



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO**



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS PROFESIONAL

**"OPTIMIZACIÓN DE LA DOSIFICACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO,
UTILIZANDO ARENA VOLCÁNICA PROVENIENTE DE LOS BANCOS;
"MAGDALENA" EN EL ESTADO DE GUANAJUATO Y "CHAMACUERO"
DE LA ZONA DE PURUÁNDIRO, MICHOACÁN"**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

MAYRA ALEJANDRA GUIZA SÁNCHEZ

ASESOR:

M.A. WILFRIDO MARTÍNEZ MOLINA

COASESORES:

M.I.T. CIPRIANO BERNABÉ REYES

M.I.T. SANDRA DEL CARMEN ARGUELLO HERNÁNDEZ

Morelia, Michoacán. Agosto 2017



ÍNDICE

Índice de ilustraciones	III
Índice de tablas	VI
Índice de gráficos	VIII
Dedicatorias.....	IX
Agradecimientos.....	X
Resumen.....	XI
Abstract	XII
Objetivos generales.....	XIII
Objetivos específicos	XIII
Justificación	XIII
Capítulo 1 Introducción.....	1
Capítulo 2 Antecedentes.....	3
2.1 Importancia del estudio.....	4
Capítulo 3 Materiales.....	7
3.1 Componentes del concreto.....	7
3.1.1 Cemento.....	7
3.1.2 Agua.....	12
3.1.3 Agregados.....	13
Capítulo 4 Aditivos	21
4.1 Introducción.....	21
4.2 Tipos de aditivos	22
4.3 Aditivo utilizado en esta investigación.....	23
Capítulo 5 Diseño de mezclas	24
5.1 Introducción.....	24
5.2 Diseño de mezclas por el método del ACI 211.....	25
Capítulo 6 Procedimiento de pruebas realizadas	29
6.1 Agregados pétreos.....	29
6.1.1 Cuarteo	29
6.1.2 Humedad actual en arenas y gravas	30
6.1.3 Humedad de absorción en arenas y gravas	31
6.1.4 Determinación de la densidad en arenas y gravas.....	34
6.1.5 Método de prueba para determinar la masa volumétrica seca suelta en arenas y gravas.....	37
6.1.6 Método de prueba para determinar la masa volumétrica seca varillada en arenas y gravas.....	39
6.1.7 Análisis granulométrico en arena y grava	40
6.1.8 Prueba para determinar el contenido de impurezas orgánicas en agregado fino para el concreto	43



6.1.9	Sedimentación en arenas.....	44
6.1.10	Material que pasa por la malla N° 200 en arena.....	45
6.1.11	Prueba de terrones de arcilla de la arena	46
6.1.12	Equivalente de arena	47
6.2	Cemento.....	50
6.2.1	Determinación de la consistencia normal del cemento hidráulico.....	50
6.2.2	Determinación del tiempo de fraguado del cemento hidráulico por la aguja de Gillmore	53
6.2.3	Determinación de la densidad del cemento hidráulico.	55
6.3	Concreto fresco	58
6.3.1	Método de prueba estándar para el revenimiento del concreto hidráulico....	58
6.3.2	Determinación del potencial hidrógeno (pH) en la mezcla	60
6.3.3	Determinación de la temperatura de la mezcla.....	61
6.4	Elaboración de especímenes	62
6.5	Concreto endurecido	64
6.5.1	Método de prueba para el curado de especímenes	64
6.5.2	Método para el cabeceo de especímenes de concreto con azufre.....	65
6.5.3	Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de cilindros de concreto.....	66
6.5.4	Resistencia a la flexión del concreto usando una viga simple con carga en los tercios del claro.....	67
6.5.5	Velocidad de pulso ultrasónico.	69
6.5.6	Resistividad eléctrica.	70
Capítulo 7	Resultados y discusiones	72
7.1	Agregados pétreos.....	72
7.1.1	Caracterización de la arena proveniente de los distintos bancos.	72
7.1.2	Distribución granulométrica de las arenas utilizadas en esta investigación.	72
7.1.3	Caracterización de la grava proveniente de el banco "Mesón nuevo"	74
7.1.4	Distribución Granulométrica de la grava.	75
7.2	Cemento Portland	76
7.3	Agua	77
7.4	Diseño de las mezclas.	78
7.5	Pruebas preliminares.....	79
7.6	Elaboración de especímenes	80
7.7	Concreto fresco	80
7.8	Pruebas físico-mecánicas	82
7.8.1	Resistencia a la compresión	82
7.8.2	Resistencia a la flexión por tensión en vigas.....	86
7.9	Parámetros de durabilidad.....	90
7.9.1	Velocidad de pulso ultrasónico	90
7.9.2	Resistividad eléctrica.	94
7.10	Análisis de costos de producción de las mezclas de concreto.	97
7.10.1	Análisis de precios unitarios de las mezclas.....	99
Capítulo 8	Conclusiones.....	101
Bibliografía		103



ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Ubicación de la concretera, y de los distintos bancos de arena volcánica donde se realizó la investigación. (Fotografía: Google earth 2017) ..	2
Ilustración 2 Ubicación de la concretera y del banco de grava triturada donde se realizó la investigación. (Fotografía: Google earth 2017)	2
Ilustración 3 Etapas de la producción del Cemento Portland a través del proceso seco (Kosmatka, Kerkhoff, Panarese, & Tanesi, 2004)	9
Figura 4. Gráfico de la resistencia que adquiere el cemento CPC 40 respecto a la edad.(http://www.cementosfortaleza.com/cemento-portland-compuesto-cpc-40).....	11
Ilustración 5 Ruta de acarreo entre el banco "La Magdalena", y concretos Guimart S.A de C.V. (Earth, 2017)	16
Ilustración 6 Material obtenido del banco " La Magdalena" (Fotografía: Mayra Alejandra Guiza S.)	16
Ilustración 7 Ubicación de los bancos de materiales registrados en el estado de Guanajuato (SCT, 2015)	17
Ilustración 8 Datos registrados sobre el banco la Magdalena (SCT, 2015)	17
Ilustración 9 Distancia de acarreo entre el banco de arena volcánica "Chamacuero" y concretos Guimart S.A de C.V. (Earth, 2017)	18
Ilustración 10 Material proveniente del banco "Chamacuero" (Fotografía: Mayra Alejandra Guiza S.)	18
Ilustración 11 Distancia de acarreo entre el banco de material "Mesón nuevo", y Concretos Guimart S.A de C.V. (Earth, 2017)	19
Ilustración 12 Material proveniente del banco "Mesón nuevo" (Fotografía: Mayra Alejandra Guiza S.)	19
Ilustración 13 Ubicación de los bancos de materiales ubicados en el estado de Michoacán (SCT, 2015)	20
Ilustración 14 Datos registrados del banco "Mesón nuevo" (SCT, 2015)	20
Ilustración 15 Reducción de la muestra de arena por medio de cuarteador mecánico (Fotografía: Mayra A. Guiza S.).....	30
Ilustración 16 División de la muestra de grava en cuatro partes. (Fotografía: Mayra A. Guiza S).	30
Ilustración 17 Medidas de cono troncocónico y muestra seca superficialmente Fotografía:(NMX-C-165-ONNCCE-2014)	32
Ilustración 18 Secado superficial de la arena por medio del molde troncocónico. (Fotografía: Mayra A. Guiza S.).....	32
Ilustración 19 En la imagen de la izquierda se observa la grava saturada durante 24 horas, en la imagen de la derecha se observa el material secado en la parrilla. (Fotografía: Mayra A. Guiza S.)	34
Ilustración 20 Determinación de la densidad de la grava por medio del volumen desplazado en el picnómetro	36
Ilustración 21 Proceso de determinación de masa volumétricas secas sueltas. (Fotografía: Mayra A. Guiza S.).....	38



Ilustración 22 Determinación de las masas volumétricas de la arena. (Fotografía: Mayra A. Guiza S.)	38
Ilustración 23 Reducción de la muestra de arena por medio del cuarteador mecánico. (Fotografía: Mayra A. Guiza S.)	38
Ilustración 24 Proceso de determinación de masas volumétricas secas varilladas. (Fotografía: Mayra A. Guiza S.)	39
Ilustración 25 Proceso de cribado mediante el aparato mecánico rap-tap (Fotografía: Mayra A. Guiza S.)	41
Ilustración 26 Cribado de la muestra de grava para obtener el tamaño máximo de agregado (Fotografía: Mayra A. Guiza S.)	42
Ilustración 27 Determinación del contenido de materia orgánica por medio de la tabla colorimétrica (Fotografía: Mayra A. Guiza S.)	44
Ilustración 28 Contenido de material fino en la muestra de arena (Fotografía: Mayra A. Guiza S.)	45
Ilustración 29 Proceso de determinación de equivalente de arena (Fotografía: Mayra A. Guiza S.)	49
Ilustración 30 Ilustración del aparato de Vicat utilizado en el ensaye de consistencia normal.	52
Ilustración 32 Aparato Vicat con la masa idónea de cemento	52
Ilustración 33 Ilustración de la pastilla de la masa de cemento sobre la placa de vidrio (ASTM-C-266-04)	53
Ilustración 34 Descripción del aparato de Gillmore para realizar tiempos de fraguado (ASSTM-C-266-04)	54
Ilustración 35 Aparato de Gillmore y pastilla de masa de cemento resultado del ensaye de consistencia normal, en el cuarto húmedo. (Fotografía: Mayra A. Guiza S.)	55
Ilustración 36 Matraz de Le Chatelier para la determinación de la densidad del cemento (Norma I.N.V. E-307-07)	57
Ilustración 37 Proceso de la prueba de revenimiento	59
Ilustración 38 Determinación del revenimiento en las mezclas. (Fotografía: Mayra A. Guiza S.)	59
Ilustración 39. Tiras reactivas que ayudan a determinar el pH de la mezcla. (Fotografía: Mayra A. Guiza S.)	60
Ilustración 40. Determinación de la temperatura de la mezcla, por medio de termómetro electrónico y de mercurio. (Fotografía: Mayra A. Guiza S.)	61
Ilustración 41 Pila de curado (Fotografía: I. Trujillo C.)	64
Ilustración 42 Proceso de cabeceo de cilindros (Fotografía: Mayra Alejandra Guiza S.)	65
Ilustración 43 Cilindros cabeceados para ser sometidos a compresión (Fotografía: Mayra A. Guiza S.)	66
Ilustración 44 Proceso de determinación de la resistencia a la flexión (Fotografía: E. González Castro)	68
Ilustración 45 Determinación de la velocidad de pulso a los especímenes cilindricos (Fotografía: Mayra Alejandra Guiza S.)	70



Ilustración 46 Determinación de la resistividad a los especímenes de concreto
(Fotografía: E. González Castro)..... 71
Ilustración 47 Escala de pH..... 80



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Proporcionamiento utilizado por "Concretos Guimart" $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$	5
Tabla 2	Costo por m^3 de concreto, $f'c=250 \text{ kg/cm}^2$	5
Tabla 3	Clasificación de los cementos según su resistencia a la compresión y características especiales (NMX-C-414-ONNCCE-2014)	10
Tabla 4	Familias de rocas (Chan J., 2003)	14
Tabla 5	"Clasificación de los aditivos" (NMX-C-255-ONNCCE, 2013)	21
Tabla 6.	Datos técnicos (Admixtures, 2015)	23
Tabla 7	Revenimiento recomendado para diversos tipos de construcción	25
Tabla 8	Requisitos de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado.	26
Tabla 9	Desviación estándar de la resistencia del concreto en kg/cm^2	26
Tabla 10	Determinación del F_{cr}	27
Tabla 11	Elección de la relación agua-cemento, dependiendo del $f'c$ de diseño	27
Tabla 12	Estimación del agregado grueso.....	27
Tabla 13	Número de capas requeridas para los especímenes.	62
Tabla 14	Diámetro de varilla y número de penetraciones empleados para moldear los especímenes de prueba.....	63
Tabla 15	Caracterización de los áridos utilizados en esta investigación.....	72
Tabla 16	Determinación de los tamaños de partícula presentes en las arenas utilizadas en esta investigación.	73
Tabla 17	Caracterización de la grava utilizada en la investigación.....	74
Tabla 19	Determinación de los tamaños de partícula presente en la grava "Mesón nuevo"	75
Tabla 20	Caracterización del cemento utilizado en esta investigación.	76
Tabla 20	Caracterización de los materiales con los que se realizó las mezclas del banco de arena "La Magdalena".....	78
Tabla 21	Caracterización de los materiales con los que se realizaron las mezclas del banco de arena "Chamacuero"	78
Tabla 21	Diseño de las mezclas.	78
Tabla 23	Simbología de las mezclas, modificando los proporcionamientos base. .	79
Tabla 24	Mezclas preliminares.....	79
Tabla 25	Rangos de revenimiento permitidos según (NMX-C-155-ONNCCE-2004)	80
Tabla 26	Temperaturas mínimas y máximas al momento de la producción y colocación del concreto según (NMX-C-155-ONNCCE-2004)	81
Tabla 26	Determinación de las características de las mezclas en estado fresco....	81
Tabla 27	Comparativa de resistencia a la compresión a los 28 días para ambos tipos de arena.....	85
Tabla 28	Comparativa de los resultados a la flexión expresados en porcentaje respecto a la resistencia a la compresión para ambas arenas.....	89
Tabla 29	Clasificación del concreto según su velocidad de pulso ultrasónico.	90
Tabla 30	Comparación de los resultados de velocidad de pulso para ambos tipos de arena.....	93



Tabla 31	Parámetros de corrosión en el concreto (RED DURAR).....	94
Tabla 32	Comparación de los resultados de resistividad eléctrica para ambos tipos de arenas.	96
Tabla 33	Costo por metro cúbico de los agregados, considerando acarreos a la planta de concreto.....	97
Tabla 34	Proporcionamiento actual de la concreteira.....	98
Tabla 35	Proporcionamiento propuesto para ambos tipos de arena.....	98
Tabla 37	Análisis de costos por metro cúbico de concreto, para un perímetro de 10 km a la redonda de la planta, de $F'c= 250 \text{ kgf/cm}^2$	99
Tabla 37	Análisis de costos por metro cúbico de concreto, para un perímetro de 10 km a la rendonda de la planta, de $f'c= 250 \text{ kgf/cm}^2$	99
Tabla 38	Análisis de costos por metro cúbico de concreto, para un perímetro de 10 km a la redonda de la planta, de $f'c= 250 \text{ kgf/cm}^2$	100
Tabla 39	Análisis comparativo de precios unitarios de las mezclas propuestas contra el proporcionamiento utilizado por la concreteira de estudio.	100



ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Distribución de partículas de la arena "Chamacuero".....	73
Gráfico 2 Distribución de partículas de la arena "La magdalena"	74
Gráfico 3 Resistencia a la compresión a los 7 días de las mezclas "Chamacuero".	82
Gráfico 4 Resistencia a la compresión a los 14 días de las mezclas "Chamacuero".	82
Gráfico 5 Resistencia a la compresión a los 28 días de las mezclas "Chamacuero".	83
Gráfico 6 Resistencia a la compresión a los 7 días de las mezclas "La magdalena"	84
Gráfico 7 Resistencia a la compresión a los 14 días de las mezclas "La magdalena"	84
Gráfico 8 Resistencia a la compresión a los 28 días de las mezclas "La magdalena"	85
Gráfico 9 Resistencia a la flexión a los 7 días para las mezclas "Chamacuero".....	86
Gráfico 10 Resistencia a la flexión a los 14 días para las mezclas "Chamacuero"...	87
Gráfico 11 Resistencia a la flexión a los 28 días para las mezclas "Chamacuero"...	87
Gráfico 12 Resistencia a la flexión a los 7 días para las mezclas de "La magdalena"	88
Gráfico 13 Resistencia a la flexión a los 14 días para las mezclas de "La magdalena".....	88
Gráfico 14 Resistencia a la flexión a los 28 días para las mezclas de "La magdalena"......	89
Gráfico 15 Velocidad de pulso ultrasónico para las mezclas "Chamacuero" a los 7 días.	90
Gráfico 16 Velocidad de pulso ultrasónico para las mezclas "Chamacuero" a los 14 días.	91
Gráfico 17 Velocidad de pulso ultrasónico para las mezclas "Chamacuero" a los 28 días.	91
Gráfico 18 Velocidad de pulso ultrasónico para las mezclas "Magdalena" a los 7 días.	92
Gráfico 19 Velocidad de pulso ultrasónico para las mezclas "Magdalena" a los 14 días.	92
Gráfico 20 Velocidad de pulso ultrasónico para las mezclas "Magdalena" a los 28 días.	93
Gráfico 21 Resistividad eléctrica para las mezclas "Chamacuero" a los 7 días.	94
Gráfico 22 Resistividad eléctrica para las mezclas "Chamacuero" a los 14 días. ...	94
Gráfico 23 Resistividad eléctrica para las mezclas "Chamacuero" a los 28 días.	95
Gráfico 24 Resistividad eléctrica de las mezclas "La Magdalena" a los 7 días.....	95
Gráfico 25 Resistividad eléctrica de las mezclas "La Magdalena" a los 14 días.....	96
Gráfico 26 Resistividad eléctrica de las mezclas "La Magdalena" a los 28 días.....	96



DEDICATORIAS

A mi papá: José Guiza Martínez un hombre increíblemente noble que con su ejemplo de perseverancia, visión, trabajo duro y bondad, me ha mostrado como ser una mejor persona, útil para la sociedad y para los suyos. Con un grandísimo amor me has apoyado en todas las etapas de mi vida, creyendo en mí, mostrándome que no hay imposibles, que puedo lograrlo, cuando he tenido miedo me has alentado a vencerlo, a ser valiente, con tu ejemplo de amor y respeto me enseñas todos los días las cosas que de verdad importan en la vida, soy muy afortunada de ser tu hija y ojalá algún día llegue a ser una décima parte de lo bondadoso y noble que eres tú.

A mi mamá: Rebeca Sánchez Arreguín; alegre, divertida, responsable, tú has sido mi amiga, mi confidente, el pilar de nuestro hogar, tú eres esa mirada noble, esa sonrisa benevolente, curando las heridas con besos, palabras llenas de paz o silencios purificadores, me has cuidado, me has enseñado a ser más abierta, a entender que hay cosas que no podemos cambiar pero que hay que seguir, has sido un ejemplo de fortaleza y el amor más grande que he conocido ha venido de ti.

A mi hermano: José Guiza Sánchez; mi compañero fiel, has estado siempre allí, dispuesto a ayudar a quien te lo pide, inteligente, divertido, elocuente, juntos tuvimos una infancia feliz descubriendo el mundo a través de nuestras aventuras, nuestras historias, tantas risas y peleas que nos han hecho inseparables. Sé que puedo contar contigo y nos tendremos siempre.

A mi abue: Salvador Guiza Magaña; un hombre admirable, inteligente, trabajador, te debo la bonita familia a la que pertenezco, sin importar lo que suceda estás siempre allí para los tuyos, uniendo la familia, tu sola presencia brinda paz, eres un ejemplo de amor, yo quiero hacer las cosas bien en la vida como tú. Eres el mejor ejemplo en todos sentidos, el mejor hombre que ha existido jamás.

A mi tío Chavita: Por todo el apoyo que me has brindado en la vida y a través de mi formación académica ayudándome en todo momento cuando tuve dudas mostrándote siempre interesado por las cosas en las que he participado, porque más que un tío, eres para mí un segundo papá.



AGRADECIMIENTOS

A Dios por ponerme en el camino las pruebas necesarias para ir puliendo mis debilidades, por brindarme un sistema de apoyo en los momentos de dificultad; mis amigos, mis familiares. Porque de un tirón él siempre me endereza la puntería y me conduce por los mejores caminos.

A mis padres que me han dado lo mejor, rodeándome de amor y disciplina, mostrando con su ejemplo el camino del bien, de la bondad y de la familia. A mi hermano por ser mi compañero en quien siempre puedo confiar.

A mi familia, todos ellos, abuelitos, tíos, tías, primos, primas, sobrinas a quienes considero un pilar fundamental de mi vida compartiendo momentos de alegría y de dificultad siempre dispuestos a escuchar y deseando lo mejor para la vida del otro. "Todo se va menos la familia".

A mi asesor M.A. Wilfrido Martínez Molina y a la Dra. Elia Mercedes Alonso Guzmán, seres humanos extraordinarios que me han brindado su apoyo en todos los ámbitos, considerándolos unos ángeles en mi vida, gracias por permitirme aprender de ustedes.

A la facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por permitirme realizar mis estudios en esta honorable institución por brindarme profesores de los cuales aprendí mucho y les estaré profundamente agradecida.

A mis compañeros de tesis Oscar Geovanny Martínez Balvanera y Sóstenes Alberto López Reyes, gracias por creer en este proyecto, por apoyarme en todo momento, sin importar los contratiempos juntos trabajamos por nuestra investigación y la sacamos adelante.

A Berna, a Sandy, quienes estuvieron al pendiente de nuestra investigación, siempre dispuestos a ayudar, los admiro muchísimo, gracias por la orientación en este arduo trabajo.

A mis compañeros de trabajo gracias por el apoyo brindado en este proceso, por estar siempre pendientes de este camino y ofrecer lo mejor de ustedes.

A todos aquellos que me encontré en este camino, personas que permanecieron un par de estaciones y cuyos recuerdos llevo grabados en mi memoria, personas que permanecen, que me brindaron su apoyo, que me alentaron en los momentos de tristeza, que me ayudaron a continuar, gracias a todos ustedes amigos, por que han enriquecido mi existencia con su vida, con los momentos compartidos, los llevo siempre en mi corazón.



RESUMEN

El empleo de aditivos fluidificantes como agentes dispersantes nos permite reducir la cantidad de agua en el diseño de la mezcla de concreto, asegurando un concreto trabajable facilitando su colocación por medio del bombeo. Permite incrementar la resistencia del concreto y disminuir la cantidad de cemento necesario para un $f'c$ de diseño.

Debido a que el cemento es uno de los materiales de la construcción que más contamina, emitiendo en su producción prácticamente la misma cantidad de toneladas de dióxido de carbono al ambiente y que representa aproximadamente el 50% del costo directo del concreto, por lo que es fundamental mantener la mínima cantidad de cemento en la mezcla que asegure la resistencia, la trabajabilidad y durabilidad. Es por ello que en esta investigación se realizaron mezclas de concreto con el objetivo de que fueran trabajables, con un revenimiento de 15 cm, y que cumplieran con un rango mínimo de tolerancia el $f'c$ de proyecto de 25 MPa.

Se utilizó un cemento CPC 40 RS, evaluándose dos tipos de arenas, volcánica provenientes de distintos bancos de materiales de las zonas de "La Magdalena" en estado de Guanajuato, y "Chamacuero", en el estado de Michoacán; se utilizó una grava triturada del banco "Mesón nuevo", ubicado en el municipio de Tarímbaro, Michoacán.

Con el objeto de mantener la trabajabilidad de la mezcla se agregó un aditivo fluidificante en las siguientes proporciones: para la mezcla denominada "M1" se utilizó 10.84 ml/kg de cemento del aditivo HPA-RED[®] CRETE-ABS y las porciones relativas al diseño de la mezcla en su totalidad. Para la mezcla "M6" se utilizó 6.5 ml/kg de cemento y se redujo en un 14% (en masa) la cantidad de cemento del proporcionamiento de la mezcla. Para la mezcla "M7" se utilizó 6.5 ml/kg de cemento y se redujo en un 20% la cantidad de cemento (en masa) respecto a las mezclas testigos.

Se elaboraron especímenes para ambas arenas, que fueron ensayados a 7, 14 y 28 días. Las pruebas destructivas realizadas fueron resistencia a compresión simple y flexión; las pruebas no destructivas fueron resistividad eléctrica y velocidad de pulso ultrasónico (VPU). Para las mezclas "M7" se obtuvieron los valores más cercanos al $f'c$ de diseño de 25.59 y 27.98 MPa para las arenas de los bancos "Chamacuero" y "La Magdalena" respectivamente. Las mezclas "M7" obtuvieron valores altos de Módulo de Ruptura, observándose una disminución de la resistencia a la flexión con respecto al testigo del 2.3 y 9.25% para las arenas de los bancos "Chamacuero" y "La Magdalena" respectivamente. En los parámetros de durabilidad se presentaron resultados favorables para las mezclas "M7" clasificándose como durable para los ensayos de VPU y de riesgo moderado a la corrosión para los ensayos de resistividad eléctrica. En términos generales las mezclas "M7" elaboradas con ambos tipos de arena poseen buenas propiedades teniendo un ahorro de cemento del 20% en masa.

Palabras clave: concreto hidráulico, aditivo fluidificante, optimización de proporciones, cemento, agregados volcánicos.



ABSTRACT

The use of fluidizing additives as dispersing agents allows us to reduce the amount of water in the design of the concrete mixture, ensuring a workable concrete facilitating its placement by means of pumping. It increases the strength of the concrete and decreases the amount of cement required for a f'c design.

Because cement is one of the most polluting building materials, emitting almost the same amount of carbon dioxide into the environment and accounting for approximately 50% of the direct cost of the concrete. It is essential to maintain the minimum amount of cement in the mixture that ensures the strength, workability and durability. This is why in this research concrete mixtures were made in order to be workable, with a 15 cm slump, and to comply with a minimum tolerance range of 25 MPa project f'c.

A CPC 40 RS cement was used, evaluating two types of volcanic sands coming from different materials banks of the "La Magdalena" areas in the state of Guanajuato, and "Chamacuero" in the state of Michoacán; A crushed gravel of the "Mesón nuevo" bank was used, located in the municipality of Tarímbaro Michoacán.

In order to maintain the workability of the mixture, a fluidizing additive was added in the following proportions: 10.84 ml / kg of cement of the HPA-RED CRETE-ABS additive was used for the mixture called "M1" and the portions relative to the design of the mixture in its entirety. For the "M6" mixture, 6.5 ml / kg of cement was used and the amount of cement in the proportioning of the mixture was reduced by 14% (by mass). For the "M7" mixture, 6.5 ml / kg of cement was used and the amount of cement (by mass) was reduced by 20% with respect to the control mixtures.

Specimens were made for both sands, which were tested at 7, 14 and 28 days. The destructive tests performed were resistance to simple compression and flexion; The non-destructive tests were electrical resistivity and ultrasonic pulse velocity (VPU). For the mixtures "M7", the values was closest to the design f'c of 25.59 and 27.98 MPa were obtained for the sands of the banks "Chamacuero" and "La Magdalena" respectively. The "M7" mixtures obtained high values of rupture modulus, with a decrease of the flexural strength compared to the control of 2.3 and 9.25% for the sands of the banks "Chamacuero" and "La Magdalena" respectively. In the durability parameters, favorable results were presented for the "M7" mixtures classified as durable for the assays of VPU and of moderate risk to corrosion for the tests of electrical resistivity. In general terms the "M7" mixtures made with both types of sand have good properties having a cement saving of 20% in mass.

Keywords: hydraulic concrete, fluidizing additive, optimization of proportions.



OBJETIVOS GENERALES

Evaluar la influencia de dos tipos de arenas volcánicas provenientes de distintos bancos de material ubicados en Michoacán "Chamacuero", y "Magdalena", en Guanajuato con la finalidad de elaborar mezclas trabajables de concreto hidráulico y conocer sus propiedades físico mecánicas, utilizando distintas proporciones de aditivo fluidificante que permitan obtener el $f'c$ de proyecto, utilizando la menor cantidad de cemento posible.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar distintos tipos de agregados realizando las pruebas de densidad, masas volumétricas seca suelta y seca varillada, contenido de materia orgánica, sedimentación, humedad actual y humedad de absorción y compararlos con las normativas vigentes.
- Diseñar y elaborar mezclas de concreto conservando constante: el $f'c$ de proyecto de 25 MPa, la relación agua cemento de 0.61, el tamaño máximo de agregado de $\frac{3}{4}$ " , y el mismo tipo de cemento CPC 40-RS
- Obtener un valor de revenimiento de 15 centímetros, que asegure que el concreto será bombeable.
- Efectuar pruebas de laboratorio que permitan evaluar el comportamiento de las distintas mezclas en estado fresco y endurecido.

JUSTIFICACIÓN

En la práctica profesional, las concreteras ofrecen concreto premezclado que se puede adaptar a los requerimientos del cliente, que está en función de la obra que se realizará y del elemento que se este fabricando, generalmente lo que se pide es un valor de revenimiento y una resistencia a la compresión específica a los 28 días.

De acuerdo con los requerimientos que establece el cliente se debe hacer un diseño que asegure las solicitudes, utilizando los materiales y las proporciones que permitan producir un concreto con las características antes definidas, y que su producción se realice de la manera más económica posible.

Por lo tanto en una concretera es de vital importancia asegurar que su producto sea, trabajable, resistente y durable.

La trabajabilidad de la mezcla depende del proporcionamiento establecido en base a la calidad de los materiales y al revenimiento fijado por el cliente, que estará en función del elemento que se colará y al proceso de colado, es decir, si será un concreto a tiro libre o bombeado; cuando este sea bombeado es necesario que la mezcla permanezca fluida para su colocación y acabados. Sin



embargo la trabajabilidad no tiene porque ser un factor que disminuya la resistencia solicitada por el cliente, por lo que es necesario utilizar aditivos plastificantes que permitan reducir la relación agua cemento de la mezcla.

El precio de elaboración del concreto es afectado evidentemente por la calidad y el precio de los materiales con lo que es constituido, por lo tanto, es importante valorar la calidad de los bancos de materiales que se encuentran más cercanos a la planta de concreto, disminuyendo así los costos de acarreo de los agregados. El factor que más impacta en el precio de la elaboración del concreto es el cemento, que representa aproximadamente el 50% del precio total, por lo que es muy importante optimizar su consumo de acuerdo a las solicitudes del cliente.

Con base al análisis de los agregados y a las distintas variaciones que se realizaron en esta experimentación podemos seleccionar la mezcla que cumplió con los objetivos de resistencia, trabajabilidad y economía, asegurando el control en la calidad tanto de los materiales como del proceso de elaboración, siguiendo a pie de la letra las normas vigentes para la realización de las pruebas.



Capítulo 1 INTRODUCCIÓN.

El concreto es uno de los materiales más importantes producidos por el hombre, en la industria de la construcción. Es de vital importancia que tenga un buen desempeño desde su estado fresco siendo trabajable, hasta su puesta en servicio resistiendo los elementos mecánicos a los que estará sometido, es por ello que es preciso cuidar todos los detalles al momento de dosificar el concreto.

Existen muchas variables que impactan en la trabajabilidad y en la resistencia mecánica del concreto, algunas de ellas son la naturaleza de los agregados pétreos, la relación agua cemento de la mezcla, entre otros. Es por ello que resulta conveniente la utilización de aditivos fluidificantes para asegurar la trabajabilidad de la mezcla sin poner en riesgo la resistencia.

Un diseño de mezcla debe ser realizado evaluando lo dicho anteriormente, pero un factor que es de vital importancia es el precio del concreto, ya que uno de los objetivos principales de la ingeniería es precisamente dar la solución a necesidades de manera efectiva y económica.

Las concreteteras deben asegurar la calidad de su producto y que su negocio sea rentable por lo que es indispensable la elaboración de mezclas que se ajusten exactamente a lo que el cliente esta pidiendo, teniendo un rango de resistencia mínimo, de acuerdo al $f'c$ de proyecto.

Se realizó este estudio pensando en un caso real para una concretetera llamada "Concretos Guimart S.A de C.V." ubicada en la ciudad de Puruándiro Michoacán. El primer análisis que se debe realizar al pensar en una planta productora de concreto hidráulico es el costo de producción del concreto, que esta relacionado con los elementos que lo conforman: Agregados pétreos, Cemento Portland, Agua, y en algunas ocasiones aditivos que ayuden a cumplir con una característica específica del concreto.

Es por ello que resulta fundamental analizar en primera instancia los bancos de materiales cercanos a la concretetera que pudieran suministrar buenos agregados, que no impliquen grandes costos de acarreo.

En el presente trabajo diseñamos mezclas de concreto con dos tipos de arenas volcánicas cercanas a la planta productora de concreto en cuestión, se utilizó grava triturada, un cemento CPC 40-RS y se variaron los porcentajes de aditivo fluidificante, comparando con una mezcla testigo con el objetivo de encontrar la mezcla que mejor se ajustará al $f'c$ de proyecto y que fuera más rentable para la concretetera tomando en cuenta un análisis de costos de la mezcla ideal.

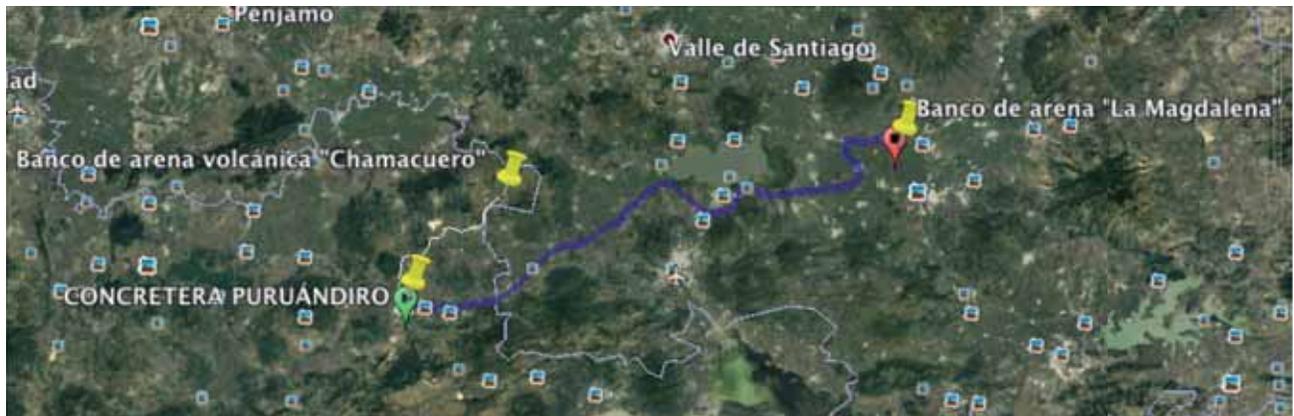


ILUSTRACIÓN 1 UBICACIÓN DE LA CONCRETERA, Y DE LOS DISTINTOS BANCOS DE ARENA VOLCÁNICA DONDE SE REALIZÓ LA INVESTIGACIÓN. (FOTOGRAFÍA: GOOGLE EARTH 2017)

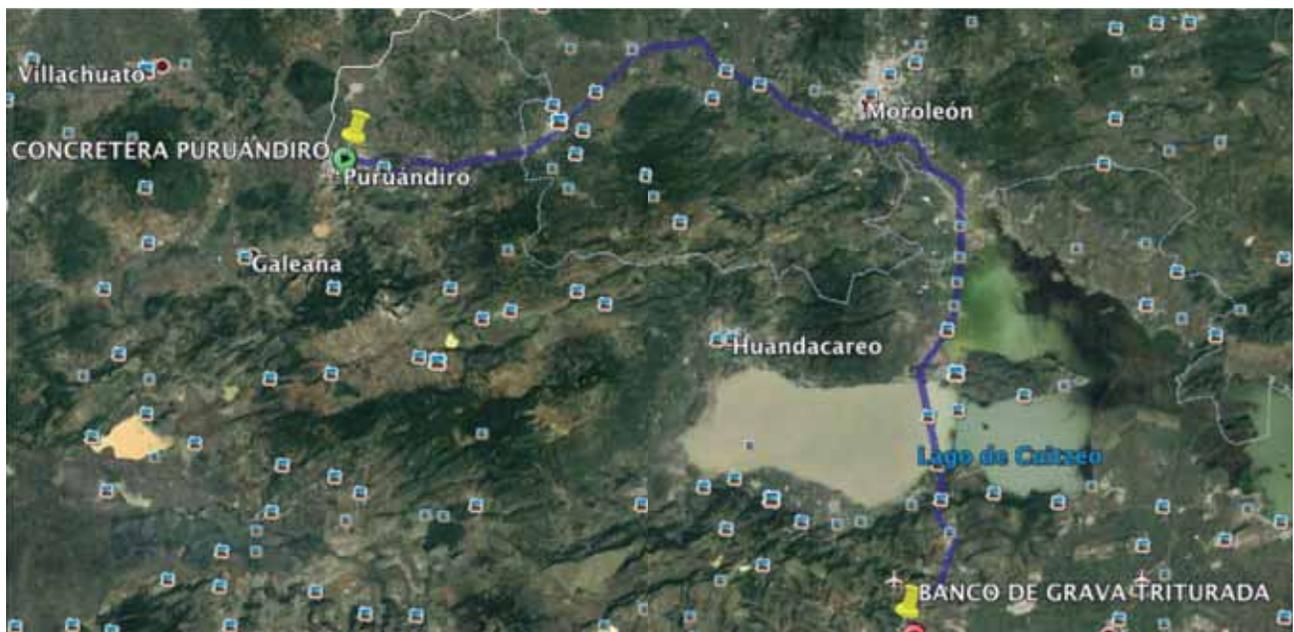


ILUSTRACIÓN 2 UBICACIÓN DE LA CONCRETERA Y DEL BANCO DE GRAVA TRITURADA DONDE SE REALIZÓ LA INVESTIGACIÓN. (FOTOGRAFÍA: GOOGLE EARTH 2017)

En función de lo dicho anteriormente el presente trabajo fue dividido en ocho capítulos, en la primera parte se describen los objetivos, la justificación del estudio y la introducción que define los conceptos básicos de la investigación.

En el primero se describe de manera general los conceptos involucrados en esta investigación.

El segundo capítulo aborda los estudios realizados a lo largo del tiempo y la importancia de la utilización de aditivos fluidificantes, además se realizó un análisis del costo de producción del concreto, en "Concretos Guimart S.A de C.V".



El tercer capítulo define los materiales con lo que se realiza el concreto de manera general, y se especifican los materiales que se utilizaron en esta investigación.

En el cuarto capítulo se describen los aditivos que son utilizados en la elaboración del concreto, y se analiza el aditivo con el que se realizaron las mezclas.

El quinto capítulo describe el método de diseño que se utilizó para el proporcionamiento del concreto hidráulico,

En el sexto capítulo se describen las pruebas de laboratorio que determinan la calidad de los materiales y que son fundamentales para el diseño de la mezcla.

En el séptimo capítulo se analizan los resultados de las pruebas realizadas a los agregados, así como los resultados que se obtuvieron de los ensayos de control de calidad en el concreto y se concluye con la mezcla que obtuvo mejores resultados.

En el último capítulo se describen las características de las mezclas que se cumplieron de manera efectiva los objetivos planteados en esta investigación.

Capítulo 2 ANTECEDENTES.

Los aditivos superfluidificantes son ampliamente usados por su efectiva acción para aumentar la trabajabilidad de la mezcla o reducir el contenido de agua del concreto manteniendo la misma consistencia. Ambos efectos se traducen en una estructura de poros más cerrada con el consecuente incremento de la resistencia y durabilidad.

Las características y propiedades mecánicas alcanzadas por el concreto de alto desempeño en estado fresco y en estado endurecido son posibles gracias a la incorporación de aditivos superfluidificantes de diversas composiciones y a la presencia de adiciones minerales, además de los componentes habituales. (Trezza, 2017)

Para el caso de aplicaciones estructurales la resistencia del material constituye un factor esencial. Si se puede aumentar la resistencia, las dimensiones de la sección transversal de los miembros estructurales pueden reducirse, así como la magnitud de la carga muerta.

Como resultado, el empleo de materiales de alta resistencia es muy recomendado para el diseño de cualquier estructura, sobre todo de una de concreto. En el curso de los últimos 20 años, con el advenimiento de los aditivos químicos y minerales para usarse en las mezclas de concreto, su resistencia ha aumentado de manera considerable.

En nuestros días no resulta extraño enterarse de que concretos de 710 kgf/cm^2 se han usado en proyectos significativos en muchas partes del mundo. Por ejemplo,



se ha utilizado concreto de alta resistencia para proyectos tan famosos como el edificio Two Union Square, en Seattle, Washington, en 1988 (1370 kgf/cm²); en las Torres Gemelas "Petronas", en Kuala Lumpur, Malasia, en 1998 (810 kgf/cm²); en el puente Confederation, en Prince Edward Island, Canadá, en 1997 (610 kgf/cm²) y en la plataforma marina Hibernia, en New foundland, Canadá, en 1996 (700 kgf/cm²).

Sin la disponibilidad de concreto de alta resistencia hubiera sido imposible la construcción de estas estructuras.

La inclusión de superfluidificantes y de aditivos minerales, constituye el factor más importante que ha posibilitado la producción económica de concreto de alta resistencia. Con los superfluidificantes se aumenta significativamente el revenimiento del concreto, desde alrededor de 70 mm hasta 200 mm, sin perder la cohesión de la mezcla. Por tanto, los superfluidificantes no sólo permiten que el concreto se coloque con poca o nula compactación, sino que también de manera más notoria permiten la producción de concreto con una disminución sustancial de la relación agua / cemento. (Perez, 2004)

2.1 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

Concretos Guimart es una empresa que se dedica a la producción de concreto premezclado para obras civiles, como son pavimentos, elementos estructurales, puentes, canales, entre otros. Es una empresa comprometida con sus clientes y con el medio ambiente ofreciendo concreto de calidad y durable.

La empresa se encuentra ubicada en la Ciudad de Puruándiro, Michoacán, tiene una venta mensual aproximada de 750 m³ de concreto hidráulico.

Para mantener la competitividad en el mercado así como la rentabilidad del negocio es necesario realizar análisis periódicos acerca de las variables que más impactan en el costo de producción del concreto, por lo que realizar optimizaciones en las dosificaciones permite obtener mejoras que conllevan al crecimiento del negocio o a la inversión en infraestructura que permita competir en otras áreas de la construcción.

Los materiales con los que se elabora actualmente el concreto provienen de los bancos:

- "Chamacuero" suministrando arena volcánica, ubicado en la comunidad de Chamacuero, municipio de Puruándiro a 24.5 km de distancia de la concretera.
- "Mesón nuevo" suministrando grava triturada, ubicado en la localidad de Mesón nuevo, municipio de Tarímbaro, a una distancia de 82.6 km de la Ciudad de Puruándiro.



- Cemento portland CPC 40-RS, descargado en planta.
- Agua potable obtenida de la red municipal de Puruándiro.

Según análisis previos para un concreto de $f'c$ de 250 kgf/cm² a los 28 días, la dosificación es la siguiente:

TABLA 1 PROPORCIONAMIENTO UTILIZADO POR "CONCRETOS GUIMART" $f'c=250$ KG/CM²

Proporcionamiento actual utilizado por la concretera arena "Chamacuero"	
Proporcionamiento considerando los materiales secos	
Materiales	Peso (kg)
Cemento	330
Agua	250
Grava	900
Arena	900
Aire	0
Total	2380

Realizando un análisis de los costos obtenemos lo siguiente:

TABLA 2 COSTO POR M³ DE CONCRETO, $f'c=250$ KG/CM²

MATERIAL	UNIDAD	VOLUMEN	CANTIDAD	P.U	IMPORTE
Cemento	KG.		330	2.57	848.10
Arena	M3.	0.713	900	157	111.88
Grava	M3.	0.678	900	320	216.96
Agua	L.	0.2	250	0.053	13.25
Diesel	L.		4.98	17.05	84.909
Mano de obra					78.30
Costo directo					1353.40
Costo indirecto					270.68
Suma					1624.07
Uso de la bomba					250
Precio al público					1874.07

Del anterior análisis podemos deducir que el cemento implica el 45.25% del costo total de la producción de concreto por lo que es viable realizar experimentaciones con el fin de reducir el consumo de cemento, no solo por economía sino por las emisiones de dióxido de carbono que la industria cementera aporta a la atmósfera.

La producción de cemento representa el sector que a nivel mundial genera mayor cantidad de emisiones de gases de efecto de invernadero a la atmósfera, debido al alto consumo energético requerido por unidad de producción. El



consumo de energía en la industria del cemento representa casi el 2% del consumo de la energía global primaria y aproximadamente el 5% de la energía consumida por la industria global. En la producción de cemento, el consumo de energía depende del tipo de tecnología de producción. De acuerdo a Hendriks, más del 90% de la energía utilizada en la producción de cemento corresponde a los combustibles fósiles, principalmente carbón mineral, coque, petróleo y gas natural. (Javier Darío, 2005)



Capítulo 3 MATERIALES.

3.1 COMPONENTES DEL CONCRETO

El concreto es un material pétreo artificial que se obtiene de la mezcla, en determinadas proporciones, de pasta y agregados minerales. La pasta se compone de cemento y agua, que al endurecerse une a los agregados formando un conglomerado semejante a una roca debido a la reacción química entre estos componentes. (Palbol, 1996)

3.1.1 CEMENTO

El cemento es un material aglutinante que presenta propiedades de adherencia y cohesión, que permiten la unión de fragmentos minerales entre sí, formando un todo compacto. En la construcción se ha generalizado la utilización de la palabra cemento para designar un tipo de aglutinante específico que se denomina Cemento Pórtland, debido a que es el más común. El cemento Pórtland es la mezcla de materiales calcáreos y arcillosos u otros materiales que contienen sílice, alúmina u óxidos de hierro, procesados a altas temperaturas y mezclados con yeso. Este material tiene la propiedad de fraguar y endurecer en presencia del agua, presentándose un proceso de reacción química que se conoce como hidratación. (Instituto mexicano del cemento y del concreto, 1997)

3.1.1.1 PROCESO DE FABRICACIÓN

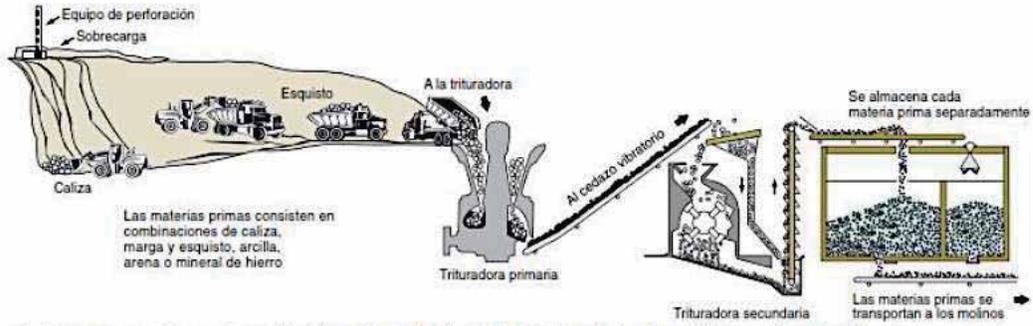
El proceso de fabricación empleado en determinada planta productora de cemento varía de acuerdo con sus circunstancias particulares, pero en general todas realizan las siguientes etapas:

1. **Explotación de materias primas:** Este procedimiento se hace de acuerdo a las normas y parámetros convencionales. Dependiendo de la dureza de los materiales se usan explosivos y trituración posterior, en otros casos el simple arrastre es suficiente. Una vez extraídos los materiales de las respectivas canteras, se lleva a un proceso de trituración primaria para obtener tamaños máximos de 1". Los materiales que no requieran trituración se llevan a un lugar de almacenamiento (Instituto mexicano del cemento y del concreto, 1997)
2. **Dosificación, molienda y homogenización de materias primas:** Las materias primas seleccionadas se Trituran, muelen y dosifican de tal manera que la mezcla resultante tenga la composición química deseada. Se puede utilizar un proceso seco o húmedo. En el proceso seco, la molienda y el mezclado se realizan con materiales secos. En el proceso húmedo, las operaciones de

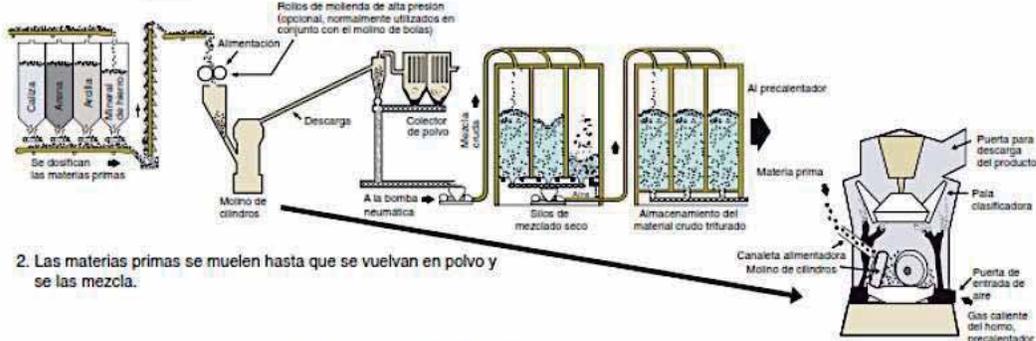


molienda y de mezclado se efectúan con los materiales en forma de lechada . (Kosmatka y Panarese, 1992)

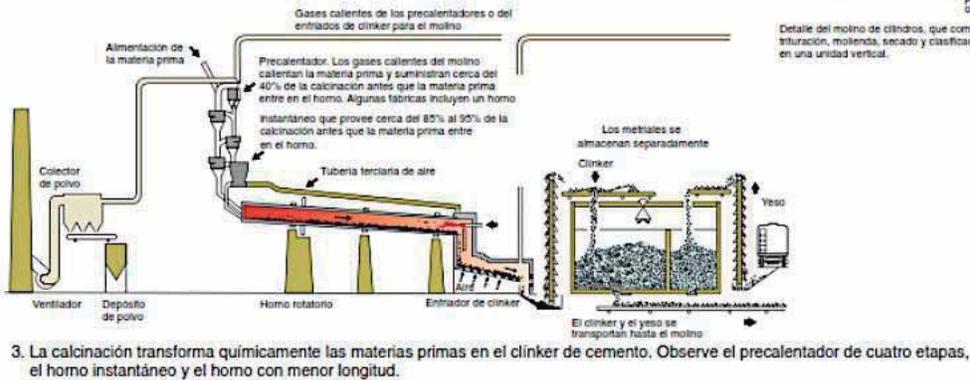
3. **Clinkerización:** Luego del mezclado, la materia prima molida se alimenta por el extremo superior de un horno, pasa a una velocidad que se controla por medio de la pendiente y la velocidad rotacional del horno. En el extremo inferior del horno el combustible para calcinar es inyectado; donde las temperaturas de 1 420°C a 1 650°C transforman químicamente a la materia prima en clínker de cemento, que tiene la forma de pelotillas negro-grisáceas de 12 mm de diámetro. (Kosmatka y Panarese, 1992)
4. **Enfriamiento:** El material transformado en clínker debe ser enfriado rápidamente a 70°C para garantizar que el cemento fabricado, después de fraguado, no presente cambio de volumen. (Alcaraz, 2010)
5. **Molienda de Clínker, adiciones de yeso:** En este proceso se transforma el clínker en polvo y se agregan las adiciones (puzolanas o escoria de alto horno). Luego se introduce el yeso, se muele tan finamente que casi en su totalidad logra pasar la malla No. 200 y así se hace obtiene el cemento Pórtland propiamente dicho. El yeso es indispensable para controlar el endurecimiento del cemento una vez entra en contacto con el agua, porque cuando su cantidad es muy baja el endurecimiento puede ocurrir de manera instantánea. (Alcaraz, 2010)
6. **Empaque y distribución:** El cemento resultante del molino se transporta en forma mecánica o neumática a silos de almacenamiento y posteriormente se empaca en bultos. También se puede descargar directamente en carros cisternas para su distribución a granel. (Instituto mexicano del cemento y del concreto, 1997)



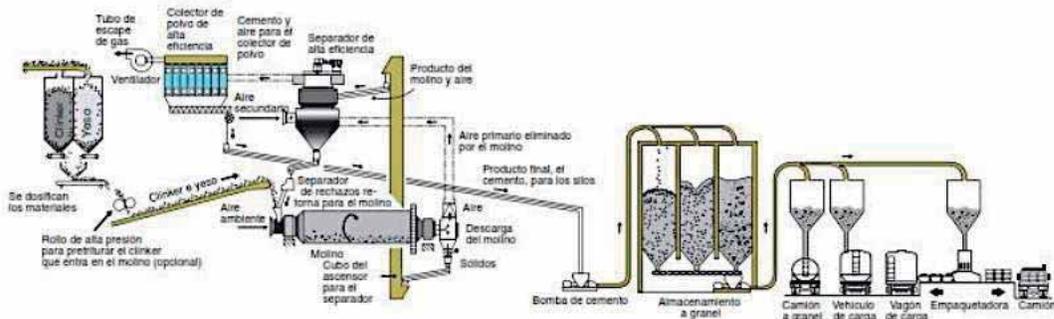
1. La roca se reduce primero hasta un tamaño de 125 mm (5 pulg.) y después a un tamaño de 20 mm (3/4 pulg.) para entonces se almacenan.



2. Las materias primas se muelen hasta que se vuelvan en polvo y se las mezcla.



3. La calcinación transforma químicamente las materias primas en el clinker de cemento. Observe el precalentador de cuatro etapas, el horno instantáneo y el horno con menor longitud.



4. Se muele el clinker junto con el yeso para convertirlos en cemento portland y se lo despacha.

ILUSTRACIÓN 3 ETAPAS DE LA PRODUCCIÓN DEL CEMENTO PORTLAND A TRAVÉS DEL PROCESO SECO (KOSMATKA, KERKHOFF, PANARESE, & TANESI, 2004)



3.1.1.2 CLASIFICACIÓN

Los cementos hidráulicos se clasifican principalmente de acuerdo a su resistencia a la compresión expresada en MPa, además de las características especiales, que dependerán de las solicitaciones a las que estará expuesta la estructura que se fabrique. (NMX-C-414-ONNCCE, 2014)

TABLA 3 CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS SEGÚN SU RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y CARACTERÍSTICAS ESPECIALES (NMX-C-414-ONNCCE-2014)

Tipo	Denominación	Clase Resistente	Características especiales
CPO	Cemento Portland Ordinario	20	RS Resistente a los sulfatos
CPP	Cemento Portland Puzolánico	30	BRA Baja Reactividad Alkali agregado
CPEG	Cemento Portland con Escoria Granulada de Alto Horno	30 R (R=resistencia rápida)	BCH Bajo calor de hidratación
CPC	Cemento Portland Compuesto	40	B Blanco
CPS	Cemento Portland con Humo de Silice	40 R	-
CEG	Cemento con Escoria Granulada de Alto Horno	-	-

3.1.1.3 PROPIEDADES DEL CEMENTO

El estudio de las propiedades del cemento, permite conocer algunos aspectos de su bondad como material cementante. Estas propiedades son de carácter químico, físico-mecánico y dependen del estado en el cual se encuentren.

Halita, con alto contenido de C_3S : es la fase principal de la mayoría de los clínkers Portland, y de ella dependen en buena parte las características de desarrollo de resistencia mecánica. Reacciona rápidamente con el agua, endurece en corto tiempo y tiene alto calor de hidratación, de tal manera, que afecta el tiempo de fraguado y la resistencia inicial.

Belita, a base de C_2S : es usualmente la segunda fase en importancia del clínker. Su componente principal (C_2S) reacciona lentamente con el agua, con un consecuente bajo calor de hidratación y una contribución al desarrollo de la resistencia a partir de siete días.

La fase belita y halita, determinan decisivamente el desarrollo de la resistencia y difieren entre sí en su tasa de endurecimiento y de liberación de calor de hidratación. El contenido de estas dos suman aproximadamente de 70 a 80% del cemento. Se supone que de manera aproximada, el C_3S aporta una resistencia a corto y mediano plazo (contribución al desarrollo de la resistencia durante las primeras cuatro semanas) y el C_2S a mediano y largo plazo (contribución al desarrollo de la resistencia de la cuarta semana en adelante).



Aluminato, rica en C_3A : este compuesto no es puro, sino más bien una solución sólida de C_3A con algo de impurezas de SiO_2 y MgO que reacciona de manera rápida con agua, contribuye con calor alto de hidratación y a una alta resistencia inicial. Además, confiere al concreto propiedades indeseables, como cambios volumétricos y poca resistencia a la acción de los sulfatos razón por la cual su contenido se limita entre 5 y 15% según el tipo de cemento [(Instituto mexicano del cemento y del concreto, 1997)

Ferrito C_4AF , solución sólida compuesta por ferritos y aluminatos de calcio: este componente está presente en pequeñas cantidades en el cemento y en comparación con los otros tres componentes, no influye en forma significativa en su comportamiento, colaborando escasamente a la resistencia del concreto, siendo relativamente inactivo, pero es útil al facilitar la fusión durante el calcinamiento del clínker (Neville, 1999)

3.1.1.4 CEMENTO UTILIZADO EN ESTA INVESTIGACIÓN

El cemento que se utilizó en esta investigación fue Cruz Azul CPC 40 RS. Lo que indica que a 28 días tendrá una resistencia de 40 MPa . (NMX-C-414-ONNCCE, 2014)

La principal razón por la que se optó por este cemento es porque las cementeras proporcionan este aglutinante a granel disminuyendo el precio del cemento comparado con otros del mercado. Algunas de las ventajas que ofrece es que es una buena alternativa para optimizar los procesos constructivos en las plantas de elementos prefabricados de concreto, permitiendo mayor velocidad de recuperación de moldes de las piezas terminadas, esto debido al desarrollo de resistencia a edades tempranas. (Fortaleza, 2014)

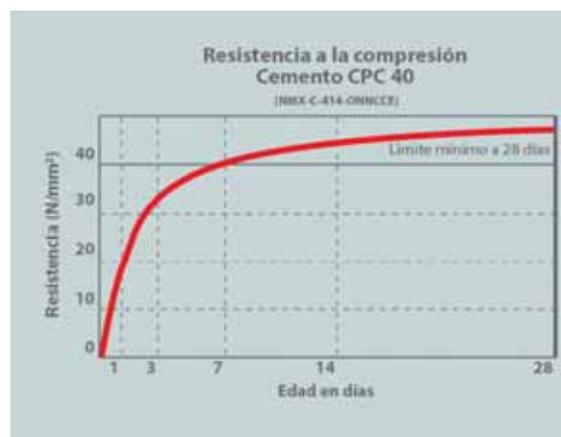


FIGURA 4. GRÁFICO DE LA RESISTENCIA QUE ADQUIERE EL CEMENTO CPC 40 RESPECTO A LA EDAD. ([HTTP://WWW.CEMENTOSFORTALEZA.COM/CEMENTO-PORTLAND-COMPUESTO-CPC-40](http://www.cementosfortaleza.com/cemento-portland-compuesto-cpc-40))



3.1.2 AGUA

El agua es el componente que se utiliza para generar las reacciones químicas cementantes del concreto hidráulico. Puede ser agua potable, es decir aquella que por sus características químicas y físicas es útil para el consumo humano o que cumpla con los siguientes requisitos:

3.1.2.1 ESPECIFICACIONES DEL AGUA PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO

Sales e impurezas	Cementos ricos en calcio Límites en p.p.m.	Cementos sulforesistentes Límites en p.p.m.
Sólidos en suspensión		
En aguas naturales (limos y arcillas)	2,000	2,000
En aguas recicladas (finos de cemento y agregados)	50,000	35,000
Cloruros como Cl (a)		
Para concreto con acero de pre esfuerzo y piezas de puente	400 (c)	600 (c)
Para otros concretos reforzados en ambiente húmedo o en contacto con metales como el aluminio, fierro galvanizado y otros similares	700 (c)	1,000 (c)
Sulfato como SO ₄ = (a)	3,000	3,500
Magnesio como Mg ⁺⁺ (a)	100	150
Carbonatos como CO ₃	600	600
Dióxido de carbono disuelto, como CO ₂	5	3
Álcalis totales como Na ⁺	300	450
Total de impurezas en solución	3,500	4,000
Grasas o Aceites	0	0
Materia orgánica (oxígeno consumido en medio ácido)	150 (b)	150 (b)
Valor del pH	No menor de 6	No menor de 6.5

NOTA 1. Las aguas que exceden los límites enlistados para cloruros, sulfatos y magnesios, pueden emplearse si se demuestra que la concentración calculada de estos compuestos en el agua total de la mezcla, incluyendo el agua de absorción de los agregados u otros orígenes, no excedan dichos límites.

NOTA 2. El agua se puede usar siempre y cuando las arenas que se empleen en el concreto acusen un contenido de materia orgánica cuya coloración sea menor a 2 de acuerdo con el método de la NMX-C-088-1997-ONNCCE "Industria de la Construcción-Agregados-Determinación de impurezas orgánicas en el agregado fino".

NOTA 3. Cuando se use cloruro de calcio (CaCl₂) como aditivo acelerante, la cantidad de éste debe tomarse en cuenta para no exceder el límite de cloruros de la tabla.

El agua de mar cuando sea imprescindible su empleo, se debe usar únicamente para la fabricación y curado de concretos sin acero de refuerzo. El agua cuyo análisis muestre que excede alguno o algunos de los límites de la tabla 12, se puede utilizar si se demuestra que en concretos de características semejantes elaborados con esta agua han causado un comportamiento satisfactorio a través del tiempo en condiciones similares de exposición.

NOTA 4. Cuando se sospeche que con la integración de los componentes de los ingredientes del concreto (cemento, agregados, aditivos) el agua puede producir resultados adversos, se deben hacer los estudios y pruebas que se estimen necesarios con la debida anticipación.



3.1.3 AGREGADOS

La necesidad de contar con un concreto de calidad hace indispensable conocer a detalle sus componentes, ya que tanto la resistencia como la durabilidad dependen de las propiedades físicas y químicas de ellos, especialmente de los agregados. Sin embargo, uno de los problemas que generalmente encuentran los ingenieros y los constructores al emplear el concreto, es la poca verificación de las características de los agregados pétreos que utilizan, lo que propicia con cierta frecuencia resultados diferentes a los esperados. (Céron M. Duarte F., Castillo W., Chim S., 1994)

La importancia del uso del tipo y de la calidad correctos de los agregados no se puede subestimar. Los agregados fino y grueso ocupan cerca del 60% al 75% del volumen del concreto (70% a 85% de la masa) e influyen fuertemente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía del concreto. Los agregados finos generalmente consisten en arena natural o piedra triturada con la mayoría de sus partículas menores que 5 mm. Los agregados gruesos consisten en una o en la combinación de gravas o piedras trituradas con partículas predominantemente mayores que 5 mm y generalmente entre 9.5 mm y 37.5 mm. Los agregados deben cumplir con algunas normas para que su uso en ingeniería se optimice: deben ser partículas limpias, duras, resistentes, durables y libres de productos químicos absorbidos, revestimiento de arcilla u otros materiales finos en cantidades que puedan afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. (Kosmatka y Panarese, 1992)

3.1.3.1 ORIGEN DE LOS AGREGADOS

El 100% de los concretos que se elaboran en México ocupan para su fabricación agregados que pueden ser obtenidos de dos fuentes: en depósitos de origen natural (ríos, playas, etc.) y como productos de trituración de roca. En la tabla 4 se presenta información sobre el origen, características físicas distintivas y su influencia en el concreto (cuando se utilizan como agregados), de las 3 familias de rocas conocidas, que son: ígneas, sedimentarias y metamórficas. (Uribe R, 1991)

Desde el punto de vista de su tamaño, los agregados se dividen en dos grupos: los agregados finos y los agregados gruesos. Los primeros consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que van desde 5 mm hasta mayores de 60 μ m; los segundos son aquellos cuyas partículas son mayores a 5 mm y hasta 125 mm. (Neville, 1999)



TABLA 4 FAMILIAS DE ROCAS (CHAN J., 2003)

	Tipo de roca y origen	Nombre	Componentes mineralógicos	Textura	Estructura	Observaciones relativas a su uso en el concreto
Ígneas	Plutónicas	Granito	Cuarzo, feldespatos, mica y plagioclase	Fanerítica	Batolitos cuerpos intrusivos	Fácilmente intemperizable en clima tropical, intemperismo esférico
		Diorita	Plagioclase y mica	Fanerítica	Cuerpos intrusivos	
		Gabro	Plagioclase y mica	Fanerítica	Cuerpos intrusivos	Alto peso específico
	Volcánicas piroclásticas	Riolita	Cuarzo, feldespato, plagioclase, vidrio y mica	Afanítica porfídica	Domos flujos de lava	Altamente reactiva con los álcalis del cemento
		Andesita	Plagioclase, vidrio y mica	Afanítica porfídica	Derrames de lava	



	Tipo de roca y origen	Nombre	Componentes mineralógicos	Textura	Estructura	Observaciones relativas a su uso en el concreto	
		Basalto	P1, V Y M	Afanítica vesicular	Derrames de lava	Alta resistencia a la compresión, porosa y resistente a la abrasión	
		Tobas	Variable	Porfídica	Pseudoestratificación	Dependiendo de la mineralogía pueden ser reactivas y algunas son muy deleznable	
Sedimentarias	Clásticas	Conglomerado	Fragmentos de roca y matriz	Fragmentos redondeados 2mm de diámetro	Estratificación gruesa, lentes rellenos de causes, masiva		
		Arenisca	Qz, Pk, p1 y fragmentos de roca	Fragmentos 2mm a 1/16 mm de diámetro	Estratificación masiva lentes	Puede contener cementante sílico que es reactivo con los álcalis del cemento	
		Lutita	Materiales arcillosos	Fragmentos 1/6 mm de diámetro	Laminaciones masiva	Puede presentar fisibilidad, baja resistencia a la compresión, puede hidratarse a través de los materiales arcillosos	
	No clásticas	Caliza	Calcita	Cristalina	Estratificación masiva	Altamente soluble	
		Marga	Calcita y minerales arcillosos	Cristalina	Estratificación	Sus minerales arcillosos puede hidratarse fácilmente	
		Dolomita	Calcita y dolomita	Cristalina	Estratificación masiva	Sus componentes mineralógicos pueden provocar la reacción álcali-carbonato (a través de la desdolomitación)	
		Yeso	Yeso anhidrita	Cristalina	Vetas y lentes	Muy ligero, baja resistencia a la abrasión	
		Carbón	Carbón	Criptocristalina	Mantos, vetas, lentes	Ligero, deleznable y/o frágil, produce problemas durante la hidratación del cemento pórtland	
	Metamórficas	Foliadas	Pizarra pilita	Qz, micas, clorita, sericita.	Foliada de grano fino	Foliación	Deleznable
			Esquisto	Micas, Fk, clorita Qz, calcita y feldespatos	Foliada de grano medio	Foliación	A veces muy deleznable
Gneiss			Qz, feldespatos ferromagnesianos	Foliada de grano grueso	Foliación masiva		
No foliadas		Hornfels	Mica, granate, Px cuarzo, feldespatos	Afanítica	Masiva	Puede presentar sílice del tipo reactivo con los álcalis del cemento	
		Cuarcita	Qz, feldespatos sillimanita	Granoblástica	Masiva	Demhornfels	
		Mármol skarn	Calcita, Px y AN.	Granoblástica	Masiva		



3.1.3.2 LOCALIZACIÓN DEL BANCO DE ARENA VOLCÁNICA "LA MAGDALENA"

La localidad de la Magdalena se encuentra ubicada en el municipio de Salvatierra, al Sur del estado de Guanajuato.

El banco de arena volcánica "La Magdalena" se ubica en el kilómetro 077+000, desviación I 00700, de la carretera Morelia-Salamanca; se encuentra a unos 82.6 kilómetros de distancia de la Ciudad de Puruándiro, Michoacán.

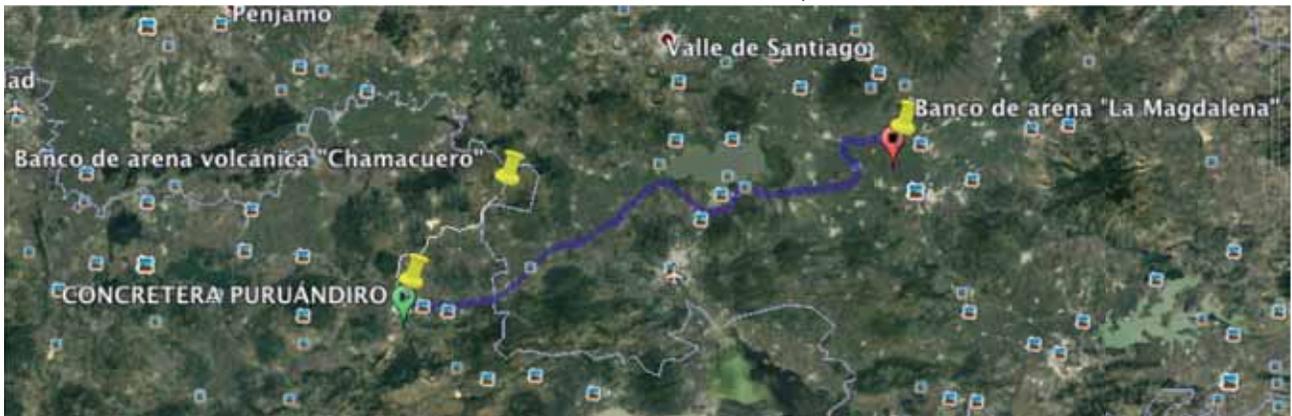


ILUSTRACIÓN 5 RUTA DE ACARREO ENTRE EL BANCO "LA MAGDALENA", Y CONCRETOS GUIMART S.A DE C.V. (EARTH, 2017)



ILUSTRACIÓN 6 MATERIAL OBTENIDO DEL BANCO " LA MAGDALENA" (FOTOGRAFÍA: MAYRA ALEJANDRA GUIZA S.)



3.1.3.3 LOCALIZACIÓN DEL BANCO DE ARENA VOLCÁNICA "CHAMACUERO"

El banco de arena de Chamacuero, no se encuentra registrado en el inventario de bancos de materiales del estado de Michoacán, sin embargo sabemos que es material volcánico, y se encuentra a una distancia aproximada de 24.5 kilómetros de la Ciudad de Puruándiro.

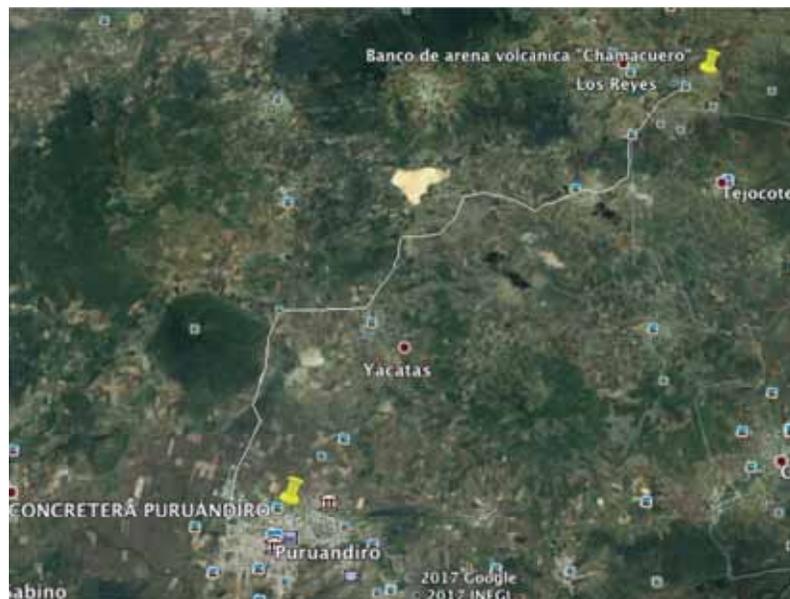


ILUSTRACIÓN 9 DISTANCIA DE ACARREO ENTRE EL BANCO DE ARENA VOLCÁNICA "CHAMACUERO" Y CONCRETOS GUIMART S.A DE C.V. (EARTH, 2017)



ILUSTRACIÓN 10 MATERIAL PROVENIENTE DEL BANCO "CHAMACUERO" (FOTOGRAFÍA: MAYRA ALEJANDRA GUIZA S.)



3.1.3.4 LOCALIZACIÓN DEL BANCO DE GRAVA TRITURADA "MESÓN NUEVO"
El banco de grava triturada "Mesón nuevo", ubicado en el kilómetro 014+250, desviación I 00300, en la carretera Morelia-Salamanca; se encuentra a unos 84.2 kilómetros de la Ciudad de Puruándiro.

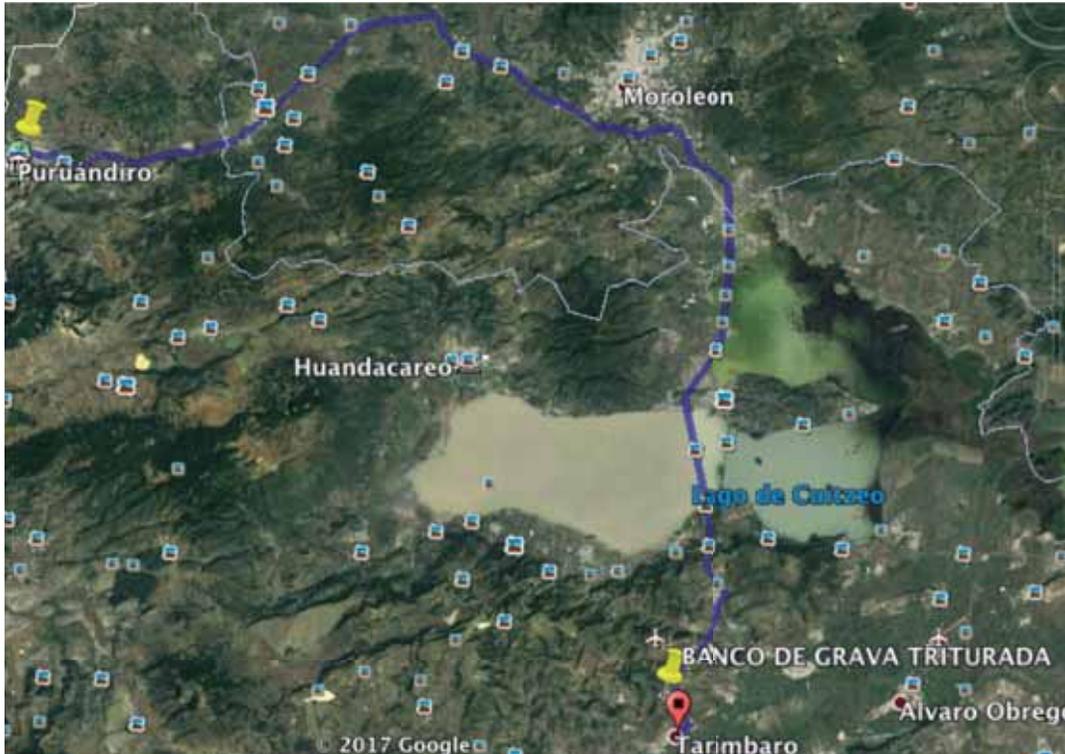


ILUSTRACIÓN 11 DISTANCIA DE ACARREO ENTRE EL BANCO DE MATERIAL "MESÓN NUEVO", Y CONCRETOS GUIMART S.A DE C.V. (EARTH, 2017)



ILUSTRACIÓN 12 MATERIAL PROVENIENTE DEL BANCO "MESÓN NUEVO" (FOTOGRAFÍA: MAYRA ALEJANDRA GUIZA S.)



ILUSTRACIÓN 13 UBICACIÓN DE LOS BANCOS DE MATERIALES UBICADOS EN EL ESTADO DE MICHOACÁN (SCT, 2015)

CENTRO SCT MICHOACAN
UNIDAD GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS

MICH12

INVENTARIO DE BANCOS DE MATERIALES 2015

CARRETERA: JACONA – LOS REYES

BCO. NUM.	NOMBRE	KILOMETRO	DESVIACION	FECHA ESTUDIO	FECHA DE ACT.	TIPO PROP.	TIPO MATERIAL	TRATAMIENTO	VOLUMEN X 1000 m ³	ESPESOR DESPALME (m)	USOS PROB.	USO EXPL.	RESTRICC. ECOLOG.	ASPEC. ECONOM.
0038	JACONA	003+900	D 00100	DIC-95	JUL-13	PART.	TEZONTLE	TPC	0045	02.0	1-2-5	NR.	NO EXISTEN	REC.
0049	LOS LIMONES	054+420	D 08000	SEP-95	JUL-13	PART.	TEZONTLE	TPC	0045	02.0	1-2-5	NR.	NO EXISTEN	ACEP.

CARRETERA: MORELIA – SALAMANCA

0022	EL COLEGIO	009+000	I 00900	DIC-02	DIC-14	PART.	BASALTO	TTC	0045	00.5	1-2-5-6-8	SR	NO EXISTEN	CONVE.
0080	MESÓN NUEVO	014+250	I 00300	MAY-04	DIC-14	PART.	BASALTO	TTC	0100	00.5	1-2-5-6-8	SR	NO EXISTEN	CONVE.
0118	AGREGADOS DE MEXICO	022+000	D 00700	OCT-06	DIC-14	PART.	BASALTO	TTC	0100	00.5	1-2-5-6-8	SR	NO EXISTEN	CONVE.

CARRETERA: TOCUMBO – COTIJA

0052	TOCUMBO	003+000	D 02000	AGO-85	JUL-13	PART.	TEZONTLE	TPC	0070	01.5	1-2-5	NR.	NO EXISTEN	CONVE.
------	---------	---------	---------	--------	--------	-------	----------	-----	------	------	-------	-----	------------	--------

CARRETERA: ZITACUARO – ENT. EL LIMON DE PAPTZINDAN

0028	LAS JUNTAS	087+300	D 05000	ENE-95	NOV-15	FED.	GRAVA – ARENA	TPC	0020	00.3	2-5-6-10	NR.	NO EXISTEN	CONVE.
0029	BEJUCALILLO	074+100	D 05000	NOV-95	NOV-15	FED.	GRAVA – ARENA	TPC	0020	00.3	1-2-5	NR.	NO EXISTEN	REC.
0087	LA PALMA	005+900	I 01400	OCT-96	OCT-10	FED.	BASALTO	TTC	0075	00.6	1-2-5-7	SR.	NO EXISTEN	REC.

ABREVIATURAS Y ABBREVIATURAS UTILIZADAS:

FECHA DE ACTUALIZACIÓN (FECHA DE ACT.) FED. - FEDERAL MUN. - MUNICIPAL PART. - PARTICULAR EJC. - EJEC.	TIPO DE MATERIAL COB. - CONSOLIDADO VOLC. - VOLCÁNICO	TRATAMIENTO NR. - NO REQUIERE D. - DOSIFICACIÓN E. - ORBADO TP. - TRITURACION PARCIAL TT. - TRITURACION TOTAL L. - LAVADO TPC. - TRITURACION PARCIAL Y ORBADO	TTE. - TRITURACION TOTAL Y ORBADO CL. - ORBADO Y LAVADO TPL. - TRITURACION PARCIAL Y LAVADO TPL. - TRITURACION TOTAL Y LAVADO TPL. - TRITURACION PARCIAL, ORBADO Y LAVADO BA. - ESTABILIZACION CON ASFALTO SOP. - ESTABILIZACION CON CEMENTO PORTLAND	USOS PROBABLES 1. REVESTIMIENTOS 2. SUB-BASE 3. SUB-BALASTO 4. BALASTO 5. BASE 6. CONCRETO ASFALTICO 7. MEZCLA ASFALTICA EN EL LUGAR	8. BELLO 9. MANPUESTA 10. CONCRETO HORMIGONADO 11. ESCOLTERIAS	RESTRICCIONES ECOLOGICAS CONSERV. - CONSERVABLE ASPECTOS ECONOMICOS CONVE. - CONVENIENTE ACEP. - ACEPTABLE REC. - RECOMENDABLE NO REC. - NO RECOMENDABLE
---	--	---	---	--	---	---

ILUSTRACIÓN 14 DATOS REGISTRADOS DEL BANCO "MESÓN NUEVO" (SCT, 2015)



Capítulo 4 ADITIVOS

4.1 INTRODUCCIÓN

Como hemos mencionado anteriormente el concreto se diseña de acuerdo a las solicitudes de cada obra, sin embargo en ocasiones es necesario obtener distintas características del concreto, que no serían posibles obtener sin la inclusión de aditivos químicos, que permiten adaptar al concreto a las especificaciones de proyecto, sin poner el riesgo su resistencia, su trabajabilidad y durabilidad.

Las razones más comunes para usar aditivos en el concreto son:

- Incrementar la trabajabilidad, sin cambiar el contenido de agua.
- Reducir el contenido de agua, sin cambiar la trabajabilidad.
- Así mismo, efectuar una combinación de lo anterior.
- Ajustar el tiempo de fraguado.
- Reducir la segregación y/o el sangrado.
- Mejorar la bombeabilidad.
- Acelerar la tasa de desarrollo de resistencia a edades tempranas.
- Incrementar la resistencia.
- Mejorar la durabilidad potencial y reducir la permeabilidad.
- Disminuir el costo total de los materiales usados en el concreto.
- Compensar las pobres propiedades del agregado.

Según la norma mexicana (NMX-C-255-ONNCCE, 2013), los aditivos se clasifican de la siguiente manera:

TABLA 5 "CLASIFICACIÓN DE LOS ADITIVOS" (NMX-C-255-ONNCCE, 2013)

Tipo A	Reductor de agua
Tipo B	Retardante
Tipo C	Acelerante de fraguado inicial
Tipo C2	Acelerante de resistencia
Tipo D	Reductor de agua y retardante
Tipo E	Reductor de agua y acelerante
Tipo F	Reductor de agua de alto rango
Tipo G	Reductor de agua de alto rango y retardante
Tipo F2	Superplastificante
Tipo G2	Superplastificante y retardante
Tipo AA	Modificador del contenido de aire



4.2 TIPOS DE ADITIVOS

Los aditivos normalmente se clasifican en categorías de acuerdo con su efecto:

- Plastificadores (agentes reductores de agua).
- Superplastificadores.
- Incluidores de aire.
- Aceleradores.

Plastificadores

Cuando se agregan a una mezcla de concreto, los plastificantes son absorbidos en la superficie de las partículas de los aglomerantes, haciendo que se repelan entre sí, lo cual da como resultado una mejora en la trabajabilidad y proporciona una distribución más uniforme de las partículas del aglomerante a través de la mezcla.

Los principales tipos de plastificantes son los ácidos lignosulfónicos y sus sales, los ácidos carboxílicos hidroxilados y sus sales, y modificaciones de ambos.

Superplastificadores

Estos aditivos son químicamente distintos de los plastificantes normales y aunque su acción es casi la misma, es más marcada. Cuando se usan para producir concreto fluido puede esperarse una pérdida rápida de trabajabilidad y, por tanto, éstos deben ser agregados justo antes de la colocación. De modo usual, los superplastificantes son compuestos químicos como formaldehído de melamina sulfonatada, formaldehído naftaleno sulfonatado y lignosulfonatos modificados.

Incluidores de aire

Un agente incluidor de aire introduce aire en forma de diminutas burbujas distribuidas de modo uniforme a través de toda la pasta de cemento. Los tipos principales incluyen sales de resinas de madera, grasas y aceites animales y vegetales, e hidrocarburos sulfonatados.

Aceleradores

Estos aditivos aceleran la reacción química del cemento y el agua, y de este modo aceleran la tasa de fraguado y/o la ganancia temprana en la resistencia del concreto. Entre los tipos principales de aceleradores están el cloruro de calcio, el formiato de calcio, ceniza de sosa, cloruro de potasio y varios materiales orgánicos. El cloruro de calcio parece ser el único predecible, de modo razonable, en su desempeño, pero tiende a promover la corrosión del acero en el concreto.

Retardadores

Estos aditivos disminuyen la velocidad de la reacción química del cemento y el agua conduciendo a tiempos más largos de fraguado y ganancia de resistencia



iniciales más lentas. Los retardadores más comunes son los ácidos carboxílicos hidroxilados, bórax, lignina, azúcar y algunos fosfatos (IMCYC, 2006).

4.3 ADITIVO UTILIZADO EN ESTA INVESTIGACIÓN

Para lograr las características establecidas en el inicio de la investigación se decidió utilizar un aditivo superplastificante, llamado HPA-RED[®] CRETE-ABS, se utilizó en las siguientes proporciones, respecto al peso del cemento. Este aditivo utilizado se describe a continuación con base en su ficha técnica:

HPA-RED[®] CRETE-ABS es un aditivo reductor de agua de rango medio normal, formulado para elaborar concretos de consistencia fluida, que permite reducir agua de mezclado, en zonas templadas y frías así como para cementos con lentos desarrollos de resistencia a bajo calor de hidratación.

TABLA 6. DATOS TÉCNICOS (ADMIXTURES, 2015)

Aspecto	Líquido acuoso
Densidad:	1.19 kg/l
pH:	8
Color:	Café oscuro

Dosificación.

HPA-RED[®]CRETE-ABS es un producto líquido listo para su utilización, cuya dosificación varía entre 300 y 1,200 ml por cada 100 kg de cemento.

La dosificación óptima dependerá de cuánto se requiera reducir el agua del diseño de mezcla de concreto, y el revenimiento requerido para el tipo de colocación a realizar.

Por la reducción de la relación Agua/Cemento, se incrementarán las resistencias mecánicas a todas las edades.

La permanencia del revenimiento, con dosificaciones de aditivo menores de 600 ml por cada 100 kg de cemento, se mantendrá hasta por 60 minutos con la misma trabajabilidad inicial (Admixtures, 2015).



Capítulo 5 DISEÑO DE MEZCLAS

5.1 INTRODUCCIÓN

El diseño de un concreto hidráulico es la búsqueda de las cantidades relativas mínimas necesarias que asegurarán un concreto económico y que cumpla con lo que se solicita. En estado fresco, dependiendo del método de transporte y colado, se define un valor de revenimiento que está relacionado con la trabajabilidad. Para el estado endurecido del concreto los principales parámetros buscados son los obtenidos de pruebas físico-mecánicas, especialmente la resistencia a la compresión.

Existen otros factores que definen las distintas propiedades que tendrá el concreto tanto en estado fresco como en estado endurecido. Algunos de los factores que influirán en la calidad del concreto son:

- Relación agua/cemento
- Contenido mínimo de cemento
- Resistencia a la compresión
- Tamaño máximo del agregado
- Revenimiento
- Módulo de finura
- Granulometría de los agregados
- Contenido de aire

La mayoría de estos puntos los obtenemos caracterizando los agregados, es decir, conociendo las propiedades de los materiales con los que elaboraremos un concreto podremos predecir el comportamiento del mismo.

El método desarrollado en la investigación es el desarrollado por el *American Concrete Institute*, elegido por ser el más conocido y utilizado. Se fundamenta en el principio básico de la relación agua/cemento desarrollado por Abrams (1918). El desarrollo y cálculo se presentan a continuación, haciendo uso de las propiedades de agregados y cemento Portland obtenidas en los ensayos de caracterización.

(Jesus Cano, 2003)



5.2 DISEÑO DE MEZCLAS POR EL MÉTODO DEL ACI 211

1. Elección del revenimiento:

El método del ACI sugiere distintos tipos de revenimiento cuando no se especifica en la obra. El revenimiento con el que se hicieron los diseños de las mezclas fue de 15 centímetros ya que una de las características principales del concreto a diseñar es la bombeabilidad.

TABLA 7 REVENIMIENTO RECOMENDADO PARA DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCIÓN

Revenimiento recomendado para diversos tipos de construcción			
Tipos de construcción	Revenimiento en centímetros		Tolerancias
	Máximo	Mínimo	
Vigas y muros reforzados	10	-	3.5
Columnas para edificios	10	2.5	3.5
Pavimentos y Losas	8	2.5	2.5
Concreto Masivo	5	2.5	2.5

2. Elección del tamaño máximo del agregado:

La elección del tamaño máximo del agregado, segundo paso del método, debe considerar la separación de los costados de la cimbra, el espesor de la losa y el espacio libre entre varillas individuales o paquetes de ellas. Por consideraciones económicas es preferible el mayor tamaño disponible, siempre y cuando se utilice una trabajabilidad adecuada y el procedimiento de compactación permite que el concreto sea colado sin cavidades o huecos. La cantidad de agua que se requiere para producir un determinado revenimiento depende del tamaño máximo, de la forma y granulometría de los agregados, la temperatura del concreto, la cantidad de aire incluido y el uso de aditivos químicos.

El tamaño máximo del agregado utilizado fue de $\frac{3}{4}$ " , y se utilizó grava triturada.

3. Determinación del agua de mezclado y contenido de aire

El método presenta una tabla con los contenidos de agua recomendables en función del revenimiento requerido y el tamaño máximo del agregado, considerando concreto sin aire incluido y con aire incluido.



TABLA 8 REQUISITOS DE AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE PARA DIFERENTES REVENIMIETOS Y TAMAÑOS MÁXIMOS NOMINALES DE AGREGADO.

Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado									
Agua Kg/m ³ de concreto									
Tamaños máximos nominales de agregado	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"	in
	10	12.5	20	25	40	50	70	150	cm
Revenimiento en cm	Concreto sin aire incluido								
2.5 a 5	207	199	190	179	166	154	130	113	Kg/m ³
7.5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124	Kg/m ³
15 a 18	243	228	216	202	190	178	160	---	Kg/m ³
% de aire incluido	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2	
Concreto con aire incluido									
2.5 a 5	181	175	168	160	150	142	122	107	Kg/m ³
7.5 a 10	202	193	184	175	165	157	133	119	Kg/m ³
15 a 18	216	205	197	184	174	166	154	---	Kg/m ³
Promedio recomendado del contenido total del aire, porcentaje de acuerdo con el nivel de exposición									
Exposición ligera	4.5	4	3.5	3	2.5	2	1.5	1	
Exposición moderada	6	5.5	5	4.5	4.5	4	3.5	3	
Exposición severa	7.5	7	6	6	5.5	5	4.5	4	

4. Selección de la relación agua/cemento

El método del ACI proporciona una tabla con los valores de la relación agua/cemento de acuerdo con la resistencia a la compresión a los 28 días que se requiera, por supuesto la resistencia promedio seleccionada debe exceder la resistencia especificada con un margen suficiente para mantener dentro de los límites especificados las pruebas con valores bajos. En una segunda tabla aparecen los valores de la relación agua/cemento para casos de exposición severa.

TABLA 9 DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LA RESISTENCIA DEL CONCRETO EN KG/CM²

Desviación estándar de la resistencia del concreto en Kg/cm ²		
Procedimiento de fabricación	F'c ≤ 200 Kg/cm ²	200 ≤ F'c ≤ 300 Kg/cm ²
Mezclado mecánico, proporcionamiento, corrección por humedad y absorción de los agregados de una misma fuente y de calidad controlada.	30	35
Mezclado mecánico, proporcionamiento por masa.	35	45
Mezclado mecánico, proporcionamiento por volumen; volúmenes cuidadosamente controlados.	50	60



TABLA 10 DETERMINACIÓN DEL F_{cr}

Fórmulas para determinar el F _{cr}
$F'_{cr} = f_c + 1.28 * c$
$F'_{cr} = f_c + 2.52 * c - 35$

TABLA 11 ELECCIÓN DE LA RELACIÓN AGUA-CEMENTO, DEPENDIENDO DEL F_c DE DISEÑO

Resistencia a la compresión a los 28 días (Kgf/cm ²)	Relación agua/cemento por masa	
	Sin aire incluido	Con aire incluido
420	0.41	-
350	0.48	0.40
280	0.57	0.48
210	0.68	0.59
140	0.82	0.74

5. Cálculo de la cantidad de cemento

La cantidad de cemento por volumen unitario de concreto se rige por las determinaciones expuestas en el paso 3 y 4. El cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezclado, dividido entre la relación a/c.

6. Estimación de contenido de agregado grueso

Se puede ver que para una trabajabilidad igual, el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto depende sólo de su tamaño máximo nominal y del módulo de finura del agregado fino. Este volumen se convierte a masa seca del agregado grueso requerido en un metro cúbico de concreto, multiplicándolo por la masa unitaria de varillado en seco por metro cúbico de agregado grueso [ACI 211].

TABLA 12 ESTIMACIÓN DEL AGREGADO GRUESO

Tamaño máximo del agregado	Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto			
	Volumen de agregado grueso* varillado en seco, por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de la arena indicados			
	2.4	2.6	2.8	3
9.5 (3/8")	0.5	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
19 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.6
25 (1")	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2")	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2")	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3")	0.82	0.8	0.78	0.76
150 (6")	0.87	0.85	0.83	0.81



7. Estimación del contenido del agregado fino

Para la estimación del contenido del agregado fino se lleva a cabo por medio del método del volumen absoluto, el cual inicia con el cálculo de la masa de la grava y el volumen de la grava, haciendo uso de la densidad de la misma. El método del volumen absoluto implica el empleo de volúmenes desplazados por los componentes. En este caso, el volumen total desplazado por los componentes conocidos (agua, aire, cemento y agregado grueso) se restan del volumen unitario de concreto para obtener el volumen requerido de agregado fino. El volumen ocupado por cualquier componente en el concreto es igual a su masa dividida entre la densidad de ese material (siendo esta el producto del masa unitario del agua y de la gravedad específica del material).

8. Correcciones por humedad del agregado

Una vez que ya se tiene calculada la cantidad de material necesario para 1 m³ de mezcla se realizan las correcciones por humedad del agregado, estas correcciones consisten en restar al porcentaje de la humedad actual el porcentaje de la humedad de absorción del material (porcentaje de humedad actual - porcentaje de absorción). Por lo tanto a los materiales pétreos, al considerarse superficialmente secos y saturados se les debe restar el porcentaje de absorción correspondiente.



Capítulo 6 PROCEDIMIENTO DE PRUEBAS REALIZADAS

Las características de los materiales con los que se pretende realizar un concreto determinarán la proporción de cada fracción de material que constituye al concreto hidráulico, y la calidad de los materiales se verá reflejada en la durabilidad y la trabajabilidad del mismo. Es por ello que se caracterizan los materiales que constituyen al concreto con el fin de realizar una dosificación que permita cumplir con la resistencia de proyecto.

6.1 AGREGADOS PÉTREOS.

6.1.1 CUARTEO

El objetivo de realizar el cuarteo es obtener una muestra representativa del agregado para poder realizar las pruebas descritas posteriormente.

El equipo necesario para realizar la prueba:

- Palas.
- Divisor de mecánico.
- Recipientes para el divisor.
- Charolas.
- Cucharón.

Procedimiento para efectuar la prueba:

1. Del material obtenido del muestreo se toma una parte de aproximadamente 100 kg si es arena, y 150 kg si es grava, este material nos servirá para realizar la caracterización de los agregados.
2. Con ayuda de la pala se forma un cono del agregado que se desee cuartear y se homogeniza moviendo el material del cono tres veces de un lugar a otro.
3. Se desvanece la punta del cono y se procede a dividir, posteriormente se separa en cuatro partes.
4. Se seleccionan dos frentes opuestos, y con ellos se llena un recipiente para posteriormente pasarlo por el cuarteador mecánico.

El cuarteo por divisor de muestras consiste en dejar caer la muestra de arena o grava en los divisores y este lo dividirá en dos partes, una se desecha y la otra se vuelve a pasar por el cuarteador, se repite el procedimiento hasta obtener la muestra requerida.



ILUSTRACIÓN 16 DIVISIÓN DE LA MUESTRA DE GRAVA EN CUATRO PARTES. (FOTOGRAFÍA: MAYRA A. GUIZA S.)



ILUSTRACIÓN 15 REDUCCIÓN DE LA MUESTRA DE ARENA POR MEDIO DE CUARTEADOR MECÁNICO (FOTOGRAFÍA: MAYRA A. GUIZA S.)

Este ensaye se realizó de acuerdo a la norma (NMX-C-030-ONNCCE, 2004)

6.1.2 HUMEDAD ACTUAL EN ARENAS Y GRAVAS

Para realizar un concreto es de vital importancia controlar la cantidad de agua que vamos a requerir para la producción de nuestro concreto, es por ello que se realiza un ajuste en la cantidad de agua del proporcionamiento dependiendo de la humedad presente en los agregados justo antes de colar.

Equipo necesario para realizar la prueba:

- Una muestra representativa del agregado (Aproximadamente 1 kg).
- Una parrilla.
- Balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Charolas metálicas
- Espátula.
- Vidrio

Procedimiento para efectuar la prueba:

1. Del procedimiento de cuarteo se obtiene una muestra representativa de los agregados pétreos de aproximadamente 1 kg.
2. Se determina una masa de 300 g registrándolos como masa húmeda (Mh).
3. Se coloca la muestra en una charola metálica y se seca en la parrilla. Para determinar que el material este completamente seco, se forma un cono de material y se coloca el vidrio encima, cuando no se forme vapor en el vidrio se deja enfriar para pesar.
4. Se determina la masa de la muestra representativa y se registra el valor como (Ms).



5. Se repite los pasos anteriores, tres veces para obtener un promedio de los valores.
6. La humedad actual se calcula como el porcentaje de agua que pueden tener los agregados en las condiciones atmosféricas respecto a su masa seca.

Fórmula:

$$\% \text{ Hum. act} = \frac{Mh - Ms}{Ms} \times 100$$

Donde:

Mh= masa del material en condiciones atmosféricas en g.

Ms= masa del material seco, en g.

Este ensaye se realizó de acuerdo a la norma (NMX-C-166-ONNCCE, 2006)

6.1.3 HUMEDAD DE ABSORCIÓN EN ARENAS Y GRAVAS

La absorción en los agregados es un parámetro que indirectamente nos indica la calidad de los mismos ya que entre más capacidad de retener agua posea un material tendrá más porosidad y por lo tanto su resistencia mecánica disminuirá.

6.1.3.1 HUMEDAD DE ABSORCIÓN EN ARENAS.

Equipo necesario para efectuar la prueba:

- Una muestra representativa de arena (Aproximadamente 1 kg)
- Una Parrilla.
- Balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Charolas metálicas
- Espátula.
- Molde troncocónico
- Pisón

Procedimiento para efectuar la prueba:

1. Del procedimiento de cuarteo se obtiene una muestra representativa de los agregados pétreos de aproximadamente 1 kg.
2. Se coloca el material en una charola con agua y se deja saturando durante 24 horas.
3. Se seca el material superficialmente, como se establece a continuación:



- Se retira el exceso del agua de la muestra saturada y se coloca en la parrilla a temperatura constante.
- Para determinar si la arena está superficialmente seca, se coloca el molde troncocónico con la abertura de mayor diámetro hacia abajo, y se procede a llenar cuatro capas, distribuyendo 25 golpes con el pisón, dando 10 a la primer capa, 10 a la segunda, 3 a la tercera y 2 a la cuarta.
- Se retira el cono de manera vertical y si el material comienza a disgregarse quiere decir que el material está superficialmente seco.

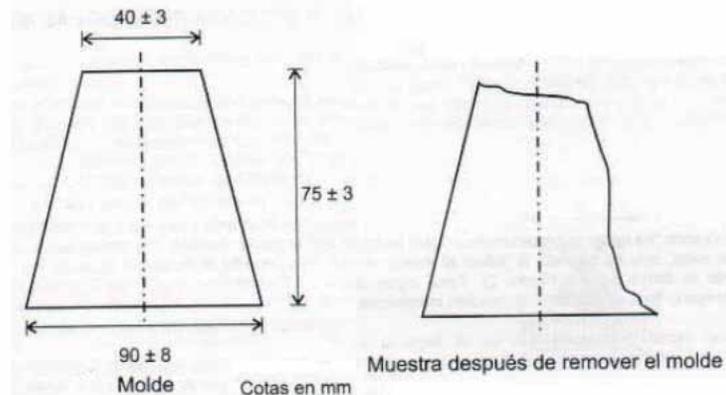


ILUSTRACIÓN 17 MEDIDAS DE CONO TRONCOCÓNICO Y MUESTRA SECA SUPERFICIALMENTE FOTOGRAFÍA:(NMX-C-165-ONNCCE-2014)

4. Cuando el material está superficialmente seco se toma una muestra aproximada de 200 gr y se registra como (Mh)
5. Se coloca en una charola y se procede a secar en la parrilla completamente.
6. Se deja enfriar y se registra como (Ms).
7. La humedad de absorción se calcula como el porcentaje de agua que puede tener una arena superficialmente seca, respecto a su masa seca.



ILUSTRACIÓN 18 SECADO SUPERFICIAL DE LA ARENA POR MEDIO DEL MOLDE TRONCOCÓNICO. (FOTOGRAFÍA: MAYRA A. GUIZA S.)



Fórmula:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{Mh - Ms}{Ms} \times 100$$

Donde:

Mh= masa del material superficialmente seco, en g.

Ms= masa del material seco, en g.

Este ensaye se realizó de acuerdo a la norma (NMX-C-165-ONNCCE, 2014)

6.1.3.2 HUMEDAD DE ABSORCIÓN EN GRAVAS.

Equipo necesario para efectuar la prueba:

- Una muestra representativa de grava (aproximadamente 1 kg).
- Franela
- Parrilla
- Espátulas
- Vidrio

Procedimiento para efectuar la prueba:

1. Del procedimiento de cuarteo se obtiene una muestra representativa de los agregados pétreos de aproximadamente 1 kg.
2. Se criba el material en las mallas de $\frac{3}{4}$ " y $\frac{3}{8}$ ", se toma el material que se retiene en la malla $\frac{3}{8}$ ".
3. Se coloca el material en una charola con agua y se deja saturando durante 24 horas.
4. Se seca el material superficialmente por medio de una franela quitando el excedente de agua del agregado.
5. Se pesan 300 g de la muestra y se registra este valor como (Mh).
6. Se coloca la muestra en una charola metálica en la parrilla y se seca hasta que no se forme vapor en el vidrio.
7. Se deja enfriar y se determina la masa registrándola como (Ms).
8. Se repiten los pasos anteriores, tres veces para obtener un promedio de los valores.
9. La humedad de absorción se calcula como el porcentaje de agua que puede tener una arena superficialmente seca, respecto a su masa seca.



ILUSTRACIÓN 19 EN LA IMAGEN DE LA IZQUIERDA SE OBSERVA LA GRAVA SATURADA DURANTE 24 HORAS, EN LA IMAGEN DE LA DERECHA SE OBSERVA EL MATERIAL SECADO EN LA PARRILLA. (FOTOGRAFÍA: MAYRA A. GUIZA S.)

Fórmula:

$$\% \text{ Absorción} = \frac{Mh - Ms}{Ms} \times 100$$

Donde:

Mh= masa del material superficialmente seco, en g.

Ms= masa del material seco, en g.

Este ensaye se realizó de acuerdo a la norma (NMX-C-164-ONNCCE, 2014).

6.1.4 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD EN ARENAS Y GRAVAS

La densidad es una propiedad física de la materia que nos permite conocer la ligereza de los materiales, además de su flotabilidad, parámetro importante ya que si la densidad de los agregados que utilizaremos es menor a la densidad del agua los agregados flotarían y por lo tanto no se podrá realizar una mezcla homogénea.

6.1.4.1 DENSIDAD EN ARENAS

Equipo necesario para efectuar la prueba:

- Muestra representativa de arena
- Una balanza
- Frasco



- Parrilla
- Charolas metálicas
- Cono metálico (truncocónico)
- Un pisón
- Una espátula

Procedimiento para efectuar la prueba:

Esta prueba se realizó simultáneamente con la prueba de absorción ya que para ambas es necesario que la arena se encuentre superficialmente seca.

1. Del procedimiento de cuarteo se obtiene una muestra representativa de los agregados pétreos de aproximadamente 1 kg
2. Se seca superficialmente la arena por medio del método del molde truncocónico, se toma una muestra de aproximadamente 300 g y se registra como masa de la arena (M_a).
3. Se llena el frasco de agua hasta un nivel conocido, registrándolo como M_{fa} .
4. Se vacía agua del frasco procurando dejar lo suficiente, con la finalidad de que la arena al caer tenga una absorción rápida.
5. Se vacía la muestra de arena (M_a), de manera que toda la muestra entre al frasco utilizando una hoja de papel como embudo.
6. Se agita el frasco para liberar las burbujas atrapadas, se llena el frasco hasta el nivel de aforo y se pesa registrándolo como (M_t).

$$\text{Densidad} = \frac{M_a}{M_{fa} + M_a - M_t}$$

Donde:

M_a = Masa superficialmente seca (g).

M_{fa} = Masa del frasco lleno de agua hasta la marca de 450 ml (g).

M_t = Masa del frasco con agua y material (g)

Este ensaye se realizó de acuerdo a la norma (NMX-C-165-ONNCCE, 2014)



6.1.4.2 DENSIDAD EN GRAVAS

Equipo necesario para efectuar la prueba:

- Muestra representativa de grava
- Picnómetro
- Franela
- Probeta graduada
- Báscula

Procedimiento para efectuar la prueba:

1. De la muestra obtenida en el procedimiento de cuarteo se toma aproximadamente 1 kg.
2. Se criba el material por las mallas $\frac{3}{4}$ " y $\frac{3}{8}$ " y se toma el agregado de la malla que retiene la $\frac{3}{8}$ para saturar en una charola con agua durante 24 horas.
3. Por medio de una franela se seca superficialmente el exceso del agua presente en el agregado con cuidado de no ejercer demasiada presión sobre el mismo y se toma una muestra de aproximadamente 300 gr registrándolo como (m).
4. Se coloca el picnómetro en una superficie lisa y horizontal, se coloca una probeta graduada vacía para contener el agua desalojada. Se llena el picnómetro de agua hasta que comience a gotear, esperamos a que se estabilice y colocamos la muestra de grava dentro del picnómetro.
5. Se registra el volumen desalojado por el material como (v).



ILUSTRACIÓN 20 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DE LA GRAVA POR MEDIO DEL VOLUMEN DESPLAZADO EN EL PICNÓMETRO



$$\text{Densidad} = \frac{m}{v}$$

Donde:

m= masa superficialmente seca en g.

v= volumen desalojado en cm³.

Este ensaye se realizó de acuerdo a la norma (NMX-C-164-ONNCCE, 2014)

6.1.5 MÉTODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR LA MASA VOLUMÉTRICA SECA SUELTA EN ARENAS Y GRAVAS

Determinar la masa volumétrica seca suelta en arenas y gravas nos permite conocer la masa por unidad de volumen del agregado. El procedimiento es aplicable para ambos agregados la diferencia radica en tamaño del recipiente.

Equipo necesario para efectuar la prueba:

- Recipiente
- Varilla redondeada
- Báscula con aproximación al décimo de gramo

Procedimiento para efectuar la prueba:

1. Del procedimiento de cuarteo se obtiene una muestra representativa de los agregados pétreos.
2. Se vacía el agregado dentro del recipiente a una altura aproximada de 5 cm desde el borde del mismo.
3. Se llena el recipiente hasta formar un cono.
4. Se enrasa con una varilla lisa redonda con el objeto de que no queden partículas sobresaliendo.
5. Se determina la masa del recipiente.
6. Se repite los pasos anteriores, tres veces para obtener un promedio de los valores.
7. La masa volumétrica suelta se determina, dividiendo la masa neta del material, entre el volumen del recipiente.



ILUSTRACIÓN 21 PROCESO DE DETERMINACIÓN DE MASA VOLUMÉTRICAS SECAS SUELTAS. (FOTOGRAFÍA: MAYRA A. GUIZA S.)



ILUSTRACIÓN 23 REDUCCIÓN DE LA MUESTRA DE ARENA POR MEDIO DEL CUARTEADOR MECÁNICO. (FOTOGRAFÍA: MAYRA A. GUIZA S.)



ILUSTRACIÓN 22 DETERMINACIÓN DE LAS MASAS VOLUMÉTRICAS DE LA ARENA. (FOTOGRAFÍA: MAYRA A. GUIZA S.)

Fórmulas:

$$Mv = \frac{G - T}{V}$$

MV = masa volumétrica de los agregados, en kg/m³.

G = masa de los agregados más el recipiente, en Kg.

T = masa del recipiente, en kg.

V = volumen del recipiente, en m³.

Este ensaye se realizó de acuerdo a la norma (NMX-C-073-ONNCCE, 2004)



6.1.6 MÉTODO DE PRUEBA PARA DETERMINAR LA MASA VOLUMÉTRICA SECA VARILLADA EN ARENAS Y GRAVAS

Determinar la masa volumétrica seca varillada en arenas y gravas nos permite conocer la masa por unidad de volumen del agregado cuando tiene cierta compactación. El procedimiento es aplicable para ambos agregados la diferencia radica en tamaño del recipiente.

Equipo necesario para efectuar la prueba:

- Recipiente
- Báscula con aproximación al décimo de gramo
- Varilla redonda de 5/8" con punta de bala.

Procedimiento para efectuar la prueba:

1. Del procedimiento de cuarteo se obtiene una muestra representativa de los agregados pétreos.
2. Se vacía el agregado dentro del recipiente a una altura aproximada de 5 cm desde el borde del mismo.
3. Se llena el recipiente en tres capas, dando 25 golpes por capa.
4. Se enrasa con una varilla lisa redonda con el objeto de que no queden partículas sobresaliendo
5. Se determina la masa del recipiente.
6. Se repite los pasos anteriores, tres veces para obtener un promedio de los valores.
7. La masa volumétrica seca varillada se determina, dividiendo la masa neta del material, entre el volumen del recipiente.



ILUSTRACIÓN 24 PROCESO DE DETERMINACIÓN DE MASAS VOLUMÉTRICAS SECAS VARILLADAS. (FOTOGRAFÍA: MAYRA A. GUIZA S)

Este ensaye se realizó de acuerdo a la norma (NMX-C-073-ONNCCE, 2004)



6.1.7 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN ARENA Y GRAVA

La granulometría es la distribución del tamaño de las partículas de un agregado, que se determina a través del análisis de los tamices. Hay muchas razones para que se especifiquen los límites granulométricos y el tamaño máximo nominal de los agregados, pues afectan las proporciones relativas de los agregados, como la demanda de agua y de cemento, trabajabilidad, bombeabilidad, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto. (Kosmatka y Panarese, 1992)

6.1.7.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE LA ARENA

Conocer la distribución de tamaños de las partículas finas nos permite determinar el módulo de finura, que es un parámetro fundamental tanto en la dosificación del concreto hidráulico, como en la trabajabilidad de la mezcla. Las cantidades de agregado fino que pasan a través de los tamices (No. 50) y (No. 100) afectan la trabajabilidad, la textura superficial, el contenido de aire y la exudación del concreto. El módulo de finura (M.F.) es un índice de finura del agregado, cuanto mayor sea el módulo de finura, más grueso es el agregado (Kosmatka y Panarese, 1992).

Equipo necesario para efectuar la prueba:

- Tamices con distintas graduaciones (No.100, No. 50, No.30, No.16, No. 8, No.4).
- Balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Cepillo de cerdas finas.
- Recipientes
- Rap-tap.

Procedimiento para efectuar la prueba:

1. Se seca una muestra representativa de arena y se pesan aproximadamente 600 g.
2. Se acomodan las mallas en orden decreciente (4, 8, 16, 30, 50, 100 y charola), se coloca la muestra de arena y se tapa
3. Se agita el juego de mallas durante 10 minutos o en la máquina Rap-tap, o se puede realizar manualmente.
4. En una superficie limpia y horizontal se colocan hojas blancas con cada número de malla, con mucho cuidado se procede a colocar la fracción de material que retuvo cada malla con ayuda del cepillo de cerdas finas con el objetivo de no perder material.
5. Se pesan cada uno de los materiales retenidos.



ILUSTRACIÓN 25 PROCESO DE CRIBADO MEDIANTE EL APARATO MECÁNICO RAP-TAP (FOTOGRAFÍA: MAYRA A. GUIZA S.)

6. Se procede a llenar la siguiente tabla:

Malla	Peso retenido(g)	% Retenido	% Acumulativo	% Que pasa
No.4		$\frac{\text{Peso retenido}}{\text{Suma}} * 100$		100- %Acumulativo
No.8				
No.16				
No.30				
No.50				
No.100				
Suma				

7. Se calcula el módulo de finura

$$M.F = \frac{\text{Suma de retenido de mallas No. 8, 16, 30, 50, 100}}{100}$$

Este ensaye se realizó de acuerdo a la norma (NMX-C-077-ONNCCE, 1997)

6.1.7.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN GRAVA

Hay muchas razones para que se especifiquen los límites granulométricos y el tamaño máximo nominal de los agregados, pues afectan las proporciones relativas de los agregados, así como la demanda de agua y de cemento, trabajabilidad, bombeabilidad, economía, porosidad, contracción y durabilidad del concreto. Las variaciones en la granulometría pueden afectar seriamente la uniformidad del concreto de una mezcla a otra (Kosmatka y Panarese, 1992).



Por medio del análisis granulométrico de la grava podemos determinar el tamaño máximo del agregado el cuál es un parámetro importante que cambia dependiendo del elemento que será colado.

Equipo necesario para efectuar la prueba:

- Tamices con distintas graduaciones (No.4, $\frac{1}{4}$ " $\frac{3}{8}$ ", $\frac{1}{2}$ " $\frac{3}{4}$ ", 1").
- Balanza con aproximación al décimo de gramo.
- Cepillo de cerdas finas.
- Recipientes.

Procedimiento para efectuar la prueba:

1. Se seca una muestra representativa de grava y se utiliza la cantidad que se utilizó para realizar la masa volumétrica seca.
2. Se acomodan las mallas en orden decreciente (No.4, $\frac{1}{4}$ " $\frac{3}{8}$ ", $\frac{1}{2}$ " $\frac{3}{4}$ ", 1" y charola), se coloca la muestra de arena y se tapa.
3. Se hace pasar la muestra de grava por cada una de las mallas empezando por la de menor abertura y se va pasando el material que retiene a la siguiente malla y así hasta cribar la totalidad de la muestra.
4. En una superficie limpia y horizontal se colocan hojas blancas con cada número de malla, con mucho cuidado se procede a colocar la fracción de material que retuvo cada malla con ayuda del cepillo de cerdas finas con el objetivo de no perder material.
5. Se pesan cada uno de los materiales retenidos.



ILUSTRACIÓN 26 CRIBADO DE LA MUESTRA DE GRAVA PARA OBTENER EL TAMAÑO MÁXIMO DE AGREGADO (FOTOGRAFÍA: MAYRA A. GUIZA S.)



6. Se procede a llenar la siguiente tabla:

Malla	Peso retenido(g)	% Retenido	% Acumulativo	% Que pasa
1"		$\frac{\text{Peso retenido}}{\text{Suma}} * 100$		100- %Acumulativo
3/4"				
1/2"				
3/8"				
1/4"				
No.4				
Suma				

Se determina el tamaño máximo de agregado observando la columna de % Retenidos, la primera malla que retiene más del 5% de la masa de la muestra será el tamaño máximo del agregado.

Este ensaye se realizó de acuerdo a la norma (NMX-C-077-ONNCCE, 1997)

6.1.8 PRUEBA PARA DETERMINAR EL CONTENIDO DE IMPUREZAS ORGÁNICAS EN AGREGADO FINO PARA EL CONCRETO

El objetivo de esta prueba es determinar la posible contaminación de los agregados finos por la presencia de materia orgánica dañina. Los resultados obtenidos de esta prueba son un indicador que nos brinda una advertencia a cerca del uso del agregado.

Equipo necesario para efectuar la prueba:

- Muestra seca de arena
- Botella de vidrio graduado, con tapa.
- Solución de hidróxido de sodio
- Embudo

Procedimiento para efectuar la prueba:

1. Del procedimiento de cuarteo se obtiene una muestra representativa de arena aproximadamente 450 g.
2. Se coloca por medio de un embudo la arena dentro del frasco de vidrio hasta la marca de 133 cm³.
3. Se agrega la solución de hidróxido de sodio hasta la marca de 206 cm³.
4. Se coloca la tapa en el recipiente y se agita fuertemente durante 2 minutos.



5. Se deja reposar durante 24 horas.
6. Pasadas las 24 horas se compara el líquido de la parte superior y se compara con la tabla colorimétrica.



ILUSTRACIÓN 27 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE MATERIA ORGÁNICA POR MEDIO DE LA TABLA COLORIMÉTRICA (FOTOGRAFÍA: MAYRA A. GUIZA S.)

Este ensaye se realizó de acuerdo a la norma (NMX-C-088-ONNCCE, 1997)

6.1.9 SEDIMENTACIÓN EN ARENAS

El propósito de este ensaye es determinar de manera visual la cantidad de materia fina presente en una arena, este parámetro resulta importante ya que si la arena contiene mucha cantidad de material fino pueden ocurrir problemas de agrietamientos, y por ende problemas de durabilidad.

Equipo necesario para efectuar la prueba:

- Frasco de vidrio con tapa de una capacidad de 1 litro, con marcas a los 414 ml, 444 ml y 828 ml.
- Muestra representativa de arena.
- Agua destilada.

Procedimiento para efectuar la prueba:

1. Se coloca la arena hasta la marca de 414 ml.
2. Posteriormente se llena el frasco con agua hasta la marca de 828 ml.
3. Se tapa el frasco y se agita durante 2 minutos, se deja reposar durante 24 horas.
4. Una vez pasadas las 24 horas, se observa si el material fino rebasa la marca de 444 ml.



ILUSTRACIÓN 28 CONTENIDO DE MATERIAL FINO EN LA MUESTRA DE ARENA (FOTOGRAFÍA: MAYRA A. GUIZA S.)

Este ensaye se realizó de acuerdo (Molina)

6.1.10 MATERIAL QUE PASA POR LA MALLA N° 200 EN ARENA

En algunos casos el material fino, como las arcillas o los limos se encuentran adheridas a las partículas más grandes, produciendo fallas de adherencia entre la pasta y los agregados. Estas partículas más finas de las 75 micras pueden ser separadas de una manera mucho más eficiente y por completo por medio de cribado en estado húmedo, comparado con un cribado en estado seco.

Equipo necesario para efectuar la prueba:

- Muestra representativa de arena
- Parrilla
- Charolas
- Recipiente
- Malla No. 200
- Horno
- Báscula
- Vaso metálico

Procedimiento para efectuar la prueba:

1. Se toma la muestra y se cuartea para obtener una muestra representativa de 300 gramos como mínimo y se seca.
2. Después del secado se determina su masa registrándola como M_i .
3. Se coloca el material en un contenedor y se le agrega agua suficiente hasta cubrir todo el recipiente.



4. Realizado lo anterior, se lava el material decantando el vaso, para lo cual se agita su contenido en forma de ochos utilizando una varilla metálica, a la vez que se vierte sobre la malla No 200.
5. Para facilitar el paso y la eliminación de los finos, se aplica un chorro de agua con baja presión sobre el contenido de la malla, repitiendo este procedimiento hasta que el agua salga limpia.
6. Se regresa el material retenido en la malla No. 200 al vaso metálico y se seca en el horno, se pesa el material seco y se registra como M_f .

Fórmula:

$$\% \text{ de material que pasa malla No. 200} = \frac{M_i - M_f}{M_f} * 100$$

Donde:

M_i = masa seca (g)

M_f = masa seca lavada (g)

Este ensaye se realizó de acuerdo a la norma (NMX-C-084-ONNCCE, 2010)

6.1.11 PRUEBA DE TERRONES DE ARCILLA DE LA ARENA

Esta prueba determina la cantidad de partículas que tienen la capacidad de afectar su resistencia debido a la absorción en mayor o menor proporción de cemento y agua.

El equipo necesario para efectuar la prueba:

- Muestra representativa de arena
- Malla No 16
- Malla No 30
- Charolas

El procedimiento es el siguiente:

1. Se toma la muestra de aproximadamente 1 kilogramo y se seca teniendo cuidado de no romper los terrones de arcilla.
2. Se deja enfriar la muestra y se pasa por la malla No 16, del retenido se toma una muestra de 100 gramos y se anota como M .
3. Colocar el material en una charola y extender en una fina capa.
4. Cubrir la muestra con agua y dejar reposar durante 24 horas.
5. Presionar las partículas individualmente entre el dedo pulgar y el índice para tratar de romper los terrones de arcilla que existan.



6. Tamizar el material por la malla No 30 vertiendo agua sobre la muestra mientras se agita manualmente la criba hasta que todo el material de menor tamaño ha sido eliminado.
7. Remover las partículas retenidas en el tamiz y secar.
8. Se deja enfriar el material y se pesa registrando como N.

Fórmula:

$$\% \text{ Terrones} = \frac{M - N}{M} * 100$$

Donde:

M= masa seca cribada en (g).

N= masa seca lavada en (g).

Este ensaye se realizó de acuerdo a la norma (NMX-C-071-ONNCCE, 2004)

6.1.12 EQUIVALENTE DE ARENA

Esta prueba de equivalente de arena tiene como objetivo principal determinar la calidad que tiene un suelo que puede ser empleado en las capas de un pavimento, esta calidad es desde el punto de vista de su contenido de finos indeseables de naturaleza plástica. El método cuantifica el volumen total de material no plástico deseable en la muestra, fracción gruesa, denominando su proporción volumétrica como equivalente de arena. Las partículas de agregado, con un recubrimiento de arcilla pueden disminuir la adherencia con la pasta de cemento.

Los materiales semejantes a la arcilla, ya sea que se encuentren como recubrimiento de los agregados o estén dispersos como en las rocas de piedra caliza arcillosa, son objetables ya que entonces el volumen de la roca responde a los cambios en el contenido de humedad. La contracción y la expansión de estas sustancias causaran agrietamiento perjudicial en el concreto.

Procedimiento:

1. Se divide o cuartea suficiente material de la porción que pasa la malla No.4 para llenar el recipiente metálico de 85 ml, de manera que quede levemente redondeada por encima del borde.
2. Se golpea el filo del fondo del recipiente en la mesa de trabajo o en cualquier otra superficie dura para causar la consolidación del material y



permitir la colocación de la máxima cantidad en el recipiente y se enrasa el contenido del recipiente con una espátula o regla.

3. Se prepara la solución de reserva que consiste en la disolución de 454g de cloruro de calcio en 1.9 litros de agua destilada que se enfría al aire libre, hasta alcanzar la temperatura ambiente para después pasarla a través de papel filtro y al final se le agregan 47 gramos de formaldehído y 2047 gramos de glicerina, mezclándolos bien y diluyéndolos con agua destilada hasta completar los 3.2 litros de líquido.
4. Se prepara la solución de trabajo en la botella equipada con el equipo sifón diluyendo 90 mililitros de la solución de reserva en 3.8 litros de agua destilada.
5. Se coloca la botella equipada con el equipo sifón de tal manera que la salida del líquido quede a 92 cm de altura con relación a la superficie de la mesa de trabajo, uniendo la botella mediante la manguera de hule al tubo irrigador.
6. Por medio del sifón, se introduce la solución de trabajo al cilindro hasta una altura de 10 cm (4").
7. Se deja reposar la muestra durante 10 min, se cierra el cilindro de prueba con un tapón y se agita vigorosamente colocando el cilindro en posición horizontal de un lado a otro en sentido longitudinal durante 90 ciclos en un tiempo de 30 segundos, con una carrera aproximada de 20 cm, entendiendo que un ciclo comprende un movimiento completo de oscilación, es decir, de un lado a otro hasta concluir en la posición de partida.
8. Se coloca el cilindro sobre la mesa de trabajo y se le quita el tapón, inmediatamente se le inserta el tubo irrigador con el cual se lavan las paredes del cilindro de arriba a abajo hasta concluir en el fondo. Con el fin de hacer la irrigación uniforme en todo el recorrido, se gira el cilindro conforme avanza el tubo irrigador, propiciando la separación entre el material arcilloso y el arenoso.
9. Cuando el nivel del líquido llegue a 38,1cm (15"), medido sobre la escala del cilindro de prueba, se extrae lentamente el tubo irrigador sin cortar el flujo de solución, de manera que el nivel del líquido se mantenga en los 38.1 cm después de retirar completamente el tubo.
10. Se deja reposar el cilindro durante 20 min, evitando cualquier movimiento o vibración durante este período, transcurrido el cual, la arena se ha sedimentado y los finos permanecen en suspensión.
11. Se mide y registra como lectura de arcilla el nivel superior de los finos en suspensión, con aproximación de 2 mm (0,1" aprox.).
12. A continuación se introduce lentamente la varilla con pisón dentro del cilindro, cuidando de no formar turbulencias, hasta que la base descanse sobre la arena.



13. Se observa el nivel de la parte superior del indicador en la escala del cilindro, se le resta la altura h (254 mm aprox.) y se registra como Lectura de arena, con aproximación de 2 mm (0.1" aprox.).
14. Una vez concluida la prueba, se limpia el cilindro, tapándolo y agitándolo en posición vertical; se voltea y se destapa para vaciarlo inmediatamente. Para finalizar se lava dos veces con agua, hasta eliminar cualquier residuo de material en su interior.



ILUSTRACIÓN 29 PROCESO DE DETERMINACIÓN DE EQUIVALENTE DE ARENA (FOTOGRAFÍA: MAYRA A. GUIZA S.)

Fórmula:

$$EA = \frac{L_{are}}{L_{arc}} * 100$$

Donde:

EA= equivalente de arena, en %.

Lare= lectura de arena, en in.

Larc= lectura de arcilla, en in.

Este ensaye se realizó de acuerdo a la norma (NMX-C-416-ONNCCE, 2003)



6.2 CEMENTO

6.2.1 DETERMINACIÓN DE LA CONSISTENCIA NORMAL DEL CEMENTO HIDRÁULICO

El objetivo del ensaye es determinar la cantidad de agua mínima necesaria para hidratar por completo a las partículas de cemento Portland. Esta cantidad puede variar dependiendo de las condiciones de temperatura y humedad del ambiente existente en el momento de realizar la prueba, para la misma cantidad y tipo de cemento Portland.

Material:

- Muestra de cemento
- Agua destilada

Equipo necesario para efectuar la prueba:

- Báscula con aproximación al décimo de gramo
- Probeta graduada con capacidad de un litro
- Espátula
- Recipiente de vidrio
- Cronómetro
- Guantes de hule
- Aparato Vicat

Procedimiento:

1. Se pesan 650g de cemento y se vierten sobre una mesa con superficie lisa e impermeable y se forma una especie de cráter con el cemento ayudados con una pequeña espátula.
2. Se fija una cantidad de agua expresada en porcentaje respecto a la masa del cemento seco. Se mide en la probeta graduada y se vierte en el centro del cráter (cronometrando a partir de que cae el agua sobre el cemento).
3. Con la espátula se lleva el material de las orillas del cráter hacia el centro hasta lograr que todo el cemento se humedezca. (Esto debe de hacerse en un máximo de 30 segundos).
4. En otro ciclo de 30 segundos consecuentes a los anteriores se deja reposar la mezcla para que la humedad se homogenice. (Aprovechando el operador a colocarse guantes de hule ligeramente húmedos).
5. Se hace el amasado de la pasta en un tiempo global de 1.5 minutos



contados a partir de los anteriores.

- a. En los primeros 30 segundos se mezcla perfectamente la masa con las manos, golpeando la mezcla, con la parte pesada de las manos hasta lograr una pasta uniforme y homogénea.
 - b. En otros 30 segundos se forma una esfera con la pasta y se completa la operación lanzándola de una mano a otra, seis veces, manteniendo las manos separadas por una distancia de 15 cm.
 - c. En los últimos 30 segundos de los 1.5 minutos, se descansa la esfera en la palma de una mano y se introduce a presión dentro del anillo cónico del aparato de Vicat por la base mayor, el cual se sostiene con la otra mano, llenando completamente el anillo con la pasta (la otra boca se descansa sobre un cristal).
 - d. El sobrante de la pasta sobre la base mayor se quita mediante un movimiento de la palma de la mano, a 90° de la dirección del movimiento con el que se introdujo la bola de pasta en el anillo, enseguida se coloca el anillo por su base mayor sobre la placa "H".
 - e. El sobrante de la pasta se quita de la base menor mediante un corte oblicuo con el filo de la cuchara inclinada ligeramente sobre la base superior, si es necesario se alisa la superficie con el filo de la cuchara sin presionar la pasta.
 - f. Todo el conjunto constituido por la placa, pasta y anillo se lleva al aparato de Vicat procurando que quede centrado con respecto a la barra "B". Se desliza la barra "B" hasta que toque con la parte "C" la superficie de la pasta confinada en el anillo, luego se ajusta el índice corredizo sobre la barra "B" al acero superior de la escala, o bien se hace una lectura inicial y se suelta la barra inmediatamente, esto no debe exceder los 30 segundos a partir del instante en que se terminó de hacer la pasta. El aparato debe permanecer libre de vibraciones durante la prueba.
6. Se considera que la pasta tiene una consistencia normal cuando la barra "B" con extremo "C" baje $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ a partir de la superficie original en un intervalo de 30 segundos contados desde el instante en que se soltó



dicha barra. Deben hacerse varias pruebas con distintos porcentajes de agua hasta que se obtenga la consistencia normal. Cada que se haga una prueba, se debe usar una porción nueva de la muestra de cemento que se prueba.

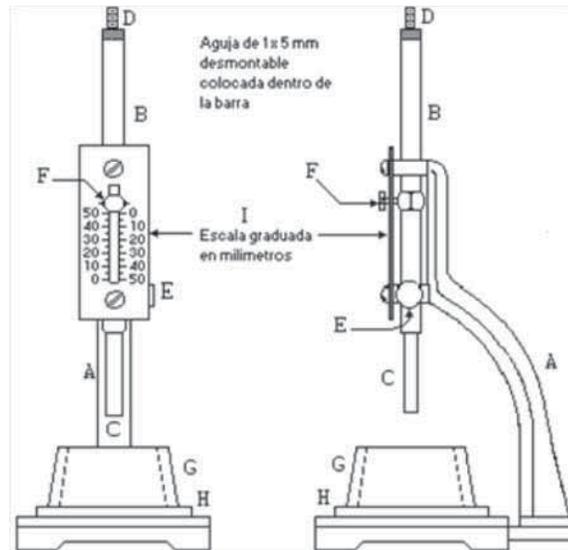


ILUSTRACIÓN 30 ILUSTRACIÓN DEL APARATO DE VICAT UTILIZADO EN EL ENSAYE DE CONSISTENCIA NORMAL.



ILUSTRACIÓN 31 APARATO VICAT CON LA MASA IDÓNEA DE CEMENTO

Fórmula:

La cantidad de agua que se requiere para obtener la consistencia normal (CN) se expresa en por ciento de la masa del cemento seco, calculándose hasta décimos de por ciento y repórtese al 0.5% más próximo.



$$CN = \frac{\text{Mililitros de agua}}{\text{Masa del cemento}} * 100$$

Este ensaye se realizó de acuerdo a la norma (NMX-C-057-ONNCCE, 2010)

6.2.2 DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE FRAGUADO DEL CEMENTO HIDRÁULICO POR LA AGUJA DE GILLMORE

Este ensaye permite la determinación de los tiempos de fraguado inicial y final de la pasta de cemento mediante la penetración de las agujas del aparato de Gillmore. El tiempo de fraguado es una característica de la pasta de cemento en la cual intervienen factores como la cantidad de agua obtenida en la prueba de consistencia normal, de la temperatura y humedad del ambiente. Este ensaye debe ser realizado inmediatamente después de concluir el ensaye de consistencia normal, con la pasta de cemento adicionada con la cantidad óptima de agua.

Materiales:

- Pastilla de cemento

Equipo necesario para efectuar la prueba:

- Aparato de Gillmore

Procedimiento:

1. Con la pasta preparada y sobre una placa de vidrio cuadrada, plana y limpia de aproximadamente 4" por lado, se prepara una pastilla de aproximadamente 7.5 cm de diámetro y 1.3 cm de espesor en la parte central, disminuyendo dicho espesor hacia los bordes.

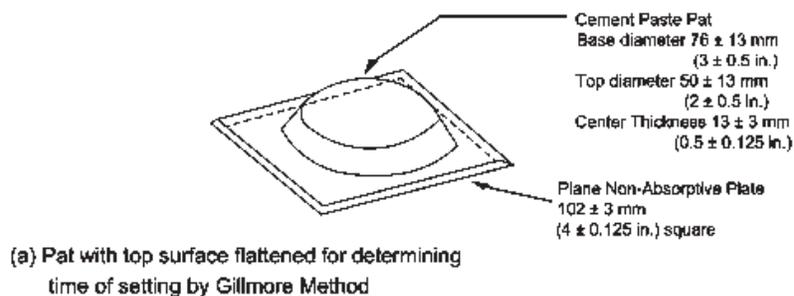


ILUSTRACIÓN 32 ILUSTRACIÓN DE LA PASTILLA DE LA MASA DE CEMENTO SOBRE LA PLACA DE VIDRIO (ASTM-C-266-04)



2. Para llevar a cabo el moldeado primeramente se deberá aplanar la pasta de cemento sobre el vidrio y se reducirá el espesor hacia los bordes con un movimiento de la cuchara desde los bordes y hacia el centro, aplanando la parte central superior hasta el espesor aproximado de 1.3 cm.
3. Colóquese la pastilla en el cuarto húmedo, se mantendrá dentro desde la formación de la pastilla hasta la determinación del fraguado final.
4. Al determinar el tiempo de fraguado manténgase las agujas en posición vertical y póngase en contacto ligeramente con la superficie de la pastilla, considere que el cemento ha alcanzado su fraguado inicial cuando soporte a las agujas de Gillmore inicial (la de menor peso) sin que marque huellas apreciables.
5. Se considera que el cemento ha alcanzado su fraguado final cuando soporte la aguja de Gillmore final (la de mayor peso), sin que marque huellas apreciables.

El tiempo de fraguado se afecta no solo por el porcentaje y temperatura del agua empleada e intensidad del amasado que haya recibido la pasta, sino también por las condiciones ambientales, por lo tanto la determinación de los tiempos de fraguado es meramente aproximado.

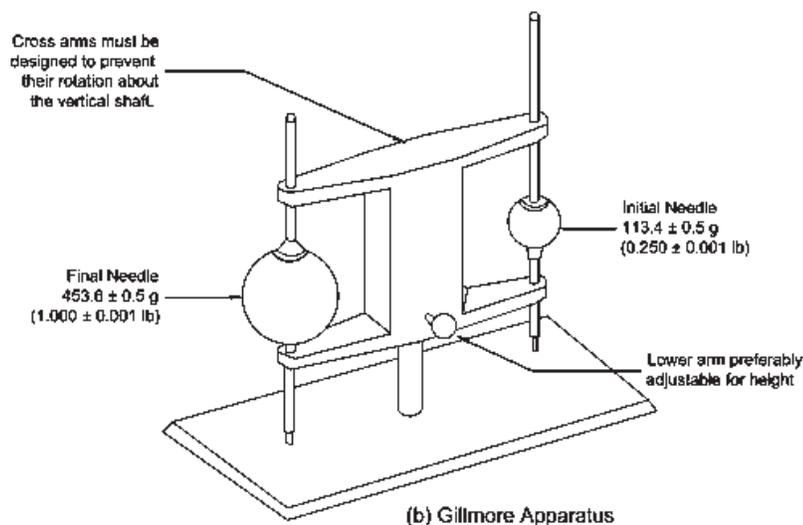


ILUSTRACIÓN 33 DESCRIPCIÓN DEL APARATO DE GILLMORE PARA REALIZAR TIEMPOS DE FRAGUADO (ASSTM-C-266-04)



ILUSTRACIÓN 34 APARATO DE GILLMORE Y PASTILLA DE MASA DE CEMENTO RESULTADO DEL ENSAYE DE CONSISTENCIA NORMAL, EN EL CUARTO HÚMEDO. (FOTOGRAFÍA: MAYRA A. GUIZA S.)

Las mediciones para la determinación de los tiempos de fraguado comienzan a llevarse a cabo a los 15 minutos después de la preparación de la pastilla y posteriormente se repite el proceso cada 15 minutos, y a consideración del observador se establecen los tiempos de medición posteriores hasta conseguir que cada aguja se pueda apoyar sobre la masa de pasta de cemento sin dejar huella apreciable.

Este ensaye se realizó de acuerdo a la norma (NMX-C-059-ONNCCE, 2013)

6.2.3 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL CEMENTO HIDRÁULICO.

Para efectos de este ensaye, se entiende por densidad del cemento hidráulico, la relación de la masa de cemento en gramos, entre el volumen en milímetros que desplaza éste al introducirse en un líquido, con el cual no efectúe reacción química alguna.

Materiales:

- Muestra representativa de cemento
- Keroseno



- Agua

Equipo necesario para efectuar la prueba:

- Parrilla
- Recipiente
- Balanza con aproximación del décimo de gramo

Procedimiento para efectuar la prueba:

1. Se llena el matraz LeChatelier con keroseno libre de agua o nafta a un nivel medido entre cero y un mililitro. La parte interior del matraz arriba del nivel del líquido, se debe secar en caso necesario. Se registra la primera lectura después de haber sumergido el matraz en un baño de agua a la temperatura del laboratorio.
2. Se debe tener la precaución de que la temperatura del baño sea constante durante la prueba de modo que la variación de la temperatura del líquido en el matraz al momento de tomar la lectura inicial y final, no tenga una variación mayor de 0.2° C.
3. Se pesan 60 g de cementante con una aproximación de 0.05 g y se introduce en pequeñas porciones dentro del matraz.
4. Se debe tener cuidado de evitar salpicaduras y que el cementante se adhiera a las paredes interiores del cuello superior del matraz.
5. Se coloca el tapón al matraz y se desaloja el aire que haya sido atrapado al introducir el cementante en el líquido, para lograr esto, se gira el frasco tomándolo entre las manos, en posición inclinada, o se hace rodar en posición inclinada sobre una superficie plana que conviene cubrir con una material que proteja al matraz de una posible ruptura.
6. La segunda lectura se debe tomar estando el líquido en la parte graduada superior y después de sumergir el frasco en el baño de agua durante un tiempo suficiente para estabilizar la temperatura.

Fórmula:

La diferencia entre las lecturas inicial y final representa el volumen del líquido desplazado por la masa de cementante empleado en la prueba.

$$D = \frac{M}{V} = \frac{60gr}{L_f - L_i}$$



Donde:

D= densidad de cemento hidráulico, en g/cm^3

M= masa del cemento hidráulico, en g.

V= volumen del líquido desalojado, en cm^3 .

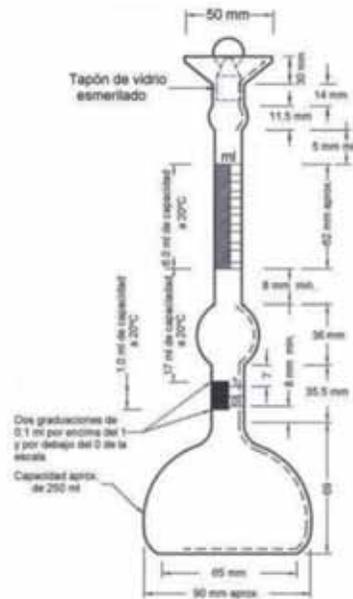


ILUSTRACIÓN 35 MATRAZ DE LE CHATELIER PARA LA DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD DEL CEMENTO (NORMA I.N.V. E-307-07)

Este ensaye se realizó de acuerdo a la norma (NMX-C-152-ONNCCE, 2010)



6.3 CONCRETO FRESCO

Para que un concreto cumpla con las especificaciones requeridas por el cliente es fundamental garantizar por medio de ensayos la calidad del concreto, que determinarán la aceptación o el rechazo del mismo, en las obras. Los resultados de los ensayos proporcionan información importante para basar las decisiones con respecto a los ajustes del diseño de la mezcla (Kosmatka y Panarese, 1992).

6.3.1 MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA EL REVENIMIENTO DEL CONCRETO HIDRÁULICO

Los valores de revenimiento cambian dependiendo de las solicitudes de trabajabilidad de la obra, y es fundamental para el control de calidad, realizar la prueba de revenimiento que determinará en muchas ocasiones si se acepta o no el concreto premezclado.

Equipo necesario para efectuar la prueba:

- Cono de revenimiento de Abrams.
- Varilla metálica de punta de bala de 5/8".
- Cucharón metálico.
- Placa de acero.
- Flexómetro.

Procedimiento para efectuar la prueba:

1. Se coloca la placa sobre una superficie de apoyo horizontal, sobre esta se coloca el molde, ambos limpios y humedecidos con agua.
2. El operador se para sobre las pisaderas del molde, evitando el movimiento de éste durante el llenado.
3. Se llena el molde en tres capas de igual volumen y se apisona cada capa con 25 golpes de la varilla distribuidos uniformemente. La capa inferior se llena hasta aproximadamente 7 cm de altura y la capa media hasta aproximadamente 16 de altura. Al apisonar la capa inferior se darán los primeros golpes con la varilla pisón ligeramente inclinada alrededor del perímetro. Al apisonar la capa media y superior se darán los golpes de modo que la varilla pisón penetre 2.5 cm la capa subyacente. Durante el apisonado de la última capa se deberá mantener permanentemente un exceso de concreto sobre el borde superior del molde.
4. Se enrasa la superficie de la capa superior con la varilla pisón y se limpia el concreto derramado en la zona adyacente al molde.
Inmediatamente después de terminado el llenado, enrásese y limpiezase, se carga el molde con las manos, sujetándolo por las asas y dejando las



- pisaderas libres y se levanta en dirección vertical sin perturbar el concreto en un tiempo de 5 a 12 segundos.
5. Toda la operación de llenado y levantamiento del molde no debe demorar más de tres minutos.
 6. Se coloca el molde a un lado de la mezcla para medir la disminución de altura del concreto respecto al molde, para esto se coloca la varilla sobre el molde de forma horizontal y se mide la distancia entre el concreto y la varilla, como se muestra en la ilustración.

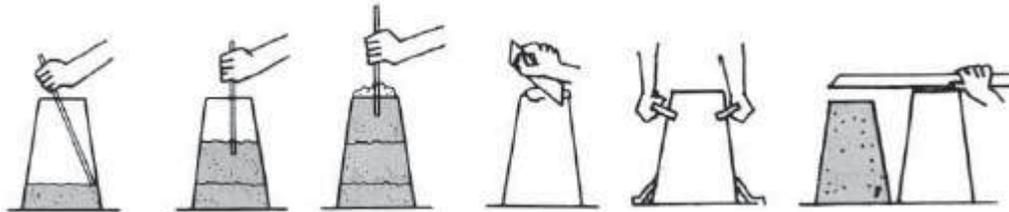


ILUSTRACIÓN 36 PROCESO DE LA PRUEBA DE REVENIMIENTO



ILUSTRACIÓN 37 DETERMINACIÓN DEL REVENIMIENTO EN LAS MEZCLAS. (FOTOGRAFÍA: MAYRA A. GUIZA S.)

Este ensaye se realizó de acuerdo a la norma (NMX-C-156-ONNCCE, 2010)



6.3.2 DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL HIDRÓGENO (PH) EN LA MEZCLA

El pH es una medida de la acidez o basicidad de la mezcla que se está elaborando y que nos permite predecir si presentará condiciones de corrosión al acero estructural embebido. Es por ello que resulta de vital importancia realizar esta prueba.

Equipo necesario para efectuar la prueba:

- pH- metro o indicador universal

Procedimiento para efectuar la prueba:

1. Se realiza la homogenización de los materiales que componen la mezcla del concreto.
2. Se deja reposar la mezcla durante unos 5 minutos para dar tiempo a que empiece a reaccionar el cemento.
3. Se coloca el indicador universal en la mezcla de concreto.
4. Se comparan los colores que muestra el indicador universal con los que se muestran de referencia en el empaque del indicador. De esta manera se obtiene el valor del pH.



ILUSTRACIÓN 38. TIRAS REACTIVAS QUE AYUDAN A DETERMINAR EL PH DE LA MEZCLA.
(FOTOGRAFÍA: MAYRA A. GUIZA S.)



6.3.3 DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE LA MEZCLA

La temperatura de concreto tiene una gran influencia sobre las propiedades tanto en estado fresco como en estado endurecido.

Las condiciones del clima en la obra, sea caluroso o frío, ventoso o calmo, seco o húmedo pueden ser muy distintas de las condiciones ideales, asumidas en el momento de especificar, diseñar o seleccionar una mezcla, o pueden diferir de las condiciones de laboratorio en las cuales se almacenaron y se ensayaron las probetas de concreto. Las condiciones de clima caluroso influyen adversamente la calidad del concreto, principalmente acelerando la tasa de pérdida de humedad y la velocidad de hidratación del cemento (Kosmatka y Panarese, 1992).

Por lo anterior resulta conveniente determinar la temperatura de la mezclas para tomar las precauciones necesarias.

Equipo necesario para efectuar la prueba:

- Termómetro digital o de mercurio.

Procedimiento para efectuar la prueba:

Se coloca el termómetro en la mezcla representativa de concreto, por un tiempo aproximado de 2 minutos o hasta que la lectura se estabilice, un mínimo de 75 mm de concreto debe rodear la porción sensitiva del termómetro.



ILUSTRACIÓN 39. DETERMINACIÓN DE LA TEMPERATURA DE LA MEZCLA, POR MEDIO DE TERMÓMETRO ELECTRÓNICO Y DE MERCURIO. (FOTOGRAFÍA: MAYRA A. GUIZA S.)

Este ensaye se realizó de acuerdo a la norma (NMX-C-435-ONNCCE, 2010)



6.4 ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES

Este método establece los requisitos estandarizados para la preparación de los materiales utilizados para las pruebas de resistencia a la compresión y a la flexión las mezclas de concreto y la toma de muestras en condiciones de laboratorio.

Procedimiento:

1. De la mezcla del concreto se obtiene la fracción representativa para elaborar los especímenes.
2. Se coloca el concreto dentro del molde, en el número de capas y espesor especificado según la Tabla 13.
3. Se varilla cada capa con el extremo redondeado empleando el número de penetraciones y tamaño de varilla especificado en la Tabla 14.
4. Se distribuyen los golpes uniformemente en toda la sección transversal del molde y para cada capa superior, permitiendo que la varilla penetre aproximadamente 10 mm dentro de la capa inmediata inferior, cuando el espesor de esa capa sea menor a 100 mm, y aproximadamente 20 mm cuando su espesor sea de 100 mm o más.
5. Después de compactar cada capa se debe golpear ligeramente con el mazo de hule las paredes del molde para eliminar hasta donde sea posible las oquedades que deja la varilla.
6. Después de la compactación, se termina la superficie superior enrasándola con la varilla punta de bala, haciéndola rodar por la superficie.
7. Para evitar pérdidas de agua por evaporación, se recomienda cubrir los cilindros con bolsas de plástico.

TABLA 13 NÚMERO DE CAPAS REQUERIDAS PARA LOS ESPECÍMENES.

Tamaño del espécimen (mm)	Método de compactación	N° de capas	Espesor aproximado de la capa (mm)
Hasta 300	Varillado	3 iguales	---
Más de 300	Varillado	Según se requiera	100
Hasta 450	Vibrado	2 iguales	---
Más de 450	Vibrado	3 o más	150 o lo más cercano



TABLA 14 DIÁMETRO DE VARILLA Y NÚMERO DE PENETRACIONES EMPLEADOS PARA MOLDEAR LOS ESPECÍMENES DE PRUEBA

Diámetro del cilindro (cm)	Diámetro de la varilla (mm)	Número de penetraciones por capa
Entre 5 y menos de 15	10	25
15	16	25
20	16	50
25	16	75

Este ensaye se realizó de acuerdo a la norma (NMX-C-159-ONNCCE, 2004)



6.5 CONCRETO ENDURECIDO

6.5.1 MÉTODO DE PRUEBA PARA EL CURADO DE ESPECÍMENES

El curado es el control de la temperatura y del contenido de humedad satisfactorios, por un periodo de tiempo que empieza inmediatamente después del colado y del acabado, para que se puedan desarrollar las propiedades deseadas en el concreto. Con el curado adecuado, el concreto se vuelve más impermeable y más resistente a esfuerzos mecánicos, abrasión y a congelación-deshielo (Kosmatka y Panarese, 1992).

Procedimiento para efectuar la prueba:

1. Inmediatamente después de haber colado los cilindros de concreto se coloca una placa no absorbente con el objetivo de que no se evapore el agua.
2. Se descimbran los cilindros no antes de 20 horas después del colado y no después de 48 horas.
3. Se someten a inmersión en agua saturada con cal.



ILUSTRACIÓN 40 PILA DE CURADO (FOTOGRAFÍA: I. TRUJILLO C.)

Este ensaye se realizó de acuerdo a la norma (NMX-C-159-ONNCCE, 2004)



6.5.2 MÉTODO PARA EL CABECEO DE ESPECÍMENES DE CONCRETO CON AZUFRE.

Cabecear un cilindro nos permite proporcionar una superficie plana y con poca rugosidad, para que a la hora de aplicar una carga axial se distribuya perfectamente en toda la superficie.

Equipo necesario para efectuar la prueba:

- Mortero de azufre.
- Jarras de acero
- Parrilla.
- Platos.
- Dispositivos para el cabeceo.

Procedimiento para efectuar la prueba:

1. Se prepara mortero de azufre calentándolo en la parrilla a una temperatura aproximada de $140^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$.
2. Se calientan los platos que permitirán realizar el cabeceo de las caras de los cilindros.
3. Una vez líquido el mortero de azufre se coloca sobre el plato alineado con la placa base y se procede a colocar el cilindro sobre la placa con azufre líquido de manera vertical.
4. Cuando el azufre se ha solidificado se procede a retirar el cilindro del plato levantándolo de manera vertical y golpeándolo con una de las esquinas de la placa base.
5. Se ensayan los cilindros cuando hayan adquirido cierta resistencia.



ILUSTRACIÓN 41 PROCESO DE CABECEO DE CILINDROS (FOTOGRAFÍA: MAYRA ALEJANDRA GUIZA S.)

Este ensaye se realizó de acuerdo a la norma (NMX-109-ONNCCE, 2013)



6.5.3 MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO.

Conocer la resistencia a la compresión del concreto es fundamental para la práctica profesional ya que es el principal parámetro de control de calidad en cualquier obra civil.

Equipo necesario para efectuar la prueba:

- Equipo universal de pruebas

Procedimiento para efectuar la prueba:

1. Se coloca el espécimen de concreto previamente cabeceado sobre la máquina universal de pruebas, una vez centrado el espécimen se procede a aplicar la carga de manera lenta y uniforme.
2. Se debe aplicar la carga con una velocidad uniforme y continua sin producir impacto, ni pérdida de carga. La velocidad de carga debe estar dentro del intervalo de 84 Kgf/cm²/min a 210 Kgf/cm²/min, equivalente para un diámetro estándar de 15 cm a un rango de 14.8 Tonf/min a 37.1 Tonf/min
3. Se aplica la carga hasta que aparezca falla por ruptura y se registra la carga como (P).



ILUSTRACIÓN 42 CILINDROS CABECEADOS PARA SER SOMETIDOS A COMPRESIÓN
(FOTOGRAFÍA: MAYRA A. GUIZA S.)

Fórmulas:

$$f'c = \frac{P}{A}$$



Donde:

$f'c$ = Resistencia a la compresión en kg/cm^2 .

P = Carga máxima en kg .

A = Área de la sección transversal del espécimen en cm^2 .

Este ensaye se realizó de acuerdo a la norma (NMX-C-083-ONNCCE, 2014)

6.5.4 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN DEL CONCRETO USANDO UNA VIGA SIMPLE CON CARGA EN LOS TERCIOS DEL CLARO.

Aunque normalmente el concreto no se diseña para resistir tensión directa, es valioso el conocimiento de la resistencia a la tensión para estimar la carga bajo la cual se desarrollará el agrietamiento. La resistencia en tensión es también de interés en estructuras de concreto sin refuerzo tales como presas, pavimentos de carreteras y de aeropistas, se proyectan sobre la base de resistencia a la flexión, lo que implica resistencia en tensión (Neville, 1999).

Equipo necesario para efectuar la prueba:

- Máquina universal de pruebas.
- Apoyos.

Procedimiento para efectuar la prueba:

1. Se determinan las dimensiones reales de la viga y se marcan los apoyos que tendrán al menos 50 mm de excentricidad respecto a los bordes de las vigas, la distancia entre apoyos debe ser 3 veces el peralte de la viga y se marca en las paredes de la misma.
2. Se coloca el espécimen de lado respecto a la posición del moldeado, se coloca en los apoyos y se centra respecto a la placa que aplicará la fuerza.
3. Se colocan las guías en los tercios medios de la viga, se coloca la placa de asiento encima de las guías que permitirá distribuir la carga.
4. Una vez que la platina ha hecho contacto con la placa de asiento, se procede a aplicar carga a una velocidad lenta y uniforme.
5. Se registra la carga máxima, que provoca la falla del espécimen y se registra como (P)



ILUSTRACIÓN 43 PROCESO DE DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA FLEXIÓN (FOTOGRAFÍA: E. GONZÁLEZ CASTRO)

Fórmulas:

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

Donde:

MR= Módulo de ruptura en kgf/cm²

P= Carga máxima aplicada en kgf.

L= Distancia entre apoyos en cm.

B= Ancho del espécimen en cm.

D= Peralte del espécimen en cm.

Este ensaye se realizó de acuerdo a la norma (NMX-C-191-ONNCCE, 2004)



6.5.5 VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO.

La medición de la velocidad del pulso ultrasónico como una alternativa de prueba no destructiva para evaluar la calidad del concreto se ha utilizado desde hace aproximadamente 50 años. Las ondas de sonido se propagan en los medios sólidos a partir de excitaciones vibratorias en forma de: ondas longitudinales o de compresión, ondas transversales o de cortante y ondas superficiales. La velocidad de estas ondas depende de las propiedades elásticas del medio, de tal manera que, conociendo la velocidad del sonido y la masa del sólido, se pueden estimar las propiedades elásticas del medio, mismas que se pueden relacionar con los parámetros de calidad del material (Solís Rómel, 2004).

Equipo necesario para efectuar la prueba:

- Equipo de velocidad de pulso.
- Muestras de concreto.
- Flexómetro.
- Gel calibrador.

Procedimiento para efectuar la prueba:

1. Los especímenes o zonas de concreto a ser ensayados deben tener la superficie plana, lisa, exenta de suciedad y no deben estar carbonatados.
2. Aquellas superficies que no sean suficientemente lisas, se deben regularizar a través de procesos mecánicos o con una capa de pasta de cemento, yeso o resina epóxica con espesor mínimo, a fin de posibilitar un buen acoplamiento con los transductores o sondas, pero sin que puedan interferir en la medida.
3. Se calibra el equipo de velocidad de pulso con ultrasonido usando la barra de referencia.
4. El modo de prueba puede ser de tres formas:
 - Transmisión directa: con los transductores en las caras opuestas del material.
 - Transmisión indirecta: con los transductores en misma cara.
 - Transmisión semidirecta: con los transductores en las caras adyacentes.
5. Se aplica un adecuado agente de acoplamiento (como agua, vaselina, grasa, goma moldeable, u otros materiales viscosos) a las caras de los transductores o la superficie de ensayo o ambas.
6. Se presionan las caras de los transductores firmemente contra la superficie de concreto hasta que se muestre un tiempo estable o hasta obtener el valor estable más bajo que se considere adecuado.



7. Se registra ese valor y se determina la distancia en línea recta medida de centro a centro de las caras de los transductores.

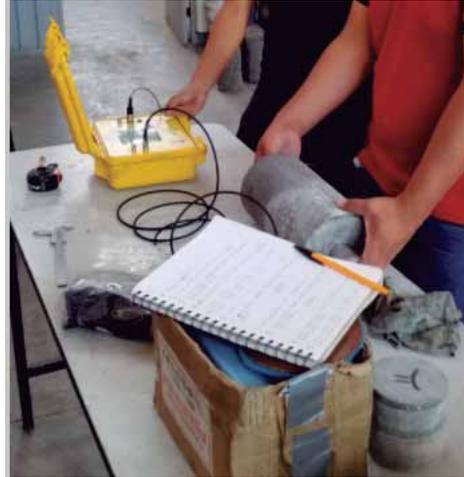


ILUSTRACIÓN 44 DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE PULSO A LOS ESPECÍMENES CILINDRICOS (FOTOGRAFÍA: MAYRA ALEJANDRA GUIZA S.)

Este ensaye se realizó de acuerdo a la norma (NMX-C-275-ONNCCE, 2004)

6.5.6 RESISTIVIDAD ELÉCTRICA.

La necesidad de calcular la durabilidad del concreto ha llevado a buscar un ensayo que fuera capaz de cuantificar todas las fases del proceso desde la fabricación del hormigón hasta su curado y endurecimiento. La resistividad eléctrica como inversa de la conductividad es una propiedad del concreto que permite su control de forma no destructiva y por ello, accesible al autocontrol. La resistividad es un indicador del fraguado y de la resistencia mecánica, del grado de saturación del concreto y por ello del grado de curado y de la impermeabilidad o resistencia al ingreso de sustancias agresivas en el concreto. Finalmente tiene una relación directa con la velocidad de corrosión al indicar el grado de humedad del concreto. Por todo ello es un parámetro que permite relacionar al microestructura con el comportamiento durable del concreto. (C. Andrade, 2011)

Equipo necesario para efectuar la prueba:

- Resistómetro.
- Flexómetro.
- Especímenes de prueba

Procedimiento para efectuar la prueba:

1. Se toman las dimensiones de la muestra: diámetro y longitud.



2. Se garantiza la conexión del resistómetro.
3. Se monta la muestra en el equipo correspondiente.
4. Se corrobora el contacto de los pines con las placas metálicas que se colocan sobre el concreto.
5. Mediante la fuente y a través de las placas metálicas adosadas a las caras laterales del espécimen, se somete éste a una corriente dada, (I).
6. Se registra el voltaje (E) obtenido del aparato lo más preciso posible.



ILUSTRACIÓN 45 DETERMINACIÓN DE LA RESISTIVIDAD A LOS ESPÉCIMENES DE CONCRETO
(FOTOGRAFÍA: E. GONZÁLEZ CASTRO).

Fórmulas:

$$\rho = Re \frac{A}{L}$$

Donde:

ρ = resistividad eléctrica, en ohm-cm.

Re =resistencia eléctrica, en ohms.

A =área transversal del espécimen, en cm^2 .

L =Longitud del espécimen, en cm.

Este ensaye se realizó de acuerdo (DURAR, 2000)



Capítulo 7 RESULTADOS Y DISCUSIONES

7.1 AGREGADOS PÉTREOS.

7.1.1 CARACTERIZACIÓN DE LA ARENA PROVENIENTE DE LOS DISTINTOS BANCOS.

TABLA 15 CARACTERIZACIÓN DE LOS ÁRIDOS UTILIZADOS EN ESTA INVESTIGACIÓN.

Ensaye	Norma que establece el procedimiento de prueba	Rango	Arena volcánica "Chamacuero"	Arena volcánica "La Magdalena"
Humedad actual (%)	NMX-C-166-ONNCCE-2006	No establece	0.42	1.69
Humedad de absorción (%)	NMX-C-165-ONNCCE-2014	4% (Alta absorción)	5.86	4.64
Densidad (gr/cm ³)	NMX-C-165-ONNCCE-2014	No establece	2.44	2.61
M.V.S.S (gr/cm ³)	NMX-C-073-ONNCCE-2004	No establece	1.2918	1.649
M.V.S.V (gr/cm ³)	NMX-C-073-ONNCCE-2004	No establece	1.3786	1.746
Colorimetría	NMX-C-088-ONNCCE-1997, Especificación (NMX-C-11-ONNCCE)	Máximo 3	2	2
Sedimentación		Aceptable	Aceptable	Aceptable
Equivalente de arena	NMX-C-480-ONNCCE-2014	85% Mín.	95.3	92.37
Material que pasa la malla No. 200 (%)	NMX-C-084-ONNCCE-2006	15% Máx.	6.5	8.46
Terrones de arcilla (%)	NMX- C-071-ONNCCE-2004	Máx. permisible 3%	0.2	2.67

Los ensayos se realizaron de acuerdo a las normas vigentes descritas en la tabla anterior obteniendo resultados generalmente favorables, debido a la naturaleza de los agregados que es volcánico se observa una capacidad de absorción alta para ambas arenas, lo que implicaría un mayor consumo de agua para asegurar el revenimiento establecido; este parámetro físico de la arena influye de manera importante en la consistencia de la mezcla que fue uno de los objetivos planteados al inicio de la investigación la bombeabilidad de las mezclas.

7.1.2 DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE LAS ARENAS UTILIZADAS EN ESTA INVESTIGACIÓN.

Al conocer la distribución de partículas que conforman las arenas que utilizamos, podemos predecir el comportamiento que tendrá el concreto en estado fresco, y en estado endurecido. Debido a que la falta de uniformidad en los tamaños de partícula podría ocasionar mayores consumos de cemento, mala trabajabilidad, poca cohesión entre los demás componentes del concreto, entre otros.



TABLA 16 DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE PARTÍCULA PRESENTES EN LAS ARENAS UTILIZADAS EN ESTA INVESTIGACIÓN.

Granulometría en agregados finos									
Material	Arena "Chamacuero"				Arena "Magdalena"				
Malla	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Acumulativo	% Que pasa	Malla	Peso retenido (gr)	% Retenido	% Acumulativo	% Que pasa
Retenido No.4	5.6	0.9	0.9	99.1	Retenido No.4	15.4	2.6	2.6	97.4
No.4	32.7	5.5	6.4	93.6	No. 8	70.4	11.8	14.4	85.6
No.8	129.9	21.7	28.1	71.9	No. 16	104.5	17.5	31.9	68.1
No.16	207.6	34.7	62.9	37.1	No. 30	146.2	24.5	56.4	43.6
No.30	117.0	19.6	82.5	17.5	No. 50	133.4	22.3	78.7	21.3
No.50	48.0	8.0	90.5	9.5	No. 100	61.1	10.2	88.9	11.1
No.100	56.8	9.5	100.0	0.0	No. 200	42.9	7.2	96.1	3.9
Suma	597.6	100.0			Charola	23.1	3.9	100.0	0.0
			M.F. 3.64		Suma	597.0		M.F. 2.70	

Para la arena proveniente del banco de "Chamacuero", observamos que el módulo de finura es de 3.64, lo que indica que es una arena de consistencia gruesa, lo que podrá implicar que las mezclas sean poco trabajables, faltando cohesión entre sus componentes y requiriendo mayores consumos de cemento para mejorar su trabajabilidad. En contraste el árido de "La Magdalena" tiene un módulo de finura de 2.7, se encuentra dentro del rango aceptable (2.2 a 3.1).

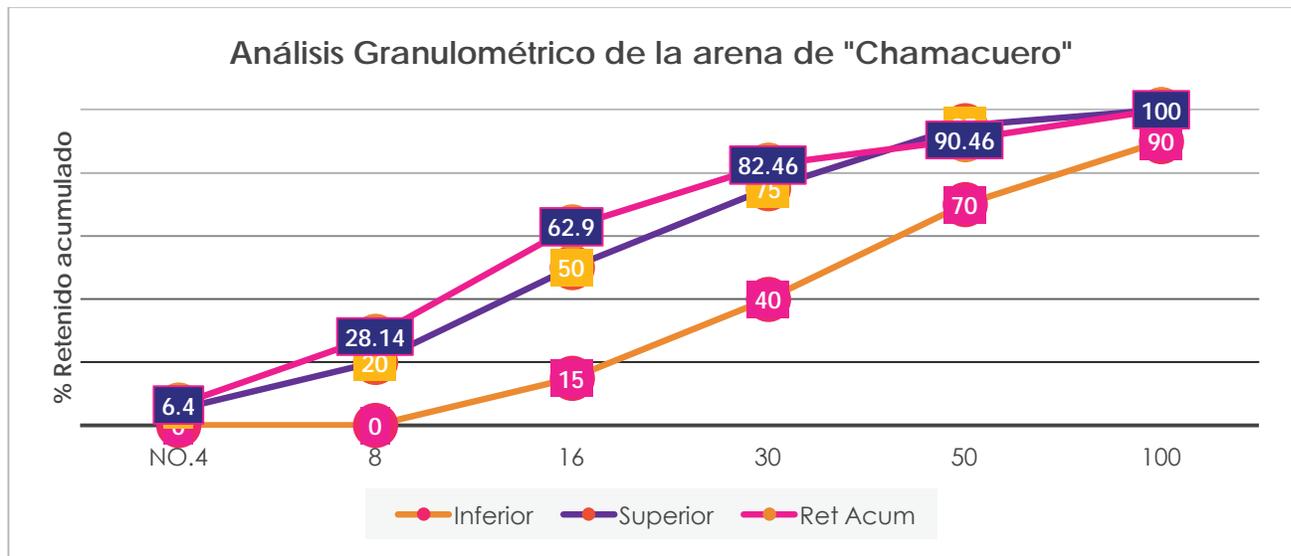


GRÁFICO 1 DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS DE LA ARENA "CHAMACUERO"

En la gráfica podemos observar como para prácticamente todas la mallas existe una ligera excedencia de los límites superiores en las mallas más gruesas, lo que indica que la arena de banco "Chamacuero", contiene mayor porción de partículas gruesas.



Análisis Granulométrico de la arena de "La Magdalena"

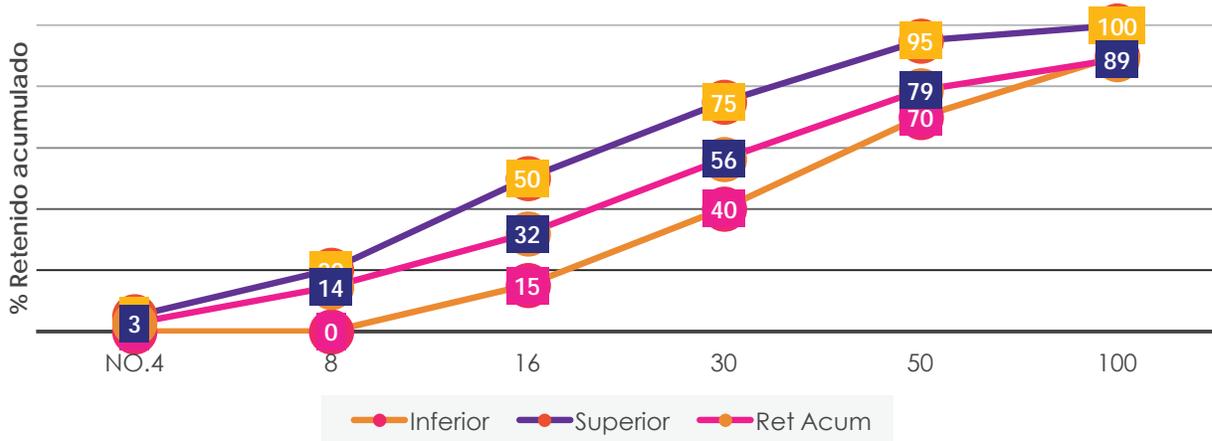


GRÁFICO 2 DISTRIBUCIÓN DE PARTÍCULAS DE LA ARENA "LA MAGDALENA"

En la gráfica se observa que la arena tiene una buena distribución granulométrica.

7.1.3 CARACTERIZACIÓN DE LA GRAVA PROVENIENTE DE EL BANCO "MESÓN NUEVO".

TABLA 17 CARACTERIZACIÓN DE LA GRAVA UTILIZADA EN LA INVESTIGACIÓN.

Ensaye	Norma	Rango	Grava triturada "Mesón"
Humedad actual (%)	NMX-C-166-ONNCCE-2006	No establece	0.42
Humedad de absorción (%)	NMX- C-164-ONNCCE-2014	> 4% (Alta absorción)	2.36
Densidad (gr/cm3)	NMX- C-164-ONNCCE-2014	No establece	2.5
M.V.S.S (gr/cm3)	NMX-C-073-ONNCCE-2004	No establece	1.425
M.V.S.V (gr/cm3)	NMX-C-073-ONNCCE-2004	No establece	1.581
T.M.A (in)	NMX-C-077-ONNCCE-1997	No establece	3/4"

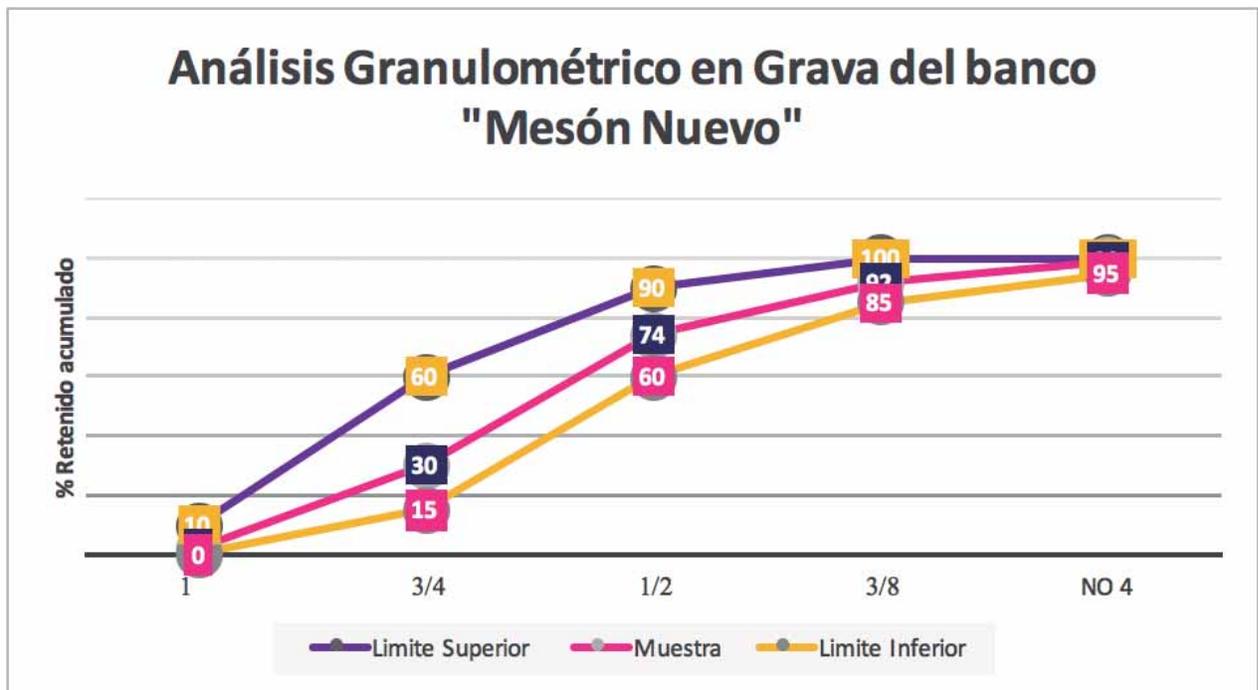
Los ensayos para la caracterización de la grava se realizaron de acuerdo a la normativa vigente obteniendo resultados favorables, que establecen una buena calidad en la grava utilizada.



7.1.4 DISTRIBUCIÓN GRANULOMÉTRICA DE LA GRAVA.

TABLA 18 DETERMINACIÓN DE LOS TAMAÑOS DE PARTÍCULA PRESENTE EN LA GRAVA "MESÓN NUEVO"

Malla	Peso retenido (gr)	% Retenido	%Acumulativo	% Que pasa
1"	0.28	1.9	1.9	98.1
3/4"	4.19	28.4	30.3	69.7
1/2"	6.45	43.7	74.0	26.0
3/8"	2.60	17.6	91.6	8.4
1/4"	1.10	7.5	99.1	0.9
No. 4	0.07	0.4	99.5	0.5
Pasa No. 4	0.07	0.5	100.0	0.0
Suma	14.74	100.0		
T.M.A			3/4"	



En la gráfica se puede observar como la muestra grava cumple de manera satisfactoria los límites establecidos en la norma.



7.2 CEMENTO PORTLAND

TABLA 19 CARACTERIZACIÓN DEL CEMENTO UTILIZADO EN ESTA INVESTIGACIÓN.

Ensaye	Norma	Rango	Cemento
Densidad (gr/cm ³)	NMX-C-152-ONNCCE-2010	2.9 - 3.15	3.04
Consistencia normal (%)	NMX-C-057-ONNCCE-2010	23% a 33%	28
Tiempos de fraguado			
Fraguado inicial (min)	NMX-C-177-ONNCCE-1997	> 45 Mín.	215
Fraguado final (min)		< 420 Mín.	555

Los ensayos para la caracterización del cemento se realizaron de acuerdo a las normativas vigentes obteniendo resultados satisfactorios.

El agua empleada para la elaboración de las distintas mezclas fue analizada por el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo en mayo de 2014, quienes expidieron los resultados referentes a la normativa mexicana NMX-C-122-ONNCCE-2004.



7.3 AGUA

Los resultados de este análisis demuestran que el agua es apropiada para utilizarse en la elaboración de los especímenes de concreto, en su etapa de curado y en los ensayos de caracterización del cemento y otros que requieran el uso de agua en su procedimiento.

Muestra: Agua potable de la Red de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

Sitio de muestreo: Laboratorio de Materiales "Ing. Luis Silva Ruelas".

Fecha de muestreo: 18 de mayo de 2014.

Normativa de referencia: NMX-C-122-ONNCCE-2004.

Parámetro	Resultado	Límite permisible (NMX-C-122-ONNCCE-2004)	Unidades	Método Utilizado
pH	7.86	>6	U pH	NMX-AA-008-SCFI-2000
Temperatura	29.8	-----	°C	NMX-AA-007-SCFI-2000
Conductividad eléctrica	456	-----	µs/cm	NMX-AA-093-SCFI2000
Sólidos disueltos Totales	352	3500	mg/L	NMX-AA-034-SCFI2001
Oxígeno disuelto	337	-----	mg/L	NMX-AA-012-SCFI2001
Sulfatos	5	3000	mg/L	NMX-AA-074-1981
Cloruros	13.36	400	mg/L	NMX-AA-073-SCFI2001
Dureza Cálcica	21	-----	mg/L CaCO ₃	Volumétrico
Sales de magnesio	5	100	mg/L	Volumétrico

(Reyes Bernabé, 2015).



7.4 DISEÑO DE LAS MEZCLAS.

Recopilación de las características de los materiales con lo que se elaborará el concreto:

Resumen de las propiedades de los materiales:

TABLA 20 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES CON LOS QUE SE REALIZÓ LAS MEZCLAS DEL BANCO DE ARENA "LA MAGDALENA"

Material	M.V.S.S	M.V.S.V	Densidad	Absorción	M.F.	T.M.A
Unidad	Kg/m ³	Kg/m ³	g/cm ³	%	-	in
Arena "La Magdalena"	1.649	1.746	2.61	4.64	2.7	-
Grava	1.425	1.581	2.5	2.36	-	3/4"
Cemento	-	-	3.04	-	-	-

TABLA 21 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES CON LOS QUE SE REALIZARON LAS MEZCLAS DEL BANCO DE ARENA "CHAMACUERO"

Material	M.V.S.S	M.V.S.V	Densidad	Absorción	M.F.	T.M.A
Unidad	Kg/m ³	Kg/m ³	g/cm ³	%	-	in
Arena "Chamacuero"	1.292	1.379	2.44	5.96	3.64	-
Grava	1.425	1.581	2.5	2.36	-	3/4"
Cemento	-	-	3.04	-	-	-

Una vez caracterizados todos los materiales con lo que se constituiría el concreto se optó por el método de diseño de mezclas ACI 211, obteniendo los siguientes proporcionamientos, considerando una relación A/C de 0.62, un revenimiento de 15 cm y un f'c de proyecto de 250 kg/cm².

TABLA 22 DISEÑO DE LAS MEZCLAS.

Proporcionamiento arena "Chamacuero"		
Proporcionamiento considerando los materiales secos		
Materiales	Peso (kg)	Volumen
Cemento	354.1	116.86
Agua	216	216
Grava	853.74	341.5
Arena	745.76	305.64
Aire	0	20
Total	2169.6	1000

Proporcionamiento arena "La magdalena"		
Proporcionamiento considerando los materiales secos		
Materiales	Peso (kg)	Volumen
Cemento	354.1	116.86
Agua	216	216
Grava	853.74	341.5
Arena	797.72	305.64
Aire	0	20
Total	2221.56	1000



7.5 PRUEBAS PRELIMINARES

Para encontrar la mezcla que más se adecuara a los objetivos fijados del proporcionamiento inicial, fue necesario modificar las proporciones de aditivo, cemento y agua. Se realizaron 6 mezclas distintas además de los testigos de ambos tipos de arena.

TABLA 23 SIMBOLOGÍA DE LAS MEZCLAS, MODIFICANDO LOS PROPORCIONAMIENTOS BASE.

SIMBOLOGÍA DE MEZCLAS	
T	Testigo
M1	10.84 ml/kg de cemento, de HPA-RED@CRETE-ABS, -20% de agua, 100% de cemento
M2	10.84 ml/kg de cemento, de HPA-RED@CRETE-ABS, -20% de agua, -20% de cemento
M4	10.84 ml/kg de cemento, de HPA-RED@CRETE-ABS, agua variable, -14% de cemento
M6	6.50 ml/kg de cemento, de HPA-RED@CRETE-ABS, -14% de cemento, 90% de agua
M7	6.50 ml/kg de cemento, de HPA-RED@CRETE-ABS, -20% de cemento
M9	8.67 ml/kg de cemento, de HPA-RED@CRETE-ABS, -20% de cemento

TABLA 24 MEZCLAS PRELIMINARES.

Arena volcánica de "Chamacuero"					Arena volcánica de "La Magdalena"				
Testigo					Testigo				
Edad(Días)	Masa (kg)	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Esfuerzo (Mpa)	Edad(Días)	Masa (kg)	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Esfuerzo (Mpa)
28	12.40	176.72	52941.67	29.83	28	13.10	176.72	60006.33	33.36
M1-C					M1-M				
Edad(Días)	Masa (kg)	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Esfuerzo (Mpa)	Edad(Días)	Masa (kg)	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Esfuerzo (Mpa)
28	12.94	176.72	40226.67	22.56	28	12.95	176.72	59660.00	33.76
M2-C					M2-M				
Edad(Días)	Masa (kg)	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Esfuerzo (Mpa)	Edad(Días)	Masa (kg)	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Esfuerzo (Mpa)
28	12.15	176.72	43782.67	24.78	28	12.90	176.72	42039.00	23.68
M4-C					M4-M				
Edad(Días)	Masa (kg)	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Esfuerzo (Mpa)	Edad(Días)	Masa (kg)	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Esfuerzo (Mpa)
28	12.10	176.72	37856.00	31.88	28	12.82	176.72	44296.00	31.81
M6-C					M6-M				
Edad(Días)	Masa (kg)	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Esfuerzo (Mpa)	Edad(Días)	Masa (kg)	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Esfuerzo (Mpa)
28	12.27	176.72	55545.00	31.57	28	12.60	176.72	53356.67	30.33
M7-C					M7-M				
Edad(Días)	Masa (kg)	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Esfuerzo (Mpa)	Edad(Días)	Masa (kg)	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Esfuerzo (Mpa)
28	12.30	176.72	45224.33	25.59	28	12.53	176.72	49885.67	27.98
M9-C					M9-M				
Edad(Días)	Masa (kg)	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Esfuerzo (Mpa)	Edad(Días)	Masa (kg)	Área (cm ²)	Carga (kgf)	Esfuerzo (Mpa)
28	12.20	176.72	39788.67	25.59	28	12.60	176.72	52458.67	29.69



7.6 ELABORACIÓN DE ESPECÍMENES

Para todas las mezclas se colaron tres especímenes cilíndricos de concreto de 15 cm de diámetro por 30 de alto, por edad de cada tipo de arena, realizándose las pruebas de resistencia a la compresión, velocidad de pulso ultrasónico y resistividad eléctrica, a edades de 7 14 y 28 días. Para fines prácticos se decidió presentar las mezclas: testigo, M1, M6 y la M7, esta última obtuvo los valores a la compresión más aproximados a los objetivos fijados. Se elaboraron vigas de 15 cm de alto, por 15 de ancho y 60 cm de largo, para las mezclas testigo y M7, de ambas arenas, con el fin de determinar la resistencia a la flexión de las mezclas para evaluar si son aptas para la construcción de pavimentos.

7.7 CONCRETO FRESCO

Se realizaron algunas pruebas al concreto en estado fresco con el objetivo de conocer distintas características del mismo. Se efectuaron los ensayos de determinación de temperatura, pH y revenimiento.

El revenimiento fue uno de los objetivos marcados al inicio de la investigación ya que se buscó que el concreto fuera bombeable.

Debido a que la temperatura de la mezcla puede ocasionar problemas en la trabajabilidad y tiempo de manipulación del concreto así como la formación de agrietamientos se consideró una prueba importante ya que podría considerarse un parámetro de aceptación o rechazo en las obras.

Como se utilizó un aditivo plastificante se determinó el pH de las muestras con el objeto de evaluar si las mezclas realizadas podrían corroer al acero de refuerzo en caso de que las mezclas se utilizaran para formar un concreto armado.

Especificaciones:

TABLA 25 RANGOS DE REVENIMIENTO PERMITIDOS SEGÚN (NMX-C-155-ONNCCE-2004)

Revenimiento	Tolerancia
R < 5 cm	±1.5
5 cm < R < 10 cm	±2.5
R > 10 cm	±3.5



ILUSTRACIÓN 46 ESCALA DE PH.



TABLA 26 TEMPERATURAS MÍNIMAS Y MÁXIMAS AL MOMENTO DE LA PRODUCCIÓN Y COLOCACIÓN DEL CONCRETO SEGÚN (NMX-C-155-ONNCCE-2004)

Condición	Temperatura (°C)
Mínima	10
Máxima	38

TABLA 27 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS MEZCLAS EN ESTADO FRESCO.

PRUEBAS EN CONCRETO FRESCO			
Mezclas con arena "Chamacuero"			
Mezcla	Temperatura (°C)	pH	Revenimiento (cm)
Testigo	18	13	14.5
M7-C	21	13	13.8
M6-C	19	12	14
M1-C	19	12	14.2
Mezclas con arena "La Magdalena"			
Mezcla	Temperatura (°C)	pH	Revenimiento (cm)
Testigo	18	13	14
M7-M	21	13	13
M6-M	19	12	13.5
M1-M	19	12	14.5

Podemos observar como para los parámetros de temperatura y revenimiento se cumple con lo estipulado en las especificaciones para todas las mezclas.

Los valores de pH, según la escala posicionan a la mezcla en la zona alcalina por lo que podemos afirmar que el uso del aditivo, no promoverá la corrosión en el acero de refuerzo.



7.8 PRUEBAS FÍSICO-MECÁNICAS

7.8.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

7.8.1.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA LOS ESPECÍMENES COLADOS CON ARENA "CHAMACUERO"

Resulta importante observar la adquisición de la resistencia a través del tiempo ya que es un parámetro que nos permite seleccionar la mezcla que se ajusta a la resistencia a compresión de diseño.

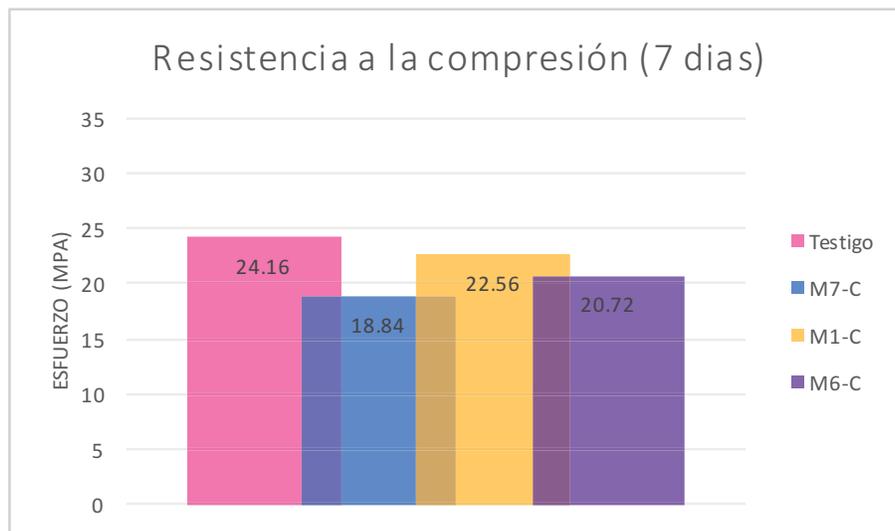


GRÁFICO 3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS DE LAS MEZCLAS "CHAMACUERO".

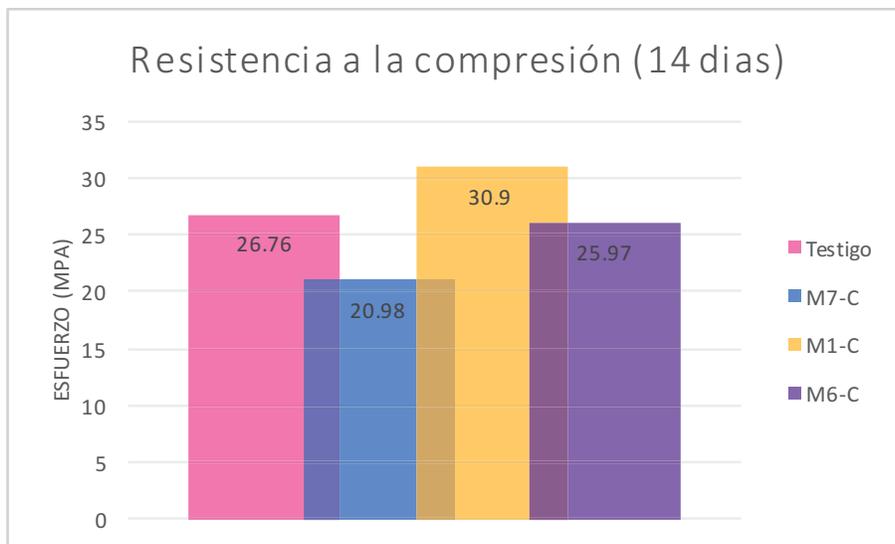


GRÁFICO 4 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS DE LAS MEZCLAS "CHAMACUERO".

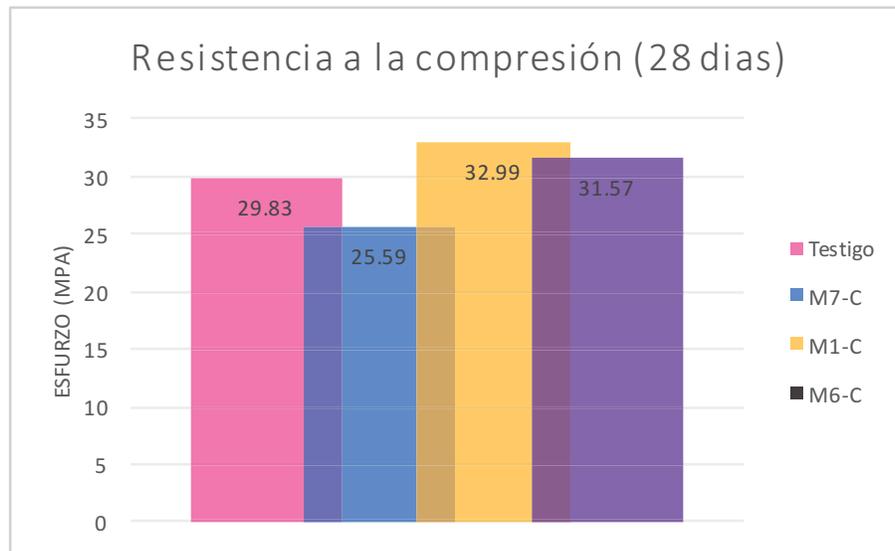


GRÁFICO 5 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS DE LAS MEZCLAS "CHAMACUERO".

Al observar el comportamiento de las mezclas a los 28 días podemos notar que en todas las mezclas se supera la resistencia de diseño, por lo que es conveniente realizar un análisis en la sobrerresistencia de las mezclas. Para la mezcla testigo donde se utilizaron 354.1 kg de cemento por m³ se tiene un 119.32% de resistencia a la compresión, por lo que se optó en agregar aditivo fluidificante en una proporción de 20.84 ml por kg de cemento en la siguiente mezcla "M1" y con este ajuste observamos una sobrerresistencia del 131.96%, que se le atribuye al uso del aditivo. Por lo que se optó por disminuir la cantidad de cemento en un 14% con base a su masa y la cantidad de aditivo fluidificante en la proporción 6.50 ml por kg de cemento para la mezcla "M6", obteniendo una resistencia del 126.28%. Para la mezcla "M7" se conservo la cantidad de aditivo en 6.5 ml por kg de cemento y se redujo en un 20% la cantidad de cemento en masa obteniendo una resistencia a los 28 días del 102.36% considerando esta mezcla como la que mejor se comportó para la arena de "Chamacuero" evaluando los criterios de resistencia a la compresión a los 28 días.



7.8.1.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA LOS ESPECÍMENES COLADOS CON ARENA "LA MAGDALENA".

Con el fin de poder seleccionar la mezcla que se ajustará a los objetivos de resistencia, revenimiento y economía se realizaron las mismas mezclas para ambas arenas obteniendo distintos resultados que se muestran a continuación.

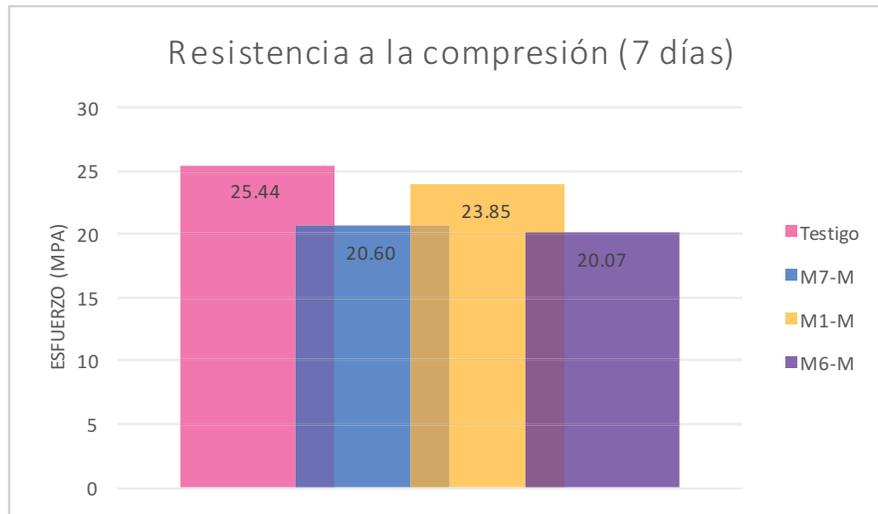


GRÁFICO 6 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS DE LAS MEZCLAS "LA MADGALENA"

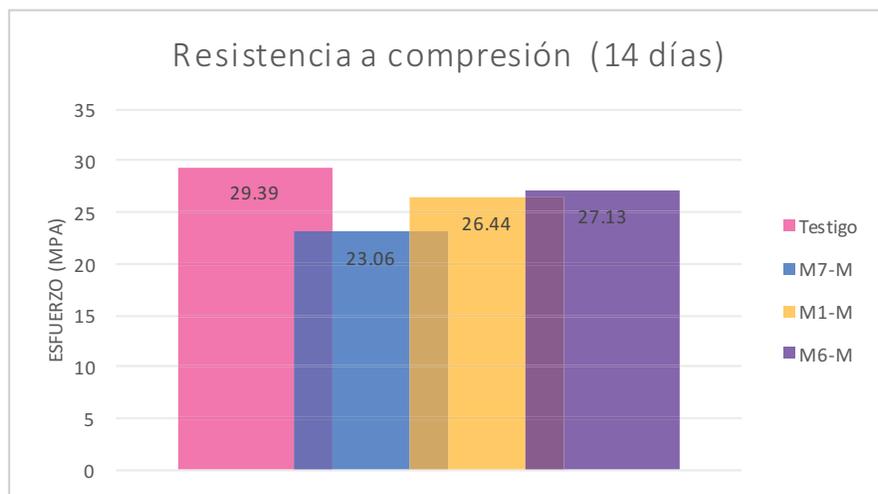


GRÁFICO 7 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS DE LAS MEZCLAS "LA MAGDALENA"

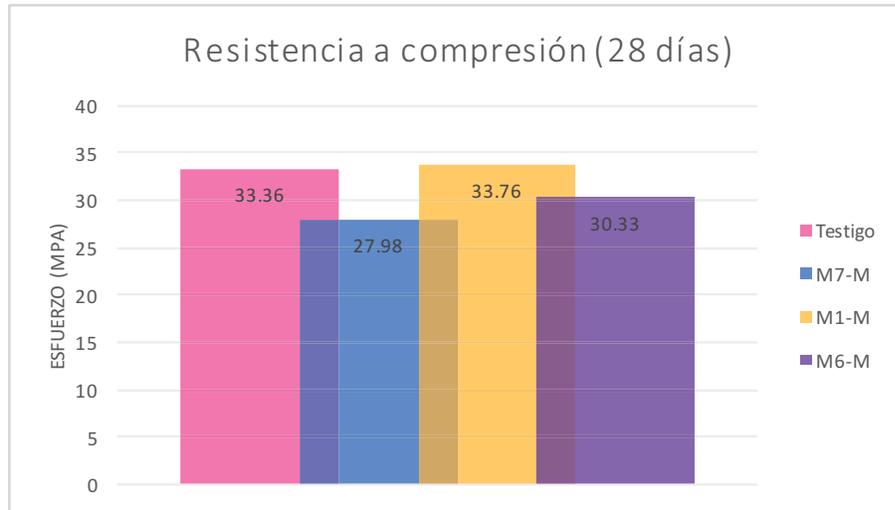


GRÁFICO 8 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS DE LAS MEZCLAS "LA MAGDALENA"

Para la mezcla testigo con 345.1 kg de cemento por m³, tenemos una resistencia del 133.34%. Para la mezcla "M1" que conserva los 345.1 kg de cemento y además tiene aditivo fluidificante en una proporción de 10.84 ml por kg de cemento se presenta una resistencia del 135.04%. En la mezcla "M6" que tiene una cantidad de cemento de 283.28 kg de cemento por m³, y 6.50 ml de aditivo por kg de cemento tenemos una resistencia de 121.32%. Para la última mezcla, "M7", que tiene 283.28 kg de cemento por m³ y 6.50 ml de aditivo por kg de cemento se tiene una resistencia de 111.92% a los 28 días, siendo la que más se acerca a la resistencia de diseño por lo que se puede considerar la mezcla ideal por obtener los mejores resultados a la compresión.

7.8.1.3 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS A LA COMPRESIÓN EN LAS MEZCLAS REALIZADAS CON ARENA PROVENIENTE DEL BANCO "CHAMACUERO" Y "LA MAGDALENA".

TABLA 28 COMPARATIVA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS PARA AMBOS TIPOS DE ARENA.

Resistencia a la compresión (%) a los 28 días		
Mezcla:	"Chamacuero"	"La magdalena"
Testigo:	119.32	133.44
M1:	131.96	135.04
M6:	126.28	121.32
M7:	102.36	111.92



Debido a que la cantidad de cemento es la misma para las mezclas realizadas con ambas arenas, la mezcla M7-M presenta un rango menor de error estando muy cerca de la resistencia de diseño.

7.8.2 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN POR TENSION EN VIGAS

7.8.2.1 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS PARA LOS ESPECÍMENES COLADOS CON ARENA DE "CHAMACUERO".

Es bien sabido que el concreto tiene una muy buena resistencia a la compresión pero una deficiencia para los esfuerzos de tensión. En las losas de los pavimentos la flexión resulta uno de los parámetros que impactan de mayor manera en su comportamiento físico mecánico, por lo que es muy importante cumplir con módulo de ruptura estipulado en el proyecto de carreteras de concreto hidráulico, para que cumpla en buenas condiciones con el periodo de vida útil.

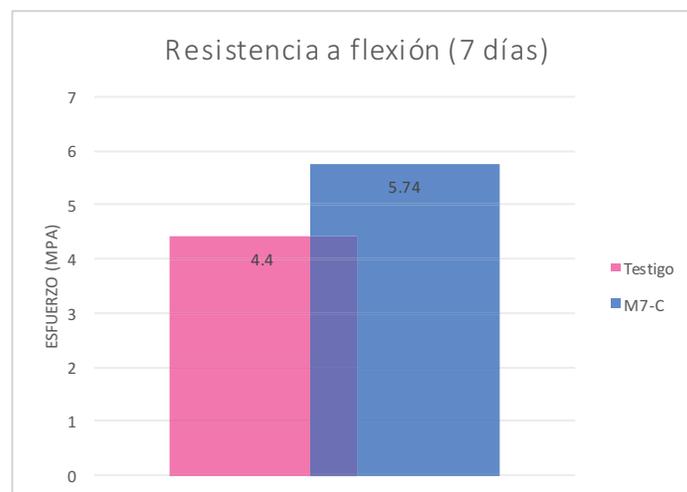


GRÁFICO 9 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN A LOS 7 DÍAS PARA LAS MEZCLAS "CHAMACUERO"

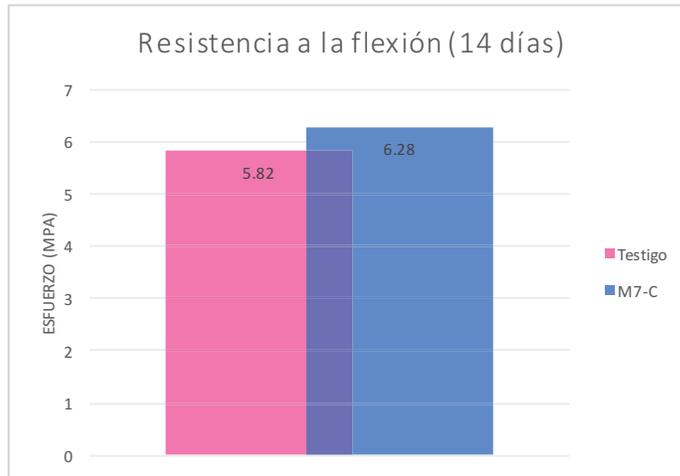


GRÁFICO 10 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN A LOS 14 DÍAS PARA LAS MEZCLAS "CHAMACUERO"

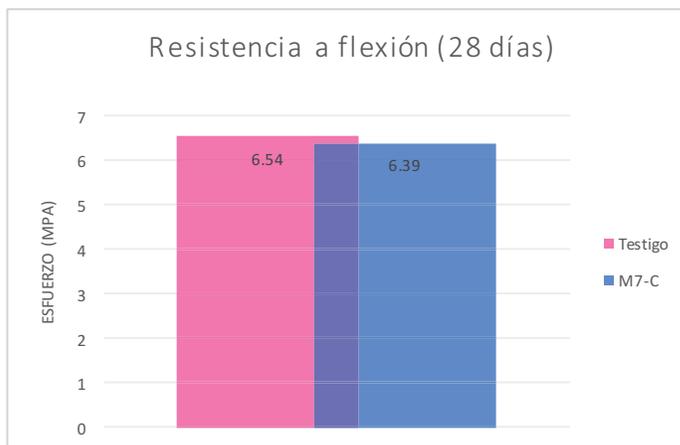


GRÁFICO 11 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN A LOS 28 DÍAS PARA LAS MEZCLAS "CHAMACUERO"

Usualmente se considera el esfuerzo a la flexión de un concreto hidráulico como un valor comprendido entre el 10% y el 20% de su esfuerzo a la compresión, en nuestro caso para la mezcla testigo la resistencia a la flexión resulta ser de 19.60% de la resistencia a la compresión y para la mezcla M7 tenemos un 22.83% de la resistencia a la compresión a los 28 días.

Dependiendo de las características del pavimento se estipula el MR, sin embargo los valores más utilizados para pavimentos son entre 4.1 y 5.0 MPa, por lo que podemos observar que desde los 7 días cumple con estos valores típicos por lo que ambas mezclas podrían ser utilizadas para la elaboración de pavimentos rígidos.



7.8.2.2 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN EN VIGAS PARA LOS ESPECÍMENES COLADOS CON ARENA "LA MAGDALENA"

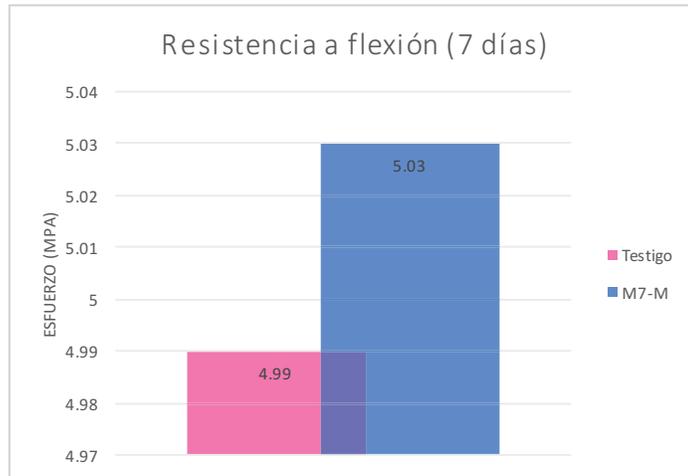


GRÁFICO 12 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN A LOS 7 DÍAS PARA LAS MEZCLAS DE "LA MAGDALENA"

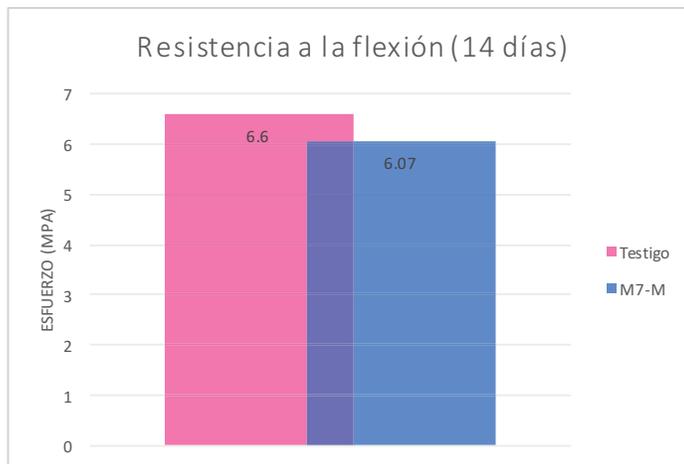


GRÁFICO 13 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN A LOS 14 DÍAS PARA LAS MEZCLAS DE "LA MAGDALENA"



GRÁFICO 14 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN A LOS 28 DÍAS PARA LAS MEZCLAS DE "LA MAGDALENA".

Para la mezcla testigo la resistencia a la flexión resulta ser de 20.74% de la resistencia a la compresión y para la mezcla M7 tenemos un 22.44% de la resistencia a la compresión a los 28 días.

Dependiendo de las características del pavimento se estipula el MR, sin embargo los valores más utilizados para pavimentos son entre 4.1 y 5.0 MPa, por lo que podemos observar que son superados desde los 14 días.

7.8.2.3 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS A LA FLEXIÓN EN LAS MEZCLAS REALIZADAS CON ARENA PROVENIENTE DEL BANCO "CHAMACUERO" Y "LA MAGDALENA"

TABLA 29 COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS A LA FLEXIÓN EXPRESADOS EN PORCENTAJE RESPECTO A LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA AMBAS ARENAS.

Resistencia a la flexión (%) respecto a su resistencia a la compresión a los 28 días.		
Mezcla:	"Chamacuero"	"La magdalena"
Testigo:	19.6	20.74
M7:	22.83	22.44



7.9 PARÁMETROS DE DURABILIDAD

7.9.1 VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO

7.9.1.1 VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO DE LOS ESPECÍMENES COLADOS CON ARENA "CHAMACUERO".

La velocidad de pulso nos permite determinar la calidad de un concreto sin la necesidad de destruir al espécimen. Éste es un parámetro que se correlaciona con la resistencia a la compresión. Los principales factores que afectan la correlación están en función de las propiedades de los agregados utilizados, así como también en las diferentes proporciones relativas entre los agregados y la pasta de cemento. Es por ello que al realizar mezclas con distintos agregados esta prueba nos permite ver la influencia que podrían tener en su durabilidad.

TABLA 30 CLASIFICACIÓN DEL CONCRETO SEGÚN SU VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO. RED DURAR

Velocidad de propagación (m/s)	Calidad del concreto
< 2000	Deficiente
2001 a 3000	Normal
3001 a 4000	Alta
> 4000	Durable

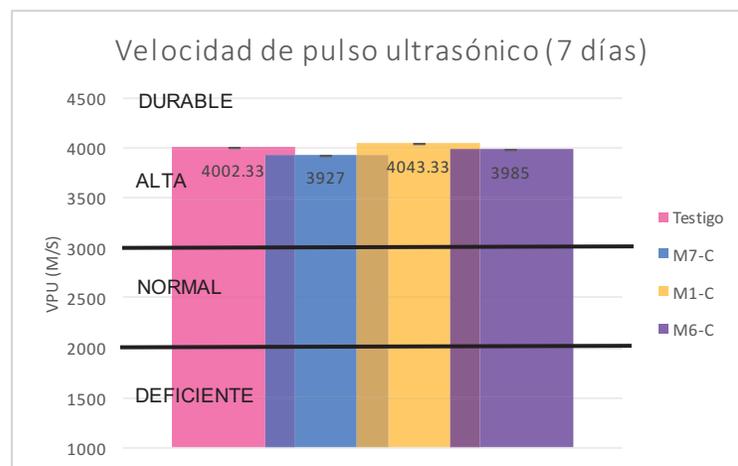


GRÁFICO 15 VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO PARA LAS MEZCLAS "CHAMACUERO" A LOS 7 DÍAS.

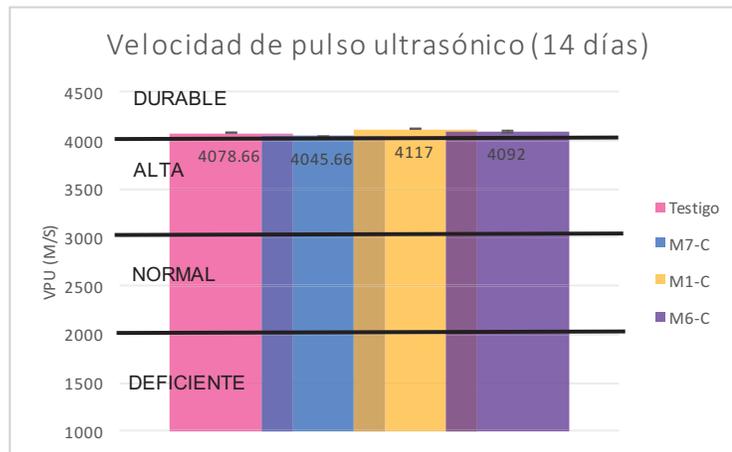


GRÁFICO 16 VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO PARA LAS MEZCLAS "CHAMACUERO" A LOS 14 DÍAS.

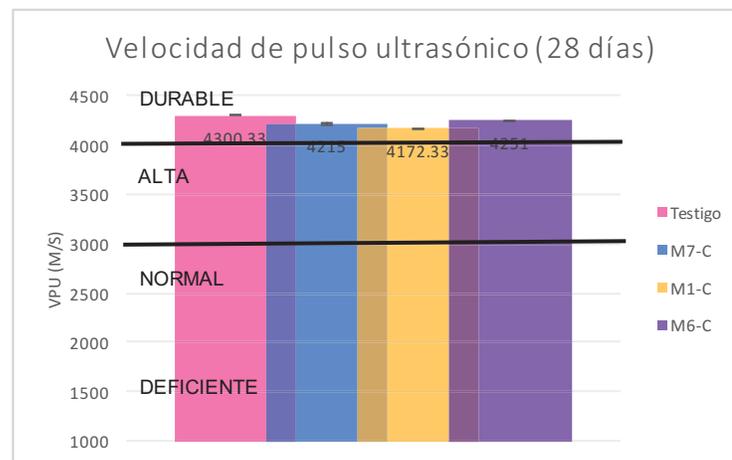


GRÁFICO 17 VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO PARA LAS MEZCLAS "CHAMACUERO" A LOS 28 DÍAS.

Podemos observar como a edades tempranas el concreto se puede clasificar como un concreto durable y que incrementa su valor con respecto al tiempo debido a que las reacciones de hidratación de la pasta van densificando al concreto y por lo tanto adquiere mayor resistencia.



7.9.1.2 VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO DE LOS ESPECÍMENES COLADOS CON ARENA "LA MAGDALENA".

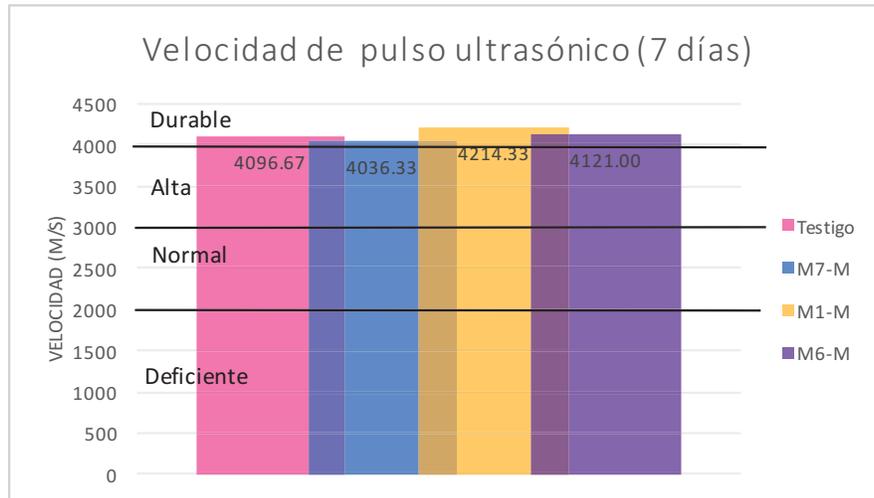


GRÁFICO 18 VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO PARA LAS MEZCLAS "MAGDALENA" A LOS 7 DÍAS.

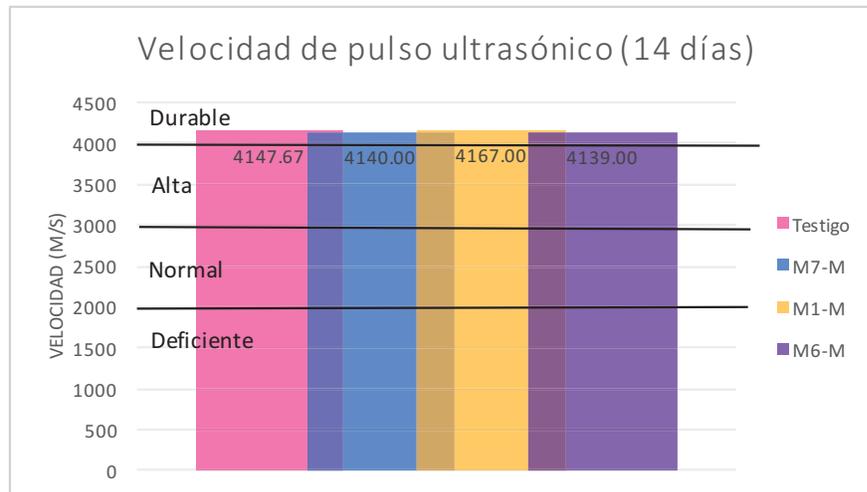


GRÁFICO 19 VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO PARA LAS MEZCLAS "MAGDALENA" A LOS 14 DÍAS.

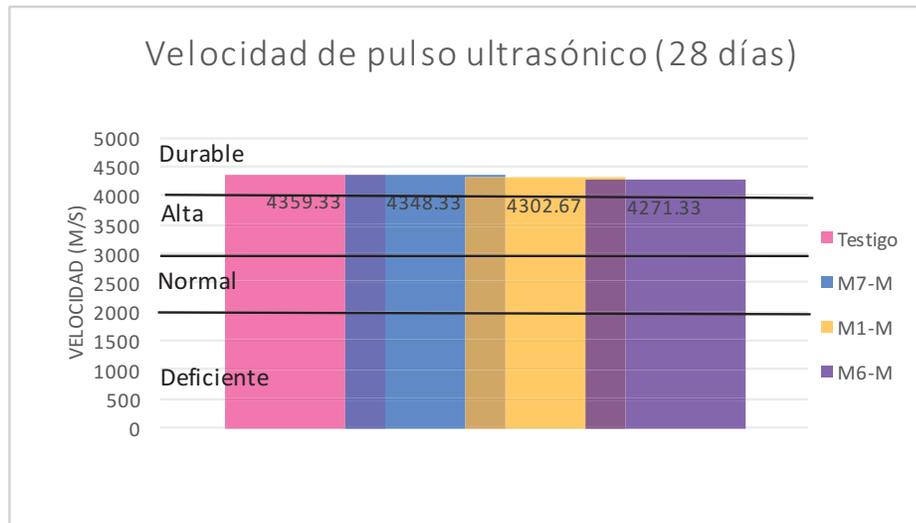


GRÁFICO 20 VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO PARA LAS MEZCLAS "MAGDALENA" A LOS 28 DÍAS.

Para la mezclas "Magdalena" observamos que la velocidad de pulso también aumenta con la edad lo que nos indica que el concreto tiene una calidad durable con valores ligeramente mayores que los de las mezclas realizadas con arena de "Chamacuero"

7.9.1.3 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO A LOS 28 DÍAS PARA AMBOS TIPOS DE ARENA.

TABLA 31 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE VELOCIDAD DE PULSO PARA AMBOS TIPOS DE ARENA.

Velocidad de pulso (m/s), a los 28 días		
Mezcla:	"Chamacuero"	"La magdalena"
Testigo:	4300.33	4359.33
M7:	4215.00	4348.33
M6:	4251.00	4271.33
M1:	4172.33	4302.67



7.9.2 RESISTIVIDAD ELÉCTRICA.

7.9.2.1 RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE LOS ESPECÍMENES COLADOS CON ARENA "CHAMACUERO".

La resistividad eléctrica es un parámetro que nos permite conocer algunas propiedades del concreto sin la necesidad de destruirlo. Podemos conocer la porosidad del elemento que está relacionada con su resistencia mecánica además mostrar un índice de su velocidad de corrosión debido a que nos indica la humedad presente en un concreto.

TABLA 32 PARÁMETROS DE CORROSIÓN EN EL CONCRETO (RED DURAR)

Resistividad eléctrica (KΩ-cm)	Riesgo de corrosión
< 10	Alto riesgo
10 a 200	Riesgo moderado
> 200	Poco riesgo

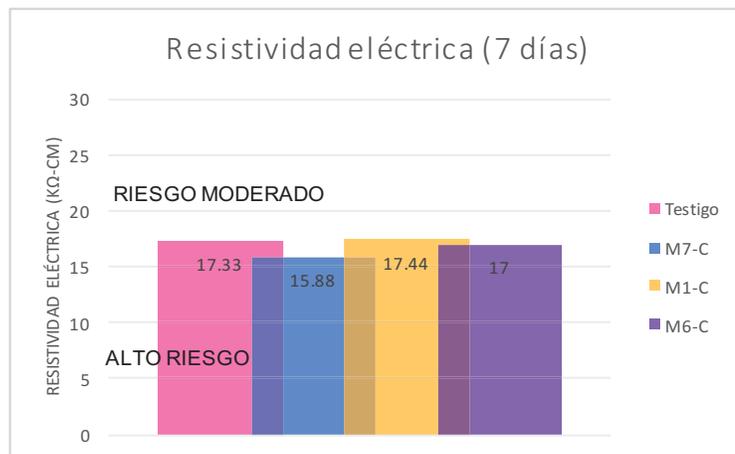


GRÁFICO 21 RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PARA LAS MEZCLAS "CHAMACUERO" A LOS 7 DÍAS.

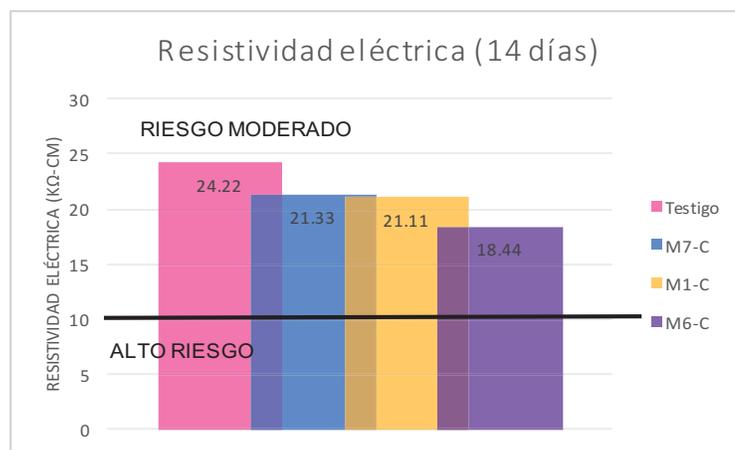


GRÁFICO 22 RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PARA LAS MEZCLAS "CHAMACUERO" A LOS 14 DÍAS.

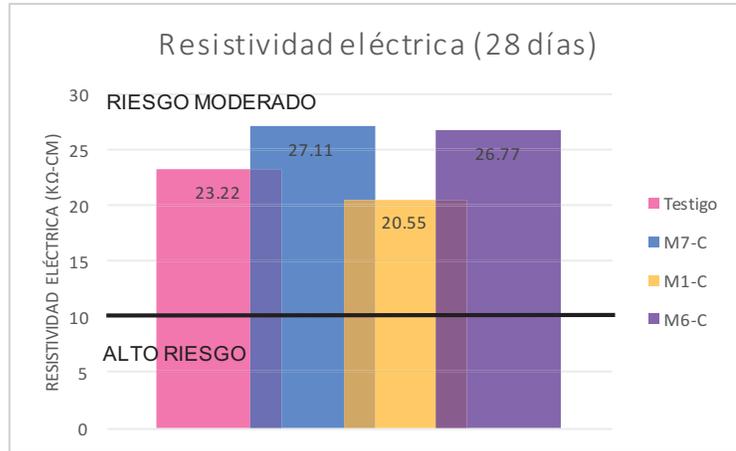


GRÁFICO 23 RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PARA LAS MEZCLAS "CHAMACUERO" A LOS 28 DÍAS.

Para las mezclas realizadas con arena de "Chamacuero" podemos observar como la resistividad va incrementando con la edad de los especímenes, y analizando los resultados a 28 días notamos que para todas las mezclas los valores de resistividad se encuentran en un riesgo moderado de corrosión, sin embargo la mezcla M7, supera a las demás mezclas atribuyendo esto al uso del aditivo que permitió que las partículas de cemento se hidrataran de una forma más efectiva, formando un concreto más denso.

7.9.2.2 RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE LOS ESPECÍMENES COLADOS CON ARENA "LA MAGDALENA".

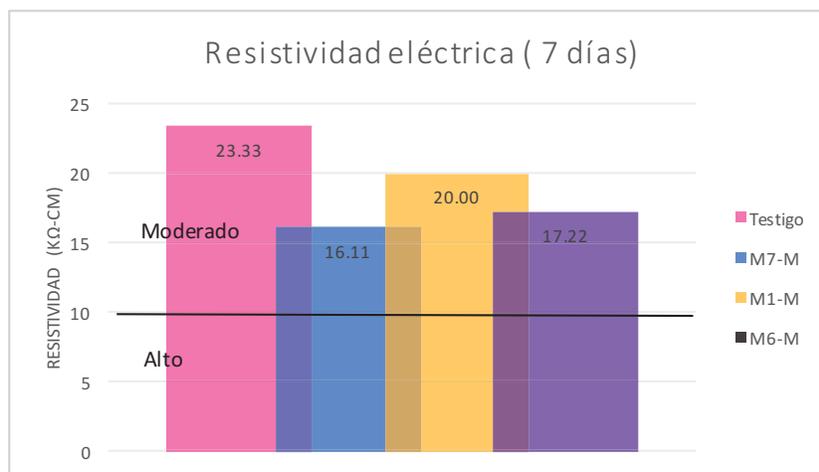


GRÁFICO 24 RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE LAS MEZCLAS "LA MAGDALENA" A LOS 7 DÍAS.

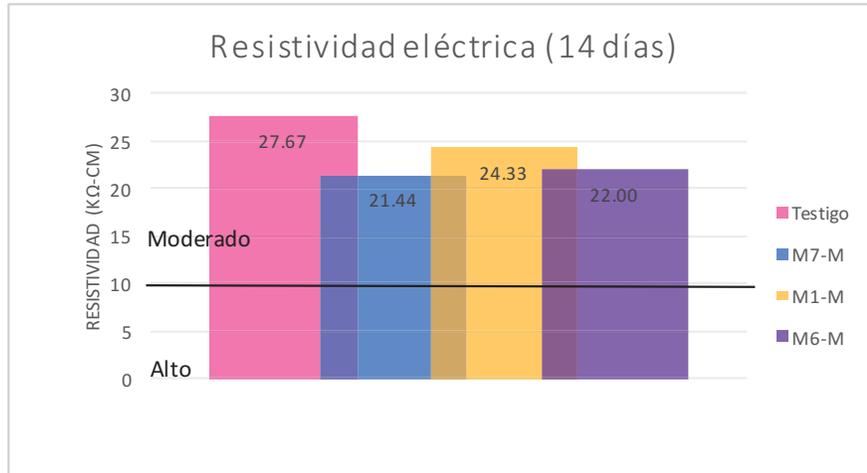


GRÁFICO 25 RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE LAS MEZCLAS "LA MAGDALENA" A LOS 14 DÍAS.

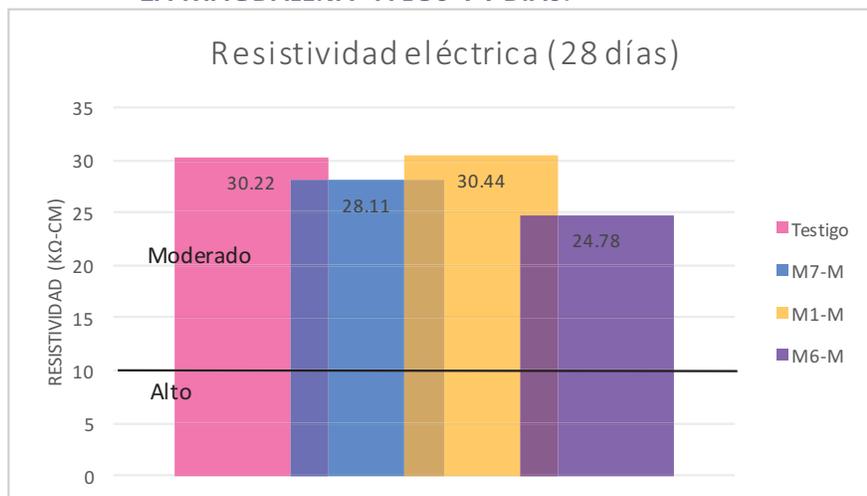


GRÁFICO 26 RESISTIVIDAD ELÉCTRICA DE LAS MEZCLAS "LA MAGDALENA" A LOS 28 DÍAS.

Observando los valores de resistividad eléctrica a los 28 días podemos observar que todas las mezclas se encuentran en riesgo moderado a la corrosión.

7.9.2.3 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PARA AMBOS TIPOS DE ARENAS.

TABLA 33 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE RESISTIVIDAD ELÉCTRICA PARA AMBOS TIPOS DE ARENAS.

Resistividad eléctrica (KΩ-cm), a los 28 días		
Mezcla:	"Chamacuero"	"La magdalena"
Testigo:	23.22	30.22
M7:	27.11	28.11
M6:	26.77	24.78
M1:	20.55	30.44



Podemos observar notables diferencias entre los resultados presentados en la tabla anterior ya que para las mezclas realizadas con arena "Chamacuero" a los 28 días la mezcla "M7" presenta un mayor valor de resistividad eléctrica, sin embargo para las mezclas elaboradas con arena de "La magdalena" la mezcla "M1" presenta un mejor comportamiento, lo que puede estar relacionado con la manera en la que se elaboraron los cilindros.

7.10 ANÁLISIS DE COSTOS DE PRODUCCIÓN DE LAS MEZCLAS DE CONCRETO.

Conocidos el desempeño de las mezclas tanto en estado fresco como en estado endurecido podemos dilucidar cuál de ellas resulta la de mejores propiedades, sin embargo, este análisis no estaría completo si no se realizara una correlación entre los resultados mostrados y el costo que implicaría la producción de estas mezclas. Es por ello que a continuación se muestra un análisis de precios unitarios para la comercialización de las mezclas M7 (ya que fueron las que tuvieron un comportamiento satisfactorio con una disminución importante de la cantidad de cemento) y para bancos de material. Se realiza una comparativa entre el proporcionamiento actual de "Concretos Guimart S.A. de C.V" y las mezclas propuestas.

TABLA 34 COSTO POR METRO CÚBICO DE LOS AGREGADOS, CONSIDERANDO ACARREOS A LA PLANTA DE CONCRETO

Costos de los agregados	Arena "Chamacuero"	Arena "La magdalena"	Grava del banco "Mesón nuevo"
Costo (pesos) por m ³ del material en banco	100	120	130
Costo (pesos) de acarreo a la planta	100	200	166
Costo (pesos) del material en planta por m ³	200	320	296



A continuación se muestran los proporcionamientos propuestos y el utilizado actualmente por la concretera.

TABLA 35 PROPORCIONAMIENTO ACTUAL DE LA CONCRETERA.

Proporcionamiento actual utilizado por la concretera arena "Chamacuero"		
Proporcionamiento considerando los materiales secos		
Materiales	Peso (kg)	Volumen
Cemento	320	103.23
Agua	250	250
Grava	900	354.05
Arena	900	362.9
Aire	0	0
Total	2370	1070.18

TABLA 36 PROPORCIONAMIENTO PROPUESTO PARA AMBOS TIPOS DE ARENA.

Proporcionamiento arena "Chamacuero" M7-C			Proporcionamiento arena "La magdalena" M7-M		
Proporcionamiento considerando los materiales secos			Proporcionamiento considerando los materiales secos		
Materiales	Peso (kg)	Volumen	Materiales	Peso (kg)	Volumen
Cemento	284	94	Cemento	284	94
Agua	216	216	Agua	216	216
Grava	914	366	Grava	914	366
Arena	798	327	Arena	854	327
Aire	0	20	Aire	0	20
Aditivo	2.2	1.85	Aditivo	2.2	1.85
Total	2169.6	1024.85	Total	2221.56	1024.85



7.10.1 ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS DE LAS MEZCLAS.

7.10.1.1 ANÁLISIS DE COSTO PARA EL PROPORCIONAMIENTO UTILIZADO ACTUALMENTE.

TABLA 37 ANÁLISIS DE COSTOS POR METRO CÚBICO DE CONCRETO, PARA UN PERÍMETRO DE 10 KM A LA REDONDA DE LA PLANTA, DE F'C= 250 KGF/CM².

MATERIAL	UNIDAD	VOLUMEN	CANTIDAD	P.U	IMPORTE	
Cemento	kg.	0.105	320	2.57	822.40	
Arena	m ³ .	0.369	900	200	73.77	
Grava	m ³ .	0.366	900	296	108.34	
Agua	l.	0.2	250	0.053	13.25	
Diesel	l.		4.98	17.1	85.15	
Mano de obra					78.30	
					Costo directo	1181.21
					Costo indirecto	236.24
					Costo a tiro directo	1417.46
					Costo de bombeo por m ³	250
					Precio al público	1667.46

7.10.1.2 ANÁLISIS DE COSTO PARA EL PROPORCIONAMIENTO PROPUESTO M7 CON ARENA PROVENIENTE DEL BANCO CHAMACUERO.

TABLA 38 ANÁLISIS DE COSTOS POR METRO CÚBICO DE CONCRETO, PARA UN PERÍMETRO DE 10 KM A LA REDONDA DE LA PLANTA, DE F'C= 250 KGF/CM².

MATERIAL	UNIDAD	VOLUMEN	CANTIDAD	P.U	IMPORTE	
Cemento	kg.	0.093	284	2.22	631.28	
Arena	m ³ .	0.327	798	200	65.40	
Grava	m ³ .	0.366	914	296	108.34	
Agua	l.	0.216	216	0.053	11.45	
Aditivo	l.	1.85	2.2	20	44.00	
Diesel	l.		4.98	17.1	85.16	
Mano de obra					78.30	
					Costo directo	1023.92
					Costo indirecto	204.78
					Costo a tiro directo	1228.70
					Costo de bombeo por m ³	250.00
					Precio al público	1478.70



7.10.1.3 ANÁLISIS DE COSTO PARA EL PROPORCIONAMIENTO PROPUESTO M7 CON ARENA PROVENIENTE DEL BANCO LA MAGDALENA.

TABLA 39 ANÁLISIS DE COSTOS POR METRO CÚBICO DE CONCRETO, PARA UN PERÍMETRO DE 10 KM A LA REDONDA DE LA PLANTA, DE $f'c = 250 \text{ KGF/CM}^2$.

MATERIAL	UNIDAD	VOLUMEN	CANTIDAD	P.U	IMPORTE
Cemento	kg.	0.093	284	2.22	630.48
Arena	m ³ .	0.327	854	320	104.64
Grava	m ³ .	0.366	914	296	108.34
Agua	l.	0.216	216	0.053	11.45
Aditivo	l.	0.00185	2.2	20	44.00
Diesel	l.		4.98	17.1	85.16
Mano de obra					78.30
Costo directo					1062.36
Costo indirecto					212.47
Costo a tiro directo					1274.83
Costo de bombeo por m ³					250
Precio al público					1524.83

TABLA 40 ANÁLISIS COMPARATIVO DE PRECIOS UNITARIOS DE LAS MEZCLAS PROPUESTAS CONTRA EL PROPORCIONAMIENTO UTILIZADO POR LA CONCRETERA DE ESTUDIO.

Materiales	Proporcionamiento actual con arena "Chamacuero"		Proporcionamiento propuesto "M7-C" con arena "Chamacuero"		Proporcionamiento propuesto "M7-M" con arena "La magdalena"	
	Peso (kg)	Costo	Peso (kg)	Costo	Peso (kg)	Costo
Cemento	320	822.40	284	631.28	284	630.48
Agua	250	13.25	216	11.45	216	11.45
Grava	900	108.34	914	108.34	914	108.34
Arena	900	73.77	798	65.40	854	104.34
Aditivo	-	-	2.2	44.00	2.2	44.00
Diesel		85.16		85.16		85.16
Mano de obra		78.30		78.30		78.30
Costo directo de producción		1181.22	1023.93		1062.07	



Capítulo 8 CONCLUSIONES

Para elaborar un concreto de buena calidad, que permita mantener la competitividad en el mercado y satisfacer las necesidades tanto del productor como del consumidor es necesario realizar análisis periódicos acerca de las variables que más impactan en el costo de producción del concreto.

Por lo que se optó por la utilización de un aditivo fluidificante con la intención de que este ayudara a dispersar las partículas de cemento en toda la pasta proporcionando una mejora en la trabajabilidad de las mezclas, y con base en ello poder optimizar la cantidad de cemento que es una de las variables que más impactan en el costo y la resistencia del concreto.

La utilización de aditivo fluidificante permitió la disminución de la cantidad de cemento en un 20% (en masa) respecto a la mezcla testigo para el caso de las mezclas "M7" proporcionando resultados satisfactorios en estado fresco. Siendo el $f'c$ uno de los más importantes parámetros de calidad que se evalúa en el concreto, para las mezclas "M7", se registraron los valores más aproximados a los de diseño obteniendo para las mezclas evaluadas con arena del banco "Chamacuero" una resistencia del 102.36% y para la mezcla realizadas con arena de "La magdalena" una resistencia de 111.92%. Logrando utilizar la cantidad mínima de cemento para asegurar la resistencia de diseño.

La resistencia a la flexión nos permite determinar el módulo de ruptura del concreto que es un parámetro fundamental para el diseño de los pavimentos rígidos. Un módulo de ruptura aceptable se encuentra comprendido entre el 10 y el 20% de la resistencia a la compresión del concreto, las mezclas M7 de "Chamacuero" y "La magdalena" presentan aumentos en la resistencia respecto a las mezclas testigo asociadas con sus resistencias a la compresión respectivas. Los valores de MR para las mezclas M7-C y M7-M son 6.39 y 6.28 MPa respectivamente, superando los valores de 4.1 y 5.0 MPa utilizados en pavimentos. Por lo cuál estas mezclas pueden ser utilizadas en pavimentos rígidos.

Los parámetros de durabilidad nos permiten determinar la calidad del material así como la posibilidad de ser afectados internamente por agentes externos.

La velocidad de pulso ultrasónico nos permitió predecir la durabilidad de las mezclas obteniendo en general para todas ellas parámetros favorables, pudiéndose clasificar según la RED DURAR, como un concreto "Durable".

La susceptibilidad a la corrosión del concreto fue evaluada y se obtuvieron resultados que clasifican a las mezclas dentro de un rango medio de corrosión según la RED DURAR. Por lo que en ambientes mediamente agresivos a la corrosión este concreto podría ser utilizado.



En general las mezclas elaboradas con arena del banco de "La Magdalena" presentaron valores superiores en prácticamente todas las pruebas que se realizaron, atribuyendo esto a que esta arena presenta una mejor distribución en sus partículas, formando un concreto ligeramente más denso comparado con el concreto elaborado con arena de "Chamacuero".

Considerando una venta mensual de 750 m³ de concreto, en un año el costo de elaboración en planta de la mezcla utilizada actualmente resulta de \$10,630,980 pesos, utilizar la mezcla "M7-C", costaría \$9,215,370 pesos para los mismos m³ anuales, generando un ahorro de \$1,415,610 pesos. Para la mezcla "M7-M" producir la misma cantidad de m³ anuales costaría \$9,558,630 pesos generando un ahorro de \$1,072,350 pesos respecto a la mezcla utilizada actualmente por la concretera para un f'c de 250 kgf/cm².



BIBLIOGRAFÍA

- L, P. (1996). Optimización de los agregados para concreto. *Construcción y tecnología*, 30.
- C. Andrade, R. A. (2011). La resistividad eléctrica como parámetro de control del hormigón y de su durabilidad. *Revista ALCONPAT*, 93-101.
- Chan J., e. a. (2003). *Ingeniería 7-2*, 39-46.
- Céron M. Duarte F., Castillo W., Chim S. (1994). Propiedades mecánicas del concreto elaborado con agregados pétreos de la península de Yucatán. *Boletín académico FIUADY*, 35.
- Alcaraz, A. (2010). Influencia de la Morfología de Pétreos: Volcánicos, Triturados y Cantos Rodados; correlacionando matemáticamente los Módulos de Elasticidad, Estático y Dinámico, en cilindros de concreto de 10cm x 20cm .
- admixtures, H. p. (2015). *HPA-RED CRETE-ABS*. Ficha técnica, Zapopan, Jalisco.
- Admixtures, H. P. (2015). *HPA-RED CRETE-ABS*. Ficha técnica, Zapopán, Jalisco.
- DURAR, R. (2000). *Manual de Inspección, Evaluación y Diagnóstico de Corrosión en Estructuras de Hormigón Armado*. México: CYTED.
- Earth, G. (2017).
- Fortaleza, C. (enero de 2014). Recuperado el 17 de enero de 2017
- IMCYC. (Julio de 2006). *IMCYC*. Obtenido de <http://www.imcyc.com/revistact06/julio06/TECNOLOGIA.pdf>
- Instituto mexicano del cemento y del concreto. (1997). Instituto del Concreto .
- Javier Darío, A. H. (2005). Reducción de emisiones en la industria cementera usando madera procedente de plantaciones dendroenergéticas.
- Jesus Cano, A. F. (noviembre de 2003). *Computo para diseño de mezclas de concreto normal*. Recuperado el febrero de 2017, de IMCYC: <http://www.imcyc.com/cyt/noviembre03/computo.htm>
- Kosmatka y Panarese. (1992). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- Molina, W. M. *Manual de laboratorio* .
- N-CMT-2-02-002/02. (2002). *N-CMT-2-02-002/02*. Ciudad de México: ONNCCE.
- Neville, A. M. (1999). *Tecnología del concreto*. Ciudad de México: Instituto mexicano del cemento y del concreto.
- NMX-C-030-ONNCCE. (2004). Industria de la construcción-Agregados-Muestreo. *Organismo nacional de normalización y certificación de las construcción y la edificación, S.C.*
- NMX-C-057-ONNCCE. (2010). Industria de la construcción-Cementantes hidráulicos-Determinación de la consistencia normal. *Organismo nacional de normalización y certificación de las construcción y la edificación, S.C.*
- NMX-C-059-ONNCCE. (2013). Industria de la construcción-Cementantes hidráulicos-Determinación del tiempo de fraguado de cementantes hidráulicos (Método Vicat). *Organismo nacional de normalización y certificación de las construcción y la edificación, S.C.*



- NMX-C-071-ONNCCE. (2004). Industria de la construcción-Agregados-Determinación de terrones de arcilla y partículas deleznable. *Organismo nacional de normalización y certificación de las construcción y la edificación, S.C.*
- NMX-C-073-ONNCCE. (2004). Industria de la construcción-Agregados-Masa volumétrica-Método de prueba. *Organismo nacional de normalización y certificación de las construcción y la edificación, S.C.*
- NMX-C-077-ONNCCE. (1997). Industria de la construcción-Agregados para concreto-Análisis granulométrico-Método de prueba. *Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación S.C.*
- NMX-C-083-ONNCCE. (2014). Industria de la construcción, método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.
- NMX-C-084-ONNCCE. (2010). Método de prueba estándar para materiales finos que pasan la malla N° 200 en agregados por lavado. *Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y edificación.*
- NMX-C-088-ONNCCE. (1997). Industria de la construcción-Agregados-Determinación de impurezas orgánicas en el agregado fino. *Organismo nacional de normalización y certificación de las construcción y la edificación, S.C.*
- NMX-C-152-ONNCCE. (2010). Industria de la construcción-Cemento hidráulico-Determinación de la densidad. *Organismo nacional de normalización y certificación de las construcción y la edificación, S.C.*
- NMX-C-156-ONNCCE. (2010). Industria de la construcción concreto hidráulico-Determinación del revenimiento en el concreto fresco.
- NMX-C-159-ONNCCE. (2004). Industria de la construcción-Concreto-Elaboración y curado de especímenes en el laboratorio.
- NMX-C-164-ONNCCE. (2014). Industria de la construcción-Agregados-Determinación de la densidad relativa y absorción de agua del agregado grueso. *Organismo nacional de normalización y certificación de las construcción y la edificación, S.C.*
- NMX-C-165-ONNCCE. (2014). Industria de la construcción-Agregados-Determinación de la densidad relativo y absorción de agua del agregado fino-Método de ensayo. *Organismo nacional de normalización y certificación de las construcción y la edificación, S.C.*
- NMX-C-166-ONNCCE. (2006). Industria de la construcción-Agregados-Contenido de agua por secado-Método de prueba. *Organismo nacional de normalización y certificación de las construcción y la edificación, S.C.*
- NMX-C-191-ONNCCE. (2004). Determinación de la resistencia a la flexión del concreto usando una vida simple con carga en los tercios del claro.
- NMX-C-255-ONNCCE. (2013). *Industria de la Construcción-Aditivos Químicos para Concreto-Especificaciones y Métodos de Ensayo.* ONNCCE.
- NMX-C-275-ONNCCE. (2004). Método de prueba estándar para la velocidad de pulso a través del concreto. *Organismo nacional de normalización y certificación de las construcción y la edificación, S.C.*
- NMX-C-414-ONNCCE. (2014). *Organismo nacional de normalización y certificación de las construcción y la edificación, S.C.* Organismo nacional de normalización y



certificación de las construcción y la edificación, S.C. México D.F.: Organismo nacional de normalización y certificación de las construcción y la edificación, S.C. NMX-C-416-ONNCCE. (2003). Método de prueba estándar para el valor de equivalente de arena de suelos y agregado fino. *Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación*. . .

NMX-C-435-ONNCCE. (2010). Industria de la construcción-Concreto hidráulico-Determinación de la temperatura del concreto fresco. *Organismo nacional de normalización y certificación de la construcción y la edificación, S.C.*

NMX-109-ONNCCE. (2013). Práctica estándar para el cabeceo de especímenes cilíndricos de concreto. *Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación* .

Palbol. (1996). Optimización de los agregados para concreto. *Construcción y tecnología* , 30.

Panarese, K. y. (1992). *Diseño y control de mezclas de concreto*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.

Perez, M. (2004). Concreto: Material de la construcción del siglo XXI. *Instituto mexicano del cemento y del concreto* .

R, U. (1991). El control de calidad en los agregados para er concreto 3ª parte. *Construcción y tecnología* , 34.

SCT. (2015). Información básica sobre la localización y aprovechamiento de bancos de materiales pétreos para la construcción y mantenimiento de carreteras. *Inventario de bancos de materiales* .

Solís Rómel, M. E. (2004). Predicción de la resistencia del concreto con base en la velocidad de pulso ultrasónico y un índice de calidad de los agregados. *Ingeniería 8-2* , 41-52.

Trezza. (2017). *Estudio comparativo del comportamiento de aditivos superfluidificantes*. Recuperado el 6 de Julio de 2017, de efn.uncor.edu: <http://www.efn.uncor.edu/departamentos/estruct/ciath/superflu.pdf>

Uribe R. (1991). El control de calidad en los agregados para concreto 3a parte. *Construcción y tecnología* , 34.