



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN  
NICOLÁS DE HIDALGO**

---



**Facultad de Ingeniería Civil**

**Correlación entre el módulo de ruptura y la resistencia  
a la compresión del concreto hidráulico utilizado en la  
construcción del camino Viaducto a Jicalán-Jucutacato,  
en el municipio de Uruapan Mich.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO CIVIL

Presenta:

**César Augusto Zacarías Zepeda**

Asesor:

**Maestro en Administración Wilfrido Martínez Molina.**

Morelia, Michoacán, Julio de 2014.

## DEDICATORIAS.

A mi Padre, por todo el apoyo y las enseñanzas que me ha dado.

A mi Madre, por ser una parte muy importante en mi vida y que donde quiera que este, sé que hoy será un día de felicidad para ella, por lo mucho que me quiere.

A mis Hermanos, Migue, Endy, Kiki, Hugo, por siempre estar cerca de mi apoyándome, a Migue y Endy les agradezco por haberme enseñado el camino del estudio.

A mi esposa, Gracias Norma por tu apoyo, paciencia, amor y por haberme dado la dicha de ser Padre, TE AMO.

A mi hijo, por darme la fortaleza y vigor, para levantarme todos los días con la alegría de tenerlo a mi lado y verlo sonreír, Te amo Cesar Emiliano.

A mis Sobrinos, Leo, Isaac, Vicky, Vene, Grecia, Brian, Kevin, Huguito, por todo el cariño y lo feliz que me han hecho cada uno desde su llegada, a nuestra familia.

A mis Tíos, Leonardo, Teresa, Pablo, Adela, Lola, Felipe, por su gran apoyo en las diferentes etapas de mi carrera, siempre con cariño.

A mis Primos, Rafael, Alejandro, por el cariño que siempre me han demostrado y su apoyo incondicional.

A mi abuelita que fue una mujer muy importante en mi vida y en mi formación.

A mi ahijado Joaquín, por todo el apoyo que me ha dado, además de su valiosa amistad.

A mi cuñado, compadre y jefe, gracias Esteban por tu apoyo, confianza y aprendizajes.

A mis amigos, Juan Carlos Hernández, Arturo Guzmán Hernández por su amistad, aprecio y cariño.

Este trabajo que hoy culmina, está dedicado a todos ustedes, Muchas Gracias.

**INDICE.**

Abstract. - Resumen. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Antecedentes. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Introducción y objetivo. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	.
CAPITULO 1.- Situación anterior y justificación de la obra. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	9
1.1.- Entorno geográfico. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	9
1.2.- Macro y Micro localización. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	10
1.3.- Hidrografía y Clima. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	11
1.4.- Geología. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	12
1.5.- Actividades de la región. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	12
1.6.- Censos y datos estadísticos. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	13
1.7.- Situación anterior de la vía. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	13
CAPITULO 2.- Proyecto de modernización. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	15
2.1- Tipo de pavimentos. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	15
2.2- Pavimento rígido. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	15
2.2.1- Elementos que constituyen los pavimentos rígidos. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	16
2.2.2- Capa de sub-rasante. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	17
2.2.3- Capa de sub-base. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	17
2.2.4- Losas de concreto hidráulico. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	19
2.2.4.1- Tipos y principales características de los pavimentos rígidos de concreto hidráulico. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	19
2.3.- Pavimento flexibles. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	21
2.3.1- Resistencia estructural. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	22
2.3.2- La deformabilidad. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	22
2.3.3.- La durabilidad. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	23
2.3.4- El costo. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	23
2.3.5- La conservación. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	23
2.3.6- La comodidad. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	24
2.4.- Materiales utilizados en la obra. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	24
2.5.- Proyecto general. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	24
2.6.- Población beneficiada. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	25
CAPITULO 3.- Muestreo, procedimiento de prueba y ensaye de cilindros de concreto hidráulico. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	26
3.1.- Concreto Hidráulico. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	26
3.1.1- Cemento Portland. . . . .	.	.	.	.	.	.	.	.	26

3.1.2- Agua.	27
3.1.3- Agregado Grueso.	27
3.1.4- Agregado fino.	30
3.1.5- Aditivos.	32
3.1.6- Relación de agua / cemento.	32
3.1.7- Revenimiento.	32
3.1.8- Resistencia del concreto hidráulico.	33
3.2- Muestreo de concreto hidráulico.	33
3.2.1- Equipo y materiales.	33
3.2.2- Procedimiento para la obtención de las muestras.	34
3.2.3- Consideraciones según el tipo de muestreo.	35
3.2.4- Envase de las muestras de concreto fresco.	36
3.3- Muestreo del cilindros de concreto hidráulico.	36
3.3.1- Llenado de los moldes cilíndricos.	36
3.3.2- Identificación.	37
3.3.3- Transporte y almacenamiento.	37
3.4- Ensaye de revenimiento.	37
3.4.1- Objetivo.	37
3.4.2- Equipo.	37
3.4.3- Preparación de la muestra.	38
3.4.4- Procedimiento de la prueba.	38
3.4.5- Cálculos y resultados.	39
3.4.6- Precauciones.	39
3.5- Ensaye de cilindros de concreto hidráulico.	40
3.5.1- Objetivo.	40
3.5.2- Equipo.	40
3.5.3- Material para cabeceo.	41
3.5.4- Preparación de los especímenes cilíndricos.	42
3.5.5- Cabeceo de especímenes.	42
3.5.6- Procedimiento de la prueba.	43
3.5.7- Cálculos y resultados.	44
3.6- Informe fotográfico.	46
3.7- Resumen de trabajos realizados.	50

CAPITULO 4.- Muestreo, procedimiento de prueba y ensaye de vigas de concreto hidráulico.	53
4.1- Muestreo del vigas de concreto hidráulico.	53
4.1.1- Objetivo.	53
4.1.2.- Alcance.	53
4.1.3.- Equipo.	53
4.1.4.- Descripción.	53

4.1.5- Moldeo.	54
4.1.6- Compactación.	55
4.1.7- Acabado.	55
4.1.8- Transporte.	56
4.1.9- Almacenamiento y curado inicial.	56
4.2- Ensaye de vigas de concreto hidráulico.	56
4.2.1 Equipo..	56
4.2.2- Preparación del espécimen.	58
4.2.3- Muestreo.	58
4.2.4- Procedimiento de prueba.	58
4.2.5- Cálculos.	59
4.3- Informe fotográfico.	59
4.4- Resumen de trabajos realizados.	63
CAPITULO 5.- Correlación entre la resistencia a la compresión y el módulo de ruptura del concreto, utilizado en la obra.	66
5.1- Antecedentes teóricos.	66
5.1.2 - Análisis estadísticos de los resultados.	67
5.1.3- Carta de control.	68
5.2- Correlación de resultados.	68
5.3- Definición de la relación.	72
CAPITULO 6.- Especificaciones generales del proyecto.	73
6.1- Trazo y nivelación.	73
6.2- Despalme.	73
6.3- Excavación y compactación del terreno natural.	74
6.4- Conformación de la capa de terraplén.	74
6.5- Construcción de las obras de drenaje.	74
6.6- Conformación de la capa de sub-rasante.	75
6.7- Conformación de la capa de base hidráulica.	75
6.8- Colocación del riego de impregnación.	76
6.9- Construcción de las losas de concreto hidráulico.	76
CONCLUSIONES.	78
BIBLIOGRAFÍA.	80

**RESUMEN.**

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo determinar la correlación existente entre la Resistencia a la Compresión ( $f'c$ ) y el Modulo de Ruptura ( $Mr.$ ) del concreto hidráulico, utilizado en la construcción del pavimento rígido de la vialidad denominada "Viaducto a Jicalán – Jucutacato". Con los resultados obtenidos en los ensayos a compresión de los especímenes cilíndricos y ensayos a flexión de especímenes prismáticos de concreto hidráulico muestreados en obra bajo procedimientos basados en la normativa vigente, poder determinar mediante cálculos matemáticos la correlación existente entre estas dos propiedades mecánicas, la cual podrá servir de referencia para la obtención del Módulo de Ruptura, a partir de conocer el resultado de la Resistencia a la Compresión de cualquier concreto que sea elaborado con los mismos agregados que fueron utilizados en esta obra.

**PALABRAS CLAVE:** Concreto hidráulico, Módulo de ruptura, Correlación, Compresión, Flexión, Pavimento.

**ABSTRACT.**

This research aims to determine the correlation between Compressive Strength ( $f'c$ ) and Rupture Modulus ( $Mr.$ ) of hydraulic concrete used in construction of rigid pavement of roads called "Viaduct to Jicalán - Jucutacato". With the results obtained in the assays of the cylindrical compressive and flexural specimens assays prismatic specimens sampled hydraulic concrete work under current regulations based procedures, using mathematical calculations to determine the correlation between these two mechanical properties, which may serve as a reference for obtaining Modulus of Rupture, from the outcome of the Compressive Strength of any concrete that is made with the same aggregates were used in this work.

**KEYWORDS:** Hydraulic Concrete, Modulus of Rupture, Correlation, Compression, Pavement.

## ANTECEDENTES.

Uno de los principales signos de avance de las civilizaciones es la construcción de caminos, los cuales contribuyeron al crecimiento y desarrollo de las poblaciones, la comunicación que estos caminos representaban se convirtió en una parte fundamental en la búsqueda de alimentos, servicios y bienestar de las personas que formaban estas poblaciones.

Los pueblos mesopotámicos son unos de los primeros reconocidos como constructores de caminos; algunos otros que tienen este reconocimiento serían los chinos en Asia y los Incas en Sudamérica.

Los caminos más antiguos que aún se preservan son los caminos romanos, los cuales se construían principalmente a base de capas de roca; en lo que respecta a estos caminos se puede mencionar que la conservación y reparación de los mismos era responsabilidad únicamente de los pobladores que vivían al costado de la vía.

En el México antiguo, antes de la conquista española, los señoríos indígenas contaban con una red de senderos y veredas adecuados a sus necesidades, por los cuales transitaban sus mercancías.

En la actualidad no se entendería el desarrollo económico y social, sin la red carretera actual con la que se cuenta en el país. Aunque todavía se requiere realizar grandes inversiones en la construcción de más y mejores caminos, así como el mantenimiento y mejoramiento de la infraestructura carretera ya existente.

Por definición se dice que un pavimento es “la capa o conjunto de capas de materiales apropiados, comprendidos, entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento” (Rico, Del Castillo; 1996; 99). La función de un pavimento es la de conformar una superficie de rodamiento uniforme, resistente a los esfuerzos producidos por el tránsito de los vehículos, de textura y color apropiado, así como también debe ser resistente a los factores climatológicos, en especial de la temperatura y del agua. El pavimento tiene la función de hacer posible el tránsito de los vehículos con seguridad, comodidad, eficiencia y economía, en el plazo establecido en el proyecto.

En relación a los pavimentos podemos mencionar que están conformados por una estructura que consta de varias capas superpuestas, relativamente horizontales de varios centímetros de espesor, de diferentes materiales perfectamente compactados, de diferentes calidades, las cuales varían de menor a mayor espesor conforme se acercan a la carpeta de rodadura.

## INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO.

De una manera general se pueden considerar dos tipos de pavimentos los rígidos y los flexibles. Para poder definir y diferenciar los pavimentos, se tendrán en cuenta los materiales que lo constituyen, y de cómo distribuyen los esfuerzos y las deformaciones producidas por el tránsito de los vehículos, a las capas inferiores; sin embargo, una forma sencilla de clasificar al pavimento es mediante la superficie de rodamiento que se tiene, es decir, los pavimentos con superficie de rodamiento a base de una carpeta asfáltica se denominan flexibles, mientras que los pavimentos con superficie de rodamiento a base de losas de concreto hidráulico se denominan rígidos; estos últimos son los que se tratarán de manera más profunda en el presente trabajo de tesis.

Se analizará en particular el pavimento rígido, del cual se tratará de establecer una relación matemática que nos permita determinar la correlación existente entre el Módulo de Ruptura ( $M_r$ ) y la Resistencia a la Compresión ( $f'_c$ ), del concreto utilizado en la construcción de la vialidad antes mencionada.

El objetivo de este trabajo de investigación, es el de determinar la correlación existente entre la Resistencia a Compresión ( $f'_c$ ) y el Módulo de Ruptura ( $M_r$ ), mediante el muestreo y ensaye de especímenes cilíndricos y vigas rectangulares, elaborados con el concreto hidráulico utilizado en la construcción de la capa de rodamiento la vialidad en estudio. Con los resultados obtenidos en los ensayos y utilizando métodos estadísticos se buscará obtener una fórmula que nos permita utilizando esta correlación, determinar el Módulo de Ruptura a partir de la Resistencia a la Compresión, esta fórmula podrá ser utilizada para concretos elaborados específicamente con los materiales pétreos que se utilizaron en esta obra, los cuales se describirán más adelante.

### **Pregunta de investigación.**

¿Cuál es la expresión matemática que correlaciona la Resistencia a Compresión de cilindros de concreto hidráulico con el Módulo de Ruptura del concreto hidráulico, que se utilizó para la conformación de la capa de rodamiento del camino Viaducto a Jicalán - Jucutacato?

## **CAPÍTULO 1.**

### **SITUACION ANTERIOR Y JUSTIFICACION DE LA OBRA.**

En este capítulo, se presentará la ubicación general y específica, la geología general, las condiciones generales del tramo motivo de la presente investigación, así como los datos estadísticos de la población beneficiada con la obra en general.

#### **1.1.- Entorno geográfico.**

La presente investigación se desarrolla en el municipio de Uruapan, Michoacán, específicamente en la vialidad denominada “Camino Viaducto a Jicalán – Jucutacato”.

El estado de Michoacán de Ocampo se encuentra ubicado en el centro-este del territorio mexicano. Limita al Norte con los Estados de Guanajuato y Querétaro, al Este con el Estado de México, al Sur con Guerrero al Suroeste con el Océano Pacífico y el Noroeste con Colima y Jalisco; cuenta con una superficie de 58,585 km<sup>2</sup>, que representa el 3% de la superficie total del país, ocupando el lugar número 16 en extensión entre las 32 entidades federativas de México. Se encuentra ubicado entre las coordenadas 17° 55' y 20° 24' de latitud Norte, y las coordenadas 100° 04' y 103° 44' de longitud Oeste.



Imagen 1.1- Ubicación del estado de Michoacán dentro del país.

Fuente: <http://es.wikipedia.org>.

En lo que respecta a la ciudad de Uruapan, esta se localiza al Oeste del estado de Michoacán de Ocampo, en las coordenadas 19°25' de latitud Norte y 102°03' de longitud Oeste, a una altura de 1,620 metros sobre el nivel del mar. Limita al Norte con los municipios de Charapan, Paracho y Nahuatzen, al Este con Tingambato, Ziracuaretiro y Taretan, al Sur con Gabriel Zamora, y al Oeste con Nuevo Parangaricutiro, Peribán y Los Reyes. Su distancia a la capital del Estado, Morelia, es de 120 km.

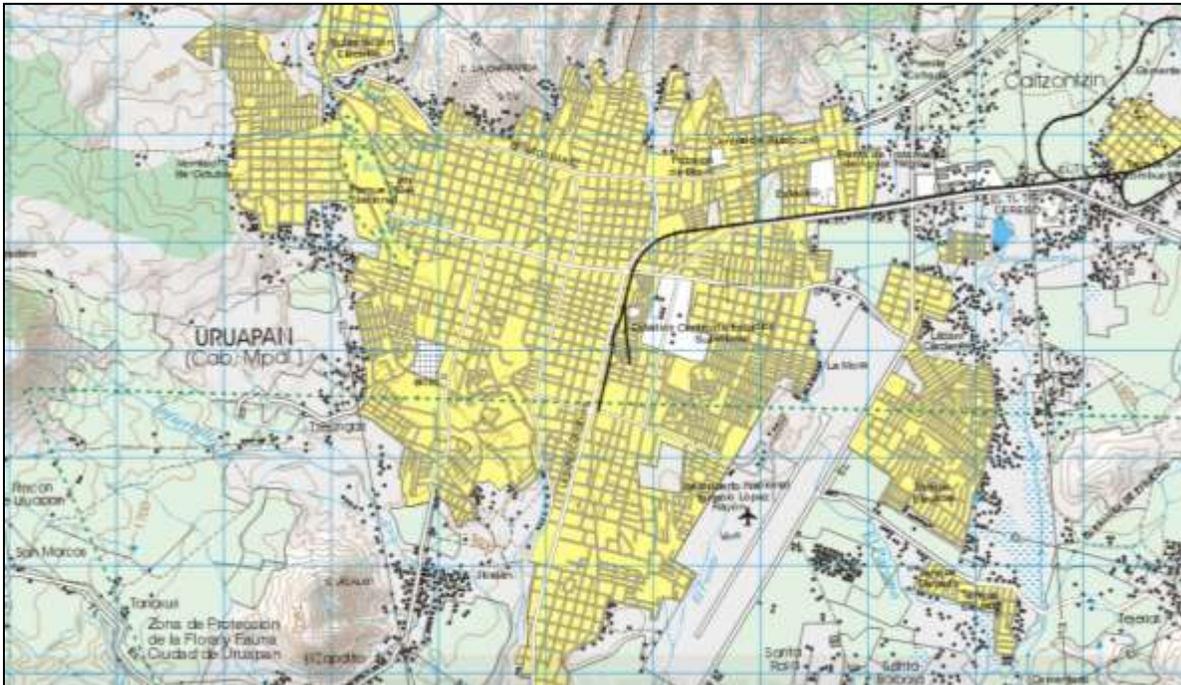


Imagen 1.2.- Ubicación de la ciudad de Uruapan, Michoacán.

Fuente: Carta topográfica E13B39, INEGI.

## 1.2.- Macro y Micro localización.

La ubicación geográfica del tramo en estudio queda comprendido en las coordenadas 19°22'46.16" de latitud Norte y 102° 04'08.03" de longitud Oeste, con una altitud de 1,616 metros sobre el nivel del mar y las coordenadas 19°22'51.30" de latitud Norte y 102° 04'39.95" de longitud Oeste, con una altura de 1,606 metros sobre el nivel del mar.

El tramo en estudio, corresponde a la vialidad urbana que comunica a la calle denominada Viaducto a Jicalán, con el acceso principal a la Población de Jucutacato, de ahí la denominación de "Camino Viaducto Jicalán – Jucutacato", el cual tiene una longitud total de 2.2 km.

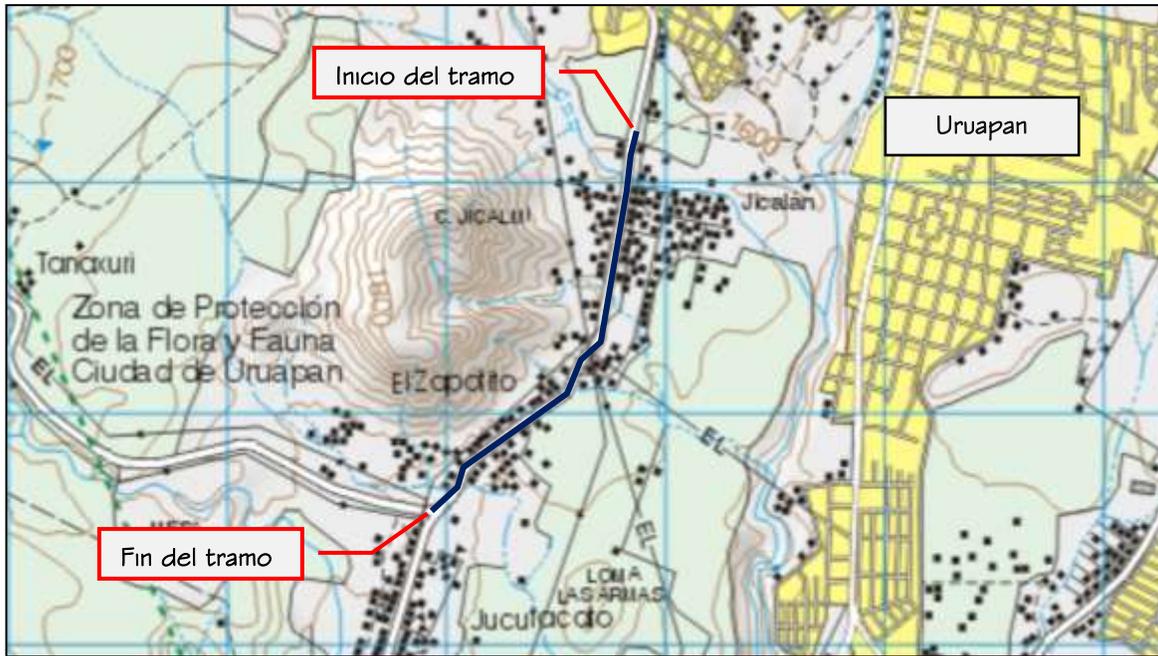


Imagen 1.3.- Ubicación del predio dentro de la ciudad de Uruapan, Michoacán.

Fuente: Carta topográfica E13B39, INEGI.

### 1.3.- Hidrografía y Clima.

El municipio de Uruapan se encuentra ubicado en la región hidrológica del río Balsas, dentro de la cuenca del Río Tepalcatepec – Infiernillo, sus principales afluentes son La presa de Caltzontzin, Salto escondido, la Tzaráracua y el Río Cupatitzio, con una precipitación pluvial media anual de 1,760 mm, según la base de datos del INEGI.

El clima, de acuerdo con el INEGI, se considera templado y tropical con lluvias en verano y templado subhúmedo con lluvias en verano, con temperaturas de van desde 12° C a 24°C.

**1.4.- Geología.**

La geología de la ciudad de Uruapan queda clasificada por el Servicio Geológico Mexicano (SGM), en la carta E13-3, TplQpt A-B, con suelos representados por andesitas y basaltos, de la era Cenozoica, periodo Cuaternario, y época Pleistoceno, así como suelos aluviales Qal, representados por tobas limo-arenosas que se localizan en gran parte de la ciudad.

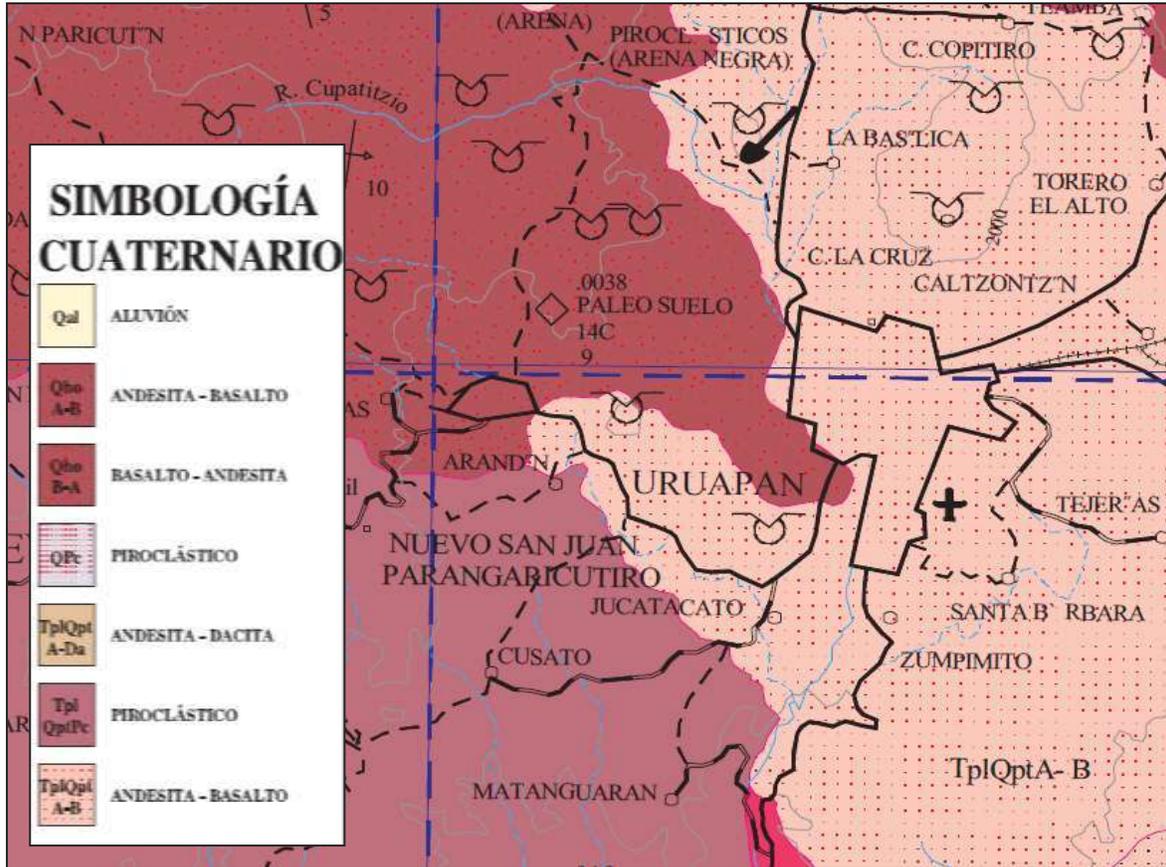


Imagen 1.4.- Geología general de la ciudad de Uruapan, Michoacán.

Fuente: Carta geológica E13-3, SGM

**1.5.- Actividades de la región.**

Las actividades principales de la región son la agricultura y el comercio, en lo que respecta a la agricultura la principal actividad es la producción y exportación de aguacate; por lo que debido al gran desarrollo que ha tenido esta actividad, ha sido necesario el tener vías de comunicación que disminuyan los costos en la transportación de los productos y su posterior comercialización.

## 1.6.- Censos y datos estadísticos.

De acuerdo con el estudio de anexos de la biodiversidad en Michoacán, el cual concentra los resultados de los censos realizados por el INEGI en los años 1980, 1990, 1995, 2000 y 2010, se tienen los siguientes datos:

	Año.				
	1980	1990	1995	2000	2010
<b>Población total</b>					
Uruapan	146998.00	217068.00	250794.00	265211.00	315350.00
Nuevo Parangaricutiro	10118.00	13265.00	14653.00	15129.00	18834.00
<b>Densidad de la Población.</b>					
Uruapan	177.00	261.40	302.10	319.42	311.30
Nuevo Parangaricutiro	23.50	30.80	34.00	35.13	80.10
<b>Población rural y urbana.</b>					
Uruapan (urbana)	85.70	92.90	92.40	92.27	83.85
Nuevo Parangaricutiro (urbana)	66.90	34.20	77.11	78.42	78.43
Uruapan (rural)	14.30	7.10	7.60	7.73	16.15
Nuevo Parangaricutiro (rural)	33.10	65.80	22.89	21.58	21.58

Fuente (INEGI)

Se incluyó en este concentrado, los datos referentes al municipio de Nuevo San Juan Parangaricutiro, ya que el tramo en estudio corresponde a la vía principal de comunicación entre el municipio de Uruapan y el municipio antes mencionado, por lo que se consideró importante mencionarlo.

## 1.7.- Situación anterior de la vía.

La vialidad en estudio antes de ejecutar el proyecto de modernización, estaba conformada por dos carriles con un ancho de calzada aproximado de 7m, a base de un pavimento flexible el cual tenía una edad de servicio de 20 años aproximadamente. En lo que respecta a la carpeta asfáltica o capa de rodadura, esta presentaba diferentes tipos de deterioro muy considerables, como son “piel de cocodrilo”, desprendimiento de agregado de agregado en las zonas marginales de la calzada, deformaciones permanentes y agrietamiento debido a fatiga. Todos los deterioros o fallas, mencionados fueron provocados principalmente por el incremento en el tránsito en esta vialidad, ya que es una de las principales vías de comunicación entre los productores de aguacate y los empaques comercializadores, adicionalmente a esto podemos mencionar también el incremento en el turismo religioso a la población de Nuevo San Juan Parangaricutiro. Considerando el aumento de tránsito, así como la saturación que se presentaba en horas pico, las autoridades municipales tomaron la decisión de realizar un proyecto de modernización de esta vialidad, con el objetivo de mejorar el aspecto visual y la funcionalidad de la vialidad.



Imagen 1.4.- Colocación de la cimbra sobre la capa de base, para recibir el concreto hidráulico.

Fuente: propia.



Imagen 1.5.- Tendido del concreto hidráulico.

Fuente: propia.

## **CAPÍTULO 2.**

### **PROYECTO DE MODERNIZACION.**

En este capítulo se mencionarán las características de los diferentes tipos de pavimento, sus definiciones y elementos que la integran, también se hará una descripción de la estructura de pavimento utilizada en específico para la construcción de la vialidad en estudio, así como también las características generales del proyecto.

#### **2.1- Tipo de pavimentos.**

El pavimento se puede definir como una estructura vial que hace posible el tránsito de vehículos con funciones, tales como seguridad, comodidad, eficiencia y economía. En general los pavimentos se dividen en dos tipos: los pavimentos rígidos o de concreto hidráulico los flexibles o de asfalto.

El autor E. Badillo (1995) menciona que los pavimentos rígidos están formados por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre una capa de material seleccionado (sub-base o base hidráulica) o directamente sobre una capa sub-rasante o terreno natural. Los concretos más usados son los de Resistencia a la Compresión de entre  $210 \text{ kgf/cm}^2$  y  $350 \text{ kgf/cm}^2$ , donde, la Resistencia a la compresión está referida a la edad 28 días, contados a partir de que fue colocado el concreto hidráulico. El IMCYC (2002), señala que los valores más comúnmente utilizados para el diseño de pavimentos rígidos varían entre  $35 \text{ kgf/cm}^2$  a  $50 \text{ kgf/cm}^2$ , estos valores están referidos a la Resistencia a Flexión o Modulo de Ruptura del concreto hidráulico. Los pavimentos flexibles están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas de material seleccionado, capas no rígidas, denominadas base y sub-base, de las cuales la calidad de cada una de ellas va en descenso conforme se van alejando de la superficie de rodamiento. Los pavimentos flexibles son utilizados principalmente en carreteras, mientras que los pavimentos rígidos se construyen en vialidades urbanas.

#### **2.2- Pavimento rígido.**

El pavimento rígido, está constituido por una losa de concreto hidráulico relativamente delgada, apoyada sobre una sub-base y/o en ocasiones sobre la capa sub-rasante directamente, esto depende principalmente de la calidad de estas condiciones de tránsito. Debido a que el módulo de elasticidad del concreto es mucho mayor al módulo de elasticidad de los materiales que le sirven de apoyo, la capacidad de carga del pavimento, en su mayor parte, depende de las propiedades mecánicas de las losas de concreto hidráulico, mismas que deben resistir adicionalmente a los esfuerzos producidos por el tránsito, los producidos

por cambios de temperatura y humedad del medio ambiente, así como los cambios volumétricos del material que le sirve de apoyo; las características estructurales de las losas de concreto hidráulico, dependen de su espesor y de la calidad del concreto utilizado en su conformación, en donde interviene la resistencia a la tensión, sin dejar de considerar también la resistencia al desgaste.

Otro factor importante para este tipo de pavimento, son las juntas que dividen a las losas de concreto hidráulico, puesto que del diseño y construcción adecuado de las mismas, dependerá la buena distribución de carga entre losas y la calidad de la superficie de rodamiento, así como su desempeño durante su vida útil. Este tipo de pavimento debe de satisfacer ciertas funciones, tales como son:

- Resistencia al derrapamiento en todo tiempo.
- Regularidad superficial longitudinal y transversal.
- Rápida eliminación del agua superficial.
- Nivel de desgaste bajo para las llantas de los vehículos.
- Capacidad para soportar las cargas.
- Bajo nivel de desgaste de las llantas.
- Bajo nivel de ruido, tanto para el usuario, como para el entorno.
- Buena apariencia.

### 2.2.1- Elementos que constituyen los pavimentos rígidos.

Como estructura general de este tipo de pavimento para carreteras, a reserva del diseño específico para cada caso particular, los elementos que integran una estructura de pavimento rígido son los siguientes: la capa subrasante, la capa de sub-base y las losas de concreto hidráulico, como se muestra en la siguientes figura.

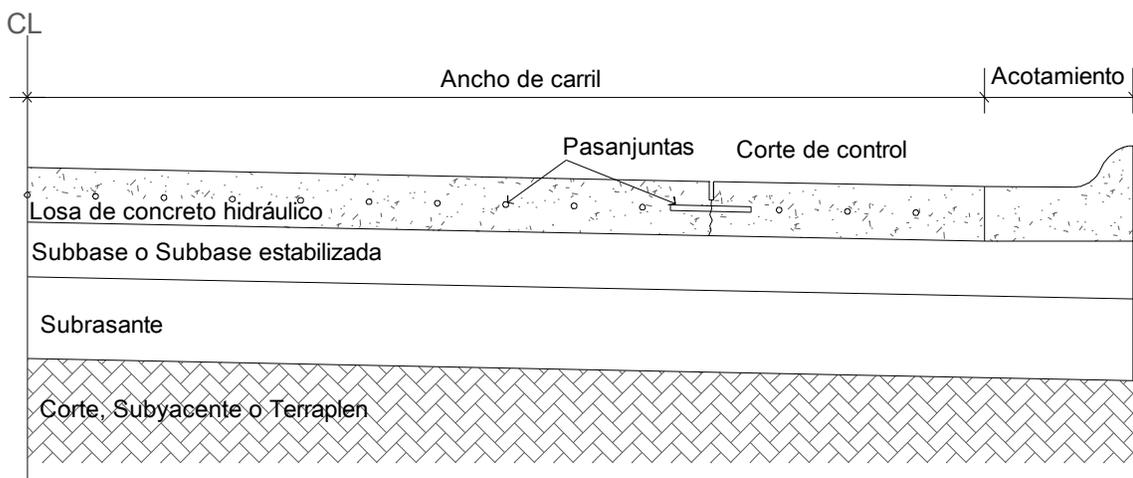


Imagen 2.1- Sección transversal de una estructura típica de pavimento rígido.

Fuente: IMCYC, 2002, I-5.

### 2.2.2- Capa subrasante.

Constituye la capa superior de una terracería, por encima de los cortes, la capa subyacente o los cuerpos de terraplén. Esta capa puede estar formada por el mismo terreno natural compactado adecuadamente, siempre y cuando el terreno natural cumpla con las características especificadas en la normativa para este tipo de capas; si el terreno natural no cumple con lo anterior, se puede conformar esta capa por agregados naturales procedentes de un banco de materiales. Esta capa constituye además el apoyo del pavimento, por lo que debe de resistir los esfuerzos que se le transmitan, aun en condiciones de humedad excesiva. En la siguiente imagen se muestran los parámetros mínimos con los cuales deberá cumplir el material para ser utilizado en la conformación de este tipo de capas, según la norma SCT N-CMT-1-03/02.

<b>Características</b>	<b>Valor</b>
Tamaño máximo (mm).	76
Límite Líquido, máximo (%) .	40
Índice Plástico, máximo (%).	12
Valor Soporte de California (CBR), mínimo (%).	20
Expansión, máxima (%).	2
Grado de compactación, mínimo (%).	100 ± 2

Imagen 2.2- Parámetros mínimos para materiales utilizados en la capa de Subrasante.

Fuente: norma SCT N-CMT-1-03/02.

### 2.2.3- Capa de subbase.

La capa de sub-base tiene como función principal la de controlar los cambios volumétricos de la capa sub-rasante e incrementar su módulo de reacción. Sirve también para tener una superficie uniforme durante la construcción del pavimento, por lo que esta uniformidad nos garantiza el adecuado soporte de las losas de concreto hidráulico.

Los materiales utilizados generalmente para la conformación de esta capa, son materiales granulares no cementados, seleccionados de bancos de material, los cuales pueden ser estabilizados o no dependiendo de los requerimientos de la intensidad del tránsito; Otra función importante de la capa de subbase, es la de evitar la evacuación de material fino a través de las juntas y grietas, al paso de los vehículos pesados.

En ocasiones, a esta capa se le denomina capa de base, por estar inmediatamente por debajo de la capa de rodamiento de concreto hidráulico, sin embargo, el material utilizado para la conformación de esta capa no cumple regularmente con los estrictos requerimientos de calidad para la conformación de una capa de base hidráulica, en un pavimento flexible.

Los requisitos que debe de cumplir el material utilizado para la conformación de una capa de subbase se establecen en la norma SCT N-CMT-4-02-001/11, los cuales se muestra en las siguientes imágenes.

Malla		Porcentaje que pasa.	
Abertura (mm).	Designación.	ejes equivalentes $\leq 10^6$	ejes equivalentes $> 10^6$
75.000	3"	100	100
50.000	2"	85-100	85-100
37.500	1 1/2"	75-100	75-100
25.000	1"	62-100	62-100
19.000	3/4"	54-100	54-100
9.500	3/8"	40-100	40-100
4.750	No. 4	30-100	30-80
2.000	No. 10	21-100	21-60
0.850	No. 20	13-92	13-45
0.425	No. 40	8-75	8-33
0.250	No. 60	5-60	5-26
0.150	No. 100	3-45	3-20
0.075	No. 200	0-25	0-15

Imagen 2.3- Requisitos granulométricos para la capa de sub-base.

Fuente: norma SCT N-CMT-4-02-001/11.

Características	Valor (%)	
	ejes equivalentes $\leq 10^6$	ejes equivalentes $> 10^6$
Límite Líquido, máximo (%) .	30	25
Índice Plástico, máximo (%).	10	6
Valor Soporte de California (CBR), mínimo (%).	50	60
Equivalente de arena, mínimo (%).	30	40
Desgaste de los ángeles, máximo (%) .	50	40
Grado de compactación, mínimo (%).	100	100

Imagen 2.4- Especificaciones capa de Sub-base.

Fuente: norma SCT N-CMT-4-02-001/11.

## 2.2.4- Losas de concreto hidráulico.

Las losas de concreto hidráulico, representan la capa de rodamiento para los pavimentos rígidos, estas deben ser capaces de resistir los esfuerzos producidos por el tránsito, los cambios climáticos y el intemperismo; son también las encargadas de proporcionar a los vehículos una superficie de rodamiento segura, cómoda y con características permanentes durante toda su vida útil, de manera que su conservación sea esporádica y de bajo costo.

En algunos casos, según el diseño de las losas de concreto, se colocan pasajuntas generalmente de acero, en sentido transversal y longitudinal, las cuales permiten Para esta capa, y en base a su diseño, se pueden encontrar las pasajuntas, las cuales pueden ser tanto horizontales como transversales, estos elementos nos permiten tener una buena transmisión de las cargas entre losa y losa al paso de los vehículos.

### 2.2.4.1- Tipos y principales características de los pavimentos rígidos de concreto hidráulico.

En los pavimentos rígidos las losas de concreto hidráulico constituyen los elementos de mayor responsabilidad estructural, mientras que las capas inferiores, aseguran el apoyo uniforme y estable del pavimento. Los espesores de las losas en los pavimentos rígidos pueden variar desde los 15 cm para vialidades con tránsitos ligeros, hasta llegar al orden de 40 cm en los casos de autopistas y carreteras de alto tránsito pesado. Debido a los esfuerzos a los que está sometido un pavimento, se requiere utilizar en la construcción de los mismos concretos homogéneos y de alta calidad, con Resistencias a la Flexión ( $M_r$ ) que van de los 35 kgf/cm<sup>2</sup> a los 50 kgf/cm<sup>2</sup>.

Los pavimentos de concreto hidráulico, generalmente se dividen en los siguientes tipos:

➤ **Losas de concreto simple vibrado.**

Este tipo de pavimentos son los más comunes; están realizados a base de concreto hidráulico vibrado en masa, las cuales forman losas rectangulares que se dividen mediante juntas longitudinales y transversales, formando generalmente cuadrados con relaciones largo/ancho de entre 1.00 y 1.25, en el caso de superficies de anchos irregulares las formas de las losas adoptan formas regulares evitando en lo posible formas con ángulos agudos.

➤ **Losas de concreto reforzado.**

Este tipo de losas están conformadas por concreto hidráulico y acero de refuerzo, este refuerzo puede ser a base de malla electrosoldada o armados de varilla corrugada; dicho armado se coloca de preferencia en el tercio superior del espesor de la losa, este refuerzo de acero se coloca con la finalidad de mantener al mínimo las fisuras transversales que irremediablemente aparecen en el caso de las losas largas. Con este refuerzo se disminuyen las juntas en las losas, reduciendo su número y las complicaciones que éstas por su naturaleza puedan ocasionar. La cantidad de acero de refuerzo es proporcional a la longitud de las losas, siendo en general de 2 a 3 kgf/m<sup>2</sup> para losas de 8.0 m a 15.0 m de largo y no es suficiente para reducir el espesor de las losas. IMCYC (2002).

➤ **Losas de concreto compactado con rodillo.**

Este tipo de losas se construyen con un concreto hidráulico pobre con un bajo contenido de agua en la mezcla, para su elaboración. En este tipo de losas la mezcla de concreto hidráulico se coloca con extendedoras de concreto asfáltico, para posteriormente compactarse, utilizando rodillos vibratorios y neumáticos.

El curado es de vital importancia en la construcción de estos pavimentos, debido a que la relación agua-cemento es muy baja en la etapa inicial de mezclado significa que el concreto se seca rápidamente después de su colocación, por lo que se recomienda utilizar un curado continuo con agua. En algunos proyectos realizados con este tipo de concreto, se utilizan resistencias a compresión de diseño de cerca de 350 Kgf/cm<sup>2</sup> o 35 MPa. Este concreto presenta la ventaja de que una vez terminado el proceso de compactación, puede ser abierto a la circulación, cabe mencionar que debido al proceso constructivo de este tipo de pavimentos, la superficie presenta deformaciones, por lo que no se recomienda utilizarlos en la construcción de carreteras de altas especificaciones. Para carreteras principales se recomienda realizar juntas transversales a intervalos de entre 6.0 m a 7.0 m.

### 2.3.- Pavimento flexibles.

Un pavimento flexible es un conjunto de capas (subbase, base y carpeta asfáltica), comprendidas entre el nivel superior de las terracerías y la superficie de rodamiento, las cuales están constituidas por materiales con una resistencia a la deformación decreciente, de tal manera que las cargas que se apliquen en el no provoquen deformaciones permanentes y perjudiciales en la subrasante sobre la cual está colocado. Las funciones principales de un pavimento de este tipo son principalmente las de proporcionar una superficie de rodamiento uniforme, de color y textura apropiada, resistente a la acción del tránsito, a la del intemperismo. Proporcionando además al usuario, seguridad, comodidad y economía.

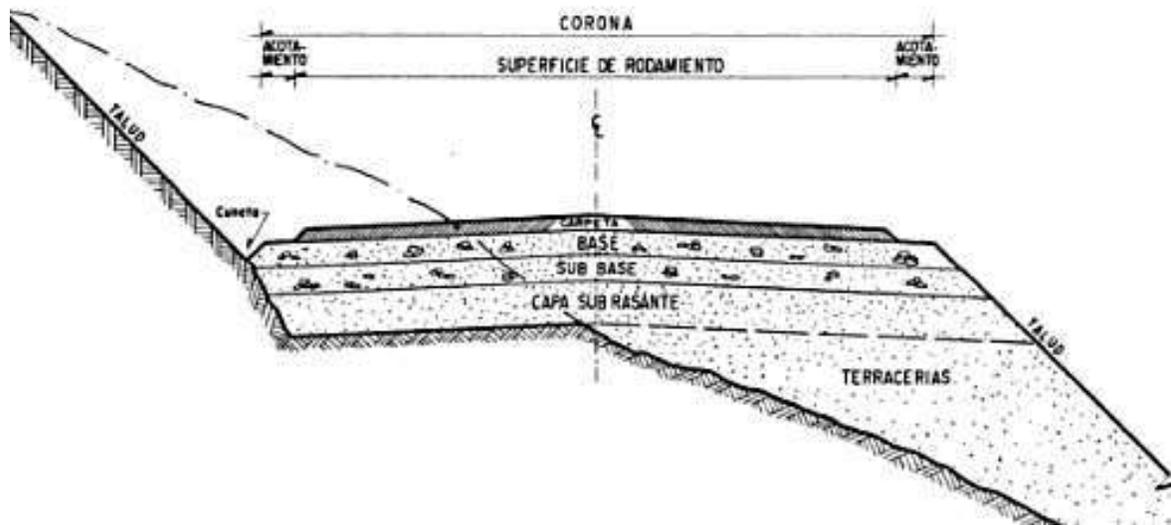


Imagen 2.5.- Sección típica de un pavimento flexible.

Fuente: Rico y del Castillo, 2001, 107.

La estructura de este tipo de pavimentos, así como las características de los materiales empleados para su construcción, ofrece una gran variedad de posibilidades para su construcción, ya que pueden estar conformados según el diseño de proyecto, por una sola capa o varias de ellas. Los materiales para la conformación de estas capas pueden ser los materiales en breña de los bancos de explotación, o materiales sometidos previamente a procesos de cribado o trituración.

Las características fundamentales que debe presentar un pavimento flexible, considerando éste como un conjunto son:

- Resistencia estructural.
- Resistencia a las deformaciones.
- Durabilidad de la estructura.
- Adecuado costo.
- Baja a media conservación.
- Comodidad al usuario

### **2.3.1- Resistencia estructural.**

Característica enfocada a la Resistencia de la estructura para soportar las cargas producidas por el tránsito de los vehículos, dentro de un nivel bajo a medio de deterioro, el cual debe ser considerado el diseño de proyecto. En el estudio de los pavimentos flexibles se considera que la principal causa de falla de una estructura es debida al esfuerzo cortante que actúan sobre ella, por lo cual, el estudio de la Resistencia al esfuerzo cortante de los suelos que sirven de cimentación a la estructura del pavimento resulta por demás importante; así mismo, existen los esfuerzos producidos por la aceleración y frenado de los vehículos, así como también los esfuerzos de tensión que se desarrollan en los niveles superiores de la estructura, a cierta distancia del área cargada.

Debido a de que las cargas aplicadas sean repetitivas al paso del tiempo afecta la resistencia relativa rigidez de las capas relativa rigidez que integran el pavimento, este efecto se presenta principalmente en la carpeta asfáltica así como también en las bases estabilizadas, produciéndose el fenómeno de fatiga. La repetición de las cargas produce también una Ruptura en las partículas granulares, lo que provoca la modificación de sus características, así como también su Resistencia, lo cual es muy difícil de cuantificar.

### **2.3.2- La Deformabilidad.**

La deformabilidad tiende a producirse de manera más significativa en las capas inferiores del pavimento, como ejemplo de lo anterior podemos mencionar que la terracería por su naturaleza es comúnmente más deformable que la estructura de pavimento.

De acuerdo con Rico y Del castillo (1996), en los pavimentos las deformaciones son de interés, en primer lugar, debido a que las deformaciones excesivas están asociadas a estados de falla, y en segundo lugar, porque un

pavimento deformado deja de cumplir con sus funciones, independientemente de que las deformaciones no hayan conducido a un colapso estructural.

Existen varias clases de deformaciones producidas por las cargas de tránsito, las deformaciones elásticas que son las que se pueden recuperar instantáneamente, y las deformaciones plásticas, las cuales permanecen en el pavimento después de concluir la causa deformadora.

Las deformaciones elásticas repetidas tienen sus principales efectos en los materiales susceptibles a la tensión, colocados en las capas superiores del pavimento (carpeta y bases estabilizadas), en los que puede llegar a generarse falla por fatiga.

La deformación plástica bajo carga móvil y repetida, tiende a ser acumulativa y puede llegar a alcanzar valores inadmisibles, que se consideren como fallas estructurales, este tipo de deformaciones viene acompañado de una densificación de los materiales, de tal manera que un pavimento fatigado puede ser más resistente que el pavimento inicial.

### **2.3.3.- La durabilidad.**

Esta característica es la que genera una mayor incertidumbre, ya que está ligada a factores económicos y sociales del camino, puesto que la obra dependerá del planteamiento de que saldría más caro: si tener un pavimento durable a las condiciones iniciales o las conservaciones que se deberán de realizar durante su vida útil.

### **2.3.4- El costo.**

El pavimento debe representar un balance entre la satisfacción de los requisitos de Resistencia, estabilidad y costo, considerando un diseño de pavimento adecuado que permita satisfacer los requisitos de servicio a un menor costo.

Esta característica toma su importancia desde la elección del tipo de pavimento, las condiciones de operación, las condiciones ambientales, la calidad de los materiales, los costos de mantenimiento, etc.

### **2.3.5- La conservación.**

Los factores que se deben tomar en cuenta, varían desde los factores climáticos que influyen decisivamente en la vida de los pavimentos, la intensidad del tránsito y el crecimiento del mismo, el comportamiento general de las terracerías, las condiciones de drenaje y subdrenaje, así como la degradación

estructural de los materiales, sin olvidar la falta de una conservación sistemática que conlleva a una menor vida útil de los pavimentos.

### **2.3.6- La comodidad.**

De acuerdo con Rico y Del castillo (1996), la comodidad es una característica fundamental de un pavimento; dentro de los aspectos más importantes de este concepto tenemos el de la seguridad del usuario, la estética que influye en las reacciones psicológicas del conductor. Todo esto para permitir que el usuario pueda transitar a la velocidad segura y constante, a la velocidad de proyecto.

### **2.4.- Materiales utilizados en la obra.**

En lo que respecta a la estructura de pavimento, se utilizó material producto de trituración de roca sana y granulometría controlada, para la conformación de la capa de base hidráulica. El material del cual se suministró el material es el denominado San Francisco, el cual se encuentra ubicado en la carretera Uruapan-Pátzcuaro, en este municipio de Uruapan, Michoacán.

Para la elaboración del concreto hidráulico, se utilizó grava producto de trituración de roca sana de granulometría controlada y tamaño máximo de 20 mm (3/4”), en lo que respecta a la arena, se utilizó la del banco de la comunidad indígena de Paracho, Michoacán, esta es una arena volcánica sometida a un proceso de cribado en el banco. Estos materiales son una parte fundamental del presente trabajo de investigación, ya que los resultados obtenidos, estarán referenciados específicamente a concreto hidráulico elaborado con estos dos materiales, provenientes de los bancos mencionados. La empresa responsable de la elaboración del concreto, fue la empresa Concretos premezclados CEMEX, planta Uruapan.

### **2.5.- Proyecto general.**

El proyecto de modernización proyectado para la vialidad denominada “Viaducto a Jicalán – Jucutacato”, la cual tiene una longitud de 2.20 km. iniciando la esquina que forman las calles Viaducto a Jicalán y Cupatitzio, coordenadas 19°22’46.16” de latitud Norte y 102° 04’08.03” de longitud Oeste y termina en el acceso principal a la población de Jucutacato, en las coordenadas 19°22’51.30” de latitud Norte y 102° 04’39.95” de longitud Oeste. El proyecto de modernización tiene como objetivo mejorar la vialidad en apariencia y estructuralmente en lo que respecta al pavimento.

El proyecto geométrico marca ocho curvas horizontales con grados de curvatura que van desde los 3° a los 8°, se tienen pendientes longitudinales de entre 0.5% y 4.9%, en general de forma descendentes conforme al cadenamiento, se tienen 8 intersecciones con vialidades secundarias (calles) de la población de Jicalán, así como un acceso a una estación de servicio que se localiza al costado de la vialidad, así mismo se tienen dos obras de drenaje que se tomaron en cuenta, la sección tipo de proyecto consta de dos carriles de 6.0 m de ancho cada uno, más una franja central de camellón de 1.30 m, en lo que respecta a la estructura de pavimento rígido se especifica una losa de concreto hidráulico sin pasajuntas con espesor de 15 cm, colocada sobre una capa de base hidráulica con espesor de 20 cm en toda el área donde se tiene carpeta asfáltica, esta capa se conformará en base a un material triturado 100% o a una mezcla de este material con el producto de la recuperación de la carpeta asfáltica actual en la vía.

## **2.6.- Población beneficiada.**

La población beneficiada con la modernización de la vía, en general es la de la región de Uruapan y sus municipios aledaños, principalmente los usuarios de la vía que son los pobladores de la zona sur de la ciudad de Uruapan, los pobladores de Jicalán, Jucutacato, también los visitantes de la Población de San Juan Nuevo, Tancítaro y todos los usuarios de las rancherías y pequeños asentamientos ubicados en las zonas cercanas; se estaría hablando de una población directamente beneficiada de 36 500 habitantes, INEGI (2010).

### CAPÍTULO 3.

## MUESTREO, PROCEDIMIENTO DE PRUEBA Y ENSAYE DE CILINDROS DE CONCRETO HIDRÁULICO.

En este capítulo se mencionará el muestreo, los procedimientos de prueba y ensayo realizados a los especímenes cilíndricos de concreto hidráulico, obtenidos para la determinación de la Resistencia a la Compresión del concreto hidráulico utilizado en la construcción de la obra, así como los resultados obtenidos de los ensayos realizados en el laboratorio.

### 3.1.- Concreto Hidráulico.

El concepto de “concreto hidráulico”, se define como el material pétreo artificial, elaborado al mezclar agua, cemento Portland, y agregados pétreos, en proporciones tales que se produzca la Resistencia y la densidad deseada.

A continuación se mencionan algunos de los elementos que lo integran y su función o efecto dentro de la mezcla de concreto hidráulico.

#### 3.1.1- Cemento Portland.

Según la norma NMX-C-414-ONNCCE-2004, el cemento hidráulico es un material inorgánico finamente pulverizado, que al agregarle agua ya sea solo o mezclado con algún otro material granular, tiene la propiedad de fraguar y endurecer, incluso bajo el agua, en virtud de las reacciones químicas que se producen durante el proceso de hidratación, otra característica es que una vez endurecido conserva su Resistencia y estabilidad.

La clasificación general de los cementos se muestra en la siguiente figura:

TIPO	DENOMINACION	CLASE RESISTENTE	CARACTERISTICAS ESPECIALES
CPO	CEMENTO PORTLAND ORDINARIO	20	RS
CPP	CEMENTO PORTLAND PUZOLANICO		RESISTENTE A LOS SULFATOS
CPEG	CEMENTO PORTLAND CON ESCORIA GRANULADA DE ALTO HORNO	30	BRA
CPC	CEMENTO PORTLAND COMPUESTO	30R	BAJA REACTIVIDAD ALCALIS - AGREGADO
CPS	CEMENTO PORTLAND CON HUMO DE SILICE	40	BCH
CEG	CEMENTO CON ESCORIA GRANULADA DE ALTO HORNO	40R	BAJO CALOR DE HIDRATACION B

Imagen 3.1.- Clasificación general del cemento.

Fuente: Norma NMX-C-414-ONNCCE-2004.

Entre los cementos adicionados, los cuales se producen por la molienda uniforme y conjunta o por la mezcla de dos o más tipos de materiales finos. Los materiales principales son cemento Portland, escoria granulada de alto horno, ceniza volante, humo de sílice, arcilla calcinada. En la siguiente imagen se muestran especificaciones y tolerancias para este tipo de cementos.

ESPECIFICACIONES Y TOLERANCIAS.								
COMPONENTES	TIPO	DENOMINACION	COMPONENTES (% EN MASA)					MINORITARIOS
			PRINCIPALES					
			CLINKER PORTLAND + YESO	ESCORIA GRANULADA DE ALTO HORNO	MATERIAL PUZOLANICO	HUMO DE SILICE	CALIZA	
	CPO	CEMENTO PORTLAND ORDINARIO	95 -100	-	-	-	-	0 - 5
	CPEG	CEMENTO PORTLAND CON ESCORIA GRANULADA DE ALTO HORNO	40 - 94	6 -60	-	-	-	0 - 5
	CPC	CEMENTO PORTLAND COMPUESTO	50 - 94	6 - 35	6 - 35	1 - 10	6 - 35	0 - 5
	CEG	CEMENTO CON ESCORIA GRANULADA DE ALTO HORNO	20 - 39	61 - 80	-	-	-	0 - 5

Imagen 3.2.- Componentes del cemento.

Fuente: Norma NMX-C-414-ONNCCE-2004.

### 3.1.2- Agua.

La calidad de este elemento es fundamental en la hidratación del cemento Portland, el agua utilizada para la elaboración de una buena mezcla de concreto hidráulico no debe contener impurezas, ya que estas puede producir un retraso en el fraguado y afectar la Resistencia de la mezcla, los límites permitidos y la calidad que debe de presentar el agua para ser utilizada en la elaboración de concreto hidráulico, está marcada en la norma SCT N-CMT-2-02-003/02. En la imagen 3.4 se muestran los parámetros mencionados en la normativa.

### 3.1.3- Agregado Grueso.

Los agregados pétreos representan cerca del 75% del volumen de la mezcla de concreto hidráulico, su calidad influye en características como la trabajabilidad, la Resistencia, la durabilidad y economía del concreto.

El agregado grueso de la mezcla o mejor definido por la denominación “Grava”, corresponde a la fracción de las partículas que son mayores de 4.76 mm (malla No. 4), hasta una tamaño máximo de 63.5 mm (2 ½”), en concretos vibrados.

Impurezas	Tipos de cemento	
	Cementos ricos en calcio	Cementos resistentes a los Sulfatos (RS)
Sólidos en suspensión en aguas naturales (limos y arcillas), máximo.	2000	2000
Sólidos en suspensión en aguas recicladas (finos de cemento y agregados), máximo.	50000	35000
Cloruros de CL. Para concreto con acero de presfuerzo y piezas de puentes, máximo.	400	600
Para concreto reforzado que estén en ambiente húmedo o en contacto con metales como el aluminio, fierro galvanizado y otros similares, máximo.	700	1000
Sulfato como SO <sub>4</sub> , máximo.	3000	3500
Magnesio como Mg <sup>++</sup> , máximo.	100	150
Carbonatos como CO <sub>3</sub> , máximo.	600	600
Bióxido de carbono disuelto como CO <sub>2</sub> , máximo.	5	3
Álcalis totales como Na <sup>+</sup> , máximo.	300	450
Total de impurezas en solución, máximo.	3500	4000
Grasas o aceites.	0	0
Material orgánica (oxígeno consumido en medio ácido), máximo.	150	150
Potencial de hidrógeno (pH), mínimo.	6	6.5

Valores en partes por millon.

Imagen 3.4.- Tabla de calidad de agua para concreto hidráulico.

Fuente: Norma SCT N-CMT-2-02-003/02.

Los agregados pétreos en este caso las gravas, deben tener como característica principal, ser agregados duros, sanos, resistentes al intemperismo e inertes a la reacción química con los álcalis del cemento. Mientras que los agregados con características blandas, disgregables o laminares son inapropiados e inadmisibles para la elaboración de un concreto hidráulico, por lo que es recomendable evitarlos en la construcción de pavimentos.

De acuerdo con el IMCYC (2002), el tamaño máximo recomendado para la grava, es de 38,10 mm (1 1/2") un parámetro es el de no exceder la cuarta parte del espesor de la losa en la que se pretenda utilizar, esto con el objeto de obtener concretos hidráulicos de alta calidad, facilitar la construcción, evitar riesgos de segregación y lograr un mejor acabado superficial; a mayor tamaño de agregado se requiere menor cantidad de pasta de cemento, teniendo con esto un menor consumo de cemento, por lo cual es importante cuidar que la composición granulométrica de los agregados sea la adecuada.

Otra consideración importante, es la forma de las partícula que presentan los agregados, lo ideal es buscar formas cúbicas o formas redondeadas equidimensionales en los agregados, mientras las formas planas y alargadas o de forma angulosa requieren mayor cantidad de agregado fino y mayor consumo de cemento para crear una mezcla trabajable.

El material que pasa la malla No. 200, será no mayor del 2%, en el caso de que los agregados sean producto de trituración este valor podrá ser de 3%, ya que el material que pasa dicha malla es polvo producto de la misma trituración.

Los agregados probados al desgaste tendrán una perdida como máximo del 50% de su masa.

La norma SCT N-CMT-2-02-002/02, establece los siguientes límites y especificaciones en para este tipo de agregado. En la imagen 3.5 se muestra la composición granulométrica recomendada, en relación al tamaño máximo del agregado y en la imagen 3.6 se muestran los parámetros referentes a las sustancias perjudiciales para los agregados gruesos.

Malla en mm (designación)	Tamaño nominal en mm.												
	90 a 40	64 a 40	50 a 25	50 a 5	40 a 20	40 a 5	25 a 13	25 a 10	20 a 10	20 a 5	10 a 2.5	13 a 5	10 a 2.5
	Porcentaje retenido acumulado.												
101 (4")	0												
89 (3 1/2")	0-10												
75 (3")	-	0											
63 (2 1/2")	75-40	0-10	0	0									
50 (2")	-	30-65	0-10	0-5	0	0							
37.5 (1 1/2")	85-100	85-100	30-65		0-10	0-5	0	0	0				
25 (1")			85-100	30-65	45-80		0-10	0-10	0-5	0	0		
19 (3/4")	95-100	95-100			85-100	30-65	45-60	15-50		0-10	0-10	0	
12.5 (1/2")			95-100	70-90			90-100	60-90	40-75	45-60		0-10	0
9.5 (3/8")					95-100	70-90	95-100	85-100		85-100	45-80	30-60	0-15
4.75 (No.4)				95-100		95-100		95-100	90-100	95-100	90-100	85-100	70-90
2.36 (No.8)									95-100		95-100	95-100	90-100
1.18 (No.16)													95-100

Imagen 3.5.- Composición granulométrica en base al TMA.

Fuente: Norma SCT N-CMT-2-02-002/02.

Substancias perjudiciales	Contenido máximo respecto a la masa total de la muestra en %.
Terrones de arcilla y partículas deleznales.	
En concreto no expuesto a la intemperie.	10
En concreto expuesto a la intemperie.	5
En concreto sujeto a exposición frecuente de humedad o a tráfico abrasivo.	4
En concreto arquitectónico.	2
Partículas de roca de sílice alterada, con masa específica menor a 2.4.	
En concreto expuesto a la intemperie.	6
En concreto sujeto a exposición frecuente de humedad.	5
En concreto arquitectónico.	3
Suma de contenidos de terrones de arcilla, partículas deleznales y de roca de sílice alterada.	
En concreto expuesto a la intemperie.	8
En concreto sujeto a exposición frecuente de humedad.	6
En concreto arquitectónico.	4
Carbón y lignito:	
En concreto no expuesto a la intemperie.	1
En concreto expuesto a la intemperie.	0.5

Imagen 3.6.- Contenido de sustancias perjudiciales en el agregado grueso.

Fuente: Norma SCT N-CMT-2-02-002/02.

### 3.1.4- Agregado fino.

El agregado fino o llamado comúnmente "Arena", está conformado por las partículas menores de 4.76 mm (malla No.4), este agregado influye en la dosificación de la mezcla, la aspereza, la propensión al sangrado y el costo del concreto hidráulico.

De acuerdo con el IMCYC (2002), los aspectos más importantes que se debe de cuidar de un agregado fino son los siguientes: controlar la composición granulométrica, el módulo de finura, el contenido de sustancias perjudiciales, su Resistencia al intemperismo y el contenido de materiales que reaccionen perjudicialmente con los álcalis del cemento entre otros.

Las arenas naturales presentan por lo general formas de partículas de tipo redondeadas, mientras que las arenas producto de un proceso de trituración, resultan ser más angulosas, en contraparte con el agregado grueso, las mezclas de concreto hidráulico realizadas con arenas naturales requieren menor cantidad de cemento que las realizadas con arenas producto de trituración, esto debido a la finura del agregado y su influencia en la conformación de la pasta en el concreto hidráulico.

La composición granulométrica de este agregado es importante debido a su efecto en el costo, la trabajabilidad, la segregación, la densidad, la contracción y la durabilidad del concreto.

La norma SCT N-CMT-2-02-002/02, nos establece los siguientes límites y especificaciones para este tipo de agregado, los cuales se muestran en las imágenes 3.7 y 3.8.

El módulo de finura que corresponda a la granulometría, se deberá de encontrar en un rango de entre 2.20 y 3.10.

Malla		Porcentaje retenido acumulado.
Abertura en mm.	Designación	
9.50	3/8"	0
4.75	No. 4	0-5
2.36	No. 8	0-20
1.18	No. 16	15-50
0.60	No. 30	40-75
0.30	No. 50	70-90
0.15	No. 100	90-98

Imagen 3.7.- Límites granulométricos para el agregado fino.

Fuente: Norma SCT N-CMT-2-02-002/02.

Substancias perjudiciales	Contenido máximo respecto a la masa total de la muestra en %.
Terrones de arcilla y partículas deleznable.	1
Carbón y lignito:	
En concreto aparente.	0.5
En concreto de cualquier otra índole.	1
Materiales finos que pasan la malla No. 200	
Para concreto sujeto a desgaste.	3
Para concreto de cualquier otra índole.	5

Imagen 3.8.- Contenido de sustancias perjudiciales en el agregado fino.

Fuente: Norma SCT N-CMT-2-02-002/02.

### **3.1.5- Aditivos.**

La necesidad de modificar una o más características del concreto hidráulico en estado fresco o endurecido, lleva a la utilización de aditivos; dicha utilización dependerá de una previa dosificación y verificación de la eficiencia de los mismos, ya que si son utilizados de forma inadecuada pueden afectar de manera importante la calidad del concreto hidráulico.

Entre los aditivos más frecuentemente utilizados se encuentran los siguientes:

- Incluidores de aire.
- Reductores de agua.
- Retardantes de fraguado.
- Acelerantes de fraguado y/o Resistencia.
- Reductores de agua de alto rango.
- Aditivos Puzolánicos.

### **3.1.6- Relación de agua / cemento.**

De acuerdo con el IMCYC (2002), el objetivo de controlar el contenido de agua en la mezcla de concreto hidráulico, se limita a la relación de agua / cemento, que en general se recomienda que este en un rango de entre 0.46 y 0.54, esto con la finalidad de alcanzar la Resistencia y durabilidad esperada.

### **3.1.7- Revenimiento.**

Según el IMCYC, en el concreto hidráulico recomendado para la conformación de los pavimentos rígidos, se debe de evitar tener un exceso de agua en la mezcla, ya que el exceso de agua puede producir sangrado durante su colocación, y grietas de contracción al endurecer, se debe de mantener un equilibrio que no afecte la trabajabilidad y compactación del concreto, por esta razón, los revenimientos recomendados son relativamente bajos, con un valor máximo de 10 cm.

Con la finalidad de mejorar en ciertas ocasiones la trabajabilidad de estos concretos hidráulicos, se emplean aditivos tales como incluidores de aire, fluidificantes y en ocasiones retardantes los cuales aumentan el periodo de tiempo para el fraguado del concreto hidráulico, sin afectar la Resistencia final.

Los factores principales que afectan al revenimiento son, entre otros: el contenido de agua, la composición granulométrica del material pétreo, así como la relación entre el agregado grueso y el agregado fino, la forma y textura de las partículas de los agregados, el uso de aditivos y temperatura.

### **3.1.8- Resistencia del concreto hidráulico.**

La Resistencia del concreto hidráulico, es el más importante factor a considerar en el diseño de un pavimento rígido, ya que las losas de concreto hidráulico son las que conformaran la superficie de rodamiento y son a las cuales se imponen las cargas del tránsito de vehículos, debido a que las losas se flexionan produciendo en ellas esfuerzos de tensión y Compresión, siendo los primeros las más importantes puesto que la Resistencia a la flexión en un concreto hidráulico, sin refuerzo, es apenas del orden del 10% de la Resistencia a Compresión, esto según lo marca el IMCYC, por esta situación los diseños deben de considerar la Resistencia del concreto hidráulico a la tensión, determinándose por medio del módulo de Ruptura a la tensión por Flexión (Mr.).

De acuerdo con el IMCYC (2002), los valores comúnmente utilizados para el diseño a flexión de pavimentos rígidos varían entre 35 kgf/cm<sup>2</sup> a 50 kgf/cm<sup>2</sup>, mientras que para pavimentos de autopistas y carreteras de tránsito pesado se recomienda utilizar valores de MR mayores de 40 kgf/cm<sup>2</sup>.

En algunas ocasiones el control en obras pequeñas, se realiza utilizando una correlación teórica para el módulo de Ruptura, que usualmente y de acuerdo con el IMCYC (2002), va de entre 0.10 y 0.17 de la Resistencia a Compresión del concreto hidráulico. El American Concrete Institute (ACI) indica que este valor de Mr. puede variar entre 1.99 a 2.65 veces  $(f'c)^{1/2}$

### **3.2- Muestreo de concreto hidráulico.**

De acuerdo con el manual de procedimiento de la SCT en su norma SCT M-MMP-2-02-055/06 y a la norma NMX-C-161-1997-ONNCCE, El muestreo consiste en obtener una porción representativa de la mezcla de concreto hidráulico en estado fresco, tal y como es suministrado en la obra, este proceso se realizará inmediatamente después del proceso de descarga, ya sea de un trompo de mezclado o de una revolvedora manual. El muestreo incluye además las operaciones de llenado de moldes, el envasado, identificación y traslado de las muestras obtenidas al laboratorio para su posterior ensaye.

#### **3.2.1- Equipo y materiales.**

De acuerdo a la norma NMX-C-161-1997-ONNCCE, el equipo para la realización del muestreo estará en condiciones de operación, limpio y completo en todas sus partes. Se tendrá un recipiente con capacidad mínima de 15 l. de un material no absorbente, así como una charola de lámina de 60 x 40 x 10 cm. Un cucharón de capacidad aproximada a 1L.

Se emplearán moldes cilíndricos de acero, con una relación de altura-diámetro de 1 a 2, con dimensiones comunes de 30 cm de altura y 15 cm de diámetro, los cuales contarán con una base cuadrada de placa con dimensiones

generales de 18 x 18 cm, así como una tapa metálica para evitar la contaminación de la muestra. El cilindro metálico estará formado por dos partes en media caña unidas mediante un dispositivo de cierre-apertura en forma longitudinal, de tal manera que al cerrar el cilindro éste no se deforme ni permita fugas del concreto que contenga y de manera que al abrirlo permita la extracción de la muestra endurecida sin dificultad.

Se deberá tener un envase con tapa para transportar la muestra al laboratorio, con capacidad de 19 l. de un material no absorbente, sin deformaciones, cuya tapa selle correctamente no permitiendo el paso de aire.

Para la compactación del concreto se utilizara una varilla recta de acero de 16.00 mm ( $\frac{5}{8}$ " ) de diámetro y 60 cm de longitud, con uno de los extremos de forma semiesférica del mismo diámetro de la varilla.

Emplear guantes de hule, látex u otro material no absorbente y resistente a los componentes del cemento.

También se utilizara un desmoldante mineral, que permita despegar de manera fácil la extracción de las muestras endurecidas de los moldes cilíndricos.

### **3.2.2- Procedimiento para la obtención de las muestras.**

Como consideración previa al muestreo se comprobará que toda el agua especificada en el diseño de la mezcla haya sido agregada, permitiendo así que el concreto hidráulico sea homogéneo.

El tamaño de muestra para el ensaye de revenimiento, es una porción de concreto hidráulico correspondiente al volumen del cono de revenimiento, esta porción no podrá ser utilizada para el llenado de los cilindros.

El tamaño de la muestra para el llenado de los cilindros, es una porción de concreto hidráulico mínima de 28 litros. Para elaborar los cilindros para las pruebas de Resistencia a Compresión.

Se realiza un muestreo distinto para cada tipo de concreto, con la frecuencia indicada en la imagen 3.9, por día de colado y con el mínimo de muestras señalado para cada caso.

El intervalo entre la obtención de la primera y la última porción de una muestra no excederá de 15 min, y el periodo entre la toma de la muestra y el llenado de los cilindros de prueba, no excederá de 15 min.

Las pruebas de revenimiento o de contenido de aire incluido se iniciarán dentro de los 5 min después de que el muestreo haya terminado.

Número de entrega	Número de muestras	
	Recomendado	Mínimo obligatorio.
1	1	1
2 a 4	2	1
5 a 9	3	2
10 a 25	5	3
26 a 49	7	4
50 en adelante	9	5

Imagen 3.9.- Frecuencia de muestreo.

Fuente: Norma SCT M-MMP-2-02-055/06.

### 3.2.3- Consideraciones según el tipo de muestreo.

#### ➤ Muestreo de concreto proveniente de mezcladoras estacionarias.

La muestra se obtiene aproximadamente a la mitad del proceso de descarga del tambor de la mezcladora, para lo cual el flujo del concreto se intercepta con un recipiente de muestreo, o bien, se desvía de tal manera que descargue directamente en el recipiente.

Durante la operación se tendrá cuidado de no restringir el flujo de la mezcladora con cualquier herramienta, equipo o compuerta que causen segregación en el concreto fresco.

#### ➤ Muestreo de concreto proveniente del camión mezclador

La muestra se toma en tres o más intervalos, durante cada uno de los cuales se intercepta todo el flujo de la descarga mediante un recipiente, o se desvía el flujo de tal forma que descargue directamente sobre el recipiente, teniendo en cuenta que la velocidad de descarga se controlará mediante el número de revoluciones de la olla del camión mezclador y no por la mayor o la menor abertura de la compuerta.

Durante esta operación se tendrá presente que no se tomará concreto ni antes del 15% ni después del 85% del volumen de descarga.

➤ **Muestreo de concreto proveniente de camiones de volteo o de caja sin agitadores u otro tipo de vehículos.**

En este caso, la muestra podrá obtenerse durante el proceso de descarga del vehículo o una vez que el concreto haya sido descargado. El procedimiento más apropiado será aquel que mejor se ajuste a las condiciones de trabajo, tomando en cuenta lo indicado en los párrafos anteriores.

Una vez extraída la muestra y previamente al envasado o llenado de los moldes, se transfiere del recipiente de muestreo a una charola, donde deberá ser remezclada con el cucharón para lograr su homogeneidad.

### **3.2.4- Envase de las muestras de concreto fresco.**

Si se requiere transportar la muestra completa al laboratorio, ésta se protegerá de los rayos solares, el viento y otros factores que pudieran ocasionar una rápida evaporación del agua o su contaminación, para ello, se envasará en el recipiente adecuado, que se encontrará perfectamente limpio y seco antes de ser llenado.

## **3.3- Muestreo del cilindros de concreto hidráulico.**

### **3.3.1- Llenado de los moldes cilíndricos.**

Se realiza en el sitio de la obra con el concreto fresco de una muestra recién obtenida, mediante el siguiente procedimiento:

Antes de su llenado, los moldes se colocarán en un lugar nivelado, libre de vibraciones o de otras perturbaciones; se les aplicará previamente un desmoldante mineral, no permitiéndose el uso de aceite quemado o diésel.

Con el cucharón se toma una porción de concreto representativa de la muestra y se vierte dentro del molde hasta aproximadamente  $\frac{1}{3}$  de su capacidad y con la varilla de compactación se acomoda mediante 25 golpes distribuidos uniformemente en la superficie del concreto.

Procediendo de la misma forma se vierte una segunda porción hasta aproximadamente  $\frac{2}{3}$  de su capacidad, compactándose nuevamente mediante 25 golpes, de tal forma que la varilla de compactación penetre en la capa anterior aproximadamente 2 cm

Por último se vierte una tercera capa de concreto hasta llenar el molde y se compacta mediante 25 golpes de la misma forma indicada en el Inciso anterior, retirando finalmente el excedente de material, para lo cual se enrasa el molde pasando horizontalmente la varilla de compactación por su borde superior.

### **3.3.2- Identificación.**

Los cilindros se identificarán con la fecha, nombre de la obra y una numeración progresiva por cada obra, empleando un marcador de tinta permanente resistente al agua. El registro completo de los cilindros se llevará en un libro de ensaye, el cual contendrá todos los datos necesarios para mantener una identificación exacta de cada espécimen.

### **3.3.3- Transporte y almacenamiento.**

En caso de que el laboratorio no se encuentre en la obra, las muestras correctamente envasadas se transportarán de preferencia en un vehículo automotor, el cual contará en su compartimiento de carga con una tarima de madera, limpia, nivelada y sin humedad, de tal modo que dichas muestras no se golpeen o dañen. La carga, descarga y transporte de las muestras de concreto fresco se efectuará de manera que se evite el derrame o la segregación del concreto. En ningún caso se podrán estibar estas muestras.

Los moldes llenos de concreto fresco permanecerán en la obra sin movimiento un lapso no menor de 24 h y no mayor a 48 h, posteriormente se efectuará su transporte al laboratorio; donde al llegar se retirarán del molde y se colocarán inmediatamente dentro de la cámara de curado.

## **3.4- Ensaye de revenimiento.**

### **3.4.1- Objetivo.**

De acuerdo con el manual de procedimientos de la SCT, en su norma SCT M-MMP-2-02-056/06 y la norma NMX-C-156-1997-ONNCCE, esta prueba permite determinar la consistencia del concreto en estado fresco, con tamaño nominal de agregado de hasta 37.5 mm (1 1/2") y puede aplicarse a muestras de concreto fresco que contengan agregados de mayor tamaño, siempre que estos sean removidos mediante el procedimiento de cribado en húmedo. La prueba consiste en colocar, mediante un procedimiento previamente definido, una muestra de concreto fresco en un molde cónico truncado de dimensiones especificadas, midiendo la disminución en la altura del cono de concreto una vez que el molde es retirado.

### **3.4.2- Equipo.**

Cono de revenimiento; elemento rígido, resistente a impactos, de metal o cualquier otro material no absorbente y no degradable por el cemento, con la forma de un cono truncado de 20 cm de diámetro en la base inferior, 10 cm de diámetro en la base superior y 30 cm de altura, con una tolerancia de  $\pm 3$  mm en cada una de estas dimensiones; provisto además de dos estribos para apoyar los pies del operador y de dos asas para levantarlo.

Varilla de compactación; Barra de acero de sección circular, recta, lisa, de 16 mm ( $\frac{5}{8}$  pulg.) de diámetro y 60 cm de longitud, con uno de los extremos de forma semiesférica del mismo diámetro de la varilla.

Placa metálica; Plana y rígida, preferentemente de acero inoxidable, de dimensiones tales que al colocarla horizontalmente exista la superficie suficiente para ubicar el cono de revenimiento en posición vertical sujeto con los pies del operador y para contener al concreto una vez que se retire el cono.

Cinta metálica o flexómetro; Graduada con aproximación de 1 mm

Cucharon; Con capacidad aproximada de 1 litro.

### **3.4.3- Preparación de la muestra.**

De la muestra de concreto hidráulico obtenida, no requerirá más preparación que el remezclado para su homogenización.

### **3.4.4- Procedimiento de la prueba.**

En esta prueba se obtienen valores confiables de revenimiento en el intervalo de 2 a 20 cm La operación completa desde el comienzo del llenado hasta que se levante el molde, se hará sin interrupción, en un tiempo no mayor de 2.5 min y conforme al siguiente procedimiento:

Se humedece el interior del molde y se coloca sobre la placa metálica, previamente humedecida.

Apoyando los pies sobre los estribos que tiene el molde, el operador lo mantiene firme en su lugar procediendo a la operación de llenado.

Se llena el molde en tres capas de aproximadamente el mismo espesor, compactando cada capa mediante 25 penetraciones de la varilla distribuidas uniformemente sobre su sección, considerando lo siguiente:

- La varilla se introduce por su extremo redondeado.
- Al comenzar la compactación de la primera capa, aproximadamente la mitad de las penetraciones se hacen cerca del perímetro del cono, por ello es necesario inclinar la varilla ligeramente en esta zona; posteriormente, empleando la varilla en forma vertical, se avanza en espiral hacia el centro hasta completar el total de las penetraciones.
- La segunda y tercera capas se compactan a través de todo su espesor de manera que la varilla penetre en la capa anterior aproximadamente 2 cm.

- Para el llenado de la última capa se coloca un ligero excedente de concreto por encima del borde superior del molde antes de empezar la compactación. Si como consecuencia de ésta, el concreto se asienta a un nivel inferior del borde superior del molde, a la décima o vigésima penetración se agrega concreto en exceso para mantener su nivel por encima del borde del molde todo el tiempo.

Una vez terminada la compactación de la última capa, se enrasa el concreto mediante un movimiento de rodamiento de la varilla sobre el borde superior del cono. Se limpia la superficie exterior de la base de asiento e inmediatamente se levanta con cuidado el molde en dirección vertical, sin movimientos laterales o torsionales. La operación de levantar completamente el molde se hará en  $5 \pm 2$  s.

Si al retirar el molde alguna porción del concreto se desliza y cae hacia un lado, se repite la prueba con una nueva porción de la misma muestra. Si dos pruebas consecutivas hechas de la misma muestra presentan fallas al caer parte del material a un lado, probablemente sea debido a que el concreto carece de cohesión y de la plasticidad necesaria; en este caso, no es aplicable la prueba de revenimiento.

Inmediatamente después se determina el asentamiento del concreto a partir del nivel original de la base superior del molde, calculando esta diferencia de alturas en el centro asentado de la superficie superior del espécimen, operación que se realiza de la siguiente forma:

- Se coloca el cono a un lado de la muestra, con la barra previamente limpiada puesta en el borde superior de éste, de tal forma que pase por la parte superior de la muestra de concreto.
- Empleando la cinta métrica se mide, con aproximación al centímetro, la distancia entre la parte inferior de la barra y el centro de la parte superior de la muestra de concreto.

#### **3.4.5- Cálculos y resultados.**

Se reporta como resultado de la prueba, en cm, el revenimiento del concreto hidráulico en estado fresco.

#### **3.4.6- Precauciones.**

Para evitar errores durante la ejecución de la prueba, se observarán las siguientes precauciones:

Que todo el equipo esté perfectamente limpio y funcional. Especialmente, la superficie del cono será uniforme, a fin de que al colocar el concreto no se adhiera a sus paredes.

Que antes de comenzar la prueba, tanto la placa de apoyo como el interior del cono se encuentren humedecidos a fin de evitar que la muestra pierda agua.

Que las muestras de concreto bajo prueba estén uniformemente mezcladas y dentro del tiempo de mezclado.

Que la placa de base esté perfectamente asentada en el terreno, en forma sensiblemente horizontal y que no se provoquen vibraciones durante la ejecución de la prueba.

### **3.5- Ensaye de cilindros de concreto hidráulico.**

#### **3.5.1- Objetivo.**

De acuerdo con el manual de procedimientos de la SCT, en su norma M-MMP-2-02-058/04 y a la norma NMX-C-083-ONNCCE-2002, Esta prueba permite determinar la Resistencia a la Compresión simple del concreto hidráulico, con valores esperados menores de 51 Mapa. (500 kg/cm<sup>2</sup>), utilizando especímenes cilíndricos moldeados, con una relación altura/diámetro de 2 a 1.

#### **3.5.2- Equipo.**

El equipo para la ejecución de la prueba estará en condiciones de operación, calibrado, limpio y completo en todas sus partes y el cual debe ser:

Maquina o prensa; Mecánica, hidráulica o neumática, con capacidad de 1200 kN. (122 324 kgf), con control de velocidad de aplicación de carga, sin producir impactos ni pérdida de carga. Contará con certificado de calibración vigente expedido por un laboratorio debidamente acreditado.

La máquina se debe calibrar antes de ser puesta en operación y posteriormente, cada 2 000 pruebas, lo cual podrá ampliarse hasta 12 000 si no se detectan desviaciones. La calibración de las máquinas será efectuada por un laboratorio aprobado, cada año como máximo si el número de especímenes ensayados es menor a 40 000; para una cantidad mayor, la calibración debe efectuarse cada 40 000 pruebas. Se realizará una calibración inmediatamente después de que se efectúen reparaciones o ajustes en los mecanismos de medición, cada vez que se cambie de sitio o se tengan dudas acerca de la exactitud de los resultados, sin importar cuando se efectuó la última verificación.

Dispositivo de lectura de carga; Dispositivo de carátula provisto de una escala graduada , Además la carátula contará con una línea de referencia en cero y una graduación que inicie en forma progresiva, cuando menos en el 10% de su capacidad, con una aguja indicadora, la cual tendrá longitud suficiente para coincidir con las marcas de graduación sin que el ancho de su extremo llegue a ser mayor que el claro libre entre dos graduaciones menores, así con una aguja de

arrastre de la misma longitud que la aguja Indicadora y un mecanismo para ajustar a la referencia en cero en caso de desviación.

Si se utiliza un dispositivo con sistema digital; éste estará equipado con un dispositivo que registre la carga máxima aplicada.

Dispositivo de alineamiento; Pueden ser barras guías o niveles de gota; en unión con las placas de cabeceo para asegurar que ni una sola capa se aparte de la perpendicularidad del eje del espécimen cilíndrico.

Placas cabeceadoras; Para el cabeceo con mortero de azufre se emplearán platos metálicos, cuyo diámetro sea por lo menos 5 mm mayor que el diámetro del espécimen por cabecear y su superficie de asiento no se aparte de un plano en más de 0,05 mm en 150 mm

Dispositivos para cabeceo vertical; Se puede emplear un plato formado por dos piezas metálicas que faciliten el afinado de la superficie de cabeceo, lo cual puede ser necesario. En tal dispositivo la sección inferior es una placa sólida y la sección superior es un anillo circular maquinado, que forma el borde del plato; estas piezas se fijan con tornillos.

Recipiente para fundir el mortero de azufre; Se utilizarán dispositivos que controlen automáticamente la temperatura o recipientes de calor externo. En ambos casos, los recipientes estarán fabricados o forrados con algún material que No sea reactivo con el mortero de azufre fundido. Para realizar la operación de fundido del azufre se debe contar con una campana de extracción de gases.

Fuentes de calor; Estufa, lámpara de gas o de gasolina, o cualquier otra fuente de calor de flama abierta.

Balanza analítica; con capacidad de 2 000 g y aproximación de 0,1 g.

Herramientas Auxiliares; Varilla de acero para agitar, soporte para el recipiente de fundición, Compás de punta, Regla rígida de bordes rectos, Calibradores de laminillas para espesores.

### **3.5.3- Material para cabeceo.**

Todos los materiales por emplear serán de alta calidad, considerando siempre la fecha de su caducidad.

Mortero de azufre; Se verificará que los morteros de azufre comercial o preparado en el laboratorio que se utilicen para cubrir las caras paralelas de los especímenes moldeados, tengan una Resistencia mínima de 35,34 MPa. (350 kgf/cm<sup>2</sup>) en un tiempo máximo de 2 h.

### **3.5.4- Preparación de los especímenes cilíndricos.**

Se retiran los especímenes de la pileta o del cuarto de curado y se cubren con una manta mojada antes y después del cabeceo para evitar la pérdida de agua, hasta el inicio de la prueba.

En el caso de especímenes sometidos a condiciones especiales como el curado a vapor o curado en un ambiente con las mismas condiciones que la estructura, éstos se ensayarán con la condición de humedad resultante del curado.

Se miden la altura y diámetro del espécimen, con aproximación a 1 mm Las medidas cuando menos de 2 diámetros perpendiculares entre sí a una altura media del espécimen y 2 alturas opuestas. Para efectos de medir el diámetro se utiliza el compás de punta. También se registra la masa del espécimen.

### **3.5.5- Cabeceo de especímenes.**

Antes del cabeceo, se verificará que la base de los especímenes o caras de aplicación de carga, no tengan una desviación con respecto a la perpendicular de su eje vertical, mayor de  $0,5^\circ$ , aproximadamente 3 mm en 300 mm, y que dichas superficies no presenten irregularidades respecto de un plano horizontal mayores de 0.05 mm Las verificaciones se harán en por lo menos 10 especímenes, utilizando una regla con bordes rectos y calibradores de laminillas para espesores, tomando un mínimo de tres lecturas en cada superficie. En caso de que no se cumpla con lo anterior, se considerará lo siguiente:

➤ **Cabeceo con mortero de azufre.**

Se prepara el mortero de azufre calentándolo a  $140 \pm 10^\circ\text{C}$ . Se recomienda colocar en los recipientes para el fundido la cantidad necesaria de mortero de azufre para los especímenes por cabecear en esa etapa y antes de volverse a llenar se elimina el material sobrante.

El mortero de azufre debe estar seco cuando se coloque en el recipiente para el fundido ya que el agua puede producir espuma. Por la misma razón, el mortero de azufre fundido debe mantenerse alejado de cualquier fuente de humedad. El plato y los dispositivos para el cabeceo, deben ser calentados ligeramente antes de ser empleados para disminuir la velocidad de enfriamiento y permitir la formación de capas delgadas. Inmediatamente antes de formar cada capa, se aceita ligeramente el plato de cabeceo y se agita el mortero de azufre fundido. Las bases de los especímenes curados en forma húmeda deben estar suficientemente secas al momento del cabeceo, para evitar que dentro de las capas se formen burbujas de vapor o bolsas de espuma de diámetro mayor de 6 mm

Para asegurarse que la capa se ha adherido a la superficie del espécimen, la base de éste no debe ser aceitada antes de la formación de la capa.

Los especímenes curados por vía húmeda deben ser mantenidos en condiciones húmedas durante el tiempo transcurrido entre el terminado del cabeceo y el momento de la prueba, regresándolos al almacenamiento húmedo o protegiéndolos con una manta húmeda para evitar la evaporación.

El azufre para el cabeceo de especímenes cilíndricos se determinará su Resistencia a la Compresión simple y no deberá usarse si su Resistencia es inferior a 35.34 MPa. (350 kgf/cm<sup>2</sup>).

### 3.5.6- Procedimiento de la prueba.

Se limpian las superficies de las placas superior e inferior de la prensa y los extremos de los especímenes de prueba; se coloca el espécimen por ensayar sobre la placa inferior, alineando su eje cuidadosamente respecto del centro de la placa de carga con asiento esférico, mientras la placa superior se baja hacia el espécimen hasta lograr un contacto suave y uniforme.

Se aplica la carga con una velocidad uniforme y continua sin producir impacto ni pérdida de carga. La velocidad deberá estar dentro del intervalo de 137 a 343 kPa/min (84 a 210 kgf/cm<sup>2</sup>/min aproximadamente). Se permitirá una velocidad mayor durante la aplicación de la primera mitad de la carga máxima esperada, siempre y cuando durante la segunda mitad, mantenga la velocidad especificada.

Se aplican las cargas hasta alcanzar la máxima permisible, haciendo los registros correspondientes. Cuando sea necesario, se podrá llevar hasta la Ruptura a fin de observar el tipo de falla y apariencia del concreto.

La Resistencia final de los especímenes de concreto se determina a la edad de 14 días en el caso de concreto de Resistencia rápida y 28 días cuando se use concreto de Resistencia normal, con las tolerancias que se indican en la siguiente imagen.

Edad de la prueba días	Tolerancia horas
14	± 12
28	± 24

Imagen 3.10.- Tolerancia en el tiempo de ensaye de cilindros.

Fuente: Norma SCT M-MMP-2-02-058/04.

### 3.5.7- Cálculos y resultados.

Como resultado de esta prueba se calcula y reporta la Resistencia a Compresión Simple soportada por el espécimen en cualquiera de las siguientes unidades en MPa o kgf/cm<sup>2</sup>.

Cuando la altura promedio del espécimen es menor de 1,75 veces el diámetro, el resultado de la Resistencia debe corregirse por esbeltez de acuerdo con lo indicado la imagen 3.11.

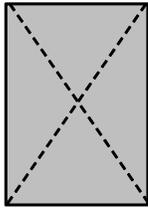
Relación altura-diámetro del espécimen.	Factor de corrección a la resistencia.
2.00	1.00
1.75	0.99
1.50	0.97
1.25	0.94
1.00	0.91

Imagen 3.11.- Factores de corrección por esbeltez.

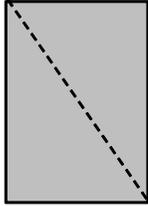
Fuente: Norma SCT M-MMP-2-02-058/04.

El informe de los resultados de los ensayos debe incluir, todos los datos requeridos para su Identificación, como son:

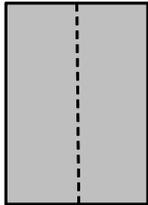
- ✓ Obra.
- ✓ Ubicación.
- ✓ Lugar.
- ✓ Clave de espécimen.
- ✓ Datos generales de cada espécimen.
- ✓ Datos de resultados del ensaye.
- ✓ Operador.
- ✓ Responsable de la prueba así como las observaciones.



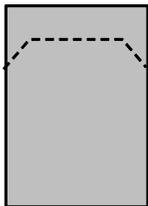
1.- Se presenta cuando se logra una carga de compresión bien aplicada sobre un espécimen de prueba bien preparado.



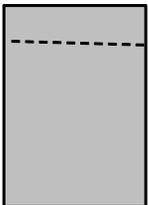
2.- Se presenta comúnmente cuando las caras de aplicación de carga se encuentra en el límite de tolerancia especificada de la norma.



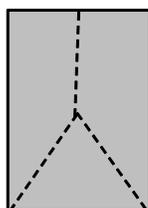
3.- Se presenta en especímenes que presentan una superficie de carga convexa y deficiencia del material de cabececo, también por concavidad del plato de cabececo o convexidad en una de las placas de carga.



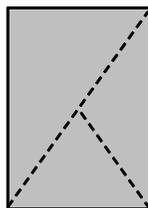
4.- Se presenta en especímenes que presentan una cara de aplicación de carga cóncava y por deficiencias del material de cabececo; también por concavidad de una de las placas de carga.



5.- Se presenta cuando se producen concentraciones de esfuerzos en puntos sobresalientes de las caras de aplicación de carga y deficiencia del material de cabececo o por rugosidad en el plato cabeceador o por deformación de la placa de carga.



6.- Se presenta en especímenes que presentan una cara de aplicación de carga convexa y deficiencias del material de cabececo o rugosidades del plato cabeceador.



7.- Se presenta cuando las caras de aplicación de carga del espécimen están ligeramente fuera de las tolerancias de paralelismo establecidas o por ligeras desviaciones en el centrado del espécimen con respecto al eje de carga de la máquina.

Imagen 3.12.- Diagramas de fallas en cilindros sometidos a Compresión.

Fuente: Norma SCT M-MMP-2-02-058/04.

### 3.6- Informe fotográfico.

A continuación presentamos un resumen fotográfico referente al muestreo de los especímenes cilíndricos (cilindros) de concreto hidráulico para esta obra en particular, este muestreo se realizó tomando en cuenta las consideraciones marcadas en la normativa para el muestreo, realización, y posterior ensaye en el laboratorio de cilindros de concreto hidráulico.



Imagen 3.13.- Extendido de concreto hidráulico en obra.

Fuente: elaboración propia.



Imagen 3.14.- Toma de muestra de concreto para elaboración de especímenes.

Fuente: elaboración propia.



Imagen 3.15.- Realización ensaye de revenimiento en obra.

Fuente: elaboración propia.



Imagen 3.16.- Cilindros y vigas de concreto hidráulico fresco, realizados en obra.

Fuente: elaboración propia.



Imagen 3.17.- Curado de los especímenes de concreto hidráulico en una pileta.

Fuente: elaboración propia.



Imagen 3.18.- Cabeceo de cilindros de concreto hidráulico en el laboratorio.

Fuente: elaboración propia.



Imagen 3.19.- Ensayo a compresión de cilindros de concreto hidráulico.

Fuente: elaboración propia.

### 3.7- Resumen de trabajos realizados.

En base a la normativa vigente, y al objetivo de este trabajo de investigación, después de realizado el muestreo del concreto fresco, la realización de cilindros y el curado de los especímenes en el laboratorio, se procedió al ensaye a compresión de los especímenes.

Se realizó un muestreo representativo en obra, el cual consistió en la obtención de 75 muestras, cada una de las muestras compuesta por tres especímenes cilíndricos de concreto hidráulico normal. Se realizaron ensayes a las edades de 7,14 y 28 días. Para este trabajo de investigación, solamente se utilizaron los resultados obtenidos en los ensayes a 28 días. Se utilizó concreto hidráulico con una resistencia (f'c) de proyecto igual a 250 kg/cm<sup>2</sup>, el cual fue suministrado en su totalidad por la empresa Concreto Premezclado Cemex, Planta Uruapan, Michoacán.

A continuación se presenta el listado de la Resistencia a la Compresión obtenidas de cada uno de los especímenes ensayados a la edad de 28 días.

Muestra No.	Resistencia kgf/cm2	Muestra No.	Resistencia kgf/cm2	Muestra No.	Resistencia kgf/cm2	Muestra No.	Resistencia kgf/cm2	
1	275.02	21	253.52	41	263.70	61	252.38	
2	272.76	22	251.71	42	262.57	62	254.65	
3	262.57	23	247.86	43	232.00	63	254.65	
4	272.76	24	272.76	44	255.78	64	256.91	
5	260.31	25	281.81	45	230.88	65	255.78	
6	261.44	26	246.72	46	263.70	66	258.04	
7	259.17	27	254.65	47	267.10	67	253.52	
8	272.76	28	252.38	48	272.76	68	255.78	
9	270.49	29	272.76	49	261.44	69	254.65	
10	272.76	30	272.76	50	253.52	70	258.04	
11	275.02	31	252.38	51	260.31	71	252.38	
12	259.17	32	258.04	52	259.17	72	255.78	
13	263.35	33	232.52	53	253.52	73	261.44	
14	281.81	34	250.12	54	252.38	74	256.91	
15	280.68	35	272.76	55	253.52	75	251.25	
16	272.76	36	258.04	56	254.65	Muestras: 75		
17	235.00	37	273.89	57	230.52	Promedio:	259.339 kgf/cm2	
18	253.52	38	261.44	58	261.44	Valor máx.:	285.570 kgf/cm2	
19	285.57	39	242.20	59	253.52	Valor mín.:	230.520 kgf/cm2	
20	271.62	40	255.44	60	253.52	Mediana:	258.040 kgf/cm2	
							Moda:	250.0 a 255.0 kgf/cm2
							Desviación estandar:	11.794 kgf/cm2
							Varianza:	139.093 kgf/cm2
							Rango:	55.050 kgf/cm2
							Coefficiente de variación:	4.55 %

Imagen 3.20.- Concentrado de resultados.

Fuente: elaboración propia.

Lista de jerarquias (f'c).		
Intervalo en kgf/cm2		Frecuencia de especimenes.
1	230.0 a 235.0	4
2	235.0 a 240.0	1
3	240.0 a 245.0	1
4	245.0 a 250.0	2
5	250.0 a 255.0	21
6	255.0 a 260.0	14
7	260.0 a 265.0	12
8	265.0 a 270.0	1
9	270.0 a 275.0	13
10	275.0 a 280.0	2
11	285.0 a 290.0	4
Sumatoria:		75

Imagen 3.21.- Concentrado de resultados.

Fuente: elaboración propia.

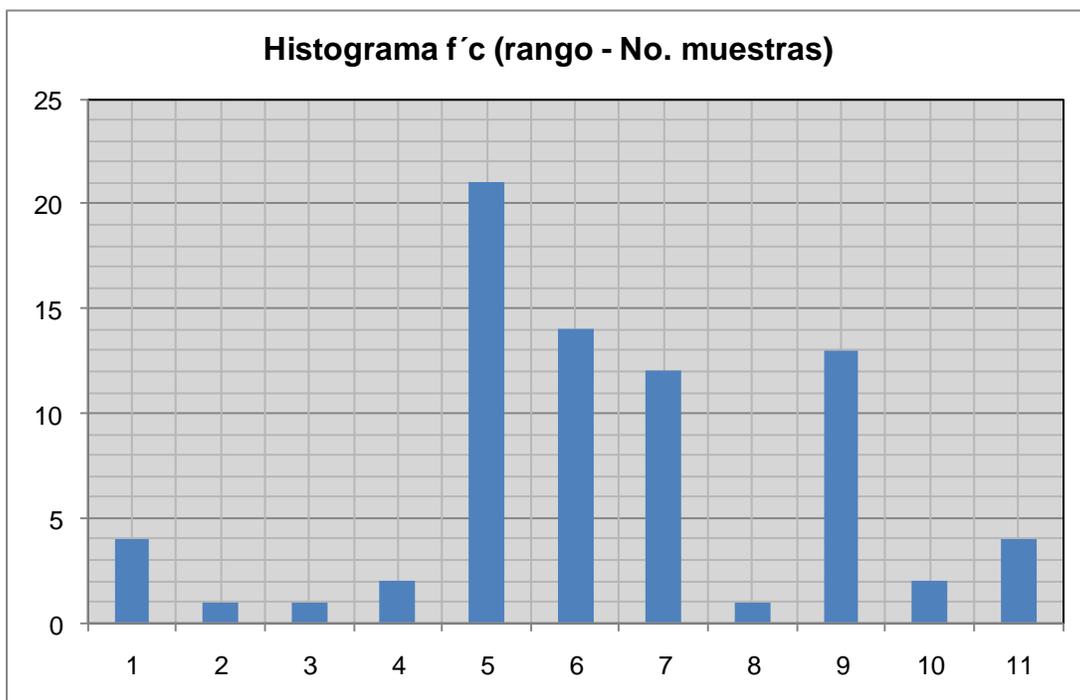


Imagen 3.22.- Concentrado de resultados.

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la imagen 3.2 del concentrado de resultados, se tiene un promedio aritmético de  $259.34 \text{ kgf/cm}^2$ , el cual es superior a la Resistencia de Proyecto. Se tiene una desviación estándar de  $11.79 \text{ kgf/cm}^2$ , la cual es menor a los parámetros establecidos como referencia en el RCDF y del Comité ACI, con lo cual estamos dentro del rango de control de calidad excelente en campo y laboratorio, en lo que respecta al coeficiente de variación, se tiene un valor de  $4.55\%$ , este valor es menor al parámetro de referencia del RCDF, el cual es de  $15\%$  para concreto premezclado mecánicamente, proporcionado por peso y controlando el contenido de agua de los agregados pétreos.

Por los resultados obtenidos, podemos decir que el control de calidad realizado en la obra mediante el muestreo y ensaye de especímenes cilíndricos de concreto hidráulico es confiable, por lo que los resultados tiene una alta confiabilidad para ser utilizados en el presente trabajo de investigación.

## **CAPÍTULO 4.**

### **MUESTREO, PROCEDIMIENTO DE PRUEBA Y ENSAYE DE VIGAS DE CONCRETO HIDRAÚLICO.**

En este capítulo se mencionara el muestreo, los procedimientos y ensaye realizado para los especímenes vigas de concreto hidráulico, obtenidos en la obra para la determinación de la Resistencia a la Flexión o el Módulo de Ruptura del mismo, así como también los resultados obtenidos de los ensayos realizados.

#### **4.1- Muestreo del vigas de concreto hidráulico.**

##### **4.1.1- Objetivo**

De acuerdo con la norma NMX-C-160-ONNCCE-2004, el objetivo del muestreo es la descripción de la metodología que se utiliza para la elaboración y curado de especímenes utilizados para determinar la Resistencia a Compresión y Flexión de mezclas de concreto, en nuestro caso extraeremos los relacionado a la Flexión en vigas de concreto.

##### **4.1.2.- Alcance**

El procedimiento mencionado es aplicable a la elaboración y curado de especímenes en la obra, empleando moldes prismáticos de 15 x 15 x 50 cm, para determinar la Resistencia a Flexión de mezclas de concreto hidráulico.

##### **4.1.3.- Equipo**

Moldes prismáticos de 15 x 15 x 50 cm

Carretilla

Pala o cucharón

Varilla lisa y recta, de acero, sección circular, de 16+/-1,5 mm de diámetro y 60 +/- 3 cm de longitud, con punta semiesférica del mismo diámetro que la varilla.

Mazo de hule

Enrasador metálico

Escala métrica

Nivel de mano

##### **4.1.4.- Descripción.**

###### **Resistencia a la Flexión**

Para la determinación de la Resistencia a Flexión se utilizan vigas rectangulares, coladas con el eje longitudinal en posición horizontal. La longitud debe ser por lo menos 5 cm mayor que 3 veces el peralte, por ejemplo:

Peralte = 15 cm,  $(15 \times 3) = 45$  cm,  $45 + 5 = 50$  cm. mínimo.

Adicionalmente podemos mencionar que la viga de sección transversal de 15 x 15 cm, es utilizada para concretos con tamaño máximo nominal del agregado grueso hasta de 50 mm. Cuando el tamaño máximo del agregado grueso exceda de 50 mm, la menor dimensión de la sección transversal de la viga debe ser por lo menos tres veces el tamaño máximo nominal del agregado grueso. Al menos que se requiera por las especificaciones del proyecto, no deben hacerse vigas en el campo con un ancho o peralte menores de 15 cm.

#### 4.1.5- Moldeo.

Se Colocan los moldes sobre una superficie horizontal, rígida, nivelada y libre de vibraciones y otras perturbaciones. En ese lugar permanecerán durante las primeras 24 horas y deberán evitar que sean golpeadas, inclinaciones del espécimen o alteraciones de su superficie.

Se nivelan los moldes utilizando el nivel de mano.

Se lubrican con aceite los moldes y se coloca grasa en las uniones de las láminas que lo conforman, este paso puede realizar previamente en laboratorio.

Se obtiene la muestra de concreto fresco, según lo descrito en “Muestreo del concreto fresco” en el capítulo anterior.

Se homogeniza la muestra usando la pala o el cucharón y procede de inmediato a llenar los moldes conforme la siguiente imagen:

Tipo y altura del espécimen en mm	Forma de compactación	Número de capas	Espesor aproximado de la capa en mm
Cilindros			
300	Varillado	3 iguales	100
Más de 300	Varillado	Las que se requiera	100 ó fracción
De 300 a 450	Vibrado	2 iguales	La mitad de la profundidad del espécimen
Más de 450	Vibrado	3 ó más	150 o lo más cercano posible
Vigas			
De 150 a 200	Varillado	2 iguales	La mitad de la profundidad del espécimen
Más de 200	Varillado	3 ó más	100 ó fracción
De 150 a 200	Vibrado	1	Profundidad del espécimen
Más de 200	Vibrado	2 ó más.	200 ó lo mas cercano posible.

Imagen 4.1.- capas para llenado de cilindros y vigas.

Fuente: Norma NMX-C-160-ONNCCE-2004.

Se vacía la mezcla de concreto con un cucharón dentro de los moldes, se mueve el cucharón alrededor del borde superior del molde a medida que el concreto vaya descargándose, con el fin de asegurar una distribución homogénea del mismo y minimizar la segregación del agregado grueso dentro de él.

#### **4.1.6- Compactación.**

La elaboración de especímenes adecuados requiere de métodos de compactación apropiados. Los métodos de compactación son: varillados y vibrado interno o externo. Para La selección del método de compactación se basa en el revenimiento, a menos que el método se establezca en las especificaciones particulares de la obra.

Se realizará varillado para las mezclas de concreto que tengan un revenimiento mayor de 8 cm. Los revenimientos de 3 a 8 cm pueden ser varillarlos o vibrarlos. Mientras que las mezcla con revenimientos menores de 3 cm se deberán vibrar.

##### ➤ **Compactación con Varilla (Varillado).**

En vigas de 15 x 15 x 50 cm utilizan 2 capas de 7.5 cm de espesor y el número de penetraciones por capa será 1 por cada 10 cm<sup>2</sup> de superficie del espécimen, distribuidos uniformemente.

Se efectúa el traslape entre capas de tal forma que la varilla penetre aproximadamente 10 mm dentro de la capa inmediata inferior, cuando el espesor de esa capa sea menor de 10 cm y aproximadamente de 20 mm, cuando el espesor de la capa sea 10 cm o mayor.

##### ➤ **Compactación con vibrador (Vibración interna).**

Para el caso de las vigas de concreto, se introduce un vibrador en distancias que no excedan de 15 cm a lo largo de la línea central de la dimensión longitudinal del espécimen.

En ambos casos se debe evitar que en la primera capa el vibrador haga contacto con la base y paredes del molde.

Cuando se compacte la segunda capa, se introduce el vibrador aproximadamente 20 mm en la capa inferior.

#### **4.1.7- Acabado.**

Después de haberse compactado los especímenes, se realiza el acabado o terminado con un enrasador metálico, con el menor número de pasadas, evitando en la superficie depresiones o promontorios mayores de 3 mm.

Se protegen los especímenes recién moldeados durante las primeras 24 horas para buscar en lo posible que los especímenes permanezcan con una temperatura entre los 16 y 27 ° C señalados por la norma NMX-C-160-ONNCCE-2004.

Se cubre cada espécimen con una bolsa de plástico o tapa metálica para evitar la evaporación de agua en el concreto.

#### **4.1.8- Transporte.**

Se Transportan los especímenes al laboratorio sin desmoldarlos, manteniéndolos húmedos durante el traslado y evitando en lo posible que choquen unos con otros y sufran despostillamientos y fracturas.

Después hay que recibirlos y registrarlos para almacenarlos en el laboratorio.

#### **4.1.9- Almacenamiento y curado inicial.**

Los especímenes deben retirarse de los moldes, de preferencia a las 24 horas, pero se permite un margen entre las 20 y 48 horas después de elaborados.

Después de este tiempo y ya en el laboratorio se procede a colocarlos en condiciones de humedad, hasta el momento del ensayo. La condición húmeda se refiere a contar con una humedad relativa entre el 95 y 100 %, o bien disponerlos en una pileta con agua saturada con cal (2 % del peso del agua) con temperatura de  $23 \pm 2$  ° C en ambos casos.

### **4.2- Ensaye de vigas de concreto hidráulico.**

De acuerdo con la norma NMX-C-191-1986, esta Norma Oficial Mexicana establece el método de prueba para la determinación de la Resistencia a la Flexión del concreto, usando una viga con cargas concentradas en los tercios del claro.

#### **4.2.1 Equipo.**

Máquina de prueba, la cual de estar calibrada y con todos sus accesorios en buenas condiciones.

Dispositivo de aplicación de carga; Se debe utilizar un dispositivo que sea capaz de aplicar cargas en los tercios del claro de prueba de tal modo que las fuerzas sean perpendiculares a las caras horizontales de la viga y se distribuyan y apliquen uniformemente en todo lo ancho. Este dispositivo debe ser capaz de mantener fija la distancia entre los puntos de carga y los puntos de apoyo del espécimen con una tolerancia de  $\pm 2$  mm, además las reacciones deben ser paralelas a la dirección de las fuerzas aplicadas durante el tiempo que dure la

prueba. La relación de la distancia del punto de aplicación de cada una de las cargas a la reacción más cercana dividida entre la altura de la viga, no debe ser menor de uno. El bloque para la aplicación de la carga y el de apoyo de la viga deben ser de acero del mismo ancho o mayor que el de la viga con una altura que no exceda de 65 mm, medida a partir del centro de giro.

Las secciones de cada uno de los bloques de carga que entran en contacto con la viga, deben ser cilíndricas con las superficies endurecidas, teniendo en cuenta que la línea de contacto de estas superficies no debe variar en más de 0.05 mm, con relación a un plano tangente a las mismas. El radio de curvatura de estas superficies debe tener como centro el eje del rodillo del apoyo o el centro de la rótula. La superficie curva de cada bloque de aplicación de carga debe ser la correspondiente a un sector cilíndrico de cuando menos 0.785 rad ( $45^\circ$ ). Los bloques de aplicación de carga deben mantenerse alineados en posición vertical, por medio de mecanismo de presión que pueden ser tornillos con resorte que los mantengan en contacto con los rodillos o rótulas de acero.

Puede suprimirse el rodillo y la rótula de acero de los bloques de apoyo, cuando el bloque de la máquina de prueba sea de asiento esférico, siempre que en los bloques de aplicación de la carga se use un rodillo y una rótula de acero pivotadas.

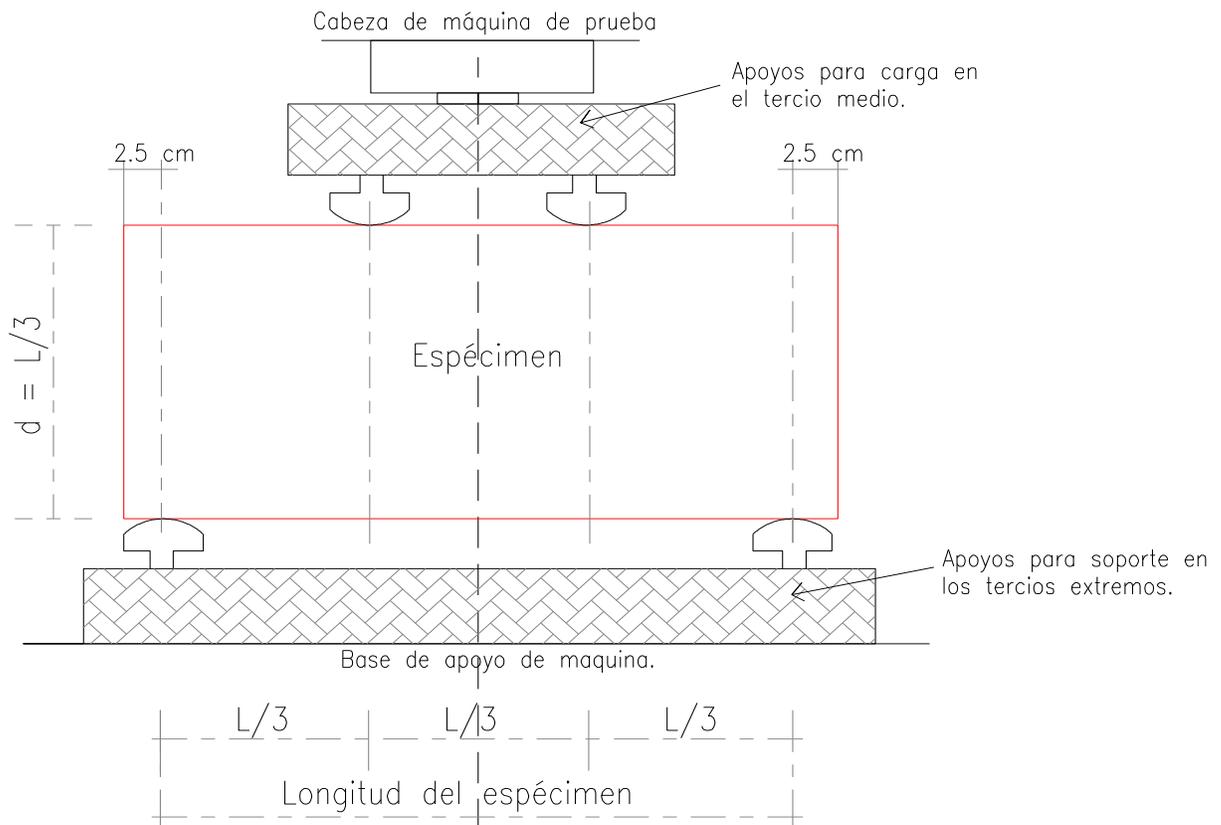


Imagen 4.2.- Esquema de una máquina para ensayo de vigas.

Fuente: Norma NMX-C- 191-1986.

#### **4.2.2- Preparación del espécimen.**

Los especímenes deben cumplir con lo establecido en las normas NOM-C-159 y la NOM-C-160.

La longitud del espécimen debe permitir un claro entre apoyos de tres veces su peralte con una tolerancia de  $\pm 2\%$ .

Las caras laterales del espécimen deben estar en ángulo recto con las caras horizontales.

Todas las superficies deben ser lisas y libres de bordes, hendiduras; agujeros o identificaciones grabadas.

#### **4.2.3- Muestreo.**

Cada muestra debe consistir de cuando menos 3 especímenes del mismo concreto hidráulico que se ensayan a la edad de proyecto.

#### **4.2.4- Procedimiento de prueba.**

Se debe voltear el espécimen sobre un lado con respecto a la posición de moldeado, se centra en los bloques de apoyo y estos a su vez deben estar centrados respecto a la fuerza aplicada; los bloques de aplicación de carga se ponen en contacto con la superficie del espécimen en los puntos tercios entre los apoyos. Se debe tener contacto total, entre los bloques de apoyo o de aplicación de la carga con la superficie del espécimen. Se deben lijar o cabecear las superficies del espécimen o bien usarse tiras de cuero si la separación de la línea de contacto entre ellas y los bloques es mayor de 0.1 mm en una longitud de 25 mm

Se recomienda que el lijado de las superficies laterales de los especímenes sea lo menos posible, ya que puede cambiar las características físicas de las mismas y por lo tanto afectar los resultados.

La carga se debe aplicar a una velocidad uniforme, tal que el aumento de esfuerzo de las fibras extremas no exceda de 980 kPa/min (10 kgf/cm<sup>2</sup> por minuto), permitiéndose velocidades mayores antes del 50% de la carga de Ruptura.

Medición del espécimen después de la prueba.

Se determina al ancho medio, el peralte y la localización de la línea de falla, con el promedio de 3 medidas una en el centro y dos sobre las aristas del espécimen aproximándolas al mm.

#### 4.2.5- Cálculos.

Si la fractura se inicia en la superficie de tensión del tercio medio del claro el módulo de Ruptura se calcula con la fórmula que se muestra a continuación:

$$MR = \frac{PL}{bd^2}$$

En donde:

R = Módulo de Ruptura, en kPa (kgf/cm<sup>2</sup>)

P = Carga máxima aplicada en N (kgf)

L = Distancia entre apoyos, en cm

b = Ancho promedio del espécimen, en cm

d = Peralte promedio del espécimen, en cm

En el cálculo anterior, no se incluyen las masas del bloque de apoyo superior y del espécimen.

Si la Ruptura se presenta en la superficie de tensión fuera del tercio medio del claro, en no más del 5% de su longitud, se calcula el módulo de Ruptura con la fórmula que se muestra a continuación:

$$MR = \frac{3Pa}{bd^2}$$

En donde:

a = Distancia promedio entre la línea de fractura y el apoyo más cercano en la superficie de la viga, en cm.

Si la fractura ocurre en la superficie de tensión del tercio medio del claro en más de 5% se desecha el resultado de la prueba.

#### 4.3- Informe fotográfico.

A continuación presentamos un resumen fotográfico referente al muestreo de los especímenes rectangulares (vigas) de concreto hidráulico realizado para esta obra en particular y con las consideraciones marcadas en la normativa para el muestreo, realización y su posterior ensaye en laboratorio.



Imagen 4.3.- Construcción de losas de concreto hidráulico.

Fuente: Propia.



Imagen 4.4.- Vigas de concreto hidráulico realizadas en obra.

Fuente: Propia.



Imagen 4.5.- Curado de vigas de concreto hidráulico.

Fuente: Propia.



Imagen 4.6.- Preparación para su ensaye de una de las vigas de concreto hidráulico.

Fuente: Propia.



Imagen 4.7.- Ensayo de vigas de concreto hidráulico.

Fuente: Propia.

#### 4.4- Resumen de trabajos realizados.

En base a la normativa vigente, y al objetivo de este trabajo de investigación, después de realizado el muestreo del concreto fresco, la realización de vigas y el curado de los especímenes en el laboratorio, se procedió al ensaye a compresión de los especímenes.

Se realizó un muestreo representativo en obra, el cual consistió en la obtención de 75 muestras, cada una de las muestras compuesta por dos especímenes cilíndricos de concreto hidráulico normal. Se realizaron ensayes a las edades de 14 y 28 días. Para este trabajo de investigación, solamente se utilizaron los resultados obtenidos en los ensayes a 28 días. Se utilizó concreto hidráulico con una resistencia ( $f'c$ ) de proyecto igual a  $250 \text{ kgf/cm}^2$ , el cual fue suministrado en su totalidad por la empresa Concreto Premezclado Cemex, Planta Uruapan, Michoacán.

A continuación se presenta el listado de los resultados obtenidos de los ensayes de módulo de Ruptura de los especímenes a la edad de 28 días:

Muestra No.	Resistencia M.R. kgf/cm2	Muestra No.	Resistencia M.R. kgf/cm2	Muestra No.	Resistencia M.R. kgf/cm2	Muestra No.	Resistencia M.R. kgf/cm2	
1	44.00	21	34.60	41	46.85	61	42.98	
2	42.74	22	31.40	42	47.02	62	43.01	
3	45.29	23	41.07	43	36.41	63	43.00	
4	37.72	24	40.21	44	41.21	64	43.99	
5	56.93	25	24.52	45	31.45	65	42.83	
6	49.15	26	55.18	46	47.04	66	42.91	
7	30.67	27	36.69	47	46.23	67	43.01	
8	36.93	28	31.65	48	47.12	68	40.20	
9	37.24	29	43.76	49	46.41	69	41.29	
10	37.42	30	35.95	50	38.41	70	42.90	
11	43.79	31	43.50	51	45.74	71	42.71	
12	50.00	32	28.92	52	45.98	72	43.87	
13	49.80	33	40.13	53	44.99	73	44.00	
14	48.37	34	33.77	54	45.01	74	43.90	
15	37.46	35	42.57	55	45.91	75	43.00	
16	41.65	36	41.46	56	44.82	Muestras: 75		
17	39.21	37	47.71	57	40.12	Promedio:	42.381 kgf/cm2	
18	36.03	38	47.89	58	45.88	Valor máx.:	62.156 kgf/cm2	
19	47.39	39	46.05	59	43.60	Valor mín.:	24.520 kgf/cm2	
20	62.16	40	40.81	60	43.00	Mediana:	43.000 kgf/cm2	
							Moda:	40.0 a 50.0 kgf/cm2
							Desviación estandar:	6.076 kgf/cm2
							Varianza:	36.922 kgf/cm2
							Rango:	37.635 kgf/cm2
							Coefficiente de variación:	14.34 %

Imagen 4.8.- Concentrado de resultados.

Fuente: elaboración propia.

Lista de jerarquias (MR).		
Intervalo en kgf/cm <sup>2</sup>		Freciencia de especimenes.
1	24.0 a 30.0	2
2	30.0 a 35.0	6
3	35.0 a 40.0	11
4	40.0 a 45.0	33
5	45.0 a 50.0	19
6	50.0 a 55.0	1
7	55.0 a 60.0	2
8	60.0 a 65.0	1
Sumatoria:		75

Imagen 4.9.- Concentrado de resultados.

Fuente: elaboración propia.

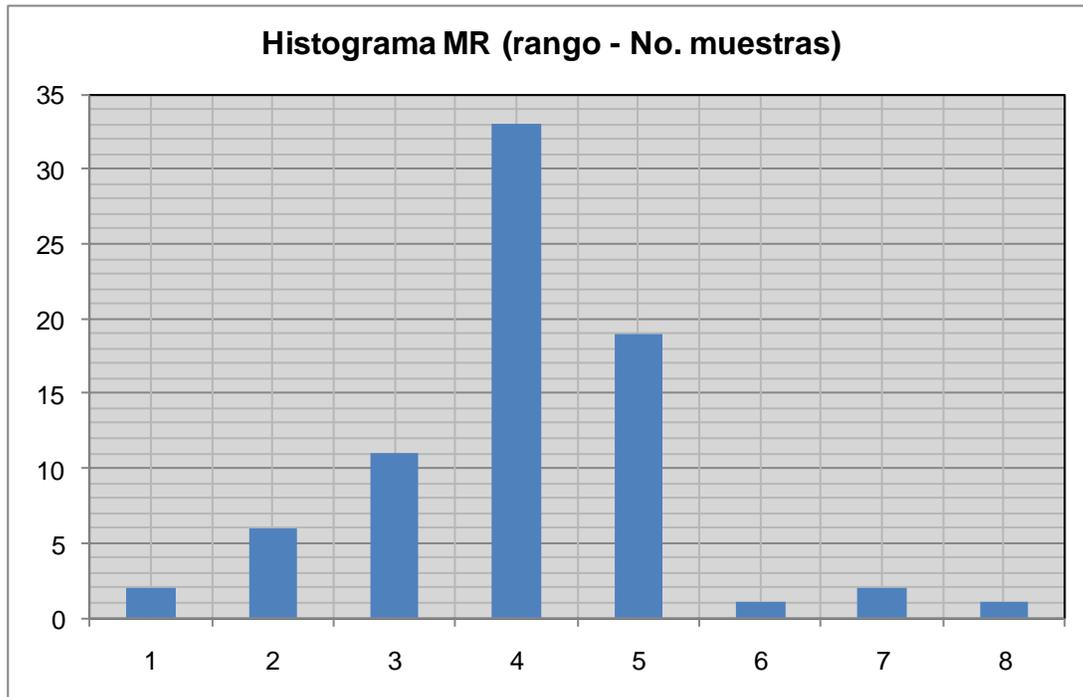


Imagen 4.10.- Concentrado de resultados.

Fuente: elaboración propia.

Como se puede observar en la imagen 4.8 del concentrado de resultados, se tiene un promedio aritmético de  $48.381 \text{ kgf/cm}^2$ . Se tiene una desviación estándar de  $6.07 \text{ kgf/cm}^2$ , la cual es menor a los parámetros establecidos como referencia en el RCDF y del Comité ACI, con lo cual estamos dentro del rango de control de calidad excelente en campo y laboratorio, en lo que respecta al coeficiente de variación, se tiene un valor de  $14.34\%$ , este valor es menor al parámetro de referencia del RCDF, el cual es de  $15\%$  para concreto premezclado mecánicamente, proporcionado por peso y controlando el contenido de agua de los agregados pétreos.

Por los resultados obtenidos, podemos decir que el control de calidad realizado en la obra mediante el muestreo y ensaye de especímenes prismáticos de concreto hidráulico es confiable, por lo que los resultados son confiables para ser utilizados en el presente trabajo de investigación.

Después de la evaluación de datos o resultados obtenidos de los ensayos a Compresión simple y de Módulo de Ruptura, los cuales se consideran confiables, de acuerdo al parámetro que los evalúa como un excelente control de calidad en concreto hidráulico. Terminado este procesamiento de resultados, se procederá en el siguiente capítulo a establecer la correlación existente entre el Modulo de Ruptura y la Resistencia a la Compresión del concreto hidráulico utilizado en la construcción del pavimento rígido de esta vialidad específicamente.

## **CAPÍTULO 5.**

### **CORRELACION ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION Y EL MÓDULO DE RUPTURA DEL CONCRETO, UTILIZADO EN LA OBRA.**

En este capítulo se mencionará la teoría y antecedentes sobre la relación o correlación que existe entre la Resistencia a Compresión y el módulo de Ruptura del concreto hidráulico, así como la correlación que se tiene en este caso en específico, así como los resultados obtenidos.

#### **5.1- Antecedentes teóricos.**

La Resistencia a la Flexión o módulo de Ruptura de un concreto es baja en comparación con su Resistencia a la Compresión. Este parámetro es aplicado principalmente en la construcción de pavimentos rígidos; esto debido a que los esfuerzos de Compresión que resultan en la superficie de contacto entre las llantas de un vehículo y el pavimento son aproximadamente iguales a la presión de inflado de las mismas, la cual puede llegar a ser de 5 o 6 kgf/cm<sup>2</sup>, este esfuerzo de Compresión sobre un pavimento de concreto hidráulico resulta sumamente bajo con relación a la Resistencia a la Compresión del concreto utilizado, la cual normalmente varía entre 200 y 350 kgf/cm<sup>2</sup>.

Por lo tanto, no es la Resistencia a la Compresión el factor determinante de la calidad del concreto hidráulico para pavimentos rígidos, sino la Resistencia a la Flexión por tensión, la cual es provocada por el paso de los vehículos y por las diferencias de temperatura en las caras superior e inferior de las losas, ya que una estará sometida a tensión y la otra a Compresión, siendo cambiables estos esfuerzos durante su vida útil.

Los esfuerzos de Flexión podrían ser atendidos por medio de refuerzo (acero), pero esto sería antieconómico debido a que se tendría que utilizar refuerzo en dos capas. En la práctica lo que se hace es diseñar el espesor del pavimento en forma tal que los esfuerzos de Flexión, causados por el paso de los vehículos y las diferencia de temperatura, sean inferiores a la capacidad máxima a Flexión de las losas. Por lo que se debe de considerar la Flexión o Modulo de Ruptura al momento de diseñarlos, ya que es la característica más importante.

Existen en las diferentes normas y procedimientos sobre todo de diseño de elementos de concreto hidráulico, relaciones que arrojan valores típicos de Resistencia a Flexión en base a la Resistencia a Compresión de especímenes cilíndricos de concreto hidráulico, para el American Concrete Institute, en el código ACI 318-08, la Resistencia a la Flexión de un concreto de peso normal, se aproxima a valores de 1.99 a 2.65 veces la raíz cuadrada de la Resistencia a Compresión de ese concreto hidráulico.

Mientras que para las normas técnicas complementarias del Distrito Federal, 2008, en México, para el diseño y construcción de estructuras de concreto hidráulico, en su apartado 1.5.1.3, referente a la Resistencia a tensión del concreto especifica que la Resistencia media a tensión por Flexión o Módulo de Ruptura, se puede suponer de la siguiente manera:

- Para concreto clase 1, 2.0 veces la raíz cuadrada de la Resistencia a Compresión en unidades de  $\text{kgf/cm}^2$ , estos concretos tendrán un Resistencia a la Compresión igual o mayor a  $250 \text{ kg/cm}^2$ .
- Para concreto clase 2, se especifica 1.4 veces la raíz cuadrada de la Resistencia a Compresión en unidades de  $\text{kgf/cm}^2$ , estos concreto tendrán una Resistencia a la Compresión menor de  $250 \text{ kg/cm}^2$ , pero no menor que  $200 \text{ kg/cm}^2$ .

### 5.1.2 – Análisis estadísticos de los resultados.

Hasta este momento hemos trabajado con la Resistencia a la Compresión y Módulo de Ruptura en forma separada, determinando resultados en base a ensayos normados y evaluando su control por separado, aun cuando el concreto con el cual se elaboraron cada una de las muestras es el mismo en ambos ensayos. Ahora resulta necesario establecer los lineamientos básicos para encontrar la relación matemática que describa la correspondencia que existe entre ambos.

Se tomará como punto de partida la relación establecida tanto en el comité del ACI como en las NTCDF, las cuales establecen la siguiente expresión:

$$M_r = k (f'c)^{1/2}$$

*“El módulo de Ruptura o Resistencia a la Flexión es igual a un valor  $k$  multiplicado por la raíz cuadrada de la Resistencia a la Compresión”.*

Esta relación tiene el objetivo de estimar una de las variables en este caso el Módulo de Ruptura o Resistencia a la Flexión, una en función de la otra (la Resistencia a Compresión), del concreto hidráulico elaborado con los materiales de la región antes mencionados, los cuales son una parte muy importante de la presente investigación.

Los procedimientos estadísticos proporcionan medios valiosos para la evaluación de los resultados de las pruebas previamente realizadas, y la información que se deriva de dichos procedimientos. El art. 308 del RCEM en el apartado de control del concreto, especifica que a tomar en cuenta; “Cada promedio aritmético de dos ensayos de Resistencia consecutivos es igual o

superior a la Resistencia de proyecto” y “Ningún resultado individual del ensayo de Resistencia es menor en 35 kgf/cm<sup>2</sup> de la Resistencia de proyecto”, en la presente investigación los resultados obtenidos en el ensayo de la Resistencia a Compresión cumplen con ambos requisitos.

### 5.1.3- Carta de control.

El propósito de una carta de control es determinar si el comportamiento de un proceso mantiene un nivel aceptable de calidad y cumple con los requisitos estimados en normas o procedimientos establecidos. Por otro lado, un proceso puede experimentar tipos más serios de variabilidad en mediciones claves de comportamiento. Estas pueden surgir de uno o varios tipos de causas asignables no aleatorias, tales como errores del operador (muestreo) o del equipo utilizado (prensas). Se afirma que un proceso que se lleve a cabo en estas condiciones está fuera de control; mientras que un proceso está en control estadístico cuando experimenta solo variaciones aleatorias.

En nuestra investigación ya se estableció que se cuenta con un numero representativo de muestras ensayadas, las cuales cumplen con los requisitos establecidos en los procedimientos de aceptación de resultados, por lo cual la carta de control de resultados en nuestro caso solo se realizará con los datos y resultados representativos, ya que no se tiene la necesidad realizar ajustes por desviaciones estándar, así mismo, se considerará que el promedio aritmético de la totalidad de las muestras será la correspondiente Resistencia promedio.

### 5.2- Correlación de resultados.

Para realizar la correlación que se presenta en los resultados obtenidos de los ensayos de Resistencia a la Compresión ( $f'c$ ) y de la Resistencia a la Flexión o módulo de Ruptura ( $Mr.$ ), se partirá de la expresión que por definición práctica se recomienda tanto por el comité del ACI y por las NTCDF, la cual es como se mencionó anteriormente:

$$Mr = k (f'c)^{1/2}$$

Donde:

$Mr.$  = Módulo de Ruptura o Resistencia a Flexión de un concreto hidráulico, referido a la Resistencia a Compresión del mismo concreto en kgf/cm<sup>2</sup>.

$k$  = Constante que dependerá o correlacionará en este caso a los resultados obtenidos (adimensional).

$f'c$  = Resistencia a Compresión del concreto hidráulico en kgf/cm<sup>2</sup>.

Despejando la variable a investigar, la expresión queda de la siguiente manera:

$$k = Mr. / (f'c)^{1/2}$$

Con esta relación como base, y despejando la variable que nos interesa obtener como correlación de cada una de las muestras obtenidas en esta investigación, se realiza la tabla siguiente, determinando dicha variable individualmente para cada muestra y posteriormente, se obtendrá un promedio aritmético para correlacionar toda la muestra general del estudio.

<b>Correlación General de Muestras.</b>				
Muestra Numero.	F'C (kgf/cm <sup>2</sup> )	(F'C) <sup>1/2</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> )	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )	Mr / (F'C) <sup>1/2</sup> (adimensional)
1.00	275.02	16.58	44.00	2.653
2.00	272.76	16.52	42.74	2.588
3.00	262.57	16.20	45.29	2.795
4.00	272.76	16.52	37.72	2.284
5.00	260.31	16.13	56.93	3.528
6.00	261.44	16.17	49.15	3.040
7.00	259.17	16.10	30.67	1.905
8.00	272.76	16.52	36.93	2.236
9.00	270.49	16.45	37.24	2.264
10.00	272.76	16.52	37.42	2.266
11.00	275.02	16.58	43.79	2.641
12.00	259.17	16.10	50.00	3.106
13.00	263.35	16.23	49.80	3.069
14.00	281.81	16.79	48.37	2.881
15.00	280.68	16.75	37.46	2.236
16.00	272.76	16.52	41.65	2.522
17.00	235.00	15.33	39.21	2.558
18.00	253.52	15.92	36.03	2.263
19.00	285.57	16.90	47.39	2.804
20.00	271.62	16.48	62.16	3.771
21.00	253.52	15.92	34.60	2.173
22.00	251.71	15.87	31.40	1.979
23.00	247.86	15.74	41.07	2.608
24.00	272.76	16.52	40.21	2.435
25.00	281.81	16.79	24.52	1.461
26.00	246.72	15.71	55.18	3.513
27.00	254.65	15.96	36.69	2.299
28.00	252.38	15.89	31.65	1.992
29.00	272.76	16.52	43.76	2.650
30.00	272.76	16.52	35.95	2.177

Imagen 5.1.- Tabla de correlación de resultados.

Fuente: elaboración propia.

<b>Correlación General de Muestras.</b>				
Muestra Numero.	F' C (kgf/cm <sup>2</sup> )	(F' C) <sup>1/2</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> )	Mr (kgf/cm <sup>2</sup> )	Mr / (F' C) <sup>1/2</sup> (adimensional)
31.00	252.38	15.89	43.50	2.738
32.00	258.04	16.06	28.92	1.800
33.00	232.52	15.25	40.13	2.632
34.00	250.12	15.82	33.77	2.136
35.00	272.76	16.52	42.57	2.577
36.00	258.04	16.06	41.46	2.581
37.00	273.89	16.55	47.71	2.883
38.00	261.44	16.17	47.89	2.962
39.00	242.20	15.56	46.05	2.959
40.00	255.44	15.98	40.81	2.553
41.00	263.70	16.24	46.85	2.885
42.00	262.57	16.20	47.02	2.902
43.00	232.00	15.23	36.41	2.390
44.00	255.78	15.99	41.21	2.577
45.00	230.88	15.19	31.45	2.070
46.00	263.70	16.24	47.04	2.897
47.00	267.10	16.34	46.23	2.829
48.00	272.76	16.52	47.12	2.853
49.00	261.44	16.17	46.41	2.870
50.00	253.52	15.92	38.41	2.412
51.00	260.31	16.13	45.74	2.835
52.00	259.17	16.10	45.98	2.856
53.00	253.52	15.92	44.99	2.826
54.00	252.38	15.89	45.01	2.833
55.00	253.52	15.92	45.91	2.883
56.00	254.65	15.96	44.82	2.809
57.00	230.52	15.18	40.12	2.642
58.00	261.44	16.17	45.88	2.838
59.00	253.52	15.92	43.60	2.738
60.00	253.52	15.92	43.00	2.701

Imagen 5.2.- Tabla de correlación de resultados (continuación).

Fuente: elaboración propia.

<b>Correlación General de Muestras.</b>				
<b>Muestra Numero.</b>	<b>F´C (kgf/cm2)</b>	<b>(F´C)1/2 (kgf/cm2)</b>	<b>Mr (kgf/cm2)</b>	<b>Mr / (F´C)1/2 (adimensional)</b>
61.00	252.38	15.89	42.98	2.705
62.00	254.65	15.96	43.01	2.695
63.00	254.65	15.96	43.00	2.695
64.00	256.91	16.03	43.99	2.745
65.00	255.78	15.99	42.83	2.678
66.00	258.04	16.06	42.91	2.671
67.00	253.52	15.92	43.01	2.701
68.00	255.78	15.99	40.20	2.514
69.00	254.65	15.96	41.29	2.587
70.00	258.04	16.06	42.90	2.671
71.00	252.38	15.89	42.71	2.688
72.00	255.78	15.99	43.87	2.743
73.00	261.44	16.17	44.00	2.721
74.00	256.91	16.03	43.90	2.739
75.00	251.25	15.85	43.00	2.713
<b>Promedios:</b>	<b>259.34</b>	<b>16.10</b>	<b>42.38</b>	<b>2.632</b>

Imagen 5.3.- Tabla de correlación de resultados (continuación).

Fuente: elaboración propia.

### 5.3- Definición de la relación.

En base a la tabla de correlación realizada para la totalidad de las muestras obtenidas en el presente estudio, y obtenidos los promedios de las correlaciones independientes de cada una de las muestras, obtenemos la variable promedio “k”, que nos correlaciona la Resistencia a la Flexión o Módulo de Ruptura con la Resistencia a la Compresión del concreto hidráulico utilizado en la construcción de la vialidad denominada “Viaducto a Jicalán – Jucutacato”, en la ciudad de Uruapan Michoacán, dicha relación es:

Ecuación base:

$$M_r = k (f'c)^{1/2}$$

Por lo que, la ecuación o relación buscada es:

$$M_r = 2.632 (f'c)^{1/2}$$

Observemos que el valor obtenido de “k”, que es de 2.632, con los antecedentes de la verificación del control de calidad estadístico realizado por separado para los ensayos de Compresión simple y Módulo de Ruptura, podemos considerar aplicable el resultado de la ecuación obtenida, para el caso específico analizado y para los materiales utilizados en la elaboración del concreto hidráulico de la vialidad en estudio.

## **CAPÍTULO 6. ESPECIFICACIONES GENERALES DE PROYECTO.**

En este capítulo, se describirá de manera general, el proceso constructivo realizado para la obra de modernización de esta vialidad en estudio, así como las características generales de cada una de las capas de la estructura de pavimento y sus espesores.

### **6.1.-Trazo y nivelación.**

Dentro de este concepto se realizó la delimitación y replanteo del eje de proyecto, así como de la nivelación del mismo, junto con la definición de cada una de las secciones transversales que se contemplan en el proyecto geométrico, incluyendo las características o especificaciones de las curvas verticales y horizontales diseñadas para esta vía, la utilización del equipo adecuado para el replanteo del proyecto geométrico mediante el uso de estaciones totales y niveles manuales y electrónicos, fueron instrumentos fundamentales para el control de la nivelación y trazo en esta obra.

Se determinó en este concepto las zonas de ampliación requeridas de proyecto, en las cuales la estructura de pavimento se desplantaría desde terreno natural, e igualmente se identificaron las zonas que ya contaban con pavimento actual, aunque del tipo asfáltico, las cuales se recuperarían y serían reutilizadas posteriormente.

Se establecieron los bancos de nivel general y las referencias de trazo, que funcionarían como auxiliares en la construcción de la obra, como referencia de nivelaciones requeridas en cada subtramo en construcción durante toda la obra.

### **6.2.-Despalme.**

Se realizó el despalme de las zonas de ampliación, este concepto consiste en el retiro mediante la excavación, con equipo mecánico, de los primeros veinte centímetros (20 cm) de espesor del terreno natural, el material producto de esta excavación se depositó directamente en las unidades de acarreo para su transporte fuera de la obra, el fondo de la excavación descubierta se mantuvo seca y sin tirantes de agua que lo perjudicaran para el siguiente proceso.

### **6.3.-Excavación y compactación de terreno natural.**

Se realizó la excavación de las zonas de ampliación que marca el proyecto, realizando dicho proceso con el equipo mecánico apropiado, el corte o excavación se define hasta los niveles marcados por las secciones transversales y se afina para su compactación, la cual se estableció en las especificaciones de proyecto en noventa más menos dos por ciento ( $90\pm 2\%$ ) de grado de compactación de su peso volumétrico seco máximo determinado en el laboratorio mediante la prueba AASHTO estándar, este grado de compactación se verificó en un espesor de veinte centímetros (20 cm) mediante ensayos de laboratorio en campo.

El material producto de dicha excavación se depositó directamente en las unidades de acarreo para su traslado al lugar de almacenaje o directamente al lugar requerido para la conformación de terraplenes, el material sobrante de retiro de la obra.

### **6.4.-Conformación de la capa de terraplén.**

En los tramos indicados por el proyecto, y habiendo compactado el terreno natural, se procedió a la formación de los terraplenes en capas de veinte centímetros (20 cm) de espesor, dichas capas se compactaron hasta tener el noventa más menos dos por ciento ( $90\pm 2\%$ ) de su peso volumétrico seco máximo determinado en el laboratorio mediante la prueba AASHTO estándar, el material utilizado fue el material producto de los cortes que se mantenía limpio, así mismo se utilizó material del banco denominado “El Panadero”, material conformado por una mezcla de balastre-cementante. Se verificó la calidad de este material, para corroborar que cumpliera con la norma SCT N-CMT-1-01/02 (materiales para terraplén), verificada la nivelación de la capa en todas sus secciones transversales y longitudinalmente, así como el grado de compactación mediante pruebas de laboratorio, se procedió a la conformación de la siguiente capa.

### **6.5.-Construcción de las obras de drenaje.**

En este concepto se realizaron las obras de drenaje establecidas en el proyecto, las cuales constaban principalmente de alcantarillas, realizadas con muros de tabique y losas de piso de concreto armado, que cuentan con rejillas metálicas que desahogan el flujo superficial del agua en temporadas de lluvias, evitando los encharcamiento en la vialidad.

### **6.6.-Conformación de la capa de subrasante.**

Posterior a la capa de terraplén y cortes, se conformó la capa de subrasante, dicha capa se construyó con material de banco que cumplía con las especificaciones marcadas en la norma SCT N-CMT-1-03/02 (material para subrasante), este material fue suministrado a la obra del banco denominado “El Panadero”, así como con material de recuperación de la estructura de pavimento actual. Se escarifico hasta el nivel de la capa de subbase hidráulica existente, la cual tomara un funcionamiento como capa subrasante en la nueva estructura, esta capa de subrasante en las zonas de ampliación cuenta con un espesor de treinta centímetros (30 cm) compactos.

Nivelada la capa de subrasante, tanto en las ampliaciones como en la vialidad actual, se compacto con equipo mecánico hasta tener el cien más menos dos por ciento ( $100\pm 2\%$ ) de su peso volumétrico seco máximo determinado en el laboratorio mediante la prueba AASHTO estándar y verificado en campo mediante ensayos de compactación en campo.

El procedimiento de acarreo del material de los bancos al lugar de la obra y al subtramo que se conformaba, se realizaron en forma tal que el transito sobre la superficie de los terraplenes, cortes y de la propia subrasante, no fueran deteriorados, así mismo se descargó el material de manera que mediante una cantidad prefijada por estaciones de 20 m, no sobre pasaran los trabajos de extendido, conformación y compactado de un turno de trabajo, la preparación del material se realizó un extendido previo en el cual se incorporó la humedad necesaria para la correcta compactación del material, homogeneizando el material después de haberle agregado el agua, la compactación de esta capa se realiza en forma longitudinal de las orillas al centro en los tramos tangentes y del interior al exterior en los tramos de curvas horizontales, verificando el traslape del equipo de compactación en cada caso.

### **6.7.-Conformación de la capa de base hidráulica.**

Posterior a la capa de subrasante, se conformó la capa de base hidráulica, dicha capa se construyó con material seleccionado que cumple con las especificaciones de la norma SCT N-CMT-4-02-002/11 (materiales para bases hidráulicas) del banco denominado “San Francisco”, en el cual se producen agregados cien por ciento (100%) producto de trituración, los cuales son clasificados mediante un proceso de cribado, esta capa de base hidráulica conto con un espesor compacto de veinte centímetros (20 cm), se compacto con equipo mecánico hasta tener el cien por ciento (100%) de su peso volumétrico seco

máximo determinado en el laboratorio mediante la prueba AASHTO modificada y verificado en campo.

El procedimiento de acarreo del material de los bancos al lugar de la obra y al subtramo que se conformaba, se realizaron en forma tal que el tránsito sobre la superficie de la subrasante y de la propia base hidráulica, no fueran deteriorados, así mismo se descargó el material de manera que mediante una cantidad prefijada por estaciones de 20 m, no sobre pasaran los trabajos de extendido, conformación y compactado de un turno de trabajo, la preparación del material se realizó un extendido previo en el cual se incorporó la humedad necesaria para la correcta compactación del material, homogeneizando dicha humedad en todo el material, la compactación de esta capa se realiza en forma longitudinal de las orillas al centro en los tramos tangentes y del interior al exterior en los tramos de curvas horizontales, verificando el traslape del equipo de compactación en cada caso.

#### **6.8.-Colocación del riego de impregnación.**

Como protección para la capa de base hidráulica, se colocó un riego de impregnación con emulsión asfáltica de rompimiento lento a razón de uno punto seis litros por metro cuadrado ( $1.60 \text{ l/m}^2$ ), previamente a esta aplicación se verificó que la superficie por cubrir estaba debidamente preparada, exenta de material extraño, polvo, grasa o encharcamientos y sin irregularidades.

La petrolizadora utilizada para esta aplicación, mantuvo la emulsión a temperatura constante y un flujo uniforme en la aplicación, para garantizar una aplicación uniforme del riego.

#### **6.9.-Construcción de las losas de concreto hidráulico.**

Verificada la capa de base hidráulica en relación a su nivelación trasversal, longitudinal y al grado de compactación especificado para dicha capa, se procedió al colado de las losas de concreto de concreto hidráulico, con espesor de quince centímetros (15 cm) y con una resistencia a la compresión de proyecto de  $250 \text{ kgf/cm}^2$ , dicha capa funcionando como capa superficial y de rodamiento, cabe mencionar que todo el concreto hidráulico utilizado en esta estructura de pavimento fue concreto premezclado adquirido a la empresa CEMEX planta Uruapan, por lo cual el proceso de tendido fue posible realizarlo en tramos relativamente largos, del orden de cincuenta metros lineales (50 m) diarios por un ancho de tres metros (3 m) aproximadamente, lo cual permitía dejar una junta longitudinal de tipo machiembrada, durante la construcción de las losas no se

utilizaron pasajuntas, el acomodo del concreto hidráulico se realizaba mediante el uso de cimbras metálicas con el espesor establecido en el proyecto y el uso de reglas vibratorias mecánicas, las cuales permitían el rápido acomodo del concreto hidráulico como capa, así mismo, en su determinado tiempo se procedía al texturizado de la capa con concreto hidráulico extendida, mediante peines metálicos que aportaban un texturizado de tipo rayado como superficie de rodamiento.

Así mismo, posteriormente al texturizado, y dejando un tiempo adecuado, se procedía a la aplicación mediante la aspersion de una membrana de curado comercial, al día siguiente en el tramo colado, se realizó el proceso de corte transversal de las losas de concreto hidráulico en las separaciones marcadas por el proyecto este corte fue del orden de  $1/3$  de espesor (5 cm), esto para encausar los agrietamiento de las losas de concreto hidráulico, de igual manera se realizó el proceso de sellado de dichas grietas mediante productos elastómericos comerciales.

Las guarniciones se realizaron en colados independientes a las losas de pavimento, contando con las mismas especificaciones y calidad de materiales.

En este concepto general, es donde se obtuvieron los especímenes de cilindros y vigas de concreto hidráulico, con los cuales se realiza el presente estudio, todos obtenidos en base a las normas de muestreo que rigen los procedimientos normativos.

La vialidad no se abrió al tránsito hasta no haber verificado mediante los ensayos de laboratorio que el concreto hidráulico ya cumpliera con el cien por ciento (100%) de la resistencia de proyecto.

## CONCLUSIONES.

Después de haber analizado los resultados obtenidos de los diferentes ensayos realizados, así como el procedimiento constructivo realizado para la construcción del pavimento de esta vialidad, se tienen las siguientes conclusiones:

- En lo que respecta al proyecto de modernización realizado, podemos concluir que las losas de concreto hidráulico del pavimento rígido, cumplen con las especificaciones de proyecto, en lo que a la Resistencia de proyecto se refiere, ya que todos los resultados de los ensayos a compresión arrojaron resultados por encima de los 250 kfg/cm<sup>2</sup> que marcaban las especificaciones de proyecto.
- A pesar de que no se diseñaron las losas de concreto hidráulico de la vialidad tomando en cuenta en los esfuerzos de tensión por flexión, los resultados obtenidos de las vigas ensayadas a flexión, nos arrojaron valores de Modulo de Ruptura, bastante aceptables, lo cual se verá reflejado en la vida útil del pavimento.
- En la región de Uruapan, lugar donde se realizó la investigación, invariablemente se utiliza la grava producto de trituración de tamaño máximo (3/4”) del banco “San Francisco” y arena volcánica seleccionada mediante el proceso de cribado del banco ubicado en el municipio de Paracho, estos mismos agregados fueron los que utilizo la empresa concretos premezclados CEMEX para la elaboración del concreto hidráulico utilizado en la obra, lo cual nos da certeza de que los resultados obtenidos serán una referencia confiable en lo que respecta a la correlación que se determinó para el concreto elaborado con estos agregados pétreos específicamente.
- Se obtuvo una ecuación que correlaciona el módulo de ruptura y la resistencia a compresión del concreto hidráulico utilizado en esta obra de:

$$M_r = 2.632 (f'c)^{1/2}$$

El ACI considera que el coeficiente K del Módulo de Ruptura en la ecuación anterior, se puede encontrar entre 1.99 a 2.65 veces la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión del concreto, por lo que en la presente investigación se puede constatar que el valor del coeficiente obtenido queda dentro del rango de valores que el ACI considera, cercano al valor máximo permitido.

- Se puede concluir que para agregados pétreos como los empleados en la elaboración del concreto en estudio, el coeficiente  $k$  encontrado es de un valor relativamente alto, posiblemente por tenerse grava triturada de roca sana, combinada con arenas volcánicas obtenidas directamente de banco, pero todas debidamente clasificadas por tamices; este tipo de materiales generalmente son de forma equidimensionales, con acuse de aristas y textura rugosa, lo cual permite aumentar la adherencia con la matriz cementícea del concreto.
- Es posible que la utilización de concretos con agregados de canto rodado, con forma redondeada y textura lisa, pudieran conducir a obtener un valor menor del coeficiente  $K$  aquí calculado, lo cual puede ser objeto de continuar con la investigación.
- La finalidad de tener una fórmula que nos permita obtener el Módulo de Ruptura a partir de conocer el valor de la Resistencia a la Compresión, es muy importante y de gran ayuda, debido a que en la actualidad se siguen diseñando los concretos en esta región en función de la Resistencia a la Compresión, por lo que aplicando la correlación obtenida en esta investigación se podrá tener una referencia confiable del Módulo de Ruptura de estos concretos.

**BIBLIOGRAFÍA.**

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C. (2002).  
Pavimentos de concreto para carreteras.  
Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C.

Juárez Badillo Eulalio. (2004).  
Mecánica de Suelos tomo 1.  
Ed. Limusa. México.

Juárez Badillo Eulalio. (2004).  
Mecánica de Suelos tomo 2.  
Ed. Limusa. México.

Crespo Villalaz, Carlos (2004).  
Vías de comunicación: Caminos, Ferrocarriles, Aeropuertos, Puentes y Puertos.  
Ed. Limusa. México.

Crespo Villalaz, Carlos (2004).  
Mecánica de suelos y cimentaciones.  
Ed. Limusa. México.

Rico Rodríguez, Alfonso. (1996)  
La ingeniería de suelos en las vías terrestres: Carreteras, ferrocarriles y aeropistas  
Volumen 1  
Ed. Limusa. México.

Rico Rodríguez, Alfonso. (1996).  
La ingeniería de suelos en las vías terrestres: Carreteras, ferrocarriles y aeropistas  
Volumen 2  
Ed. Limusa. México.

Concretos CEMEX. (2003).  
Manual del constructor, CEMEX.  
Concretos CEMEX.

Mier Suárez, José Alfonso. (1987).  
Introducción a la Ingeniería de Caminos.  
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.

Zarate Aquino, Manuel. (2007).  
Diseño de pavimentos flexibles, primera parte.  
Asociación Mexicana del Asfalto A.C.

Zarate Aquino, Manuel. (2007).  
Diseño de pavimentos flexibles, segunda parte.  
Asociación Mexicana del Asfalto A.C.

Carta topográfica E13B39, INEGI.

Carta Geológica E13-3, SMG.

Censos 1980, 1990, 1995 y 2000, INEGI.

Normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes  
Libro Calidad de Materiales.

Norma SCT N-CMT-1-03/02, calidad de Subrasante, (2002).

Norma SCT N-CMT-4-02-001/11, calidad de subbase, (2011).

Norma SCT N-CMT-2-02-003/02, calidad de agua para concreto, (2002).

Norma SCT N-CMT-2-02-002/02, calidad de agregado para concreto, (2002).

Normativa de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes  
Libro Métodos de Muestreo y Pruebas.

Norma SCT M-MMP-2-02-055/06, muestreo de concreto fresco, (2006).

Norma SCT M-MMP-2-02-056/06, ensaye de revenimiento, (2006).

Norma M-MMP-2-02-058/04, ensaye de cilindros de concreto hidráulico, (2004).

Normas Oficiales Mexicanas.

NMX-C-161-1997-ONNCCE, muestreo de concreto fresco, (1997).

NMX-C-156-1997-ONNCCE, ensaye de revenimiento, (1997).

NMX-C-083-ONNCCE-2002, ensaye de cilindros de concreto hidráulico, (2002).

NMX-C-160-ONNCCE-2004, elaboración y curado en obra de especímenes de concreto, (2004)

NMX-C-191-1986, determinación de la Resistencia a Flexión del concreto usando una viga simple con carga en los tercios del claro, (1986).

American Concrete Institute. (2008).

Comité ACI 318

Normas Técnicas Complementarias del Distrito Federal, (2004).