

**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra**

“PROCESO CONSTRUCTIVO DE UNA CAPA DE RODADURA  
CON HORMIGÓN COMPACTADO CON PAVIMENTADORA (HCP).

CASO PRÁCTICO: CONSTRUCCIÓN DE 3.273,30 M<sup>2</sup> DE  
PAVIMENTO RÍGIDO EN CIUDAD SATÉLITE LOS ÁNGELES; KM  
22 VÍA A LA COSTA. GUAYAQUIL-ECUADOR”

**TESINA DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO CIVIL**

Presentado por:

Carlos Eduardo Vásquez Chang

Andrea María Garnica Delgado

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año 2010

## **AGRADECIMIENTO**

*“Agradezco a Dios, a mi familia, y a nuestro director de tesina de grado el Ing. Eduardo Santos quien nos guió acertadamente en la elaboración este trabajo”*

Carlos Eduardo Vásquez Chang

## **AGRADECIMIENTO**

*“Agradezco a Dios por todas las oportunidades que ha puesto en mi camino, a mis padres, mi hermano y novio por su incondicional amor y apoyo. Además a mis profesores que han ayudado en mi formación profesional, de manera especial al Ing. Eduardo Santos, director del trabajo, por su colaboración y amistad”*

Andrea Garnica Delgado

## **DEDICATORIA**

*“A todos mis seres más queridos: mis padres Carlos y Janet, mi hermana Diana,  
mi enamorada Alejandra, y en especial a mi hermana Silvana que me resguarda  
desde el Cielo”*

Carlos Eduardo Vásquez Chang

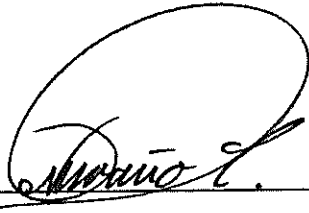


## **DEDICATORIA**

*“Este trabajo va dedicado a Dios, a mis padres, a mi hermano, mi novio y mis amigos por la fe que han depositado en mí lo cual me ha impulsado a ser lo que soy”*

Andrea Garnica Delgado

## TRIBUNAL DE GRADUACION



---

Ing. Gastón Proaño

Subdecano



---

Ing. Eduardo Santos B.

Director de Tesina

## DECLARACION EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

  
\_\_\_\_\_  
Carlos Vásquez Chang

  
\_\_\_\_\_  
Andrea Garnica Delgado

## **RESUMEN**

En el presente trabajo hemos realizado una investigación sobre el proceso constructivo de una Losa de Hormigón Compactado con Pavimentadora puesto que es una tecnología poco conocida en nuestro país y que se ha ido expandiendo debido a las múltiples ventajas que presenta.

En el Capítulo 1 y 2 revisamos todos los conceptos básicos, características, ventajas y desventajas del HCP, sus aplicaciones y se realiza una breve reseña de su uso en el mundo y en el medio local.

Luego en los Capítulos 3 y 4 describimos el caso práctico tratado en el presente trabajo. Además se da un breve marco teórico de los diseños de la capa de rodadura y las especificaciones de la losa de HCP.

Posteriormente en el Capítulo 5 y 6 se detalla y se da sugerencias sobre las fases del proceso constructivo, el uso de la maquinaria y equipos; obtenidas en base a las especificaciones del MOP-001-F-2002, compilaciones emitidas por el PCA (Portland Concrete Association), el ACI (American Concrete Institute) y Manuales Técnicos de las diferentes maquinarias.

Finalmente en el capítulo 7 se menciona el control de calidad que se debe realizar tanto en planta como en obra. A continuación se dan recomendaciones y conclusiones obtenidas de la investigación y análisis del caso práctico tratado en esta tesina de grado.

En los anexos se presenta una comparación económica de una losa de Hormigón convencional y una de HCP; e información adicional sobre los métodos de diseño.

# INDICE GENERAL

## INTRODUCCIÓN

CAPITULO 1.- INTRODUCCION	1
1.1 Definición del Hormigón Compactado con Pavimentadora (HCP) .....	1
1.2 Principales Características del HCP .....	2
1.3 Ventajas y desventajas de su uso .....	2
1.4 Aplicaciones .....	4
CAPITULO 2.- ANTECEDENTES DEL HCP	5
2.1 Desarrollo histórico .....	5
2.2 Antecedentes en el medio local .....	6
CAPITULO 3.- DESCRIPCION DE LA OBRA	8
3.1 Antecedentes de la obra .....	8
3.2 Descripción de la obra .....	12
CAPITULO 4.- DISEÑO	14
4.1 Dosificación.....	14
4.2 Espesor de capa .....	17
4.3 Ancho de calzada.....	18
4.4 Juntas .....	19

CAPITULO 5.- EQUIPOS	25
5.1 Volqueta.....	25
5.2 Pavimentadora.....	26
5.3 Rodillo.....	31
5.4 Aserradora de juntas.....	35
5.5 Densímetro Nuclear.....	38
CAPITULO 6.- PROCESO CONSTRUCTIVO	42
6.1 Requerimientos de capa de sub-base.....	42
6.2 Trabajos Previos.....	45
6.3 Provisión y Transporte del Hormigón.....	47
6.4 Colocación y compactación.....	48
6.5 Curado.....	58
6.6 Construcción de juntas.....	60
CAPITULO 7.- CONTROL DE CALIDAD	64
7.1 Control en Planta.....	64
7.2 Control en Obra.....	65
7.3 Toma de probetas.....	67
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
ANEXOS	
BIBLIOGRAFÍA	

## INDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1.- Ubicación Ciudad Satélite “Los Ángeles” .....	9
Figura 2.- Implantación Ciudad Satélite “Los Ángeles” - Etapa Uno .....	10
Figura 3.- Diseño anterior de losa de pavimento .....	11
Figura 4.- Corte de Pavimento Tipo .....	12
Figura 5.- Descripción de vías realizadas .....	13
Figura 6.- Sección transversal de Avenida Iglesia V6.....	18
Figura 7.- Sección transversal de Avenida Aguas V6´.....	18
Figura 8.- Esquema de Juntas longitudinales, transversales y entre capas .....	19
Figura 9.- Construcción de Junta fría longitudinal .....	21
Figura 10.- Construcción de Junta fresca longitudinal.....	22
Figura 11.- Geometría de corte.....	23
Figura 12.- Esquema de separación de juntas.....	24
Figura 13.- Volqueta 7,5 m3 de capacidad .....	26
Figura 14.- Pavimentadora VÖGELE Super 1800.....	27
Figura 15.- Esquema de la regla de compactación de la SUPER-1800 en anchura máxima con los suplexs de trabajo AB500 TP1 .....	28
Figura 16.- Componentes de la regla de extendido .....	29
Figura 17.- Rodillo Tándem Vibratorio DYNAPAC C222 y sus dimensiones.....	32



Figura 18.- Rodillo Neumático DYNAPAC C142 (14 Toneladas) .....	34
Figura 19.- Aserradora de juntas .....	36
Figura 20.- Foto y Esquema de Densímetro Nuclear TROXLER 3440.....	38
Figura 21.- Modos de Operación de Densímetro Nuclear TROXLER 3440.....	39
Figura 22.- Capa de sub-base preparada (Avenida Iglesia-V6).....	44
Figura 23.- Esquema de colocación de línea guía .....	45
Figura 24.- Sensor de nivel de pavimentadora .....	46
Figura 25.- Colocación de Línea guía en eje de Vía V6.....	47
Figura 26.- Descarga del Hormigón .....	49
Figura 27.- Esquema de funcionamiento de pavimentadora .....	50
Figura 28.- Distribución irregular de la mezcla en los sinfines .....	51
Figura 29.- Colocación del HCP .....	53
Figura 30.- Compactación en Vía V6' .....	55
Figura 31.- Procedimiento de compactación y remoción de bordes libres.....	57
Figura 32.- Curado de losa de pavimento – Vía V6' .....	60
Figura 33.- Aserrado de juntas transversales – Vía V6 .....	61
Figura 34.- Juntas rellenas con AP-3. Intersección Avenidas V6 y V6' .....	63
Figura 35.- Moldes para la toma de muestras.....	68
Figura 36.- Toma de muestras del hormigón fresco.....	69

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Requisitos de Granulometría de HCP .....	16
Tabla 2.- Dosificación de mezcla de HCP .....	16
Tabla 3.- Especificaciones de Pavimentadora VÖGELE Super 1800 .....	30
Tabla 4.- Especificaciones Rodillo DYNAPAC C222 .....	33
Tabla 5.- Especificaciones de Aserradora de juntas .....	37
Tabla 6.- Especificaciones Densímetro Nuclear .....	41
Tabla 7.- Granulometría de Sub-base.....	43
Tabla 8.- Resultado de ensayos de Tracción por Compresión Diametral .....	71

# INTRODUCCIÓN

La implementación de nuevas tecnologías para la construcción de carreteras son cada vez más necesarias para dar respuesta a las exigencias de diversa índole en el sector vial, lo cual requiere de la investigación de las mismas para identificar aquellas que proporcionen la mejor solución.

En vista que actualmente la tecnología del Hormigón Compactado con Pavimentadora es una alternativa que se está empleando en nuestro país, los Administradores del proyecto Ciudad Satélite Los Ángeles escogieron esta técnica para la construcción del último tramo de la capa de rodadura de hormigón en la Urbanización debido a que ofrece rapidez, economía y durabilidad.

Para que el HCP desarrolle sus propiedades mecánicas, adicional a una buena dosificación de la mezcla, es importante llevar a cabo un correcto proceso constructivo para obtener su óptima resistencia.

En las diferentes fases del proceso constructivo se deben conocer los parámetros con los que trabajan las diferentes maquinarias para obtener un funcionamiento eficiente. Además es importante el control de la compactación del hormigón en el lapso de trabajabilidad del mismo.

Por todo lo expuesto el desarrollo del presente trabajo tiene los siguientes objetivos:

- Proporcionar una base teórica e información orientada a conocer los atributos del HCP.
- Describir detalladamente los trabajos previos, proceso constructivo y sugerir pasos necesarios para obtener un óptimo desarrollo de las propiedades mecánicas del HCP.
- Conocer los controles de calidad realizados en planta y en obra del HCP.

## **CAPITULO 1.- INTRODUCCION**

### **1.1 Definición del Hormigón Compactado con Pavimentadora (HCP)**

El hormigón compactado con pavimentadora es un concreto hidráulico muy seco con revenimiento nulo, cuyo contenido de agua es el necesario para que se dé la reacción del material ligante y para su compactación por medio de pavimentadora y rodillo. La producción de este tipo de hormigón se la realiza en plantas dosificadoras hormigoneras para luego ser transportado al lugar de la obra por medio de volquetas.

## **1.2 Principales Características del HCP**

Las características más importantes del Hormigón compactado con pavimentadora se detallan a continuación:

- Revenimiento en cono de Abrams es cero.
- Baja relación agua-cemento.
- Tamaño máximo de agregado 19 mm para mejorar acabado superficial y facilitar el mezclado.
- Cambios volumétricos significativamente menores en comparación al hormigón convencional.
- Resistencia a la flexión en un rango de 2 a 5 MPa.
- Requiere de una capa de sustentación compactada adecuadamente para evitar la disipación de la energía de compactación. Esta capa de sustentación puede construirse con material de base o sub-base, según lo que indique el respectivo diseño.

## **1.3 Ventajas y desventajas de su uso**

El HCP ofrece varias ventajas sobre el Hormigón convencional para la construcción de capas de rodadura, sin embargo en nuestro país no se ha expandido su uso en obras de gran envergadura. A continuación mencionaremos las principales ventajas del HCP:

- Menor costo de construcción debido a la baja cantidad de cemento. La mezcla de hormigón seco para ser compactada es más económica que el hormigón convencional, ofreciendo economía en la materia prima (Ver Anexo 1),

- No requiere acero para transferencia de cargas. En el HCP existe una gran interconexión entre los agregados, de modo que no se necesita colocar los *dowels*. Esta gran ventaja proporciona rapidez y reducción de costos.
- Soporta circulación vehicular baja en menos de 24 horas puesto que el material se densifica principalmente por el efecto de aplicación de energía externa, en vez de recurrir exclusivamente a la resistencia proporcionada por el material cementante.
- Mayor velocidad de construcción al ser colocado directamente por la pavimentadora.
- Bajo costo de mantenimiento.
- Alta durabilidad y baja tendencia a la contracción y al agrietamiento.
- No requiere moldes laterales, debido a que el tendido y precompactado lo realiza la pavimentadora.
- Baja deformación bajo cargas pesadas puntuales.
- No se deteriora ante posibles derrames de combustibles y aceites.

Así mismo, el HCP presenta algunas desventajas en su uso, como por ejemplo:

- Riguroso control en el grado de compactación de la capa de sub-base, para evitar la disipación de la energía aplicada a la capa de rodadura por la maquinaria.
- Mayor sincronización en el proceso de producción, transporte y colocación; debido al menor tiempo de trabajabilidad.
- Cuidadoso proceso de curado para evitar que los agentes climáticos afecten su limitado contenido de agua y prevenir desprendimientos y disgregación en la superficie endurecida.
- Acabado de la superficie es muy liso, lo que impide el tráfico vehicular con velocidades altas.

#### **1.4 Aplicaciones**

Entre las aplicaciones del Hormigón Compactado con Pavimentadora se encuentran:

- Capa de rodadura para pavimentos industriales
- Capa de rodadura para pavimento de estacionamientos
- Capa de rodadura para pavimento en vías rurales y urbanas de velocidad moderada
- Presas hidráulicas

Se deben acondicionar las capas de rodadura que impliquen circulación de vehículos a alta velocidad para texturizar correctamente la superficie como por ejemplo en pavimentos para vías rápidas y pavimentos para pistas de aterrizaje.



## **CAPITULO 2.- ANTECEDENTES DEL HCP**

### **2.1 Desarrollo histórico**

El HCP tiene sus orígenes en el Hormigón compactado con rodillo. Los primeros ejemplos conocidos de HCR tienen lugar en España y datan de los años 1970 para vías con bajo volumen de tráfico. Con miras a aplicar este método en condiciones más severas, Canadá comenzó a utilizarlo en 1976 en la industria maderera. Luego de 1980 al menos 10 países más (Francia, Estados Unidos, Dinamarca, Suecia, Finlandia, Alemania, Japón entre otros) han construido cada uno más de 100.000 m<sup>2</sup> de pavimento de HCP, mientras que en otras localidades (Chile, Uruguay, México,

Colombia, Ecuador y Sudáfrica) se ha ido adoptando crecientemente este método constructivo.

El HCP nace de la fabricación de equipos adecuados, ya que a las pavimentadoras se les adapta una regla de alto poder de compactación.

A finales de 1990 su superficie excedía los 12'000.000 m<sup>2</sup>, cerca de la mitad de estos en España. Cerca de 1'500.000 m<sup>2</sup> corresponden a autopistas y vías principales donde una capa de rodadura asfáltica era colocada sobre el HCP para mejorar su textura lisa; los 10'500.000 restantes han sido utilizados en pavimentos de baja velocidad, como vías secundarias, áreas industriales y militares, en donde la superficie de HCP se dejaba al descubierto.

A continuación nombramos proyectos en los que se utilizó esta técnica:

- Aeropuerto Internacional de Denver. Se fundieron 17.443 m<sup>2</sup>, con un espesor de 20 cm. En el sitio se necesitaba gran resistencia a las nevadas y al tráfico pesado.
- Reconstrucción en la Autopista 78 US. Se repavimentó una longitud de 1,6 km en sus 4 carriles, para lo cual se retiró la superficie asfáltica deteriorada y se colocó una losa de 25 cm.

## **2.2 Antecedentes en el medio local**

En el Ecuador HOLCIM se mantiene como la única empresa que ha incursionado en la ejecución de pavimentos con HCP. Se ha utilizado el HCP en vías urbanas como por ejemplo en la Cooperativa Luz de América, Colinas de la Alborada. Cooperativa Pancho Jácome, Rutas Alimentadoras, entre otros proyectos que comprenden vías secundarias

en sectores urbanos. También se ha utilizado el HCP para tránsito pesado en pavimentos industriales (acceso a la Fábrica de Cementos en Cerro Blanco, Patio de equipos pesados de Mamut Andino, Avenida de entrada a Trinipuerto) y para áreas de estacionamientos (parqueaderos abiertos en el campus Gustavo Galindo de la Escuela Politécnica del Litoral). Hasta Junio del 2009 la empresa HOLCIM había colocado 121.500 m<sup>3</sup> de HCP, equivalente a 715.000 m<sup>2</sup> de superficie cubiertas con pavimento.

## **CAPITULO 3.- DESCRIPCION DE LA OBRA**

### **3.1 Antecedentes de la obra**

Debido a la consolidación de Vía a la Costa como sector residencial de clase media-alta, hace 6 años se inició un proyecto inmobiliario en el km 22 llamado "*Ciudad Satélite Los Ángeles*" que comprende aproximadamente 60 Ha distribuidas en 7 etapas. En la actualidad se encuentra en ejecución la Primera etapa del proyecto que cuenta con 10,43 Ha y proyecta, una vez completada, una población de alrededor de 600 habitantes en 134 viviendas.

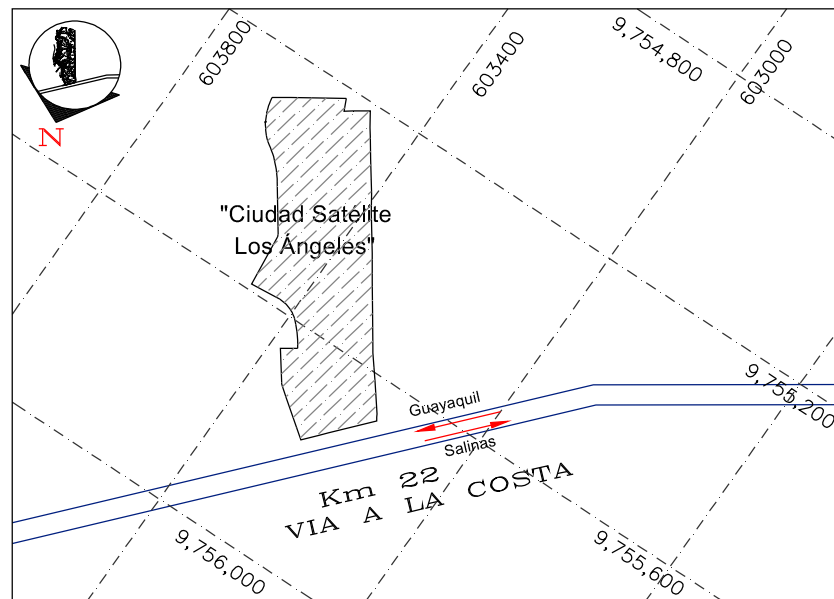


Figura 1.- Ubicación Ciudad Satélite "Los Ángeles"

Dentro de la Primera etapa en ejecución existe un total de 23.713 m<sup>2</sup> de calle vehicular, de los cuales existía un tramo no construido de 348 m equivalentes a 3.273,30 m<sup>2</sup>, del cual vamos a tratar en el presente trabajo. La culminación de la construcción de la vía beneficiará directamente a los residentes de las manzanas 1204 - 1205 – 1206 - 1207. (Ver Figura 2)

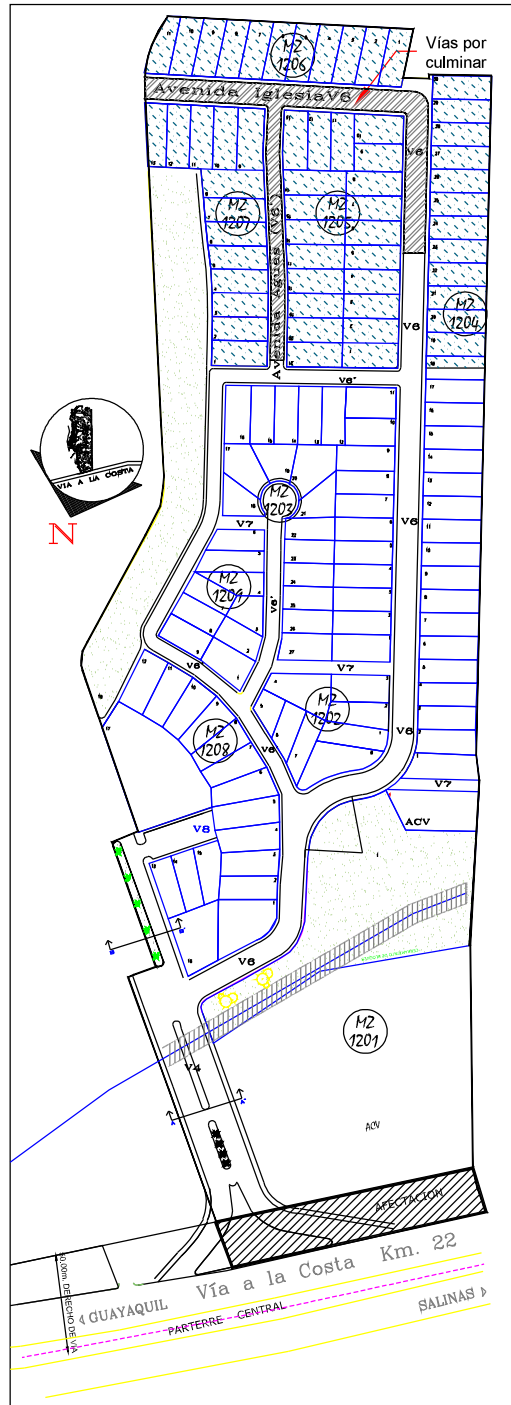


Figura 2.- Implantación Ciudad Satélite “Los Ángeles” - Etapa Uno

El diseño anterior constaba de una losa de Hormigón Hidráulico con juntas machimbradas como se muestra en la figura 3. Sin embargo, los administradores e ingenieros encargados del proyecto inmobiliario decidieron considerar el HCP como un método alternativo para abaratar costos sin descuidar la calidad del pavimento. En consecuencia optaron por utilizar el HCP, dado que es una solución que ofrece rapidez, economía y durabilidad.

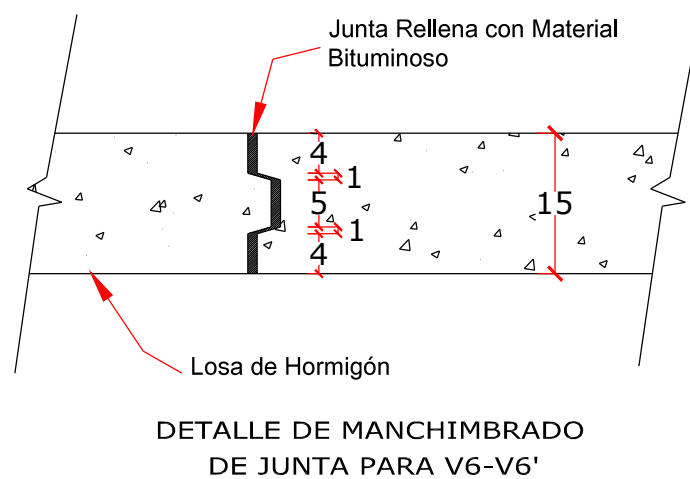


Figura 3.- Diseño anterior de losa de pavimento

### 3.2 Descripción de la obra

El tramo no construido se encuentra en el sector sur-este, parte posterior de la Etapa I. Está constituido por la totalidad de la calle secundaria *Avenida Aguas-V6'* y por un tramo de la calle principal *Avenida Iglesia-V6*. Ambas abarcan una longitud de 348 metros, lo que representa un área pavimentada de 3,304.32 m<sup>2</sup>. La *Avenida Iglesia-V6*, al ser una calle principal, tiene un ancho de 11 metros y la *Avenida Aguas-V6'* mide 7 metros de ancho. Para efecto de la evacuación de AALL ambas poseen un bombeo del 2% (ver figura 4).

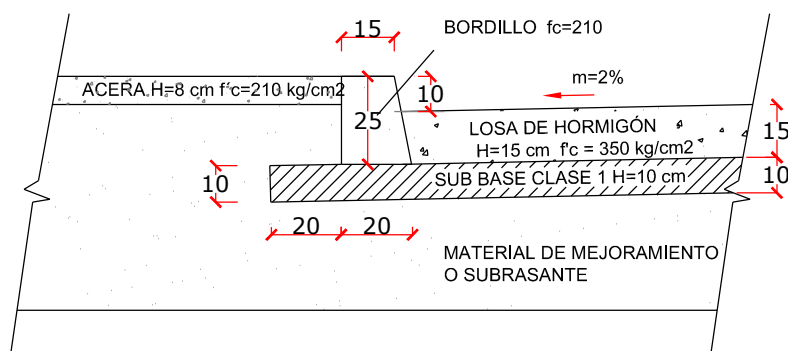


Figura 4.- Corte de Pavimento Tipo

La siguiente figura detalla las especificaciones de los tramos construidos con HCP.



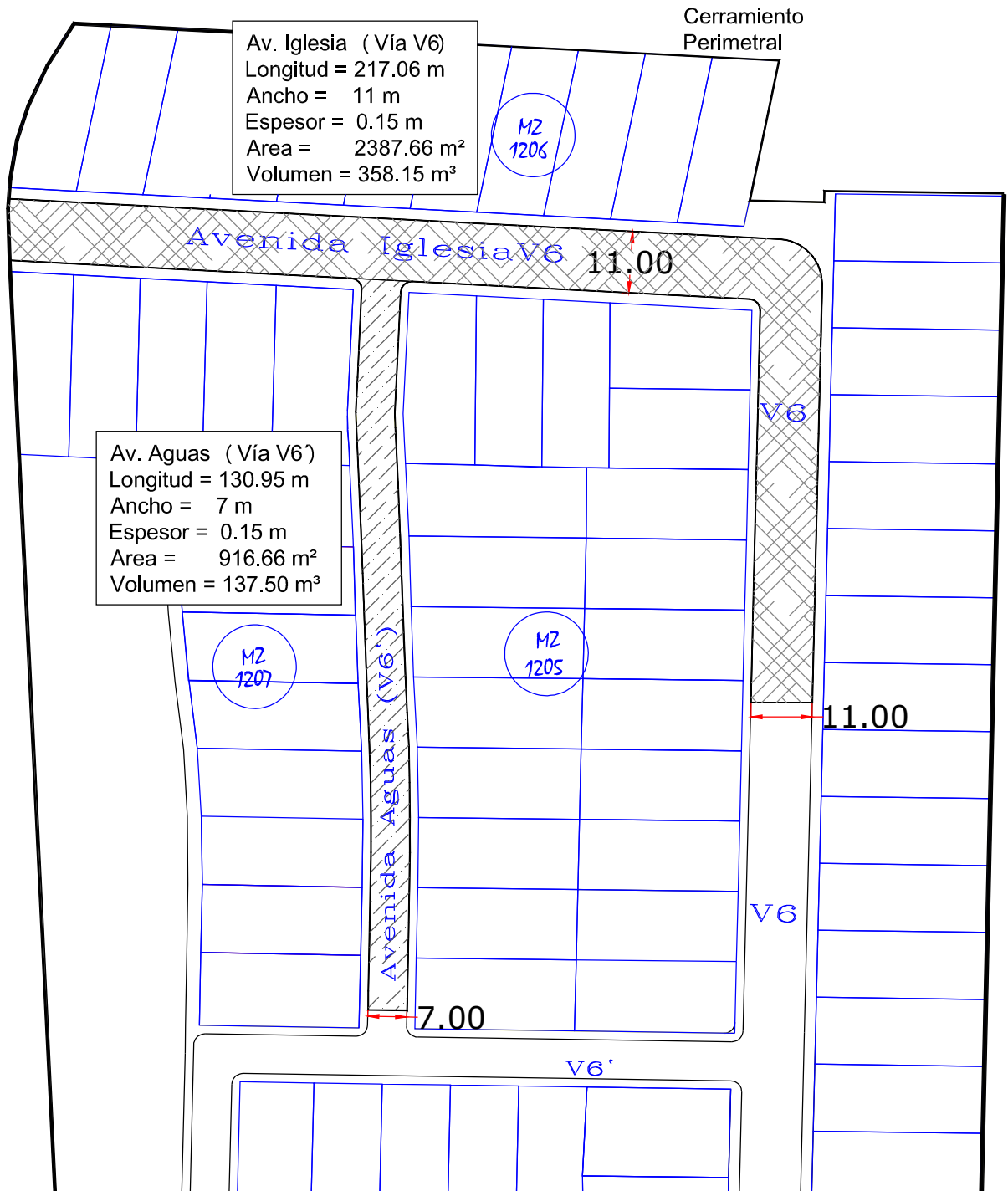


Figura 5.- Descripción de vías realizadas

## **CAPITULO 4.- DISEÑO**

### **4.1 Dosificación**

El hormigón a usarse según las Especificaciones del MOP Tomo I deberá tener una resistencia promedio a tracción por flexión (Módulo de rotura) de 4,5 MPa, y no menor de 3,5 MPa, siempre que el diseño del espesor de losa sea diseñado con esta resistencia.

Los procedimientos para la dosificación de HCP son diferentes a la de un Hormigón convencional debido a su consistencia que tiene las siguientes características:

- Menor contenido de agua entre 5 a 7%, obteniendo la consistencia necesaria para el proceso de compactación.

- Menor contenido de pasta.
- Baja relación de agua / cemento. Varía entre 0,35 y 0,45 mientras que en el hormigón convencional se utilizan valores entre 0,45 y 0,55. Esta baja relación favorece una mayor resistencia del hormigón.
- Bajo contenido de cemento entre 250 y 350 kg/m<sup>3</sup>.
- Mayor contenido de agregado fino para producir una combinación de agregados bien graduada.
- Tamaño máximo de agregados no mayor a 19 mm, para disminuir la segregación.

Para poder ser compactado de forma eficiente es necesario que esté lo suficientemente seco para soportar el peso y efecto de los rodillos, pero a la vez debe tener la humedad suficiente para asegurar su trabajabilidad.

Existen dos procedimientos para el diseño de mezclas del HCP:

1. Mediante pruebas de consistencia del hormigón VeBe modificado (ACI 211.3)  
(Ver Anexo 2)
2. Mediante pruebas de compactación de suelos. Proctor Modificado (ASTM D 1557) (Ver Anexo 3)

La granulometría de los agregados utilizados para la dosificación de la mezcla de HCP debe cumplir los siguientes parámetros:

<b>Tabla 1.1 Granulometría</b>		
<b>Tamiz</b>		<b>% que pasa (acumulado)</b>
<b>Mm</b>	<b>(pulgadas)</b>	
25,4	(1)	100
19,1	(3/4)	84-100
12,7	(1/2)	73-91
9,5	(3/8)	62-81
4,76	(No.4)	51-69
2,38	(No.8)	39-58
1,19	(NO.16)	29-48
0,595	(No.30)	20-38
0,296	((No.50)	12-29
0,149	(No.100)	7-20
0,074	(No.200)	2-10

Tabla 1.- Requisitos de Granulometría de HCP

A continuación mostramos una tabla de ejemplo de dosificación:

<b>Dosificación</b>	<b>kg/m3</b>	<b>Contenido de agregados</b>	<b>% Absorción</b>	
			<b>%</b>	<b>kg/m3</b>
Cemento IP (HE)	250	-		
Piedra TM 12 mm	591	30,00%	1,5	8,9
Piedra TM 19 mm	591	30,00%	1,5	8,9
Arena triturada	788	40,00%	3	23,6
Densidad Campo	2220		TOTAL	41,37
Agua Total	144,3	Agua Efectiva=Agua Total - 41,37; Rel. a/c =0,41		
Agua Efectiva	103			
Polyheed RI	1% del contenido de cemento			

Cortesía: Tesis Cristian Velasco - 2005

Tabla 2.- Dosificación de mezcla de HCP

## 4.2 Espesor de capa

Para el diseño del espesor de capa de rodadura se pueden emplear los siguientes métodos:

- Ábacos de la Portland Cement Association (PCA) (Anexo 4)
- Tabla de diseño del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos (Anexo 5)
- Método de M. Parmigiani y G. Di Pace. (Anexo 6)

Además en 1998 el Centro Técnico del Hormigón desarrolló una ecuación para un sencillo cálculo de espesores prescindiendo de los ábacos,

$$\sigma = \frac{NP}{h^2} * Y$$

$$Y = 0,33635 - 0,065(s/a) + (0,016(s/a) - 0,58)\ln(a/l)$$

P= carga por rueda (MN)

N= Número de redas en cada grupo de ruedas

h= altura del pavimento (m)

$\sigma$ = Tensión en el pavimento por cargas (MPa)

s= separación entre centros de rueda (m)

a= radio del área equivalente (m)

l= radio de rigidez relativa (m)

Para el proyecto en mención se adoptó una losa de 15 cm para la capa de rodadura.

(Ver Figura 4)

### 4.3 Ancho de calzada

Los anchos de las calzadas dependen exclusivamente del diseño urbanístico de la ciudadela tomando en cuenta las vías con mayor proyección de tráfico cuando ésta se termine completamente.

El ancho de la Avenida Iglesia es de 11 metros y para la Avenida Aguas es de 7 metros como se aprecia en las figuras 6 y 7.

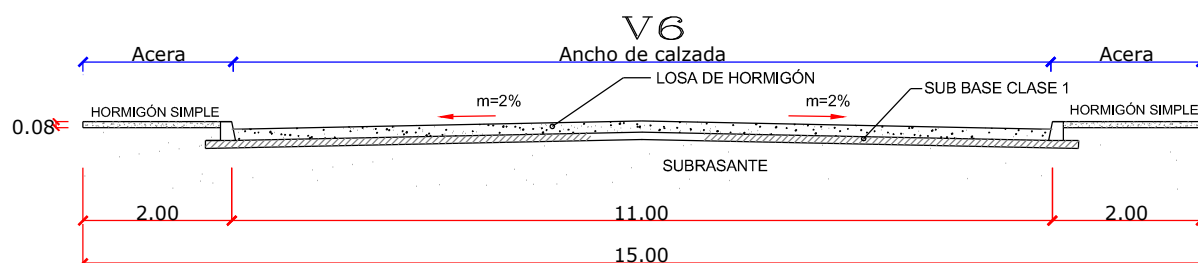


Figura 6.- Sección transversal de Avenida Iglesia V6

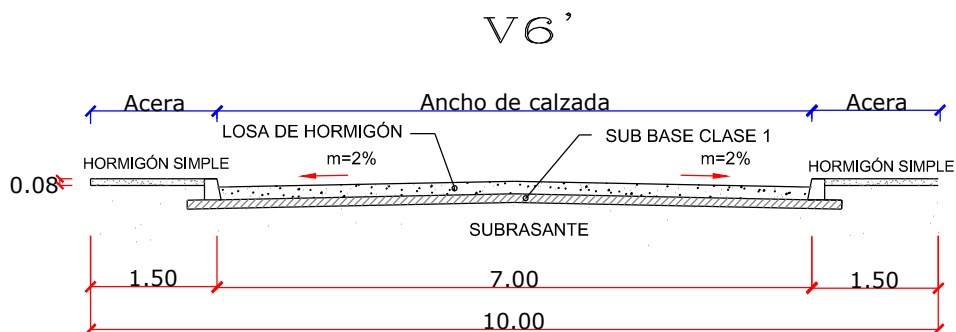


Figura 7.- Sección transversal de Avenida Aguas V6'

#### 4.4 Juntas

El pavimento de HCP presenta la misma distribución de juntas que el Hormigón convencional, pero su consideración es diferente debido al proceso constructivo.

Se deben distinguir cuatro tipos de juntas:

- Juntas Transversales
- Juntas Longitudinales
- Juntas entre capas
- Juntas Constructivas

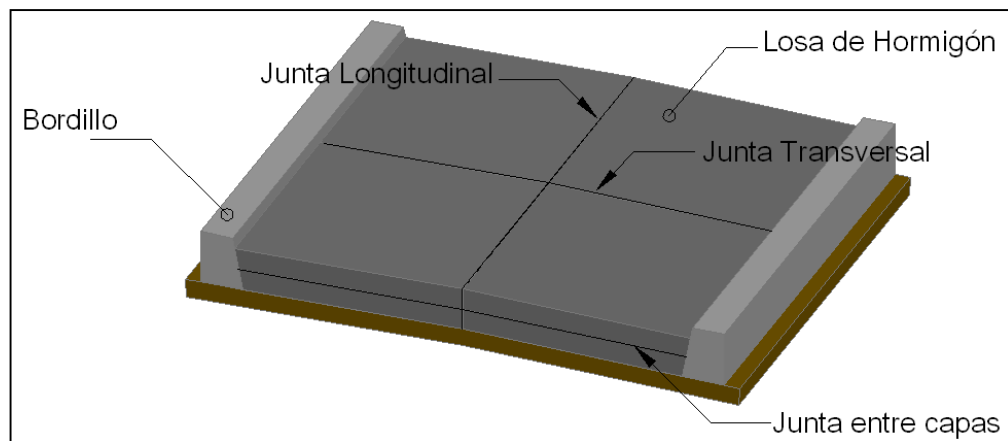


Figura 8.- Esquema de Juntas longitudinales, transversales y entre capas

*Juntas Transversales.*- Su propósito es realizar una fisura dirigida y provocada para evitar su formación aleatoria. Se utiliza en pavimentos en los que se quiere lograr una buena apariencia.

Como regla general se puede asumir el espaciamiento de las juntas transversales entre 20 veces el espesor de la losa y 9 metros. Además éste no debe exceder del 125% al 150% del espaciamiento de juntas longitudinales.

*Juntas Longitudinales.*- Son las que dividen los carriles en dirección longitudinal utilizando el mismo criterio de las juntas transversales. Es decir, la separación transversal no debe ser mayor a la separación de diseño. Por lo general no son necesarias si la pavimentación se efectúa en todo el ancho completo o que se elija realizar una junta fresca.

*Juntas entre capas.*- Se realiza cuando el espesor de diseño de la capa de rodadura excede la capacidad de compactación de la pavimentadora, por lo que su construcción se debe ejecutar en dos o más capas de entre 25 y 30 cm según el equipo utilizado.

Para asegurar una adecuada adherencia se recomienda colocar la capa superior antes del comienzo del fraguado de la capa inferior sin superar el 50% del plazo de trabajabilidad de la mezcla entre ambas operaciones. Si se excede el plazo especificado es necesaria la aplicación de un ligante para asegurar la adherencia entre ambas capas.

*Juntas Constructivas.*- Pueden ser longitudinales o transversales, y su formación se debe a limitaciones del proceso constructivo, interrupción por fallas en el suministro del material, o por la finalización de la jornada laboral.



Existen por lo tanto dos clases de juntas de construcción: junta fresca y junta fría.

La junta fresca se da cuando por limitaciones de la pavimentadora se requiere dividir las fajas longitudinales de fundición. El intervalo de tiempo entre la colocación de las dos fajas no debe ser mayor al 75% del plazo de trabajabilidad (alrededor de una hora) para conseguir una junta monolítica y evitar un plano de falla por adherencia entre hormigón fresco y endurecido. Esto se consigue con el siguiente procedimiento:

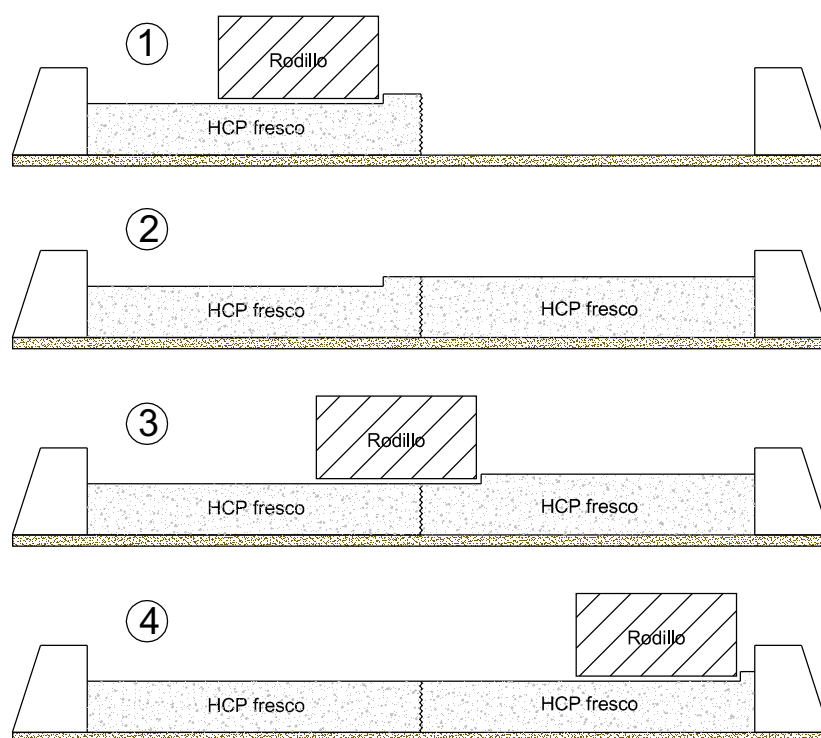


Figura 9.- Construcción de Junta fría longitudinal

1. Al borde de la faja colocada se deja 30 a 45 cm sin compactar durante la operación de rodillado.

2. Se funde la faja adyacente.
3. Se compacta centrado el tambor del rodillo sobre la junta longitudinal, compactando simultáneamente el borde de la faja anterior.
4. Se continúa compactando la faja adyacente.

De extenderse el lapso para la formación de una junta fresca, se realiza una junta fría de la siguiente manera:

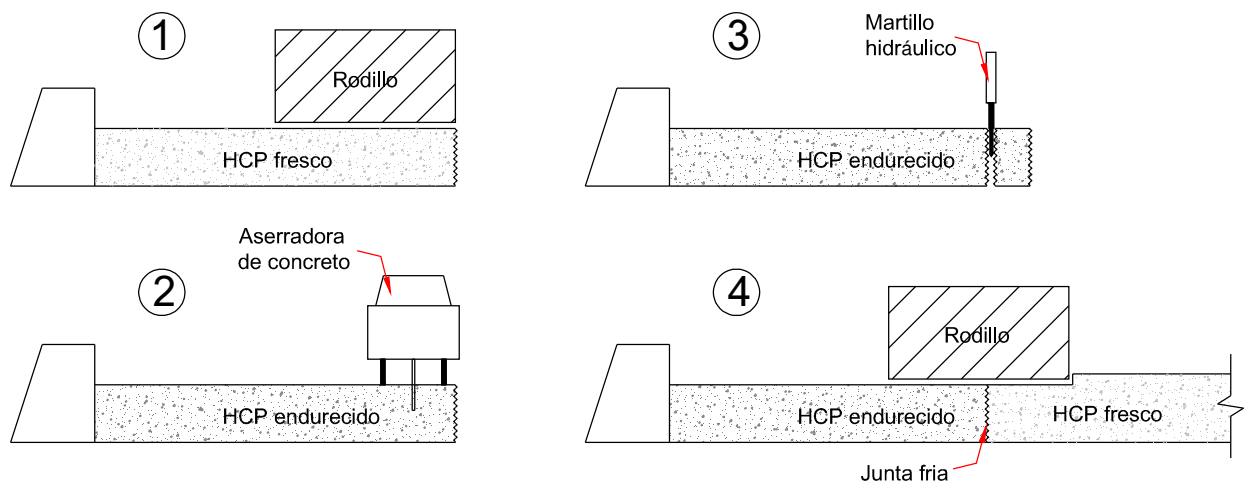


Figura 10.- Construcción de Junta fresca longitudinal

1. Al borde de la faja colocada se deja un sobre ancho de aproximadamente 25 cm (se recomienda 1.5 veces el espesor de la losa) que se debe compactar completamente.
2. Se asierra el sobre ancho fundido en el borde libre.
3. Se retira el excedente con ayuda de martillos hidráulicos.

4. Se compacta el traslape con 2 pasadas del rodillo sin vibración y se continúa compactando el hormigón fresco de la faja adyacente.

La profundidad del corte aserrado varía entre  $1/4$  y  $1/3$  del espesor del paño y debe tener un ancho mínimo de 2,5 mm. En el proyecto en mención se adoptó una profundidad de junta de 5 cm y un ancho de 5 mm.

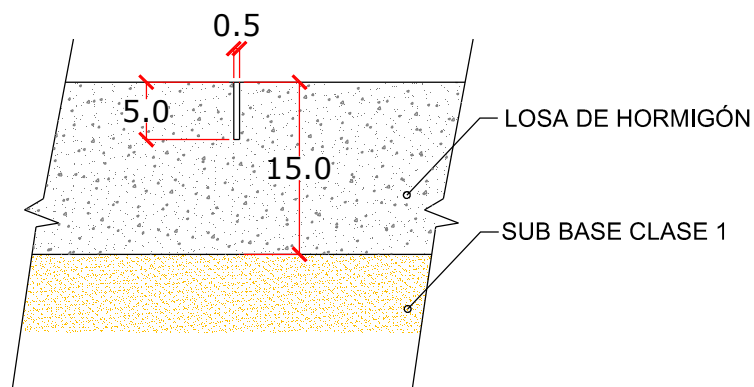


Figura 11.- Geometría de corte

A medida que las cargas puntuales de las ruedas se acercan a las esquinas o bordes libres de los paños se incrementan los esfuerzos sobre la losa. Para disminuir estos esfuerzos en las losas de pavimento de Hormigón Convencional se utilizan los llamados dowels que transfieren eficientemente la carga entre paños contiguos evitando deformaciones excesivas.

Para las losas de HCP, el tipo de material y el proceso constructivo hacen que la utilización de dowels no resulte adecuada. La transferencia de carga en esta losa de pavimento se da por medio de la trabazón de los agregados de la mezcla.

En la Avenida Iglesia V6 se tomó un espaciado transversal de 3 m y de 2,75 m entre juntas longitudinales; por otro lado la Avenida Aguas V6' tiene una separación transversal y longitudinal de 3 y 3,5 m respectivamente. A continuación se muestra un esquema del espaciado de las juntas.

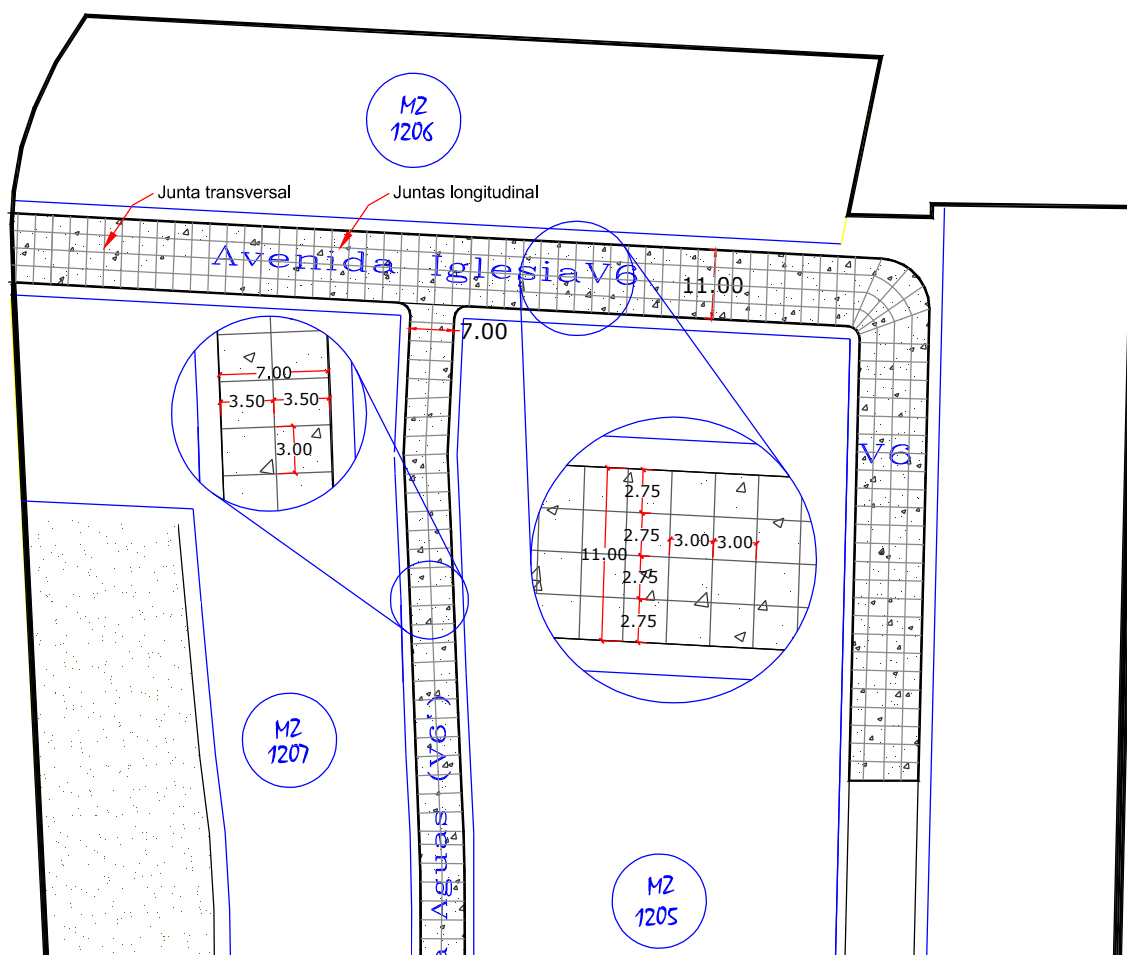


Figura 12.- Esquema de separación de juntas

## **CAPITULO 5.- EQUIPOS**

### **5.1 Volqueta**

Para transportar el HCP desde la planta dosificadora hasta el lugar de la obra no se utilizan los camiones mezcladores denominados mixers (comúnmente utilizados para el transporte de hormigones convencionales) puesto que éste no tiene una consistencia fluida sino mas bien granular como la de un agregado. Esto se debe al bajo contenido de agua que establece la dosificación de este hormigón, lo que evita que el material cementante llegue a humedecerse lo suficiente para formar una pasta fluida.

En consecuencia, el transporte se lo realiza en camiones de volteo denominados volquetas y/o bañeras. Estos camiones están dotados de una caja posterior abierta

basculante que descarga por vuelco. La capacidad de las volquetas suele estar entre los 7 y 9 m<sup>3</sup> mientras que las bañeras acarrean de 14 a 21 m<sup>3</sup> aproximadamente.

En la ejecución del pavimento que estudia el presente proyecto, se utilizó 6 volquetas Mercedes Benz de 16 ton y 2 ejes cuyos baldes tienen alrededor de 7,5 m<sup>3</sup> de capacidad.



Figura 13.- Volqueta 7,5 m<sup>3</sup> de capacidad

## 5.2 Pavimentadora

La pavimentadora es esencial al tratarse de construir vías utilizando HCP como claramente nos indica su nombre. Esta eficiente máquina realiza la mayor parte del trabajo en la etapa de colocación del hormigón en el pavimento ya que se encarga de tender, precompactar y nivelar el hormigón. Se puede colocar el material en capas no mayores a 30 cm porque en espesores mayores se ha comprobado que el grado de compactación en la región inferior de la capa es deficiente. Según las características de

la pavimentadora que se utilice, se coloca entre 2,5 y 13 m de ancho según las dimensiones de su regla de compactación.

En la obra mencionada se utilizó el modelo SUPER 1800, de la marca alemana VÖGELE.



Figura 14.- Pavimentadora VÖGELE Super 1800

Esta máquina de 6 m de longitud posee orugas que garantizan una amplia superficie de apoyo de modo que la propulsión obtenida sea constante. Posee una tolva receptora con una capacidad aproximada de  $3,2 \text{ m}^3$ , cargando hasta un máximo de 13 Toneladas. La anchura mínima de extendido de la pavimentadora es de 2,55 m, pero al colocar los *suplexs* alcanza los 8,5 m. El peso de la máquina es de 21,9 ton incluyendo las reglas de extendido.

La parte más importante de la pavimentadora es la regla, ya que es la encargada de compactar la mezcla. Esta regla flotante ofrece una gran ventaja frente a otras

maquinarias para extendido ya que al no estar sujeta al chasis contrarresta las irregularidades del terreno.

El nivel del extendido sólo se modifica por medio de los cilindros de nivelación; en caso de pasar sobre grandes irregularidades, el espesor de extendido es el que se ve afectado y no su nivel de rasante.

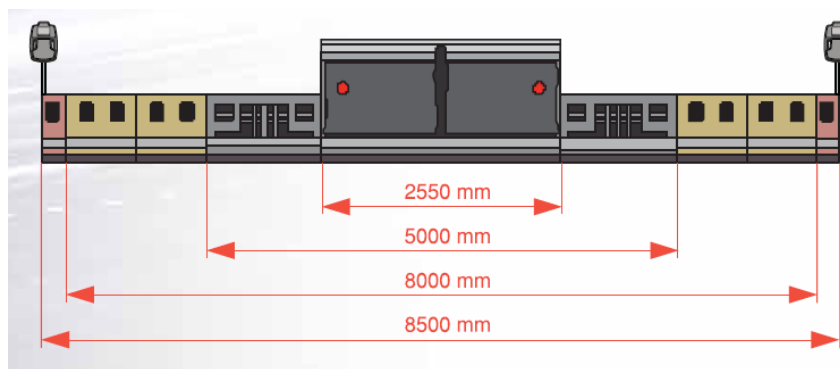


Figura 15.- Esquema de la regla de compactación de la SUPER-1800 en anchura máxima con los suplexes de trabajo AB500 TP1

La regla de extendido dispone de diferentes grupos para la compactación que se denominan:

- Listón de Támper (se desplaza con un movimiento vertical alternativo por medio de un eje excéntrico).
- Plancha alisadora.
- Listón de presión (presionan la mezcla por un sistema de pistones hidráulicos que transmiten impulsos de alta frecuencia).



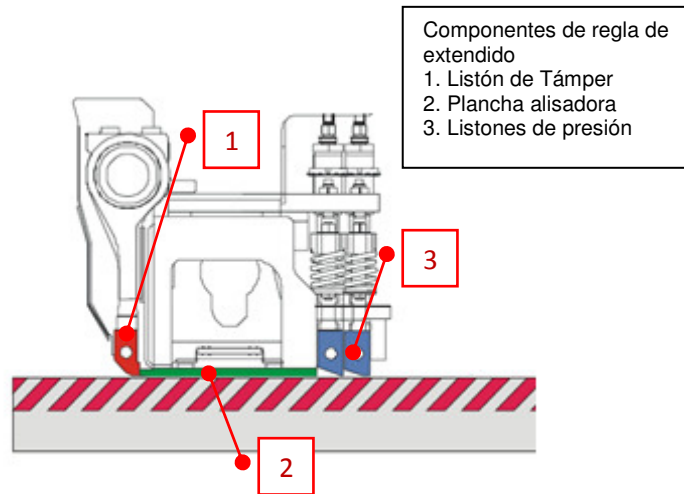


Figura 16.- Componentes de la regla de extendido

Existen ajustes que deben hacerse a los componentes de la regla para su óptimo funcionamiento:

- El támara debe estar nivelado con la plancha alisadora con una elevación de 2 a 7mm (2 mm es recomendable). A mayor elevación mayor energía de precompactación se produce, pero en caso de ser excesiva la elevación del támara se puede producir una superficie irregular.
- La distancia entre el listón de presión y el borde inferior de la plancha alisadora debe ser mínimo de 4 mm.

Además tenemos las siguientes características dentro de las especificaciones técnicas de la SUPER 1800 VÖGELE:

Especificaciones SUPER 1800-2	
<b>Accionamiento</b>	
Motor:	motor diesel PERKINS de 6 cilindros, refrigerado por fluido
Tipo:	1106D-E66TA
Potencia:	Nominal: 129,6 kW a 2000 rpm (según DIN) Modo ECO: 125 kW a 1800 rpm
Depósito de carburante:	300 l
Equipo eléctrico:	24 V
<b>Tren de orugas</b>	
Orugas:	con zapatas de goma
Superficie de apoyo:	2830 x 305 mm
Suspensión:	rígida
Dispositivo de tensión:	bloque de resortes
Lubricación de las roldanas:	de por vida
Accionamiento de traslación:	hidráulico, accionamientos individuales independientes entre sí regulados electrónicamente
Velocidades:	- Extendido: hasta 24 m/min., regulable progresivamente - Desplazamiento: hasta 4,5 km/h, regulable progresivamente
Dirección:	por modificación de la velocidad de marcha de las orugas
Freno de servicio:	hidrostático
Freno de estacionamiento:	freno de discos múltiples-acumulador a presión por resorte, sin mantenimiento
<b>Tolva receptora</b>	
Capacidad:	13 t
Anchura:	3265 mm
Altura de alimentación:	594 mm (fondo de la tolva)
Rodillos de empuje para camiones:	suspendidos oscilantes, deplazables longitudinalmente de 100 mm
<b>Grupos de transporte de material</b>	
Cintas transportadoras:	2, con listones de arrastre intercambiables y sentido de marcha reversible brevemente
	Accionamiento: accionamientos hidráulicos individuales independientes
	Velocidad de marcha: hasta 25 m/min, regulable progresivamente (mando manual o automático)
Sinfines de distribución:	2, con aletas intercambiables y sentido de rotación reversible Diámetro: 400 mm
	Accionamiento: accionamientos hidráulicos individuales independientes
	Número de revoluciones: hasta 83 rpm regulable progresivamente (mando manual o automático)
	Cota de nivel: - Estándar: regulables mecánicamente de forma progresiva unos 14 cm - Opción: regulables hidráulicamente de forma progresiva unos 20 cm (posición más baja 5 cm encima del suelo)
Lubricación:	equipo de lubricación central con bomba de engrasado de accionamiento eléctrico
<b>Reglas de extendido</b>	
SB 250:	anchura básica 2,5 m, anchura máxima (TV/TP1) 10,0 m
AB 500-2:	anchura básica 2,55 m, extensible hasta 5,0 m anchura máxima (TV/TP1) 8,5 m
AB 600-2:	anchura básica 3,0 m, extensible hasta 6,0 m anchura máxima (TV/TP1) 9,0 m
Variantes de compactación:	TV, TP1, TP2
Espesor de extendido:	hasta 30 cm
Calentamiento:	por resistencias eléctricas
Alimentación:	generador de corriente trifásica
<b>Dimensiones y pesos</b>	
Longitud:	Tractor y regla de extendido en posición de transporte: - SB 250 TV/TP1/TP2: 6,0 m - AB 500-2/AB 600-2 TV: 6,0 m - AB 500-2/AB 600-2 TP1/TP2: 6,1 m
Pesos:	Tractor con regla extensible AB 500-2 TV: - en anchura de extendido hasta 5,0 m: 19,3 t - en anchura de extendido hasta 8,5 m: 21,9 t

Tomado de: Manual Técnico VÖGELE

Tabla 3.- Especificaciones de Pavimentadora VÖGELE Super 1800

Con la pavimentadora es posible producir una pendiente transversal para facilitar el escurrimiento de aguas lluvias.

### 5.3 Rodillo

La pavimentadora precompacta el hormigón hasta cierto grado (90-94%), pero por sí sola no alcanza la densidad máxima de diseño obtenida mediante la prueba Proctor Modificado. En el HCP es muy importante llegar a la densidad de diseño para desarrollar las propiedades deseadas en la mezcla endurecida, ya que la resistencia se la alcanza principalmente por la compactación de la mezcla más que por la capacidad del material cementante en aglomerar los elementos. Por consiguiente, es necesario el uso del rodillo tándem vibratorio para alcanzar esta densidad de diseño. Además el rodillo contribuye a dejar el acabado adecuado a la superficie de rodadura del pavimento.

También existen pavimentadoras con reglas especiales de altísimo poder de compactación que sí permiten omitir la utilización del rodillo tándem vibratorio como método de densificación adicional. No obstante, en el Ecuador no existen en el mercado estas maquinarias especiales de modo que se frecuenta utilizar el término HCP- *Hormigón Compactado con Pavimentadora* o HCR- *Hormigón Compactado con Rodillo* indistintamente, refiriéndonos siempre al método que utiliza el rodillo tándem vibratorio como método de compactación complementario.

En el proyecto mencionado se utilizó un rodillo tándem articulado vibratorio modelo C222 marca DYNAPAC de 8 Toneladas.

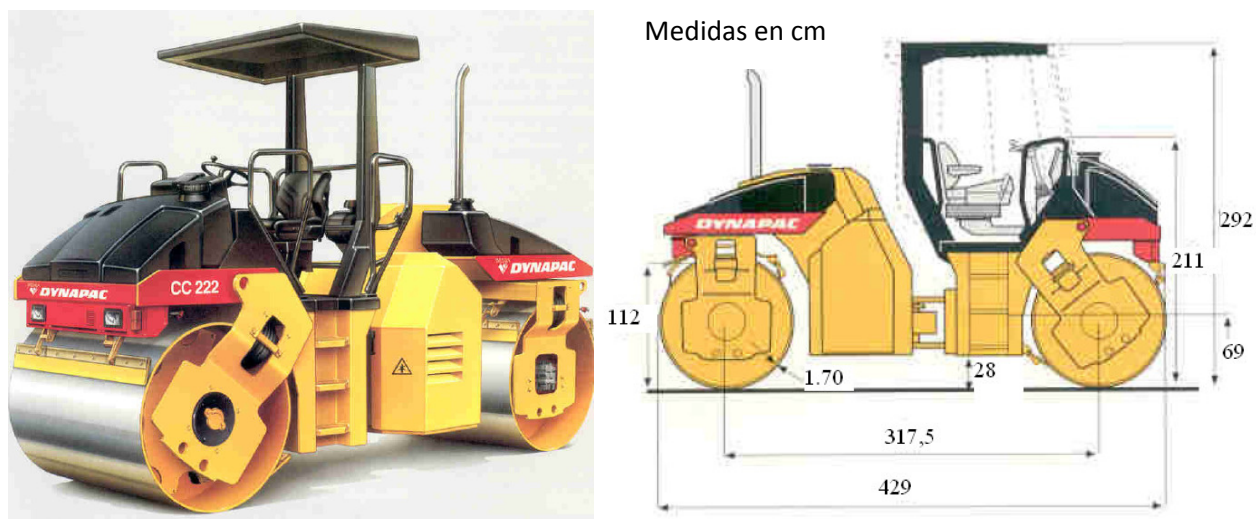


Figura 17.- Rodillo Tándem Vibratorio DYNAPAC C222 y sus dimensiones

El rodillo tiene una longitud de 4,29 m y posee un ancho de tambores de 1,57 m cuyos diámetros son de 1,12 m. El doble tambor sirve para distribuir homogéneamente la fuerza de compactación en la superficie.

Además tenemos las siguientes características dentro de las especificaciones técnicas del Rodillo Tándem Vibratorio DYNAPAC C222:

<b>PESO (lb)</b>		<b>TRACCION</b>	
Max. peso operativo.....	17,640	Rango de velocidad (mph).....	0-8
Peso operativo.....	16,100	Oscilación vertical (°).....	±8
Peso del módulo delantero/trasero.....	7,940/8,160	Ángulo de giro(°).....	±32

<b>COMPACTACION</b>		<b>MOTOR</b>	
Carga lineal estática, delantera/trasera (lb/pul).....	139/143	Fabricante/Modelo.....	Deutz BF4L 1011F
Amplitud nominal, alta/baja (pul.).....	0.028/0.012	Tipo.....	Diesel refrigerado por aire
Frecuencia de vibración, alta/baja (vpm).....	3,240/4,200	Potencia nominal, SAE, @2400 rpm (hp).....	71
Fuerza centrífuga, alta/baja (lb).....	20,025/14,625	Tanque de combustible (gals).....	32
Tanque de agua (gals).....	.96 c/tanque		

Tabla 4.- Especificaciones Rodillo DYNAPAC C222

Las especificaciones del MOP Tomo I indican que además del uso del rodillo tándem, se realicen dos pasadas con un rodillo neumático de 10 a 20 Toneladas con el objetivo de cerrar vacíos de la superficie o fisuras presentadas durante la vibración.

El rodillo neumático se utiliza en aplicaciones de compactación de asfalto y sellado, así como para compactar bases, sub-bases, tierra estabilizada y para hormigón compactado.

Las máquinas que se ofrecen poseen entre siete y nueve ruedas: tres o cinco ruedas delanteras y cuatro ruedas traseras, tiene un ancho de alrededor de 1,80 m y una longitud de 3,60 m.



Figura 18.- Rodillo Neumático DYNAPAC C142 (14 Toneladas)

#### **5.4 Aserradora de juntas**

Al construir los pavimentos con losas de hormigón se debe realizar cortes (juntas) para que las fisuras inducidas por los cambios volumétricos se formen controladamente a lo largo de los cortes realizados.

Para realizar estos cortes se recurre a máquinas aserradoras, un equipo portátil especial provisto de un disco metálico preferentemente con alma de acero y punta de diamante industrial que girando a altas revoluciones efectúa esta labor. Luego de hacer el corte se debe colocar un material elastomérico para que por las juntas no escurra agua a las capas inferiores del pavimento, lavando los finos y perjudicando su resistencia.

La aserradora utilizada en esta obra es una WACKER BFS 614AB que pesa 61,5 kg (sin su disco de corte) y tiene una altura de 83,1 cm. Su velocidad de corte es de 2890,5 rev/min. El espesor del corte realizado es de 5 mm de espesor y 50mm de profundidad. Para efectuar dicho corte se debe utilizar primero un disco de menor espesor de 2.5mm y luego el de 5mm.



Figura 19.- Aserradora de juntas

Puesto que es necesario que el disco de corte esté húmedo para impedir la formación de polvo durante el proceso de corte, la BFS 614AB incorpora un tanque de agua y además una entrada auxiliar para provisión externa.

Además tenemos las siguientes características dentro de las especificaciones técnicas de la aserradora WACKER BFS 614AB:



<b>MOTOR</b>	
Fabricante/Modelo.....	Honda GX 160 UT1 QXC9
Max. Potencia nominal @3600rpm (kW/Hp).....	3.6/4.8
Bujía (tipo).....	NGK BPR 6ES
	3600
Purificador de aire (tipo).....	Ciclon
Lubricante (grado de aceite).....	SAE 10W30
Capacidad de lubricante (ml/oz).....	600/20
Combustible (tipo).....	Gasolina
Tanque de combustible (l).....	3,1
Válvula de compensación,frío (mm/pul)	
Entrada.....	0.15/0.006
Salida.....	0.20/0.008

<b>EQUIPO</b>	
Peso (sin disco, sin agua), (kg/lbs).....	61,5/135,6
Velocidad nominal de disco de corte (rpm) .....	2890,5
Diámetro del eje (mm/pul).....	25.4/1

Tabla 5.- Especificaciones de Aserradora de juntas

## 5.5 Densímetro Nuclear

El densímetro es un dispositivo que determina de forma rápida y precisa el contenido de humedad, densidad y compactación en suelos, bases, concreto y hormigones asfálticos. La particularidad de utilizar este instrumento radica en el alto grado de exactitud logrado sin necesidad de extraer testigos de la muestra y de forma inmediata.

En el presente caso se utiliza el Densímetro Nuclear marca TROXLER modelo 3440 (Ver Figura 41) que cumple con las normas ASTM para mediciones de densidad y humedad por métodos nucleares (ASTM D-2922, ASTM D-2950 Y ASTM D-3017).

Los densímetros nucleares recurren a fuentes radioactivas para tomar las mediciones. Este nivel de radioactividad va decayendo de forma lenta, pero continua, conforme pasa el tiempo. Por esta razón, se debe realizar un *conteo estándar* antes de una jornada de trabajo, que consiste en colocar el densímetro en un bloque de referencia para ajustar la precisión del instrumento.



Figura 20.- Foto y Esquema de Densímetro Nuclear TROXLER 3440

Dependiendo de las condiciones y requerimientos del material a evaluar, el densímetro 3440 puede optar por dos modos de operación:

- Modo de transmisión directa (la varilla con la fuente perforando el material)
- Modo de retro-transmisión (la varilla con la fuente se encuentra próximo, pero no perforando el material a evaluar)

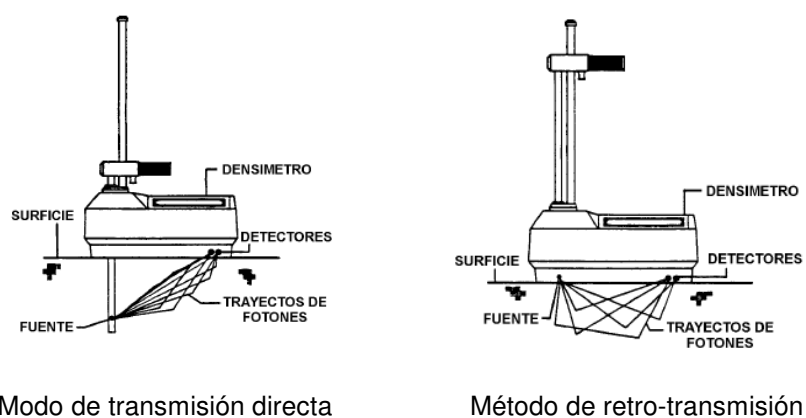


Figura 21.- Modos de Operación de Densímetro Nuclear TROXLER 3440

En el modo de transmisión directa se introduce en el terreno la varilla con la fuente radioactiva. Los detectores en la base de la sonda cuantifican la radiación emitida por la fuente, en forma de fotones, que logra atravesar el material a evaluar. De este modo, mientras más denso sea material, menor será el número de fotones que llegan a los detectores, y viceversa.

En el caso del HCP se prefiere utilizar el modo de operación de retro-transmisión por ser un procedimiento no destructivo, debido a que los detectores permanecen dentro

del densímetro, colocado sobre la superficie del material a analizar. Al colocar el dispositivo en el HCP se debe cuidar de ubicarlo en un área lo más plana posible para que toda la placa inferior haga contacto con la losa y obtener la precisión requerida.

En el modo de retro-transmisión o retrodispersión, los fotones parten de la fuente en la varilla posicionada en el mismo plano de la superficie del material. Estos deben rebotar/reflejarse en el material a evaluar para luego alcanzar los detectores en la sonda que cuantifica la radiación recibida.

Además de medir el grado de compactación del material, este equipo puede determinar su humedad a través de emisiones de neutrones a alta velocidad, las cuales son introducidas a la capa evaluada, y son detenidas parcialmente por las moléculas de agua. El detector de helio en el densímetro cuenta la cantidad de neutrones afectados y los correlaciona directamente con la cantidad de humedad.

El tiempo en que el densímetro realiza las mediciones del material a evaluar es ajustable entre 15seg, 1min y 4 min. Cabe mencionar que los rangos de exactitud proporcionados por el densímetro varían según el modo de operación que se elija, así como también del tiempo programado.

Es importante recalcar que este dispositivo posee material radiactivo y que presenta un potencial peligro para la salud si es usado inadecuadamente. El operador debe contar

con un dosímetro para controlar los niveles admisibles de radiación y conocer a cabalidad el correcto funcionamiento del instrumento. También se recomienda, recibir capacitación para el uso de sondas nucleares.

Tenemos las siguientes características dentro de las especificaciones técnicas del Densímetro Nuclear Troxler Modelo 3440:

ESPECIFICACIONES DE MEDICION				
<b>Densidad en transmisión directa</b>	15s	1min	4min	
<b>(Profundidad de 150mm)</b>				
Precisión para 2000 kg/m <sup>3</sup> (+/-)	6,8	3,4	1,7	
Error de composición para 2000 kg/m <sup>3</sup> (+/-)	20,0	20,0	20,0	
Error por superficie	17,0	17,0	17,0	
1,25mm ; 100% de vacíos; kg/m <sup>3</sup> (-)				
<b>Retro-transmisión (98%, 100mm)</b>	15s	1min	4min	
Precisión para 2000 kg/m <sup>3</sup> (+/-)	16,8	8,0	4,0	
Error de composición para 2000 kg/m <sup>3</sup> (+/-)	40,0	40,0	40,0	
Error por superficie	75,0	75,0	75,0	
1,25mm ; 100% de vacíos; kg/m <sup>3</sup> (-)				
<b>Humedad</b>	15s	1min	4min	
Precisión para 250 kg/m <sup>3</sup> (+/-)	10,3	5,1	2,5	
Error por superficie	18,0	18,0	18,0	
1,25mm ; 100% de vacíos; kg/m <sup>3</sup> (-) para profundidad de medición a 150mm (250 kg/m <sup>3</sup> )				

ESPECIFICACIONES RADIOLOGICAS	
Fuente gamma	8mCi +/- 10% Cs-137
Fuente de neutrones	60μCi +/- 10% Cf-252 o 40mCi +/- 10% Am-241:Be
Cubierta de fuente	Encapsulado en acero inoxidable
Aislamiento de fuente	Tungsteno, plomo y cadmio
Dosis en superficie	20,5 mrem/h máximo, neutrones y partículas gamma
Material de barra de penetración	Acero inoxidable
Baúl de transporte	DOT 7A, Tipo A

Tabla 6.- Especificaciones Densímetro Nuclear

## **CAPITULO 6.- PROCESO CONSTRUCTIVO**

### **6.1 Requerimientos de capa de sub-base**

La capa de sub-base debe cumplir con las especificaciones del MOP 403 – 1, que se indican a continuación:

- Coeficiente de desgaste máximo del 50% de acuerdo con el ensayo de Abrasión de Los Ángeles.
- Pasante del tamiz No. 40 con Índice Plástico no mayor a 6; Límite Líquido menor a 25.
- CBR mayor o igual a 30%.

- Según la sub-base especificada en el diseño esta debe cumplir con la siguiente granulometría

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada		
	CLASE 1	CLASE 2	CLASE 3
3" (76.2 mm.)	--	--	100
2" (50.4 mm.)	--	100	--
1 1/2" (38,1 mm.)	100	70 - 100	--
Nº 4 (4.75 mm.)	30 - 70	30 - 70	30 - 70
Nº 40 (0.425 mm.)	10 - 35	15 - 40	--
Nº 200 (0.075 mm.)	0 - 15	0 - 20	0 - 20

Tomado de Especificaciones MOP-001-F-2002 TOMO 1

Tabla 7.- Granulometría de Sub-base

Se debe comprobar la calidad de la compactación en la construcción mediante ensayos de densidad de campo, la densidad mínima no será menor que el 100% del ensayo Próctor Modificado.



Figura 22.- Capa de sub-base preparada (Avenida Iglesia-V6)

La superficie de la sub-base terminada deberá ser comprobada mediante nivelaciones minuciosas, para corroborar las alineaciones y pendientes transversales (bombeo) especificadas en el diseño. En ningún punto las cotas podrán variar en más de dos centímetros con las del proyecto, sin embargo, el promedio de los espesores comprobados no podrá ser inferior al especificado. Ésta comprobación se efectuará cada 100 metros de longitud en puntos alternados al eje y a los costados de la vía.



## 6.2 Trabajos Previos

Para la colocación del HCP se debe establecer una línea de guía con las cotas del proyecto, para el efecto se utilizan los bordillos o se tienden guías laterales. Las guías consisten en varillas localizadas cada 3 metros hincadas en la capa de sub-base, éstas cuentan con un brazo que soporta la línea guía. Los hilos o cuerdas de la línea pueden ser de alambre o cable, que por un lado debe ser lo suficientemente fuerte como para resistir la tensión a la que va a ser sometida y a la vez liviano para evitar las catenarias entre apoyos. Se debe evitar en lo posible la formación de catenarias en la línea guía por medio de apoyos cercanos, puesto que los sensores percibirán cualquier curvatura que esta posea. Una vez tensionada la línea se procede a aplomar y a establecer los niveles respectivos.



Figura 23.- Esquema de colocación de línea guía

Inmediatamente antes de comenzar con la fundición de la capa de rodadura con HCP es necesario que la superficie de la capa de sub-base expuesta a altas temperaturas sea humedecida levemente, con el propósito de evitar que el bajo contenido de agua presente en el hormigón sea absorbido.

El día de la fundición, antes de iniciar con el despacho del hormigón, es importante comprobar el estado y buen funcionamiento de todas las máquinas, especialmente de la pavimentadora y el rodillo, elementos fundamentales para conseguir las propiedades mecánicas del HCP.

En el presente caso, la vía V6', que posee 7 metros de ancho, se ejecuta en una sola faja de construcción. Los bordillos laterales de la calle son tomados como guías para los niveles de la pavimentadora.



Figura 24.- Sensor de nivel de pavimentadora

La Avenida Iglesia-V6 al tener 11m de ancho se divide en dos fajas de construcción debido a que la pavimentadora tiene un ancho máximo de 8,50 m; las fajas de 5,5m requieren de una línea guía a unos 40 cm del eje de la vía. (Ver figura 25). Esta distancia es necesaria para colocar el sobrecanto de fundición (25 cm aproximadamente) para la formación de una junta fría y el espacio requerido para el apoyo de los sensores de la pavimentadora.



Figura 25.- Colocación de Línea guía en eje de Vía V6

### 6.3 Provisión y Transporte del Hormigón

La provisión del HCP se realiza desde la Planta de Hormigones San Eduardo. Para el transporte del hormigón se utilizan volquetas con capacidad aproximada de 7,5 m<sup>3</sup>. Es importante cubrir el hormigón con una lona protectora al transportarlo, para que éste

sea afectado lo menos posible por agentes climáticos adversos como el sol, lluvia, viento, etc.

También se debe considerar las distancias y tráfico pronosticado durante el transporte a fin de evitar que transcurra el lapso de trabajabilidad del hormigón.

El tiempo promedio en que un vehículo pesado transita desde la Planta de Hormigones San Eduardo hasta Ciudad Satélite Los Ángeles es de aproximadamente 25 minutos.

Si se presentan elevadas temperaturas y/o viento se recomienda humedecer superficialmente el HCP antes de voltearlo en la pavimentadora.

#### **6.4 Colocación y compactación**

Las volquetas deben descargar el HCP en la tolva de la pavimentadora. Para esto, se desplazan marcha atrás de forma alineada hasta encontrarse a pocos centímetros de la pavimentadora evitando topar las barras de presión, lo que pudiese provocar una variación de nivel en la regla.

La capacidad de la tolva presenta una limitante al momento de verter el material. Puesto que la tolva de la pavimentadora SUPER1800 es de 3,2 m<sup>3</sup> éste se debe voltear en 2 etapas.

A través del movimiento de avance de la pavimentadora, la barra de presión toca las ruedas de la volqueta y la desplaza, momento en el cual se vuelca finalmente toda la carga del balde.

El tiempo permitido desde que el hormigón es cargado en la volqueta hasta que es descargado en obra se establece en el 50% del tiempo de trabajabilidad (2 a 3 horas) determinado en el diseño, fluctuando generalmente entre 60 y 90 minutos.



Figura 26.- Descarga del Hormigón

El lapso en el que la volqueta se acerca a la pavimentadora, descarga todo el hormigón y se retira dura aproximadamente 10 minutos. Por consiguiente, las máquinas pavimentadoras pueden llegar a fundir hasta 36 m<sup>3</sup>/hora siempre y cuando tenga volquetas cargadas disponibles ininterrumpidamente a medida que avanza. Sin embargo esto no se aproxima a la realidad, puesto que el rendimiento real está en función de la cantidad de volquetas asignadas y esencialmente de la continuidad del

despacho de hormigón en la planta hormigonera, más no del espesor o ancho de la losa a fundir. Además existen condiciones del tramo en fundición que retrasan el avance como es la presencia de curvas, cámaras de alcantarillado y avance de los trabajos previos (colocación de línea guía).

El hormigón depositado en la tolva de la pavimentadora es conducido por una banda transportadora a la parte posterior donde dos sinfines independientes se encargan de distribuirlo uniformemente en todo el ancho requerido.

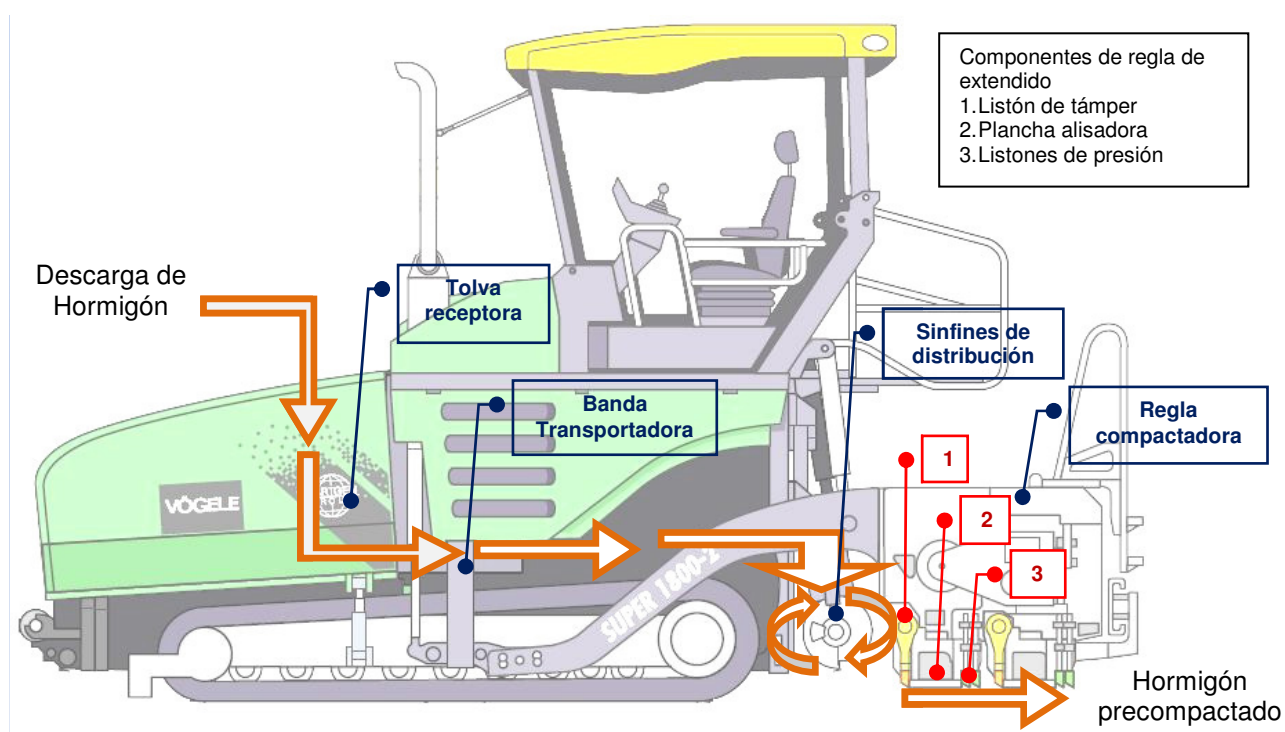
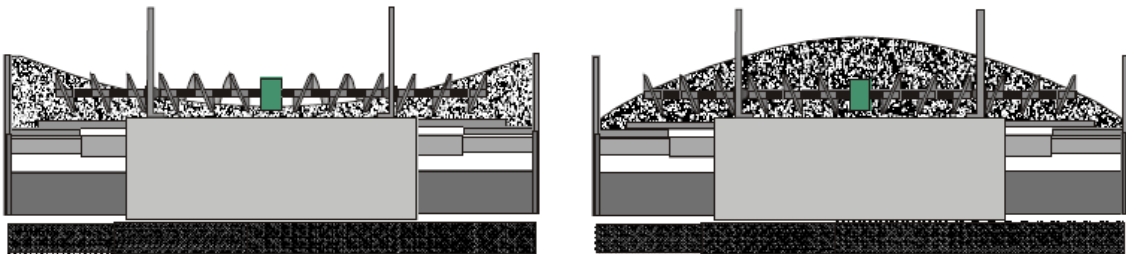


Figura 27.- Esquema de funcionamiento de pavimentadora

La velocidad de rotación del sinfín se regula proporcionalmente a la aplicación del material; de este modo, la necesidad de mezcla puede adaptarse de forma óptima en las curvas. Hay que controlar que la distribución a lo largo del sinfín sea uniforme y homogénea en caso de que se presente alguna variación se deben ajustar los siguientes parámetros:

- Velocidad de extendido
- Número de revoluciones del sinfín
- Velocidad de suministro de la cinta transportadora



(a) Acumulación excesiva de mezcla

(b) Poco suministro de material

Figura 28.- Distribución irregular de la mezcla en los sinfines

Luego la regla compactadora pasa sobre el hormigón tendido obteniendo como resultado final una capa precompactada y uniforme de hormigón. Los porcentajes de compactación alcanzados con la pavimentadora varían desde el 90 al 94%.



Existen parámetros que deben ajustarse según el comportamiento del HCP:

- Velocidad del támara.- Infiuye directamente en la precompresión de la mezcla, debe adaptarse a la velocidad de extendido. El número de golpes varía de 300 a 1.200/min.
- Elevación del támara.- Los listones de támara proporcionan la compresión y acabado inicial al hormigón extendido por los sinfines. A más elevación mayor será la precompresión y la profundidad de influencia. Se recomienda utilizar de 2 a 4 mm.
- Frecuencia de vibración de plancha alisadora.- Tiene una influencia mínima en la compactación. Su óptimo ajuste favorece una superficie cerrada y llana tras la regla. Entre 1.200 y 2.000 rev/min.
- Ajuste de listones de presión.- Su movimiento vertical influye directamente en la precompactación uniforme de la capa. Se trabaja con presiones entre 45 y 70 bares y frecuencia de 58 a 68 Hz.

Los operadores de la pavimentadora deben regular la presión con la que trabajan los listones de la regla compactadora según el grado de humedad del hormigón; si se nota bastante húmedo los listones de presión deben trabajar con 30 - 40 bares, en cambio si los agentes climáticos han disminuido levemente la humedad del material es aconsejable operar con 60 - 70 bares.



Cabe mencionar que es necesaria la comprobación del grado de compactación alcanzado, con la ayuda de un equipo para toma de densidades in situ que nos permita obtener datos de manera precisa e inmediata como por ejemplo el densímetro nuclear. Esto permite ajustar los elementos de la regla compactadora para optimizar el grado de precompactación requerido.



Figura 29.- Colocación del HCP

La compactación es la fase más importante de la etapa constructiva dado que le brinda densidad, resistencia y acabado. Para complementar el proceso de compactación iniciado con la pavimentadora, se recurre a los rodillos vibratorio y neumático.

Se debe comenzar con el rodillado inmediatamente después de haber colocado el material. Es recomendable tener una distancia adecuada (se sugiere alrededor de 25 m) para que el rodillo pueda maniobrar cómodamente. En caso de prolongarse el

tiempo de colocación se aconseja rociar agua en la superficie de la capa de HCP propensa a pérdidas de humedad.

El proceso de la compactación con rodillo tándem vibratorio es el siguiente:

- Dos pasadas con el rodillo sin vibración para dejar la superficie lisa.
- Cuatro pasadas con vibración para obtener la densidad requerida (pudiéndose extender en caso de no alcanzarla).
- Dos pasadas adicionales con el rodillo tándem sin vibración para sellar la superficie.

Para efectos de esta secuencia el recorrido de ida y vuelta de los rodillos equivale a dos pasadas.

Es importante que el tambor esté libre de agregados que pudieron haberse adherido debido a la humedad del material debiéndose eliminar inmediatamente, ya que éstos pueden dañar el acabado final de la superficie compactada.

El tambor metálico del rodillo tándem vibratorio, al compactar puede provocar estrías (fisuras de ancho menor a 1 mm). Para evitar este acabado indeseado en la superficie se recomienda utilizar el rodillo neumático que cierra las fisuras y aprieta la superficie. En caso de no usarlo, se sugiere rastrillar la superficie del hormigón luego del paso de la pavimentadora para permitir que cierta cantidad de pasta de la mezcla quede suelta

en la superficie. Posteriormente, con el paso del rodillo tándem sin vibración, se logra reparar cualquier imperfección en la capa de rodadura.

Las fajas que se compactan deben tener un traslape longitudinal de aproximadamente 30 cm para así asegurar no solo una distribución uniforme de compactación, sino también para evitar un desnivel entre fajas de compactación.



Figura 30.- Compactación en Vía V6'

Antes de sellar la superficie con las 2 últimas pasadas del rodillo tándem sin vibración, se deben tomar pruebas de compactación en diversos puntos de la faja compactada, para asegurar que el pavimento haya alcanzado como mínimo el 96% de la densidad

óptima; caso contrario se debe seguir con la compactación hasta alcanzar el porcentaje deseado.

Luego de haber comprobado el porcentaje de compactación, se toma como referencia el mismo procedimiento de compactación en los siguientes tramos. Se efectuará una comprobación por cada 500 m<sup>2</sup> de pavimento, o una por cada faja de construcción.

El hormigón se compactará de manera uniforme sólo si la humedad es la adecuada. Si el contenido de agua es mayor al requerido la deformación al compactarlo será excesiva. Al contrario, si el hormigón no posee suficiente humedad no quedará huella del paso del rodillo evidenciando resequedad y por consiguiente falta de compactación en la totalidad del espesor de la capa.

Para que el HCP desarrolle su mejor desempeño, es necesario aplicar la compactación indicada en toda su superficie; con este propósito, se deben tomar las siguientes previsiones:

- Al fundir una faja no confinada se debe dejar un sobreancho de alrededor de 20 cm respecto a los bordes libres. Esto para evitar que con el paso del rodillo los bordes se desmoronen y queden áreas no compactadas. Luego, al endurecer el HCP, se debe remover este excedente marcando una línea guía de corte con la aserradora, para posteriormente desprender los segmentos con la ayuda de martillos hidráulicos.



Figura 31.- Procedimiento de compactación y remoción de bordes libres

- El rodillo no debe descuidar acercarse al máximo a los bordillos para compactar adecuadamente esta región.
- Al finalizar una jornada de trabajo el rodillo debe salir por el extremo final de trabajo. El borde redondeado resultante será removido con sierra al día siguiente creando una junta vertical de construcción.
- El rodillo en modo vibratorio no deberá detenerse sobre el hormigón fresco sin apagar la vibración de los tambores para no crear irregularidades en la superficie final.

## 6.5 Curado

Luego de haber compactado la losa se procede al curado del Hormigón. Este proceso se debe realizar inmediatamente después de terminar el rodillado. El objetivo del curado es proteger la superficie del HCP contra la exposición directa a los rayos solares, el lavado de lluvias, baja humedad, asegurando un pavimento fuerte y durable.

Existen diversos métodos:

- Curado con membranas químicas impermeables.
- Curado por humedad
- Curado mediante utilización de láminas plásticas.
- Curado con una capa de emulsión asfáltica

*Curado con membranas químicas impermeables.*- Se realiza con productos químicos formadores de membranas impermeables. La aplicación se hace con equipos que aseguren la aspersión del producto como un rocío fino y uniforme. La dosificación mínima será de  $400 \text{ g/m}^2$ .

*Curado por humedad.*- Cuando se opta por este método, inmediatamente después de culminar la compactación, se cubre el pavimento con arena, tela de algodón, etc, productos que poseen alto poder de retención de humedad. El pavimento se mantendrá húmedo mediante la aplicación de un rocío fino de agua, evitando que ésta se acumule excesivamente en la superficie.

*Curado mediante utilización de láminas plásticas.*- Una vez terminada la compactación se colocan láminas plásticas de color claro, y se debe asegurar su permanencia en todo el área incluyendo los bordes durante el tiempo que dure el curado (aproximadamente 6 días)

*Curado con una capa de emulsión asfáltica.*- Este tipo de curado se aplica inmediatamente después de haber aserrado las juntas, y se utiliza para proteger la superficie del pavimento de la abrasión en vías de tráfico a altas velocidades.

Se utiliza el proceso con emulsiones asfálticas ya que, aparte de cumplir la función como membrana curadora, sirve como capa de rodadura adicional al pavimento rígido.

En el caso práctico de la losa de pavimento de la Urbanización Los Ángeles, el curado se realizó con membrana química impermeable mediante la aspersión del curador Masterkure 211 de BASF para mantener el color claro del hormigón, el cual le da un mejor aspecto a las vías. El tiempo de secado de Masterkure 211 es de 3 horas aproximadamente, luego de esto la superficie no se afecta por las pisadas. Un kg del producto rinde entre 21 y 24 m<sup>2</sup>.



Figura 32.- Curado de losa de pavimento – Vía V6´

## 6.6 Construcción de juntas

Las juntas ayudan a absorber los cambios volumétricos del pavimento debido a las variaciones de temperatura y a la retracción por deshidratación. Se deben distinguir cuatro tipos de juntas:

- Juntas Transversales
- Juntas Longitudinales
- Juntas entre capas
- Juntas Constructivas

El pavimento de HCP tiene una menor retracción que el hormigón convencional permitiendo alcanzar un mayor espaciamiento entre juntas. Sin embargo, una práctica



común es la de aserrar las juntas conservando la separación dada por los cortes en el bordillo, que en este caso se encuentran cada 3 metros.

Los cortes de las juntas deben hacerse cuando la consistencia del concreto permita llevarlos a cabo sin que se produzcan despostillamientos y a la vez antes de que se produzcan las fisuras. Los cortes transversales pueden esperar entre 5 a 24 horas, mientras que los cortes longitudinales se pueden hacer hasta 48 horas después.



Figura 33.- Aserrado de juntas transversales – Vía V6

En las vías del proyecto en estudio, la profundidad de la junta es equivalente a  $\frac{1}{3}$  del espesor de la losa. Para la capa de 15 cm utilizada, el corte es de 5 cm de profundidad y se adoptó 5 mm de espesor. Para efectuar dicho corte se debe utilizar primero un disco de menor espesor de 2.5mm y luego el de 5mm

En la Avenida Aguas-V6' se hizo un solo corte longitudinal en el eje de la vía, resultando finalmente paños de 3 m x 3,50 m.

La fundición de la Avenida Iglesia-V6 se ejecutó en dos etapas, dividiendo la vía en 2 tramos longitudinales de 5,5m de ancho, se realizó un corte longitudinal en el centro de cada faja fundida. En la unión de las dos fajas se creó una junta de construcción (junta fría) pues la fundición de las fajas adyacentes no se realizó el mismo día. Para este caso se recomienda permitir que la fisura se forme por sí sola en la unión de hormigón viejo y hormigón nuevo. De ésta manera se evita realizar el corte por un trayecto distinto al que seguirá la fisura de la junta fría.

Una vez efectuada la limpieza de las juntas con aire a presión, estas deben ser rellenadas con un material elastomérico bituminoso resistente a la intemperie, AP-3, para evitar el ingreso de agua y la rotura de los filos. Este proceso se denomina sellado y evita el escurrimiento del agua superficial a través de las juntas a las capas inferiores del pavimento, esto resta soporte ya que altera su granulometría.



Figura 34.- Juntas rellenas con AP-3. Intersección Avenidas V6 y V6'

El pavimento soporta circulación vehicular a las 24 horas. Es recomendable no abrir al tráfico en un tiempo no menor a las 72 horas para permitir una correcta resistencia a la abrasión en la superficie.

## **CAPITULO 7.- CONTROL DE CALIDAD**

### **7.1 Control en Planta**

El responsable de la calidad del Hormigón tiene a su cargo la realización del control del HCP tanto en su producción como en su colocación.

En la etapa de producción se debe verificar el óptimo cumplimiento de las especificaciones de los materiales con los que se realizó el diseño de la mezcla tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- Calibración de la planta de mezclado.- Se controlará la exactitud de las proporciones de los componentes y el tiempo de mezclado para obtener una mezcla homogénea de HCP. Las tolerancias permitidas para el contenido cemento es de  $\pm 1\%$ , para los agregados de  $\pm 2\%$  (MOP 801-2.02), y para el agua es de  $\pm 1\%$  (MOP 801-3.06)
- Altura de caída libre del concreto.- La altura desde las cintas transportadoras hacia el balde de la volqueta no debe exceder de 1,8 m para evitar la segregación del hormigón.
- Control de los agregados.- Es necesaria la verificación de la granulometría, desgaste, módulo de finura y absorción de agua de los agregados. Se recomienda realizar estos controles cada 400 m<sup>3</sup>.
- Calidad del cemento.- El tipo de cemento utilizado debe ser el especificado en el diseño de la mezcla y se debe observar las condiciones en que se ha almacenado, ya que esto puede alterar su buen estado.
- Grado de humedad del hormigón.- Una vez que el hormigón está en la volqueta, se debe medir su grado de humedad antes de salir de la planta. Se puede determinar este porcentaje en laboratorio o mediante sensores digitales.

Es recomendable realizar estos controles al hormigón cada 120 m<sup>3</sup> o cada 400 m<sup>2</sup>.

## **7.2 Control en Obra**

Independientemente del control en la producción del HCP, es de vital importancia evaluar las características y calidad del Hormigón que se está colocando:

- Porcentaje de humedad.- Una vez en obra es necesario comprobar que el grado de humedad del hormigón sea el adecuado para su colocación y compactación.
- Resistencia a tracción del Hormigón.- Se deben extraer muestras de hormigón fresco en su lugar de colocación. Las probetas luego son transportadas al laboratorio para obtener su resistencia.
- Densidad y humedad.- Tan pronto como se haya culminado con la compactación del HCP se realizan los ensayos con la ayuda del densímetro nuclear.
- Tiempo de colocación.- Tiempos mayores a los especificados en el diseño pueden alterar el comportamiento del HCP. El tiempo desde que se elabora la mezcla hasta su descarga en la pavimentadora no debe exceder del 50% del tiempo de trabajabilidad, es decir de 60 a 90 minutos.
- Juntas.- Asegurar que los cortes se efectúen con las alineaciones debidas y profundidad requerida. Además hay que vigilar el tiempo de sellado de las juntas y que se las haya rellenado cuidadosamente.
- Regularidad de la superficie de pavimento.- Es importante verificar el nivel del HCP colocado. Se aceptan tolerancias de entre 6 y 10 mm, al hacerse la comprobación con una regla de 3 a 4 m de longitud.

### **7.3 Toma de probetas**

Para verificar la resistencia del hormigón, se tomará como mínimo 1 muestra de hormigón fresco que comprende 6 probetas por cada día de trabajo, por cada 120 m<sup>3</sup> de hormigón compactado o por cada 500 m<sup>2</sup> de pavimento colocado.

Se debe tomar una muestra representativa del Hormigón justo antes de ser compactado, es decir por encima del sinfín de la pavimentadora, evitando la pérdida de humedad de la muestra hasta el momento de preparar los especímenes.

La muestra es colocada en 3 capas en los moldes metálicos y cada una de ellas se compacta usando el martillo vibratorio por un tiempo entre 5 y 15 segundos (ASTMC1435-99).

El molde cilíndrico deberá ser de acero o de otro metal resistente a la abrasión de la pasta cementicia. Tiene 20 cm de altura y 10 cm de diámetro.

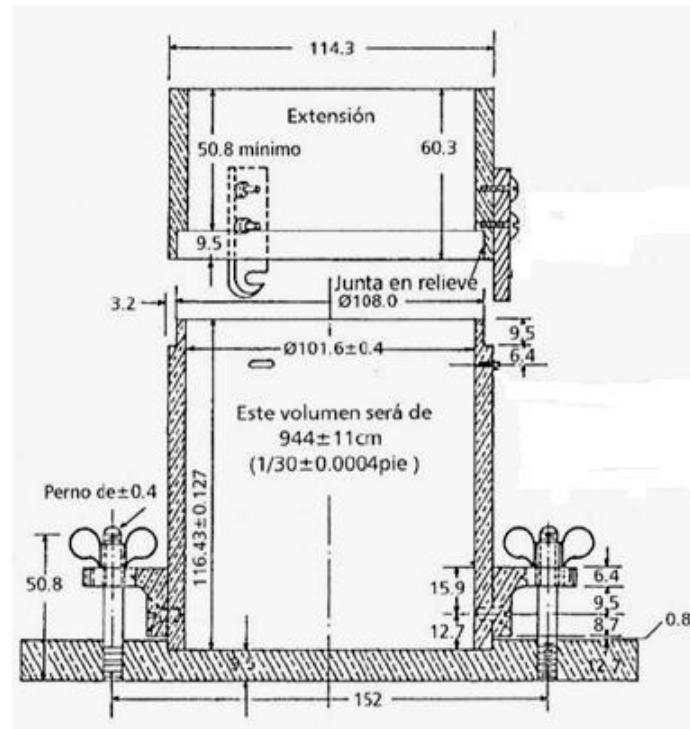


Figura 35.- Moldes para la toma de muestras

Para aplicar compactación a la mezcla, se requiere de un martillo vibratorio de masa 10 kg y con un poder mínimo de 900 W, capaz de proveer 2000 golpes/min. En el proyecto en mención se utilizó un martillo rompedor marca Hilti modelo TE 805. Al martillo se acopla una plancha circular de 9 cm de diámetro.

Es importante que el personal que toma las muestras y opera el martillo disponga del siguiente equipo:

- Gafas de protección
- Guantes
- Protección auditiva



Al momento de compactar la mezcla se debe observar que exista un espacio entre el filo del apisonador del martillo y las paredes del molde. A medida que el hormigón es compactado, el mortero formará un anillo alrededor de la plancha circular; esto es un indicador de que la vibración es suficiente y debe detenerse.

En caso de que este aro de mortero no llegue a formarse después de 20 segundos, hay que detener el martillo vibratorio y colocar la siguiente capa. En estas instancias se debe inspeccionar el hormigón al momento que es desmoldado para determinar si el espécimen se encuentra en condiciones adecuadas para ser ensayado.



Figura 36.- Toma de muestras del hormigón fresco

Las muestras se dejan almacenadas y sin desmoldar por 24 horas evitando movimientos, golpes, vibraciones o pérdidas de humedad; luego se desmoldan y se llevan a la cámara de curado donde permanecen hasta el momento del ensayo.

En la mencionada obra se ejecutaron 100 m<sup>3</sup> diarios, por lo cual se tomó 1 muestra por cada día de trabajo.

Debido a que la losa de un pavimento actúa flexión, el ensayo realizado a las probetas es el de Tracción por Compresión Diametral (T.C.D.). Mediante la elaboración de probetas cilíndricas se establece una adecuada correlación entre la resistencia TCD y la resistencia a flexión.

$$T = 2P / \pi ld$$

$$MR = 1,4 \times f(T)$$

El resultado de los ensayos debe cumplir con los siguientes requisitos para que sean aceptados:

- El promedio de todos los conjuntos de tres ensayos consecutivos de resistencia debe ser igual o superior al Módulo de Rotura especificado.
- Ningún resultado individual del ensayo de resistencia (promedio de dos especímenes) debe estar 0,5 MPa por debajo del Módulo de Rotura especificado.

Los resultados de los ensayos realizados a los especímenes tomados en la fundición de las vías en mención son los siguientes:

Elemento	Fecha	Módulo de Rotura (MPa)		
		1 día Promedio	7 días Promedio	28 días Promedio
Av. Aguas (Absc 0+080)	15-mar-10	2,92	4,64	4,97
Av. Iglesia (carril derecho)	16-mar-10	2,93	3,79	5,09
Av. Iglesia (carril derecho)	17-mar-10	2,33	--	4,36
Av Iglesia (carril izquierdo)	18-mar-10	2,80	4,64	5,36

Tabla 8.- Resultado de ensayos de Tracción por Compresión Diametral

La resistencia obtenida en los ensayos fue mayor a la especificada, por lo que los trabajos fueron recibidos a satisfacción.(Ver Anexo 7)

En caso de no cumplir cualquiera de los dos requisitos y luego de agotar todos los procedimientos no destructivos, se deberán obtener del sector en duda núcleos o vigas aserradas de acuerdo a norma ASTM C42.

Se ensayaran tres grupos de núcleos o de vigas aserradas por cada resultado de resistencia. El promedio de las resistencias de vigas ensayadas debe ser mínimo el 85% del Módulo de rotura y ninguna viga podrá tener menos del 75% de ese Módulo.

Con los núcleos, el promedio debe ser mínimo 60% del Módulo de rotura y ninguno podrá tener una resistencia menor que el 54% de dicho módulo.

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Con la información recopilada en este trabajo acerca del uso del HCP podemos concluir lo siguiente:

1. Es importante un buen diseño de la mezcla de HCP ya que esto determinará no solo la resistencia sino la trabajabilidad. Esto incide en la efectividad del proceso constructivo.
2. A pesar de la rapidez con la cual se coloca y precompacta el HCP, su rendimiento se basa en la cantidad de volquetas asignadas y fundamentalmente

en la continuidad del despacho de hormigón en planta. Por lo que es esencial una buena sincronización con el fin de evitar paralizaciones en la fundición que puedan alterar el comportamiento monolítico de la losa.

3. Desde el punto de vista económico, el empleo de una losa de HCP resulta más competitivo con respecto a una de Hormigón Convencional (Ver Anexo 1). Sin embargo, la diferencia de precios pudo haber sido mayor en el caso práctico tratado en esta tesina si se hubiese hecho un nuevo diseño considerando la alta resistencia del HCP, reduciendo seguramente el espesor de losa requerido.
4. Se necesita una mayor investigación con respecto al comportamiento de las fisuras en una losa de HCP ya que a pesar de que en otros países recomiendan separaciones entre 9 a 21 m, en el país se siguen conservando distancias cortas para evitar una presencia de fisuras aleatorias, que puedan afectar la estética y el funcionamiento estructural de la losa.
5. En países con alto gradiente de humedad y térmico se recomienda la práctica de colocación de juntas con espaciamientos no mayores a 5 m, debido a que estos agentes afectan directamente la retracción del concreto. Espaciamientos mayores pueden provocar una abertura de junta mayor como consecuencia no se obtiene una adecuada transferencia de carga causando daños en los bordes

y esquinas de los paños, donde los esfuerzos provocados por el tráfico se intensifican.

6. Las fallas observadas en losas de HCP se atribuyen generalmente a prácticas constructivas inadecuadas como una compactación deficiente o pérdidas de humedad.
7. La diferencia en costos respecto al Hormigón Convencional puede atribuirse a las siguientes razones:
  - Los altos rendimientos que se pueden obtener con los equipos
  - La posibilidad de reducir la cantidad de cemento en la mezcla
  - La simplicidad del proceso
8. Las mejores características de desempeño son obtenidas cuando el concreto está libre de segregación bien adherido en las juntas constructivas y compactado lo más cercano a su máxima densidad.

En base a la investigación realizada en el tema y la observación del proceso constructivo en el caso práctico, exponemos las siguientes recomendaciones:

1. Para tráfico a velocidades bajas, el HCP muestra un desempeño sobresaliente logrando ahorros significativos respecto al hormigón convencional. Sin embargo,

la utilización del HCP en vías con tráfico a mayores velocidades implica la utilización de algún método de texturizado de superficie como FAST TRACK o capa de rodadura de concreto asfáltico.

2. En la etapa constructiva es esencial el buen funcionamiento de la maquinaria. En especial de la pavimentadora y rodillo, que son las que proporcionan al HCP la densidad necesaria para desarrollar sus propiedades mecánicas.

3. En el HCP, el curado tiene mayor importancia que en el hormigón hidráulico vibrado. Deficiencias en el curado frecuentemente resultan en superficies poco resistentes a la abrasión.

En el momento de la compactación se debe observar el comportamiento del Hormigón. Si el contenido de agua es mayor al requerido la deformación al compactarlo será excesiva. Al contrario, si el hormigón no posee suficiente humedad no quedará huella del paso del rodillo evidenciando resequedad y por consiguiente falta de compactación en la totalidad del espesor de la capa.

# **ANEXOS**



# Anexo 1

## Comparación económica entre una losa de hormigón convencional y una losa de HCP

Rubro: **Hormigón estructural Clase A,  $f_c=350$  kg/cm<sup>2</sup>**  
Unidad: m<sup>3</sup>

Factor K = 2,8571

<b>(1) EQUIPO</b>				
DESCRIPCION	CANTIDAD A	COSTO HORARIO B	COSTO TOTAL C = A*B	COSTO M3 D =C*K
VIBRADOR	1,000	2,500	2,500	7,143
CONCRETERA 1 SACO	0,500	3,130	1,565	4,471
<b>SUBTOTAL M</b>				<b>\$ 11,614</b>

<b>(2) MANO DE OBRA</b>				
DESCRIPCION	CANTIDAD A	COSTO HORARIO B	COSTO TOTAL C = A*B	COSTO M3 D =C*K
Constr. Cat. 3	1,000	2,130	2,130	6,086
Constr. Cat. 2	1,000	2,130	2,130	6,086
Constr. Cat. 1	3,000	2,130	6,390	18,257
<b>SUBTOTAL N</b>				<b>\$ 30,428</b>

<b>(3) MATERIALES</b>				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO
Cemento Tipo IP	kg	510,000	0,125	63,750
Material pétreo triturado hormigones	m <sup>3</sup>	0,900	11,340	10,206
Arena para hormigones de alta resistencia	m <sup>3</sup>	0,650	9,900	6,435
Agua en tanque	lt	200,000	0,002	0,400
Aditivo para hormigón	gl	0,600	5,290	3,174
<b>SUBTOTAL O</b>				<b>\$ 83,965</b>

<b>COSTO UNITARIO DIRECTO (M+N+O)</b>	<b>\$ 126,007</b>
---------------------------------------	-------------------

Rubro: **Hormigón Compactado con Pavimentadora, fc=350 kg/cm2**  
 Unidad: **m3**

Factor K = 2,4

<b>(1) EQUIPO</b>				
DESCRIPCION	CANTIDAD A	COSTO HORARIO B	COSTO TOTAL C = A*B	COSTO M3 D =C*K
PAVIMENTADORA	1,000	3,500	3,500	8,400
RODILLO	1,000	2,000	2,000	4,800
<b>SUBTOTAL M</b>				<b>\$ 13,200</b>

<b>(2) MANO DE OBRA</b>				
DESCRIPCION	CANTIDAD A	COSTO HORARIO B	COSTO TOTAL C = A*B	COSTO M3 D =C*K
Constr. Cat. 2	1,000	2,130	2,130	5,112
Constr. Cat. 1	3,000	2,130	6,390	15,336
<b>SUBTOTAL N</b>				<b>\$ 20,448</b>

<b>(3) MATERIALES</b>				
DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO
Cemento Tipo IP	kg	250,000	0,125	31,250
Material pétreo triturado hormigones	m3	0,985	11,340	11,170
Arena para hormigones de alta resistencia	m3	0,504	9,900	4,990
Agua en tanque	lt	144,300	0,002	0,289
Aditivo para hormigón	lt	2,500	0,450	1,125
<b>SUBTOTAL O</b>				<b>\$ 48,823</b>

<b>COSTO UNITARIO DIRECTO (M+N+O)</b>	<b>\$ 82,471</b>
---------------------------------------	------------------

## RESUMEN

TIPOS DE PAVIMENTO	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Suministro y Colocación de Ho. Convencional	m3	491	\$ 126,01	\$ 61.870,91
Suministro y Colocación de HCP	m3	491	\$ 82,47	\$ 40.492,77
<b>DIFERENCIA</b>				<b>\$ 21.378,14</b>

## Anexo 2

### Prueba de consistencia del Hormigón VeBe modificado (ACI 211.3)

Este método está basado en el análisis de la trabajabilidad de la mezcla para HCP, de tal manera que esta pueda ser lo suficientemente seca para soportar el peso del equipo de compactación, y lo suficientemente húmeda para permitir una adecuada distribución de la pasta en toda la mezcla durante las operaciones de mezclado y compactación.

El equipo de laboratorio utilizado para dicho análisis es el Consistómetro Vebe, el cual está compuesto por una mesa vibratoria de frecuencia y amplitud fija y contenedores metálicos de volumen conocido



Fotografía 1. Consistómetro Vebe, descrito en ACI 211.3.

El sistema consiste en medir el tiempo que tarda el volumen de hormigón en deformarse bajo la acción de un vibrador de 3000 c.p.m. con una aceleración máxima de 3 a 4 g.. La consistencia del hormigón se mide en segundos Vebe e indica el tiempo transcurrido desde que inicia la vibración.

## **Anexo 3**

### **Prueba de Compactación de suelos Proctor Modificado Método C**

**(ASTM D 1557)**

El ensayo Proctor modificado sirve para determinar el porcentaje de compactación y el contenido de agua necesarios para conseguir las propiedades requeridas, y para llevar el control durante la construcción que permita asegurar que alcanzan los parámetros de densidad requeridos.

Una vez determinado el contenido de humedad óptimo de la mezcla, se realizan variaciones en las proporciones de cemento, hasta seleccionar el contenido de cemento con el cual se alcance la resistencia requerida.

El procedimiento es el siguiente:

- Se coloca una muestra de Hormigón en un molde de dimensiones dadas en cinco capas. El molde requerido en el método C es de 15 cm de diámetro.
- Cada capa se compacta con 56 golpes de un martillo de 44,5 N (10 lb) que se deja caer desde una distancia de 457 mm (18´´)
- Se determina el peso unitario seco resultante.
- El procedimiento se repite para un número suficiente de muestras con diferentes contenidos de cemento para establecer una relación entre el contenido de agua

para el suelo y el peso unitario seco. Al graficar estos datos resulta una relación curvilínea conocida como la curva de compactación.

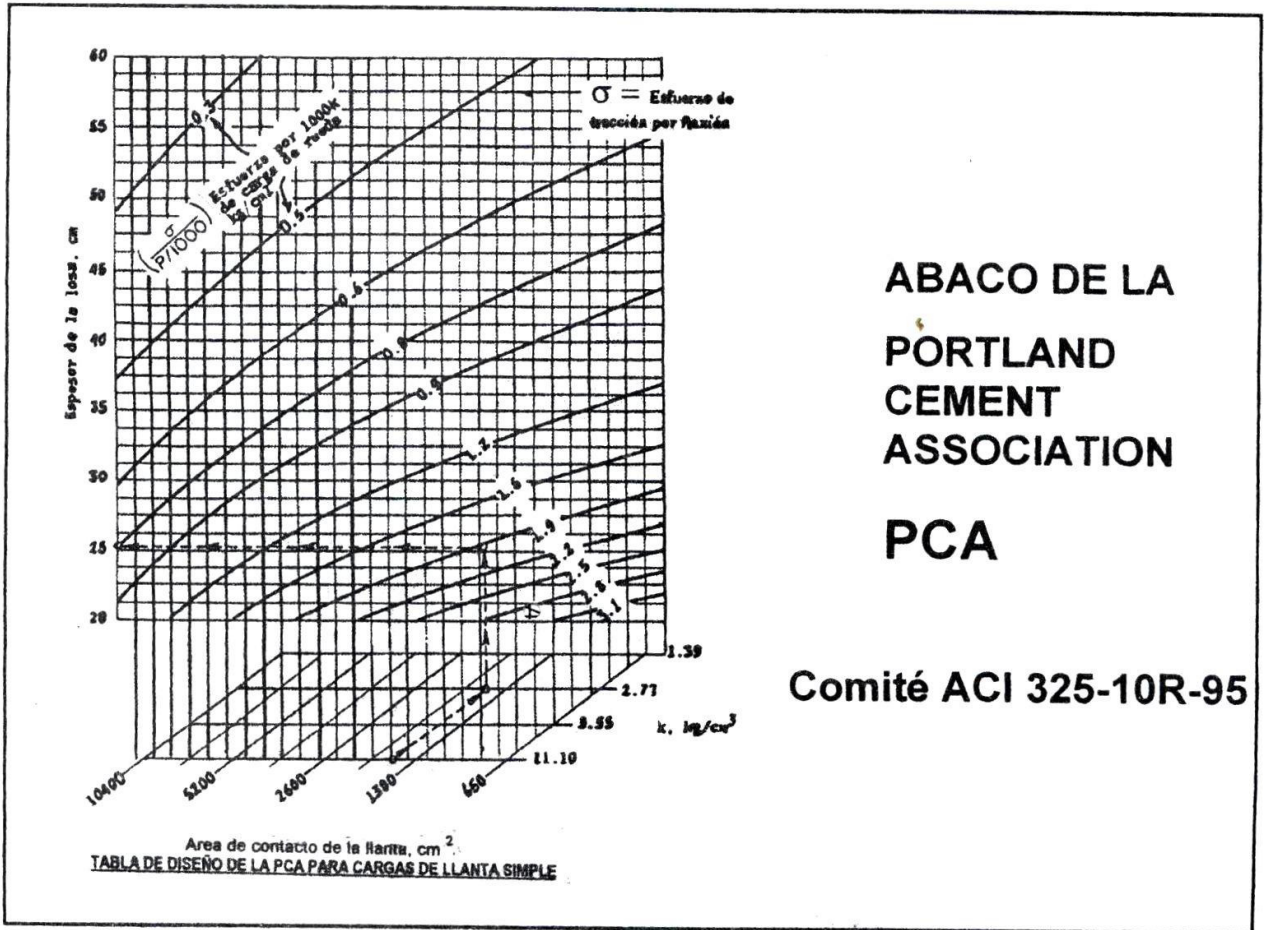
- Los valores del contenido óptimo de agua y el peso unitario seco máximo se determinan de la curva de compactación



Fotografía 2. Equipo para ensayo ASTM D 1557 (Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort).

# Anexo 4

## Ábacos de la Portland Cement Association

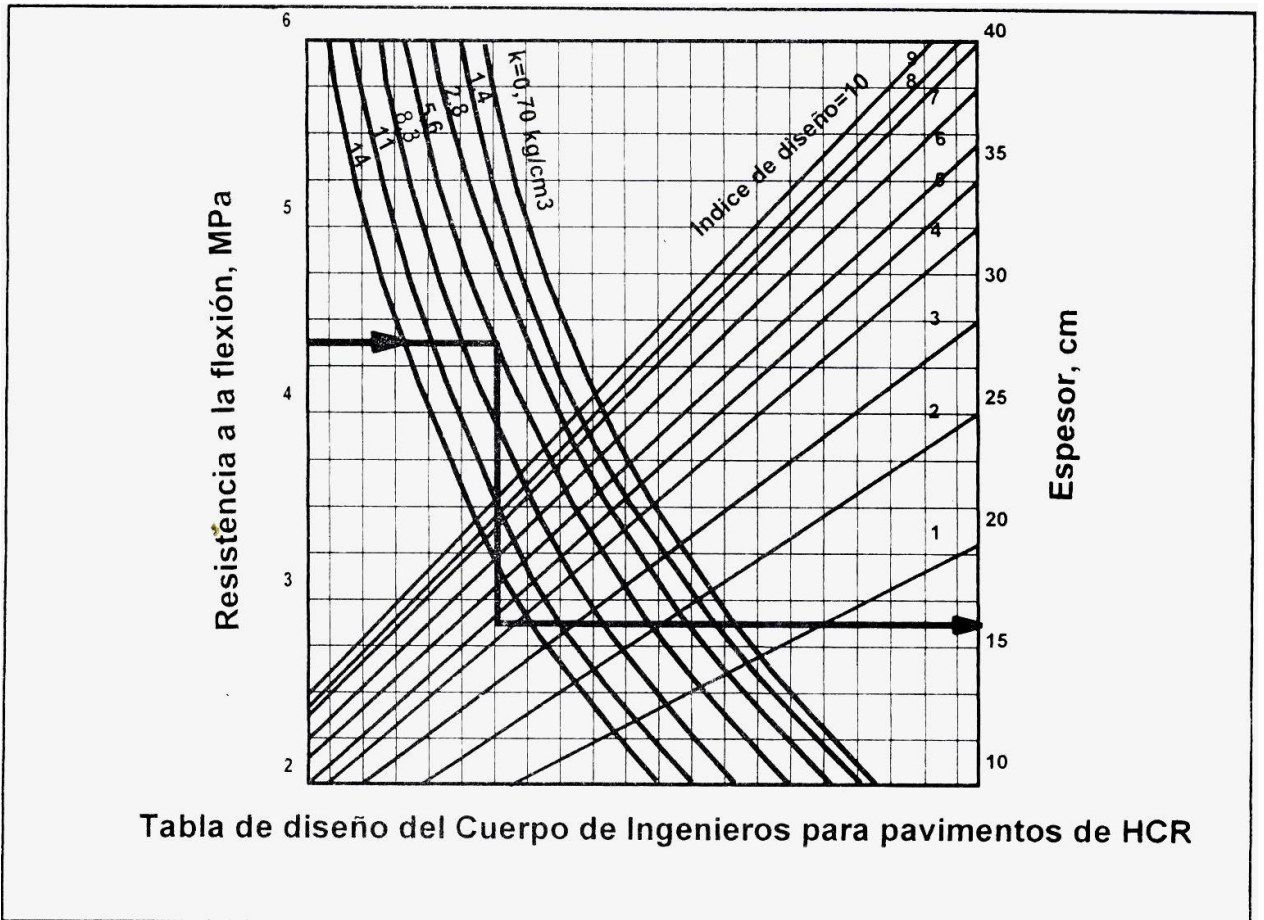


**ABACO DE LA  
 PORTLAND  
 CEMENT  
 ASSOCIATION  
 PCA**

**Comité ACI 325-10R-95**

# Anexo 5

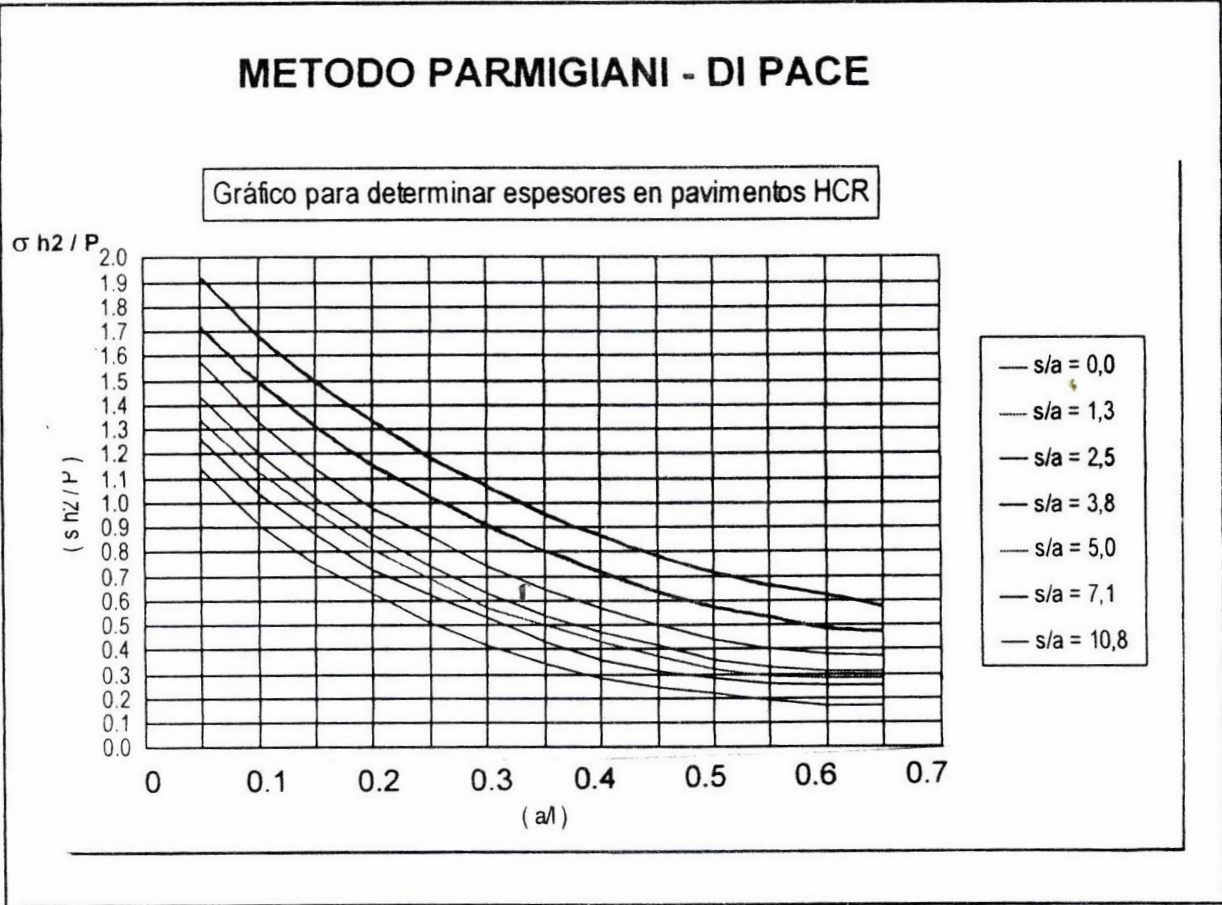
## Tabla de diseño del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos





# Anexo 6

Método de M. Parmigiani y G. Di Pace



## Anexo 7

**Resistencias equivalentes a Flexión, en base a ensayos a Tracción Indirecta de muestras cilíndricas de hormigón elaboradas en obra**

**ASTM C-496**

Elemento	Fecha	Resistencia a la tracción (MPa)					
		1 día		7 días		28 días	
		F. Rotura	Prom.	F. Rotura	Prom.	F. Rotura	Prom.
Av. Aguas	15-mar-10	16-mar-10	2,09	22-mar-10	3,31	12-abr-10	3,55
Av. Iglesia (carril derecho)	16-mar-10	17-mar-10	2,09	23-mar-10	2,71	13-abr-10	3,63
Av. Iglesia (carril derecho)	17-mar-10	18-mar-10	1,66	24-mar-10	--	14-abr-10	3,12
Av Iglesia (carril izquierdo)	18-mar-10	19-mar-10	2	25-mar-10	3.31	15-abr-10	3,83

Elemento	Fecha	Módulo de Rotura (MPa)					
		1 día		7 días		28 días	
		F. Rotura	Prom.	F. Rotura	Prom.	F. Rotura	Prom.
Av. Aguas	15-mar-10	16-mar-10	2,92	22-mar-10	4,64	12-abr-10	4,97
Av. Iglesia (carril derecho)	16-mar-10	17-mar-10	2,93	23-mar-10	3,79	13-abr-10	5,09
Av. Iglesia (carril derecho)	17-mar-10	18-mar-10	2,33	24-mar-10	--	14-abr-10	4,36
Av Iglesia (carril izquierdo)	18-mar-10	19-mar-10	2,80	25-mar-10	4,64	15-abr-10	5,36

## BIBLIOGRAFIA

1. CENTRO TÉCNICO DEL HORMIGÓN, Hormigón Compactado con Pavimentadora (HCP), Serie Monografías n. 013.
2. CENTRO TÉCNICO DEL HORMIGÓN, El Hormigón Compactado con Pavimentadora y el Fast Track, Serie Monografías n. 017.
3. ACI Compilation No. 8, Roller Compacted Concrete Pavement.
4. VELASCO CRISTIAN, Propiedades Mecánicas de un diseño de Hormigón Compactado con Pavimentadora y Fast Track trabajando en conjunto, Tesis ESPOL – FICT 2005
5. ASTM, Annual book of ASTM Standards, Section 4 Construction.
6. JOFRÉ CARLOS, The Use of roller Compacted Concrete for Roads.
7. Especificación MOP-001-F 2002, Secciones 405–9 “Pavimento de Hormigón Compactado con Pavimentadora (HCP)” y 403 “Sub-bases”.
8. D. PACE. GUILLERMO, Hormigón Compactado a Rodillo para Utilización Vial, INTI, Octubre 1989