN WHITETOPPING					
		5 cm (2")		7.5 cm (3")		10 cm (4")	
		Espaciamiento de Juntas					
		0.90 m	0.60 m	1.20 m	0.90 m	1.8 m	1.20 m
4.8	7.5	6	60	40	104	137	303
4.8	10	56	156	125	234	294	546
4.8	12.5	169	375	314	507	593	996
4.8	15 o más	433	850	726	1083	1227	1919
5.5	7.5	24	77	90	158	273	458
5.5	10	81	193	201	321	478	825
5.5	12.5	213	422	428	625	858	1290
5.5	15 o más	514	937	917	1282	1628	2360

Fuente: Whittopping: State of the Practice (ACPA)

**TABLA N° 4 NÚMERO PERMISIBLE DE CAMIONES (EN MILES) POR CARRIL
PARA UTW, CATEGORIA A, K=54 MPa/m**

MÓDULO DE ROTURA (Mpa)	h2 ESPESOR DEL ASFALTO EXISTENTE (cm)	h1, ESPESOR DE LA SOBRECARPETA ULTRA-THIN WHITETOPPING					
		5 cm (2")		7.5 cm (3")		10 cm (4")	
		Espaciamiento de Juntas					
		0.90 m	0.60 m	1.20 m	0.90 m	1.8 m	1.20 m
4.8	7.5	30	163	117	258	331	640
4.8	10	140	385	310	519	606	1045
4.8	12.5	384	842	664	1008	1099	1755
4.8	15 o más	894	1722	1349	1952	2016	3062
5.5	7.5	70	208	221	374	577	915
5.5	10	201	484	436	715	912	1606
5.5	12.5	480	938	840	1222	1487	210
5.5	15 o más	1044	1884	1606	2265	2543	3658

Fuente: Whittopping: State of the Practice (ACPA)

**TABLA N° 5 NÚMERO PERMISIBLE DE CAMIONES (EN MILES) POR CARRIL
PARA UTW, CATEGORIA B, K=27 MPa/m**

MÓDULO DE ROTURA (Mpa)	h2 ESPESOR DEL ASFALTO EXISTENTE (cm)	h1, ESPESOR DE LA SOBRECARPETA ULTRA-THIN WHITETOPPING					
		5 cm (2")		7.5 cm (3")		10 cm (4")	
		Espaciamiento de Juntas					
		0.90 m	0.60 m	1.20 m	0.90 m	1.8 m	1.20 m
4.8	7.5	N/A	29	1	38	8	136
4.8	10	55	90	43	122	98	299
4.8	12.5	197	8	167	301	273	593
4.8	15 o más	511	528	428	671	639	1177
5.5	7.5	9	43	31	84	106	268
5.5	10	101	110	98	188	238	471
5.5	12.5	277	264	252	406	501	845
5.5	15 o más	638	596	575	832	1006	1558

Fuente: Whittopping: State of the Practice (ACPA)

**TABLA N° 6 NÚMERO PERMISIBLE DE CAMIONES (EN MILES) POR CARRIL
PARA UTW, CATEGORIA B, K=54 MPa/m**

MÓDULO DE ROTURA (Mpa)	h2 ESPESOR DEL ASFALTO EXISTENTE (cm)	h1, ESPESOR DE LA SOBRECARPETA ULTRA-THIN WHITETOPPING					
		5 cm (2")		7.5 cm (3")		10 cm (4")	
		Espaciamiento de Juntas					
		0.90 m	0.60 m	1.20 m	0.90 m	1.8 m	1.20 m
4.8	7.5	N/A	75	6	102	56	298
4.8	10	55	216	110	284	230	578
4.8	12.5	197	497	331	620	553	1076
4.8	15 o más	511	1052	771	1221	1148	1915
5.5	7.5	9	111	79	197	266	551
5.5	10	11	261	221	398	502	875
5.5	12.5	277	573	495	778	22	1460
5.5	15 o más	638	1178	1002	1481	1583	2418

Fuente: Whittopping: State of the Practice (ACPA)

2.5.4.3. Portland Cement Concrete (PCC)

Este método permite predecir el Numero de Repeticiones de Ejes Equivalentes (Equivalent Single Axle Load, ESAL) hasta que el pavimento falle, para ello, se toma como variables espesores de pavimento existente y sobrecarpeta, separación de juntas y todas sus propiedades mecánicas.

Técnicamente este método es un proceso de análisis que permite la predicción del número de ejes hasta llegar a la falla del pavimento, para una configuración dada en cuanto a espesores y separación de las juntas. Para el desarrollo de esta metodología se ha propuesto el uso de una hoja de cálculo basado en un modelo tridimensional de elementos finitos, con la finalidad de tener un modelamiento real de cómo funcionaría dicho diseño UTW.

La presente metodología se desarrolló en el Illinois con colaboración de varios de sus departamentos de investigación, que fue ensayada a escala real, con la verificación de los datos obtenidos luego en los estados de Colorado y Missouri. Luego de un estudio se verifico que las predicciones hechas antes de los ensayos tenían un error de entre el 14 % al 34 %. Con el fin de dar un factor de corrección a los errores en mención, se planteó el considerar una adherencia parcial, lo que representaría algo mucho más pegado a la realidad, ya que, en la práctica no se puede asegurar realmente que la adherencia se dé al 100%. Finalmente, se considera también un factor de seguridad del 36%, estos representan esfuerzos adicionales promedio más la desviación estándar por comportamientos circunstanciales.

Basados en todos estos criterios anteriores, se propusieron algunas ecuaciones, que no son más que la representación de todas las experiencias acumuladas. Dichas ecuaciones son las siguientes:

$$\text{ECUACION N}^\circ 2: \log_{10}(\sigma_{PCC,18KSAL}) = 5.025 - 0.465 \times \log_{10}(k) + 0.686 \times \log_{10}\left(\frac{L_{adj}}{l_e}\right) - 1.291 \times \log_{10}(l_e)$$

$$\text{ECUACION N}^\circ 3: \Delta\sigma_{PCC,\Delta T} = 28.037 - 3.496 \times \alpha_{PCC} \times \Delta T + 18.382 \times \left(\frac{L_{adj}}{l_e}\right)$$

Donde:

$\sigma_{PCC,18KSAL}$: Tensión superficial en las esquinas de la capa de concreto (UTW) para una carga de 18-kip de un eje simple. (psi)

α_{PCC} : Coeficiente de expansión térmica del concreto ($\epsilon/^\circ F$)

- ΔT : Gradiente de temperatura en la capa de concreto ($^{\circ}F$)
 k : Módulo de reacción de la subrasante ($psi/in.$)
 L_{adj} : Largo de la losa ($in.$). Definido como:

$$\text{ECUACION N}^{\circ} 4: \quad L_{adj} = 12 \times \left(8 - \frac{25}{\frac{L}{12} + 2} \right)$$

- L : Largo de la losa ($in.$)

$$\text{ECUACION N}^{\circ} 5: \quad \left(\frac{E_{PCC} \times \frac{t_{PCC}^2}{2} + E_{HMA} \times t_{HMA} \times \left(t_{PCC} + \frac{t_{HMA}}{2} \right)}{E_{PCC} \times t_{PCC} + E_{HMA} \times t_{HMA}} \right)$$

Donde:

- E_{PCC} : Módulo de elasticidad del concreto (PCC) (psi)
 E_{HMA} : Módulo de elasticidad del asfalto (HMA) (psi)
 t_{PCC} : Espesor de la capa de concreto ($in.$)
 t_{HMA} : Espesor de la capa de asfalto (HMA) ($in.$)

El Doctor en Ingeniería Civil, Jeffery R. Roesler, de la Universidad de Illinois desarrolló un par de hojas de cálculo de diseño en Excel para conseguir un espesor de hormigón y un espesor mínimo de la capa de rodadura remanente y que la dio a conocer por medio de su publicación (Roesler, 2005). Estas hojas de cálculo se modificaron en el Uruguay por la empresa Hormigones Artiga, modificando el tipo de unidades al introducir datos al programa, y con este se construyó la primera experiencia en Latinoamérica de Ultra-Thin Whitetopping. Cabe resaltar que con dicho programa que, funciona desde la plataforma del Excel, será el que usaremos para el diseño de la sobrecarpeta, como aplicación de la presente metodología de diseño Ultra-Thin Whitetopping y tiene como nombre PCC INLAY/OVERLAY DESIGN SHEET.

2.5.5. Control de Calidad de Agregados

El conjunto de agregados del concreto debe estar constituido por elementos duros y con la más favorecedora granulometría, textura y forma, esto tiene por objeto eliminar impurezas del agregado (limos, arcillas, materia orgánica, etc.) y también elementos con formas alargadas o planas, o material ligero que puede considerarse defectuoso y, por ende, restar calidad al agregado como conjunto y finalmente al

concreto en sí. Por lo explicado líneas arriba, se tomará como referencia la norma ASTM C-33 para la verificación de calidad del agregado.

2.5.5.1. Agregado fino

El agregado fino está conformado por la masa pasante desde el tamiz No. 04 hasta el tamiz No. 100 y puede ser, según los resultados obtenidos, arena de canto rodado, manufacturada o natural. El porcentaje de material pasante estará definido según la norma ASTM C33.

Con el fin de tener partículas ordenadas uniformemente de los tamaños requeridos, este agregado no debe acumular más del 45% retenido en dos tamices consecutivos. Otro requisito es que el módulo de finura debe encontrarse entre los valores de 2.3 a 3.1.

2.5.5.2. Agregado grueso

Gravas o piedra triturada, concreto de cemento hidráulico triturado, escoria de hornos de explosión o una combinación todos los ya mencionados son básicamente la composición de éste, está compuesto por todo el material retenido desde el tamiz No. 04, evitando que tengan formas muy alargadas o planas y que no sean de textura porosa tal como lo requiere la norma ASTM C33. El tamaño promedio del agregado grueso es elegido en el proceso de diseño de mezcla y es seleccionado de acuerdo a las necesidades del proyecto y, por ende, también la granulometría se presentará de acuerdo al tamaño y a lo que dicta la norma ASTM C33 en mención.

2.5.5.3. Absorción y Contenido de Humedad

El contenido de humedad constituye la humedad de saturación más la humedad superficial. Este factor contribuye a la corrección por humedad que se hará en el diseño de mezcla. También tiene lugar la absorción del agregado en dicha corrección.

El cambio de porcentaje de humedad y de absorción tiene influencia directa en el asentamiento del concreto, y, por ende, en su resistencia, por lo que, es importante tomar mucha atención a estos factores.

Los agregados se encuentran en condiciones ideales cuando se encuentran saturados y con superficie seca con el fin que no sean necesarios hacer las

correcciones que se mencionaron anteriormente, es decir, no proporcione agua al diseño de mezcla, y tampoco la absorba.

2.5.5.4. Peso específico

El peso específico representa el peso de un cuerpo entre el volumen de tal, ocupando su lugar propio (volumen) de acuerdo a su masa. Este valor tiene importancia en el cálculo del peso que ocupará en un m³ de concreto, dicho cálculo tendrá lugar en el diseño de mezcla.

Con el fin de obtener dichos valores, la ASTM ha propuesto para agregados finos la norma ASTM C128 y para agregado grueso ASTM C127 con sus respectivos procedimientos.

2.5.5.5. Peso unitario compactado seco

Este valor es constantemente mencionado en la norma ASTM C29 como el peso con respecto a su volumen y su aplicación práctica es el volumen unitario (m³ o pie³).

Este valor representa el peso compactado seco, lo que implica que debe ser apisonado y secado previamente.

2.5.6. Fibras (SIKA)

El concreto es una pasta compuesta de materiales ya mencionados y posee características particulares, de las cuales podemos resaltar su gran capacidad para desempeñarse frente a cargas de compresión, no obstante, no posee las mismas fortalezas al tratarse de esfuerzos a tracción, de ahí se toma al acero estructural como complemento para que se forme el concreto armado y así desarrollar gran desempeño frente a trabajos de tracción y también de flexión al tratarse de elementos estructurales continuos.

Al tratarse de elementos a reforzar discontinuos podemos recurrir a fibras que, mejoraran la resistencia del concreto a tracción disminuyendo las fisuras de concreto en sus estados fresco y endurecido.

Podemos enumerar muchos tipos de fibras (vidrio, acero, acrílicas, aramida, carbono, nylon, poliéster, polipropileno, etc.) de los cuales, por sus características y propiedades, tales como, resistencia a la corrosión expuesto al ambiente, alto módulo de elasticidad, así como resistencia a la tracción, utilizaremos las Fibras Sintéticas, y

de entre ellas, las macrofibras de polipropileno serán la propuesta a impulsar el diseño del presente proyecto.

2.5.6.1. Fibras sintéticas

Las mencionadas se caracterizan en que son hechas a partir de un proceso llamado polimerización, obteniendo los conocidos polímeros que por su naturaleza favorece al diseño UTW y sus funciones como pavimento y al estar expuesto al ambiente y a otros agentes externos.

Por su tamaño y diámetro las Fibras Sintéticas se clasifican en Microfibras, las cuales poseen un diámetro menor a 0,3 milímetros, y en Macro fibras, las que tienen un diámetro igual o mayor a 0,3 milímetros tal como se mencionan a continuación:

- Microfibras: Tienen un uso no estructural y se emplean, principalmente, para el control de figuración por retracción plástica, protección pasiva contra el fuego y durabilidad. En general, estas fibras se agregan al hormigón durante la preparación de la mezcla, de manera que queden distribuidas aleatoriamente en la masa del mismo.
- Macrofibras: Llamada también Fibra Sintética Estructural, tiene la capacidad de armar estructuralmente el hormigón, permitiendo eliminar en los componentes de hormigón las mallas de acero electro soldada y reducir la armadura en determinadas condiciones. La añadidura de estas fibras le concede al hormigón ductilidad, que le permite deformarse conservando una buena resistencia y tenacidad, dándole capacidad para oponerse a la propagación de una posible fisura disipando la energía de deformación. Estas Macro fibras poseen longitudes que varían entre los 20 y los 60 milímetros, y la elección de la misma para su uso en el hormigón está directamente relacionada con el tamaño máximo de este.

2.5.6.2. Consideraciones para el uso de fibras

Se debe tener en cuenta y evaluar las siguientes consideraciones para el uso efectivo de fibras en el concreto:

- Las fibras deben poseer un alto módulo de elasticidad para que apoyen al concreto frente a los esfuerzos en la matriz.
- El volumen de fibras debe ser el adecuado.
- Por la naturaleza de la fibra, se debe tener en cuenta la buena adherencia a de la misma a la matriz del concreto.

- Debido al uso por la que son requeridas, las fibras deben ser esbeltas, es decir, de gran longitud respecto al diámetro.

2.5.6.3. Beneficios del uso de fibras sintéticas

- Reduce notablemente el costo de mano de obra.
- No son vulnerables ante agentes corrosivos.
- Reemplaza el uso de refuerzo de acero estructural, mallas electro-soldadas, etc.
- Descarta la posibilidad de mala colocación (cangrejas).
- Contribuye a la resistencia a compresión y flexión de forma gradual y es el principal agente de resistencia antes esfuerzo de tracción.
- Aumenta la trabajabilidad del concreto.
- Aumenta la ductilidad y la durabilidad cuidándolo de esfuerzos al momento del fraguado.
- Aumenta la resistencia a la abrasión y al impacto.
- Colabora para lograr resistencias tempranas altas.

2.5.6.4. Sika Fiber Force PP-65

Sika Fiber Force PP 65, es una macrofibra de polipropileno diseñada y usada para reforzar el concreto, su fabricación está basada en polímeros de polyolefina de alto desempeño deformada especialmente para un mejor anclaje en el concreto haciendo de la mezcla un material más trabajable al ser proyectado.

Para mayor detalle de las fibras recomendadas en este proyecto, ver ANEXO V, de dónde fue extraída la información para la siguiente tabla:

TABLA N° 7 DATOS TÉCNICOS DE SIKA® FIBER FORCE PP-65

CARACTERÍSTICA	PROP DEL MATERIAL
Absorción de agua	0%
Gravedad Especifica	0.92
Largo de la Fibra	65 mm
Ancho de la Fibra	1.2855 mm
Espesor de la Fibra	0.3325 mm
Resistencia a la Tracción	620 Mpa
Conductividad Eléctrica	Baja
Fibras por kilo	26.000 +/- 3%
Punto de Fusión	440°C
Punto de Ablandamiento	170°C
Resist a Alcalis, Sales, Acidos	Alta

Fuente: Hoja Técnica Sika Fiber Force PP – 65

**FIGURA 11: PRESENTACIÓN COMERCIAL SIKA FIBER FORCE**

Fuente: www.sika.com

2.6. DEFINICION DE TERMINOS

En la presente investigación se ha hecho uso de términos poco usuales y otros que sí lo son en el ámbito ingeniería de pavimentos nacional, esto debido a que el uso de pavimentos en el Perú está enfocado netamente a pavimentos asfálticos. También porque la bibliografía usada para esta tesis ha sido seleccionada de entre publicaciones del tema en el idioma inglés.

- ACPA: American Concrete Pavement Association.
- Aditivo: Son componentes orgánicos o inorgánicos que tienen por finalidad modificar las características de la mezcla de concreto convencional.
- Aforos: Se refiere al conteo de vehículos que se realiza con el fin de tener una idea real del tipo de vía según la cantidad de vehículos que transita para su proyección a lo largo de su vida útil.
- Ahuellamiento: Son hundimientos provocados por la presión de los neumáticos y que tiene por efecto la deformación de alguna de las capas del pavimento; normalmente no son visibles sino luego de la exposición a la lluvia.
- AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Baches: Son áreas del pavimento que fueron reemplazadas por otro material, y en el caso particular de Tacna, debido a trabajos realizados por la empresa administradora del servicio de agua.
- Drenaje: Conjunto de trabajos destinado a la evacuación del agua tanto superficial como internamente.
- Eje Neutro: Es el punto de una estructura donde las deformaciones son cero.
- ESAL: Equivalent Single Axle Load, que en español es Carga de Eje Simple Equivalente, lo que está referido al equivalente repeticiones de carga por una medida estándar de carga, la cual es de 8.2 Tn (18 kips).
- Fresado: Trabajo de nivelación del pavimento existente y que, en el caso de Ultra-Thin Whitetopping, sirve para dar rugosidad al pavimento asfáltico y asegurar una buena adherencia entre la capa existente y la sobrecapa de concreto.
- HMA: Hot-Mix Asphalt, en su traducción al español, Mezcla de asfalto en caliente.

- Pavimento Asfáltico: Es el tipo de pavimento que usa como material base al asfalto y actúa de forma elástica (flexible), a diferencia del pavimento rígido.
- Pavimento Rígido: Dícese del pavimento que usa como material base el cemento portland, y trabaja como una losa de concreto simple que, por su rigidez y alto módulo de elasticidad soporta los esfuerzos aplicados en éste.
- PCA: Portland Cement Association.
- Piel de Cocodrilo: Son grietas longitudinales y paralelas en serie, provocadas por cargas repetidas de tránsito.
- Recapeo: Es la actividad de reparación superficial y funcional del pavimento flexible que consiste en rellenar con asfalto en caliente la capa de rodadura.
- Sobrecarpeta: Capa (de otro material, generalmente) que cubre y es colocada sobre el pavimento existente con el propósito de reparar fallas en el mencionado.
- Testigos (Diamantinas): Los testigos son fragmentos extraídos de una estructura y que, en el presente caso, del pavimento; tiene como finalidad comprobar la buena adherencia entre el pavimento existente y la sobrecarpeta de concreto Ultra-Thin Whitetopping, y se hace luego de terminado el proceso constructivo, como una prueba de control de calidad.
- Trabazón de Agregados: Es el efecto que se procura adquirir entre losa y losa del pavimento (separadas por juntas) que consiste en el atascamiento del agregado del concreto, y que tiene por objeto la omisión de dispositivos de transmisión de carga.
- Ultra-Thin Whitetopping: Esta referido al Whitetopping que, por su espesor, es el más delgado en su clase, encontrándose en un rango de 5 a 10 cm (2-4 pulgadas).
- Whitetopping: En su traducción al español (cubierta blanca), indica el uso de una sobrecarpeta de concreto en el pavimento asfáltico a reparar.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLOGICO

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACION

En la presente investigación se ha procurado mantener una metodología estándar y están dictados según su la intervención del investigador, la planificación de la toma de datos y según el número de variables de interés.

3.1.1. Tipo de Investigación

El tipo de investigación es experimental, ya que, se ha planificado encontrar un diseño mediante la manipulación de sus variables con la finalidad de cumplir los objetivos de la investigación. Por lo explicado anteriormente, la investigación tiene un tono prospectivo debido a que el investigador ha recogido los datos necesarios haciendo un muestreo en zonas especificadas en este capítulo. Las variables de estudio se han tomado de forma relacionada en dos ocasiones (Arias y Aragüez y Modesto Molina), esto a causa de que son las mismas variables, pero tomadas de zonas de estudio diferentes, por lo tanto, la investigación se de tipo longitudinal. Se ha establecido hipótesis que están relacionadas al Ultra-Thin Whitetopping, pero una describe la forma de no incurrir en más gastos de mantenimiento, mientras que, la otra plantea que la facilidad constructiva facilita una rápida apertura al tránsito; ambas hipótesis trabajan como una sola en la propuesta del Ultra-Thin Whitetopping como solución sostenible para pavimentos asfálticos, por lo tanto, esta investigación es de tipo analítica.

3.1.1. Nivel de Investigación

El nivel de investigación de esta tesis será descriptivo, debido a que estamos hablando de variables dependientes al espacio y tiempo, en el sentido que en el distrito de Tacna no tenemos uniformidad de suelos ni de tipos de vías, y que según sea el tiempo de vida útil a proyectar, así como, el año desde el que se quiere proyectar nunca se hallarán bajo las mismas condiciones, sino que dependerá que la situación espacio-tiempo, tal como se menciona. Se propone que sea inferencial porque se desea, en investigaciones posteriores, proponer la aplicación a todo la región a partir del muestreo hecho en la presente investigación.

3.2. MUESTRA DE ESTUDIO

Las vías sobre las cuales se ha realizado la presente investigación significan un muestreo de todo el distrito, con el fin de dar mayor detalle a los diseños, y están ubicadas en las calles Modesto Molina y Arias y Aragüez, en la zona central de la zona Noroeste del distrito de Tacna, Provincia de Tacna, Departamento de Tacna (véase FIGURA 12).



FIGURA 12: DELIMITACIÓN DE TRAMOS DE MODESTO MOLINA Y ARIAS Y ARAGÜEZ TOMADOS COMO MUESTRA PARA LOS DISEÑOS

Fuente: Google Earth

3.2.1. Clima

El clima de Tacna corresponde al de la costa peruana por ser fluctuante con temperaturas altas en verano y frías en invierno, no diferenciándose claramente las estaciones de otoño y primavera, como es el caso de las regiones ubicadas en los trópicos.

Según la clasificación de suelos el instituto Nacional de recursos nacionales y de acuerdo al mapa ecológico de Zonas de Vida, al distrito Tacna le corresponde Desierto Superárido Templado Cálido, en tanto que en la delimitación de las zonas geográficas se ubica en la zona Costa Baja, con presencia de Costa Media en el límite del distrito Pocollay.

Las temperaturas tienen variación dentro del rango de los 8.4 y los 27.6 °C como promedio anual, durante el día presentando un cielo nublado parcial variando a cielo despejado y por la tarde con tendencia a cielo nublado.

En la ciudad de Tacna las precipitaciones pluviales son mínimas e irregulares las cuales varían de año en año, es decir que una precipitación no es característico de la ciudad. En la ciudad existen pequeñas precipitaciones (lloviznas) que no son de gran inmensidad esto en la estación de invierno o termino de verano.

Las evaporaciones se dan principalmente en las estaciones de verano e invierno en las cuales los cambios de temperatura son bruscos. Como el calor intenso que hace las aguas del mar y de los ríos existentes en la zona se evaporen, lo cual genera bastante nubosidad y lluvias en las zonas altas del departamento de Tacna. La humedad relativa de la zona es de 55% en verano y 80% en invierno. La dirección de los vientos es de Sur a Sur-oeste y generalmente alcanzan una velocidad entre 6 a 14 km/h.

3.2.2. Ubicación geográfica del distrito de Tacna

El distrito de Tacna es uno de los 11 distritos de la Provincia de Tacna, se encuentra ubicado al sureste del departamento de Tacna, departamento de Tacna, al Sur del Perú, y a una altitud de 562 msnm.

La topografía de la ciudad es ligeramente irregular y se encuentra en pendiente, siendo los suelos conformados mayormente de gravas de diversas dimensiones y en menor proporción conformado por arenas limosas. Formándose generalmente dos estratos.

3.2.3. Límites geográficos del distrito de Tacna

Los límites del distrito se establecen de la siguiente manera:

- Por el Noreste: Con el Distrito de Pocollay
- Por el Noroeste: Con el Distrito de Alto de la Alianza
- Por el Sureste: Con el Distrito Gregorio Albarracín Lanchipa

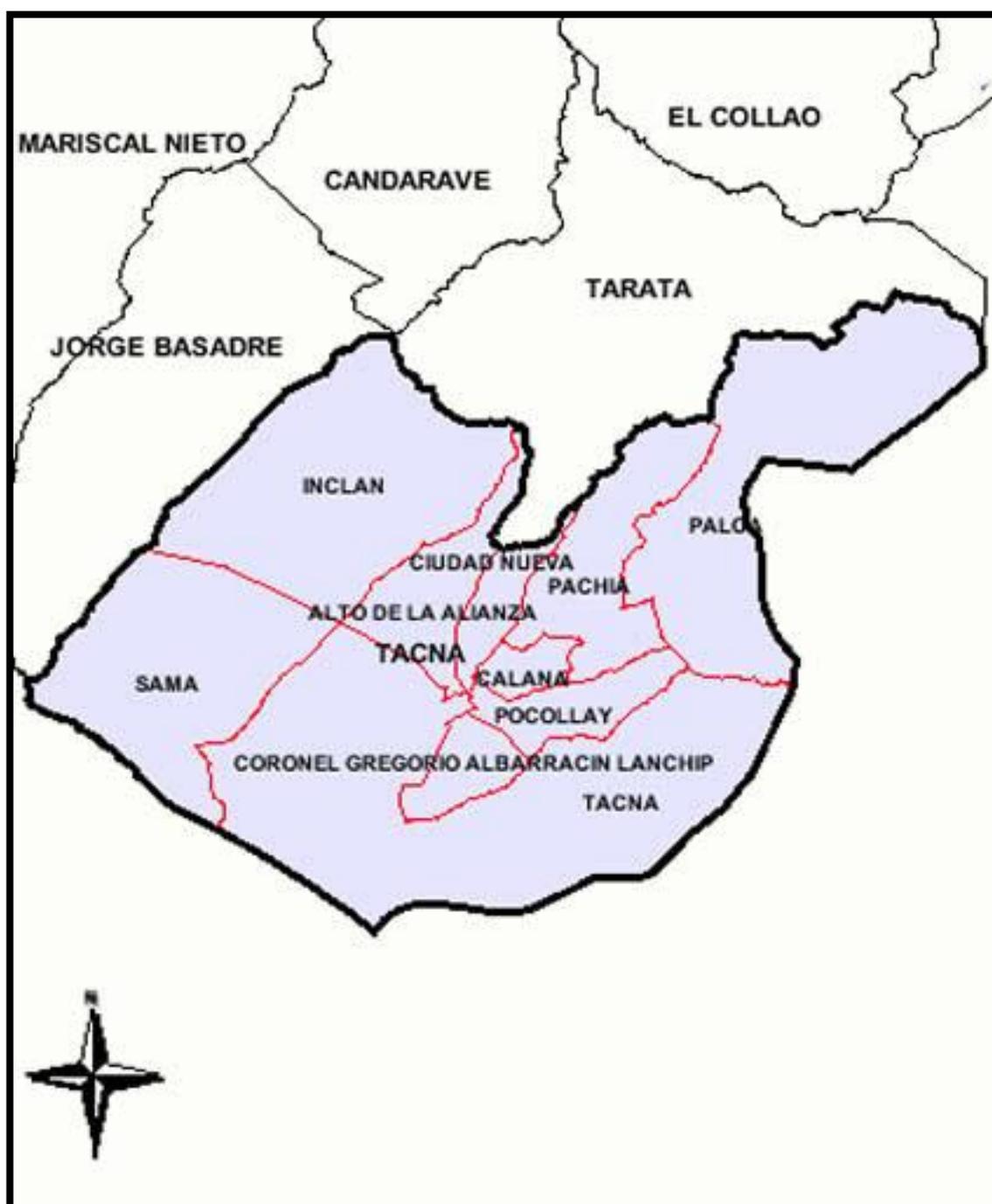


FIGURA 13: MAPA POLÍTICO DE TACNA (PROVINCIA)

Fuente: www.perutoptours.com

3.3. COMPOSICION VEHICULAR

Para el diseño de carreteras y vías en general se tiene como base la demanda bajo la que esta funcionará, en otras palabras, el volumen vehicular, la tasa de crecimiento y la composición final de la vía.

Existen dos tipos de investigación, los estudios integrales y los estudios particulares, ambos dependen de las variables que hemos mencionado en el párrafo anterior para dar solución al requerimiento de una carretera.

Los estudios integrales tienen como característica analizar la red vial desde un punto de vista global tanto en alcance como en tiempo, mientras que, los estudios particulares evalúan una determinada zona según el requerimiento del cliente para mejorar dicha ruta o solucionar algún aspecto específico, siempre tomando como referencia el año horizonte del proyecto.

En la presente investigación haremos uso del segundo tipo, estudios particulares, enfocadas en las zonas indicadas en la FIG.12, a saber, Calle Arias y Aragüez (desde la Avenida Augusto B. Leguía hasta la Calle Modesto Molina) y Calle Modesto Molina (desde la Avenida Hipólito Unanue hasta la Calle Arias y Aragüez). La propuesta tiene como finalidad ofrecer una mejor calidad vial en cuanto a la estructura del pavimento.

3.3.1. Análisis de la infraestructura y el transporte

El transporte terrestre es primordial dentro de la ciudad de Tacna, siendo la única alternativa para la movilización de la población.

Respecto a las zonas de estudio, hay una variedad de Rutas Alternativas con las que se puede trabajar, ya propuestas cuando se realizaron los trabajos de alcantarillado por parte de la empresa reguladora del recurso hídrico.

3.3.2. Información existente sobre el Tráfico

Debido a la carencia de información objetiva relacionada al tema de estudio ya que en los registros municipales solo poseen conteos del transporte público y no vehículos particulares se ha procedido a realizar un estudio de tráfico vehicular especialmente para la presente propuesta.

3.3.3. Conteo del Tráfico

Los conteos y clasificado de la masa vehicular se realizaron en la calle Modesto Molina, entre las calles Hipólito Unanue y Arias y Aragüez, y en la calle Arias y Aragüez, entre las calles Ordonel Vargas y Modesto Molina. Los mencionados conteos se efectuaron a lo largo de las 24 horas y dentro de los 7 días de la semana, tomando como inicio el día miércoles 01 y concluyendo el martes 07 de noviembre del año 2018.

TABLA N°08 CONTEO DE VEHICULOS POR TIPO - ARIAS Y ARAGÜEZ

DIAS	Sentido	Vehiculos Livianos			Buses 2 Ejes			B+2E			Camión 2 Ejes		Camión + 2 Ejes										Total			
		AU		CR	MB	B2	B3	B4	C2 Chico	C2 Grande	C3	C4	2S2	2S3	3S2	3S3	2T2	2T3	3T2	3T3						
Miercoles 01/11/2017	Ambos	299	68	201	244	2	0	0	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	824
	D	153	35	102	125	0	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	421
	I	146	33	99	119	2	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	403
Jueves 02/11/2017	Ambos	304	66	208	245	1	0	0	9	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	837
	D	155	33	105	124	0	0	0	5	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	425
	I	149	33	103	121	1	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	412
Viernes 03/11/2017	Ambos	310	62	207	248	1	0	0	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	836
	D	161	32	104	126	0	0	0	3	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	429
	I	149	30	103	122	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	407
Sabado 04/02/2013	Ambos	319	66	214	249	2	0	0	4	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	861
	D	163	35	108	128	2	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	442
	I	156	31	106	121	0	0	0	1	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	419
Domingo 05/11/2017	Ambos	300	59	185	234	1	0	0	5	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	788
	D	157	32	94	120	1	0	0	4	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	412
	I	143	27	91	114	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	376
Lunes 06/11/2017	Ambos	298	65	201	251	1	0	0	7	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	826
	D	153	34	102	129	0	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	424
	I	145	31	99	122	1	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	402
Martes 07/11/2017	Ambos	291	54	198	252	1	0	0	5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	805
	D	149	29	101	127	1	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	413
	I	142	25	97	125	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	392
PROMEDIO SEMANAL AMBOS		303	63	202	246	1	0	0	6	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	825

Fuente: Propia

TABLA N°09 CONTEO DE VEHICULOS POR TIPO - MODESTO MOLINA

DIAS	Sentido	Vehiculos Livianos			Buses 2 Ejes			B+2E		Camión 2 Ejes		Camión + 2 Ejes								Total					
		AU	CM	CR	MB	B2	B3	B4	C2 Chico	C2 Grande	C3	C4	252	253	352	353	272	273	372		373				
Miercoles 01/11/2017	Ambos	126	51	61	94	1	0	0	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	340
	D	65	28	35	51	1	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	186
	I	61	23	26	43	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	154
Jueves 02/11/2017	Ambos	129	48	59	96	2	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	341
	D	67	26	36	52	1	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	188
	I	62	22	23	44	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	153
Viernes 03/11/2017	Ambos	121	48	58	95	1	0	0	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	332
	D	67	25	35	52	1	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	186
	I	54	23	23	43	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	146
Sabado 04/02/2013	Ambos	124	52	59	95	2	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	337
	D	61	28	37	54	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	185
	I	63	24	22	41	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	152
Domingo 05/11/2017	Ambos	119	41	49	86	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	298
	D	61	21	30	49	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	163
	I	58	20	19	37	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135
Lunes 06/11/2017	Ambos	124	48	59	95	1	0	0	5	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	334
	D	65	26	35	52	1	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	185
	I	59	22	24	43	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	149
Martes 07/11/2017	Ambos	120	47	56	89	1	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	317
	D	62	25	35	50	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	176
	I	58	22	21	39	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	141
PROMEDIO SEMANAL AMBOS		123	48	57	93	1	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	328

Fuente: Propia

3.3.4. Cálculo del índice medio diario (IMD)

El IMD está referido a la cantidad total de vehículos contabilizados en un determinado periodo de tiempo igual o menor a un año (días completos), divididos entre el número de días del periodo.

Como resultado de los conteos se obtuvieron los resultados mencionados líneas arriba y también en la TABLA N°08 y la TABLA N°09.

3.3.5. Cálculo del índice medio diario semanal (IMDS)

El IMDS o también Promedio del Tráfico Diario Semanal se obtiene a partir del volumen vehicular registrado en los conteos diarios mediante la aplicación de la siguiente formula:

$$\text{ECUACION N° 6: } \quad \text{IMDS} = \sum V_i / 7$$

Donde:

V_i : Volumen vehicular diario de cada uno de los 7 días

3.3.6. Factores de corrección

Debido a que se requiere dar una muestra de la forma más precisa y real del comportamiento del tráfico para determinar el IMDA, es necesario hacer uso de Factores de Corrección con el fin de tener valores que estén dentro del plano anual.

Para la presente investigación se ha visto por conveniente que se usarán para vehículos ligeros $FC=1.029$ y para vehículos pesados $FC=1.004$ que han sido tomados de PROVIAS NACIONAL.

3.3.7. Índice medio diario anual (IMDA)

El IMDA es obtenido del producto de del IMDS (Índice Medio Diario Semanal) con el correspondiente Factor de Corrección (FC), tal como se muestra en la fórmula:

$$\text{ECUACION N° 7: } \quad \text{IMDA} = \text{FC} \times \text{IMDS}$$

Cabe mencionar que las correcciones se hacen en ambos carriles dado que las vías son en un solo sentido.

3.3.8. Vida útil del pavimento

Para pavimentos rígidos, por lo general, se consideran periodos de vida útil de entre 20 y 30 años. Para la presente investigación se ha considerado un periodo de 30 años de vida útil al tratar de optimizar los diseños de forma que signifique gran reducción de costes debido al ahorro en trabajos de mantenimiento y tomando en cuenta que se trata de un pavimento ultra delgado en su espesor que, por ende, no suelen tener largos periodos de vida útil como un pavimento rígido convencional.

3.3.9. Tasa de crecimiento anual

Esta variable está definida en correlación de la dinámica de crecimiento socio-económico. En el caso de vehículos ligeros tomamos el porcentaje de crecimiento de poblacional, por tratarse de vehículos de pasajeros, $r=2.10\%$ y para vehículos pesados tomamos el porcentaje de crecimiento económico (PBI), por tratarse de vehículos de carga, $r=2.31\%$. Los datos anteriores han sido tomados del portal del INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática).

3.3.10. Factor de crecimiento

Para el definir tasas de crecimiento vehicular dependemos, por lo general, de registros históricos o estudios hechos anteriormente en la zona de estudio, vías circundantes o de naturaleza similar. Para el presente estudio no contamos con la información mencionada o estadística de tráfico del MTC que pueda ser de utilidad.

Hemos utilizada una metodología alternativa debido a no contar con la suficiente información, y está basada en factores macroeconómicos ya mencionados (PBI, Demografía, etc.) correspondientes al área de influencia.

Definimos el Factor de Crecimiento con la siguiente ecuación:

$$\text{ECUACION N}^\circ \text{ 8: } \quad \textit{Factor de crecimiento} = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

Donde:

- r : Tasa de crecimiento anual (en centésimas)
- n : Años de periodo de diseño (30 años)

3.3.11. Cálculo del número de repeticiones de ejes equivalentes

El concepto de ESAL (Equivalent Single Axle Load) fue desarrollado y normado por la AASHTO, representa el daño causado en la capa de rodadura por un eje simple de 8.2 toneladas. Con la finalidad de contabilizar el Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 t se presenta la siguiente formula:

ECUACION N° 9: $N_{rep EE 8.2t} = \sum [EE_{dia-carril} \times 365 \times (1 + r)^{n-1}] / r$

ECUACION N° 10: $EE_{dia-carril} = EE \times \text{Factor Direccional} \times \text{Factor Carril}$

ECUACION N° 11: $EE = N^{\circ} \text{ de vehiculos segun tipo} \times \text{Factor de Carga} \times \text{Factor Presion Llantas}$

Donde:

$N_{rep EE 8.2t}$: Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 Tn (ESAL)

$EE_{dia-carril}$: Ejes Equivalentes por el día para el carril de diseño

EE : Ejes Equivalentes

$Factor Dirccioal$: 1, por tratarse de un solo sentido en vía de dos carriles

$Factor Carril$: 1, corresponde a un carril por dirección o sentido

$Factor Presion Llantas$: 1, este valor se estima para los Caminos de Bajo Volumen de Tránsito (CBVT) y con capa de revestimiento granular.

Fuente: (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2005)

Teniendo el Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 Tn podemos usar la sumatoria para el diseño, el cual dio como resultados las siguientes tablas según zona de estudio:

TABLA N°10 CALCULO DE NUMERO DE ESAL - ARIAS Y ARAGÜEZ

Tipo de Vehículos	N°Veh. IMDa	N° Veh. Proyec.	Factor de Carga	Presión de llantas	Factor direccional (Fd)	Factor carril (Fc)	Días del año	Tasa de crecimiento	Factor de Crecimiento	TOTAL ESAL
AU	303	329	0.0001	1	1	1	365	0.0210	41.21	57.67
CM	63	68	0.0001	1	1	1	365	0.0210	41.21	11.96
CR	202	220	0.0001	1	1	1	365	0.0210	41.21	38.45
MB	246	267	0.0001	1	1	1	365	0.0210	41.21	46.85
B2	1	1	2.171	1	1	1	365	0.0231	42.60	5,335.72
B3	0	0	0.0001	1	1	1	365	0.0231	42.60	0.00
B4	0	0	0.0001	1	1	1	365	0.0231	42.60	0.00
C2	9	10	3.477	1	1	1	365	0.0231	42.60	62,660.83
C3	1	1	2.526	1	1	1	365	0.0231	41.21	2,758.75
C4	0	0	2.283	1	1	1	365	0.0231	41.21	0.00
Σ Vehículos	825	897							Σ ESAL	576,811.69

Fuente: MANUAL PARA EL DISEÑO DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO – MTC

Según lo observado en la TABLA N°10 podemos concluir el ESAL de diseño y con el cual trabajaremos en el presente estudio. El No. de ESALs será 576,811.69 (0.58E+06, en millones).

TABLA N° 11 CALCULO DE NUMERO DE ESAL – MODESTO MOLINA

Tipo de Vehículos	N°Veh. IMDa	N° Veh. Proyec.	Factor de Carga	Presión de llantas	Factor direccional (Fd)	Factor carril (Fc)	Días del año	Tasa de crecimiento	Factor de Crecimiento	TOTAL ESAL
AU	123	134	0.0001	1	1	1	365	0.0210	41.21	185.44
CM	48	52	0.0001	1	1	1	365	0.0210	41.21	71.98
CR	57	62	0.0001	1	1	1	365	0.0210	41.21	86.17
MB	93	101	0.0001	1	1	1	365	0.0210	41.21	139.67
B2	1	1	2.171	1	1	1	365	0.0231	42.60	38,582.73
B3	0	0	0.0001	1	1	1	365	0.0231	42.60	0.00
B4	0	0	0.0001	1	1	1	365	0.0231	42.60	0.00
C2	6	7	3.477	1	1	1	365	0.0231	42.60	324,379.73
C3	0	0	2.526	1	1	1	365	0.0231	41.21	0.00
C4	0	0	2.283	1	1	1	365	0.0231	41.21	0.00
Σ Vehículos	328	357							Σ ESAL	363,445.72

Fuente: Propia y basado en MANUAL PARA EL DISEÑO DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO – MTC

Según lo observado en la TABLA N°11, de la misma forma tomaremos el valor resultante como ESAL de diseño. El No. de ESALs será 363,445.72 (0.37E+06, en millones).

3.4. DISEÑO DE MEZCLA (Pasquel Carbajal, 1998)

El presente diseño de mezcla se realizará mediante la metodología ACI. El concreto a usarse en el diseño de Ultra-Thin Whitetopping es de resistencia $f'c = 450 \text{ kg/cm}^2$ y con una relación $a/c=0.40$. Se aclara que por fines de pragmatismo se ha asumido datos que no llegan a ser de gran relevancia en el diseño propiamente dicho del UTW.

3.4.1. Agregado grueso

Como fue mencionado anteriormente se han asumido ciertos valores no influyentes para completar el diseño. Dichos valores son los siguientes:

<i>Slump</i>	: 3" a 4"
<i>Tamaño máx</i>	: 3/4 "
γ_{seco}	: 2680 kg/m^3
$\gamma_{unitario compactado seco}$	: 1600 kg/m^3
γ	: Peso Específico
%W	: 2%
<i>Absorción</i>	: 0.5%

Para definir los parámetros de las propiedades del material se ha cumplido con los valores establecidos en la norma ASTM C33 tal como se ve en la siguiente tabla:

TABLA N° 12 GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO

GRANULOMETRIA	TAMIZ	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No.4	No.8
Norma ASTM C33	% Pasante	100-100	90-100	45-75	20-55	0-10	0-5

Fuente: Norma ASTM C33

Por el Tamaño Máximo de Agregado de $\frac{3}{4}$ " podemos deducir el contenido de aire incorporado en el diseño de mezcla que será de 3.5% y el contenido de agua que será de 184 kg, como se muestra en la figura:

Slump	Tamaño máximo de agregado							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	4"
Concreto sin Aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	----
% Aire atrapado	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	197	184	174	166	154	----
% de Aire incorporado en función del grado de exposición								
Normal	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0
Moderada	8.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5	3.0
Extrema	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5	4.0

FIGURA 14: PESO DEL AGUA SEGÚN TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO

Fuente: Tecnología del Concreto, Enrique Pasquel C.

3.4.2. Agregado fino

Al igual que en el Agregado Grueso se han asumido valores no influyentes que se detallan a continuación:

Modulo de Fineza : 2.80

γ_{seco} : 2640 kg/m³

%W : 6%

Absorción : 0.7%

La granulometría del Agregado Fino está definida por la Norma ASTM C33 de la siguiente forma:

TABLA N° 13 GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO

GRANULOMETRÍA	TAMIZ	3/8"	No.4	No.8	No.16	No.30	No.50	No.100
Norma ASTM C33	% Pasante	100-100	95-100	80-100	50-85	25-60	10-30	2-10

Fuente: Norma ASTM C33

3.4.3. Cemento Portland

Para el presente diseño se ha tomado los siguientes datos para el cemento:

Tipo : Cemento Tipo IP YURA

$\gamma_{cemento}$: 2850 kg/m³

3.3.4. Agua

Para el cálculo inicial del volumen de agua para el diseño de mezcla, tomamos el valor del peso del agua de la FIG. 10, entonces tendremos que el peso es de 184 kg (0.184 m³).

Teniendo en cuenta la corrección por humedad del agregado grueso y agregado fino, podemos hacer la corrección del peso y volumen del agua para el diseño de mezcla, esto a partir del porcentaje de humedad y porcentaje de absorción de la piedra y la arena, cada uno por su cuenta. De tales correcciones concluimos que el peso del agua para el diseño de mezcla es de 131 kg (0.131 m³).

3.4.5. Fibra de polipropileno

La dosis requerida para la mezcla de concreto es dada por el fabricante, a saber, Sika. Según la indicación de la ficha técnica adjunta en el ANEXO IV, la dosis es de 2 a 9 kg/m³. Teniendo en cuenta que, estamos trabajando con un concreto de resistencia media-alta y que la resistencia del concreto es directamente proporcional a la eficiencia de las fibras, tomaremos un valor de dosificación promedio de 5 kg/m³.

3.4.6. Dosificación de la mezcla

Se ha adoptado el diseño de mezcla teniendo en cuenta que ya se hicieron las correcciones pertinentes obteniendo la siguiente distribución de sus componentes:

**TABLA N° 14 DOSIFICACIÓN DEL
DISEÑO DE MEZCLA POR METRO
CÚBICO**

MATERIAL	PESO
Agua	131 kg
Cemento Portland Tipo I	460 kg
Agregado Grueso	1012 kg
Agregado Fino	710 kg
Aire	3.50%
Aditivo Sika ViscoCrete	3.7 kg (0.8% Cemento)
Slump	3" a 4"
Fibras	5 kg (2-9 kg/m ³)

Fuente: Propia

3.5. VARIABLES PARA EL DISEÑO DE LA SOBRECARPETA ULTRA-THIN WHITETOPPING

Para el diseño del Ultra-Thin Whitetopping (UTW) debemos tener en cuantas variables que influyen directamente sobre éste, por lo que, es imperativo considerar las siguientes:

- Categoría por eje
- Serviciabilidad
- Módulo de Rotura del Concreto
- Módulo de Elasticidad del Concreto
- Coeficiente de Drenaje
- Módulo de Reacción de la Subrasante (k)
- Numero de Repeticiones de Ejes Equivalentes (ESALs)
- Espaciamiento de Juntas
- Coeficiente de Transferencia de Carga (J)
- Confiabilidad
- Desviación Estándar
- Porcentaje de Tensión Residual
- Coeficiente de Dilatación Térmica del Concreto
- Módulo de Elasticidad del Pavimento Existente
- Espesor del Pavimento Existente

3.5.1. Categoría por eje

Con el fin de seleccionar una categoría la American Concrete Pavement Association ha proporcionado los datos siguientes:

TABLA N° 15 CATEGORÍAS DE DISEÑO

	MAX CARGA POR:	
	EJE SIMPLE	EJE DOBLE
Carga por eje Categoría A	8.2 t (18 kips)	16.0 t (36 kips)
Carga por eje Categoría B	11.6 t (26 kips)	19.6 t (44 kips)

Fuente: Guia AASHTO – 93

En el Perú contamos con restricciones semejantes a las mostradas en la tabla anterior y que se describen en la siguiente tabla:

TABLA N° 16 CARGAS MÁXIMAS EN PERU

TIPO DE EJE	CARGA MÁXIMA
Eje Simple	7.0 t
Eje Doble (4 neumáticos)	12.0 t

*Fuente: MODIFICACION DEL REGLAMENTO NACIONAL DE VEHICULOS,
DECRETO SUPREMO N° 002 – 2005 – MTC*

Como se observa anteriormente se puede llegar a la conclusión que la clasificación de la sobrecarpeta está dentro de una carga por eje de categoría A.

3.5.2. Serviciabilidad

La Serviciabilidad del pavimento está ligada directamente con el desempeño de tal a lo largo de su vida útil, es una medida subjetiva de su comportamiento funcional y estructural, la misma que se relaciona con la seguridad y comodidad que puede brindar al usuario.

Con la finalidad de cuantificar la percepción de Serviciabilidad del pavimento la AASHTO ha propuesto la siguiente tabla:

TABLA N° 17 PARÁMETROS DE SERVICIABILIDAD

VALOR	CONDICIÓN
0-1	Muy pobre
1-2	Pobre
2-3	Regular
3-4	Buena
4-5	Excelente

Fuente: Guía AASHTO – 93

Hay una serie de factores que influyen en la valoración de este parámetro que define la Serviciabilidad y que se conoce como Índice de Serviciabilidad Presente (PSI, Present Serviceability Index).

3.5.2.1. Serviciabilidad Inicial (Po)

Esta referida a la condición inicial del pavimento una vez terminada su construcción o rehabilitación. La AASHTO ha determinado que, para pavimentos rígidos, la serviciabilidad inicial sea de 4.5, cuando no se tenga información disponible para el diseño.

3.5.2.2. Serviciabilidad Final (Pt)

Se da a partir de que el pavimento no cumple con los requerimientos mínimos de seguridad y comodidad exigidas por el usuario y está relacionada con la condición del pavimento al final de su vida útil. La AASHTO ha dado parámetros de Serviciabilidad Final según el tipo de vía a construir o reparar y se describe de la siguiente forma:

**TABLA N° 18 ÍNDICE DE
SERVICIABILIDAD FINAL (P_T)**

TIPO DE VIA	VALOR
Autopistas	2.5
Carreteras	2.0
Zonas Industriales	1.8
Pav. Urbano Principal	1.8
Pav. Urbano Secundario	1.5

Fuente: Guia AASHTO – 93

Por el tipo de vía a diseñar tomaremos el valor de $P_t = 2.5$ con la finalidad que al concluir su tiempo de vida útil pueda mantener un desempeño aceptable de Serviciabilidad.

La pérdida de Serviciabilidad vendría a ser la diferencia entre la Serviciabilidad Inicial (P_o) y la Serviciabilidad Final (P_t), tal como se describe en la siguiente ecuación:

ECUACION N° 12: $\Delta PSI = P_o - P_t$

Donde:

ΔPSI : Perdida de Serviciabilidad

En base a lo anterior definimos la Serviciabilidad de la siguiente manera:

**TABLA N° 19
SERVICIABILIDAD DE
DISEÑO**

SERVICIABILIDAD	VALOR
Inicial	4.5
Final	2.5

Fuente: Guia AASHTO – 93

3.5.3. Módulo de Rotura a Flexión (M_r)

El Módulo de Rotura a Flexión (M_r) del concreto viene a ser la capacidad de carga última de un elemento estructural o resistencia a los esfuerzos de flexión que recaen sobre el concreto antes de fallar, y partiendo desde el hecho que el pavimento rígido es afectado más por los esfuerzos de flexión que los de compresión, entonces es imperativo tener en cuenta esta variable para el diseño.

Podemos definir el Modulo de Rotura a Flexión mediante ensayos con probetas según la norma ASTM C78 y en el caso de ser cargada en el medio según la norma ASTM C293. También es posibles determinar el Modulo de Rotura a Flexión a partir del factor de resistencia del concreto a compresión ($f'c$), teniendo en cuenta que el valor obtenido puede ser modestamente considerado como un valor conservador para el diseño, debido a que el concreto luego de los 28 días de colocación sigue ganando resistencia y, por ende, su M_r , mejorando su performance.

La American Concrete Pavement Association (ACPA) propone una ecuación con la finalidad de obtener el M_r , dicha ecuación se muestra a continuación:

$$\text{ECUACION N}^\circ 13: \quad M_r = C(f'c)^{0.5}$$

Donde:

- M_r : Módulo de Rotura a Flexión del concreto, MPa [*psi*]
- C : Constante, 0.75 Sistema Métrico [0.90 Sistema Inglés]
- $f'c$: Resistencia a compresión del concreto, MPa [*psi*]

La American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) propone, por su parte, una ecuación para el Módulo de Rotura, la cual es:

$$\text{ECUACION N}^\circ 14: \quad M_r = 0.14(f'c)^{0.5}$$

Donde:

- M_r : Módulo de Rotura a Flexión del concreto, kg/cm^2
- $f'c$: Resistencia a compresión del concreto, kg/cm^2

Basándonos en las Ecuaciones anteriores (Ec.12 y Ec.13), podemos proponer el Módulo de Rotura a Flexión para nuestro diseño de Ultra-Thin Whitetopping será

$M_r = 6.18 \text{ MPa}$ (63 kg/cm^2) a partir de un diseño de mezcla para un concreto $f'_c = 44.13 \text{ MPa}$ (450 kg/cm^2).

3.5.4. Módulo de Elasticidad del Concreto (ϵ_c)

El Módulo de Elasticidad del Concreto (ϵ_c) es una propiedad del mismo que influye directamente en el diseño de la sobrecarpeta Ultra-Thin Whitetopping por ser el material predominante en el pavimento y porque estamos hablando de una losa, la cual no debe sufrir deformaciones considerables a lo largo de su vida útil.

Para la determinación del valor de Módulo Elástico del Concreto podemos seguir los lineamientos, al ensayar el concreto, de la norma ASTM C469. Para temas de cálculo podemos llegar a definir el ϵ_c mediante la siguiente ecuación:

$$\text{ECUACION N}^\circ \text{ 15: } \epsilon_c = 14000\sqrt{f'_c} \quad , \text{ si } \gamma_c = 2200 \text{ kg/m}^3$$

Donde:

f'_c : Resistencia a compresión del Concreto (kg/cm^2)

γ_c : Peso específico del Concreto

Partiendo de la ecuación anterior podemos definir el Módulo de Elasticidad del Concreto que, vendría a ser $\epsilon_c = 296,984.85 \text{ kg/cm}^2$ ($29,120 \text{ MPa}$).

Debemos tener en cuenta que el Módulo de Elasticidad puede variar de acuerdo al tipo de concreto y sus propiedades.

3.5.5. Coeficiente de Drenaje (C_d)

Nótese la importancia de contar con un eficiente drenaje, ya que contribuye al buen desempeño de la subrasante y la capacidad portante del suelo debido a la disminución del contenido de humedad, lo que hace posible el uso de capas delgadas de pavimento y, por ende, realzando la calidad del mismo.

La American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) hace referencia a los tiempos de drenaje recomendados en la siguiente tabla:

TABLA N° 20 CALIDAD DE DRENAJE

CALIDAD DE DRENAJE	TIEMPO DE DRENAJE
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Pobre	1 mes
Muy Pobre	No se drena

Fuente: Guía AASHTO – 93

De la TABLA N°14 podemos considerar que la Calidad de Drenaje de la zona de estudio es buena debido a que no se observan mayores daños sobre la capa de rodadura. Esto aplica tanto para Modesto Molina como para Arias y Aragüez.

De la misma forma la AASHTO propone Coeficientes de Drenaje (Cd) que están basados en la Calidad de Drenaje existente y en el porcentaje de tiempo que el pavimento futuro estará expuesto a la humedad durante el año. La TABLA N°15 muestra los valores de Coeficiente de Drenaje (Cd) propuestos:

TABLA N° 21 VALORES RECOMENDADOS DE COEFICIENTE DE DRENAJE (Cd) PARA PAVIMENTOS RÍGIDOS

CALIDAD DE DRENAJE	PORCENTAJE DE TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTA EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD CERCANOS A LA SATURACIÓN			
	MENOR A 1%	1-5%	5-25%	MAYOR A 25%
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Regular	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Pobre	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy Pobre	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

Fuente: Guía AASHTO – 93 (pág. II – 26)

En vista que la zona de estudio presenta bajas precipitaciones y por tratarse de estar dentro de la Ciudad de Tacna donde la temporada de lluvias está bien definida entre los meses de junio hasta agosto, basándonos en los registros elaborados por

SENAMHI, entonces consideraremos que el porcentaje de tiempo está encima del 25%, por lo tanto, tomaremos como Coeficiente de Drenaje el valor de $C_d = 1.00$.

3.5.6. Módulo de Reacción de la Subrasante (k)

El soporte que recibirá el concreto por parte del pavimento existente es fundamental para el diseño ya que evitara asentamientos en fase terminada del Ultra-Thin Whitetopping (UTW). Partiendo desde que el soporte en si es el suelo, el nivel de soporte que recibirá el UTW puede ser medido en términos del Módulo de Reacción de la Subrasante (k).

El valor de k es determinado según la norma ASTM D1196, Non Repetitive Static Plate Load Test (American Society for Testing and Materials, 1997). Debido a que el ensayo en mención es costoso tanto en dinero como tiempo, el valor de k es normalmente correlacionado al tipo de suelo o a otros valores pertenecientes a la subrasante.

Según la zonificación hecha por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), podemos tener la clasificación SUSC para cada tipo de suelo que encontramos en Tacna. INDECI ha separado en 5 zonas la ciudad, encontrándose la zona en mención dentro de la zona 5, la cual describe un suelo de tipo GW (gravas bien graduadas) con capacidades portantes entre 3.50 kg/cm^2 a 3.62 kg/cm^2 (Programa de Ciudades Sostenibles – Primera Etapa, 2007).

Con la clasificación bien definida del suelo de nuestra zona de estudio podemos recurrir a la siguiente información que ha sido propuesto por la AASHTO con la finalidad de correlacionar Tipo de Suelo, CBR y Modulo de Reacción de la Subrasante (k) (UNICON, CEMENTOS LIMA S.A.A.); la figura en mención se muestra a continuación:

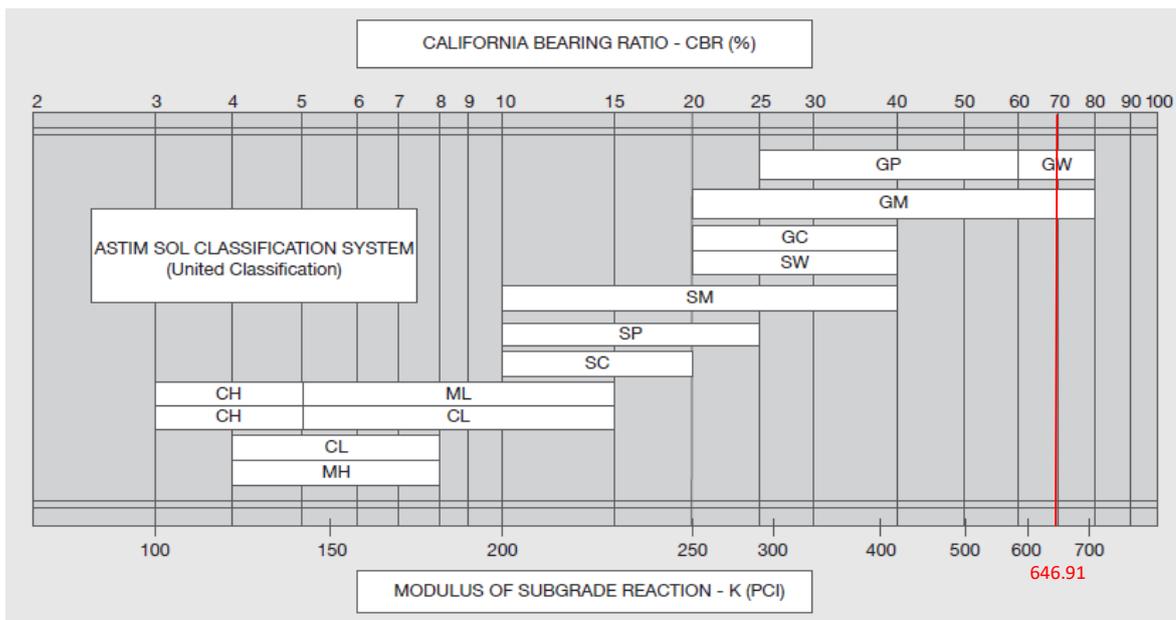


FIGURA 15: CORRELACIÓN TIPO DE SUELO – CBR – MÓDULO DE REACCIÓN DE LA SUBRASANTE (k)

Fuente: COLECCIONABLE DURAVIA – VOL.VII

Tomamos como valor de k la cantidad intermedia dentro del rango del cual pertenece el tipo de suelo GW, tomando el valor medio de CBR = 70%, por lo tanto, el Modulo de Reacción de la Subrasante viene a ser $k = 646.91$ pci (175.79 MPa/m).

3.5.7. Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes (ESAL)

Como se mencionó en la [Sección 3.2](#) de la presente investigación, mediante la realización de un estudio de tráfico y la proyección de tal podemos concluir en los ESALs de diseño para ambas vías. Para Arias y Aragüez tenemos un $ESAL = 0.58 \times 10^6$ y para Modesto Molina tenemos un $ESAL = 0.37 \times 10^6$.

Para mayores detalles del cálculo en mención revisar la [Sección 3.2](#).

3.5.8. Espaciamiento de Juntas

Los tipos de junta que usaremos para el Ultra-Thin Whitetopping serán Juntas de Contracción. La función que cumplirán será de controlar el agrietamiento irregular debido a la liberación de tensión en la capa de rodadura, fisuras ocasionadas por la humedad y diferencia de temperatura entre el tope y el fondo de la losa, los cambios de temperatura de ambiente y la fricción ocasionada por el tránsito de vehículos. También proporciona una adecuada transferencia de cargas a la losa adyacente.

Finalmente divide de manera apropiada el pavimento proporcionando facilidades en el proceso constructivo.

Para el presente estudio y por tratarse de un pavimento ultra delgado no se usarán Dowels (barras pasador) para reforzar la transferencia de cargas, debido al bajo espesor que posee y porque se sacará provecho a lo que se llama el efecto Trabazón de Agregados que, describe que la junta en el concreto hará la transferencia de cargas por medio de ligamiento del agregado del concreto de un lado al otro.

Debemos tener en cuenta que la recomendación que, basada en experiencias pasadas, hace la American Concrete Pavement Association (American Concrete Pavement Association, 1998, pág. 27) acerca de que es mucho mejor tener juntas uniformes y cuadradas, debido a que cuando un lado es más largo que el otro, los pequeños pedazos de losa tienden a agrietarse, por efecto de alto tráfico, en pedazos casi cuadrados, por lo que, diseñaremos el espaciamiento de juntas que serán iguales tanto para lados transversales como para lados longitudinales.

Según la ACPA el Espaciamiento de Juntas, como regla de oro, no debe exceder de 21 veces el espesor de la sobrecapa y debe encontrarse, idealmente, en un rango de entre 12 y 15 veces el espesor del UTW, mientras que la AASHTO recomienda que el espaciamiento no sea mayor a 24 veces la sobrecapa Ultra-Thin Whitetopping.

Inclinándonos hacia el planteamiento de un diseño conservador podemos concluir y tomar un valor de Espaciamiento de Juntas de 0.90 m.

3.5.9. Coeficiente de Transferencia de Carga (J)

La AASHTO ha tomado en cuenta la Transferencia de Carga mediante juntas dentro del pavimento a través del Coeficiente de Transferencia de Carga (J). Dentro de tal se describe la capacidad de transferencia del concreto efectiva cuando puede transmitir el 50% de su carga hacia la losa adyacente mediante las grietas o juntas a lo largo de la losa, reduciendo la tensión de borde. Cabe resaltar que, en caso de usarse bermas de concreto, dowels (barras pasador) o cualquier otro dispositivo de transferencia de carga tiene influencia directa en este coeficiente J.

En el caso del presente estudio, tomamos en cuenta que la vía perteneciente al diseño es de tráfico liviano, mayormente, lo que hace poco común el uso de dowels (barras pasador), sino que, como se mencionó en la Sección 3.4.7 se aprovechara el efecto Trabazón de Agregados, el cual describe que la losa debe ser vaciada de forma completa para luego cortar las juntas según el espaciamiento de diseño; esto

con la finalidad de desarrollar mayor contacto y fricción entre los componentes de agregado grueso, y para mayor aprovechamiento de tal se recomienda cortos espaciamientos de juntas con el fin de aminorar la rotura de la brecha en la misma junta.

Con la finalidad de tener una referencia del rango de valores para el diseño de la sobrecapa la AASHTO proporciona las siguientes recomendaciones:

TABLA N° 22 COEFICIENTES DE TRANSFERENCIA DE CARGAS

TIPO DE PAVIMENTO	BERMA DE ASFALTO NO VINCULADA		BERMA DE CONCRETO VINCULADA	
	DISPOSITIVO DE TRANSFERENCIA		DISPOSITIVO DE TRANSFERENCIA	
	SI	NO	SI	NO
Junta Sencilla y Junta Reforzada	3.2	3.8 - 4.4	2.5 - 3.1	3.6 - 4.2
Continuamente Reforzada	2.9 - 3.2	N/D	2.3 - 2.9	N/D

Fuente: Guía AASHTO – 93

Cabe resaltar lo influyente que es el coeficiente J para el diseño del UTW por las razones mencionadas párrafos arriba, por lo tanto, es muy importante elegir un valor que este dentro del rango adecuado. Sabiendo que la vía no está vinculada a ningún apoyo lateral podemos deducir que se trata de una Berma de Asfalto. Tomemos en cuenta también que el presente diseño no contempla dispositivos de transferencia y que, el pavimento en mención posee juntas de contracción, entonces, tomaremos el valor intermedio dentro del rango correspondiente. Es valor de Coeficiente de Transferencia de Carga vendrá a ser $J = 4.1$.

3.5.10. Confiabilidad (R)

La Confiabilidad está caracterizado por ser un factor probabilístico. Describe el nivel de certidumbre de que la estructura del pavimento se comporte según lo esperado a lo largo de su vida útil, aun siendo afectados por los factores que componen el medio ambiente.

Los conceptos de Confiabilidad fueron usados inicialmente en el año 1973 por Kher y Danter, quienes fueron estadísticos destacados; dichos conceptos incorporados por la AASHTO y finalmente adoptados por la misma en 1986 para utilizarlo en sus manuales de diseño de pavimentos. Está basado en los grados de certidumbre que se tiene sobre la condición futura del pavimento, por lo tanto,

mientras mayor sea el grado de certidumbre, serán menores los coeficientes de seguridad, todo en base a las experiencias de estudios anteriores. Así como en el diseño de cualquier elemento estructural, estos coeficientes pueden afectar directamente en el dimensionamiento del pavimento.

La Confiabilidad está estrechamente relacionada con la Serviciabilidad debido a que la buena Serviciabilidad del pavimento dependerá de la correcta selección de su factor de seguridad, es decir, de Confiabilidad.

Es imperativo tener en cuenta un criterio primordial sobre la selección del nivel de Confiabilidad. La elección de la Confiabilidad está ligada directamente con el uso previsto de la vía a diseñar, como en el caso de vías importantes como carreteras interestatales es indispensable contar con la garantía de que llegara a un nivel de Serviciabilidad Final (Pt) aceptable. Al elegir un nivel de Confiabilidad bajo, el nivel de incertidumbre aumenta y será necesario sobredimensionar el pavimento, lo que significaría gastos iniciales más altos pero gran ahorro en reparaciones mayores a lo largo de su vida útil, por el contrario, si subdimensionamos el pavimento puede tener como consecuencia que mucho tiempo antes, debido a cargas por volumen de tráfico no previstos, llegue a niveles bajos de Serviciabilidad, por ende, reparaciones prematuras, lo que daría como consecuencia aumento de costo por trabajos no previstos.

La AASHTO, basándose en los criterios ya mencionados, ha desarrollado una tabla en la cual propone niveles de Confiabilidad óptimos, es decir, que puedan dar costos iniciales razonables y asegurar la buena Serviciabilidad del pavimento a lo largo de su vida útil, dando un mínimo de costo según lo que corresponda. Dicha tabla se muestra a continuación:

TABLA N° 23 NIVELES DE CONFIABILIDAD - AASHTO

TIPO DE VIA	CONFIABILIDAD RECOMENDADA	
	ZONA URBANA	ZONA RURAL
Rutas Interestatales y autopistas	85 - 99.9	85 - 99.9
Arterias Principales	80 - 99	75 - 99
Colectoras	80 - 95	75 - 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Fuente: Guia AASHTO – 93

Acorde a lo que propone la AASHTO podemos tomar para la presente propuesta un nivel de Confiabilidad promedio que se encuentra en el rango ubicado entre Zona Urbana y Colectas, en lo que respecta a tipo de vía, por lo tanto, podemos concluir que el nivel de Confiabilidad es de $R = 90\%$.

3.5.11. Desviación Estándar (SD)

La Desviación Estándar (SD) es la medida de desvío que experimenta un valor determinado respecto a su referencia normal promedio, lo que en estadística se conoce como la “media”. La SD tiene un comportamiento directamente proporcional a la magnitud del cambio, es decir, mientras menor sea la Z_r , menor será la diferencia del nuevo valor con respecto a su “media”. Además de ello, representa la variabilidad, de forma global, que habrá en las ecuaciones de diseño considerando factores como la estación y condición del clima, temporadas altas y bajas de volumen vehicular.

Según la AASHTO, existen rangos de Desviación Estándar según el tipo de pavimento a diseñar, para el caso de pavimentos flexibles, el rango permisible de Z_r esta entre 0.40 y 0.49, para pavimentos rígidos, como es nuestro caso, se propone un rango de entre 0.30 y 0.39. Con el fin de poder optar por un valor específico la AASHTO ha propuesto la siguiente tabla:

TABLA N° 24 VALORES PROPUESTOS DE DESVIACIÓN ESTÁNDAR

CONDICIÓN DE DISEÑO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Sin considerar el Trafico Futuro	0.34 (Pavimento Rígido)
	0.44 (Pavimento Flexible)
Considerando el Trafico Futuro	0.39 (Pavimento Rígido)
	0.49 (Pavimento Flexible)

Fuente: Guía AASHTO – 93

Partiendo de la TABLA N° 18 podemos tomar el valor de la Desviación Estándar para nuestro diseño, tomando en cuenta que estamos considerando el tráfico futuro para la cantidad de años de vida útil previstos el cual será $SD = 0.39$.

3.5.12. Porcentaje de Tensión Residual

La Tensión Residual representa los esfuerzos que permanecen en el interior del material (concreto), aun cuando ninguna fuerza externa está afectándolo y proviene de los tratamientos mecánicos o térmicos que se dan en el concreto, dichos esfuerzos residuales tienen sus pros y contras, de los cuales se puede tener el control y aprovechar para fines estructurales. como refuerzo para controlar el fisuramiento del mismo en el endurecimiento y sometido a cargas externas. A diferencia de las tensiones externas aplicadas en el concreto que se pueden medir de forma práctica y sencilla, las tensiones residuales son dificultosamente medibles. La tensión de servicio viene a ser la suma de las tensiones externas aplicadas más la tensión residual del material (concreto), al no conocerse la tensión residual, tampoco la tensión de servicio, pero se pueden aproximar por medio de proporciones (porcentaje de la tensión de servicio).

El cálculo del Porcentaje de Tensión Residual es determinado básicamente mediante las directrices señaladas en la norma ASTM C1609, que describe la forma en la que se ensayara el elemento de concreto con el refuerzo de fibras (causantes de la tensión residual en mención). Como se mencionó anteriormente, la dificultad de medir las fibras es alta, por lo que se aproximara por medio de un porcentaje de la tensión de servicio. Pero para fines prácticos de cálculo, la Portland Cement Association (PCA) ha propuesto valores de Porcentaje de Tensión Residual para concreto reforzado con fibras, por lo que, el valor de Porcentaje de Tensión Residual será del 20% (Concreto Reforzado con Fibras). En el caso de no usar fibras para el refuerzo del concreto tomaremos como valor de Porcentaje de Tensión Residual del 0%.

3.5.13. Coeficiente de Dilatación Térmica del Concreto

El Coeficiente de Dilatación Térmica describe los cambios en cuanto al volumen del material al elevarse la temperatura en sí mismo. Este coeficiente depende de factores como: la relación A/C, la edad del concreto, el contenido de cemento, la humedad relativa y, el más influyente, el tipo de agregado de la mezcla.

Teniendo en cuenta que el tipo de agregado es el factor más influyente para dicho coeficiente, la AASHTO ha desarrollado una tabla en el que se especifica en Coeficiente de Dilatación Térmica del Concreto según el tipo de agregado:

**TABLA N° 25 COEFICIENTE DE DILATACIÓN
TÉRMICA DEL CONCRETO**

TIPO DE AGREGADO GRUESO	COEFICIENTE DE DILATACIÓN - $\times 10^6/^{\circ}\text{C}$ ($\times 10^6/^{\circ}\text{F}$)
Cuarzo	11.9 (6.6)
Arenisca	11.7 (6.5)
Grava	10.8 (6.0)
Granito	9.5 (5.3)
Basalto	8.6 (4.8)
Caliza	6.8 (3.8)

Fuente: Guía AASHTO – 93

Por su parte, la Universidad de Illinois ha desarrollado, en base a muchas pruebas, el coeficiente típico para el concreto de cemento Portland con agregado convencional, publicado por medio de su artículo de investigación “Effect of Portland Cement Concrete Characteristics and Constituents on Thermal Expansion” (Siddiqui, 2014). Dicho factor es con el que trabajaremos en el presente diseño, el cual será de $9.9\text{E-}6$ mm/mm/ $^{\circ}\text{C}$ ($5.5\text{E-}6$ in/in/ $^{\circ}\text{F}$).

3.5.14. Módulo de Elasticidad del Pavimento Existente

El Módulo de Elasticidad del Pavimento Existente es el factor colaborante para la sobrecarpeta Ultra-Thin Whitetopping, por lo que, se convierte en una variable importante que influirá en el diseño conjuntamente con el espesor del pavimento existente.

La Universidad de Illinois ha desarrollado una tabla en la que propone un valor de Módulo de Elasticidad del Pavimento Existente según la condición del mismo, considerado de la siguiente manera:

**TABLA N° 26 MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL
PAVIMENTO EXISTENTE**

CONDICIÓN DEL PAVIMENTO EXISTENTE	MÓDULO DE ELASTICIDAD (psi)
Condición pobre del pavimento, con severas fisuras por fatiga	100000
Condición moderada del pavimento, con fallas estructurales	350000
Condición buena del pavimento, con fallas funcionales	600000

Fuente: Guía AASHTO – 93

Las zonas de estudio presentan pavimentos que se hallan en un muy buen grado de conservación y en su mayoría solo fallas funcionales, por lo que, según la tabla anterior tomaremos como Módulo de Elasticidad del Pavimento Existente un valor de 600000 psi.

3.5.15. Espesor del Pavimento Existente

El Espesor del Pavimento Existente viene a ser una variable importante ya que para el uso de un Ultra-Thin Whitetopping se requiere un espesor mínimo de 7.5 cm de pavimento remanente, esto con la finalidad de asegurar una buena adherencia entre el pavimento existente y la sobrecarpeta, y poder tener una correcta distribución de tensiones del nuevo pavimento UTW (pavimento asfáltico existente + sobrecarpeta de concreto). Es de tomar en cuenta que para asegurar dicha adherencia también se realizará la remoción del asfalto existente mediante fresado, el cual, se hace en un rango de 1" a 2", dependiendo del estado del pavimento, esto con la finalidad de tener una superficie rugosa y con el agregado expuesto, esto asegurará la adherencia mencionada con el nuevo concreto que será colocado para la sobrecarpeta.

Cabe resaltar que el Espesor del Pavimento Existente será la suma de los espesores de carpeta original más los recapeos o tratamientos de emulsión asfáltica, pero descontando el espesor de pavimento que será removido por medio del fresado.

Para determinar el espesor en mención se ha hecho verificaciones en campo, las cuales nos han dado como referencia los espesores según zona de estudio, tal como se muestra en el ANEXO V (PANEL FOTOGRAFICO - ESPESORES DE PAVIMENTO EXISTENTE EN ZONA DE ESTUDIO). A continuación, mostramos una tabla en la que se describen los Espesores del Pavimento Existente según la zona de estudio:

**TABLA N° 27 ESPESORES DE PAVIMENTO EXISTENTE
SEGÚN ZONA DE ESTUDIO**

ZONA DE ESTUDIO	ESPESOR DE PAVIMENTO EXISTENTE (cm)	
	ASFALTO ORIGINAL	RECAPEO/EMULSION ASFALTICA
Arias y Aragüez	8	5
Modesto Molina	9	2

Fuente: Propia

Según lo observado en la tabla anterior y conforme a lo verificado en campo, podemos llegar a tener los espesores definitivos para el diseño. Debemos tener en cuenta que, por la condición del pavimento (buen estado de conservación) realizaremos un fresado de 1", eso debido a que éste solo será hecho con el fin de asegurar adherencia y no por fines de reparaciones estructurales. Por lo tanto, para ARIAS Y ARAGUEZ tendremos como Espesor de Pavimento Existente un valor de 10.5 cm, mientras que para MODESTO MOLINA tendremos un Espesor de Pavimento Existente de 8.5 cm.

3.6. DISEÑO DE LA SOBRECARPETA ULTRA-THIN WHITETOPPING

Para el Diseño de la Sobrecarpeta Ultra-Thin Whitetopping (UTW) existen diversos métodos de entre los cuales vamos a desarrollar tres de ellos con fines comparativos y poder elegir la forma idónea para su construcción. Los métodos son los mencionados en el Capítulo anterior y sus procedimientos fueron explicados más a detalle. Los mencionados son los siguientes:

- Método de diseño por AASHTO - 93
- Método de diseño por American Concrete Pavement Association (ACPA)
- Método de diseño por Portland Cement Concrete (PCC)

3.6.1. Método de Diseño por AASHTO - 93

Como ya se mencionó anteriormente, ahora procederemos al cálculo propiamente dicho. Dicho cálculo se hará por medio de una hoja de cálculo que resolverá la ecuación planteada por la AASHTO para el diseño de la sobrecarpeta.

Para el Método de Diseño por AASHTO – 93 se debe tomar en cuenta las siguientes variables:

- | | |
|---|--|
| • Serviciabilidad Inicial (P_o) | 4.5 |
| • Serviciabilidad Final (P_f) | 2.5 |
| • Módulo de Rotura a Flexión del Concreto (M_r) | 6.18 MPa |
| • Resistencia del Concreto ($f'c$) | 450 kg/cm^2 |
| • Coef. de Drenaje (C_d) | 1 |
| • Módulo de Reacción de la Subrasante (k) | 646.91 pci |
| • Numero de Repeticiones de Ejes
Equivalentes (ESAL) | -0.58E+06(Arias Aragüez)
-0.37E+06(Modesto
Molina) |
| • Espaciamiento de Juntas | 0.90 m |
| • Coef. de Transferencia de Carga (J) | 4.1 |
| • Confiabilidad (R) | 90% |
| • Desviación Estándar | 0.39 |

A continuación, mostraremos los resultados obtenidos, para el caso Arias y Aragüez, al ingresar los datos líneas arriba en la hoja de cálculo y se dará más detalle sobre el diseño en el ANEXO VI (PDF DIPAR):

Diseño de pavimentos rígidos-Metodología de la AASHTO

Serviciabilidad

Serviciabilidad Inicial (Po): 4.50 **Selecciona**

Serviciabilidad Final (Pt): 2.50 **Selecciona**

Traffic

ESAL's (ejes equiv. 8.2t): 576811.79

Calcular **Ya tengo ESAL's**

Transferencia de Cargas

Coefficiente J: 4.10 **Selecciona**

Coeficiente de drenaje

Coefficiente Cd: 1.00 **Selecciona**

Confiabilidad

Confiabilidad(R): 90.00% **Selecciona**

Desviación Estandar(So): 0.39 **Selecciona**

Propiedades del concreto

Resistencia a la compresión(f_c): 450.00 **Selecciona**

Modulo de reacción del suelo

k: 646.91 **Selecciona**

Modificar nombre de proyecto, ubicación, etc.

Modificar

Resultados

Diferencia de Serviciabilidad (DeltaPsi): 2

Desviación Estándar Normal (Zr): -1.282

Módulo Ruptura (Mr): 896.07 lb/in²

Módulo de Elasticidad Concreto (Ec): 6336174.70 lb/in²

log(Esal): 5.76103

Zr x So: -0.49998

log(DeltaPsi/(4.5-1.5)): -0.17609

Espesor: 5.1 in

Espesor: 13 cm

Diseñar **Enviar a Excel** **Cerrar**

FIGURA 16: DISEÑO DE SOBRECARPETA – ARIAS Y ARAGÜEZ - DIPAR

Fuente: Propia con colaboración de Programa DIPAR 2.0

En la FIG.16, mostrada anteriormente, podemos ver la forma en que introdujeron los datos obteniendo como resultado un espesor de 5.1 pulgadas (13 cm).

Por su parte, Modesto Molina presenta el siguiente resultado, se dará detalle del diseño en el ANEXO VI (PDF DIPAR), y al introducir los datos mencionados:

Diseño de pavimentos rígidos-Metodología de la AASHTO

Serviciabilidad

Serviciabilidad Inicial (Po):

Serviciabilidad Final (Pt):

Trafico

ESAL's (ejes equiv. 8.2t):

Transferencia de Cargas

Coefficiente J:

Coefficiente de drenaje

Coefficiente Cd:

Confiabilidad

Confiabilidad(R):

Desviación Estándar(So):

Propiedades del concreto

Resistencia a la compresión(f_c):

Modulo de reacción del suelo

k:

Modificar nombre de proyecto, ubicacion, etc.

Resultados

Diferencia de Serviciabilidad (DeltaPsi): **2**

Desviación Estándar Normal (Zr): **-1.282**

Módulo Ruptura (Mr): **896.07 lb/in²**

Módulo de Elasticidad Concreto (Ec): **6336174.70 lb/in²**

log(Esal): **5.56044**

Zr x So: **-0.49998**

log(DeltaPsi/(4.5-1.5)): **-0.17609**

Esesor: in

Esesor: cm

FIGURA 17: DISEÑO DE SOBRECARPETA – MODESTO MOLINA - DIPAR

Fuente: Propia con colaboracion de Programa DIPAR 2.0

Según el diseño que se plantea en la FIG.17, obtenemos como resultado que la sobrecarpeta para Modesto Molina tendrá un espesor de 4.5 pulgadas (11 cm).

3.6.2. Método de Diseño por American Concrete Pavement Association (ACPA)

Tal como se describe dentro del Marco Teórico, este método está basado en tablas propuestas por la misma organización de investigación, la cual propone el uso de ciertas variables para el uso de dichas tablas. Las variables que tomaremos serán:

• Categoría por eje	Categoría A
• Módulo de Rotura a Flexión del Concreto (M_r)	6.18 MPa
• Módulo de Reacción de la Subrasante (k)	646.91 pci
• Numero de Repeticiones de Ejes	-0.58E+06(Arias Aragüez)
• Equivalentes (ESAL)	-0.37E+06(Modesto Molina)
• Espaciamiento de Juntas	0.90 m
• Espesor del Pavimento Existente	-10.5 cm (Arias Aragüez) -8.5 cm (Modesto Molina)

Con los valores anteriores podemos verificar en la siguiente tabla para el caso de Arias y Aragüez:

TABLA N° 28 NÚMERO PERMISIBLE DE CAMIONES (EN MILES) POR CARRIL PARA UTW, CATEGORIA A, K=54 MPa/M

MÓDULO DE ROTURA (Mpa)	h2 ESPESOR DEL ASFALTO EXISTENTE (cm)	h1, ESPESOR DE LA SOBRECARPETA ULTRA-THIN WHITETOPPING					
		5 cm (2")		7.5 cm (3")		10 cm (4")	
		Espaciamiento de Juntas					
		0.90 m	0.60 m	1.20 m	0.90 m	1.8 m	1.20 m
4.8	7.5	30	163	117	258	331	640
4.8	10	140	385	310	519	606	1045
4.8	12.5	384	842	664	1008	1099	1755
4.8	15 o más	894	1722	1349	1952	2016	3062
5.5	7.5	70	208	221	374	577	915
5.5	10	201	484	436	715	912	1606
5.5	12.5	480	938	840	1222	1487	210
5.5	15 o más	1044	1884	1606	2265	2543	3658

Fuente: Whittopping: State of the Practice (ACPA)

Como se aprecia en la tabla anterior, tomamos como Módulo de Rotura a Flexión el inmediato anterior (círculo azul), de la misma forma para el h2, espesor de pavimento existente (círculo rojo), para un espaciamiento de juntas como el propuesto (círculo morado), y con la finalidad de cubrir el número de ESAL (círculo verde), entonces obtenemos un espesor de 7.5 cm (3 pulgadas).

Tomando también los valores anteriores podemos desarrollar el diseño del espesor para el caso Modesto Molina:

TABLA N° 29 NÚMERO PERMISIBLE DE CAMIONES (EN MILES) POR CARRIL PARA UTW, CATEGORIA A, K=54 MPa/M

MÓDULO DE ROTURA (Mpa)	h2 ESPESOR DEL ASFALTO EXISTENTE (cm)	h1, ESPESOR DE LA SOBRECARPETA ULTRA-THIN WHITETOPPING					
		5 cm (2")		7.5 cm (3")		10 cm (4")	
		Espaciamiento de Juntas					
		0.90 m	0.60 m	1.20 m	0.90 m	1.8 m	1.20 m
4.8	7.5	30	163	117	258	331	640
4.8	10	140	385	310	519	606	1045
4.8	12.5	384	842	664	1008	1099	1755
4.8	15 o más	894	1722	1349	1952	2016	3062
5.5	7.5	70	208	221	374	577	915
5.5	10	201	484	436	715	912	1606
5.5	12.5	480	938	840	1222	1487	210
5.5	15 o más	1044	1884	1606	2265	2543	3658

Fuente: Whittopping: State of the Practice (ACPA)

Al igual que la tabla anterior, tomamos como Modulo de Rotura a Flexión el inmediato anterior (círculo azul), y para el valor de h2 (círculo rojo), para el espaciamiento de juntas propuesto anteriormente (círculo morado) y llegando a cubrir el número de ESAL (círculo verde), obtenemos como resultado un espesor de sobrecarpeta de 7.5 cm (3 pulgadas).

3.6.3. Método de Diseño por Portland Cement Concrete (PCC)

Para el Método de Diseño por la Portland Cement Association, haremos uso de las ecuaciones mencionadas en la Sección 2.5.4.3, y haremos uso de la hoja de cálculo proporcionada por especialistas de Hormigones Artigas en Uruguay. Para el diseño del espesor de la sobrecarpeta debemos tener en cuenta las siguientes variables:

- Módulo de Rotura a Flexión del Concreto (M_r) 6.18 MPa
- Módulo de Elasticidad del Concreto (E_c) 29,120 MPa
- Módulo de Reacción de la Subrasante (k) 175.79 MPa/m
- Numero de Repeticiones de Ejes -0.58E+06(Arias Aragüez)
- Equivalentes (ESALs) -0.37E+06(Modesto Molina)
- Espaciamiento de Juntas 0.90 m
- Porcentaje de Tensión Residual 0 % (sin fibras)
- Coeficiente de Dilatación Térmica del Concreto 9.9E-6 mm/mm/°C
- Módulo de Elasticidad del Pavimento Existente 4138 MPa
- Espesor del Pavimento Existente -10.5 cm (Arias Aragüez)
-8.5 cm (Modesto Molina)

Antes de proceder a introducir los datos observados anteriormente, debemos resaltar que la siguiente hoja de cálculo nos permite introducir el espesor deseado, deduciendo, según formulas propuestas por la PCC (según lo explicado en el Marco Teórico), el Espesor del Pavimento Existente. Sabremos que el diseño es correcto, siempre y cuando, el Espesor del Pavimento Existente sea mayor o igual al deducido por la hoja de cálculo.

Procediendo a introducir los valores en la hoja de Excel, obtenemos los siguientes resultados:

PCC Inlay / Overlay Design Sheet, Required Thickness of HMA

Help

Design Traffic Factor (BDE Manual, Figure 54-4C)	TF	0.58	
Modulus of Rupture (3-point bending, 14-day average)	MOR	896.1	psi
FRC Residual Strength Ratio	R_{150}^{150}	0%	
Required Asphalt Thickness	h_{ac}	3.13	in.
		Solved	
Joint Spacing	L	35.4330709	in.
Elastic Modulus of Concrete	E_c	4,222,400	psi
Coefficient of Thermal Expansion	CTE	5.50E-06	in./in./°F
Elastic Modulus of Asphalt	E_{AC}	600,000	psi
Modulus of Subgrade Reaction	k	646.9072	pci
Desired Concrete Thickness	h_c	2.0	in.

Compute Asphalt

FIGURA 18: DISEÑO DE SOBRECARPETA – ARIAS Y ARAGÜEZ – PCC INLAY/OVERLAY DESIGN SHEET

Fuente: Propia con colaboración de PCC INLAY/OVERLAY DESIGN SHEET

(Sección 2.5.4.3 de la Presente Investigación)

Como podemos observar en la FIG.18, para un diseño del espesor de UTW de 2 pulgadas (5 cm), como al que inicialmente se procuró obtener como espesor, se necesita un Espesor de Pavimento Existente de 3.13 pulgadas (7.95 cm) o mayor, de lo cual, concluimos que el diseño cumple con dicho espesor requerido.

De forma paralela, introducimos los datos mencionados a la hoja del Excel, obteniendo los resultados mostrados seguidamente:

PCC Inlay / Overlay Design Sheet, Required Thickness of HMA

Design Traffic Factor (BDE Manual, Figure 54-4C)	TF	0.37	
Elastic Modulus of Rupture (3-point bending, 14-day average)	MOR	896.1	psi
FRC Residual Strength Ratio	R_{150}^{150}	0%	
Required Asphalt Thickness	h_{ac}	3.06	in.
Solved			
Joint Spacing	L	35.4330709	in.
Elastic Modulus of Concrete	E_c	4,222,400	psi
Coefficient of Thermal Expansion	CTE	5.50E-06	in./in./°F
Elastic Modulus of Asphalt	E_{AC}	600,000	psi
Modulus of Subgrade Reaction	k	646.9072	pci
Desired Concrete Thickness	h_c	2.0	in.

FIGURA 19: DISEÑO DE SOBRECARPETA – MODESTO MOLINA –PCC INLAY/OVERLAY DESIGN SHEET

Fuente: Propia con colaboración de PCC INLAY/OVERLAY DESIGN SHEET

(Sección 2.5.4.3 de la Presente Investigación)

Según los resultados mostrados en la FIG.19, para lograr un espesor de UTW de 2 pulgadas (5 cm), el cual es el propósito de este estudio, se necesita un Espesor de Pavimento Existente de 3.06 pulgadas (7.77 cm) o mayor, concluyendo que se cumple con dicho requisito, así como, el diseño.

3.6.4. Espesor de la Sobrecarpeta Ultra-Thin Whitetopping

A partir de lo analizado en las secciones anteriores, podemos plantear la comparación de las tres metodologías, como se muestra:

TABLA N° 30 COMPARACIÓN DE ESPESORES DE DISEÑO

METODOLOGÍA DE DISEÑO	ESPESOR (cm)	
	ARIAS Y ARAGÜEZ	MODESTO MOLINA
AASHTO - 93	13	11
American Concrete Pavement Association	7.5	7.5
Portland Cement Concrete	5	5

Fuente: Propia

Tras analizar los resultados que dan los tres métodos de diseño podemos concluir que tomaremos el menor espesor, que vendría a ser el Método de Diseño por Portland Cement Concrete, por las siguientes razones:

- El tomar un bajo espesor de sobrecarpeta implica el uso de un menor volumen de concreto, que es el compuesto de materiales que más recursos requiere, por lo tanto, significa disminución considerable de costes por materiales y mano de obra.
- El método seleccionado (PCC) considera, como variable y como factor colaborante, el pavimento existente, lo que hace que se aproveche de forma óptima las ventajas del diseño UTW.
- El espesor bajo permite que no se tenga que hacer modificaciones en niveles de veredas en los alrededores de las vías de estudio, lo que significa ahorro en actividades adicionales y cortos periodos de apertura del tránsito.

3.7. PROCESO CONSTRUCTIVO

El procedimiento constructivo para un Ultra-Thin Whitetopping difiere en algunos detalles al Whitetopping convencional y a un pavimento rígido ordinario. Puede llegar a encontrarse algunos procedimientos adicionales, pero en términos generales llega a ser más sencillo que otro tipo de pavimentos.

Para una correcta intervención del pavimento se debe tener en consideración los siguientes puntos:

- Trabajos previos (reparaciones, bacheo, relleno con material de subrasante, etc.), para asegurar el buen desempeño del pavimento existente.



FIGURA 20: TRABAJO PREVIO: RELLENO DE ZONAS DAÑADAS CON PIEDRA TRITURADA, MEZCLA EN FIO O EN CALIENTE

Fuente: Empresa COFRA E. I. R. L.

- Fresado, con la finalidad de nivelar el terreno y asegurar una buena adherencia entre el pavimento existente y la sobrecarpeta.



FIGURA 21: FRESADO EN SECO DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO

Fuente: <http://www.maquinariastock.com>

- Limpieza del pavimento asfáltico.



**FIGURA 22: LIMPIEZA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO
EN SECO/EN HUMEDO**

Fuente: <http://www.youtube.com>

- Empañamiento del terreno, para una temperatura adecuada.



FIGURA 23: EMPAÑAMIENTO DEL TERRENO

Fuente: www.abellanpintors.com

- Colocado del Concreto hasta darle la forma terminada.



FIGURA 24: COLOCADO DEL CONCRETO

Fuente: www.eldiario.ec

- Texturización de la superficie de la sobrecarpeta.

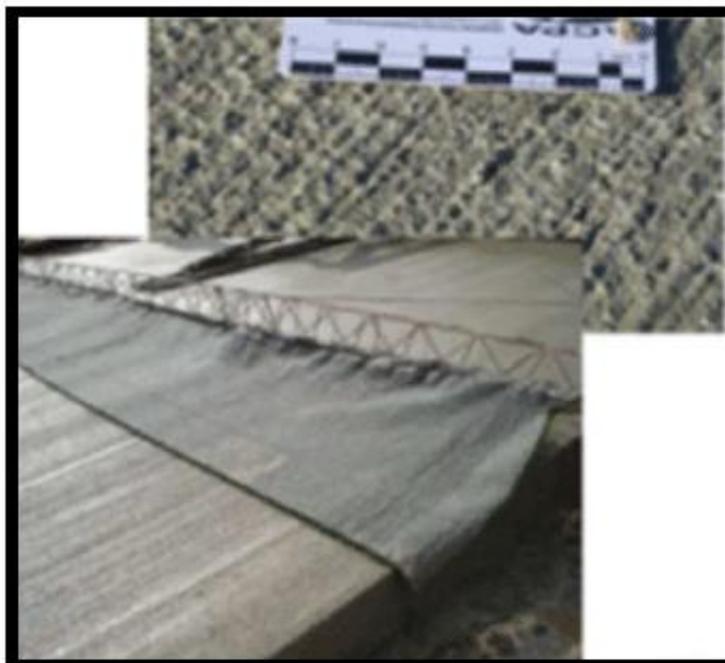


FIGURA 25: TEXTURIZADO DEL CONCRETO

Fuente: www.engormix.com

- Curado adecuado.



FIGURA 26: CURADO DEL CONCRETO

Fuente: <http://www.amc.gov.co>

- Aserradura de juntas.



FIGURA 27: ASERRADO DE JUNTAS

Fuente: www.engormix.com

3.7.1. Trabajos Previos

Los Trabajos Previos comprenden todo tipo de actividad que tenga como fin la adaptación del pavimento existente como un uniforme soporte de la sobrecarpeta. Para mayores detalles de las actividades de reparación que se necesita, se da referencia la TABLA N° 02.

En la presente tesis podremos ver que, se ha realizado inspecciones dentro del pavimento existente, hallándose grietas transversales (mayormente) y longitudinales, piel de cocodrilo y ahuellamientos menores. De lo anterior concluimos que, no será necesario hacer reparaciones que impliquen una actividad en sí, sino que podemos omitir actividades de Trabajos Previos.

3.7.2. Fresado

El Fresado tiene como finalidad el nivelar la capa de rodadura y asegurar la adherencia entre el pavimento existente y el futuro pavimento. La nivelación del pavimento puede beneficiar en muchos aspectos, como el de descender el nivel de la capeta de rodadura para estar por debajo de la vereda, también perfila la sección transversal del pavimento para tener una pendiente de drenaje adecuada, y quita las irregularidades del pavimento. El Fresado también expondrá el agregado de pavimento existente y dará una superficie rugosa para una mejor adherencia. En la Sección 3.4.14 se tató sobre el nivel de fresado que se dará, concluyendo que se procederá a remover el pavimento en 1 pulgada, esto debido al buen estado del pavimento, y a que se requiere asegurar la pendiente de drenaje y buena adherencia.

La remoción por medio del fresado resultará en una textura ideal, a tal grado que, no es necesario usar ningún aditivo como colaboración a la adherencia deseada.

Los tramos destinados a la actividad en mención poseen una calzada de ancho promedio de 12.00 m (Arias y Aragüez) y 7.35 m (Modesto Molina) y una longitud de 226.30 m (Arias y Aragüez) y 250.80 m (Modesto Molina). Por lo tanto, tendremos como resultado las siguientes superficies de remoción:

TABLA N° 31 SUPERFICIE A REMOVER (FRESADO)

ZONA DE ESTUDIO	SUPERFICIE DE REMOCIÓN (m ²)
Arias y Aragüez	2716
Modesto Molina	1843

Fuente: Propia basado en mediciones de campo.

3.7.3. Limpieza del pavimento asfáltico

Luego de la remoción del pavimento mediante el fresado se procede a retirar todas las partículas que puedan impedir una buena adherencia entre el pavimento existente y la sobrecarpeta. Los medios más comunes usar para la limpieza del terreno comienzan por el uso de aire comprimido a lo largo de todo el pavimento, también se puede realizar mediante un barrido mecánico para despejar partículas con más precisión. También se hace uso de recursos como el hidrolavado que ya hace uso de bombas compresoras portátiles que aumentan el costo, pero también asegurando la limpieza y preparación del mismo, además de apoyar con el empañamiento del terreno antes de la colocación del concreto.

Para la partida que implica la Limpieza del Pavimento Asfáltico usaremos el siguiente metrado, con las medidas ya conocidas de las vías a rehabilitar. Sabiendo ello, tenemos las siguientes superficies:

TABLA N° 32 SUPERFICIE PARA LIMPIEZA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO

ZONA DE ESTUDIO	SUPERFICIE DE LIMPIEZA (m ²)
Arias y Aragüez	2716
Modesto Molina	1843

Fuente: Propia basado en mediciones de campo.

3.7.4. Empañamiento del Terreno

Antes de la colocación del concreto es muy aconsejable tener en cuenta la temperatura de la superficie del pavimento asfáltico, ya que, debido al color oscuro del pavimento, este puede absorber y contener grandes cantidades de calor por radiación solar. Cabe resaltar que, si tenemos el calor del pavimento asfáltico en un día soleado más el calor de hidratación del concreto, puede causar agrietamientos tempranos en el nuevo pavimento cuando durante la noche sea afectado por temperaturas bajas. Es por ello que, es recomendable realizar esta actividad en horas en las que haya poca exposición solar, o, más específicamente, desde la tarde a la noche.

El Empañamiento del Terreno es un método que tiene como finalidad reducir la temperatura del pavimento existente frente a un próximo vaciado de concreto. Tengamos en cuenta que el pavimento luego del fresado presenta una superficie aún

más oscura, por lo que, un pavimento recién empañado por agua, por lo general, proporciona suficiente enfriamiento.

Para la partida en mención utilizaremos la misma superficie que se usó para la Limpieza del Pavimento Asfáltico, por lo tanto, los metrados para ésta serán:

TABLA N° 33 SUPERFICIE PARA EMPAÑAMIENTO DEL TERRENO

ZONA DE ESTUDIO	SUPERFICIE DE EMPAÑAMIENTO (m ²)
Arias y Aragüez	2716
Modesto Molina	1843

Fuente: Propia basado en mediciones de campo

3.7.5. Colocación del Concreto

La Colocación del Concreto requiere de una serie de detalles que merecen mucha atención, debido a que se tiene que respetar los periodos según actividad y para cumplir con la partida en su totalidad. Su colocación es muy semejante a la de cualquier otro pavimento rígido, siendo la principal diferencia el espesor en sí de la sobrecarpeta.

La preparación de esta partida inicia con la instalación del encofrado, que consiste en varios moldes fijos que tendrán como característica que serán del mismo espesor del pavimento existente más el espesor de la sobrecarpeta UTW, para el presente caso y por tratarse de una vía en la que no se encuentra berma, sino que la vereda se encuentra continua al pavimento, entonces se hará uso de un molde únicamente para la sobrecarpeta UTW, que finalmente será de 5 cm para ambos casos. Para el encofrado es importante tener muy en cuenta el empuje lateral que el concreto ejercerá y asegurarse de anclar y fijar los moldes, que también servirá de apoyo al equipo de pavimentación. Es importante tener presente que estos moldes deben ser aceitados antes de la actividad y limpiados luego de cada uso.

Para la partida de Encofrado de la Sobrecarpeta no consideraremos ningún metrado debido a que el colocado del concreto será contra la cara de la vereda, con excepción de los tramos de intersección de calle en lo que se colocará el encofrado para luego darle el acabado en forma de chaflán. Para dicha actividad tendremos los siguientes metrados:

**TABLA N° 34 ENCOFRADO DE LA SOBRECARPETA
EN AREAS DE INTERSECCIÓN DE CALLE**

ZONA DE ESTUDIO	AREA DE ENCOFRADO (m ²)
Arias y Aragüez	1.85
Modesto Molina	1.79

Fuente: Propia basado en mediciones de campo

Antes de comenzar con el vaciado del concreto encima del pavimento existente se debe verificar el grado de empañamiento de este último, con la finalidad de que al ser colocado el concreto, el agua de la mezcla no sea absorbida por el pavimento asfáltico.

Para el colocado del concreto se puede hacer uso de volquetes o camiones mixer, también la instalación de una planta de concreto en campo. Para el presente estudio propondremos el uso de camiones mixer con una capacidad de 8 m³. Los volúmenes de concreto que se requieren son:

TABLA N° 35 VOLUMEN DE VACIADO DE CONCRETO

ZONA DE ESTUDIO	VOLUMEN DE CONCRETO (m ³)
Arias y Aragüez	135.80
Modesto Molina	92.15

Fuente: Propia basado en mediciones de campo

Para evitar que el concreto sufra por segregación es importante un correcto vibrado el cual se puede hacer de la forma tradicional con una manguera vibratoria para finalmente con una regla poder darle de a pocos el acabado final con el liso deseado. Para el presente caso propondremos el uso de reglas vibratorias que han sido usados de manera exitosa en muchos proyectos anteriores, el cual, cumple la función de dar un vibrado apropiado para el espesor de la losa, y a su vez, le da el acabado liso que se requiere, y de esto, debemos tener en cuenta que los rendimientos con este equipo son altos.

Es siempre recomendable dar un aplanado mecánico mediante espátulas o equipos que cumplan dicha función.

3.7.6. Texturizado del Concreto

Es de recalcar lo imperativo que el texturizado final que se le da al pavimento significa; éste consiste en deslizar una rastra con la finalidad de mejorar el agarre y la rugosidad que el pavimento ofrecerá al usuario, mayormente en condiciones húmedas o de lluvias donde se enfatizan los problemas por deslizamientos. La ACPA recomienda que, para proyectos urbanos, municipales o de bajo tránsito es más que suficiente el que se arrastre una escobilla, yute o algún otro material rugoso y continuo. Esta actividad presentara un metrado así:

TABLA N° 36 TEXTURIZADO DEL CONCRETO

ZONA DE ESTUDIO	AREA DE TEXTURIZADO (m ²)
Arias y Aragüez	2716
Modesto Molina	1843

Fuente: Propia basado en mediciones de campo

3.6.7. Curado del Concreto

El curado de la sobrecarpeta, como en toda estructura de concreto, es importante para evitar agrietamientos no deseados ocasionados por el proceso de fraguado en zonas donde podría ser perjudicial en el futuro. En este caso particular, se quiere evitar que el asfalto se separe del concreto al momento de agrietarse.

Existen diferentes tipos de curado, los que se han desarrollado a lo largo del tiempo. Para el presente proyecto se propone hacer uso del curado químico, debido a que es más practico en cuanto a la aplicación y por tratarse de una losa ultra delgada, la cual, sufre por la evaporación con mucha rapidez, se quiere optimizar el curado evitando al máximo la pérdida del agua en el concreto y, por ende, los agrietamientos no deseados.

La aplicación del químico para el curado estará en proporción del doble de lo que normalmente se usa, por la misma razón que estamos trabajando con una losa de un espesor muy bajo. El curado se realizará sobre toda la superficie del pavimento, tomando particular atención en las zonas de esquinas y juntas, aplicándose de manera uniforme.

El metrado de la actividad del curado obedecerá a la superficie sobre la que se aplicará, la cual vendrá a ser:

TABLA N° 37 CURADO DEL CONCRETO

ZONA DE ESTUDIO	AREA DE CURADO (m ²)
Arias y Aragüez	2716
Modesto Molina	1843

Fuente: Propia basado en mediciones de campo

3.7.8. Aserradura de Juntas

Se ha explicado, con anterioridad en el presente proyecto, la importancia del uso de juntas para este tipo de Whitetopping (Ultra-Thin Whitetopping), por lo que, en lo presente se explicará el momento en que se hará la Aserradura de Juntas.

Al tratarse del proceso constructivo en sí, cabe resaltar que el criterio y experiencia del contratista cumple un papel muy importante, ya que, al aserrar las juntas demasiado tarde podría causar agrietamientos aleatorios no controlados, mientras que si se hacen antes de lo debido podría causar un excesivo desmoronamiento de juntas, esto a raíz de que la mezcla de concreto no ha ganado la suficiente fuerza para mantener las partículas de agregado en el lugar deseado.

La ACPA considera que, bajo condiciones normales, el contratista puede empezar el aserrado de juntas transversales en el rango desde las 4 hasta las 12 horas después de colocado el concreto. En la ciudad de Tacna no se llegan a tener temperaturas muy bajas o altas, por lo que, podemos deducir que se encuentra dentro de lo que llamamos “condiciones normales”. Para el aserrado de juntas longitudinales se dispone de más holgura en cuanto al rango de tiempo de operaciones; en muchos casos es posible hacerse, inclusive, luego de las 48 horas del colocado del concreto, sin embargo, es recomendable hacer el aserrado longitudinal tan pronto como se culmine con el aserrado transversal.

La profundidad de las juntas, a diferencia del Whitetopping Convencional que, describe un rango entre 1/4 a 1/3 del espesor de la losa como profundidad máxima, el Ultra-Thin Whitetopping no posee un criterio definido para dicha profundidad, por lo que, generalmente se considera una profundidad de 25 mm (1 pulgada).

El tipo de herramienta para el aserrado también cumple un papel importante, ya que, al tratarse de un pavimento ultra delgado, los espaciamientos entre juntas serán muy cortos, por lo tanto, las aberturas de juntas deben ser estrechas. Por lo descrito anteriormente, se recomienda hacer uso de cortadoras de uso de jardinería

o forestal, y en caso de hacerse con un esmeril para concreto convencional, se recomienda hacer uso de discos de corte finos (3 mm).

Para la partida en mención consideremos el metrado de juntas transversales como longitudinales, que se resumirán en la siguiente tabla:

TABLA N° 38 METRADO ASERRAURA DE JUNTAS

AREA DE ESTUDIO	METRADO DE JUNTAS (ml)	
	TRANSVERSALES	LONGITUDINALES
Arias y Aragüez	3012	2942
Modesto Molina	2043	2006

Fuente: Propia basado en mediciones de campo

CAPÍTULO IV COSTOS Y PRESUPUESTOS

4.1. PARTIDAS

Las partidas que se describirán a continuación representan los principales trabajos a ejecutar para la construcción del nuevo pavimento Ultra-Thin Whitetopping, por lo que, tendremos en consideración los siguientes trabajos:

TABLA N° 39 PARTIDAS

ITEM	DESCRIPCION
01	Fresado del Pavimento Asfáltico e=1"
02	Limpieza del Pavimento Asfáltico
03	Empañamiento del Pavimento Asfáltico
04	Encofrado de borde en losa Ultra-Thin Whitetopping
05	Vaciado de Concreto f'c=450 kg/cm ² (Sika ViscoCrete)
06	Texturizado del Concreto
07	Curado Químico del Concreto
08	Corte en Losa de Concreto Fresco con Disco (Juntas)

Fuente: Propia

4.2. RECURSOS

Para la elaboración de un presupuesto se necesita especificar los recursos a utilizar, por lo que, a continuación, se especificara el uso según Mano de Obra, Materiales y Equipos a utilizar para el presente.

4.2.1. Mano de Obra

Para el recurso en mención se ha considerado precios que incluyen tanto reclutamiento, exámenes y beneficios sociales como el uso de herramientas de uso personal y vestimenta según el tipo de actividad. Los recursos a ser usados en los trabajos mencionados anteriormente serán:

TABLA N° 40 MANO DE OBRA

DESCRIPCION	UNIDAD	PRECIO
Capataz	hh	19.70
Operario	hh	18.03
Oficial	hh	14.94
Peón	hh	13.42
Operario de Equipo Pesado	hh	24.71
Operario de Equipo Liviano	hh	19.81
Ayudante	hh	13.42

Fuente: Propia

4.2.2. Materiales

Los materiales se han considerado de una base de datos actualizada a la semana y sus costos no incluyen IGV. Los recursos a tratarse son los siguientes:

TABLA N° 41 MATERIALES

DESCRIPCION	UNIDAD	PRECIO
Gasolina	gln	7.81
Petróleo D-2	gln	8.69
Clavos para madera con cabeza de 3"	kg	2.68
Clavos para madera con cabeza de 4"	kg	2.68
Piedra chancada 3/4"	m3	65.50
Arena gruesa	m3	23.00
Agua puesta en obra	m3	7.86
Cemento Portland Tipo I	bls	21.30
Sika ViscoCrete	kg	14.70
Curador químico para concreto-Curador membrenil	gln	17.70
Madera Tornillo	p2	2.61
Disco de corte 1/4" x 7/8" x 7"	und	4.10
Yute	m	3.30

Fuente: Propia

4.2.3. Equipos

Los equipos se han considerado de una base de datos actualizada a la semana y sus costos no incluyen IGV. Los equipos usados para el presente proyecto se describen a continuación:

TABLA N° 42 EQUIPOS

DESCRIPCION	UNIDAD	PRECIO
Camión Volquete de 16 m3 Scania	hm	70.62
Regla Vibratoria Enar Tornado	hm	32.27
Compresora de aire	hm	36.90
Hidrolavadora Karcher K 4	hm	7.23
Mezcladora de Concreto de 8 m3	hm	93.29
Manguera para compresora de aire	hm	2.46
Pistola de soplado de aire comprimido	hm	1.54
Amoladora Angular	hm	1.29
Fresadora Cat Ingersoll Rand MT 65	hm	813.35
Herramientas manuales	%MO	5.00

Fuente: Propia

4.3. PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Se han desarrollado los presupuestos como propuestas para ambos frentes de trabajo y se detallan en las siguientes secciones, tomando en cuenta que los metrados han sido desarrollados en el capítulo anterior y serán tomados para los siguientes presupuestos.

4.3.1. Presupuesto – Arias y Aragüez

El presupuesto siguiente considerara las partidas, metrados, costos unitarios y resultados parciales y finales del presupuesto.

TABLA N° 43 PRESUPUESTO - ARIAS Y ARAGÜEZ

N°	DESCRIPCION	UND	METRADO	PRECIO UNITARIO	COSTO
01	Fresado del Pavimento Asfaltico e=1"	m2	2716	1.96	5323.36
02	Limpieza del Pavimento Asfaltico	m2	2716	0.25	679.00
03	Empañamiento del Pavimento Asfaltico	m2	2716	0.13	353.08
04	Encofrado de borde en losa Ultra-Thin Whitetopping	m2	1.85	45.81	84.75
05	Vaciado de Concreto f'c=450 kg/cm2 (Sika ViscoCrete)	m3	135.80	351.93	47792.09
06	Texturizado del Concreto	m2	2716	3.43	9315.88
07	Curado Químico del Concreto	m2	2716	7.73	20994.68
08	Corte en Losa de Concreto Fresco con Disco (Juntas)	ml	5954	0.39	2322.06
COSTO DIRECTO					86864.90
GASTOS GENERALES (6%)					5211.89
UTILIDAD (7%)					6080.54
SUBTOTAL					98157.33
IGV (18%)					15635.68
TOTAL DEL PRESUPUESTO					113793.01
COSTO POR METRO LINEAL					502.84

Fuente: Propia

4.3.1. Presupuesto – Modesto Molina

El presupuesto siguiente considerara las partidas, metrados, costos unitarios y resultados parciales y finales del presupuesto.

TABLA N° 44 PRESUPUESTO - MODESTO MOLINA

N°	DESCRIPCION	UND	METRADO	PRECIO UNITARIO	COSTO
01	Fresado del Pavimento Asfaltico e=1"	m2	1843	1.96	3612.28
02	Limpieza del Pavimento Asfaltico	m2	1843	0.25	460.75
03	Empañamiento del Pavimento Asfaltico	m2	1843	0.13	239.59
04	Encofrado de borde en losa Ultra-Thin Whitetopping	m2	1.79	45.81	82.00
05	Vaciado de Concreto f'c=450 kg/cm2 (Sika ViscoCrete)	m3	92.15	351.93	32430.35
06	Texturizado del Concreto	m2	1843	3.43	6321.49
07	Curado Químico del Concreto	m2	1843	7.73	14246.39
08	Corte en Losa de Concreto Fresco con Disco (Juntas)	ml	4049	0.39	1579.11
COSTO DIRECTO					59036.46
GASTOS GENERALES (6%)					3542.19
UTILIDAD (7%)					4132.55
SUBTOTAL					66711.20
IGV (18%)					10626.56
TOTAL DEL PRESUPUESTO					77337.76
COSTO POR METRO LINEAL					308.36

Fuente: Propia

Podemos observar que el costo por metro lineal depende del ancho de vía, sin embargo, no deja de ser razonable el costo para los trabajos de rehabilitación.

De los presupuestos presentados anteriormente, se concluye que se puede tener acceso a costos razonables de rehabilitación de pavimentos Ultra-Thin Whitetopping por metro lineal, con un tiempo de vida útil de 30 años, con todos los beneficios explicados capítulos anteriores.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Luego de los estudios realizados podemos concluir que el Ultra-Thin Whitetopping es una alternativa no solo viable sino sumamente sostenible con la finalidad de rehabilitar la red vial local en el distrito de Tacna y, en lo posterior, toda la región y el país.
- Se demostró de qué manera los beneficios del uso de un UTW pueden realzar la calidad de la red vial local, también colaborando con el factor de iluminación, tiempo de reparación y facilidad de proceso constructivo.
- En el distrito de Tacna podemos encontrar fallas que, normalmente, son comunes y repetitivas en sus diferentes sectores, siendo la falla prominente, en cuanto a repeticiones, la falla por ahuellamiento menor, lo que no requiere de un trabajo previo al UTW en sí. Cabe resaltar que en varios de los sectores se encuentra huecos en el pavimento, lo que si requiere de un relleno con piedra triturada, pero no deja de ser un trabajo menor en cuanto a costo y tiempo.
- Se ha observado que la elaboración del diseño de mezcla llega a cumplir un papel importante en la trabajabilidad y en la colocación del concreto, por lo que, factores como el Slump, el aditivo y la cantidad de aire incorporado son importantísimos en el desarrollo del proyecto propiamente dicho.
- Según hemos observado a lo largo de la investigación, el Ultra-Thin Whitetopping tiene como característica esencial la adherencia entre el pavimento existente y la sobrecarpeta, comportándose como un solo pavimento mixto, lo que significara la colaboración de ambos ante las cargas previstas y no previstas. También cabe resaltar que por tratarse de una sobrecarpeta el proceso constructivo gana por el pragmatismo de su colocación.
- Se han establecido los parámetros para su construcción, de los cuales, podemos resaltar el trabajo de fresado que, facilitara la adherencia entre ambas capas de pavimento. Se menciona también como paso importante el curado del concreto con el doble de proporción del químico por tratarse de un pavimento ultra delgado y que, por ende, pierde agua rápidamente.

5.2. RECOMENDACIONES

- Este método de rehabilitación no solo puede ser usado en carreteras o vías completas, también rehabilita pequeños tramos de vía, los cuales, en el caso de Tacna, y debido a los constantes trabajos realizados por la compañía del agua, podría ser de mucha utilidad.
- Para poder asegurar el pavimento ante esfuerzos tempranos o con tiempos de apertura de tránsito muy próximo, se recomienda el uso de fibras de polipropileno para una mayor resistencia por tensión residual.
- Los aditivos retardantes pueden dar mayor trabajabilidad al vaciado de la sobrecarpeta, también sería un buen complemento a la mezcla un aditivo que logre resistencias altas tempranas, esto con la finalidad de no sufrir agrietamientos no deseados.
- Se recomienda el uso del Ultra-Thin Whitetopping mayormente en suelos intermedios como mínimo, con el fin de reducir espesores y dar más tiempo de vida útil al nuevo pavimento.
- Es importante considerar el espaciamiento de juntas lo cual colaborara de forma eficiente en la transmisión de carga de losa a losa.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI Committee 325. (2006). Concrete Overlays for Pavement Rehabilitation. *ACI 325.13R-06*. Farmington Hills, Michigan, USA.
- American Association of State Highway and Transportation Officials. (1993). *AASHTO Guide for Design of Pavements Structures 1993*. Skokie, Illinois, USA.
- American Concrete Pavement Association. (1998). *Whitotopping-State of the Practice*. Skokie.
- American Society for Testing and Materials. (1997). ASTM D 1196. *Standard Test Method for Nonrepetitive Static Plate Load Tests of Soils and Flexible Pavement Components, for Use in Evaluation and Design of Airport and Highway Pavements*. West Conshohocken, Pennsylvania, USA.
- Fontes, R. M., & Tadeu Balbo, J. (n.d.). 2° CONGRESO INTERAMERICANO DE PAVIMENTOS DE CONCRETO. *ESTUDO DA ADERÊNCIA ENTRE O CONCRETO DE CIMENTO PORTLAND E CONCRETOS ASFÁLTICOS PARA FINS DE UTILIZAÇÃO EM PAVIMENTOS DE WHITETOPPING ULTRADELGADO*, (p. 5). Brazil.
- Indian Roads Congress. (2008). *Tentative Guidelines for Conventional, Thin and Ultra-Thin Whitotopping*. New Delhi, India: Options Printofast.
- Kumavat, S. D. (2007). Modern Technology in Fast Track Road Construction. *Ultra-Thin Whitotopping*. Pune, Mumbai, India.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2003). Reglamento Nacional de Vehículos. *Aprueban el Reglamento Nacional de Vehículos DECRETO SUPREMO Nº 058-2003-MTC*. Lima, Lima, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2005). *MANUAL PARA EL DISEÑO DE CAMINOS NO PAVIMENTADOS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO*. Lima, Lima, Perú.
- Pasquel Carbajal, E. (1998). *Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú* (Segunda Edición ed.). Lima, Lima, Perú.
- Programa de Ciudades Sostenibles – Primera Etapa. (2007, Abril). *Programa de Prevención y Medidas de Mitigación Ante Desastres de la Ciudad de Tacna*. Tacna, Tacna, Perú.
- Robert G. Packard - Portland Cement Association. (1984). *Thickness Design for Concrete Highway and Street Pavements*. Skokie, Illinois, USA.
- Roesler, J. R. (2005). Longitudinal cracking distress on continuously reinforced concrete pavements in Illinois. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 19, 331-338.

Siddiqui, S. (2014, Agosto). Effect of Portland Cement Concrete Characteristics and Constituents on Thermal Expansion. Texas, USA.

SIKA. (n.d.). *HORMIGON REFORZADO CON FIBRAS*. Santiago de Chile, Chile.

UNICON, CEMENTOS LIMA S.A.A. (n.d.). *COLECCIONABLE DURAVIA VOL. VII. METODOLOGÍA DE DISEÑO AASHTO 93*. Lima, Lima, Perú.

ANEXOS

ANEXO I: MATRIZ DE CONSISTENCIA

ULTRATHIN WHITETOPPING COMO METODO DE REHABILITACION DE PAVIMENTOS ASFALTICOS

PROBLEMA DE INVESTIGACION	OBJETIVOS	HIPOTESIS	IDENTIFICACION DE VARIABLES E INDICADORES
<p>Problema General:</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cómo solucionar de forma definitiva las deficiencias que se presentan en pavimentos asfálticos en el distrito de Tacna? <p>Problemas Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ¿Cómo beneficiaría el Ultra-Thin Whitetopping a la red vial urbana en el distrito de Tacna? ¿Cuáles son los principales tipos de fallas que se presentan en los pavimentos asfálticos locales? ¿Cómo realizar un diseño de mezcla efectivo para la sobrecapa de Ultra-Thin Whitetopping? ¿De qué forma trabajaría la capa de Ultra-Thin Whitetopping al ser colocado sobre el pavimento asfáltico existente? ¿Qué prácticas mejorarían y asegurarían el proceso constructivo del Ultra-Thin Whitetopping? ¿De qué forma el uso de Ultra-Thin Whitetopping significaría un equilibrio entre costo y funcionalidad? 	<p>Objetivo General:</p> <ul style="list-style-type: none"> Proponer el método Ultra-Thin Whitetopping como método eficiente y definitivo de rehabilitación para pavimentos asfálticos en el distrito de Tacna. <p>Objetivos Específicos:</p> <ul style="list-style-type: none"> Realizar un análisis de las ventajas y beneficios del uso de Ultra-Thin Whitetopping. Enlistar una serie de fallas que, comúnmente, se dan en pavimentos asfálticos. Estudiar la importancia de seguir ciertos lineamientos en el diseño de mezcla para la elaboración del Ultra-Thin Whitetopping. Describir las variables que influyen en el diseño de la sobrecarpeta Ultra-Thin Whitetopping. Elaborar una comparación objetiva de los resultados de los diseños según tres metodologías propuestas. Desarrollar los principales parámetros de construcción para el uso de esta tecnología. Evaluar los costos por la ejecución de una sobrecarpeta Ultra-Thin Whitetopping. 	<p>Hipótesis General:</p> <ul style="list-style-type: none"> Mediante el análisis de la realidad de nuestra red vial en el distrito de Tacna, podemos observar la necesidad de un novedoso y más eficiente método de rehabilitación. Ultra-Thin Whitetopping es la alternativa que proporciona una solución sostenible frente a los problemas de fallas en los pavimentos asfálticos que conforman casi la totalidad de vías de la ciudad. <p>Hipótesis Específica:</p> <ul style="list-style-type: none"> Con el uso de UTW podremos acabar con gastos de mantenimiento constante al pavimento asfáltico. Se comprobará la sencillez del proceso constructivo y de esa forma, evitando inconvenientes con el desvío del tráfico desde las vías a reparar. 	<p>Variable Independiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> Método Ultra-Thin Whitetopping como rehabilitación definitiva de pavimentos asfálticos existentes. <p>Indicador:</p> <ul style="list-style-type: none"> Fallas reparadas de forma definitiva. <p>Variable Dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> Evitar gastos y deterioros continuos a lo largo de la vida útil del pavimento. <p>Indicador:</p> <ul style="list-style-type: none"> Disminución de costos de reparación y accidentes causados por la condición del pavimento. <p>Variable Interviniente:</p> <ul style="list-style-type: none"> Metodologías de diseño <p>Indicador:</p> <ul style="list-style-type: none"> Espesor resultante de la sobrecarpeta

ANEXO II: FICHA TÉCNICA CEMENTO YURA TIPO IP



IP CEMENTO MULTI-PROPÓSITO Alta Durabilidad

DESCRIPCIÓN

EL CEMENTO MULTI-PROPÓSITO DE ALTA DURABILIDAD YURA IP es un cemento elaborado bajo los más estrictos estándares de la industria cementera, colaborando con el medio ambiente, debido a que en su producción se reduce ostensiblemente la emisión de CO₂, contribuyendo a la reducción de los gases con efecto invernadero.

Es un producto fabricado a base de Clinker de alta calidad, puzolana natural de origen volcánico de alta reactividad y yeso. Esta mezcla es molida industrialmente en molinos de última generación, logrando un alto grado de finura. La fabricación es controlada bajo un sistema de gestión de calidad certificado con ISO 9001 y de gestión ambiental ISO 14001, asegurando un alto estándar de calidad.

Sus componentes y la tecnología utilizada en su fabricación, hacen que el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA TIPO IP, tenga propiedades especiales que otorgan a los concretos y morteros cualidades únicas de ALTA DURABILIDAD, permitiendo que el concreto mejore su resistencia e impermeabilidad y también pueda resistir la acción del intemperismo, ataques químicos (aguas saladas, sulfatadas, ácidas, desechos industriales, reacciones químicas en los agregados, etc.), abrasión, u otros tipos de deterioro.

Puede ser utilizado en cualquier tipo de obras de infraestructura y construcción en general. Especialmente para OBRAS DE ALTA EXIGENCIA DE DURABILIDAD.

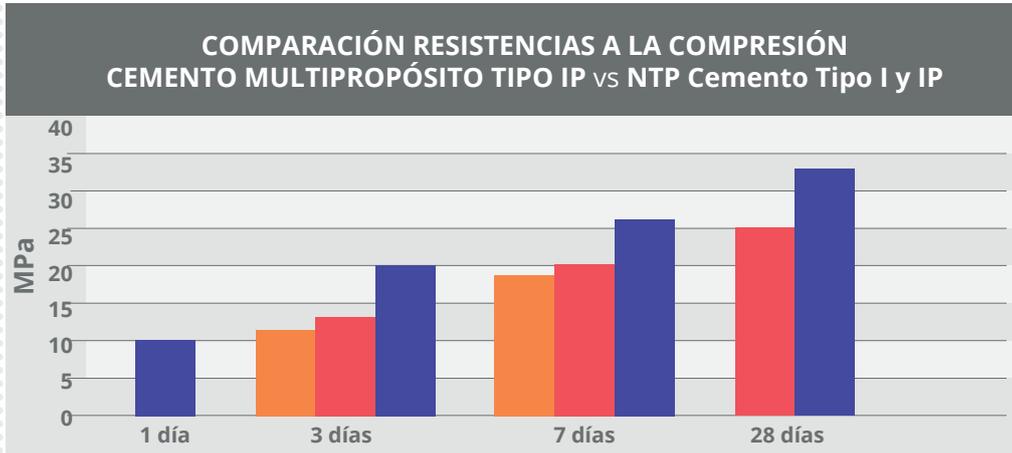
DURABILIDAD

“Es aquella propiedad del concreto endurecido que define la capacidad de éste para resistir la acción agresiva del medio ambiente que lo rodea, permitiendo alargar su vida útil”.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

REQUISITOS	CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA TIPO IP		REQUISITOS NORMA NTP 334.090 ASTM C-595		REQUISITOS NORMA NTP 334.009 ASTM C-150 (CEMENTO TIPO I)	
REQUISITOS QUÍMICOS						
MgO (%)	1.5 a 2.4		6.00 Máx.			
SO ₃ (%)	1.5 a 2.3		4.00 Máx.			
Pérdida por ignición (%)	1.5 a 3.8		5.00 Máx.			
REQUISITOS FÍSICOS						
Peso específico (gr/cm ³)	2.77 a 2.85		-			
Expansión en autoclave (%)	-0.05 a 0.03		-0.20 a 0.80			
Fraguado Vicat inicial (minutos)	170 a 270		45 a 420			
Contenido de aire	2.5 a 8.0		12 Máx			
Resistencia a la compresión	Kgf/cm ²	MPa	Kgf/cm ²	MPa	Kgf/cm ²	MPa
1 día	80 a 104	7.8 a 10.2	-	-	-	-
3 días	175 a 200	17.1 a 19.6	133 Mín.	13	122 Mín.	12
7 días	225 a 260	22.0 a 25.4	204 Mín.	20	194 Mín.	19
28 días	306 a 350	30.0 a 34.3	255 Mín.	25	-	-
Resistencia a los sulfatos	%		%			
% Expansión a los 6 meses	< 0.021%		0.05 Máx			
% Expansión a 1 año	< 0.023%		0.10 Máx			

COMPARATIVO CON REQUISITOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE NORMAS TÉCNICAS



- CEMENTO TIPO I
NORMA TÉCNICA
NTP 334.009 (ASTM C150)
- CEMENTO TIPO IP
NORMA TÉCNICA
NTP 334.090 (ASTM C595)
- CEMENTO MULTI-PROPÓSITO
YURA TIPO IP

PROPIEDADES

1 ALTA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Debido a su contenido de puzolana natural de origen volcánico, la cual tiene mayor superficie específica interna en comparación con otros tipos de puzolanas, hacen que el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP desarrolle con el tiempo resistencias a la compresión superiores a las que ofrecen otros tipos de cemento.

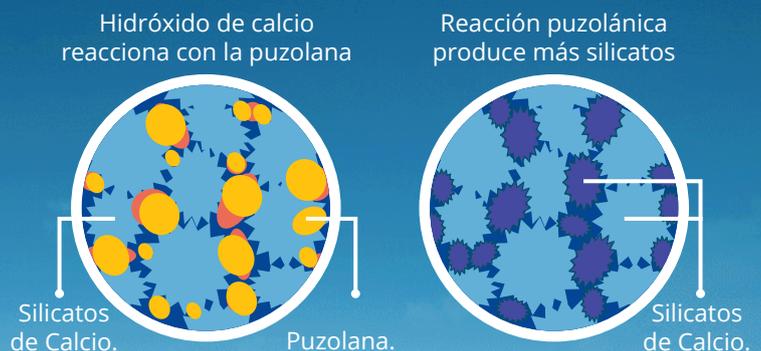
Los aluminosilicatos de la puzolana reaccionan con el hidróxido de calcio liberado de la reacción de hidratación del cemento formando silicatos cálcicos que son compuestos hidráulicos que le dan una resistencia adicional al cemento, superando a otros tipos de cemento que no contienen puzolana.

CON CEMENTO TIPO I



El cemento Tipo I produce un 75% de silicatos de calcio (resistencia), el otro 25 % es hidróxido de calcio que no ofrece resistencia y es susceptible a los ataques químicos, produciendo erosiones y/o expansiones.

CON CEMENTO MULTI-PROPÓSITO DE ALTA DURABILIDAD YURA IP



La puzolana que contiene el cemento MULTI-PROPÓSITO YURA IP, reacciona con el hidróxido de calcio, produciendo más silicatos de calcio, lo que otorga mayor resistencia, sellando los poros haciendo un concreto más impermeable.



2 RESISTENCIA AL ATAQUE DE SULFATOS Y CLORUROS

El hidróxido de calcio, liberado en la hidratación del cemento, reacciona con los sulfatos produciendo sulfato de calcio deshidratado que genera una expansión del 18% del sólido y produce también etringita que es el compuesto causante de la fisuración del concreto.

Debido a la capacidad de la puzolana de Yura para fijar este hidróxido de calcio liberado y a su mayor impermeabilidad, el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP es resistente a los sulfatos, cloruros y al ataque químico de otros iones agresivos.

Resultados de laboratorio demuestran que el CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP, tiene mayor resistencia a los sulfatos que el cemento Tipo V.



3 MAYOR IMPERMEABILIDAD

El CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP, produce mayor cantidad de silicatos cálcicos, debido a la reacción de los aluminosilicatos de la puzolana con los hidróxidos de calcio producidos en la hidratación del cemento, disminuyendo la porosidad capilar, así el concreto se hace más impermeable y protege a la estructura metálica de la corrosión.

4 REDUCE LA REACCIÓN NOCIVA ÁLCALI - AGREGADO

La puzolana de Yura remueve los álcalis de la pasta de cemento antes que estos puedan reaccionar con los agregados evitando así la fisuración del concreto debido a la reacción expansiva álcali - agregado, ante la presencia de agregados álcali reactivos.

El ensayo de expansión del mortero es un requisito opcional de los cementos portland puzolánicos y se solicita cuando el cemento es utilizado con agregados álcali reactivos.

El CEMENTO MULTI-PROPÓSITO YURA IP cumple con este requisito opcional demostrado en ensayos de laboratorio. Así se demuestra la efectividad de su puzolana en controlar la expansión causada por la reacción entre los agregados reactivos y los álcalis del cemento.



RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD

El contacto con este producto provoca irritación cutánea e irritación ocular grave, evite el contacto directo en piel y mucosas.

En caso de contacto con los ojos, lavar con abundante agua limpia.

En caso de contacto con la piel, lavar con agua y jabón.

Para su manipulación es obligatorio el uso de los siguientes elementos de protección:

BENEFICIOS AMBIENTALES

- Menor consumo energético.

- Cemento fabricado con menor emisión de CO₂.



Botas Impermeables



Protección Respiratoria



Guantes Impermeables



Protección Ocular

ALMACENAMIENTO

Para mantener el cemento en óptimas condiciones, se recomienda:

- Almacenar en un ambiente seco, bajo techo, separado del suelo y de las paredes.
- Protegerlos contra la humedad o corriente de aire húmedo.
- En caso de almacenamiento prolongado, cubrir el cemento con polietileno.
- No apilar más de 10 bolsas o en 2 pallet de altura.



PRESENTACIONES DISPONIBLES

Bolsas 25 Kg	Ergonómico. Ideal para proyectos pequeños y pocas áreas de almacenamiento.
Bolsas 42.5 Kg	Ideal para proyectos medianos y pequeños, o con accesos complicados y pocas áreas de almacenamiento.
Big Bag 1.0 TM	Para proyectos de constructoras que tienen planta de concreto. Facilita la manipulación de grandes volúmenes.
Big Bag 1.5 TM	Para proyectos mineros y de gran construcción, requiere la utilización de equipos de carga.
Granel	Abastecido en bombonas para descargar en silos contenedores.

NORMAS TÉCNICAS

NORMA DE PAIS	NORMA	DENOMINACIÓN	
NORMA TÉCNICA PERUANA	NTP 334.090	Cemento Portland Puzolánico	TIPO IP
NORMA CHILENA	NCh 148 Of.68	Cemento Puzolánico	GRADO CORRIENTE
NORMA AMERICANA	ASTM C595	Portland Pozzolan Cement	TYPE IP
NORMA BOLIVIANA	NB-011	Cemento Puzolánico	TIPO P 30
NORMA ECUATORIANA	NTE INEN 490	Cemento Portland Puzolánico	TIPO IP
NORMA BRASILEÑA	NBR 5736	Cimento Portland pozolánico	TIPO CP IV 32
NORMA COLOMBIANA	NTC 121 - 321	Cemento Portland	TIPO 1

DURACIÓN

Almacenar y consumir de acuerdo a la fecha de producción utilizando el más antiguo. Se recomienda que el cemento sea utilizado antes de 60 días de la fecha de envasado indicada en la bolsa, luego de esa fecha, verifique la calidad del mismo.



**ANEXO III: ESPECIFICACIONES ESTÁNDAR PARA AGREGADOS DEL
CONCRETO**



Standard Specification for Concrete Aggregates¹

This standard is issued under the fixed designation C 33; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This specification defines the requirements for grading and quality of fine and coarse aggregate (other than lightweight or heavyweight aggregate) for use in concrete.²

1.2 This specification is for use by a contractor, concrete supplier, or other purchaser as part of the purchase document describing the material to be furnished.

NOTE 1—This specification is regarded as adequate to ensure satisfactory materials for most concrete. It is recognized that, for certain work or in certain regions, it may be either more or less restrictive than needed. For example, where aesthetics are important, more restrictive limits may be considered regarding impurities that would stain the concrete surface. The specifier should ascertain that aggregates specified are or can be made available in the area of the work, with regard to grading, physical, or chemical properties, or combination thereof.

1.3 This specification is also for use in project specifications to define the quality of aggregate, the nominal maximum size of the aggregate, and other specific grading requirements. Those responsible for selecting the proportions for the concrete mixture shall have the responsibility of determining the proportions of fine and coarse aggregate and the addition of blending aggregate sizes if required or approved.

1.4 The values stated in SI units are to be regarded as the standard. The values given in parentheses are for information only.

1.5 The text of this standard references notes and footnotes which provide explanatory material. These notes and footnotes (excluding those in tables and figures) shall not be considered as requirements of this standard.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

C 29/C 29M Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Voids in Aggregate³

¹ This specification is under the jurisdiction of ASTM Committee C09 on Concrete and Concrete Aggregates and is the direct responsibility of Subcommittee C09.20 on Normal Weight Aggregates.

Current edition approved June 10, 2003. Published July 2003. Originally approved in 1921. Last previous edition approved in 2002 as C 33 – 02a.

² For lightweight aggregates, see Specifications C 331, C 332, and C 330; for heavyweight aggregates see Specification C 637 and Descriptive Nomenclature C 638.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

- C 40 Test Method for Organic Impurities in Fine Aggregates for Concrete³
- C 87 Test Method for Effect of Organic Impurities in Fine Aggregate on Strength of Mortar³
- C 88 Test Method for Soundness of Aggregates by Use of Sodium Sulfate or Magnesium Sulfate³
- C 117 Test Method for Material Finer than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing³
- C 123 Test Method for Lightweight Particles in Aggregate³
- C 125 Terminology Relating to Concrete and Concrete Aggregates³
- C 131 Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine³
- C 136 Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates³
- C 142 Test Method for Clay Lumps and Friable Particles in Aggregates³
- C 150 Specification for Portland Cement⁴
- C 227 Test Method for Potential Alkali Reactivity of Cement-Aggregate Combinations (Mortar-Bar Method)³
- C 289 Test Method for Potential Alkali-Silica Reactivity of Aggregates (Chemical Method)³
- C 294 Descriptive Nomenclature for Constituents of Concrete Aggregates³
- C 295 Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete³
- C 311 Test Methods for Sampling and Testing Fly Ash or Natural Pozzolans for Use as a Mineral Admixture in Portland-Cement Concrete³
- C 330 Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete³
- C 331 Specification for Lightweight Aggregates for Concrete Masonry Units³
- C 332 Specification for Lightweight Aggregates for Insulating Concrete³
- C 342 Test Method for Potential Volume Change of Cement-Aggregate Combinations⁵
- C 441 Test Method for Effectiveness of Mineral Admixtures or Ground Blast-Furnace Slag in Preventing Excessive

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.01.

⁵ Discontinued; see 2001 Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.02.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

- Expansion of Concrete Due to the Alkali-Silica Reaction³
- C 535 Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine³
- C 586 Test Method for Potential Alkali Reactivity of Carbonate Rocks for Concrete Aggregates (Rock Cylinder Method)³
- C 595 Specification for Blended Hydraulic Cements⁴
- C 618 Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete³
- C 637 Specification for Aggregates for Radiation-Shielding Concrete³
- C 638 Descriptive Nomenclature of Constituents of Aggregates for Radiation-Shielding Concrete³
- C 666 Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing³
- C 989 Specification for Ground Granulated Blast-Furnace Slag for Use in Concrete and Mortars³
- C 1105 Test Method for Length Change of Concrete Due to Alkali-Carbonate Rock Reaction³
- C 1157 Performance Specification for Hydraulic Cement⁴
- C 1240 Specification for Use of Silica Fume as a Mineral Admixture in Hydraulic-Cement Concrete, Mortar, and Grout³
- C 1260 Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)³
- C 1293 Test Method for Concrete Aggregates by Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction³
- D 75 Practice for Sampling Aggregates⁶
- D 3665 Practice for Random Sampling of Construction Materials⁶
- E 11 Specification for Wire-Cloth and Sieves for Testing Purposes⁷

TABLE 1 Limits for Deleterious Substances in Fine Aggregate for Concrete

Item	Mass Percent of Total Sample, max
Clay lumps and friable particles	3.0
Material finer than 75- μm (No. 200) sieve:	
Concrete subject to abrasion	3.0 ^A
All other concrete	5.0 ^A
Coal and lignite:	
Where surface appearance of concrete is of importance	0.5
All other concrete	1.0

^A In the case of manufactured sand, if the material finer than the 75- μm (No. 200) sieve consists of the dust of fracture, essentially free of clay or shale, these limits are permitted to be increased to 5 and 7 %, respectively.

3. Terminology

3.1 For definitions of terms used in this standard, refer to Terminology C 125.

4. Ordering and Specifying Information

4.1 The direct purchaser of aggregates shall include the information in 4.2 in the purchase order as applicable. A project specifier shall include in the project documents information to describe the aggregate to be used in the project from the applicable items in 4.3.

4.2 Include in the purchase order for aggregates the following information, as applicable:

4.2.1 Reference to this specification, as C 33____,

4.2.2 Whether the order is for fine aggregate or for coarse aggregate,

4.2.3 Quantity, in metric tons or tons,

4.2.4 When the order is for fine aggregate:

4.2.4.1 Whether the restriction on reactive materials in 7.3 applies,

4.2.4.2 In the case of the sulfate soundness test (see 8.1) which salt is to be used. If none is stated, either sodium sulfate or magnesium sulfate shall be used,

4.2.4.3 The appropriate limit for material finer than 75- μm (No. 200) sieve (see Table 1). If not stated, the 3.0 % limit shall apply,

4.2.4.4 The appropriate limit for coal and lignite (see Table 1). If not stated, the 1.0 % limit shall apply,

4.2.5 When the order is for coarse aggregate:

4.2.5.1 The grading (size number) (see 10.1 and Table 2), or alternate grading as agreed between the purchaser and aggregate supplier.

4.2.5.2 The class designation (see 11.1 and Table 3),

4.2.5.3 Whether the restriction on reactive materials in 11.2 applies,

4.2.5.4 In the case of the sulfate soundness test (see Table 3), which salt is to be used. If none is stated, either sodium sulfate or magnesium sulfate shall be used, and

4.2.6 Any exceptions or additions to this specification (see Note 1).

4.3 Include in project specifications for aggregates the following information, as applicable:

4.3.1 Reference to this specification, as C 33____.

4.3.2 When the aggregate being described is fine aggregate:

4.3.2.1 Whether the restriction on reactive materials in 7.3 applies,

4.3.2.2 In the case of the sulfate soundness test (see 8.1) which salt is to be used. If none is stated, either sodium sulfate or magnesium sulfate shall be used.

4.3.2.3 The appropriate limit for material finer than the 75- μm (No. 200) sieve (see Table 1). If not stated, the 3.0 % limit shall apply, and

4.3.2.4 The limit that applies with regard to coal and lignite (Table 1). If not stated, the 1.0 % limit shall apply.

4.3.3 When the aggregate being described is coarse aggregate, include:

4.3.3.1 The nominal maximum size or sizes permitted, based on thickness of section or spacing of reinforcing bars or other criteria. In lieu of stating the nominal maximum size, the specifier shall designate an appropriate size number or numbers (see 10.1 and Table 2). Designation of a size number to indicate a nominal size shall not restrict the person responsible for selecting proportions from combining two or more gradings of

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.03.

⁷ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.



TABLE 2 Grading Requirements for Coarse Aggregates

Size Number	Nominal Size (Sieves with Square Openings)	Amounts Finer than Each Laboratory Sieve (Square-Openings), Mass Percent													
		100 mm (4 in.)	90 mm (3½ in.)	75 mm (3 in.)	63 mm (2½ in.)	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1½ in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (¾ in.)	4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)	300 µm (No.50)
1	90 to 37.5 mm (3½ to 1½ in.)	100	90 to 100	...	25 to 60	...	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...	...
2	63 to 37.5 mm (2½ to 1½ in.)	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	0 to 5	...	...	...	...	...	...
3	50 to 25.0 mm (2 to 1 in.)	...	...	...	100	90 to 100	35 to 70	0 to 15	...	...	...	...	...	...	...
357	50 to 4.75 mm (2 in. to No. 4)	...	...	...	100	95 to 100	35 to 70	...	...	...	0 to 5	...	...	...	...
4	37.5 to 19.0 mm (1½ to ¾ in.)	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	...	...	...	...	...	...
467	37.5 to 4.75 mm (1½ in. to No. 4)	...	...	...	...	100	95 to 100	35 to 70	...	10 to 30	0 to 5	...	...	...	...
5	25.0 to 12.5 mm (1 to ½ in.)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...	...	...	...
56	25.0 to 9.5 mm (1 to ¾ in.)	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 85	10 to 40	0 to 15	0 to 5	...	...	...
57	25.0 to 4.75 mm (1 in. to No. 4)	...	...	...	...	...	100	95 to 100	...	25 to 60	0 to 10	0 to 5	0 to 5	...	...
6	19.0 to 9.5 mm (¾ to ¾ in.)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	20 to 55	0 to 15	0 to 5	...	...	...
67	19.0 to 4.75 mm (¾ in. to No. 4)	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	...	20 to 55	0 to 10	0 to 5	...	...
7	12.5 to 4.75 mm (½ in. to No. 4)	...	...	...	...	...	...	...	100	90 to 100	40 to 70	0 to 15	0 to 5	...	...
8	9.5 to 2.36 mm (¾ in. to No. 8)	...	...	...	...	...	...	...	...	85 to 100	10 to 30	0 to 10	0 to 5	0 to 5	...
89	9.5 to 1.18 mm (¾ in. to No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	20 to 55	5 to 30	0 to 10	0 to 5	0 to 5
9 ^A	4.75 to 1.18 mm (No. 4 to No. 16)	...	...	...	...	...	...	...	...	100	85 to 100	10 to 40	0 to 10	0 to 5	0 to 5

^A Size number 9 aggregate is defined in Terminology C 125 as a fine aggregate. It is included as a coarse aggregate when it is combined with a size number 8 material to create a size number 89, which is a coarse aggregate as defined by Terminology C 125.

TABLE 3 Limits for Deleterious Substances and Physical Property Requirements of Coarse Aggregate for Concrete

NOTE 1—See Fig. 1 for the location of the weathering regions and Note 9 for guidance in using the map. The weathering regions are defined as follows:

- (S) Severe Weathering Region—A cold climate where concrete is exposed to deicing chemicals or other aggressive agents, or where concrete may become saturated by continued contact with moisture or free water prior to repeated freezing and thawing.
- (M) Moderate Weathering Region—A climate where occasional freezing is expected, but where concrete in outdoor service will not be continually exposed to freezing and thawing in the presence of moisture or to deicing chemicals.
- (N) Negligible Weathering Region—A climate where concrete is rarely exposed to freezing in the presence of moisture.

Class Designation	Type or Location of Concrete Construction	Maximum Allowable, %						
		Clay Lumps and Friable Particles	Chert (Less Than 2.40 sp gr SSD)	Sum of Clay Lumps, Friable Particles, and Chert (Less Than 2.40 sp gr SSD)	Material Finer Than 75- μ m (No. 200) Sieve	Coal and Lignite	Abrasion ^A	Magnesium Sulfate Soundness (5 cycles) ^B
Severe Weathering Regions								
1S	Footings, foundations, columns and beams not exposed to the weather, interior floor slabs to be given coverings	10.0	...	...	1.0 ^C	1.0	50	...
2S	Interior floors without coverings	5.0	...	...	1.0 ^C	0.5	50	...
3S	Foundation walls above grade, retaining walls, abutments, piers, girders, and beams exposed to the weather	5.0	5.0	7.0	1.0 ^C	0.5	50	18
4S	Pavements, bridge decks, driveways and curbs, walks, patios, garage floors, exposed floors and porches, or water-front structures, subject to frequent wetting	3.0	5.0	5.0	1.0 ^C	0.5	50	18
5S	Exposed architectural concrete	2.0	3.0	3.0	1.0 ^C	0.5	50	18
Moderate Weathering Regions								
1M	Footings, foundations, columns, and beams not exposed to the weather, interior floor slabs to be given coverings	10.0	...	...	1.0 ^C	1.0	50	...
2M	Interior floors without coverings	5.0	...	...	1.0 ^C	0.5	50	...
3M	Foundation walls above grade, retaining walls, abutments, piers, girders, and beams exposed to the weather	5.0	8.0	10.0	1.0 ^C	0.5	50	18
4M	Pavements, bridge decks, driveways and curbs, walks, patios, garage floors, exposed floors and porches, or water-front structures subject to frequent wetting	5.0	5.0	7.0	1.0 ^C	0.5	50	18
5M	Exposed architectural concrete	3.0	3.0	5.0	1.0 ^C	0.5	50	18
Negligible Weathering Regions								
1N	Slabs subject to traffic abrasion, bridge decks, floors, sidewalks, pavements	5.0	...	...	1.0 ^C	0.5	50	...
2N	All other classes of concrete	10.0	...	...	1.0 ^C	1.0	50	...

^A Crushed air-cooled blast-furnace slag is excluded from the abrasion requirements. The rodded or jigged bulk density (unit weight) of crushed air-cooled blast-furnace slag shall be not less than 1120 kg/m³ (70 lb/ft³). The grading of slag used in the bulk density (unit weight) test shall conform to the grading to be used in the concrete. Abrasion loss of gravel, crushed gravel, or crushed stone shall be determined on the test size or sizes most nearly corresponding to the grading or gradings to be used in the concrete. When more than one grading is to be used, the limit on abrasion loss shall apply to each.

^B The allowable limits for soundness shall be 12 % if sodium sulfate is used.

^C This percentage under either of the following conditions: (1) is permitted to be increased to 1.5 if the material is essentially free of clay or shale; or (2) if the source of the fine aggregate to be used in the concrete is known to contain less than the specified maximum amount passing the 75- μ m (No. 200) sieve (Table 1) the percentage limit (L) on the amount in the coarse aggregate is permitted to be increased to $L = 1 + [(P)/(100 - P)] (T - A)$, where P = percentage of sand in the concrete as a percent of total aggregate, T = the Table 1 limit for the amount permitted in the fine aggregate, and A = the actual amount in the fine aggregate. (This provides a weighted calculation designed to limit the maximum mass of material passing the 75- μ m (No. 200) sieve in the concrete to that which would be obtained if both the fine and coarse aggregate were supplied at the maximum tabulated percentage for each of these ingredients.)

aggregate to obtain a desired grading, provided that the gradings are not otherwise restricted by the project specifier and the nominal maximum size indicated by the size number is not exceeded,

4.3.3.2 The class designation (see 11.1 and Table 3),

4.3.3.3 Whether the restriction on reactive materials in 11.2 applies,

4.3.3.4 In the case of the sulfate soundness test (see Table 3), which salt is to be used. If none is stated, either sodium sulfate or magnesium sulfate shall be used, and

4.3.4 The person responsible for selecting the concrete proportions if other than the concrete producer.

4.3.5 Any exceptions or additions to this specification (see Note 1).

FINE AGGREGATE

5. General Characteristics

5.1 Fine aggregate shall consist of natural sand, manufactured sand, or a combination thereof.

6. Grading

6.1 *Sieve Analysis*—Fine aggregate, except as provided in 6.2 and 6.3 shall be graded within the following limits:

Sieve (Specification E 11)	Percent Passing
9.5-mm (3/8-in.)	100
4.75-mm (No. 4)	95 to 100
2.36-mm (No. 8)	80 to 100
1.18-mm (No. 16)	50 to 85
600- μ m (No. 30)	25 to 60
300- μ m (No. 50)	5 to 30
150- μ m (No. 100)	0 to 10

NOTE 2—Concrete with fine aggregate gradings near the minimums for percent passing the 300 μ m (No.50) and 150 μ m (No.100) sometimes have difficulties with workability, pumping or excessive bleeding. The addition of entrained air, additional cement, or the addition of an approved mineral admixture to supply the deficient fines, are methods used to alleviate such difficulties.

6.2 The fine aggregate shall have not more than 45 % passing any sieve and retained on the next consecutive sieve of those shown in 6.1, and its fineness modulus shall be not less than 2.3 nor more than 3.1.

6.3 Fine aggregate failing to meet these grading requirements shall meet the requirements of this section provided that the supplier can demonstrate to the purchaser or specifier that concrete of the class specified, made with fine aggregate under consideration, will have relevant properties (see Note 4) at least equal to those of concrete made with the same ingredients, with the exception that the reference fine aggregate shall be selected from a source having an acceptable performance record in similar concrete construction.

NOTE 3—Fine aggregate that conforms to the grading requirements of a specification, prepared by another organization such as a state transportation agency, which is in general use in the area, should be considered as having a satisfactory service record with regard to those concrete properties affected by grading.

NOTE 4—Relevant properties are those properties of the concrete that are important to the particular application being considered. STP 169C⁸ provides a discussion of important concrete properties.

6.4 For continuing shipments of fine aggregate from a given source, the fineness modulus shall not vary more than 0.20 from the base fineness modulus. The base fineness modulus shall be that value that is typical of the source. The purchaser or specifier has the authority to approve a change in the base fineness modulus.

NOTE 5—The base fineness modulus should be determined from previous tests, or if no previous tests exist, from the average of the fineness modulus values for the first ten samples (or all preceding samples if less than ten) on the order. The proportioning of a concrete mixture may be dependent on the base fineness modulus of the fine aggregate to be used. Therefore, when it appears that the base fineness modulus is considerably different from the value used in the concrete mixture, a suitable adjustment in the mixture may be necessary.

7. Deleterious Substances

7.1 The amount of deleterious substances in fine aggregate shall not exceed the limits prescribed in Table 1.

7.2 Organic Impurities:

7.2.1 Fine aggregate shall be free of injurious amounts of organic impurities. Except as herein provided, aggregates subjected to the test for organic impurities and producing a color darker than the standard shall be rejected.

7.2.2 Use of a fine aggregate failing in the test is not prohibited, provided that the discoloration is due principally to the presence of small quantities of coal, lignite, or similar discrete particles.

7.2.3 Use of a fine aggregate failing in the test is not prohibited, provided that, when tested for the effect of organic impurities on strength of mortar, the relative strength at 7 days, calculated in accordance with Test Method C 87, is not less than 95 %.

7.3 Fine aggregate for use in concrete that will be subject to wetting, extended exposure to humid atmosphere, or contact with moist ground shall not contain any materials that are deleteriously reactive with the alkalis in the cement in an amount sufficient to cause excessive expansion of mortar or concrete, except that if such materials are present in injurious amounts, use of the fine aggregate is not prohibited when used with a cement containing less than 0.60 % alkalis calculated as sodium oxide equivalent ($\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$) or with the addition of a material that has been shown to prevent harmful expansion due to the alkali-aggregate reaction. (See Appendix X1.)

8. Soundness

8.1 Except as provided in 8.2 and 8.3, fine aggregate subjected to five cycles of the soundness test shall have a weighted average loss not greater than 10 % when sodium sulfate is used or 15 % when magnesium sulfate is used.

8.2 Fine aggregate failing to meet the requirements of 8.1 shall be regarded as meeting the requirements of this section provided that the supplier demonstrates to the purchaser or

⁸ *Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete Making Materials, STP 169C, ASTM, 1994.*

specifier that concrete of comparable properties, made from similar aggregate from the same source, has given satisfactory service when exposed to weathering similar to that to be encountered.

8.3 Fine aggregate not having a demonstrable service record and failing to meet the requirements of 8.1 shall be regarded as meeting the requirements of this section provided that the supplier demonstrates to the purchaser or specifier it gives satisfactory results in concrete subjected to freezing and thawing tests (see Test Method C 666).

COARSE AGGREGATE

9. General Characteristics

9.1 Coarse aggregate shall consist of gravel, crushed gravel, crushed stone, air-cooled blast furnace slag, or crushed hydraulic-cement concrete (see Note 6), or a combination thereof, conforming to the requirements of this specification.

NOTE 6—Although crushed hydraulic-cement concrete has been used as an aggregate with reported satisfactory results, its use may require some additional precautions. Mixing water requirements may be increased because of the harshness of the aggregate. Partially deteriorated concrete, used as aggregate, may reduce freeze-thaw resistance, affect air void properties or degrade during handling, mixing, or placing. Crushed concrete may have constituents that would be susceptible to alkali-aggregate reactivity or sulfate attack in the new concrete or may bring sulfates, chlorides, or organic material to the new concrete in its pore structure.

10. Grading

10.1 Coarse aggregates shall conform to the requirements prescribed in Table 2 for the size number specified.

NOTE 7—The ranges shown in Table 2 are by necessity very wide in order to accommodate nationwide conditions. For quality control of any specific operation, a producer should develop an average grading for the particular source and production facilities, and should control the production gradings within reasonable tolerances from this average. Where coarse aggregate size numbers 357 or 467 are used, the aggregate should be furnished in at least two separate sizes.

11. Deleterious Substances

11.1 Except for the provisions of 11.3, the limits given in Table 3 shall apply for the class of coarse aggregate designated in the purchase order or other document (see Note 8 and Note 9). If the class is not specified, the requirements for Class 3S, 3M, or 1N shall apply in the severe, moderate, and negligible weathering regions, respectively (see Table 3 and Fig. 1).

NOTE 8—The specifier of the aggregate should designate the class of coarse aggregate to be used in the work, based on weathering severity, abrasion, and other factors of exposure. (See Table 3 and Fig. 1.) The limits for coarse aggregate corresponding to each class designation are expected to ensure satisfactory performance in concrete for the respective type and location of construction. Selecting a class with unduly restrictive limits may result in unnecessary cost if materials meeting those requirements are not locally available. Selecting a class with lenient limits may result in unsatisfactory performance and premature deterioration of the concrete. While concrete in different parts of a single structure may be

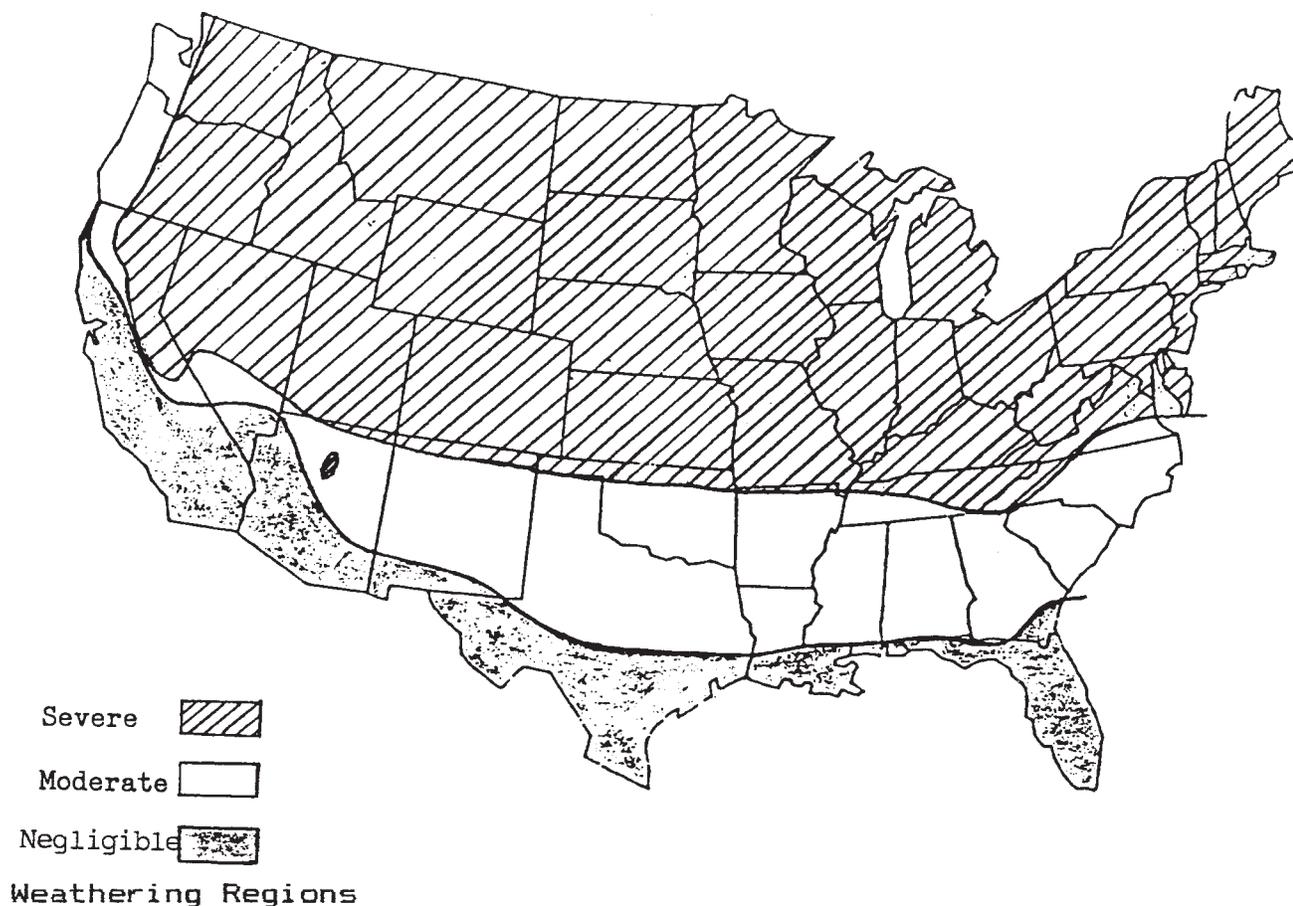


FIG. 1 Location of Weathering Regions

adequately made with different classes of coarse aggregate, the specifier may wish to require the coarse aggregate for all concrete to conform to the same more restrictive class to reduce the chance of furnishing concrete with the wrong class of aggregate, especially on smaller projects.

NOTE 9—For coarse aggregate in concrete exposed to weathering, the map with the weathering regions shown in Fig. 1 is intended to serve only as a guide to probable weathering severity. Those undertaking construction, especially near the boundaries of weathering regions, should consult local weather bureau records for amount of winter precipitation and number of freeze-thaw cycles to be expected, for determining the weathering severity for establishing test requirements of the coarse aggregate. For construction at altitudes exceeding 1520 m (5000 ft) above sea level, the likelihood of more severe weathering than indicated by the map should be considered. In arid areas, severity of weathering may be less than that indicated. In either case, the definitions of weathering severity in Table 3 would govern. If there is doubt in choosing between two regions, select the more severe weathering region.

11.2 Coarse aggregate for use in concrete that will be subject to wetting, extended exposure to humid atmosphere, or contact with moist ground shall not contain any materials that are deleteriously reactive with the alkalis in the cement in an amount sufficient to cause excessive expansion of mortar or concrete except that if such materials are present in injurious amounts, the coarse aggregate is not prohibited when used with a cement containing less than 0.60 % alkalis calculated as sodium oxide equivalent ($\text{Na}_2\text{O} + 0.658\text{K}_2\text{O}$) or with the addition of a material that has been shown to prevent harmful expansion due to the alkali-aggregate reaction. (See Appendix X1.)

11.3 Coarse aggregate having test results exceeding the limits specified in Table 3 shall be regarded as meeting the requirements of this section provided the supplier demonstrates to the purchaser or specifier that concrete made with similar aggregate from the same source has given satisfactory service when exposed in a similar manner to that to be encountered; or, in the absence of a demonstrable service record, provided that the aggregate produces concrete having satisfactory relevant properties (see Note 4).

METHODS OF SAMPLING AND TESTING

12. Methods of Sampling and Testing

12.1 Sample and test the aggregates in accordance with the following methods, except as otherwise provided in this specification. Make the required tests on test specimens that comply with requirements of the designated test methods. It is

not prohibited to use the same test specimen for sieve analysis and for determination of material finer than the 75- μm (No. 200) sieve. The use of separated sizes from the sieve analysis is acceptable for soundness or abrasion tests, however, additional test specimen preparation is required (see Note 10). For other test procedures and the evaluation of potential alkali reactivity, when required, use independent test specimens.

NOTE 10—The material used for the soundness test requires resieving to allow proper test specimen preparation as specified in Test Method C 88.

12.1.1 *Sampling*—Practice D 75 and Practice D 3665.

12.1.2 *Grading and Fineness Modulus*—Test Method C 136.

12.1.3 *Amount of Material Finer than 75- μm (No. 200) Sieve*—Test Method C 117.

12.1.4 *Organic Impurities*—Test Method C 40.

12.1.5 *Effect of Organic Impurities on Strength*—Test Method C 87.

12.1.6 *Soundness*—Test Method C 88.

12.1.7 *Clay Lumps and Friable Particles*—Test Method C 142.

12.1.8 *Coal and Lignite*—Test Method C 123, using a liquid of 2.0 specific gravity to remove the particles of coal and lignite. Only material that is brownish-black, or black, shall be considered coal or lignite. Coke shall not be classed as coal or lignite.

12.1.9 *Bulk Density (Unit Weight) of Slag*—Test Method C 29/C 29M.

12.1.10 *Abrasion of Coarse Aggregate*—Test Method C 131 or Test Method C 535.

12.1.11 *Reactive Aggregates*—See Appendix X1.

12.1.12 *Freezing and Thawing*—Procedures for making freezing and thawing tests of concrete are described in Test Method C 666.

12.1.13 *Chert*—Test Method C 123 is used to identify particles in a sample of coarse aggregate lighter than 2.40 specific gravity, and Guide C 295 to identify which of the particles in the light fraction are chert.

13. Keywords

13.1 aggregates; coarse aggregate; concrete aggregates; fine aggregate

APPENDIX
(Nonmandatory Information)
X1. METHODS FOR EVALUATING POTENTIAL FOR DELETERIOUS EXPANSION DUE TO ALKALI REACTIVITY OF AN AGGREGATE
X1.1 Introduction

X1.1.1 *Laboratory Methods*—Many test methods for evaluating the potential for deleterious expansion due to alkali reactivity of an aggregate have been proposed and some have been adopted as ASTM standards. However, there is no general agreement on the relation between the results of these tests and the amount of expansion to be expected or tolerated in service. Therefore, evaluation of the suitability of an aggregate should be based upon judgment, interpretation of test data, and results of examinations of concrete structures containing the same aggregates and similar cementitious materials having similar levels of alkalis. Results of the tests referred to in this appendix may assist in making the evaluation. When interpreting expansion of laboratory specimens, consideration should be given not only to expansion values at specific ages, but also to the shape of the expansion curve, which may indicate whether the expansion is leveling off or continuing at a constant or accelerating rate.

X1.1.2 *Service Record Evaluation*—Valid, comparable concrete service record data, if available, should take precedence over laboratory test results in most cases. To be considered valid, a record of satisfactory service should be available for at least 10 years for aggregates, cementitious materials, and exposures sufficiently similar to those in which an aggregate is being considered for future use. Longer periods of documented service may be required for proposed work designed for a particularly long service life in moist conditions, or if laboratory test results show that the aggregate may be deleteriously reactive.

X1.1.3 *Mitigation of Alkali-Aggregate Reaction*—If an aggregate has been judged to be potentially deleteriously reactive in concrete either through laboratory or service record evaluation, use of the aggregate should be considered with measures known to prevent excessive expansion due to alkali-aggregate reaction. See the mitigation sections in this appendix under X1.3 Alkali-Silica Reaction and X1.4 Alkali-Carbonate Rock Reaction and References cited for discussion of prevention strategies for new concrete.

X1.2 Background

X1.2.1 Background information on alkali-aggregate reaction can be found in Ref (1)⁹, Descriptive Nomenclature C 294, and Guide C 295 as discussed as follows. Additional discussion is included in Refs (2) (3). These references address both alkali-silica reaction and alkali-carbonate rock reaction.

X1.2.1.1 *Descriptive Nomenclature C 294 for Constituents of Concrete Aggregates*—This nomenclature provides descriptions of constituents of mineral aggregates and includes dis-

ussion of which have been associated with deleterious expansion due to alkali reaction.

X1.2.1.2 *Guide C 295 (Petrographic Examination of Aggregates)*—This guide outlines the procedures for examining an aggregate sample or a sample from a potential aggregate source to determine whether substances that are potentially deleteriously reactive are present; and, if so, in what amounts.

X1.2.1.3 *Alkali-Silica Reaction*—Certain materials are known to be potentially deleteriously alkali-silica reactive. These include forms of silica such as opal, chalcedony, tridymite, and cristobalite; cryptocrystalline and microcrystalline, strained, or highly fractured quartz; and intermediate to acid (silica-rich) volcanic glass such as is likely to occur in rhyolite, andesite, or dacite. Determination of the presence and quantities of these materials by petrographic examination is helpful in evaluating potential alkali reactivity. An aggregate can be potentially deleteriously reactive when some of these materials, such as opal, are present in very small quantities (for example, 1 %).

X1.2.1.4 *Alkali-Carbonate Rock Reaction*—The reaction of dolomite in certain carbonate rocks with alkalis has been associated with deleterious expansion of concrete containing such rocks as coarse aggregate. The most rapidly reactive carbonate rocks possess a characteristic texture in which relatively large crystals of dolomite are scattered in a finer-grained matrix of calcite and clay. These rocks also have a composition in which the carbonate portion consists of substantial amounts of both dolomite and calcite, and the acid-insoluble residue contains a significant amount of clay. Certain purely dolomitic rocks also may produce slow expansion in concrete.

X1.3 Alkali-Silica Reaction

X1.3.1 *Test Method C 289 (Chemical Method)*—The results of the test are values for the quantities of dissolved silica (S_c) and reduction in alkalinity (R_c) for each of the three test portions from the prepared aggregate test sample. Aggregates represented by plotted points (S_c , R_c), which lie on the deleterious side of the solid curve of Fig. X1.1 of Test Method C 289 usually should be considered potentially reactive. Three regions are delineated in the figure: (1) aggregates considered innocuous; (2) aggregates considered potentially deleterious; and (3) aggregates considered deleterious. Aggregates represented by points lying in the potentially deleterious region above the dashed line in Fig. X1.1 of Test Method C 289 may give relatively low expansions in mortar or concrete even though they are extremely reactive with alkalis. The test can be made quickly and can provide helpful information, except for slowly reactive rocks such as some granitic gneiss and quartzite. Also, as pointed out in the appendix to Test Method C 289, the results may not be correct for aggregates containing

⁹ The boldface numbers in parentheses refer to the list of references at the end of this standard.

carbonates or magnesium silicates, such as antigorite (serpentine), or constituents producing late-slow reactivity. See the appendix to Test Method C 289 for a discussion of the interpretation of results and applicable references. If test results indicate deleterious or potentially deleterious character, the aggregates should be tested in accordance with Test Methods C 227 or C 1293 to verify the potential for expansion in concrete.

X1.3.2 Test Method C 227 (Mortar-Bar Method for Cement-Aggregate Combinations)—The results of this test method, when a high-alkali cement is used, furnish information on the likelihood of potentially deleterious expansion occurring. The alkali content of the portland cement should be at least 0.8 %, expressed as percent sodium oxide equivalent ($\%Na_2O + 0.658 \times \%K_2O$). Combinations of aggregate and cementitious materials that have produced excessive expansions in this test method should be considered potentially reactive. While the line of demarcation between innocuous and potentially deleterious combinations is not clearly defined, expansion is generally considered to be excessive if it exceeds 0.05 % at 3 months or 0.10 % at 6 months. Expansions greater than 0.05 % at 3 months should not be considered excessive when the 6-month expansion remains below 0.10 %. Data for the 3-month tests should be considered only when 6-month results are not available. The limits may not be conservative for slowly reactive aggregates. Test Method C 227 is not suitable for slowly reactive aggregates, and its use for this purpose is not advised (**1, 2**). Aggregates suspected of being slowly reactive should be evaluated using Test Method C 1260 or Test Method C 1293. Test Method C 227 is also used with a specific reactive glass aggregate to verify the mitigation effectiveness of blended cements meeting Specification C 595, with the Table 2 optional mortar expansion requirement, and meeting Performance Specification C 1157 with Option R. These procedures are similar to the provisions of Test Method C 441 discussed as follows for mineral admixtures and ground slag.

X1.3.3 Test Method C 342 (Mortar Bars Subjected to Changes in Moisture and Temperature)—This withdrawn test method was intended for research concerning the potential expansion of cement-aggregate combinations involving selected aggregates found in parts of Oklahoma, Kansas, Nebraska, and Iowa. Due to the specimen conditioning procedures, the expansion of mortar bars in this test method may not be related to alkali-silica reaction under normal-temperature conditioning. Data on the use of this test method are given in the references cited in a footnote in the test method. It is indicated that cement-aggregate combinations tested by this procedure in which expansion equals or exceeds 0.20 % at an age of 1 year may be considered unsatisfactory for use in concrete exposed to wide variations of temperature and degree of saturation with water. This test method is not recommended for use in regions other than previously cited.

X1.3.4 Test Method C 1260 (Mortar-Bar Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregate)—This test method is an accelerated screening technique developed for the detection of materials that develop deleterious expansions slowly over a long period of time. Some aggregates that perform well in the field have been shown to fail this test (**4, 5**). Results of this test

method should not be used for rejection of aggregates unless it has been established using the sources of supplementary information cited in the test method that the detected expansion is actually due to alkali-silica reaction. There is good agreement in the published literature cited in the test method for the expansion limits: (1) expansions of less than 0.10 % at 16 days after casting are indicative of innocuous behavior in most cases; (2) expansions of more than 0.20 % at 16 days are indicative of potentially deleterious expansion; and (3) expansions between 0.10 and 0.20 % at 16 days include both aggregates that are known to be innocuous and deleterious in field performance. If test results indicate expansion greater than 0.10 % at 16 days, the aggregate should be tested in accordance with Test Method C 1293 unless appropriate field experience demonstrates that it does not cause deleterious expansion in concrete. (See X1.3.7.)

X1.3.5 Test Method C 1293 (Concrete Prism Method for Alkali-Silica Reactivity)—The test method evaluates the aggregates for potential alkali-silica reaction expansion using concrete prisms. The test method is accelerated by using an elevated alkali content and Test Method C 227 exposure conditions. The appendix to Test Method C 1293 provides guidance on interpretation of the results. Aggregates with expansions equal to or greater than 0.04 % at one year are considered potentially deleteriously reactive. This test method is considered to be the most reliable procedure among ASTM Test Methods for the evaluation of aggregates for alkali-silica reaction.

X1.3.6 Test Method C 441 (Mortar-Bar Method for Effectiveness of Mineral Admixtures or Ground Blast-Furnace Slag in Preventing Excessive Expansion of Concrete Due to the Alkali-Silica Reaction)—In general, the potential for expansion due to alkali-silica reactivity can be controlled by using a sufficient amount of an effective pozzolan or ground granulated blast-furnace slag as a portion of the cementitious material component in concrete, or by using a cement of a low alkali content. In the case of pozzolan, it is necessary to establish its effectiveness using a standard test; and the only ASTM test method that evaluates the effectiveness of pozzolan or slag is Test Method C 441. This test method uses mortar bars as in Test Method C 227. Specification C 618 provides a criterion for its use as applied to fly ash and raw or calcined natural pozzolans when sampled and tested in accordance with Test Methods C 311. Specification C 1240 provides criteria for the use of Test Method C 441 to evaluate silica fume for controlling expansion. Appendix X3 to Specification C 989 describes its use for ground granulated blast-furnace slag.

X1.3.7 Mitigation of Alkali-Silica Reaction—Normally if an aggregate is shown to be nonreactive or innocuous by producing little or no expansion in Test Method C 1260 or Test Method C 1293, no mitigation is necessary. Similarly, if the aggregate has a long satisfactory service record with similar cementitious materials having similar or higher alkali levels, no mitigation is necessary. On the other hand, use of aggregates judged to be potentially deleteriously alkali-silica reactive should be considered with the use of measures known to prevent excessive expansion. These include measures such as: low-alkali cement (Specification C 150 with the low-alkali

option); blended cements (Specification C 595 with the Table 2 optional mortar expansion requirement or Performance Specification C 1157 with Option R); pozzolanic materials (meeting the optional physical requirement on effectiveness in controlling alkali-silica reaction in Specification C 618 or reactivity with cement alkalies in Specification C 1240 for silica fume); or ground slag (shown to be effective in preventing excessive expansion of concrete due to alkali-aggregate reaction as discussed in Appendix X3 of Specification C 989). The effectiveness of the cementitious materials or admixtures, or both, chosen to mitigate a potentially reactive aggregate should be demonstrated through tests of the individual materials, or tests of the proposed combination in concrete.

X1.4 Alkali-Carbonate Rock Reaction

X1.4.1 Test Method C 586 (Rock Cylinders Method for Alkali-Carbonate Rock Reaction)—Rocks that are capable of potentially deleterious carbonate rock reaction are relatively infrequent and seldom constitute a significant proportion of a deposit of rock being considered for use in making aggregate for concrete. Test Method C 586 has been successfully used in research and in preliminary screening of aggregate sources to indicate the presence of material with a potential for deleterious expansions when used in concrete.

X1.4.2 Test Method C 1105 (Concrete-Prism Method for Alkali-Carbonate Rock Reaction)—This test method is intended to evaluate specific combinations of materials in con-

crete when the aggregate is regarded as susceptible to deleterious expansion in service due to the alkali-carbonate rock reaction. The appendix to Test Method C 1105 provides general information and references concerning the interpretation of results. A cement-aggregate combination might reasonably be classified as potentially deleteriously reactive if the average expansion of six concrete specimens is equal to or greater than: 0.015 % at 3 months; 0.025 % at 6 months; or 0.030 % at 1 year. Data for later ages are preferred.

X1.4.3 Mitigation of Alkali-Carbonate Rock Reaction—Normally, if a carbonate rock does not show the characteristic texture and composition associated with this type of reaction, or if it does not produce expansion in rock cylinders (Test Method C 586) or concrete prisms (Test Method C 1105), no mitigation is necessary for alkali-carbonate rock reaction. Similarly, if the aggregate has a long satisfactory service record with similar materials and conditions, no mitigation is necessary. On the other hand, use of aggregates judged to be potentially deleteriously alkali-carbonate reactive in concrete is not recommended unless it can be shown that mitigation methods will be effective. Pozzolans generally have not been found to control alkali-carbonate rock reaction. Measures suggested for mitigation includes: avoiding reactive carbonate rocks; selective quarrying; diluting reactive rock to less than 20 % of the aggregate in the concrete; use of smaller maximum size; and the use of very low alkali cement.

REFERENCES

- (1) *Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete-Making Materials*, Klieger, Paul and Lamond, Joseph F., Eds, *ASTM STP 169C*, 1994, 623 pages. See Chapter 31 on “Petrographic Evaluation of Concrete Aggregates,” by Richard C. Mielenz, Chapter 32 on “Alkali-Silica Reactions in Concrete” by David Stark, and Chapter 33 on “Alkali-Carbonate Rock Reaction” by Michael A. Ozol.
- (2) “State-of-the-Art Report on Alkali-Aggregate Reactivity” by ACI Committee 221 on Aggregates, ACI 221.1R-98, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, 1998, 31 pages.
- (3) *Alkali-Aggregate Reaction in Concrete*, Berube, M. A., Fournier, B., and Durand, Eds, *Proceedings of the 11th International Conference*, Quebec City, Canada, June 2000, 1402 pages. (Note—This conference and proceedings includes information on ASR and ACR in concrete by researchers and experts from all over the world. Copies of the volume can be obtained from the International Centre for Sustainable Development of Cement and Concrete, 405 Rochester Street, Ottawa, Ontario, Canada, K1A 0G1.)
- (4) Hooton, R.D., and Rogers, C.A., “Evaluation of Rapid Test Methods for Detecting Alkali-Reactive Aggregates,” *Proceedings of Eighth International Conference on Alkali-Aggregate Reaction*, Kyoto, 1989, pp. 439–444.
- (5) Fournier, B., and Berube, M.A., “Application of the NBRI Accelerated Mortar Bar Test to Siliceous Carbonate Aggregates Produced in the St. Lawrence Lowlands, Part 2: Proposed Limits, Rates of Expansion, and Microstructure of Reaction Products,” *Cement and Concrete Research*, Vol 21, 1991, pp. 1069–1082.

SUMMARY OF CHANGES

Committee C09 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (C 33 – 02a) that may impact the use of this standard. (Approved June 10, 2003.)

(1) Revised Appendix X1.3.6 to clarify the term pozzolans and to include Specification C 1240 in references to Test Method C 441.

Committee C09 has identified the location of selected changes to this standard since the last issue (C 33 – 02) that may impact the use of this standard. (Approved July 10, 2002.)

(1) Revised paragraph 12.1.9.

(2) Revised Footnote A of Table 3.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

ANEXO IV: FICHA TÉCNICA SIKA VISCOCRETE

HOJA TÉCNICA

Sika® ViscoCrete®-1110 PE

Aditivo superplastificante con retardo

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Es un poderoso superplastificante de tercera generación para concretos y morteros. Ideal para concretos autocompactantes.

USOS

- Es adecuado para la producción de concreto en obra, así como para el concreto pre-mezclado.
- Facilita la extrema reducción de agua, tiene excelentes propiedades con los agregados finos, una óptima cohesión y alto comportamiento autocompactante.
- Se usa para los siguientes tipos de concreto:
 - Concreto autocompactante.
 - Para concretos bajo agua, sistemas tremie. (la relación agua – material cementante debe ser entre 0.30 a 0.45)
 - Concreto para climas cálidos y/o sometidos a trayectos largos o espera antes de su utilización.
 - Concreto de alta reducción de agua (hasta 30%)
 - Concreto de alta resistencia.
 - Inyección de lachada de cementos con alta fluidez.
- La alta reducción de agua y la excelente fluidez tienen una influencia positiva sobre las aplicaciones antes mencionadas.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

Sika® ViscoCrete®-1110 PE actúa por diferentes mecanismos. Gracias a la absorción superficial y el efecto de separación espacial sobre las partículas de cemento (paralelos al proceso de hidratación) se obtienen las siguientes propiedades:

- Fuerte reducción de agua y aumenta la cohesión lo que lo hace adecuado para la producción de concreto autocompactante.
- Alta Impermeabilidad.
- Extrema reducción de agua (que trae consigo una alta densidad y resistencia).
- Excelente fluidez (reduce en gran medida el esfuerzo de colocación y vibración).
- Mejora la plasticidad y disminuye la contracción plástica.
- A dosis altas mantiene el slump por más de dos horas (Hacer pruebas de diseño) Esto puede variar por las condiciones ambientales y el tipo de cemento que use.
- Reduce la carbonatación del concreto.

- Aumenta la durabilidad del concreto.
- Reduce la exudación y la segregación.
- Aumenta la adherencia entre el concreto y el acero.

Sika® ViscoCrete®-1110 PE no contiene cloruros ni otros ingredientes que promuevan la corrosión del acero. Por lo tanto, puede usarse sin restricciones en construcciones de concreto reforzado y pre-tensado.

NORMAS

ESTÁNDARES

Cumple con la norma ASTM C-494 Tipo G y ASTM C-1017

DATOS BÁSICOS

FORMA

COLORES

Marro claro a marrón oscuro

ASPECTO

Líquido

PRESENTACIÓN

- Granel x 1 L.
- Cilindro x 200 L.

ALMACENAMIENTO

CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL

12 meses a partir de la fecha de producción, en su envase original y sin abrir, protegido de la luz directa del sol y de las heladas, a temperaturas entre 5 °C y 35 °C.

DATOS TÉCNICOS

DENSIDAD

1,06 kg/L ± 0,01

USGBC VALORACIÓN LEED

Sika® ViscoCrete®-1110 PE cumple con los requerimientos LEED. Conforme con el LEED V3 IEQc 4.1 Low-emitting materials - adhesives and sealants. Contenido de VOC < 420 g/L (menos agua)

INFORMACIÓN DEL SISTEMA

DETALLES DE APLICACIÓN

CONSUMO / DOSIS

- Para concretos plásticos suaves: **0,4 % - 1 % del peso del cemento.**
- Para concretos fluidos y autocompactantes: 1% - 2 % cm³ por kilogramo de cemento.

MÉTODO DE APLICACIÓN

MODO DE EMPLEO

Sika® ViscoCrete®-1110 PE se agrega al agua de amasado o junto con el agua a la mezcladora de concreto. Para un aprovechamiento óptimo de la alta capacidad de reducción de agua, recomendamos un mezclado cuidadoso durante 60 segundos como mínimo.

Para evitar la exudación en el concreto y lograr la consistencia deseada, el agua restante de la mezcla recién se añadirá cuando hayan transcurrido 60 segundos del tiempo de mezclado.

Cuando se trabaja con relaciones a/c bajas es recomendable mezclar el concreto de 7 a 10 minutos.

El uso de Sika® ViscoCrete®-1110 PE garantiza un concreto de la más alta calidad. Sin embargo, también en el caso del concreto preparado con Sika® ViscoCrete®-1110 PE debe cumplirse con las normas estándar para la buena producción y colocación de concretos.

El concreto fresco debe ser curado apropiadamente con Sika® Antisol® S.

IMPORTANTE**PARA CONCRETOS FLUIDOS Y CONCRETOS AUTOCOMPACTANTES.**

Sika® ViscoCrete®-1110 PE también puede usarse para concretos fluidos y autocompactantes mediante la utilización de dosificaciones especiales de mezclado.

Cuando el Sika® ViscoCrete®-1110 PE está Congelado.

Descongelarlo lentamente a temperatura ambiente y mezclarlo en forma intensiva.

COMBINACIONES.

Sika® ViscoCrete®-1110 PE puede combinarse con los siguientes productos Sika: Sika® - 1, Sika® CNI, Sika® Fume y SikaAer®, entre otros.

Se recomienda realizar un ensayo previo si se realizan combinaciones de varios de los productos antes mencionados. Favor consultar a nuestro servicio técnico.

PRECAUCIONES DE MANIPULACIÓN

Durante la manipulación de cualquier producto químico, evite el contacto directo con los ojos, piel y vías respiratorias. Protéjase adecuadamente utilizando guantes de goma natural o sintética y anteojos de seguridad. En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua durante 15 minutos manteniendo los párpados abiertos y consultar a su médico.

ECOLOGÍA

No desechar en vías acuáticas ni en el suelo. Cumplir las normas locales al respecto.

TOXICIDAD

No tóxico según los códigos suizos vigentes sobre salud y seguridad.

NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados.

Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe.

**“La presente Edición anula y reemplaza la Edición Nº 3
la misma que deberá ser destruida”**

PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE Sika® ViscoCrete®-1110 PE :

1.- SIKA PRODUCT FINDER: APLICACIÓN DE CATÁLOGO DE PRODUCTOS



2.- SIKA CIUDAD VIRTUAL



Sika Perú S.A.
Concrete
Centro Industrial "Las Praderas
de Lurín S/N - Mz "B" Lote 5 y
6, Lurín
Lima
Perú
www.sika.com.pe

Hoja Técnica
Sika® ViscoCrete®-1110 PE
22.01.15, Edición 4

Versión elaborada por: Sika Perú S.A.
CG, Departamento Técnico
Telf: 618-6060
Fax: 618-6070
Mail: información@pe.sika.com



ANEXO V: FICHA TÉCNICA FIBER FORCE PP-65

HOJA TÉCNICA

Sika® Fiber Force PP-65

Fibra de polipropileno macro sintética estructural

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO

Sika® Fiber Force PP 65, es una fibra de polipropileno macro sintética estructural, diseñada y usada para el refuerzo secundario de concreto, es fabricada a partir de polímeros de polyolefina alto desempeño y deformadas mecánicamente en todo el cuerpo para maximizar el anclaje en el concreto y evitar la pérdida excesiva cuando se proyecta (Shotcrete), altamente orientada a permitir un área de contacto de mayor superficie dentro del concreto, lo que resulta en una mayor unión interfacial y eficiencia de la resistencia de la flexión y absorción de energía. Sika® Fiber Force PP 65 esta específicamente diseñada y fabricada en una instalación certificada bajo la norma ISO 9001:2000, para ser usada como refuerzo secundario de concreto a una tasa de adición mínima de 2 kg por metro cúbico. Cumple con la norma ASTM C 1116/C 1116 M, concreto Tipo III reforzado con fibra, JSCE-S14 y con la norma Europea EN-14889-2 como clase II.

USOS

- Losas industriales sobre el piso, trafico ligero, medio o pesado.
- Áreas para estacionamiento.
- Elementos Pre fabricados.
- Pavimentos de concreto trafico ligero, medio o pesado.
- Plataformas compuestas de metal y concreto.
- Aceras y entradas de automóviles.
- Capas superpuestas y coberturas.
- Aplicaciones no magnéticas.
- Shotcrete vía húmeda o vía seca, ya sea definitivo o temporal.

CARACTERÍSTICAS / VENTAJAS

- Incrementa la resistencia a la tenacidad, absorción de energía e impacto del concreto, así como la resistencia residual y ductilidad.
- No afecta notoriamente la fluidez (Slump) de la mezcla como otras fibras multifilamento.
- Disminuye la tendencia al agrietamiento en estado fresco como endurecido del concreto.

- Máxima resistencia al arrancamiento dentro de la matriz del concreto.
- Reduce el desgaste en bombas y tuberías cuando la mezcla es bombeada.
- Alta resistencia a los ataques químicos y a los álcalis.
- Es segura y más fácil de usar que el refuerzo tradicional.
- No se corroe con las aguas agresivas.
- Ahorra tiempo y molestias durante la aplicación y el proceso de concentrado del mineral.

DATOS BÁSICOS

FORMA	<p>ASPECTO Fibra monofilamento deformada mecánicamente.</p> <p>COLORES Blanco</p> <p>PRESENTACIÓN Caja x 5 kg</p>
ALMACENAMIENTO	<p>CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO / VIDA ÚTIL Indefinido en un lugar seco y bajo techo, en su envase original.</p>
NORMAS	<p>Siempre se coloca uniformemente en el concreto y cumplimiento con los códigos vigentes y normas siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ ASTM C 94/C 94M Especificación estándar para concreto premezclado. ▪ ASTM C 1116/C 1116M Especificación estándar para concreto reforzado con fibras. ▪ ASTM C 1399 Método de prueba estándar para obtener la resistencia residual promedio del concreto reforzado con fibras. ▪ ASTM C 1436 Especificación estándar de materiales para Shotcrete. ▪ ASTM C 1609/C 1609M Método de prueba estándar para obtener el rendimiento de la flexión del concreto reforzado con fibras (Usando una viga con carga de tres puntos). Reemplaza la norma ASTM C 1018. ▪ ASTM C 1550 Método de prueba estándar para la resistencia a la flexión del concreto reforzado con fibras (Usando un panel Redondo con carga central.) ▪ JCI-SF4 para la resistencia a la flexión y para la resistencia a la flexión del concreto reforzado con fibras y JSCE-S14. ▪ EFNARC panel cuadrado-2005 ▪ ACI 304 Guía para la medición, mezcla, transporte y distribución del concreto. ▪ ACI 506 Guía para Shotcrete. ▪ EN 14889-2 Definiciones, especificaciones y conformidad de fibras poliméricas.

DATOS TÉCNICOS**ABSORCIÓN DE AGUA**

0%

GRAVEDAD ESPECÍFICA

0.92

LARGO DE LA FIBRA

65 mm

ANCHO DE LA FIBRA

1.2855 mm

ESPESOR DE LA FIBRA

0.3325 mm

RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

620 Mpa

CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Baja

FIBRAS POR KILO

26,000 unidades +/- 3%

PUNTO DE FUSIÓN

440 °C

PUNTO DE ABLANDAMIENTO

170 °C

RESISTENCIA A ÁLCALIS, SALES Y ÁCIDOS

Alta.

COMPATIBILIDAD

Sika® Fiber Force PP-65 es compatible con todos los aditivos para concreto Sika® y las sustancias químicas que aumentan el rendimiento del concreto.

No se debe usar las fibras macrosintéticas Sika® Fiber Force PP 65 para reemplazar refuerzos estructurales.

PRECAUCIONES

No se debe usar las fibras macrosintéticas Sika® Fiber Force PP- 65 como un medio para usar secciones de menor espesor que el diseño original. Para el espaciado de las juntas, siga las directrices estándar de la industria sugeridas por PCA y ACI.

INFORMACIÓN DEL SISTEMA

DETALLES DE APLICACIÓN**CONSUMO / DOSIS**

La dosis de aplicación para la fibra macro sintética estructural Sika® Fiber Force 65 es de **2 a 9 kg/m³ de concreto** o Shotcrete, dependiendo de la ductilidad, resistencia residual, tenacidad ó absorción de energía requerido. En las pruebas para determinar la cantidad exacta de fibra a usar, si el concreto es lanzado (Shotcrete vía húmeda o seca) las muestras (paneles cuadrados EFNARC o circulares ASTM C-1550) tienen que ser obtenidas en campo, lanzado con el equipo a usar, ya que por su naturaleza las fibras sintéticas durante el lanzamiento ó proyección una parte de ellas se pierde, NO se recomienda obtener los paneles en laboratorio ya que los resultados difieren apreciablemente.

MÉTODO DE APLICACIÓN**DISEÑOS DE MEZCLAS Y PROCEDIMIENTOS**

El refuerzo con Sika® Fiber Force PP 65 es un proceso mecánico, no químico. Debido a la eficiencia de la fibra no se necesita modificación del diseño de mezcla ya que no afecta notoriamente la fluidez de la mezcla. Consulte con un asesor técnico de Sika Perú S.A. para recomendaciones adicionales. La fibra macrosintética Sika® Fiber Force PP 65 se agrega a la mezcladora antes, durante o después de hacer mezclas con los otros materiales del concreto. Se requiere un tiempo de mezclado de por lo menos de 3 a 5 minutos por metro cúbico como se especifica en la norma ASTM C-94.

ACABADO

Se puede dar un acabado al concreto reforzado con Sika® Fiber Force PP 65 usando las técnicas de acabado de acuerdo a ACI 304, Sección C3.

BASES

Todos los datos técnicos recogidos en esta hoja técnica se basan en ensayos de laboratorio. Las medidas de los datos actuales pueden variar por circunstancias fuera de nuestro control.

RESTRICCIONES LOCALES

Nótese que el desempeño del producto puede variar dependiendo de cada país. Por favor, consulte la hoja técnica local correspondiente para la exacta descripción de los campos de aplicación del producto.

INFORMACIÓN DE SEGURIDAD E HIGIENE

Para información y asesoría referente al transporte, manejo, almacenamiento y disposición de productos químicos, los usuarios deben consultar la Hoja de Seguridad del Material actual, la cual contiene información médica, ecológica, toxicológica y otras relacionadas con la seguridad.

NOTAS LEGALES

La información y en particular las recomendaciones sobre la aplicación y el uso final de los productos Sika son proporcionadas de buena fe, en base al conocimiento y experiencia actuales en Sika respecto a sus productos, siempre y cuando éstos sean adecuadamente almacenados, manipulados y transportados; así como aplicados en condiciones normales. En la práctica, las diferencias en los materiales, sustratos y condiciones de la obra en donde se aplicarán los productos Sika son tan particulares que de esta información, de alguna recomendación escrita o de algún asesoramiento técnico, no se puede deducir ninguna garantía respecto a la comercialización o adaptabilidad del producto a una finalidad particular, así como ninguna responsabilidad contractual. Los derechos de propiedad de las terceras partes deben ser respetados.

Todos los pedidos aceptados por Sika Perú S.A. están sujetos a Cláusulas Generales de Contratación para la Venta de Productos de Sika Perú S.A. Los usuarios siempre deben remitirse a la última edición de la Hojas Técnicas de los productos; cuyas copias se entregarán a solicitud del interesado o a las que pueden acceder en Internet a través de nuestra página web www.sika.com.pe.

PARA MÁS INFORMACIÓN SOBRE Sika® Fiber Force PP-65 :

1.- SIKA PRODUCT FINDER: APLICACIÓN DE CATÁLOGO DE PRODUCTOS



2.- SIKA CIUDAD VIRTUAL



Sika Perú S.A.
Concrete
Centro Industrial "Las Praderas
de Lurín S/N - Mz "B" Lote 5 y
6, Lurín
Lima
Perú
www.sika.com.pe

Hoja Técnica
Sika® Fiber Force PP-65
21.11.14, Edición 1

Versión elaborada por: Sika Perú S.A.
CG, Departamento Técnico
Telf: 618-6060
Fax: 618-6070
Mail: informacion@pe.sika.com



**ANEXO VI: PÁNEL FOTOGRÁFICO - ESPESORES DE PAVIMENTO
EXISTENTE EN ZONA DE ESTUDIO**

ANEXO VI.1. ARIAS Y ARAGÜEZ



VISTA DEL CORTE DEL PAVIMENTO



VISTA DEL ESPESOR DEL PAVIMENTO EXISTENTE

ANEXO VI.2. MODESTO MOLINA



VISTA DEL CORTE DEL PAVIMENTO



VISTA DEL ESPESOR DEL PAVIMENTO EXISTENTE

**ANEXO VII: CÁLCULO DE ESPESOR DE SOBRECARPETA POR MÉTODO
AASHTO-93 MEDIANTE SOFTWARE DIPAR**

Calculo de Pavimento Rigido-Metodo ASSHTO

Proyecto: **UTW-1**
Ubicación: **TACNA**
Calculó: **ARIAS Y ARAGÜEZ**

Modulo de reaccion compuesto de la base

Datos de la subrasante

CBR = **70.00** %

Si CBR \leq 10

$K = 2.55 + 52.5 \text{ LOG (CBR)}$

Si CBR > 10

$K = 46 + 9.08 (\text{LOG (CBR)})^{4.34}$

K = **175.60** Mpa/m

Datos de la sub-base

0.00 %

No tiene sub-base

Modulo de reacción compuesto

k= **175.60** Mpa/m

k= 646.91 PCI

k= 17.91 kg/cm³

Resistencia a la compresion del concreto

f_c= **450.00**

Modulo de elasticidad del concreto

E_c= 445477.27 kg/cm²

E_c= 6,336,174.70 PSI

E_c= 6.34 x 10⁶ PSI

Modulo de ruptura

MR= 63 kg/cm²

MR= 896.06 PSI

Coefficiente de transmision de carga

Hombros	Flexible	De concreto
---------	----------	-------------

Calculo de Pavimento Rigido-Metodo ASSHTO

Proyecto: **UTW-1**

Ubicación: **TACNA**

Calculó: **ARIAS Y ARAGÜEZ**

Dispositivos de transmision de cargas	Si	No	Si	No
Tipo de pavimento				
Sin armado, o armado con juntas	3.2	3.80-4.40	2.50-3.10	3.40-4.20
Armado continuo	2.90-3.20	--	2.30-2.90	--

J= 4.10 Considerando un acotamiento de Flexible que No tiene dispositivos de transmision de cargas, asi como pavimento de tipo En masa o armado con juntas

Coeficiente de drenaje

Calidad del Drenaje	% del tiempo que la estructura del pavimento esta expuesta a niveles de humedad proximas a la saturacion			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Aceptable	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Pobre	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy pobre	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

Calidad del Drenaje	Tiempo de remocion de agua
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Aceptable	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	agua no drenada

Cd= 1.00
Que corresponde a un drenaje de calidad Bueno y Mas del 25% de porcentaje del tiempo que la estructura del pavimento esta expuesta a niveles de humedad proximos a la saturación

Desviacion estandar

La guia AASHTO recomienda adoptar para So valores comprendidos dentro de los siguientes intervalos:	
Pavimentos rigidos	0.30 - 0.40
Pavimentos flexibles	0.40 - 0.50

So= 0.39

Fiabilidad

Recomendada por la AASHTO:

Clasificacion del camino	Urbano		Rural	
Autopistas y carreteras importantes	85%	100%	80%	99.90%
Arterias principales	88%	99%	75%	95%
Colectoras	80%	95%	75%	95%

Calculo de Pavimento Rigido-Metodo ASSHTO

Proyecto: **UTW-1**

Ubicación: **TACNA**

Calculó: **ARIAS Y ARAGÜEZ**

Locales	50%	80%	20%	80%
---------	-----	-----	-----	-----

Confiabilidad recomendada para México:

Tipo de pavimento	Confiabilidad
Autopistas	95%
Carreteras	80%
Rurales	70%
Zonas industriales	65%
Urbanas principales	60%
Urbanas secundarias	50%

n= 90%

Desviacion estandar

DESVIACION ESTANDAR NORMAL , VALORES QUE CORRESPONDEN A LOS NIVELES SELECCIONADOS DE CONFIABILIDAD		
CONFIABILIDAD R (%)	(ZR)	(So)
50	0.000	0.35
60	-0.253	0.35
70	-0.524	0.34
75	-0.647	0.34
80	-0.841	0.32
85	-1.037	0.32
90	-1.282	0.31
91	-1.340	0.31
92	-1.405	0.30
93	-1.476	0.30
94	-1.555	0.30
95	-1.645	0.30
96	-1.751	0.29
97	-1.881	0.29
98	-2.054	0.29
99	-2.327	0.29
99.9	-3.090	0.29
99.99	-3.750	0.29

Confiabilidad= **90%**

$Z_R = -1.282$

Serviciabilidad

Serviciabilidad Inicial (P_0). – Es la condición que tiene un pavimento inmediatamente después de la construcción del mismo. Los valores recomendados por AASHTO para este parámetro son:

Para pavimento de Concreto = 4.50

Para pavimento de Asfalto = 4.20

Serviciabilidad Final (P_f). - La serviciabilidad final tiene que ver con la calificación que esperamos tenga el pavimento al final de su vida útil.

Los valores recomendados de Serviciabilidad Final P_f para el caso de México, son:

Para Autopistas	2.50
Para Carreteras	2.00

Calculo de Pavimento Rigido-Metodo ASSHTO

Proyecto: **UTW-1**

Ubicación: **TACNA**

Calculó: **ARIAS Y ARAGÜEZ**

Para Zonas Industriales	1.80
Pavimentos Urbanos Principales	1.80
Pavimentos Urbanos Secundarios	1.50

Indice de servicialidad inicial Po= 4.50

Indice de servicialidad final Pt= 2.50

ΔPSI = 2.00

Numero total de ejes equivalentes (18 kips)

El número total de ejes equivalentes de 18kips (8.2ton) es de
 ESAL's= **576,811.79**

Calculo del espesor

Rigid Pavements

where

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 7.35 \times \log_{10}(D + 1)$$

$$- 0.06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}}$$

$$+ (4.22 - 0.32 \times p_t)$$

$$\times \log_{10} \left[\frac{S'_c \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{(R/L)^{0.25}} \right]} \right]$$

- W_{18} = predicted number of 18-kip equivalent single axle load applications,
- Z_R = standard normal deviate,
- S_o = combined standard error of the traffic prediction and performance prediction,
- D = thickness (inches) of pavement slab,
- ΔPSI = difference between the initial design serviceability index, p_o , and the design terminal serviceability index, p_t ,
- S'_c = modulus of rupture (psi) for portland cement concrete used on a specific

Calculo de Pavimento Rigido-Metodo ASSHTO

Proyecto: **UTW-1**

Ubicación: **TACNA**

Calculó: **ARIAS Y ARAGÜEZ**

$(\frac{E_c}{E_s})$ J project,
 (1 2 2) J = load transfer coefficient used to adjust
 for load transfer characteristics of a
 specific design,
 C_d = drainage coefficient,
 E_c = modulus of elasticity (psi) for portland
 cement concrete, and
 k = modulus of subgrade reaction (pci)

$W_{18} = 576,811.79$
 $Z_R = -1.282$
 $S_o = 0.39$
 $\Delta PSI = 2.00$
 $S'_c = Mr = 896.06 \text{ psi}$
 $J = 4.10$
 $C_d = 1.00$
 $E_c = 6,336,174.70 \text{ psi}$
 $K = 646.91 \text{ pci}$
 $P_t = 2.50$
 $D = 5.0925 \text{ in}$

$$5.761 = (-0.49998) + (5.70825) + (-0.03726) + (0.58994)$$

$$5.761 = 5.761$$

Ok

Con el espesor propuesto se iguala la ecuación, por lo tanto se acepta e diseño, quedando como a continuación:

Espesor redondeado D = 5.00 in
Se propone un espesor D= 5 in
D= 13 cm

Calculo de Pavimento Rigido-Metodo ASSHTO

Proyecto: **UTW-2**

Ubicación: **TACNA**

Calculó: **MODESTO MOLINA**

Modulo de reaccion compuesto de la base

Datos de la subrasante

CBR = **70.00** %

Si CBR <= 10

$K = 2.55 + 52.5 \text{ LOG (CBR)}$

Si CBR > 10

$K = 46 + 9.08 (\text{LOG (CBR)})^{4.34}$

K = 175.60

Mpa/m

Datos de la sub-base

0.00 %

No tiene sub-base

Modulo de reaccion compuesto

k= **175.60 Mpa/m**

k= 646.91 PCI

k= 17.91 kg/cm³

Resistencia a la compresion del concreto

f'c= **450.00**

Modulo de elasticidad del concreto

Ec= 445477.27 kg/cm²

Ec= 6,336,174.70 PSI

Ec= 6.34 x 10⁶ PSI

Modulo de ruptura

MR= 63 kg/cm²

MR= 896.06 PSI

Calculo de Pavimento Rigido-Metodo ASSHTO

Proyecto: **UTW-2**

Ubicación: **TACNA**

Calculó: **MODESTO MOLINA**

Coefficiente de transmision de carga

Hombros	Flexible		De concreto	
	Si	No	Si	No
Dispositivos de transmision de cargas				
Tipo de pavimento				
Sin armado, o armado con juntas	3.2	3.80-4.40	2.50-3.10	3.40-4.20
Armado continuo	2.90-3.20	--	2.30-2.90	--

J= 4.10 Considerando un acotamiento de Flexible que No tiene dispositivos de transmision de cargas, asi como pavimento de tipo En masa o armado con juntas

Coefficiente de drenaje

Calidad del Drenaje	% del tiempo que la estructura del pavimento esta expuesta a niveles de humedad proximas a la saturacion			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.25-1.20	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10
Bueno	1.20-1.15	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00
Aceptable	1.15-1.10	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90
Pobre	1.10-1.00	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80
Muy pobre	1.00-0.90	0.90-0.80	0.80-0.70	0.70

Calidad del Drenaje	Tiempo de remocion de agua
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Aceptable	1 semana
Pobre	1 mes
Muy pobre	agua no drenada

Cd= 1.00

Que corresponde a un drenaje de calidad Bueno y Mas del 25% de pordentaje del tiempo que la estructura del pavimento esta expuesta a niveles de humedad proximos a la saturación

Desviacion estandar

La guia AASHTO recomienda adoptar para So valores comprendidos dentro de los siguientes intervalos:	
Pavimentos rigidos	0.30 - 0.40
Pavimentos flexibles	0.40 - 0.50

So= 0.39

Calculo de Pavimento Rigido-Metodo ASSHTO

Proyecto: **UTW-2**

Ubicación: **TACNA**

Calculó: **MODESTO MOLINA**

Fiabilidad

Recomendada por la AASHTO:

Clasificación del camino	Urbano		Rural	
	Autopistas y carreteras importantes	85%	100%	80%	99.90%
Arterias principales	88%	99%	75%	95%
Colectoras	80%	95%	75%	95%
Locales	50%	80%	20%	80%

Confiabilidad recomendada para México:

Tipo de pavimento	Confiabilidad
Autopistas	95%
Carreteras	80%
Rurales	70%
Zonas industriales	65%
Urbanas principales	60%
Urbanas secundarias	50%

n= **90%**

Desviacion estandar

DESVIACION ESTANDAR NORMAL , VALORES QUE CORRESPONDEN A LOS NIVELES SELECCIONADOS DE CONFIABILIDAD		
CONFIABILIDAD R (%)	(ZR)	(So)
50	0.000	0.35
60	-0.253	0.35
70	-0.524	0.34
75	-0.647	0.34
80	-0.841	0.32
85	-1.037	0.32
90	-1.282	0.31
91	-1.340	0.31
92	-1.405	0.30
93	-1.476	0.30
94	-1.555	0.30
95	-1.645	0.30
96	-1.751	0.29
97	-1.881	0.29
98	-2.054	0.29
99	-2.327	0.29
99.9	-3.090	0.29
99.99	-3.750	0.29

Confiabilidad= **90%**
 $Z_R = -1.282$

Calculo de Pavimento Rigido-Metodo ASSHTO

Proyecto: **UTW-2**

Ubicación: **TACNA**

Calculó: **MODESTO MOLINA**

Serviciabilidad

Serviciabilidad Inicial (P_o). – Es la condición que tiene un pavimento inmediatamente después de la construcción del mismo. Los valores recomendados por AASHTO para este parámetro son:

Para pavimento de Concreto = 4.50

Para pavimento de Asfalto = 4.20

Serviciabilidad Final (P_f). - La serviciabilidad final tiene que ver con la calificación que esperamos tenga el pavimento al final de su vida útil.

Los valores recomendados de Serviciabilidad Final P_f para el caso de México, son:

Para Autopistas	2.50
Para Carreteras	2.00
Para Zonas Industriales	1.80
Pavimentos Urbanos Principales	1.80
Pavimentos Urbanos Secundarios	1.50

Indice de servicialidad inicial P_o = 4.50

Indice de servicialidad final P_f = 2.50

ΔPSI = 2.00

Numero total de ejes equivalentes (18 kips)

El número total de ejes equivalentes de 18kips (8.2ton) es de
ESAL's= **363,445.72**

Calculo de Pavimento Rigido-Metodo ASSHTO

Proyecto: **UTW-2**

Ubicación: **TACNA**

Calculó: **MODESTO MOLINA**

Calculo del espesor

Rigid Pavements

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 7.35 \times \log_{10}(D + 1) - 0.06 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.5 - 1.5} \right]}{1 + \frac{1.624 \times 10^7}{(D + 1)^{8.46}}} + (4.22 - 0.32 \times p_t) \times \log_{10} \left[\frac{S'_c \times C_d \times (D^{0.75} - 1.132)}{215.63 \times J \left[D^{0.75} - \frac{18.42}{(E_c/k)^{0.25}} \right]} \right] \quad (122)$$

where

- W_{18} = predicted number of 18-kip equivalent single axle load applications,
- Z_R = standard normal deviate,
- S_o = combined standard error of the traffic prediction and performance prediction,
- D = thickness (inches) of pavement slab,
- ΔPSI = difference between the initial design serviceability index, p_o , and the design terminal serviceability index, p_t ,
- S'_c = modulus of rupture (psi) for portland cement concrete used on a specific project,
- J = load transfer coefficient used to adjust for load transfer characteristics of a specific design,
- C_d = drainage coefficient,
- E_c = modulus of elasticity (psi) for portland cement concrete, and
- k = modulus of subgrade reaction (pci)

$W_{18} =$	363,445.72
$Z_R =$	-1.282
$S_o =$	0.39
$\Delta PSI =$	2.00
$S'_c = Mr =$	896.06 psi
$J =$	4.10
$C_d =$	1.00
$E_c =$	6,336,174.70 psi
$K =$	646.91 pci
$P_t =$	2.50
$D =$	4.4878 in

$$5.5604 = (-0.49998) + (5.37458) + (-0.01757) + (0.70333)$$

$$5.5604 = 5.5604$$

Ok

Con el espesor propuesto se iguala la ecuación, por lo tanto se acepta e diseño, quedando como a continuación:

Espeor redondeado $D =$	4.00 in
Se propone un espesor $D =$	5 in

Calculo de Pavimento Rigido-Metodo ASSHTO

Proyecto: *UTW-2*

Ubicación: *TACNA*

Calculó: *MODESTO MOLINA*

D=

13 cm