



UNIVERSIDAD
DON VASCO, A.C.

UNIVERSIDAD DON VASCO A.C.

Incorporación No. 8727 – 15

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

Escuela de Ingeniería Civil.

ESTUDIO DE CALIDAD DE GRAVAS Y ARENAS EN BANCOS DE MATERIALES DE LA REGIÓN DE URUAPAN PARA LA ELABORACIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO ESTRUCTURAL.

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presenta:

Juanfernando Ocaranza.

Asesor: I. C. Anastacio Blanco Simiano.

Uruapan, Michoacán, a 03 de marzo del 2017.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE.

Introducción.

Antecedentes.	1
Planteamiento del problema.	4
Objetivos.	5
Pregunta de Investigación.	6
Justificación.	6
Marco de Referencia.	7

Capítulo 1.- Concreto Hidráulico.

1.1. Concepto de Concreto Hidráulico.	10
1.2. Antecedentes.	11
1.3. Tipos de Concreto.	14
1.4. Componentes del Concreto Hidráulico.	16
1.4.1. Cemento Portland.	18
1.4.2. Agua.	19
1.4.3. Agregados.	21
1.4.4. Aire.	23
1.4.5. Aditivos.	23
1.5. Concreto recién mezclado.	25
1.5.1. Revenimiento.	26

1.5.2. Mezclado.	26
1.5.3. Trabajabilidad.	27
1.5.4. Consolidación.	28
1.6. Concreto Endurecido.	29
1.6.1. Resistencia a la Compresión (f_c).	29
1.6.2. Curado Húmedo.	29
1.6.3. Velocidad de secado del concreto.	30
1.7. Dosificación.	30
1.7.1. Elección de características del concreto.	30
1.7.2. Relación Agua-Cemento.	31
1.7.3. Dosificación de Agregados Pétreos.	31

Capítulo 2.- Agregados Pétreos.

2.1. Concepto de Agregado Pétreo.	34
2.1.1. Definición de Grava.	36
2.1.2. Definición de Arena.	37
2.2. Clasificación de los Agregados.	37
2.2.1. Clasificación por origen o composición	38
2.2.2. Clasificación por peso	43
2.2.3. Clasificación por tamaño de acuerdo al SUCS.	44
2.2.3.1. Representación de la distribución granulométrica.	46

2.2.3.2. Carta de plasticidad.	48
2.2.3.3. Fundamentos del SUCS	50
2.2.4. Clasificación por forma o textura.	53
2.3. Características y propiedades de los agregados	57
2.3.1. Granulometría.	58
2.3.1.1. Granulometría del agregado grueso	61
2.3.1.1.1. Tamaño máximo del agregado grueso.	63
2.3.1.1.2. Material que pasa la malla No. 200 (0.075mm)	65
2.3.1.2. Granulometría del agregado fino.	66
2.3.1.2.1. Módulo de finura.	67
2.3.1.2.2. Material que pasa la malla No. 200 (0.075mm).	69
2.3.2. Forma de partícula y textura superficial.	72
2.3.3. Peso volumétrico y vacíos.. . . .	73
2.3.4. Gravedad específica.	74
2.3.5. Absorción y Humedad superficial.	76
2.3.6. Resistencia a la congelación y deshielo	78
2.3.7. Propiedades de humedecimiento y secado.	82
2.3.8. Resistencia al fuego y propiedades térmicas.	82
2.3.9. Resistencia del agregado, dureza y contracción.	83
2.3.10. Resistencia al desgaste y derrapamiento.	84
2.3.11. Resistencia a los ácidos y otras sustancias corrosivas	85

2.3.12. Materiales perjudiciales y sustancias nocivas	87
2.3.12.1. Impurezas orgánicas.	89
2.3.12.2. Arcillas y otros materiales finos	89

Capítulo 3.- Métodos para determinar la calidad de los agregados.

3.1. Cuarteo de los materiales.	91
3.2. Humedad superficial y humedad de absorción en arenas.	91
3.3. Determinación del peso volumétrico seco y suelto de una arena.	93
3.4. Determinación del peso volumétrico seco y varillado de una arena.	94
3.5. Granulometría en arenas.	95
3.6. Sedimentación en arenas.	97
3.7. Material que pasa por la malla número 200 en arenas.	98
3.8. Densidad en arena.	99
3.9. Humedad de absorción en gravas.	100
3.10. Densidad en gravas.	102
3.11. Peso volumétrico seco y suelto en arenas.	103
3.12. Peso volumétrico seco y varillado en gravas.	104
3.13. Granulometría en gravas.	104
3.14. Revenimiento del concreto.	107
3.15. Fabricación de cilindros de concreto.	108
3.16. Curado de los especímenes de concreto.	109

3. 17. Cabeceado de cilindros con azufre.	110
3.18. Resistencia a la compresión simple en cilindros de concreto.	111

Capítulo 4.- Marco de Referencia.

4.1. Generalidades..	113
4.2. Clima.	115
4.3. Hidrografía.	115
4.4. Recursos naturales.	116
4.5. Uso de suelos.	116
4.6. Macro localización.	116
4.7. Macro localización del municipio de Uruapan.	117
4.8. Macro localización del municipio de Paracho.	119
4.9. Micro localización de los bancos de materiales.	119
4.10. Micro localización del banco de materiales en Paracho.	121
4.11. Estado actual..	121
4.12. Planteamiento de alternativas.	124
4.13. Alternativas de solución.	126

Capítulo 4.- Metodología de la Investigación.

5.1. Método Empleado.	127
5.2. Enfoque de la Investigación.	129

5.2.1. Alcance de la Investigación.	131
5.2.2. Diseño de la Investigación.	133
5.3 Instrumentos de recopilación de información.	134
5.4 Descripción del proceso de investigación.	136

Capítulo 6.- Análisis e interpretación de resultados.

6.1. Humedad de absorción en gravas.	139
6.2. Densidad en gravas.	140
6.3. Peso volumétrico seco y suelto en gravas PVSS.	140
6.4. Peso volumétrico seco y varillado en gravas PVSV.	141
6.5. Granulometría en Gravas.	141
6.6. Humedad superficial y humedad de absorción en arenas.	145
6.7. Peso volumétrico seco y suelto en arenas PVSS.	145
6.8. Peso volumétrico seco y varillado en arenas PVSV.	146
6.9. Granulometría en arenas.	146
6.10. Sedimentación en arenas.	150
6.11. Material que pasa por la malla número 200 en arenas..	150
6.12. Densidad en arenas..	151
6.13. Tabla de resumen gravas y arenas.	151
6.14. Resistencia a la compresión simple en cilindros.	152

Conclusiones.	154
Bibliografía..	157
Otras fuentes de información.	160

Anexos.

INTRODUCCIÓN.

Antecedentes.

En México y en muchas partes del mundo el concreto hidráulico es el material más utilizado para la construcción de estructuras y consiste, principalmente, en una mezcla de grava, arena, cemento y agua. La mayoría de las cualidades del concreto dependen directamente de la calidad de sus componentes y de la proporción en que se usen. Atendiendo a la importancia de la grava y la arena en el concreto, la presente tesis estudiará y revisará, de los bancos de materiales en la región de Uruapan, las características y condiciones de las distintas arenas y gravas, así como su calidad para la elaboración de mezclas de concreto hidráulico estructural.

Las mezclas de concreto hidráulico tienen la característica inherente de contener una pasta hecha de cemento con agua que aglutina a los demás materiales del concreto también llamados agregados, partiendo de esto, la gama de tipos de mezclas de concreto varía dependiendo del tipo de agregados que se utilicen. Existen agregados naturales seleccionados, naturales procesados y artificiales.

Los agregados pétreos son los materiales de origen natural rocoso que se utilizan para dar estructura al concreto, de acuerdo con el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) se pueden dividir en agregados gruesos y agregados finos, los primeros son las gravas o rocas con tamaños que oscilan entre 76.2 milímetros (3") y 4.76 milímetros por partícula; los segundos son partículas de suelo o roca con tamaños menores a 4.76 milímetros pero mayores a 0.074 milímetros y

también son llamados arenas. En ocasiones, también se utilizan rocas de mayor tamaño que las gravas (mayores de 3" o 76.2 mm), denominadas boleas, para elaborar el llamado concreto ciclópico, mismo que no es objeto de estudio en esta tesis.

Las gravas y arenas pueden encontrarse en muchas partes de la superficie terrestre, pero cuando se requiere que cumplan con ciertas características como limpieza y granulometría es necesario acudir a un banco de material, que es un lugar geográfico donde a través del tiempo se han depositado estos materiales en grandes cantidades y gracias a su conformación geológica es posible extraerlos por medio de excavaciones a cielo abierto, por tal motivo, sus cualidades para mezclarse con el cemento y agua son frecuentemente aceptables y de no ser así se pueden someter a procesos físicos que permitan mejorar sus características. Se pretende entonces, evaluar las propiedades de las gravas y arenas que ofrecen los bancos de materiales de la región.

Dentro de la Universidad Don Vasco A.C. se han realizado investigaciones con respecto a la calidad del concreto y a las pruebas de laboratorio a realizarse en los agregados pétreos, pero no hay estudios sobre la calidad de las gravas y arenas de los diferentes bancos de materiales de la ciudad de Uruapan, Michoacán.

Por ejemplo, la investigación realizada por las egresadas Betzabe Miranda Domínguez en equipo con María Isabel Rodríguez Corona, en la tesis de título "Propiedades índice y mecánicas de los suelos de Uruapan, Michoacán" en el año de 1999, arrojó un catálogo general de los diferentes tipos de suelos en Uruapan y sus

propiedades; concluyendo también, que la ciudad de Uruapan al ser demasiado extensa, necesitaba de un vasto número de estudios para lograr describir a detalle las características de los distintos suelos de Uruapan.

También se encontró afín a esta tesis, la titulada “Control de calidad en resistencia de materiales, manual de procedimientos de prueba y normatividad” creada por Gilberto Carrera Méndez en el año de 2007, misma que como objetivo tuvo el establecer un manual de procedimientos de pruebas y ensayos para controlar la resistencia de los materiales basados en normas nacionales e internacionales, con la intención de atender a la deficiencia de normatividad adecuada para algunas pruebas. Como conclusión, Gilberto indicó que todo laboratorio debería estar certificado por la norma ISO 9001:2000 para poder garantizar que los materiales a utilizarse en toda obra sean de buena calidad.

En la tesis del egresado Omar Álvarez Cendejas, publicada en el año 2002, “Diseño de mezclas de concreto hidráulico convencional por el método ACI-211-1” se trata en general sobre la calidad de los agregados pétreos y las características de ellos ya reunidos en el concreto. La tesis en conclusión da a entender que un concreto deberá tener 3 características primordiales: durabilidad, resistencia y economía, si se logran estos pasos se obtendrá un concreto uniforme de calidad.

Planteamiento del problema.

Idealmente, los dueños o administradores de los bancos de materiales deberían de tener estudios completos de los materiales que venden para poder proporcionar al cliente la materia prima o en su defecto el producto que satisfaga mejor sus necesidades, así también el consumidor debería tener las herramientas para evaluar si el agregado pétreo que le ofertan es el más adecuado.

Desafortunadamente, en los bancos de materiales de la región de Uruapan se ofrecen gravas y arenas sin especificar qué características y propiedades poseen, dejando al cliente la responsabilidad de escoger el material, esto representa un problema ya que la falta de un estudio de dominio público que en base a un método científico, permita comparar los materiales de los bancos de la región, deja a la población con la duda de que material es mejor, esta incertidumbre se ha venido respondiendo someramente con las deducciones empíricas de los pocos usuarios que experimentan con diversos agregados de distinto origen.

Al considerar la importancia de la calidad de estos agregados pétreos, se pretende solucionar dicho problema respondiendo a la pregunta: ¿Qué gravas y arenas de la región de Uruapan son mejores para la elaboración de mezclas de concreto hidráulico estructural?

Objetivos.

Objetivo general:

Determinar la calidad de gravas y arenas de los bancos de materiales de la región de Uruapan para la elaboración de concreto hidráulico estructural.

Objetivos particulares:

- a) Definir los parámetros que determinan la calidad de los agregados pétreos para mezclas de concreto hidráulico.
- b) Identificar los bancos de materiales representativos de la región, así como las arenas y gravas que tiene cada uno.
- c) Realizar las pruebas de laboratorio necesarias para conocer las características de las gravas y arenas de la región.
- d) Proponer métodos prácticos para identificar en campo la calidad de los agregados finos y gruesos.
- e) Comparar las diferentes gravas y arenas de los bancos de materiales estudiados.
- f) Comprobar qué agregados pétreos dan mayor resistencia al concreto hidráulico, por medio de la prueba de compresión simple en cilindros.

Pregunta de investigación

Con la finalidad de resolver el problema antes mencionado se responderá a la pregunta: ¿Qué calidad tiene la grava y arena de los bancos de materiales en la región de Uruapan para la elaboración de concreto hidráulico estructural? Esta interrogante será la guía principal de la investigación y el enfoque de todos los estudios que serán en su mayoría procedimientos prácticos de laboratorio.

Por lo tanto, al apoyarse en la investigación metodológica y en pruebas de laboratorio, se requiere también saber, ¿Cuáles son las pruebas necesarias para conocer las propiedades y la calidad de los agregados finos y gruesos? Y poder así conocer ¿Por qué hay gravas y arenas que dan mayor resistencia al concreto hidráulico? Y una vez conocidas las características y propiedades de cada material en estudio se podrán determinar ¿A partir de qué criterios los agregados pétreos se califican como materiales de calidad para utilizarse en concreto hidráulico?

Justificación

Anteriormente, se mencionó que en Uruapan no existe la información suficiente, de carácter público, que permita comparar y evaluar la calidad de los agregados pétreos de la región. Este inconveniente incitó al autor a elaborar la presente tesis, la cual pretende realizar un estudio detallado de las condiciones de estos materiales, para darle a la sociedad un instrumento que ayude a seleccionar la mejor grava y arena para cada situación.

Por medio de esta tesis se exhibirán los resultados de un conjunto de pruebas de laboratorio, previamente explicadas y fundamentadas en principios básicos de la

mecánica de suelos y materiales, a partir de las cuales se podrán tomar decisiones acerca de que material es suficientemente bueno para satisfacer determinada necesidad y en que banco se encuentra.

Entonces, esta investigación es importante porque busca dar solución a un problema real y vigente que afecta de algún modo a la población de Uruapan, también lo es porque los resultados que arroje beneficiarán a los estudiantes de Ingeniería Civil de la Universidad Don Vasco A.C., a Ingenieros y Arquitectos, a instituciones públicas y privadas de la construcción, a los mismos dueños de los bancos de materiales y en general a toda aquella persona o entidad que haga uso de los agregados finos y gruesos de la región para elaborar concreto hidráulico.

De igual forma, esta publicación es indicador de la capacidad que tiene un egresado de la carrera Ingeniería Civil para resolver problemas prácticos haciendo uso de los conocimientos teóricos aprendidos, la tesis comprueba que el egresado sabe aplicar una metodología de investigación para obtener información y que está listo para desarrollarse en su campo de estudio.

Marco de Referencia

Tras indagar sobre los bancos de la región de Uruapan, abiertos al público que ofrecieron dentro de sus productos gravas y arenas para elaborar concreto hidráulico estructural, se encontró que los bancos representativos de la región que cumplían con las características mencionadas se encontraban en dos lugares: en las afueras de Uruapan al noreste de la ciudad y en el sur del municipio de Paracho, mismo que

colinda al sur con Uruapan. Se visitaron ambas locaciones. Se encontró que los dos lugares existían dos o más empresas ofreciendo material.

Los bancos de materiales del municipio de Paracho obtienen la materia prima del suelo, por medio de excavación, el material es de origen volcánico y se selecciona por medio de cribado con mallas colocadas en desniveles artificiales en el terreno. Los bancos de materiales de la región de Uruapan, obtienen los agregados de la trituración de rocas grandes, desprendidas mecánicamente de las paredes del cerro de San Francisco; las rocas son basálticas y después de ser trituradas se seleccionan por vibración y cribado, usando equipos de trituración de mandíbulas.

Al realizar visitas a los bancos de materiales, se descubrió que el cerro de San Francisco se estaba atacando desde dos frentes distintos por dos empresas diferentes. En Paracho había tres aprovechamientos, que, en su momento, cerraron las puertas al investigador eliminando así la posibilidad de conocer sus condiciones. En los bancos de materiales triturados se pudo obtener información de muestras de los dos bancos existentes. De tal manera, que el lote de estudio se redujo, a muestras de aproximadamente 50 kilogramos, de tres bancos de materiales. Dos bancos de materiales triturados y uno de materiales volcánicos cribados. En cada banco se tomaron muestras de arena de $\frac{3}{4}$ " (la grava más utilizada en estructuras de concreto como losas, trabes y columnas).

CAPÍTULO 1

CONCRETO HIDRÁULICO

Debido a que la presente tesis pretende estudiar y evaluar la calidad de gravas y arenas para la elaboración de concreto hidráulico estructural, se dedicará todo un capítulo para dicho material. Como se verá en este capítulo, se encuentran por un lado los concretos hidráulicos y los concretos asfálticos; los primeros emplean agua para hidratar el cemento mientras que los segundos utilizan emulsión asfáltica.

Es importante hacer notar que los estudios de esta tesis se enfocan en el primer grupo. Lo anterior es importante, porque, así como el cementante y el hidratante varían entre los concretos hidráulicos y asfálticos; los agregados que se emplean para cada uno son de condiciones distintas. Un agregado que puede ser bueno para pavimentos, quizá no sea útil para un concreto hidráulico.

Ahora bien, los concretos hidráulicos pueden trabajar a compresión y a flexión, el concreto común que se usa en estructuras trabaja a compresión; los concretos de los pavimentos trabajan a flexión. Los métodos para determinar las propiedades del concreto y de los agregados, varían entre cada tipo de concreto. El presente estudio se enfoca solamente en concretos estructurales, razón por la cual el lector no encontrará los procedimientos de prueba a flexión del concreto.

Primeramente, se dará la definición de concreto hidráulico aunado a una reseña histórica del cemento. En seguida se identificarán los principales tipos de concreto y se analizarán sus componentes. Finalmente, se explicarán las características del concreto recién mezclado y endurecido.

1.1. Concepto de concreto hidráulico.

Basándose en Kosmatka y Panarese (1992), García (2004) y Merritt y Cols. (2008); se puede definir el concreto como una roca artificial formada por materiales granulares aglomerados por un cementante.

Merritt y Cols. (2008) explican, que cuando se usa la palabra “concreto” en ausencia de adjetivos se está hablando del tipo de concreto más común conformado por la mezcla de grava, arena, cemento Portland y agua. A pesar de esto el término correcto para nombrar dicha mezcla es: Concreto Hidráulico. Se le añade la palabra “hidráulico” porque su pasta aglutinante está hecha a base de agua y, además, para diferenciarlo de su homólogo, el concreto asfáltico, que es elaborado con una emulsión bituminosa de origen orgánico.

Coincidentemente, y refiriéndose al concreto hidráulico Kosmatka y Panarese (1992) resumen que, “El concreto es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados pétreos y pasta.” (Kosmatka y Panarese; 1992:1), y manifiestan que la pasta es la combinación de cemento y agua, siendo el cemento Portland el más utilizado para su elaboración.

Merritt y Cols. (2008) señalan que los agregados pueden ser materiales naturales de origen rocoso; materiales procesados, como el concreto reciclado y la roca triturada; o materiales artificiales, como la escoria de altos hornos enfriada al aire; aunque los agregados más utilizados son la grava y la arena.

Finalmente, es posible concluir que “El concreto hidráulico es una mezcla de agregados pétreos naturales, procesados o artificiales, cementante y agua, a la que además se le pueden agregar algunos aditivos.” (García; 2004: 113). Conocido el significado del concreto hidráulico resulta interesante saber el origen del mismo y su importancia actual.

1.2. Antecedentes.

A lo largo de la historia, las crecientes necesidades del hombre lo han motivado a utilizar y crear nuevos materiales de construcción más resistentes y durables. En el momento en que el hombre comienza a utilizar materiales de origen rocoso y piezas elaboradas de arcilla para construir edificaciones, surge la idea de pegar dichos fragmentos con pastas cementantes para lograr estructuras más sólidas. La historia del concreto hidráulico encuentra sus cambios más importantes a través de los avances en la fabricación del cemento, por lo anterior, la reseña histórica se enfoca al cemento y se omiten datos históricos de los agregados y aditivos.

De acuerdo con Neville (1988) las primeras pastas aglutinantes utilizadas para unir rocas nacieron en las antiguas civilizaciones y fueron hechas principalmente de arcilla, yeso, cal y agua. Por ejemplo “Los egipcios ya utilizaban yeso calcinado

impuro” (Neville; 1998: 15). Desafortunadamente, las construcciones se deterioraban con facilidad ante los agentes ambientales. Con el tiempo y las aportaciones de varias civilizaciones se fueron mejorando las técnicas utilizadas, agregando rocas y minerales triturados a las pastas para conseguir mezclas más resistentes a la intemperización.

Neville (1988) y la página www.hormigonfihp.org mencionan que los griegos y los romanos usaban en un principio caliza calcinada (cal viva), posteriormente crearon, sin saberlo, el primer concreto de la historia cuando mezclaron agua, cal, arena y pequeñas rocas o fragmentos de tejas. Pero existía un problema, los morteros con caliza calcinada no eran resistentes cuando las construcciones estaban expuestas por mucho tiempo a los efectos erosivos del agua. Cerca del volcán Vesubio, en Italia, hay un pueblo llamado Pozzuoli, en ese lugar los constructores de la época encontraron una ceniza volcánica compuesta de sílice y alúmina, que al combinarse con la cal y la arcilla de las tejas finamente molidas se producía un polvo capaz de interactuar satisfactoriamente con el agua para formar una roca resistente a un medio ambiente hostil como el de los mares y ríos.

Tanto Neville (1988) como la Cámara Nacional del Cemento (CANACEM), a través de su página de internet www.canacem.org.mx, hablan de una decadencia en el uso e innovación del concreto durante la Edad Media, aparentemente con la caída del imperio Romano se pierden los conocimientos adquiridos hasta entonces y se retoma el uso de prácticas poco eficaces. Fue hasta 1756 que John Smeaton, al recibir la encomienda de reconstruir el faro de Eddystone en Inglaterra, retomó la

usanza romana y utilizando una mezcla de “puzolana” y caliza con mucha arcilla, creó un cementante de calidad que mantuvo al faro en pie por más de 126 años.

Durante los siguientes años se patentaron diversas variantes del cemento hidráulico, la más importante se dio en 1824 cuando un constructor llamado Joseph Aspdin, patentó el “cemento Portland” como una mezcla de arcilla finamente triturada y caliza; calentada hasta eliminar el dióxido de carbono. El nuevo cemento de Aspdin comenzó a usarse inmediatamente poniendo de manifiesto sus ventajas sobre otros cementos. Con Aspdin comenzó el auge del concreto en Europa, que más tarde en 1845 con Isaac Johnson, se convertiría en el material de construcción más empleado a nivel mundial. El logro de Johnson fue calentar la mezcla de Aspdin lo suficiente para formar el Clinker, componente principal del cemento como se conoce actualmente, (en el apartado 2.4. se tratan con mayor detalle los componentes del concreto).

Desde la segunda mitad del siglo XIX, el creciente uso del concreto en obras de gran magnitud alrededor del mundo ha propulsado el desarrollo de nuevas tecnologías que han mejorado los procesos de fabricación del cemento. De la misma manera la implementación de mejores técnicas de elaboración de concreto y la combinación del concreto con otros materiales como el acero, han brindado al hombre la posibilidad de construir estructuras nunca antes vistas capaces de solucionar problemas latentes, convirtiendo al concreto en un material indispensable para el desarrollo de la infraestructura de los países.

Es cierto, que el concreto hidráulico por sí solo, carece de elementos para considerarse como el mejor material estructural, debido a que su baja resistencia a tensión y su naturaleza heterogénea proveniente de su fabricación, lo limitan al compararlo con materiales como el acero o el aluminio que resisten igualmente tensión y compresión y además son homogéneos. De acuerdo con Meli (2009) a pesar de sus debilidades, el concreto destaca por sus bondades, como su alta resistencia a la compresión. El concreto a su vez, es un material que exhibe en un principio características propias de un fluido, sin embargo, una vez que sus componentes reaccionan químicamente adquiere las propiedades de un sólido rígido, esto permite darle cualquier forma deseada antes de que endurezca. Tiene también, la capacidad de trabajar en conjunto con el acero para formar concreto reforzado. “El concreto reforzado es el más popular y desarrollado de estos materiales, ya que aprovecha en forma muy eficiente las características de buena resistencia en compresión, durabilidad, resistencia al fuego y moldeabilidad del concreto, junto con las de alta resistencia en tensión y ductilidad del acero, para formar un material compuesto que reúne muchas de las ventajas de ambos materiales componentes.” (Meli; 2009: 274-276)

Claramente, el concreto hidráulico ha formado parte de la historia del hombre, sufriendo evoluciones constantes para ajustarse a las demandas emergentes de la sociedad. Su uso es amplio a nivel mundial y el cuidado de su calidad es imprescindible. Por supuesto, la eficacia de cualquier concreto depende de la calidad de sus componentes y en lo que a esta tesis refiere el estudio de los agregados empleados es determinante para lograr el desempeño deseado.

1.3. Tipos de concreto.

Previamente, se mencionó que el hombre ha implementado diversas formas de elaborar el concreto. Usar distintos materiales como componentes del concreto es una práctica frecuente al buscar en él propiedades específicas y genera una gran variedad de tipos de concretos. Se pretende hacer una clasificación de los tipos de concretos que existen para dar una visión general de la diversidad de los mismos, y a su vez explicar cómo al emplearse determinados materiales como agregados se conciben concretos definidos.

Existen varios tipos de concreto que se diferencian entre sus resistencias, consistencia, tamaño de los agregados y la designación del ambiente al que va estar expuesto. Según la instrucción española (EHE) publicada en 1998 nos brinda los siguientes tipos de concretos:

a) Concreto ordinario: Es el concreto que comúnmente se utiliza en las construcciones de viviendas, y consta de cemento tipo Portland, agua, grava y arena.

b) Concreto en masa: Es el concreto que en su interior no contiene un armado de acero, lo cual solo lo hace capaz de resistir esfuerzos de compresión

c) Concreto armado: Es el concreto que en su interior tiene una armadura especial de acero o alguna fibra especializada el cual ayuda que trabajen en conjunto y resistan fuerzas de tensión y compresión

d) Concreto pre-tensado: Es el que en su interior tiene una armadura especial que antes de ser embebido por concreto se encuentra tensado.

e) Concreto pos-tensado: Es el que en su interior tiene una armadura especial que se tensa después de que el concreto ya ha adquirido su resistencia.

f) Mortero: Es la combinación de cemento, agua y arena sin la combinación del agregado grueso.

g) Concreto ciclópeo: Es el concreto que tiene embebidas piedras no menores a 30 centímetros de diámetro.

h) Concreto sin finos: Es el concreto que tiene cemento, agua y grava sin la combinación de agregados finos.

i) Concreto airado: Se obtiene incorporando a la mezcla aire u otros gases derivados de reacciones químicas, resultando un hormigón baja densidad

j) Concreto de alta densidad: Concreto con agregados muy pesados normalmente barita, magnetita, hematita. Utilizados para blindar o proteger de radiación.

1.4. Componentes del concreto.

Kosmatka y Panarese (1992) afirman que el concreto se compone de cemento, agua, agregados pétreos, aire y en casos especiales aditivos. La pasta compone alrededor de un 25% a 40% del volumen total de la masa, los agregados pétreos componen alrededor de un 75% a 60%, esto puede variar dependiendo de la resistencia requerida, el aire y los aditivos componen porcentajes muy bajos. En la imagen 1.1, se muestra la variación de las proporciones de materiales.

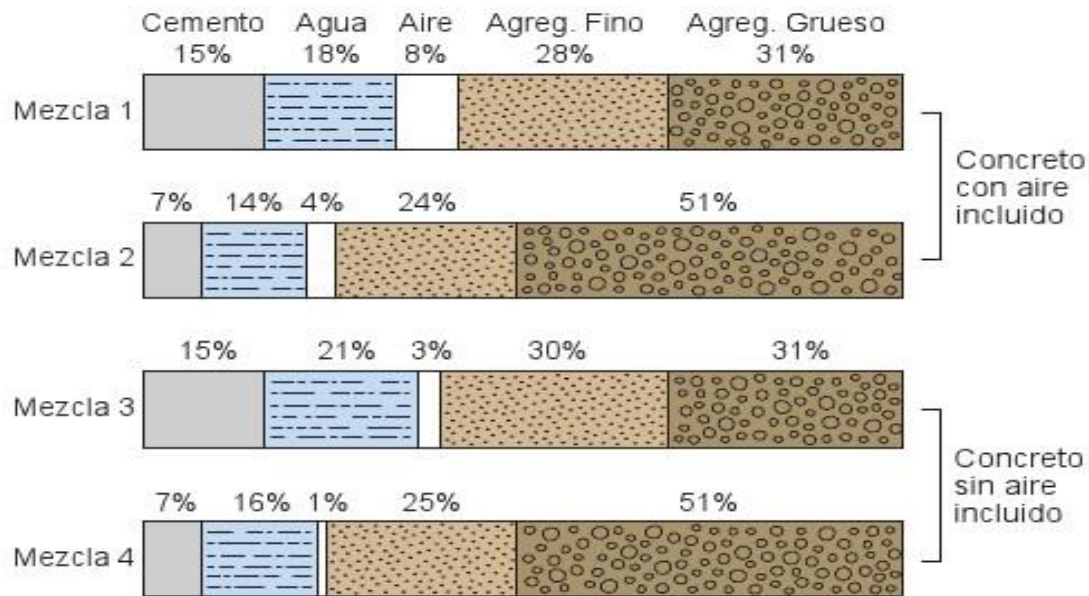


Imagen 1.1. condiciones de humedad de los agregados.

Fuente: Neville y Brooks; 1998:49.

El concreto es un material de propiedades variables, muy diferentes a las del acero el cual es elaborado en fábricas bajo un riguroso control de calidad, permitiendo conocer sus propiedades con exactitud y que al momento de adquirirlo conoces plenamente sus características porque es creada monolíticamente dentro de una fábrica y está vigilada por un fuerte control de calidad, a diferencia del concreto el cual es creado en obra impidiendo llevar un control adecuado en la preparación. Se tiene muchos factores que pueden afectar las características del concreto, como, por ejemplo:

- a) Calidad de los agregados
- b) Dosificación
- c) Método de mezclado

- d) Lugar de preparación
- e) Fraguado
- f) Curado

1.4.1 Cemento Portland.

La fabricación del cemento consiste en material calcáreo tal como son las piedras calizas o el yeso, con una base de sílice y alúmina como con las arcillas o esquistos. Neville y Brooks (1998) muestran que se crea el cemento moliendo todas las materias primas hasta lograr un fino polvo, se mezclan perfectamente hasta lograr las proporciones correctas y quemarlas en un horno rotatorio con una temperatura de 1400 grados, el material se funde hasta convertirse en escoria (Clinker) la cual al enfriarse se muele y se le agrega un poco de yeso. Al terminar el proceso el fino polvo deberá atravesar por completo la malla número 200.

Kosmatka y Panarese (1992) señalan que se fabrican diversos tipos de cementos Portland para cubrir las diferentes necesidades que existen dentro de la construcción. La norma C150 de la especificación estándar para cemento Portland de la American Society for Testing and Materials (ASTM), indican que existen 8 diversos tipos de cemento Portland.

Tipo 1	Normal
Tipo 1 ^a	Normal, inclusor de aire
Tipo 2	De resistencia moderada a los sulfatos

Tipo 2 ^a	De resistencia moderada a los sulfatos, incluso de aire
Tipo 3	De alta resistencia a edad temprana
Tipo 3 ^a	De alta resistencia a edad temprana, incluso de aire
Tipo 4	De bajo calor de hidratación
Tipo 5	De resistencia elevada a los sulfatos

La función principal del cemento es crear una masa rígida semejante a una roca, a través de una reacción química provocada por la combinación de cemento y agua, la cual tiene como función principal unir las partículas de los agregados finos y gruesos para obtener así una mezcla heterogénea muy resistente.

1.4.2. Agua.

El agua es un factor importante dentro del concreto porque permite que el cemento desarrolle su capacidad ligante. “Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga un sabor u olor pronunciado, se puede utilizar para producir concreto.” Kosmatka y Panarese; 1992:27)

El agua es un elemento indispensable para el concreto, esto es por que sustituye la humedad perdida durante el fraguado, este proceso de rehidratación lleva por nombre curado y si no se logra un curado perfecto el concreto perderá resistencia y tamaño.

Existen varias maneras de determinar si un tipo de agua perjudica al concreto, la más utilizada consiste en realizar cubos de concreto y verificar si al séptimo día se lograra por lo menos el 90% de su resistencia. Se realizan ensayos para asegurar que las impurezas en el agua no afecten en la resistencia del concreto, en los tiempos de fraguado, color del material, corrosión del refuerzo, inestabilidad volumétrica, menor durabilidad, o eflorescencia.

“El agua que contiene menos de 2000 partes por millón (ppm) de sólidos disueltos totales generalmente puede ser utilizada de manera satisfactoria para elaborar concreto.” (Kosmatka y Panarese; 1992:27)

Los carbonatos y bicarbonatos alcalinos tienen diferentes efectos en los tiempos de fraguado del concreto, por ejemplo, el carbonato de sodio puede causar que el fraguado sea muy rápido y esto puede producir también la reducción de la resistencia.

Los cloruros pueden provocar corrosión del refuerzo de acero, los iones de cloruro deterioran la capa protectora del acero. Los cloruros pueden ingresar al concreto por medio de aditivos, agua, o por el mismo cemento. En un concreto que esté completamente seco resiste mayor cantidad de contaminación de cloruros.

Los sulfatos provocan reacciones expansivas en lugares donde el concreto está expuesto a suelos o agua con contenidos elevados de estos sulfatos, es poco común el deterioro del concreto por este hecho, esto porque se ocupan grandes niveles de contaminantes.

Otras sales como los carbonatos de calcio y de magnesio no son muy solubles en el agua esto indican que es muy poca la posibilidad de que se encuentren grandes concentraciones que pueden afectar al concreto o al acero de refuerzo, existen algunas sales que le brindan mayor resistencia al concreto.

El agua de mar es utilizada para la elaboración de concreto simple sin acero de refuerzo, brindan buena resistencia a edades tempranas, pero las resistencias a edades mayores pueden ser inferiores. Según Kosmatka y Panarese (1992) esta reducción en la resistencia puede abatirse reduciendo la cantidad de agua.

Aguas negras, aceites, impurezas orgánicas, aguas acida, aguas de desperdicio industriales dañan directamente en la resistencia del concreto, porque afectan directamente en la estructura química del cemento u ocupan espacios materiales de menores resistencias.

1.4.3 Agregados pétreos.

Anteriormente se creía que los agregados pétreos eran totalmente inertes dentro de la mezcla, pero los nuevos descubrimientos establecen que siendo este material el que mayor porcentaje de participación tendrá dentro de la unidad cúbica de concreto, sus propiedades y características diversas influyen en todas las propiedades del concreto.

Kosmatka y Panarese (1992) indican que los agregados pétreos son materiales inorgánicos naturales o artificiales embebidos dentro de la pasta de cemento, generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos. Los agregados finos consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que

pueden llegar hasta 10mm, los agregados gruesos son aquellos cuyas partículas se retienen en la malla No. 16 mm y su tamaño máximo de agregado comúnmente es el de 19mm a 25 mm.

“Los agregados deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo: deben constituir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y de otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento” (Kosmatka y Panarese; 1992:31). Los agregados no deberán contener cantidades apreciables de rocas de poca resistencia, materiales suaves o muy porosos, esto por la disminución a la resistencia a la intemperie.

Las investigaciones planteadas por Kosmatka y Panarese (1992) indican que los agregados comúnmente utilizados como son piedra triturada, arena, grava, escoria de alto horno producen un concreto fresco de aproximadamente 2160 a 2560 kg/m³. Agregados como los esquistos, pizarra y arcillas producen aproximadamente 1440 a 1920 kg/m³. Para producir un concreto ligero se necesita piedra pómez, escoria, perlita, vermiculita y diatomita esto para dar pesos alrededor de 240 a 1440 kg/m³. Pero para producir concretos muy densos o concreto para blindaje se ve la necesidad de incorporar materiales pesados como son la limonita, magnetita, ilmenita, hematita, hierro y partículas de acero.

1.4.4. Aire.

Como señalan Kosmatka y Panarese (1992) El aire es utilizado en concretos expuesto a congelación, deshielo, y a productos químicos, puede emplearse para mejorar la trabajabilidad del concreto. El aire se le agrega empleando un cemento Portland inclusor de aire o al momento de hacer la mezcla de concreto implementar un aditivo inclusor de aire.

La Agencia para Financiamiento de la Vivienda y Casa (1965) fomentan el uso de concreto con inclusor de aire por que incrementa en forma notable la durabilidad del concreto y su resistencia a la acción de los elementos, porque las burbujas sirven como válvula de alivio por la expansión del agua en los cambios de temperatura.

Las burbujas de aire además le dan una mejor trabajabilidad al concreto, esto por la función de actuar como pequeños baleros, además la tendencia de los agregados a segregarse disminuye. El autor antes señalado recomienda el uso de concretos con inclusor de aire para todas las obras exteriores, es decir expuestas a la intemperie, esto por brindarle mejores capacidades de contracción y expansión.

1.4.5. Aditivos.

Aditivo, “Un material distinto del agua, agregados y cemento hidráulico que se usa como ingrediente en concretos o morteros y se añade a la mezcla inmediatamente antes y durante su mezclado.” (IMCYC; 1974:15)

Los aditivos son empleados para la modificación de las propiedades del concreto para ajustarse a ciertas condiciones de trabajo, economía, etc. Según el IMCYC (1974) los aditivos deben de cumplir las especificaciones del ASTM, el cual indica normas adecuadas para la utilización de materiales. Existen diversos usos de los aditivos el cual será señalada en la siguiente lista otorgada por el IMCYC.

- a) Aumentar la trabajabilidad sin aumentar el contenido de agua o para reducir el contenido de agua, logrando la misma trabajabilidad.
- b) Acelerar la velocidad de desarrollo de resistencia a edades tempranas.
- c) Aumentar resistencia.
- d) Retardar o acelerar fraguado inicial.
- e) Retardar o reducir el desarrollo de calor.
- f) Aumentar la durabilidad o la resistencia a condiciones severas de exposición incluyendo la aplicación de sales para quitar el hielo.
- g) Controlar la expansión causada por la reacción de los álcalis con ciertos constituyentes de los agregados.
- h) Reducir el flujo capilar del agua.
- i) Reducir la permeabilidad a los líquidos.
- j) Para producir concreto celular.
- k) Mejorar la penetración y el bombeo.
- l) Reducir el asentamiento, especialmente en mezclas para rellenos.
- m) Reducir o evitar el asentamiento o para originar una leve expansión en el concreto o mortero, usados para rellenar huecos y otras aberturas en estructuras de concreto y en rellenos para cimentación de maquinaria,

columnas o trabes, o para relleno de ductos de cables de concreto pos tensionado o vacíos en agregado pre colado.

- n) Aumento de adherencia del concreto y el acero.
- o) Aumento de adherencia entre concreto viejo y nuevo.
- p) Producir concretos o morteros de color.
- q) Obtener concretos o morteros con propiedades fungicidas, germicidas o insecticidas.
- r) Inhibir la corrosión de metales sujetos a corrosión embebidos en el concreto.
- s) Reducir el costo unitario del concreto.

El fabricante deberá asegurar una perfecta compatibilidad durante el mezclado, del aditivo con el concreto. El agua que contienen los aditivos se debe considerar como del total del agua requerida, es decir si no se considera el aditivo es posible que afectes directamente en la relación agua cemento lo cual afectaría directamente en las características del concreto.

1.5. Concreto recién mezclado.

Como lo indica Kosmatka y Panarese (1992), un concreto recién mezclado debe ser plástico o semifluido y capaz de ser moldeado con facilidad, sin que tenga exceso de agua. En una mezcla plástica los agregados finos y gruesos quedan encajonados dentro de una cimbra y sostenida en suspensión.

Cuando una mezcla está bien realizada los materiales no deberán segregarse mucho menos desmoronarse durante la fabricación, transporte y colocación. Cuando el concreto endurezca deberá quedar una mezcla uniforme de todos los componentes. En los siguientes apartados se explican brevemente las características del concreto recién mezclado.

1.5.1. Revenimiento.

El revenimiento según Kosmatka y Panarese (1992), es la medida de la consistencia del concreto, un bajo revenimiento tiene una consistencia más dura y tiene menos agua, al aumentar la cantidad de agua el revenimiento aumenta y disminuye su resistencia. En ocasiones se buscan revenimientos altos para elementos delgados o lugares incómodos, pero para no afectar su resistencia aumentando la humedad del concreto, se le adicionan aditivos especiales que no sacrifican la resistencia.

1.5.2. Mezclado.

La función del mezclado de concreto es revestir la superficie de los agregados con la pasta de cemento, la cual dará como resultado una masa homogénea. La manera más sencilla es con herramientas manuales, pero esto no siempre garantiza el buen mezclado, para asegurar que el concreto este uniforme se utilizan mezcladoras.

La mezcladora es la manera más práctica de realizar un buen concreto, sin embargo, la secuencia de carga de los ingredientes es un papel importante en la homogeneidad del concreto. Kosmatka y Panarese (1992) indican que las diferentes secuencias requieren ajustes en el tiempo de adicionamiento de agua, en el número

total de revoluciones del tambor de la mezcladora, y en la velocidad de revolución. Otros factores que influyen son el tamaño de la revoladora, su capacidad, tiempo transcurrido entre dosificación, estado del tambor y paletas.

1.5.3. Trabajabilidad.

La trabajabilidad como lo indican Kosmatka y Panarese (1992) es la facilidad de colocar, consolidar y darle el acabado al concreto recién mezclado. Se debe buscar la trabajabilidad del concreto previo y durante su colocación, sin segregarlo ni permitir el sangrado que es la migración del agua hacia la superficie por el asentamiento del cemento y los agregados pétreos, provocado por vibraciones o simplemente gravedad.

La finura del cemento proporciona mayor cohesión y trabajabilidad al concreto, pero también existen otros factores más importantes que intervienen en el segregado durante su manejo y colocación como es la composición granulométrica, tamaño del agregado, consumo unitario del cemento, aditivos que incrustan aire, y el diseño de la mezcla de concreto

El sangrado excesivo aumenta la relación agua cemento de la superficie provocando que la capa superior de concreto sea débil y de baja durabilidad. Una medida de mitigación es el fabricar el concreto lo más cerca posible de donde se va a colocar. Las incrustaciones de aire aumentan la trabajabilidad y previene la segregación y el sangrado.

1.5.4. Consolidación.

La compactación del concreto es el paso que se realiza para obtener una masa más densa, sin vacíos innecesarios, ni aire indeseado, esto por que reducen la resistencia del concreto y aumentan su permeabilidad por las posibles fallas que pueden provocar los vacíos. El concreto completamente compacto será denso, resistente, durable e impermeable. El concreto mal compactado será débil, poco durable, y poroso.

La manera más eficaz es el de aplicar vibración el cual pone en movimiento las partículas del concreto, lo cual reduce la fricción entre los agregados dándole una mayor homogeneidad y dándole cualidades móviles de un fluido denso. Las proporciones y la calidad de los materiales intervienen en una mejor compactación del concreto como se indica enseguida:

“Empleando un agregado bien graduado, entre mayor sea el tamaño máximo del agregado en el concreto, habrá que llenar pasta un menor volumen y existirá una menor área superficial de agregado por cubrir con pasta, teniendo como consecuencia que una cantidad menor de agua y de cemento es necesaria.”
(Kosmatka y Panarese; 1992:3)

Si el concreto es lo suficientemente trabajable se puede vibrar de manera manual con una barrilla. La manera mecánica de vibrar el concreto es muy eficiente y práctica, y resulta útil para vibrar concretos que no son muy trabajables. Una perfecta vibración te proporciona un concreto de buena calidad y económico.

1.6. Concreto endurecido.

El concreto puede encontrarse en estado sólido apenas unas horas después de su colocación, sin embargo, adquiere su tope de resistencia a los 28 días, exceptuando los casos en los que se utilizan acelerantes. Las principales características del concreto endurecido se abordan a continuación.

1.6.1. Resistencia a la compresión ($f'c$).

El Instituto Mexicano del Cemento y Concreto (1975) señala que la resistencia a la compresión es la mejor manera de indicar la calidad del concreto. La prueba consiste en medir la resistencia máxima de cilindros experimentales de 15 cm de diámetro por 30 cm de altura, se ponen en tratamiento de curado durante los 28 días, se le aplica una carga axial sin confinar el cilindro hasta lograr un punto de falla.

1.6.2. Curado húmedo.

La resistencia del concreto continúa incrementándose conforme exista cemento sin hidratar, para ello se requiere que tenga más del 80 % de humedad y permanezca favorable la temperatura del concreto. Si la humedad relativa dentro del concreto desciende del 80% o la temperatura del concreto disminuya a punto de congelación, la hidratación y la de resistencia se detienen. Al momento de recuperar la humedad, la hidratación continua y la resistencia sigue incrementando.

1.6.3. Velocidad de secado del concreto.

Es muy importante conocer la velocidad de secado del concreto para conocer las propiedades del concreto. Para obtener un óptimo secado del concreto lo más importante es el haber curado adecuadamente, al no estar curado adecuadamente la superficie seca indebidamente y esto provoca que existan agrietamientos y una capa menos resistente.

1.7. Dosificación.

Existen muchas combinaciones que se pueden realizar con los materiales que componen el concreto. De acuerdo con Kosmatka y Panarese (1992) al diseñar una mezcla de concreto se busca la combinación más práctica y económica para obtener un producto con las características deseadas. Una mezcla de concreto de calidad deberá presentar ciertas propiedades.

- a) El concreto fresco deberá ser trabajable.
- b) El concreto endurecido se deberá tener durabilidad, resistencia y presentar uniformidad.
- c) Deberá ser económico.

1.7.1. Elección de características del concreto.

Para poder elegir un buen proporcionamiento del concreto es necesario conocer las necesidades en base al uso que se le va a dar, por ejemplo, las condiciones a las que va a estar expuesta, el tamaño y forma de los agregados, y las propiedades físicas del concreto tal como es la permeabilidad, resistencia, durabilidad etcétera.

La principal propiedad que interviene en la mezcla es la relación agua cemento, esto por que interviene directamente en la durabilidad y la resistencia adquirida. Una mezcla de concreto deberá ser lo más sencillo posible. Al ir agregando un número excesivo de ingredientes a menudo disminuye su trabajabilidad.

1.7.2. Relación agua cemento.

Resistencia, durabilidad, permeabilidad, aguante al desgaste son algunas de las propiedades que se ven afectadas por la relación agua cemento. La resistencia a la compresión es la que determina la calidad de un concreto, cuando se incorpora un exceso de agua la calidad disminuye, provocando que tenga menos resistencia a la compresión. “La resistencia de la pasta de cemento en el concreto depende de la calidad y cantidad de los reactivos y del grado al cual se completa la reacción de hidratación.” (Kosmatka y Panarese; 1992:83)

1.7.3. Dosificación de agregados pétreos.

Los agregados afectan en el proporcionamiento de las mezclas de concreto, porque afectan la trabajabilidad del concreto fresco. Existen 2 principales características de los agregados, la granulometría que es el tamaño de los agregados y la naturaleza de las partículas como es su forma, porosidad, textura superficial.

La granulometría afecta directamente en la economía del concreto, esto debido a que afecta a la cantidad de concreto que puede fabricarse con una cantidad determinada de cemento y agua. La agencia para financiamiento de la vivienda y de

la casa (1965) propone que el tamaño máximo del agregado grueso deberá limitarse con $1/5$ parte del espesor total del elemento a colarse, y que los agregados finos llenen los espacios entre las partículas grandes.

Un factor que afecta es refuerzo de la varilla. Kosmatka y Panarese (1992) proponen que el tamaño de agregado máximo no deberá exceder $3/4$ de la distancia libre entre refuerzo. Las mezclas con agregados pétreos de tamaño grandes minimizan el requerimiento de agua esto porque se impregna menos cantidad.

CAPÍTULO 2

AGREGADOS PÉTREOS

Inicialmente se dijo que los materiales más comúnmente utilizados como agregados para el concreto hidráulico son la grava y la arena. Sin embargo, no son los únicos materiales susceptibles de ser usados como tal. Se pueden usar una gran variedad de materiales naturales o artificiales, con o sin ningún tratamiento; pero que, a final de cuentas, si cumplen con ciertos requisitos, permiten elaborar mezclas satisfactorias. A pesar de que el estudio de esta tesis se enfoca únicamente a gravas y arenas, naturales y trituradas; resulta adecuado proporcionar al lector los fundamentos teóricos básicos de los agregados y hacerlo consciente de los diferentes tipos de agregados que existen.

Por tanto, en el presente capítulo se definirán los conceptos de agregado pétreo, agregado fino y agregado grueso. Estableciendo las diferencias entre cada uno y abundando en cada término con las definiciones de varios autores. Se presenta además una clasificación de los agregados desde cuatro puntos de vista: (1) Por su origen o conformación, (2) por su peso, (3) por su tamaño y (4) por su forma o textura. De esta manera, los tipos de agregados y sus características dependen del lugar de origen, de los minerales que componen a la partícula, del peso volumétrico del material, de las medidas de los granos, de la forma tridimensional de las rocas y de las condiciones de la superficie de estas.

2.1. Concepto de Agregado Pétreo.

García (2004) y la Norma Oficial Mexicana (2002) indican que los agregados pétreos son materiales minerales granulares en estado natural, que pueden ser procesados o seleccionados por medio de disgregación, cribado, trituración o lavado; también se utilizan como agregados materiales de origen artificial producidos por expansión, calcinación o fusión excipiente. Ambos tipos de agregados se utilizan junto con un cementante o aglutinante hidráulico para la elaboración de concreto. El concepto de agregado es muy amplio, "...y comprende piedras-bola, pedruscos, piedra triturada, grava, escoria de alto horno enfriada por aire, arenas nativas y manufacturadas, y agregados de peso ligero manufacturados y naturales." (Merritt y Cols.; 2008: 5.12) Los agregados se dividen en: Agregados finos (arenas), agregados gruesos (gravas), fragmentos de roca (partículas con tamaños mayores a 3" o 76.2 mm) y agregado ligero (pueden ser agregados gruesos o finos, pero de baja densidad, usados para hacer concreto ligero).

Autores como Kosmatka y Panarese (1992), ACI (1968), Neville y Brooks (1998) y también Merritt y Cols. (2008) coinciden en que es muy importante utilizar agregados que cumplan con los requerimientos mínimos de calidad para las mezclas de concreto, ya que los agregados comúnmente ocupan alrededor del 60% al 75% del volumen total del concreto (70% al 85% en peso). Los agregados intervienen en las propiedades del concreto recién mezclado y endurecido, también en el proporcionamiento, en su economía, en la durabilidad y en el desempeño. Los agregados pétreos muchas veces son subestimados por su bajo costo comparado con el del cemento. "Originalmente, los agregados eran considerados como un

material inerte esparcido en la pasta del cemento sólo por razones económicas, siendo que en realidad no es un material inerte, sino que sus propiedades físicas, térmicas y químicas influyen grandemente en el comportamiento del concreto.” (Ortiz; 1986: 26)

Como señalan Neville y Brooks (1998) los agregados pétreos naturales se originan por la degradación del suelo y las rocas, a través del tiempo y por acción de diversos procesos climáticos y abrasivos como la lluvia, el viento, los cambios de temperatura y la erosión; adquiriendo así las propiedades que los vuelven o no, aptos para la elaboración de mezclas de concreto. Cuando dichos materiales en estado natural no tienen la calidad suficiente para un concreto hidráulico se pueden someter a procesos mecánicos y artificiales que les proporcionan las características que demanda el concreto hidráulico.

Según Love (2006) los agregados pétreos deben estar limpios, libres de cualquier químico o recubrimiento de algún material que perjudique la unión de los agregados con la pasta de cemento. Los materiales que con más frecuencia contaminan los agregados son: arcilla, sedimentos, mica, sales, tierra, materia orgánica y cualquier material fino suelto que pase por la malla No. 200, la mayoría de estos contaminantes se pueden eliminar por medio de un proceso de lavado.

Existen varios procesos para mejorar la calidad de los agregados, el lavado, por ejemplo, sirve para eliminar recubrimientos de arcilla o finos indeseables en las partículas de grava y arena; e incluso para cambiar la granulometría del agregado. Otro proceso, específicamente para los agregados gruesos, es el que nos señala

Merritt y Cols. (2008): “Para mejorar los agregados gruesos se puede emplear la separación de elementos pesados, mediante un líquido de gravedad específica variable como es una suspensión de agua y magnetita finamente molida y ferrosilicio.” (Merritt y Cols.; 2008: 5.13) El material de peso muy ligero se elimina por medio de flotación y las partículas pesadas se sedimentan. Existe también la separación por vibración hidráulica, la cual consiste en transmitir al material pulsaciones causadas por aire o diafragmas de hule que llevan el material ligero a la superficie. Las partículas suaves y desmenuzables se pueden separar de las duras y elásticas por medio de un sistema que deja caer el agregado a una superficie inclinada de acero, midiendo la calidad por medio de la distancia de rebote, a este proceso de le denomina fraccionamiento elástico.

2.1.1. Definición de Grava.

También se conoce como agregado grueso y de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana el agregado grueso, “Puede ser grava natural seleccionada u obtenida mediante trituración y cribado, escorias de altos hornos enfriadas en aire o una combinación de dichos materiales, con partículas de tamaño máximo, generalmente comprendido entre diecinueve (19) milímetros ($\frac{3}{4}$ ”) y setenta y cinco (75) milímetros (3”), pudiendo contener fragmentos de roca y arena dentro de las proporciones establecidas en esta Norma.” (N-CMT-2-02-002/02; 2002: 2)

García (2004) también indica, que las gravas se pueden encontrar en estado natural o se pueden obtener de la trituración de rocas y además pueden proceder de la combinación de ambas. Mientras mayor sea el tamaño del agregado se utiliza

menos cantidad de pasta. Los agregados gruesos deben contener muy pocos finos y sustancias deleznable. La resistencia de los agregados debe ser superior a la resistencia de la pasta para que puedan considerarse como adecuados.

2.1.2. Definición de Arena.

También se conoce como agregado fino y la Norma Oficial Mexicana cita: “Es arena natural seleccionada u obtenida mediante trituración y cribado, con partículas de tamaño comprendido entre setenta y cinco (75) micrómetros (Malla N°200) y cuatro puntos setenta y cinco (4.75) milímetros (Malla N°4), pudiendo contener finos de menor tamaño dentro de las proporciones establecidas en esta Norma.” (N-CMT-2-02-002/02; 2002: 1) Al igual que las gravas se pueden encontrar en estados naturales u obtenidos por medios mecánicos o una combinación de ambas. Deben contener muy pocos finos y sustancias deleznable, de acuerdo a los criterios de la NOM.

2.2. Clasificación de los Agregados.

Concluir lo estipulado en las definiciones de los conceptos de agregado pétreo, agregado grueso (grava) y agregado fino (arena); es posible percatarse de la gran variedad de materiales que pueden ser empleados como agregados para elaborar mezclas de concreto, además, de las diferentes condiciones que puede presentar un determinado material.

Por esta razón, en el presente apartado se pretende hacer una clasificación de los diferentes tipos de agregados desde varios puntos de vista y en base a lo dicho

por autores como: Merritt y Cols. (2008), Kosmatka y Panarese (1992), Ortiz (1986), Neville y Brooks (1998) y Juárez (2011).

De acuerdo con estos autores los agregados para concreto se pueden clasificar desde 4 perspectivas:

- Por su origen o composición;
- Por su peso;
- Por su tamaño; y
- Por su forma o textura.

2.2.1. Clasificación por origen o composición.

Una primera clasificación de los agregados, atendiendo a su origen, puede ser la propuesta por Ortiz (1986), que los divide como se indica en el siguiente esquema:

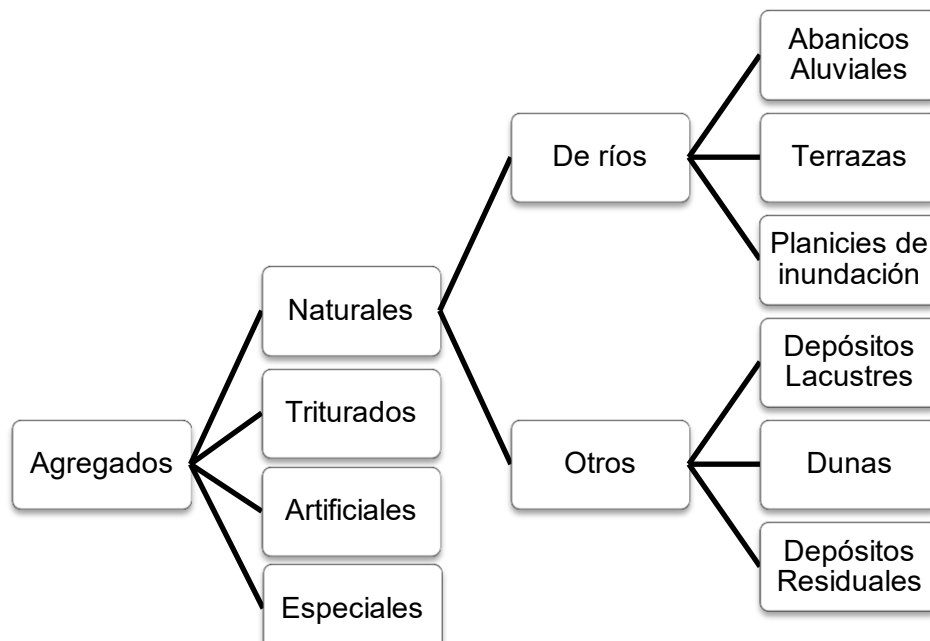


Figura 2.1. Clasificación de los agregados según origen.

Fuente: Ortiz; 1986: 31.

Los agregados naturales son todos aquellos materiales que resultan de los procesos que modifican y dan origen al suelo. Juárez (2011) plantea, que, gracias a la interacción de la corteza terrestre con el viento y el agua, el suelo y las rocas se desintegran mecánicamente y químicamente. La desintegración mecánica se debe a la intemperización, erosión, cambios de temperatura, congelación y deshielo, y el efecto de organismos y plantas; y la desintegración química se debe principalmente a la oxidación, hidratación y carbonatación producidas por el agua. Debido a lo anterior las rocas se dividen en tres grupos principales que son los siguientes: Rocas Ígneas, rocas sedimentarias y rocas metamórficas.

Las rocas ígneas son las provenientes del enfriamiento y solidificación del magma, si el enfriamiento se da lentamente bajo la superficie se originan rocas plutónicas o intrusivas, contrariamente si el enfriamiento se da rápidamente en la superficie se originan rocas volcánicas o extruidas. Las rocas sedimentarias surgen de la acumulación de materiales provenientes del desgaste de los suelos, es decir, al verse afectada por el viento y el agua, la corteza terrestre, desprende partículas de material que son transportadas a zonas inferiores donde se sedimentan. Las rocas metamórficas surgen cuando algún material es sometido a altas presiones y temperaturas, o al contacto con sustancias que modifican la composición de la roca.

Con respecto a la clasificación por composición, Kosmatka y Panarese (1992) y Neville y Brooks (1998) afirman, que los agregados son una mezcla de rocas y minerales. “Un mineral es una sustancia sólida natural que tiene una estructura interna ordenada y una composición química que varía dentro de límites muy estrechos.” (Kosmatka y Panarese; 1992: 31) Mientras que una roca se puede definir

como una asociación de minerales. Los dos autores, proponen una lista que clasifica los componentes minerales y rocosos de los agregados, esta clasificación mineralógica se puede resumir como en la Tabla 2.1.

En el diagrama propuesto por Ortiz (1986), (Figura 2.1), la clasificación subsecuente de los agregados naturales, que los divide en: “de ríos” y “otros”; tiene que ver únicamente con el agente generador de dicho material y el lugar donde se encuentra el agregado, así el agua y el viento que provocan la erosión del suelo y las rocas también transportan los minerales disgregados a los lugares donde son extraídos.

Los agregados triturados, son aquellos materiales sometidos a procesos mecánicos de fragmentación con la finalidad de reducir sus tamaños. Se pueden triturar materiales de todo tipo, desde rocas naturales (es lo más común), concreto reciclado, escoria de altos hornos enfriada al aire, e inclusive cenizas industriales (que sirven como arena). Los agregados artificiales son los materiales producidos por el hombre, desde el concreto reciclado hasta los materiales de desecho de industrias y el acero de desecho, este último es utilizado en fragmentos pequeños como agregado grueso.

Minerales	Rocas ígneas	Rocas metamórficas
Sílice	Granito	Mármol
Cuarzo	Sienita	Metacuarcita
Ópalo	Diorita	Pizarra
Calcedonia	Gabro	Filita
Tridimita	Periodita	Esquisto
Cristobalita	Pegmatita	Anfibolita
Silicatos	Vidrio volcánico	Hornfels (roca córnea)
Feldespato	Obsidiana	Gneis
Ferromagnesiano	Piedra pómez	Serpentinita
Homblenda	(pumita)	
Augita	Tufa (toba	
Arcilla	volcánica)	
Illitas	Cagafierro	
Caolines	Perlita	
Cloritas	Vidrio volcánico	
Montmorinollita	Felsita	
Mica	Basalto	
Ceolita	Rocas	
Carbonato	Sedimentarias	
Calcita	Conglomerado	
Dolomita	Arenisca	
Sulfato	Cuarcita	
Yeso	Grauvaca	
Anhidrita	Subgrauvaca	
Sulfuro de hierro	(molasa)	
Pirita	Arcosa	
Marcasita	Piedra arcillosa,	
Pirolita	limonita,	
Óxido de hierro	argilita y esquisto	
Magnetita	Carbonatos	
Hematita	Caliza	
Goetita	Dolomita	
Ilmenita	Marga	
Limonita	Greda (creta)	
	Chert	

Tabla 2.1. Componentes minerales y rocosos de los agregados.

Fuente: Kosmatka y Panarese; 1992: 32.

Los agregados especiales, según Kosmatka y Panarese (1992) y Merritt y Cols. (2008), son aquellos que poseen características diferentes y específicas que afectan directamente las propiedades del concreto terminado. Por ejemplo, los agregados ligeros estructurales y no estructurales, son materiales que debido a su origen geológico poseen bajo peso y sirven para producir concreto con bajo peso volumétrico, dependiendo de su resistencia pueden o no, ser utilizados para constituir estructuras de concreto.

Los agregados de densidad elevada, gracias a su gran peso por unidad de volumen son utilizados para concretos de alta densidad empleados como blindaje. Los agregados pre colados, pueden ser de casi cualquier tipo, siempre y cuando cumplan con las características para ser colocados en una cimbra previamente, antes de recibir el mortero inyectado. Existen otros tipos de agregados especiales, que adquieren este calificativo por que se eligen con ciertas características, como es el caso de los agregados para producir concreto blanco y de color, estos agregados no deben tener componentes que decoloren el concreto.

“El origen de los agregados y su composición mineralógica es importante, principalmente en los estudios preliminares, para definir la posibilidad de reacciones nocivas con los componentes alcalinos del cemento.” (Ortiz; 1986: 27) Aun cuando la reacción álcali-cemento no es muy frecuente, se deben tomar medidas preventivas como la realización de ensayos y pruebas de laboratorio (basadas en las normas) que excluyan toda posibilidad de ocurrencia de dicho fenómeno. Lo anterior es indispensable cuando no se tienen registros anteriores del comportamiento de los agregados en cuestión, cuando existan registros previos del comportamiento de los

agregados que ratifiquen la inexistencia de dichas reacciones, el ingeniero encargado de verificar la calidad de los agregados en cuestión, podrá optar en base a los registros y a lo establecido en la norma si puede prescindir de las pruebas de laboratorio.

2.2.2. Clasificación por peso.

Para Kosmatka y Panarese (1992), Merritt y Cols. (2008) y Ortiz (1986), resulta relevante hacer esta clasificación, ya que se deben diferenciar de los agregados comunes, los materiales muy pesados o muy ligeros que por sus respectivos pesos volumétricos se utilizan para fabricar concretos con características específicas. El conocimiento del peso de los agregados es importante para el proporcionamiento de las mezclas, para el cálculo del peso del concreto fraguado y, en consecuencia, para diseñar y conocer el peso de los elementos estructurales, sobre todo cuando el peso de las construcciones juega un papel importante en el comportamiento y funcionamiento de la estructura. Esta forma de clasificar a los agregados sugiere una división en tres grupos: Agregados de peso normal, agregados muy densos y agregados ligeros.

Los agregados que se utilizan con mayor frecuencia son la arena, la grava, la piedra triturada y la escoria de alto horno enfriada al aire; los concretos fabricados con estos tipos de agregados producen mezclas de peso normal, pesando aproximadamente de 2100 a 2600 kg/m³.

“Los agregados ligeros se pueden obtener por expansión de arcilla, esquisto, pizarra, perlita, obsidiana, y vermiculita por calor; mediante la expansión de escoria

de alto horno con procesos especiales de enfriamiento; a partir de yacimientos de piedra pómez, escoria, cenizas volcánicas, toba y diatomita; y de cenizas industriales.” (Merritt y Cols.; 2008: 5.15) Los agregados de esquisto, pizarra, arcilla o escoria expandida se utilizan para producir concreto ligero estructural con un peso volumétrico que varía aproximadamente de 1440 a 1920 kg/m³. Materiales ligeros, como: piedra pómez, escoria, perlita, vermiculita, y diatomita se usan para producir concretos ligeros aislantes de ruido que pesan de 240 a 1440 kg/m³.

Cuando se requiere un concreto que sirva de blindaje ante la radiación, como es el caso de los reactores nucleares, se fabrica concreto de alta densidad; ya que la absorción de rayos gamma es proporcional a la densidad. Para lograr altas densidades en el concreto se utilizan materiales de altos pesos volumétricos. Algunos son derivados de canteras y minerales, como la barita, limonita, magnetita, ilmenita y hematita. Otros son productos de hierro, como las municiones de acero (como agregado fino) y partículas de acero (como agregado grueso). Los concretos densos pueden llegar a pesar 4800 kg/m³, e incluso 6400 kg/m³, cuando se usan partículas de acero.

2.2.3. Clasificación por tamaño de acuerdo al SUCS.

Los agregados también pueden ser clasificados por la medición de sus partículas. La clasificación más general es la propuesta por Merritt y Cols. (2008), en la cual, en orden descendente por tamaños se tiene primeramente a las piedras-bola con tamaños superiores a 6” (6 pulgadas), después están los pedruscos con tamaños inferiores a las 6” pero superiores a 3”, posteriormente está el agregado

grueso que no ha de superar las 3" pero sus partículas no pasan por el tamiz del No. 4, en seguida se encuentra el agregado fino que pasa el tamiz No.4 y se retiene en la malla No. 200 y finalmente, queda el relleno mineral que es todo el material que pasa la malla No. 200.

La clasificación por tamaños, se basa en los análisis granulométricos, mismos que serán explicados a fondo en los apartados 3.1 y 4. En este apartado, se abordará la clasificación de los suelos, que propone el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Debido a que este sistema es universal y engloba a cualquier tipo de suelo, es aceptado a nivel internacional como el parámetro inicial y único para clasificar los suelos. Es cierto, como ya se vio anteriormente, que no todos los agregados son de origen natural, es decir, que los agregados artificiales y manufacturados no necesariamente provienen de la degradación de los suelos, razón por la cual no entran propiamente dentro de los materiales clasificables por el SUCS, sin embargo, se verá más adelante que precisamente del SUCS, emanan los procedimientos de gradación, los cuales si permiten clasificar cualquier material granular sin importar su origen.

Según Juárez (2011), en el intento por clasificar la inmensa variedad de suelos existentes en la superficie terrestre, el hombre ideó varios sistemas de clasificación. Finalmente, dadas las controversias y las dificultades de tener distintos sistemas de clasificación, se optó por crear un sistema que sirviera como método general de clasificación. Entonces, en base al Sistema de Clasificación de Aeropuertos ya existente, se desarrolló el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), que posteriormente sería adoptado a nivel internacional.

2.2.3.1. Representación de la distribución granulométrica.

De los procedimientos descritos en los apartados 3.1 y en el capítulo 4, se obtienen datos suficientes para dibujar la curva granulométrica dentro de una gráfica logarítmica que establece en las abscisas el tamaño de las partículas (las aberturas de las mallas), y en las ordenadas el porcentaje en peso, de material que pasa cada malla. (Figura 2.2.).

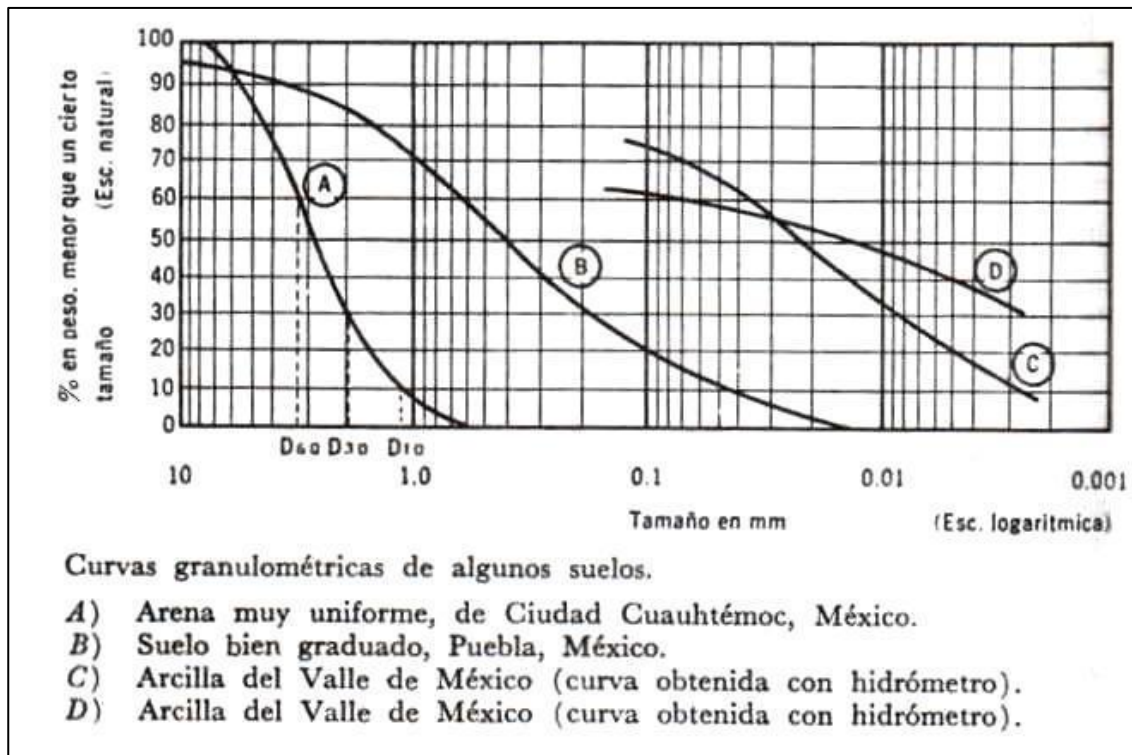


Tabla 2.2. Curvas Granulométricas de suelos de México.

Fuente: Juárez; 2011: 100.

La forma de las curvas granulométricas describe su uniformidad, pues una curva muy vertical significa que casi todas las partículas son de un solo tamaño, lo

cual no es deseable en un suelo y se puede decir que es muy uniforme. Por otra parte, las curvas más tendidas representan suelos bien graduados con amplia gama de tamaños de partículas, y en consecuencia son poco uniformes.

Juárez (2011), atestigua que Allen Hazen propuso un coeficiente de uniformidad (C_u), que más bien "...es un coeficiente de *no uniformidad* pues su valor decrece cuando la uniformidad aumenta." (Juárez; 2011: 101); y que se calcula como sigue:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Donde:

D_{10} = Diámetro efectivo, o sea el diámetro que corresponde a las partículas cuyo tamaño es mayor o igual que el 10% en peso del total de las partículas de un suelo.

D_{60} = Diámetro que corresponde a las partículas cuyo tamaño es mayor o igual que el 60% en peso del total de las partículas de un suelo.

D_{30} = Diámetro que corresponde a las partículas cuyo tamaño es mayor o igual que el 30% en peso del total de las partículas de un suelo.

A continuación, se define también, el coeficiente de curvatura (C_c):

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{10})(D_{60})}$$

2.2.3.2. Carta de Plasticidad.

Dicho por Juárez (2011), la plasticidad de un suelo se debe a la existencia de partículas finas laminares en su estructura y se puede definir "...como la propiedad de un material por la cual es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse." (Juárez; 2011: 127) Atterberg hizo ver que la plasticidad de las arcillas es circunstancial y depende del contenido de agua de las mismas. Una misma arcilla puede presentar la consistencia de un ladrillo o de un lodo dependiendo del contenido de agua. Los suelos finos pueden encontrarse en diferentes estados en función del contenido de agua que posean, Atterberg los definió como estados de consistencia. Las teorías de Atterberg se pueden resumir como sigue:

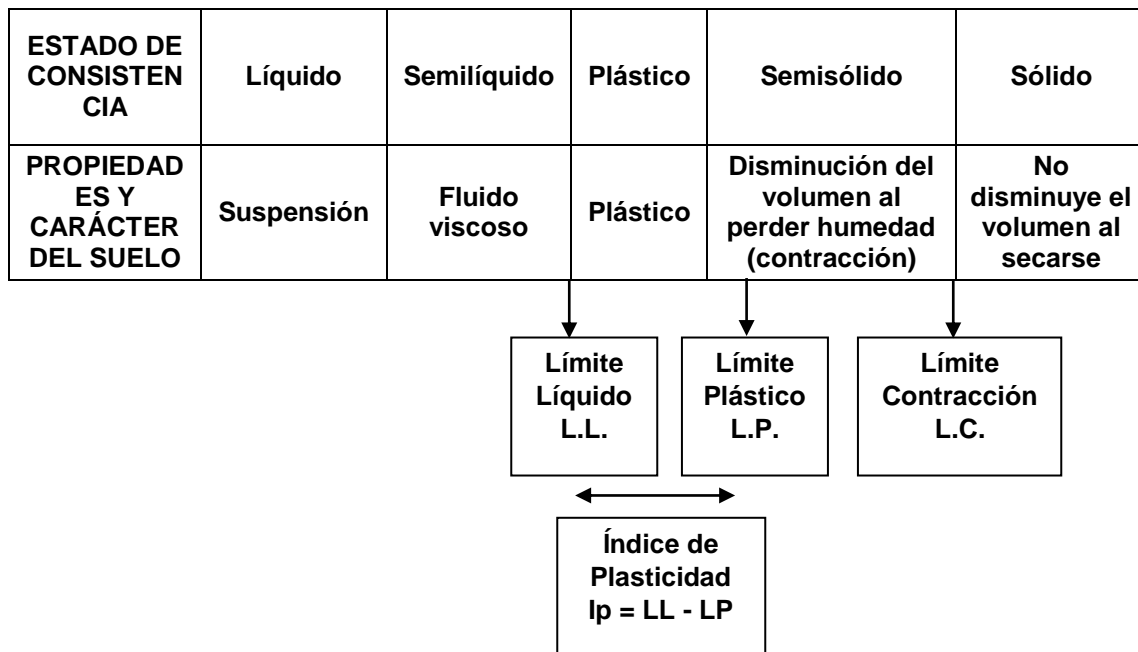


Tabla 2.3. Estados de Consistencia y Límites de Atterberg.

Fuente: Propia; 2012.

El límite líquido (L.L.) es el contenido de agua de un suelo para el cual este tiene una resistencia al esfuerzo cortante de 25 gr/cm^2 , su valor se determina en el laboratorio por medio del método de la copa de Casagrande. El límite plástico (L.P.) es el contenido de agua según el cual el suelo comienza a perder sus propiedades plásticas para pasar a un estado semisólido. Su determinación en el laboratorio se logra formando rollitos de la mezcla suelo-agua, de 3mm de espesor, hasta que en los rollitos se presenta el agrietamiento o desmoronamiento; en ese momento se determinará rápidamente el contenido de agua, que es el límite plástico. El Índice plástico (I_p) se obtiene de la operación: $LL - LP$. Los aportes de Atterberg concluyen en la Carta de Plasticidad (Tabla 2.4.), que es la herramienta por medio de la cual se clasifica la fracción fina de los suelos.

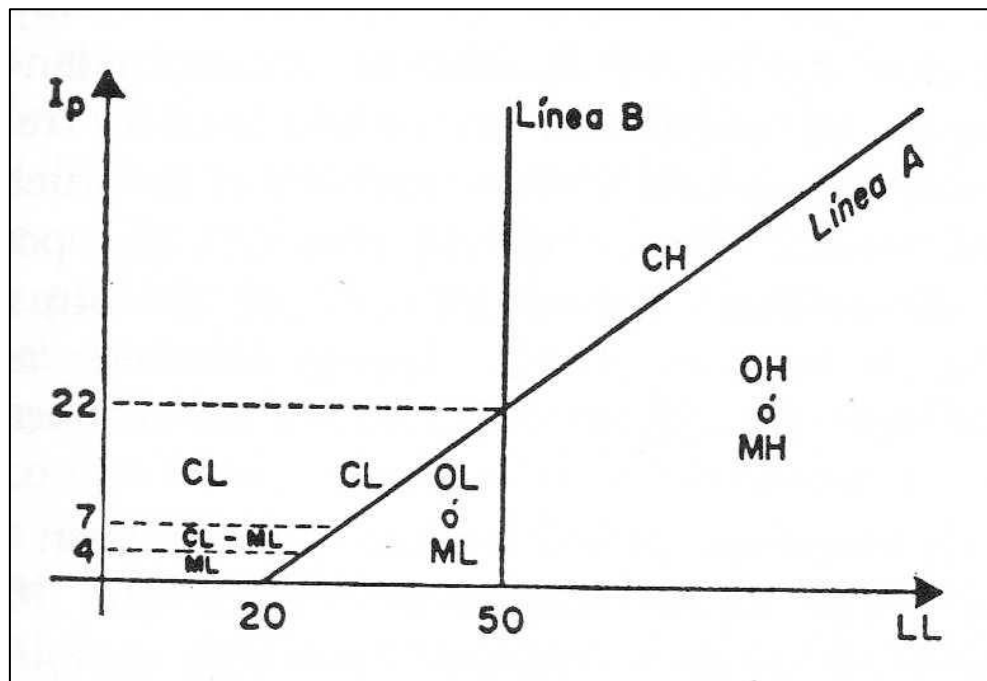


Tabla 2.4. Carta de Plasticidad.

Fuente: Juárez; 2011: 155.

Básicamente la Carta de Plasticidad (Tabla 2.4.) divide a los finos en 4 grandes grupos. Primeramente, la Línea A, divide a las arcillas (con alta plasticidad) de los limos y finos orgánicos (con baja plasticidad); a su vez la línea B divide a cada grupo en alta compresibilidad (H) $LL > 50\%$ y baja compresibilidad (L) $LL < 50\%$. Existen dos divisiones pequeñas que corresponden a los casos de frontera y que se explican a continuación.

2.2.3.3. Fundamentos del SUCS.

“El sistema divide a los suelos en 2 grandes fracciones: la gruesa, formada por partículas mayores que la malla No. 200 (0.074 mm) y menores que la malla de 3” (7.62 cm) y la fina, formada por las partículas que pasan la malla No. 200...La fracción gruesa se subdivide en gravas y arenas, teniendo como frontera la malla No. 4 (4.76 mm)...” (Juárez; 2011: 150) Por lo tanto, si más del 50% en peso de un suelo o material queda retenido en la malla No. 4 se tratará de una grava (se abrevia con una “G” de “*grave*”, que significa grava en inglés); y si más del 50% en peso del material pasa la malla No. 4 se tratará de una arena (se abrevia con una “S” de “*sand*”, que significa arena en inglés). Ahora bien, si más del 50% en peso del material pasa de la malla No. 200 se trata de un material fino. La fracción fina puede estar compuesta de arcilla, limo, turba y suelos altamente orgánicos; y también se divide en grupos.

Las gravas y las arenas al ser producto de la degradación de los suelos pueden contener ciertos porcentajes de partículas finas que pueden llegar a modificar el comportamiento mecánico del material. Si la grava o arena contienen un

porcentaje inferior a 5% de finos, se consideran limpias y sólo se clasificarán en base a su granulometría, pudiendo ser: Grava bien graduada (GW), grava mal graduada (GP), arena bien graduada (SW) o arena mal graduada (SP); la “W” proviene del inglés, “*Well graded*”, y La “P” proviene del inglés, “*Poorly graded*”. Cuando la grava y la arena contienen más del 12% de finos se consideran contaminadas por estos, por lo tanto, mal graduadas, dando lugar así a las siguientes clasificaciones: Gravas limosas (GM), gravas arcillosas (GC), arenas limosas (SM) y arenas arcillosas (SC); la “M” proviene del sueco, “*Mo y Mjala*”, y La “C” proviene del inglés, “*Clay*”. Cuando la arena o la grava contengan entre 5% y 12% de finos, se clasifican como casos frontera, que requieren el uso de símbolos dobles y se explicarán más adelante.

Para que una grava pueda considerarse bien graduada (GW) debe cumplir con un coeficiente de uniformidad (C_u) mayor de 4 y con un coeficiente de curvatura (C_c) entre 1 y 3, las arenas bien graduadas (SW) deben cumplir con un coeficiente de uniformidad (C_u) mayor de 6 y con un coeficiente de curvatura (C_c) entre 1 y 3. Si no cumplen los anteriores requisitos, tanto gravas como arenas se considerarán mal graduadas, GP y SP, respectivamente. Las gravas y arenas limosas (GM y SM), deben tener sus límites de Atterberg por debajo de la línea “A” (Tabla 2.4.) o un Índice de Plasticidad (I_p) menor de 4. Las gravas y arenas arcillosas (GC y SC), deben tener sus límites de Atterberg por encima de la línea “A” (Tabla 2.4.) o un Índice de Plasticidad (I_p) mayor de 7. Cuando los grupos GM, SM, GC y SC tengan los límites de Atterberg por encima de la línea “A” y un Índice de Plasticidad (I_p) entre 4 y 7, se considerarán casos límite y se emplearán los símbolos dobles GM-GC para gravas y SM-SC para arenas.

Para los casos frontera en suelos gruesos que contengan entre 5% y 12% de finos, se asignará un símbolo doble (por ejemplo: SW-SM), de la siguiente manera: La primera parte del símbolo se elige definiendo si se trata de una grava o de una arena, bien o mal graduada en base al “Cu” y al “Cc”. La segunda parte del símbolo empezará con la misma inicial de la primera parte, ya sea la S o la G, la última letra se obtiene de la primera sigla del símbolo resultante de clasificar los finos del material grueso en cuestión, por medio de la gráfica de plasticidad; de tal manera que al elegir de los grupos de suelos finos (ML, CL, OL, MH, CH, y OH), se podrán tomar únicamente las iniciales M, C, o L; según sea el caso sin importar si son de alta compresibilidad (H) o baja compresibilidad (L). Para los suelos gruesos, “Cuando un material no cae claramente dentro de un grupo, deberán usarse también símbolos dobles, correspondientes a casos de frontera. Por ejemplo, el símbolo GW-SW se usará para un material bien graduado, con menos del 5% de finos y formada su fracción gruesa por iguales proporciones de grava y arena.” (Juárez; 2011: 154)

Cuando se trate de un material fino, se usará igualmente un símbolo formado por dos siglas. La primera letra atenderá a uno de los siguientes grupos: Limos inorgánicos (M), arcillas inorgánicas (C) o limos y arcillas orgánicos (O) (esta última del inglés “*organic*”). “Cada uno de estos tres tipos de suelos se subdividen, según su límite líquido, en dos grupos. Si este es menor de 50%, es decir, si son suelos de compresibilidad baja o media, se añade al símbolo genérico la letra L (*low compressibility*), obteniéndose por esta combinación los grupos *ML*, *CL* y *OL*. Los suelos finos con límite líquido mayor de 50%, o sea de alta compresibilidad, llevan tras el símbolo genérico la letra H (*high compressibility*), teniéndose así los grupos

MH, CH y OH... Los suelos altamente orgánicos, usualmente fibrosos, tales como turbas y suelos pantanosos, extremadamente compresibles, forman un grupo independiente de símbolo *Pt* (del inglés *peat*; turba) ...El límite líquido de estos suelos suele estar entre 300% y 500%, quedando su posición en la Carta de Plasticidad netamente debajo de la línea A; el índice plástico normalmente varía entre 100% y 200%.” (Juárez; 2011: 155-157) De igual manera que en suelos gruesos, para los suelos finos se usarán símbolos dobles cuando el material no coincida con ningún grupo, “Por ejemplo, MC-CH representará un suelo fino con LL>50% e índice plástico tal que el material quede situado prácticamente sobre la línea A.” (Juárez; 2011: 157)

El SUCS también abarca dentro de sus criterios de clasificación, la descripción del material y los métodos de identificación de suelos finos y gruesos en campo. El SUCS resume en una tabla, todos los procedimientos necesarios para clasificar los suelos. (Véase Anexo A)

2.2.4. Clasificación por forma o textura.

Varios autores como Neville y Brooks (1998), Ortiz (1986) y Kosmatka y Panarese (1992); hacen referencia a la forma y textura de la partícula del agregado como una característica que afecta de manera importante la compactación y trabajabilidad del concreto, más cuando está fresco que cuando ha endurecido. Es difícil describir con exactitud la forma de las partículas tridimensionales que poseen los agregados, a pesar de esto, existen criterios de clasificación que agrupan la infinidad de formas en unos cuantos grupos, identificables a simple vista. Las

clasificaciones por forma y textura pueden generar ambigüedades, sin embargo, no representan un factor determinante que afecte su elección para elaborar concreto. Un primer parámetro para clasificar la forma de las partículas es la *redondez*.

“La *redondez* mide la angulosidad o agudeza relativa de las orillas y las esquinas de una partícula. La redondez real es consecuencia de la resistencia al desgaste y a la abrasión de la roca de origen, y al grado de desgaste que ha sido sometida la partícula.” (Neville y Brooks; 1998: 41) La redondez de los agregados triturados depende de la dureza de la roca origen, del equipo de trituración empleado y de la relación entre el tamaño de la roca por triturar y el tamaño de la partícula ya triturada. En cuanto a niveles o grados de redondez Neville y Brooks (1998) exponen la siguiente clasificación:

- Totalmente redonda: Ninguna cara original.
- Redondeada: Caras casi desaparecidas.
- Semiredondeada: Desgaste considerable, área reducida de las caras.
- Semiangular: Con algún desgaste, pero conserva intactas las caras.
- Angular: Con poca evidencia de desgaste.

Existe otra clasificación, propuesta por la Norma BS 812 citada por Neville y Brooks (1998), en cuanto a la forma de la partícula:

- Redondeado: Completamente desgastada por agua y fricción. Ejemplo: Grava de río o playa; arena del desierto, de la playa o del viento.

- Irregular: Naturalmente irregular, o parcialmente moldeado por fricción y con bordes pulidos. Ejemplo: Otras gravas, pedernal de tierra o excavado.
- Escamosa: Material cuyo espesor es pequeño en relación con las otras dos dimensiones. Ejemplo: Roca laminada.
- Angular: Posee bordes bien definidos formados en la intersección de caras planas. Ejemplo: Rocas trituradas de todos tipos, escoria triturada.
- Alargada: Material angular en el que la longitud es considerablemente mayor que las otras dos dimensiones.
- Escamosa y Alargada: Material con longitud considerablemente mayor que el ancho, y ancho considerablemente mayor que el espesor.

También resulta útil, para identificar que tan redonda es una roca o partícula, la imagen 2.1.



Imagen 2.1. Redondez o Angulosidad de las partículas.

Fuente: Secretaría de Recursos Hidráulicos; 1967: 27.

En cuanto a la textura de los agregados se debe observar que tan tersa o rugosa y que tan áspera o pulida es la superficie de la partícula. Un criterio recomendable de clasificación de las texturas es el propuesto por Neville y Brooks (1998) en la Tabla 2.5.

GRUPO	TEXTURA DE LA SUPERFICIE	CARACTERÍSTICAS	EJEMPLOS
1	Vidriosa	Fractura concoidal	Pedernal negro, escoria vítrea
2	Pulida	Desgastado por agua, o debido a fractura de laminado o roca de grano fino	Gravas, esquisto, pizarra, mármol, algunas riolitas
3	Granulosa	Fracturas que muestran granos uniformes más o menos pulidos	Arenisca, oolita
4	Rugosa	Fractura rugosa de roca granular fina –o media- que tiene constituyentes cristalinos que no se pueden ver fácilmente	Basalto, felsita, pórfido, caliza
5	Cristalina	Contiene constituyentes cristalinos fácilmente visibles	Granito, gabro, gneis
6	Panal de abeja	Con cavidades y poros visibles.	Ladrillo, pómez, escoria espumosa, ladrillo, vítreo, barro expandido

Tabla 2.5. Clasificación, con ejemplos, de la textura superficial de los agregados.

Fuente: Neville y Brooks; 1998: 43.

Como ya se han explicado los conceptos de agregados naturales, procesados y artificiales, agregados finos y gruesos; y se han agrupado los diferentes tipos de agregados en cuatro clasificaciones. Corresponde ahora, tratar a cerca de los parámetros que permiten evaluar las condiciones de los agregados.

2.3. Características y propiedades de los agregados.

Los agregados, por el hecho de ser materiales, tienen propiedades y características que definen su comportamiento. Estas cualidades permiten al usuario, evaluar la calidad del agregado; ya que en general, “los agregados deben cumplir con ciertas reglas para darle un uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y de otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento.” (Kosmatka y Panarese; 1992: 31) En el apartado anterior, se explicó que los agregados provienen de procesos naturales y artificiales. Muchas características del agregado dependerán de las propiedades de la roca o material inicial que les dio origen. Al basarse en los conocimientos de Merrit y Cols. (2008), Kosmatka y Panarese (1992), Ortiz (1986), Neville y Brooks (1998), Love (2006) y ACI (1968); es correcto aceptar que las características más importantes de los agregados, son las especificadas en los apartados siguientes.

2.3.1. Granulometría.

La granulometría puede definirse, según Kosmatka y Panarese (1992), Neville y Brooks (1998) y Love (2006); como la distribución de los distintos tamaños de partícula de un agregado, clasificándolos por medio de un conjunto de tamices (que son marcos con mallas metálicas de orificios cuadrados con tamaños exactos). El procedimiento para determinar la granulometría (Imagen 2.2), consiste básicamente en hacer pasar una muestra (previamente pesada) del agregado por un conjunto de mallas, para conocer qué porcentaje de material es retenido en cada una y poder comparar los resultados con los valores límites establecidos por normatividad.

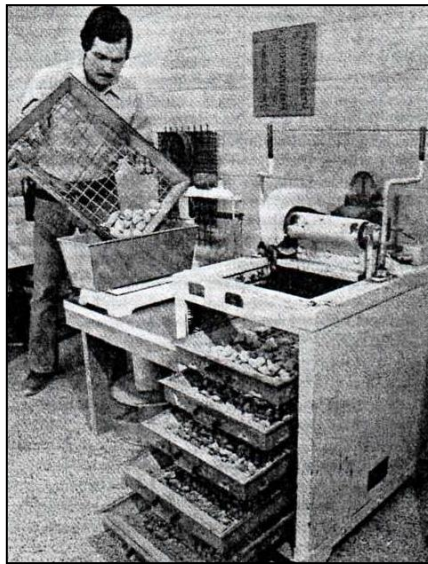


Imagen 2.2. Elaboración de una granulometría de agregado grueso en el laboratorio.

Fuente: Kosmatka y Panarese; 1992: 34.

Se pueden realizar dos análisis granulométricos: uno para agregados gruesos y otro para agregados finos. Respectivamente, las gravas se clasifican en 13 rangos de tamaños y se utilizan 13 mallas para obtener los porcentajes de material retenido (Tabla 2.6.), por otra parte, las arenas sólo se clasifican en un tamaño y requieren únicamente 7 tamices (Tabla 2.7.). Se compara la granulometría del material con los límites granulométricos establecidos en la Norma Oficial Mexicana (N-CMT-2-02-002/02) para determinar el tamaño máximo del agregado y generar la curva granulométrica.

La granulometría y el tamaño máximo del agregado afectan directamente el proporcionamiento de la mezcla de concreto. Kosmatka y Panarese (1992), ACI (1968), Neville y Brooks (1998) y Love (2006) coinciden en que las características granulométricas de los agregados determinan los volúmenes relativos de agregado grueso y fino a utilizar en el concreto, también juegan un papel importante en la demanda de agua y por consiguiente en la relación agua-cemento. Un agregado con buena granulometría hará más económica la mezcla, disminuirá los fenómenos de contracción, segregación y sangrado del concreto al fraguar, dará mayor trabajabilidad al concreto fresco, facilitando las operaciones de bombeo; permitirá dar mejores acabados y concederá gran durabilidad al concreto terminado. Aunque se pueden fabricar concretos con agregados de granulometrías discontinuas con resultados aceptables, siempre es recomendable usar agregados que posean curvas granulométricas suaves y un tamaño máximo del agregado que cumpla con los límites de la Norma.

El tamaño máximo del agregado depende del uso que se le dará al concreto y sus límites se especifican más adelante. Una buena granulometría es aquella donde existe gran variedad de tamaños de partícula en proporciones semejantes, lo que permite reducir los vacíos entre los granos gruesos y finos, mismos que finalmente ocupará la pasta de cemento y agua. “La demanda de pasta de cemento en el concreto es proporcional al contenido de vacíos de los agregados combinados.” (Kosmatka y Panarese; 1992: 34) De todos los componentes del concreto el cemento es el más costoso, por lo tanto, mientras menos cemento se utilice para aglomerar a los agregados más barato será el concreto.

En la figura 2.3. se explica como una mejor distribución de tamaños en los agregados disminuye los vacíos. Este razonamiento puede llevar a pensar que lo ideal sería llevar los vacíos al mínimo, lo anterior es incorrecto, ya que las mezclas serían demasiado rígidas para trabajarse y la pasta no llegaría uniformemente a todos los vacíos. En realidad, el volumen de cementante en un concreto es mayor que el volumen de vacíos entre agregados como se muestra en la figura 2.4.

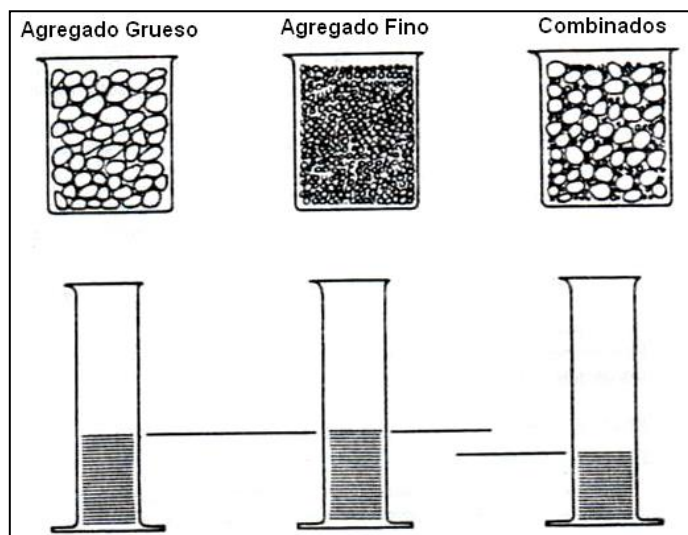


Figura 2.3. El nivel del líquido en las probetas, que representa a los vacíos, es constante para iguales volúmenes absolutos de agregados con tamaño uniforme, aunque distinto. Cuando los distintos tamaños se combinan, la cantidad de vacíos disminuye.

Fuente: Kosmatka y Panarese; 1992: 34.

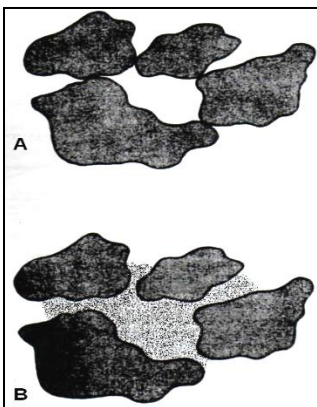


Figura 2.4. A) Volumen de los vacíos entre partículas de agregado suelto sin cemento, las partículas se encuentran pegadas unas con otras. B) Volumen mayor que en A ocupado por pasta de cemento y agua en la mezcla de concreto, la partícula de agregado está ligeramente separadas por la pasta aglutinante.

Fuente: Kosmatka y Panarese; 1992: 35.

2.3.1.1. Granulometría del Agregado Grueso.

Los límites granulométricos que marca la Norma Oficial Mexicana (N-CMT-2-02-002/02) para cada tamaño nominal son los especificados en la Tabla 2.6., que se presenta a continuación:

Malla mm (designación)	Tamaño nominal mm												
	90 a 40	64 a 40	50 a 25	50 a 5	40 a 20	40 a 5	25 a 13	25 a 10	25 a 5	20 a 10	20 a 5	13 a 5	10 a 2,5
	Porcentaje retenido acumulado												
101 (4")	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
89 (3½")	0 - 10	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
75 (3")	--	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
63 (2½")	75 - 40	0 - 10	0	0	--	--	--	--	--	--	--	--	--
50 (2")	--	30 - 65	0 - 10	0 - 5	0	0	--	--	--	--	--	--	--
37,5 (1½")	85 - 100	85 - 100	30 - 65	--	0 - 10	0 - 5	0	0	0	--	--	--	--
25 (1")	--	--	85 - 100	30 - 65	45 - 80	--	0 - 10	0 - 10	0 - 5	0	0	--	--
19 (¾")	95 - 100	95 - 100	--	--	85 - 100	30 - 65	45 - 60	15 - 60	--	0 - 10	0 - 10	0	--
12,5 (½")	--	--	95 - 100	70 - 90	--	--	90 - 100	60 - 90	40 - 75	45 - 60	--	0 - 10	0
9,5 (¾")	--	--	--	--	95 - 100	70 - 90	95 - 100	85 - 100	--	85 - 100	45 - 80	30 - 60	0 - 15
4,75 (N°4)	--	--	--	95 - 100	--	95 - 100	--	95 - 100	90 - 100	95 - 100	90 - 100	85 - 100	70 - 90
2,36 (N°8)	--	--	--	--	--	--	--	--	95 - 100	--	95 - 100	95 - 100	90 - 100
1,18 (N°16)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	95 - 100

La norma establece también que: "Cuando se tengan agregados gruesos fuera

Tabla 2.6. Límites Granulométricos para Agregados Gruesos.

Fuente: N-CMT-2-02-002/02; 2002: 7.

de los límites establecidos en el inciso anterior, ...” (Lo cual hace referencia a cumplir con los límites granulométricos de la Tabla 2.6), “...se les dará algún tratamiento para que cumplan con dichos límites. En el caso de que se acepte que los agregados gruesos no cumplan con los límites indicados, se ajustará el proporcionamiento del concreto hidráulico para compensar las deficiencias granulométricas, debiéndose demostrar, a juicio de la secretaría que el concreto fabricado con el nuevo proporcionamiento tiene un comportamiento adecuado.” (N-CMT-2-02-002/02; 2002: 7-8) En las obras de Kosmatka y Panarese (1992) y Love (2006), se concluye que: aun cuando es posible cambiar el proporcionamiento de las mezclas de concreto para contrarrestar las deficiencias granulométricas, resulta más económico disminuir las variaciones en la gradación a través de la supervisión de los procesos de fabricación, selección y manejo de los agregados. Lo anterior justifica la importancia de que los proveedores de agregados se rijan por métodos adecuados de manufactura, mismos que serán descritos en el apartado 2.3.4.

En la Tabla 2.6 se pueden observar en la primera columna del lado izquierdo las 13 mallas de gradación, mientras que en la fila superior se encuentran los tamaños nominales para el agregado grueso. Para cada tamaño nominal de agregado grueso se establecen rangos permisibles, de material retenido acumulado en cada malla, expresado en porcentaje. Los valores de la Tabla 2.6 permiten elegir entre gran variedad de tamaños y a su vez los límites estipulados para cada uno son amplios, lo anterior se puede traducir según Kosmatka y Panarese (1992) en que la granulometría de las gravas puede variar moderadamente sin incrementar la demanda de agua y cemento, siempre y cuando no se merme la trabajabilidad de la

mezcla. De la misma manera, Neville y Brooks (1998) explican que "...la resistencia es independiente de la gradación." (Neville y Brooks; 1998: 55) sin embargo, para que el concreto desarrolle la resistencia requerida es necesaria una compactación máxima, y a su vez para lograr una adecuada compactación es indispensable una trabajabilidad suficiente.

2.3.1.1.1. Tamaño Máximo del Agregado Grueso.

Para evitar posibles confusiones, se definirá el concepto de tamaño máximo del agregado para diferenciarlo del tamaño nominal del agregado. Kosmatka y Panarese (1992) al apoyarse en lo dicho por el Instituto Americano del Concreto (American Concrete Institute, ACI) y la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (American Society for Testing and Materials, ASTM) definen los anteriores conceptos como sigue: "El tamaño máximo de un agregado, es el menor tamaño de malla por el cual *todo* el agregado debe pasar. El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado." (Kosmatka y Panarese; 1992: 37) La malla de tamaño máximo nominal para cada tamaño de agregado, debe retener de un 5% a un 15% del material. Por ejemplo, para una grava con tamaños de 13mm a 25mm se tiene un tamaño máximo del agregado de 37.5mm (1½ ") y un tamaño máximo nominal de 25mm (1"). (véase tabla; 2.6.)

Tal como se contempló en el inicio, Kosmatka y Panarese (1992) y Love (2006) se basan en la experimentación y en los aportes de otros autores para declarar que el tamaño máximo del agregado afecta inversamente la demanda de

mortero (mezcla de arena, cemento, agua y aire), es decir, mientras más grandes sean las partículas del agregado grueso menor será la cantidad necesaria de los demás materiales. También aseveran que para una relación agua-cemento dada, la demanda de cemento y la demanda de agua tienden a disminuir con el aumento del tamaño de los agregados gruesos.

Hay una excepción para las afirmaciones anteriores, el concreto de alta resistencia requiere, contrario a lo que se pensaría, el menor tamaño máximo de partículas posible; esto se debe a que la resistencia a la compresión de concretos de este tipo depende de la resistencia de la pasta, de la adherencia agregado-cemento y de la resistencia de las partículas del agregado y por lo tanto partículas muy grandes complican la adecuada adherencia y el desempeño de la pasta.

El tamaño máximo del agregado grueso también tiene sus limitantes, que se encuentran principalmente en la trabajabilidad y en el tipo de estructura o elemento que se pretende construir. Al revisar las obras de Arnal (2005), Kosmatka y Panarese (1992) y Love (2006) se enuncia lo siguiente:

El tamaño nominal máximo de los agregados no debe ser mayor que:

- a) Un quinto ($1/5$) de la dimensión más pequeña del miembro de concreto;
- b) Un tercio ($1/3$) del espesor de losas; ni

- c) Tres cuartos (3/4) de la separación horizontal libre mínima entre barras, paquetes de barras, o tendones de presfuerzo.

Estos requisitos pueden omitirse cuando, a juicio del ingeniero responsable, las condiciones del concreto fresco y los procedimientos de compactación que se apliquen permitan colocar el concreto sin que queden huecos, vacíos o alveolados.

Se puede concluir que el tamaño máximo del agregado es un parámetro, que, si bien no es determinante del tamaño de las partículas de la muestra, si permite regular la manejabilidad de la mezcla y la demanda de agua y cemento. Además, dependiendo del elemento que se pretenda fabricar se tendrá que elegir el tamaño máximo del agregado que se puede emplear para garantizar la eficacia de los procesos constructivos, de fraguado y comportamiento de las estructuras.

2.3.1.1.2. Material que pasa la malla No. 200 (0.075 mm).

La Norma Oficial Mexicana establece que al hacer el análisis granulométrico en gravas: “El porcentaje de material que pasa la malla N°200 (0,075 mm de abertura) en el agregado grueso, ..., será del dos (2) por ciento. Sin embargo, en el caso de agregados triturados, si el material que pasa la malla N°200, está constituido por el polvo producto de la trituración, exento de arcillas o pizarras, el contenido máximo podrá ser hasta de tres (3) por ciento.” (N-CMT-2-02-002/02; 2002: 8) Los efectos de partículas finas (que pasan la malla N°200) o indeseables se detallarán más adelante.

2.3.1.2. Granulometría del Agregado Fino.

Los límites granulométricos que marca la Norma Oficial Mexicana (N-CMT-2-02-002/02) para el agregado fino son los especificados en la Tabla 2.7. De acuerdo con Kosmatka y Panarese (1992), Neville y Brooks (1998) y Love (2006), la granulometría más adecuada del agregado fino depende del uso que se le dará al concreto, del tamaño máximo del agregado y de la riqueza de la mezcla. En mezclas pobres (con poco contenido de cemento) y en mezclas con agregados gruesos de tamaño pequeño, se recomiendan las arenas más finas para dar una mejor trabajabilidad. “En general, si la relación agua-cemento se mantiene constante y la relación del agregado fino a grueso se elige correctamente, se puede hacer uso de un amplio rango en la granulometría sin tener un efecto apreciable en la resistencia.” (Kosmatka y Panarese; 1992: 35)

Malla		Porcentaje retenido acumulado ^[1]
Abertura mm	Designación	
9,5	3/8"	0
4,75	N°4	0 - 5
2,36	N°8	0 - 20
1,18	N°16	15 - 50
0,6	N°30	40 - 75
0,3	N°50 ^[2]	70 - 90
0,15	N°100 ^[2]	90 - 98

[1] El retenido parcial de la masa total en cualquier malla, no será mayor de 45%.

[2] Si los agregados van a ser empleados en concretos con aire incluido y con un contenido de cemento mayor de 250 kg/m³, o en concretos sin aire incluido y con un contenido de cemento mayor de trescientos 300 kg/m³, los porcentajes máximos especificados en esta Tabla para el material retenido acumulado en las mallas N°50 y N°100 se podrán aumentar a 95% y 100%, respectivamente, así como en el caso en que se use un aditivo mineral que supla las deficiencias en las cantidades de material que pase dichas mallas. Se considera un concreto con aire incluido, el obtenido mediante el empleo de un agente inclusor de aire y con un contenido de aire mayor del 3%.

Tabla 2.7. Límites Granulométricos para el Agregado Fino.

Fuente: N-CMT-2-02-002/02; 2002: 8.

2.3.1.2.1. Módulo de Finura.

Como señalan Kosmatka y Panarese, el módulo de finura es un índice que describe el tamaño del agregado, mientras mayor sea el módulo de finura más grueso será un agregado. El módulo de finura se puede emplear en agregados gruesos y finos, pero generalmente se usa solo en las arenas. En la Tabla 2.7., los porcentajes retenidos acumulados también pueden expresarse como porcentajes que pasan cada malla, en base a esto, en la malla del No. 50 se permite que pase un

porcentaje de entre 10 y 30, mientras que en la malla del No. 100 se permite que pase un porcentaje de entre 2 y 10. Las partículas de arena que pasan las mallas del No. 50 (0.30mm) y del No. 100 (0.15mm) (Tabla 2.7.), afectan la trabajabilidad, la textura superficial y el sangrado del concreto. Se pueden permitir porcentajes mínimos de estos tamaños en condiciones sencillas de colado y en pavimentos, donde el acabado no requiere ser liso. En cambio, en pisos con acabado a mano o donde se necesite una superficie tersa del concreto, es indispensable mantener porcentajes de 15% y 3% de material que pase las mallas del No. 50 y No. 100 respectivamente. Con lo anterior se logra mayor cohesión y trabajabilidad ya que se necesitará menos agua conforme disminuya la cantidad de estas partículas pequeñas.

El módulo de finura se obtiene de un cálculo simple derivado del análisis granulométrico de la arena. Después de hacer pasar la muestra de arena por las mallas, en base al procedimiento de gradación (Véase sección 2.3.1), se obtienen los porcentajes retenidos acumulados y se procede a sumar dichos porcentajes omitiendo el último valor (el 100% de material retenido en la charola). El total de la suma se divide entre 100 y el valor obtenido corresponde al módulo de finura. (Véase Tabla 2.8) Una arena con un módulo de finura muy alto está compuesta de partículas muy gruesas y es difícil de manejar, mientras que una arena con un módulo de finura muy bajo significa que está formada por granos muy finos que la vuelven antieconómica. Se recomienda una arena con módulo de finura medio o adecuado.

Tamaño de la malla	Porcentaje de la fracción individual retenida, en peso*	Porcentaje acumulado que pasa, en peso	Porcentaje acumulado retenido, en peso
9.52 mm (3/8")	0	100	0
4.75 mm (No. 4)	2	98	2
2.36 mm (No. 8)	13	85	15
1.18 mm (No. 16)	20	65	35
0.60 mm (No. 30)	20	45	55
0.30 mm (No. 50)	24	21	79
0.15 mm (No. 100)	18	3	97
Charola	3	0	—
Total	100		283 Módulo de finura = $283 + 100 = 2.83$

Tabla 2.8. Ejemplo del procedimiento para obtener el módulo de finura de una arena.

Fuente: Kosmatka y Panarese; 1992: 36.

“El módulo de finura...no será menor de dos coma tres (2,3), ni mayor de tres coma uno (3,1), con una tolerancia de variación de dos décimas (0,2) en más o en menos con respecto al valor de módulo de finura empleado en el diseño del proporcionamiento del concreto hidráulico.” (N-CMT-2-02-002/02; 2002: 3) La NOM, también especifica que de no cumplirse con la tolerancia se deberá ajustar las proporciones para compensar las variaciones de la gradación.

2.3.1.2.2. Material que pasa la malla No. 200 (0.075 mm).

La Norma Oficial Mexicana establece que al hacer el análisis granulométrico en arenas el porcentaje de material que pasa la malla N°200 (0,075 mm de abertura) en el agregado fino no excederá los valores de la Tabla 2.9. y “En casos especiales, cuando así lo apruebe la Secretaría...” (N-CMT-2-02-002/02; 2002: 8) los valores serán los de la Tabla 2.10.

Substancias perjudiciales	Contenido máximo respecto a la masa total de la muestra %
Terrones de arcilla y partículas deleznales	1
Carbón y lignito: <ul style="list-style-type: none"> • En concreto aparente • En concreto de cualquier otra índole 	0,5 1
Material finos que pasan la malla N°200 ^[1] : <ul style="list-style-type: none"> • Para concreto sujeto a desgaste • Para concreto de cualquier otra índole 	3 5

[1] En el caso de arenas obtenidas por trituración, si el material que pasa la malla N°200 está formado por el polvo producto de la trituración, exento de arcillas o pizarras, estos límites se podrán aumentar hasta el 5% y 7%, respectivamente

Tabla 2.9. Contenido de sustancias perjudiciales en el Agregado Fino.

Fuente: N-CMT-2-02-002/02; 2002: 5.

Límite líquido %	Índice plástico %	Contenido máximo respecto a la masa total de la muestra %
hasta 25	Hasta 5	18
	de 5 a 10	14
	de 10 a 15	9
de 26 a 35	Hasta 5	15
	de 5 a 10	11
	de 10 a 15	7
de 36 a 45	Hasta 5	12
	de 5 a 10	9
	de 10 a 15	6
de 46 a 55	Hasta 5	9
	de 5 a 10	7
	de 10 a 15	5

Tabla 2.10. Material que pasa la malla No. 200 (0.075 mm) en el agregado fino para casos especiales.

Fuente: N-CMT-2-02-002/02; 2002: 5.

2.3.1.3. Agregados con granulometría discontinua.

De acuerdo con Kosmatka y Panarese (1992), Neville y Brooks (1998) y Love (2006), los agregados con granulometría discontinua son aquellos en los que se elimina o no existe uno o más tamaños de partícula, de los derivados del análisis granulométrico. Los agregados discontinuos más usuales, son los que poseen solo un tamaño de partícula, dejando que la arena ocupe los vacíos que dejan las gravas. Las mezclas con granulometrías sirven para uniformizar la textura de concretos con agregados expuestos. “También se emplean en concretos estructurales normales, debido a las posibles mejoras en densidad, permeabilidad, contracción, fluencia, resistencia, consolidación y para permitir el uso de granulometrías de agregados locales.” (Kosmatka y Panarese; 1992: 37)

Para la fabricación de este tipo de mezclas se debe cuidar la cantidad de agregado fino a emplear, en base al contenido de cemento al tipo de agregado y a la trabajabilidad deseada. Poca arena provocará segregación y alveolado por el exceso de grava, mucha arena demandará más agua y bajará la densidad del concreto. Además, para evitar la segregación es necesario mantener revenimientos bajos de 7.5 cm hasta 0 cm. Este tipo de mezclas necesita la inclusión de aire para lograr la trabajabilidad, sin embargo, no pueden ser usadas para colar elementos amoldados puesto que su alta aspereza es inherente y dificulta los procedimientos. Se puede incrementar el contenido de agregado fino para lograr acabados lisos. Una mezcla de granulometría discontinua tenderá a usar menos arena que las mezclas con granulometría completa.

2.3.2. Forma de partícula y textura superficial.

La forma de la partícula es el arreglo tridimensional de las partículas o la relación que guardan sus tres dimensiones, se puede identificar a simple vista de manera muy sencilla. Las clasificaciones previamente vistas, sirven para refinar los criterios de identificación de formas. La textura del agregado es la condición física que presentan las superficies de las partículas y que pueden identificarse por medio del tacto y la vista. Autores como Kosmatka y Panarese (1992), Neville y Brooks (1998), ACI (1968) y Merritt y Cols. (2008) aseveran, que en términos generales los agregados (finos y gruesos) de origen natural volcánico y sedimentario tienen formas redondas y texturas tersas, debido al desgaste que han tenido. En cambio, los agregados triturados pueden presentar formas más alargadas y angulares, y texturas más rugosas; las condiciones de trituración y composición mineral determinan estas formas.

“Para producir un concreto trabajable, las partículas alongadas, angulares, de textura rugosa necesitan más agua que los agregados compactos, redondeados y lisos.” (Kosmatka y Panarese; 1992: 37) Lo cual se traduce en una mayor demanda de cemento en mezclas con agregados angulares para mantener la relación agua-cemento. Cuando la angulosidad y alargamiento son excesivos puede haber problemas para bombear y realizar los acabados.

“El aglutinamiento entre partículas angulares es mayor que entre las tersas.” (Merritt y Cols.; 2008: 5.13) Y la adherencia de las partículas con la pasta de cemento incrementa en los agregados rugosos y angulares, lo cual es muy

importante para concretos de alta resistencia y para concretos sometidos a flexión. Los granos del agregado pueden contener en la superficie películas de material fino, muchas de estas capas no representan un riesgo. Las películas no adheridas de polvo demandan más agua en la mezcla. Si las capas de recubrimiento son de arcilla estas producirán una disminución en la adherencia pasta-agregado, y deben evitarse. También deben excluirse agregados que posean recubrimientos que reaccionen con los álcalis del cemento.

El contenido de vacíos en un agregado aumenta con la angularidad del agregado y mientras más vacíos existan más cementante se necesitará. También es importante cuidar que las partículas alargadas y planas (comunes en agregados finos y gruesos triturados) no excedan el 15% en peso del material total.

Se puede pensar que los agregados triturados no son del todo adecuados, “Sin embargo, con una granulometría satisfactoria, los agregados triturados y no triturados (de los mismos tipos de roca) generalmente dan la misma resistencia para el mismo factor de cemento.” (Kosmatka y Panarese; 1992: 37)

2.3.3. Peso volumétrico y vacíos.

Según Kosmatka y Panarese (1992) y Neville y Brooks (1998), el peso volumétrico, también conocido como peso unitario o densidad en masa, es el peso del agregado que se requiere para llenar un molde de volumen específico. Obviamente, el volumen que llene el recipiente estará compuesto por partículas de agregado y por los vacíos que se encuentren entre los granos. En consecuencia,

existen dos formas de obtener el peso volumétrico, con el material acomodado naturalmente y con el material compactado. El peso volumétrico seco suelto (PVSS), surge del acomodo natural de las partículas al ser vertidas, el procedimiento de prueba se describe en la sección 3.4. El peso volumétrico seco varillado (PVSV), se obtiene tras compactar el material vertido en el molde, el procedimiento de prueba se describe en la sección 3.4.

El peso volumétrico de un agregado para concreto normal oscila entre 1200 kg/m³ y 1760 kg/m³. Los contenidos de vacíos varían desde aproximadamente 30% a 45% para los agregados gruesos hasta 40% a 50% para el agregado fino. La angulosidad de las partículas aumenta el contenido de vacíos y a su vez una buena granulometría o el empleo de tamaños mayores de agregado bien graduado disminuyen los vacíos. “De hecho, la máxima densidad de masa de una mezcla de agregados finos y gruesos se alcanza cuando la masa del agregado fino es de aproximadamente 35 a 40% de la masa total del agregado.” (Neville y Brooks; 1998: 48) La importancia de una buena granulometría que aproveche al agregado fino para llenar los vacíos entre el agregado grueso y así disminuir la demanda de pasta y cemento, se explicó en la sección 3.1. (Granulometría) (Véase Figura 3.1.)

2.3.4. Gravedad específica (peso específico).

En conformidad con Kosmatka y Panarese (1992), Neville y Brooks (1998), ACI (1968) y Navarro y Cols. (2000); la gravedad específica se conoce también como peso específico o densidad relativa. Se puede definir como “...la relación de la masa (o peso en aire) de una unidad de volumen de material respecto a una masa de agua

del mismo volumen a una temperatura determinada.” (Neville y Brooks; 1998: 46) El valor de la gravedad específica casi no se emplea como índice de calidad y más bien, resulta útil para el proporcionamiento de concreto. Sin embargo, Navarro y Cols. (2000) señala que un valor bajo de gravedad específica indicará que el material es muy poroso y un valor muy alto representa un material muy pesado. La mayoría de los agregados naturales tienen densidades relativas de entre 2.4 y 2.9.

Los procedimientos para calcular la gravedad específica se basan fundamentalmente en dividir el peso saturado y superficialmente seco (SSS) de una porción conocida de material entre el peso del agua que dicha porción desaloja. El objetivo de dichos procedimientos reside en conocer el peso por unidad de volumen del material, sin considerar los vacíos que existen entre partícula y partícula. Los agregados saturados y superficialmente secos (SSS) son aquellos que tienen sus poros internos llenos de agua, pero no tienen agua en exceso en el exterior, en otras palabras, ya no pueden absorber más agua. Los métodos para conocer cuando el agregado está saturado y superficialmente seco se describen en el capítulo 3.

2.3.5. Absorción y Humedad Superficial.

“La porosidad, la permeabilidad y la capacidad de absorción del agregado influyen en la adherencia con la pasta de cemento, en la resistencia del concreto al congelamiento y deshielo, en la estabilidad química, en la resistencia a la abrasión y en la gravedad específica” (Neville y Brooks; 1998: 48). Coincidentemente, Kosmatka y Panarese (1992) y Neville y Brooks (1998), resumen las posibles condiciones de humedad de los agregados como en la Figura 2.5.

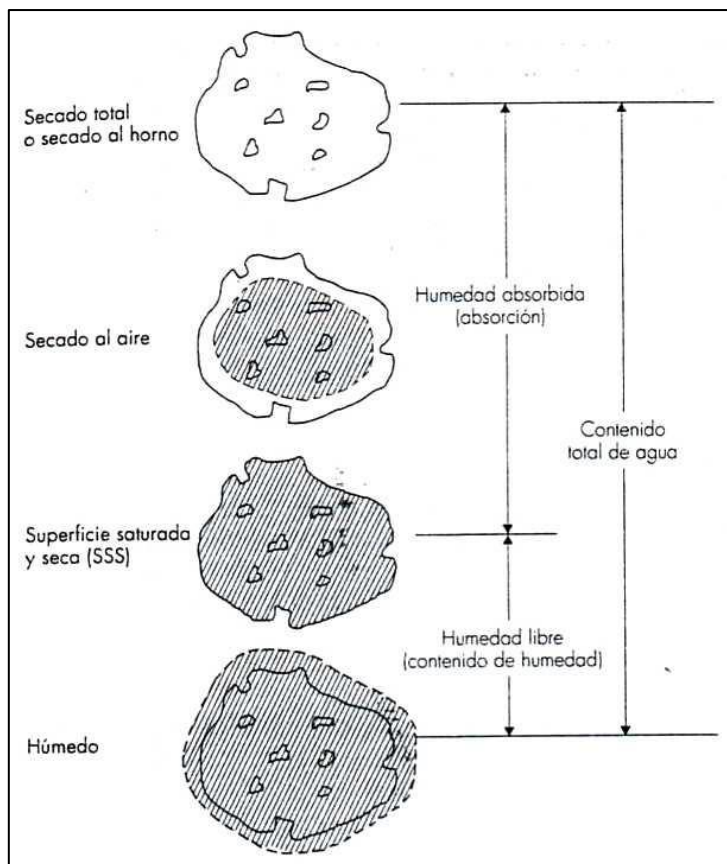


Figura 2.5. Condiciones de humedad de los agregados

Fuente: Neville y Brooks; 1998: 49.

En la Figura 2.5, primero se observa el estado seco total en el cual las partículas son completamente absorbentes. Enseguida, está el estado producto de un secado al aire, donde las partículas están secas en la superficie, pero contienen agua en el interior y son algo absorbentes. Después, se ubica el estado saturado y superficialmente seco (SSS), en el cual el agregado no absorbe agua ni aporta líquido a la mezcla de concreto. Finalmente, el estado húmedo contiene un exceso de agua en la superficie (agua libre). El contenido de agua total se compone del agua en exceso y del agua absorbida, el agua en exceso se denomina humedad libre, puesto que toda el agua que quede en el agregado estará absorbida.

Frecuentemente las gravas presentan porcentajes de absorción de 0.2% a 4%, mientras que las arenas circundan entre 0.2% a 2%; es decir las gravas suelen ser más absorbentes que las arenas. Por otra parte, las gravas permiten contenidos de agua libre de 0.5% a 2% y las arenas de 2% a 6%, o sea, que las arenas permiten mayor cantidad de agua libre que las gravas.

La absorción de los agregados puede influir al momento de elaborar la mezcla de concreto puesto que, si se define una cantidad de agua para la mezcla suponiendo que los agregados no absorberán cierta porción de agua, se afectará la relación agua-cemento de la pasta, disminuyendo notablemente la trabajabilidad. Aunque, “La suposición de que el agregado seco en horno en una mezcla real, absorberá suficiente agua como para quedar en estado SSS, puede no ser válida.

La cantidad de agua absorbida depende del orden en que se alimenten los ingredientes en la mezcladora, ..." (Neville y Brooks; 1998: 48) Lo ideal es deducir la demanda de agua total de la mezcla tomando en cuenta lo que absorberá el agregado, puesto que así se logra una adecuada relación agua-cemento, y en consecuencia una buena manejabilidad y resistencia.

Los métodos para determinar el porcentaje de absorción son variados y van desde procedimientos de calentado y secado en campo o en laboratorio hasta el uso de aparatos electrónicos que miden la humedad. En el capítulo 3, se explican las pruebas propuestas por Navarro (2000), para la humedad de absorción.

Existe un fenómeno llamado abudamiento o abultamiento, presente en los agregados finos principalmente, que tiene que ver con la humedad de las partículas. Consiste en un incremento del volumen de la arena con respecto al volumen original del material en estado seco, debido a las películas de agua que se forman alrededor de las partículas de arena y que repelen a otras partículas. Este fenómeno es más evidente cuando se mueven arenas consolidadas de un lugar a otro, el volumen consolidado parece volverse más material al perder dicha condición. Los efectos que produce el abultamiento afectan al proporcionamiento por volumen, en consecuencia, se recomienda hacer proporcionamiento por peso.

2.3.6. Resistencia a congelación y deshielo.

Tal como lo especifican Kosmatka y Panarese (1992), Neville y Brooks (1998) y ACI (1968), la resistencia a la congelación y deshielo se interpreta como la capacidad que tienen los agregados de no sufrir deterioros o cambios de volumen

tras verse afectados por estos fenómenos, ya sea por periodos largos de tiempo o por la exposición repetida. Paralelamente, se encuentra el término de *sanidad* de los agregados, que es "...la capacidad del agregado para resistir cambios excesivos en volumen, como consecuencia de los cambios en condiciones físicas, estos últimos causados por variaciones ambientales tales como: Congelamiento y deshielo, cambios térmicos y estados de saturación y secado." (Ortiz; 1986: 35) En el presente apartado solo se considera el fenómeno de la congelación y el deshielo, los otros factores que modifican el volumen del agregado se encuentran en secciones posteriores, a pesar de esto, conviene referir el término de *sanidad*, puesto que el ensaye de sanidad de los agregados (especificado en la NOM y descrito en esta misma sección) es el parámetro utilizado para medir la resistencia del agregado a los cambios volumétricos, no siendo por esto el más adecuado.

En buena parte de la república mexicana, el congelamiento de las estructuras de concreto no representa un riesgo, quizá, por esto, el ensaye de sanidad resulte suficiente. Debido a la ubicación del país en el globo terráqueo las temperaturas responsables de dichos comportamientos solo se presentan en el norte del país. Aun así, es necesario estudiar los efectos que puede tener en el concreto, el uso de agregados defectuosos. Siguiendo con los autores, en lugares donde las temperaturas descienden varios grados bajo cero, los concretos en exteriores pueden llegar a presentar abultamientos, desprendimientos y agrietamientos, causados por la expansión del agregado.

Las partículas de los agregados poseen poros dentro de su estructura, mismos que pueden ser relativamente grandes o pequeños y permeables o impermeables. De tal manera, que una partícula puede llegar a saturarse al máximo, sin dejar espacios de aire libres. Cuando el agua contenida en la partícula se congele y no encuentre espacio para expandirse producirá la expansión de agregado, si muchas partículas sufren el mismo efecto el concreto seguramente fallará. Es difícil asegurar que cantidad de partículas provocarán la falla, por lo tanto, resulta más conveniente asegurar que el agregado no presentará este problema. Ante la falta de espacios que amorticen la expansión del agua al congelarse, cobra importancia la elaboración de concretos con aire incluido.

Los poros con tamaños de 0.1 a 5 micras, se pueden considerar de tamaño relativo medio, y son los que permiten la expansión ante el congelamiento. Los poros relativamente grandes (por encima de los valores medios) no se saturan y no causan fallas; y en los poros más pequeños el agua difícilmente se congela. “A cualquier velocidad de congelación, puede existir un tamaño crítico de partícula arriba del cual la partícula fallará si se congela cuando se encuentre totalmente saturada.” (Kosmatka y Panarese; 1992: 40) Es posible, que incluso un concreto con agregados vulnerables, no exista falla; cuando el elemento de concreto esté expuesto a constantes periodos de secado que impidan la saturación total de las partículas. En conclusión, la falla por expansión solo se dará cuando las partículas estén totalmente saturadas. Un ejemplo de esto es el agrietamiento en “D” que se da en pavimentos, esta falla comienza en el agregado inferior, que se encuentra en contacto constante

con la humedad de la base y sub-base. La falla se extiende hasta la superficie de rodamiento.

Las dos mejores formas para conocer el comportamiento de los agregados ante congelación y deshielo son: Por medio de la observación del comportamiento de estructuras reales en campo y por ensayos de congelación-deshielo en especímenes de concreto en laboratorio. Cuando existan registros de que un agregado se ha empleado en estructuras que se han comportado adecuadamente bajo condiciones similares a las requeridas, se pueden considerar como adecuados. En laboratorio, cuando no existan registros, los especímenes de concreto se someterán a procesos de congelación y deshielo en agua. El deterioro del agregado se medirá en base a: "... (1) La reducción en el módulo dinámico de elasticidad (2) la expansión lineal, y (3) la pérdida de peso de los especímenes." (Kosmatka y Panarese; 1992: 40)

La prueba de sanidad consiste en sumergir el agregado en una solución de sulfato de sodio o magnesio, para posteriormente secarla en el horno. El proceso se repite varias veces, simulando así una presión parecida a la de la congelación; finalmente se pesa el material y se determina el porcentaje de pérdida de peso. El ensaye de sanidad y los ensayos de congelación y deshielo de partículas de agregado, no han tenido éxito para pronosticar el comportamiento del agregado ya inmerso en la pasta de concreto; esto se debe, precisamente a que se ensayan los materiales en condiciones de no confinamiento, siendo que en realidad los agregados tendrán una capa de cementante que al ser casi impermeable protege al agregado. Entonces, lo mejor es ensayar especímenes de concreto que contengan el agregado estudiado. Aun así, Neville y Brooks (1998) aseguran que: "...sólo un

registro de servicio puede probar satisfactoriamente la durabilidad de cualquier agregado.” (Neville y Brooks; 1998: 50)

2.3.7. Propiedades de humedecimiento y secado.

De acuerdo con Kosmatka y Panarese (1992) y ACI (1968), el comportamiento del agregado ante el humedecimiento y secado dependen de la composición del material y del arreglo de sus poros, principalmente. Estos fenómenos no afectan tanto al agregado como el congelamiento y deshielo, pero en agregados altamente absorbentes se pueden producir incrementos de volumen en el agregado, haciendo fallar la pasta circundante. En ocasiones se puede presentar afloramiento en concreto. Las partículas de arcilla y arcilla esquistosa pueden disolverse rápidamente ante procesos repetitivos de humedecimiento y secado. Las partículas se expandirán con mayor fuerza conforme mayor sea su módulo de elasticidad. El análisis petrográfico puede ser de gran utilidad para identificar si los agregados son vulnerables, cuando no se posean pruebas especificadas para determinar dicho comportamiento.

2.3.8. Resistencia al fuego y propiedades térmicas.

De acuerdo con Kosmatka y Panarese (1992), Neville y Brooks (1998) y ACI (1968), los cambios de temperatura afectan y producen esfuerzos en todos los materiales. Mientras, los cambios sean graduales y dentro de rangos no muy amplios de temperatura no habrá problemas con las estructuras de concreto. En casos extremos donde la temperatura se ha elevado o disminuido, muchos grados precipitadamente (como en incendios) pueden esperarse daños menores en el

concreto. El concreto es un material que en conjunto goza de una buena resistencia a temperaturas altas. La resistencia al fuego y las propiedades térmicas del concreto como la conductividad, difusibilidad y coeficiente de expansión térmica, dependen en cierta medida de la composición de los agregados. Los agregados ligeros, por sus características aislantes y su estabilidad a altas temperaturas, tienen mejor resistencia al fuego que los agregados de peso normal. En base a pruebas y observaciones se aprecia "...una ligera ventaja para la escoria de alto horno, los agregados calcáreos y los agregados de origen ígneo, sobre los agregados silicosos o de origen metamórfico o sedimentario." (ACI; 1968: 6) para resistir el fuego.

Lo que debe evitarse es que el coeficiente de expansión térmica del agregado difiera en más de 5.5×10^{-6} por °C del de la pasta de cemento, ya que de lo contrario se presentarán daños ya sea por cambios de temperatura o por congelación y deshielo. "...el coeficiente de expansión térmica de las rocas productoras de agregado más comunes se ubica entre 5 y 13×10^{-6} por °C...Para pasta de cemento Portland hidratado, el coeficiente por lo general se ubica entre 11 y 16×10^{-6} por °C." (Neville y Brooks; 1998: 51)

2.3.9. Resistencia del agregado y contracción.

Básicamente, la resistencia del agregado debe estar por encima de la resistencia de la pasta. Kosmatka y Panarese (1992) afirma que en concretos comunes no es relevante ratificar la resistencia del agregado, sin embargo, para concreto de alta resistencia es muy importante contar con agregados resistentes. Los

agregados resisten a tensión en un rango de 20 kg/cm² a 160 kg/cm² y a compresión entre 700 kg/cm² y 2810 kg/cm².

Para ACI (1968), la contracción que experimenta el concreto al fraguar depende de la capacidad de contracción de la pasta y del agregado, del volumen de pasta en el concreto y del módulo de elasticidad del agregado. “Ya que la cantidad de pasta depende de la demanda de agua del agregado, las propiedades tales como tamaño máximo, forma de partícula, gradación y limpieza, están relacionadas con la contracción.” (ACI; 1968: 8)

2.3.10. Resistencia al desgaste y al derrapamiento.

Según Kosmatka y Panarese (1992), Neville y Brooks (1998) y ACI (1968), la resistencia al desgaste o a la abrasión es una propiedad importante para agregados utilizados en pavimentos y pisos con cargas pesadas, se mide sobre todo en los agregados gruesos. Se puede definir con la capacidad de no perder material, desintegrarse o romperse ante los efectos destructivos producidos por fricción e impacto. También es utilizado como índice de calidad de los agregados para producir concretos resistentes. “El ensaye proporciona una indicación de probables facturas del material durante el manejo, almacenamiento y mezclado.” (ACI; 1968:16).

Un método para determinar la resistencia de los agregados a la abrasión, es obtener el valor de abrasión del agregado. El método consiste en someter muestras de agregado, aglomeradas con un cementante, a la abrasión de arena; a través de una máquina estándar que revuelve los materiales a 500 revoluciones. El valor de la

abrasión del agregado es el porcentaje de pérdida de volumen de la muestra, un valor alto de la abrasión indica baja resistencia del agregado a la abrasión.

Existe otro ensaye que sirve para medir la resistencia de los agregados, ala abrasión y al desgaste, al mismo tiempo. La prueba se puede realizar con dos máquinas: La máquina de “Deval” y la máquina “Los Ángeles”. La primera no es muy usada porque requiere de mucha preparación de las muestras. La máquina “Los Ángeles” es la más común y fácil de utilizar, “... y sus resultados muestran una buena correlación no solo con el desgaste real del agregado en el concreto, sino con las resistencias a la flexión y compresión de concretos hechos con el mismo agregado”. (Neville y Brooks; 1998: 45) El procedimiento de la máquina “Los Ángeles” consiste en colocar una porción de agregado, de peso conocido, dentro de un cilindro (colocado en posición horizontal). Al cilindro se le agregan ciertas cantidades preestablecidas de bolas de acero y se hace girar. Se mide el porcentaje de material desgastado. La máquina “Los Ángeles” puede usarse también, exponiendo una misma muestra a dos periodos de abrasión, un material con buena resistencia al desgaste presentará un desgaste uniforme y similar en toda la prueba; en cambio, un material con partículas poco resistentes, exhibirá un alto porcentaje de desgaste al principio seguido de un desgaste cada vez menor.

2.3.11. Resistencia a los ácidos y otras sustancias corrosivas.

Kosmatka y Panarese (1992) explica, que el concreto de cemento Portland es duradero y se comporta satisfactoriamente en todos los ambientes del planeta, pero

en determinadas ocasiones puede quedar expuesto a sustancias agresivas, que pueden ocasionar decoraciones, marcas, descamaciones e incluso la lixiviación de la pasta de cemento. “La mayoría de las soluciones acidas, desintegran rápido o lentamente al concreto de cemento portland dependiendo del tipo y de la concentración del ácido.” (Kosmatka y Panarese; 1992: 41) Las sustancias y ácidos débiles no tienen efectos significativos en el concreto, por ejemplo, el ácido oxálico. Los agregados silicosos sufren menos que los agregados calcáreos, ante el contacto con ácidos; aunque, los agregados calcáreos tienden a neutralizar los ácidos en sitios estancados y los agregados silicosos deben evitarse cuando existan concentraciones de hidróxido de sodio.

El daño que producen las sustancias en el concreto está en función de su acidez, y la acidez de cualquier sustancia está en función del PH. Sustancias acidas con PH menor de 4 son altamente corrosivas. En tuberías enterradas o en estructuras sumergidas, donde el elemento de concreto se encuentra expuesto constantemente a dichas sustancias, se deben tomar medidas preventivas como la implementación de recubrimientos especiales o usar materiales resistentes a los ácidos del lugar. “las aguas naturales tienen regularmente un PH mayor que 7 y rara vez inferior a 6. Las aguas con un PH superior a 6.5 pueden ser agresivas si contienen bicarbonatos... las soluciones de ácido carbónico con concentraciones entre 0.9 y 3 partes por millón, son destructivas para el concreto.” (Kosmatka y Panarese; 1992: 42).

Para incrementar la resistencia del concreto a sustancias corrosivas, se deben procurar relaciones agua-cemento bajas, que produzcan permeabilidades mínimas, y contenidos de cemento medios y bajos (de 280 kg/m³ a 390 kg/m³).

2.3.12. Materiales perjudiciales y sustancias nocivas.

Neville y Brooks (1998) al igual que Kosmatka y Panarese (1992) señalan, que de los posibles materiales indeseables que acompañan a los agregados se pueden identificar tres grupos de sustancias nocivas: (1) impurezas orgánicas, (2) coberturas de material fino, y (3) partículas deleznable independientes. Las impurezas orgánicas afectan la hidratación de la mezcla, las coberturas de materiales finos disminuyen la adherencia entre la pasta y el agregado; y las partículas deleznable pueden generar planos de falla en el concreto ya fraguado y generar expansiones volumétricas. Todos los materiales que se consideran perjudiciales deben evitarse bajo los criterios de la norma. Ya que resulta muy complicado deducir que cantidad de material de cada tipo producirá la falla en el material, las normas han establecido ciertos porcentajes en peso de sustancias nocivas permisibles, bajo los cuales no se presentara ningún problema. Se han dado casos en que los concretos exceden los límites que se consideran seguros, y no han presentado problemas; aunque, dichos eventos no aseguran un buen comportamiento.

Los autores Neville y Brooks (1998), Kosmatka y Panarese (1992) y ACI (1968) coinciden en que los métodos más comunes para determinar la cantidad de materiales indeseables en el agregado son:

- Cantidad de material que pasa la malla No.200: se coloca el material en la malla y se lava con agua, para eliminar el material fino. Se determina que porcentaje de material de la muestra eran finos.
- Porcentaje de terrones de arcilla: el material que se puede deshacer con las manos en una muestra, se elimina por cribado y se mide el porcentaje de material, en peso, que consistía de arcilla.
- Sedimentación en arenas o eliminación de partículas ligeras por flotación: consiste en colocar arena en un recipiente, con agua o solución preparada de densidad especificada, para revolver y dejar reposar. Las partículas ligeras se elevan por flotación formando una capa visible. El contenido de sustancias ligeras se mide por medio del grosor de la capa superficial.
- Equivalente de arena: Según Navarro y Cols. (2000) se usa un procedimiento que amplifica el volumen de los materiales finos plásticos para determinar las proporciones volumétricas relativas de las partículas grandes de un material respecto a los finos plásticos
- Colorimetría: Para este ensaye Neville y Brooks (1998), explican que la muestra se coloca junto con una solución de NaOH al 3%, ambas con cantidades preestablecidas, en un recipiente. Se agita el recipiente y después de 24 horas se compara el color del agua con la carta de colorimetría. Básicamente, si el color es muy oscuro, se interpreta como un alto contenido de sustancias perjudiciales; un color amarillo se considera aceptable.

2.3.12.1. Impurezas Orgánicas.

Neville y Brooks indican que las impurezas orgánicas en exceso pueden convertir un agregado resistente en un material inapropiado para elaborar concretos. Es más frecuente que se encuentren en las arenas que en las gravas. Estas partículas indeseables provienen de la degradación de la materia orgánica, se pueden encontrar como humos, turbas, margas orgánicas y materia vegetal. Afectan los procesos de deshidratación del concreto retrasando el fraguado, también llegan a disminuir la resistencia y ocasionan deterioros en el concreto. Cuando las impurezas se encuentran cerca de la superficie del concreto endurecido, producen manchas, erupciones y desintegración parcial.

Cuando no se han tenido cuidados en los procesos de extracción, producción y transporte de los agregados, se pueden llegar a encontrar partículas grandes (del tamaño del agregado grueso) de materia vegetal como pastos, hojas y pedazos de madera; estos materiales deben evitarse a toda costa. Someter el agregado a un proceso de lavado con agua puede ser suficiente para eliminar la materia orgánica indeseable, pero lo mejor es corroborar el contenido de dichas sustancias por medio de ensayos de laboratorio.

2.3.12.2. Arcillas y otros materiales finos.

Como indican Neville y Brooks, los limos y las arcillas, los limos y las arcillas, son materiales finos (pasan la malla No. 200) que pueden encontrarse esparcidos o pegados en la superficie del agregado, formando una capa. De cualquier forma, los finos en exceso producen incrementos en la demanda de agua, si lo anterior no se

prevé, los materiales finos afectarán la relación agua-cemento y por consiguiente la trabajabilidad de la mezcla y la resistencia del concreto. Además, si los materiales finos forman capas superficiales en el agregado disminuirán la adherencia de las partículas de grava y arena con la pasta de cemento y agua.

Los terrenos de arcilla absorben agua, pueden provocar erupciones en el concreto endurecido, disminuyen la durabilidad y la resistencia a la abrasión. “el carbón mineral o el lignito, u otros materiales de densidad baja como la madera o los materiales fibrosos, afectaran la durabilidad del concreto si están presentes en cantidades excesivas.” (Kosmatka y Panarese; 1992: 43) las partículas blandas tienen los mismos efectos que las impurezas orgánicas. Cuando el concreto fungirá como estructura estética, se debe evitar la existencia de partículas de óxido de hierro y sulfuro de hierro, ya que producen manchas.

La sal representa un contaminante en arenas originarias de playas y estuarios de ríos; ya que corroe el acero de refuerzo y absorbe la humedad del aire causando depósitos blancos eflorescentes en la superficie del concreto. La solución está en un simple lavado,” ...la arena de lecho marino que ha sido lavado, incluso con agua de mar, no contiene cantidades dañinas de sal.” (Neville y Brooks; 1998; 52)

CAPÍTULO 3

MÉTODOS PARA DETERMINAR LA CALIDAD DE LOS AGREGADOS.

Existen diferentes agregados en la región de Uruapan, por ello la importancia de conocer las calidades de los materiales. Los métodos descritos en el siguiente capítulo señalan sus virtudes o defectos de las muestras. Se señala la manera de preparar una prueba, los procedimientos a seguir y los resultados a los que hay que llegar. Se muestran comportamientos, como su capacidad de reaccionar con agua, además pruebas que señalan el nivel de contaminación y resistencias.

3.1. Cuarteo de los materiales.

Navarro y cols. (2000) señalan que el objetivo del cuarteo consiste en obtener una muestra representativa y de tamaño adecuado. La prueba radica en revolver el material pétreo, cambiando el material de un extremo a otro, apilándolo en forma de cono cada vez. Este procedimiento se repite por lo menos 3 veces.

Cuando el cono de material esté terminado, se aplana la punta, ya sea con una pala o una espátula dependiendo del volumen. Después, se divide el material en 4 partes trazando 2 líneas perpendiculares. De las 4 partes se toman 2 secciones opuestas.

3.2. Humedad superficial y humedad de absorción en arenas.

Como indica Navarro y cols. (2000) esta prueba consiste en determinar la capacidad para absorber agua de una arena representada en porcentaje. Se pone a

saturar 2 kilogramos de arena durante 24 horas. Después se seca superficialmente la arena mediante el procedimiento del troncocónico.

El procedimiento del troncocónico consiste en llenar en 3 capas un troncocono, con arena húmeda. La primera capa se llena hasta 1/3 del troncocono y se procede a compactar con un pisón especial, se dan 12 golpes en la primera capa. La segunda capa se llena hasta 2/3 partes del molde y se apisona 8 veces. La tercera capa se enrasa y se apisona 5 veces. Inmediatamente se retira el troncocono y si la arena trata de disgregarse quiere decir que esta superficialmente seca y si todavía mantiene la forma del cono significa que todavía tiene agua en exceso.

Ya seca superficialmente la arena, se procede a pesar una muestra de 300 gramos aplicando anteriormente el procedimiento del cuarteo, este peso se registra como peso saturado (Ph). Enseguida se seca en su totalidad la muestra registrando el peso de la arena seca como Ps. El porcentaje de humedad de absorción se calcula con la siguiente fórmula:

Donde:

Ph = peso saturado y superficialmente seco en gramos

Ps = peso seco del material en gramos.



Foto 3.1. Saturación por 24 horas y prueba del troncocónico.

Fuente: Propia

3.3. Determinación del peso volumétrico seco y suelto de una arena (P.V.S.S.).

Navarro y cols. (2000) indica que el objetivo de la prueba de P.V.S.S. Es determinar el peso por unidad de volumen cuando la arena se encuentra acomodada en su estado natural. Se da inicio vaciando la arena anteriormente cuarteada y totalmente seca, dentro de un molde con volumen conocido. La arena deberá dejarse caer de aproximadamente 5 centímetros a partir de la arista superior del recipiente, mismo que se llena completamente hasta formar un cono.

Se enrasa el recipiente con una varilla punta de bala y se limpia el recipiente procurando no dejar partículas adheridas a las paredes exteriores. Se procede a pesar el recipiente con la arena, al peso obtenido se le resta el peso del recipiente. El peso volumétrico seco suelto se calcula con la siguiente fórmula:

—

Donde:

P.V.S.S. = Peso volumétrico seco y SUELTO (gr/cm³).

P = Peso de la arena (gr).

V = Volumen del recipiente (cm³).

3.4. Determinación del peso volumétrico seco y varillado de una arena (P.V.S.V.).

Según Navarro y cols. (2000) el objetivo de la prueba de P.V.S.V. es obtener el peso por unidad de volumen de una arena, cuando el material tiene una determinada compactación. Se procede a llenar el recipiente con un volumen conocido de arena completamente seca, a volteo dejándola caer a una altura aproximada de cinco centímetros, el llenado del recipiente debe hacerse en tres capas dando a cada capa de arena, veinticinco golpes con la varilla punta de bala distribuyéndolos en toda la superficie del material. Debe cuidarse que la varilla no penetre en la capa anterior al dar los golpes.

Se enrasa el recipiente con la varilla punta de bala y se limpian todas las partículas que hayan quedado adheridas a las paredes exteriores. Después de haber realizado los pasos anteriores se pesa el recipiente con el material y se le resta el peso del recipiente para así obtener el peso neto del material. El peso volumétrico seco varillado se calcula con la siguiente fórmula:

—

Donde:

P.V.S.V = Peso volumétrico seco y varillado (gr/cm³).

P = Peso de la arena (gr).

V = Volumen del recipiente (cm³).

3.5. Granulometría en arenas.

Navarro y cols. (2000) determinan que el objetivo de la granulometría es pasar por tamices la muestra representativa de arena ya anteriormente cuarteada, para conocer la distribución de los diámetros de las partículas y el módulo de finura.

Se da inicio tomando una muestra representativa de arena de aproximadamente seiscientos gramos. Se seca hasta peso constante y se deja enfriar. Cuando el material este seco y frio, se toman 500 gramos. Se colocan las mallas en orden de menor a mayor abertura, enseguida se le coloca la muestra y se tapa. El juego de mallas es agitado durante el transcurso de diez minutos como mínimo, el agitado puede ser a mano o mecánicamente.

Se coloca la arena retenida de cada malla en una charola, para lo cual se invertirá la malla con todo cuidado limpiando con cepillo de alambre las mallas 4, 8, 16 y 30 para desalojar el material que se encuentra entre los espacios de la malla, las mallas 50 y 100 se limpiarán con cepillo de cerdas. Se pesa el material retenido de cada tamiz y se apunta el peso en un formato como el mostrado a continuación.

1	2	3	4	5
Malla	Peso retenido	% Retenido	% Acumulativo	% Que pasa
8				
16				
30				
50				
100				
200				
Charola				
Suma				

Figura 3.1. Registro para una granulometría de arena.

Fuente: Navarro y cols.; 2000: 114.

1. Pesos retenidos en cada malla.

2. _____ 100

3.

4. -

5. _____



Foto 3.2. Agitado del material y materiales retenidos después de ser pesados

Fuente: Propia

3.6. Sedimentación en arenas.

Navarro y cols. (2000) proponen aplicar la prueba de sedimentación para conocer la cantidad de material fino que contiene una arena. El resultado de esta prueba es para indicar si la arena tiene el material fino suficiente para no ser utilizado en concreto.

Equipo:

- Un frasco graduado con tres marcas, la primera a los 414 ml, la segunda a los 444 y la tercera a los 828 ml.
- Un litro de agua.
- Una muestra de arena seca de 2 kilogramos.

Se inicia colocando arena seca dentro del frasco hasta la primera marca que es de 414 ml y enseguida se le coloca agua hasta la marca de 828 ml. Se tapa el frasco que contiene el material y se procede a batirlo, durante dos minutos, hasta que todo el material fino quede bien incorporado en el agua.

Se deja en reposo el frasco durante 24 horas para determinar el nivel del material fino. Durante las 24 horas la arena se va reposando hacia el fondo y enseguida se reposa el material fino el cual no deberá sobrepasar el nivel de los 444ml. Si rebasa la marca de 444 ml el material cuenta con exceso de finos. Si no rebasa la marca de 444 ml el material esta en óptimas condiciones.



Foto 3.3. Prueba para conocer nivel material fino en una arena

Fuente: Propia

3.7. Material que pasa por la malla número 200 en arena.

El objetivo de esta prueba, como lo propone Navarro y cols. (2000) es establecer la cantidad de materia fina que contiene una arena. En el tamiz número 200, por medio de lavado se elimina el material fino. Se inicia tomando una muestra de 600 gramos, anteriormente cuarteada, se seca hasta peso constante a una temperatura no mayor de 110 grados centígrados.

Se pesa el recipiente vacío y se le agrega la arena, y luego se cubre con agua. Se agita la muestra hasta lograr que todas las partículas queden en suspensión, e inmediatamente se vierte dentro del juego de mallas, siendo la malla superior la número 16 la cual sirve como protección previniendo que pasen fragmentos que pueden dañar la siguiente malla que es la número 200.

Después se hace pasar, a través del juego de mallas, una constante cantidad de agua procurando no derramar el material por encima de las mallas. El material que pasa por la malla No. 200 durante el lavado, es material fino. Cuando el agua

salga completamente clara, se saca el material retenido en las mallas, se seca completamente y se deja enfriar. Finalmente, el porcentaje de material que pasa la malla número 200 se calcula con la siguiente fórmula:

—

Donde:

A = porcentaje de material que pasa la malla número 200.

Pi = peso seco inicial.

Pf = peso seco después de lavar (final).

3.8. Densidad de la arena.

Esta prueba como lo indica Navarro y cols. (2000), consiste en obtener el volumen efectivo de las partículas de arena, no tomando en cuenta los vacíos que se forman entre las partículas, cuando se apilan una pieza de arena sobre otra.

Se da inicio saturando la arena en una charola durante 24 horas, al término de este tiempo se seca superficialmente utilizando el procedimiento del molde troncocónico. Se coloca un volumen conocido de agua, registrándolo como volumen inicial V_i en cm^3 . Se pesan 300 gramos de una muestra de arena superficialmente seca registrándolo como peso de la arena (P_a).

Se coloca la arena dentro de la probeta tratando de no salpicar, si esto sucediera el valor obtenido sería erróneo. Agitando un poco la probeta se expulsa el aire atrapado, la operación provocara un aumento de volumen, se registra el valor del

nivel de hasta donde desplazo en agua como volumen final V_f . La densidad de la arena se calcula de la siguiente manera:

—

Donde:

D_A = densidad de la arena en gramos/cm³.

P_a = peso de la arena saturada y superficialmente seca en gramos.

$V_f - V_i$ = volumen colocada dentro de la probeta en cm³.

3.9. Humedad de absorción en gravas.

El objetivo de esta prueba mostrado por Navarro y cols. (2000) es indicar la capacidad máxima de una grava de absorber agua, expresándola en porcentaje respecto a su peso ya seco. Se toma una muestra de aproximadamente 2 kilogramos, enseguida se criba a través de las mallas de $\frac{3}{4}$ y $\frac{3}{8}$, del material que pase la malla de $\frac{3}{4}$ y se retiene en la de $\frac{3}{8}$. Se pone a saturar solamente una muestra de 1 kilogramos durante 24 horas. Se seca superficialmente con una franela hasta que la grava deje de brillar. Se anota este valor como (P_h) superficialmente seco.

Se coloca el material en una charola para secarlo, para saber si está completamente seca se le coloca un cristal sobre la muestra de grava, si no forma

gotas o no se empaña significa que está en óptimas condiciones. Se deja enfriar la muestra. Ya fría y totalmente seca se pesa y se toma como el peso seco del material (Ps). Enseguida se muestra la fórmula para calcular el porcentaje de humedad de absorción:

Donde:

Ph = peso saturado y superficialmente seco de la grava en gramos.

Ps = peso seco de la grava en gramo.

Especificaciones:

Tipo de absorción	% H. Absorción
Baja	Menos del 2 %
Media	Entre 2 % y 4 %
Alta	Más del 4 %

3.10. Densidad en gravas.

Según Navarro y cols. (2000) esta prueba es realizada para determinar el volumen absoluto de las partículas de grava en peso por unidad de volumen. Se toma una muestra de grava superficialmente seca de 300 gramos. Para obtenerlo se deja saturando la grava retenida en la malla de 3/8 y pasa por la de 3/4 durante 24 horas. La grava se seca superficialmente con una franela, procurando no dejar residuos de agua en la superficie, este peso se registra como el peso de la muestra (Ps).

Se le colocó 400 ml de agua a la probeta graduada y se asienta sobre una superficie plana, se procede a colocar la muestra de grava dentro. Cuando se haya terminado de colocar la grava dentro de la probeta graduada esperamos a que escurra el agua desalojada y se tendrá en la probeta el volumen del agua que corresponde al volumen de las partículas de grava (V). La densidad de la grava se calcula con la siguiente fórmula:

—

Donde:

D = densidad en gramos/cm³.

P = peso de la grava en gramos.

V = volumen de la grava en cm³.



Foto 3.4. Densidad en gravas.
Grava volcánica dentro de la
probeta graduada.

Fuente: Propia

3.11. Peso volumétrico seco y suelto en gravas (P.V.S.S.)

Como señala Navarro y cols. (2000), el objetivo de la prueba es determinar el peso por unidad de volumen cuando la grava se encuentra en estado natural seco y suelto. Se seca la muestra hasta peso constante. Se determina el peso y el volumen del molde a utilizar. Con un cucharón se va llenando el recipiente dejando caer la grava a la altura de 5 centímetros del bordo superior del recipiente, cuidando el acomodo de las partículas sea por caída libre. Se llena completamente el recipiente hasta formar un cono con el material. Se enrasa con una varilla punta de bala, se pesa la muestra dando el peso del recipiente más el peso del material. Con la siguiente formula se saca el peso volumétrico seco y suelto.

3.12. Peso volumétrico seco y varillado en gravas (P.V.S.V.).

Navarro y cols. (2000), proponen que el objetivo de la prueba de P.V.S.V. en gravas es obtener el peso por unidad de volumen de la grava, cuando el material tiene una determinada compactación. La prueba consiste en llenar de arena completamente seca un recipiente de volumen conocido a volteo, dejándola caer a una altura aproximada de cinco centímetros. El llenado del recipiente debe hacerse en tres capas dando a cada capa de grava veinticinco golpes con la varilla punta de bala, distribuyéndolos en toda la superficie del material. Debe cuidarse que la varilla no penetre la capa anterior al momento de compactar la arena.

Se enrasa el recipiente con la varilla punta de bala y se limpian todas las partículas que hayan quedado adheridas a las paredes exteriores. Después de haber realizado los pasos anteriores se pesa el recipiente con el material y se le resta el peso del recipiente para obtener el peso neto del material. El peso volumétrico seco y varillado se calcula con la siguiente fórmula:

3.13. Granulometría en gravas.

El objetivo, como señala Navarro y cols. (2000), es obtener la distribución de tamaños de las partículas de grava, así como el tamaño de agregado máximo, valor que se utiliza para el cálculo del proporcionamiento.

Equipo:

- Muestra de aproximadamente 15 kilogramos en estado suelto.
- Juegos de mallas: 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", 1/4" y el número 4.
- Juego de charolas para recibir el material que se retiene en cada una de las mallas.
- Balanza con aproximación al gramo.
- Recipiente de 10 litros.

Se seca previamente la muestra de grava, se cuartea y se deja enfriar. Se pesa la grava y este peso se registra como peso de la muestra utilizada para el cribado o granulometrías (Pm). Enseguida se pasa la grava a través de los tamices colocando las mallas de mayores a menores, se puede agitar por medio manuales o mecánicos. La agitación deberá hacerse por lo menos 10 minutos. Transcurrido los 10 minutos se deja reposar. Enseguida se vacían las mallas y se pesa el material retenido. Los resultados se apuntan en la siguiente tabla:

1	2	3	4	5
Malla	Peso retenido	% Retenido	% Acumulativo	% Que pasa
2"	A	A/Pm (100)		
1 1/2"	B	B/Pm (100)		
1"	C	C/Pm (100)		
3/4"	D	D/Pm (100)		
1/2"	E	E/Pm (100)		
3/8"	F	F/Pm (100)		
1/4"	G	G/Pm (100)		
Núm. 4	H	H/Pm (100)		
Pasa Núm. 4	I	I/Pm (100)		
Total	Peso de la muestra	100%		

Figura 3.3. Registro para una granulometría de gravas.

Fuente: Navarro y cols.; 2000: 146.

Cálculos:

Al realizar la suma de los pesos parciales retenidos debe ser igual al peso de la muestra inicial, teniendo una tolerancia de $\pm 1 \%$ del peso de la muestra.

El porcentaje retenido se calcula con:

El porcentaje acumulativo se calcula de la siguiente manera:

El porcentaje de la malla que pasa:

El tamaño máximo de la grava se obtiene observando la columna de los % retenidos y el tamaño máximo será el tamaño de la malla que retenga el 5 % o más del peso de la muestra.



Foto 3.5. Granulometría en gravas

Fuente: Propia

3.14 Revenimiento.

Según Navarro y cols. (2000) la prueba de revenimiento se utiliza para conocer la fluidez de un concreto. La prueba no se aplica en concretos muy fluidos o en mezclas con granulometría de 5 centímetros. Se inicia tomando una muestra representativa de concreto, se humedece el cono de revenimiento y un cucharón. Se coloca el molde en una superficie limpia y horizontal y se sujeta el molde colocando los pies en las orejas de la base.

Se mezcla el concreto, enseguida con el cucharón se llena el cono hasta $1/3$ parte, se le dan 25 golpes con la varilla punta de bala. Los golpes se inician de la periferia del molde y se procede de manera concéntrica. Se llena la segunda parte hasta $2/3$ partes del molde aplicando los mismos golpes procurando no pasar hacia la capa inferior. Por último, la tercera capa se le agrega concreto en exceso esto porque al dar los golpes, el concreto compactado quede sobre el bordo del cono. Se le agrega concreto si le hace falta o si no se enrasa con la misma varilla punta de bala.

El molde se gira y se retira verticalmente. Se medirá con un flexómetro el derrumbe del concreto. Se sitúa el molde cerca de la mezcla, colocando la varilla sobre el molde. Y con el flexómetro se mide de la parte superior del montículo de concreto hasta la parte inferior de la varilla punta de bala.



Foto 3.6. Molde para la prueba de revenimiento y medición de revenimiento

Fuente: Propia.

3.15. Fabricación de cilindros.

Navarro y cols. (2000), indican que los cilindros son realizados para revisar el control de calidad de las mezclas. Se da inicio revolviendo la mezcla y haciendo la prueba de revenimiento. Se desecha el material utilizada para la prueba de revenimiento y se procede al llenado de los cilindros. Se engrasa el molde y se coloca cerca de la muestra de concreto en una superficie plana y limpia. Se llena el molde con el cucharon en capas de 10 centímetros y se compacta con la varilla punta de bala con 25 golpes por capa, procurando no pasar hacia la capa inferior. Se golpea el molde ligeramente para sacar las burbujas atrapadas. Y se engrasa el molde con la varilla punta de bala.

El tiempo de la elaboración del cilindro debe hacerse antes de 15 minutos de haber elaborado el concreto. Se les coloca un plástico en la parte superior para prevenir la perdida de humedad y se dejan a una temperatura de entre 17 y 27 grados centígrados. El fraguado necesitado para el desmolde es de 24 horas.



Foto 3.7. Varillado en molde para cilindros y vibrado para expulsar burbujas.

Fuente: Propia.

3.16. Curado.

Navarro y cols. (2000) señalan que el curado del concreto es el procedimiento que evita la pérdida de humedad. La pérdida de humedad disminuye la resistencia del concreto. El cilindro deberá curarse durante todo el transcurso hasta el momento de la prueba de compresión. Se deberá evitar la evaporación del agua. El primer día antes de sacar el cilindro del molde deberá estar cubierto el cilindro de concreto con plástico para evitar la evaporación. Después de haber sido sacado del molde, la manera adecuada para curar los cilindros es ingresándolo a una pila, esto porque mantiene el cilindro completamente húmedo.



Foto 3.8. Pila para el curado de cilindros de concreto

Fuente: Propia.

3.17. Cabeceado de cilindros con azufre.

De acuerdo con Navarro y cols. (2000) el cabeceado de los cilindros se hace para obtener una superficie uniforme logrando que la distribución de carga sea igual en toda la superficie. Se busca lograr una capa de más o menos la misma resistencia del concreto, para que primero falle el concreto.

Se retira los cilindros del curado. Se pone a calentar el azufre hasta convertirse en estado líquido. Se le coloca aceite al molde de cabeceo y a la parte superior e inferior del cilindro. Se procede a vaciar azufre al molde, enseguida se desliza el cilindro por las guías hasta sumergir la cara del cilindro. Se golpea la cara superior del cilindro, para eliminar cualquier burbuja de aire que se encuentre en la cara inferior.

Se deberá esperar hasta que se solidifique el azufre en el cilindro de concreto para poder retirarlo del molde. Se limpia el molde y se vuelve a engrasar para repetir

el mismo procedimiento a la otra cara. Ya terminado de cabecear se espera por lo menos 2 horas para que fragüe el azufre.

3.18. Resistencia a la compresión simple en cilindros de concreto.

Navarro y cols. (2000) afirman que compresión simple es emplear carga axial concéntrica a un cilindro de concreto para verificar su resistencia. Se anota el diámetro y peso de la muestra. Se coloca el cilindro de concreto dentro de la prensa tratando de centrarlo con la placa inferior y superior.

Se nivela y pone en ceros la máquina. Se aplica la carga a una velocidad constante es decir continua y sin impactos, de 1.4 a 3.1 kg/cm²/seg. Se carga el espécimen hasta que suceda la falla registrando el último valor obtenido. Se deberá de observar el tipo de falla además de la apariencia del material. Enseguida se muestra la fórmula para calcular el esfuerzo real:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Donde:

σ = esfuerzo que resiste el espécimen en kg/cm².

P = carga de ruptura en kg.

A = área de la sección transversal del espécimen en cm².

Para calcular el porcentaje de resistencia dependiendo de la edad del espécimen respecto a la resistencia de proyecto se utiliza la siguiente fórmula. Ya calculado el porcentaje de resistencia se compara con la cura de resistencia del

concreto respecto a la edad en días y se verifica si está dentro de las especificaciones.

— :

Donde:

σ = resistencia real a cierta edad en días y en kg/cm².

σ_p = resistencia de proyecto en kg/cm²

Ya calculado el porcentaje de resistencia se compara con la cura de resistencia del concreto respecto a la edad en días y se verifica si está dentro de las especificaciones.



Foto 3.9. Prensa

Fuente: Propia.

CAPÍTULO 4

RESUMEN DE MACRO Y MICRO LOCALIZACIÓN

En el presente capítulo se hablará primeramente de los aspectos generales de la región de Uruapan, Michoacán. Con la finalidad de ubicar los bancos de materiales de donde se extrajeron muestras de grava y arena para realizar las pruebas de laboratorio, se presentan la macro localización de la zona y la micro localización de cada banco de materiales. Se hablará de manera general sobre la topografía y la geología del lugar, permitiendo así al lector, identificar los parámetros que dieron origen a los materiales estudiados, así como las razones por las cuales un material difiere de otro. La hidrología y el clima del lugar se definen de igual manera, y son determinantes para explicar los diversos usos de suelo de la región. Finalmente se da un panorama de la situación actual de los bancos de materiales, se proponen alternativas de estudio y se eligen aquellas que representen una solución.

4.1. Generalidades.

En Uruapan, Michoacán, se ubican dos de los bancos de donde se extrajeron muestras de grava y arena. Este municipio también es conocido como la capital mundial de aguacate por su gran producción de este cultivo. Se considera como punto de unión entre la tierra caliente y la meseta Purépecha. Uruapan significa lugar que siempre florece ya que cuenta con mucha flora, además de contar con una extensa variedad de fauna. De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2011) Uruapan cuenta con 315,350 pobladores. Se dice que el municipio

de Uruapan cuenta con uno de los mejores climas del mundo gracias a su clima cálido.

El municipio de Uruapan es uno de los 113 municipios que integran al estado de Michoacán y se localiza en el Noroeste del mismo, limita al Norte con los municipios de Charapan, Paracho y Nahuatzen; al sur con el municipio de Gabriel Zamora; al Oriente con los municipios de Tingambato, Ziracuaretiro y Taretan; y al Poniente con los municipios de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Periban y Los Reyes. El municipio de Uruapan tiene una extensión territorial de 1286 km².

La ciudad se ubica en la provincia fisiográfica del eje Neo volcánico, en parte de las sub-provincias Escarpa Limítrofe del Sur y Neo volcánico Tarasca, en la que se encuentran sistemas de sierras con características de sierra volcánica compleja con llanos; hacia el Noreste se encuentra una pequeña muestra de malpaís.

Uruapan ocupa una meseta rodeada de cerros a excepción del lado Oeste. En el Norte se localiza el cerro de La Cruz que es la elevación más importante con 2300 metros sobre el nivel del mar. Al sur existen dos cerros: el de las Campanas y La Cruz del Arriero, y también ahí, se localizan las salidas de los escurrimientos pluviales; al Este una serie de lomeríos menores, y al Oeste únicamente el cerro de Jicalán.

En Paracho Michoacán se encuentra uno de los bancos de materiales de donde se extrajeron pruebas. Paracho es conocido mundialmente por dedicarse a la forja de guitarras. El municipio está rodeado de bosques, es por eso que la madera es explotada para la creación de guitarras. Esta ciudad se encuentra en el centro de

la meseta purépecha y prevalecen sus climas templados. El municipio cuenta con un total de 34,721 pobladores según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2011)

4.2. Clima.

Según el Honorable Ayuntamiento de Uruapan (2012), a través de su página de internet www.urupan.org.mx en dicha ciudad se cuenta con uno de los mejores climas del mundo el cual consiste en ser cálido, subhúmedo con lluvias en verano con una temperatura promedio de 23.4 grados centígrados y una precipitación pluvial promedio anual de 1127.4 milímetros

El Gobierno del Estado de Michoacán (2012), por medio de la página www.sg.michoacan.gob.mx indican que el municipio de Paracho tiene un clima templado con precipitaciones todo el año las cuales hacen a 1100 milímetros y unas temperaturas entre los 7 y 22 grados centígrados.

4.3. Hidrografía.

Uruapan Michoacán cuenta con 5 ríos según el Honorable Ayuntamiento de Uruapan (2012). Con una superficie de 58.4% se encuentra el río Cupatitzio, enseguida se encuentra el río Paracho con una superficie del 19.6%, Río Itzicuaró con 6.0% y Río Bajo Tepalcatepec con una superficie del 0.79%. El municipio de Paracho no tiene arroyos ni manantiales, en temporadas de lluvias solo cuenta con arroyos temporales según el Gobierno del Estado de Michoacán (2012)

4.4. Recursos naturales.

Según el Gobierno del Estado de Michoacán (2012) Paracho preponderan los bosques coníferos, con oyamel. Y todo el resto de la superficie está ocupada por matorrales, además la agricultura del municipio se basa en cultivos de maíz, frijol, avena, papa y trigo.

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2011) señala que en el municipio de Uruapan se encuentra con una vegetación a base de bosques por su contenido de pino chino, jarilla, ocote blanco, encino tesmilillo, además a base de selva con subín, cueramo, copal y pastizales de navajita, huizache. Dentro de la agricultura se encuentra el sembrado de maíz, caña de azúcar y aguacate.

4.5. Uso de suelos.

“Los suelos del municipio datan de los períodos cenozoico, terciario inferior y eoceno, corresponden principalmente a los del tipo podzólico. Su uso es primordialmente forestal y en menor proporción ganadera, avícola, apícola y agrícola”. (www.michoacan.gob.mx; 2012)

El municipio de Uruapan contiene rocas según el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2011) de la época cenozoica, terciaria cuaternaria, terciaria, y cretácico basándose en rocas ígneas, rocas extrusivas y suelos aluviales.

4.6. Macro localización.

Como señala el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2011) el estado de Michoacán de Ocampo está ubicado dentro de la superficie de la república mexicana a una latitud de 20° 24' - 17° 55' N y una longitud de 100° 4' - 103° 44' O. El estado de Michoacán de Ocampo se encuentra colindando al Norte con los

estados de Jalisco y Guanajuato, al Sur con el Océano Pacífico y el estado de Guerrero, en el Noreste con el estado de Querétaro, en el Este con los estados de Guerrero y México, en el Oeste con los estados de Colima y Jalisco.

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (2011) indican que el estado cuenta con 58,643.38 de metros cuadrados de extensión continental representando el 3% de la superficie del país, además la misma institución señala que el estado cuenta con un total de 4, 351,037 pobladores. Cuenta con 113 municipios y teniendo como capital la ciudad de Morelia.



Imagen 4.1. Mapa de los Estados Unidos Mexicanos; Michoacán.

Fuente: www.pickatrail.com

4.7. Macro localización del municipio de Uruapan.

La ciudad de Uruapan se encuentra en el estado de Michoacán de Ocampo y según el Instituto Nacional de Estadística (2011) y geografía se encuentra a una

latitud de 19° 25' N y a una longitud de 102° 3' O, además se encuentra a 1,620 metros sobre el nivel del mar. La ciudad tiene una extensión superficial de 954.17 kilómetros cuadrados equivalente al 1.62% de la extensión territorial del estado.

La ciudad de Uruapan se encuentra colindando al norte con el municipio de Charapan, municipio de Paracho y el municipio de Nahuatzen, al sur con el municipio de Gabriel Zamora, en el este con el municipio de Tingambato, al este municipio de Ziracuaretiro y el municipio de Taretan, y al oeste con el municipio de Nuevo Parangaricutiro, con el municipio de Peribán, con el municipio de Tancítaro y con el municipio de Los Reyes

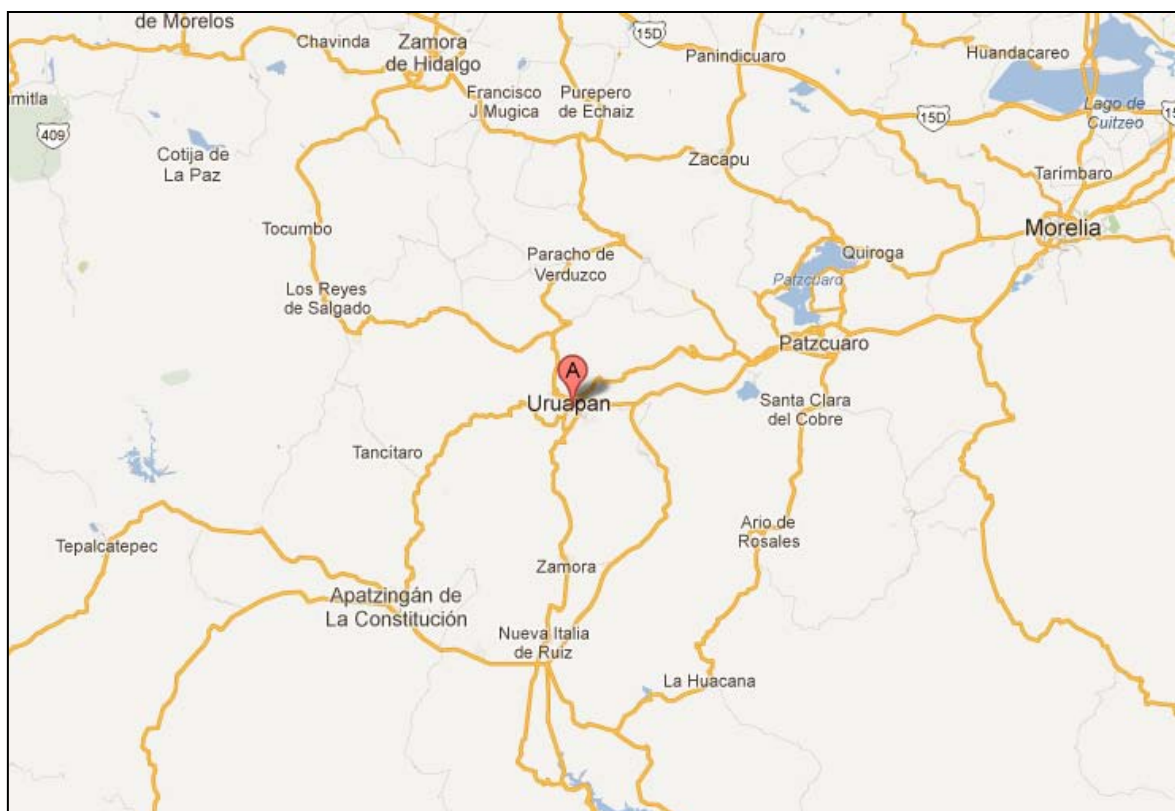


Imagen 4.2. Mapa de Uruapan Michoacán.

Fuente: www.googlemaps.com

4.8. Macro localización del municipio de Paracho.

El municipio de Paracho como indica el Instituto Nacional de Estadística y geografía (2011) se encuentra a 19° 39' Norte latitud y 102° 3' Oeste longitud, además se encuentra a una altura sobre el nivel del mar de 2,200 metros. Colinda al norte con Cherán y Chilchota, y al este con Nahuatzen, al sur con Uruapan y al oeste con Charapan. Tiene .41% de la extensión superficial del estado de Michoacán, el cual consta de 244.15 kilómetros cuadrados hasta el 2010 se encontraba con un total de 34,721 de pobladores.

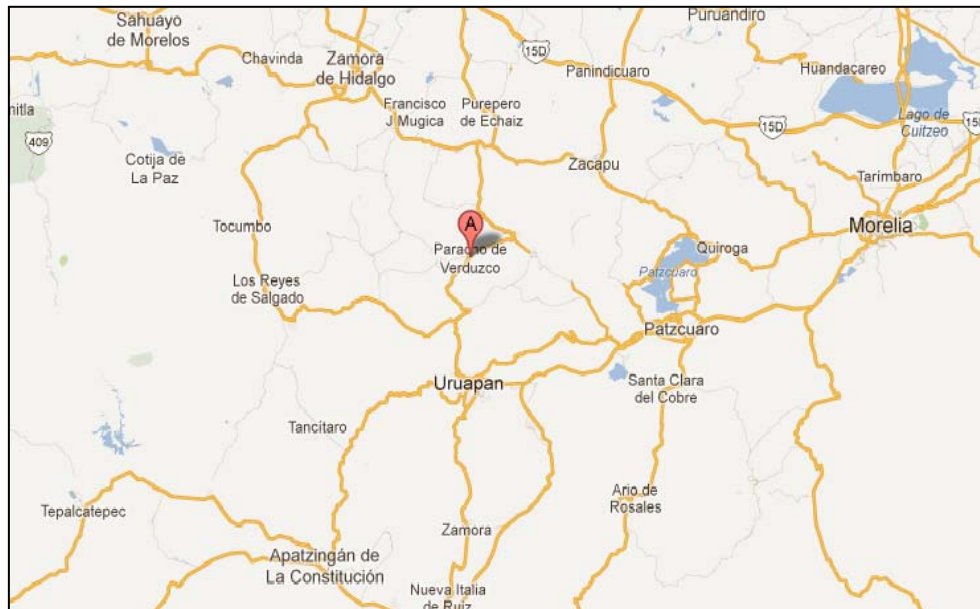


Imagen 4.3. Mapa de Paracho de Verduzco.

Fuente: www.googlemaps.com

4.9. Micro localización de bancos de materiales en Uruapan.

El banco de materiales trituradora 1 se encuentra al noreste de la ciudad de Uruapan, en el kilómetro 55 de la carretera Uruapan-Morelia. El banco de materiales se encuentra cerca de un cerro apodado San Francisco que es de donde se explota

la roca, que después será triturada. Enseguida se muestra mediante un ovalo rojo su ubicación.



Imagen 4.4. Micro localización de la trituradora 1.

Fuente: www.googlemaps.com

El banco de materiales 2 se encuentra a 1 kilómetro del banco de materiales 1. Se ubica al noreste de la ciudad de Uruapan y se encuentra cerca del kilómetro 54 de la carretera Uruapan-Morelia. El material del banco es explotado del cerro de San Francisco que se encuentra a espaldas de la trituradora. En el siguiente mapa se muestra con una elipse roja su ubicación.



Imagen 4.5. Micro localización de la trituradora 2.

Fuente: www.googlemaps.com

4.10. Micro localización del banco de materiales en Paracho.

El banco de materiales de Paracho se encuentra al sur-oeste del municipio de Paracho, y se encuentra cerca del kilómetro 43 de la carretera Paracho-Uruapan. El banco se encuentra en un llano. En el siguiente mapa con un círculo rojo su ubicación.

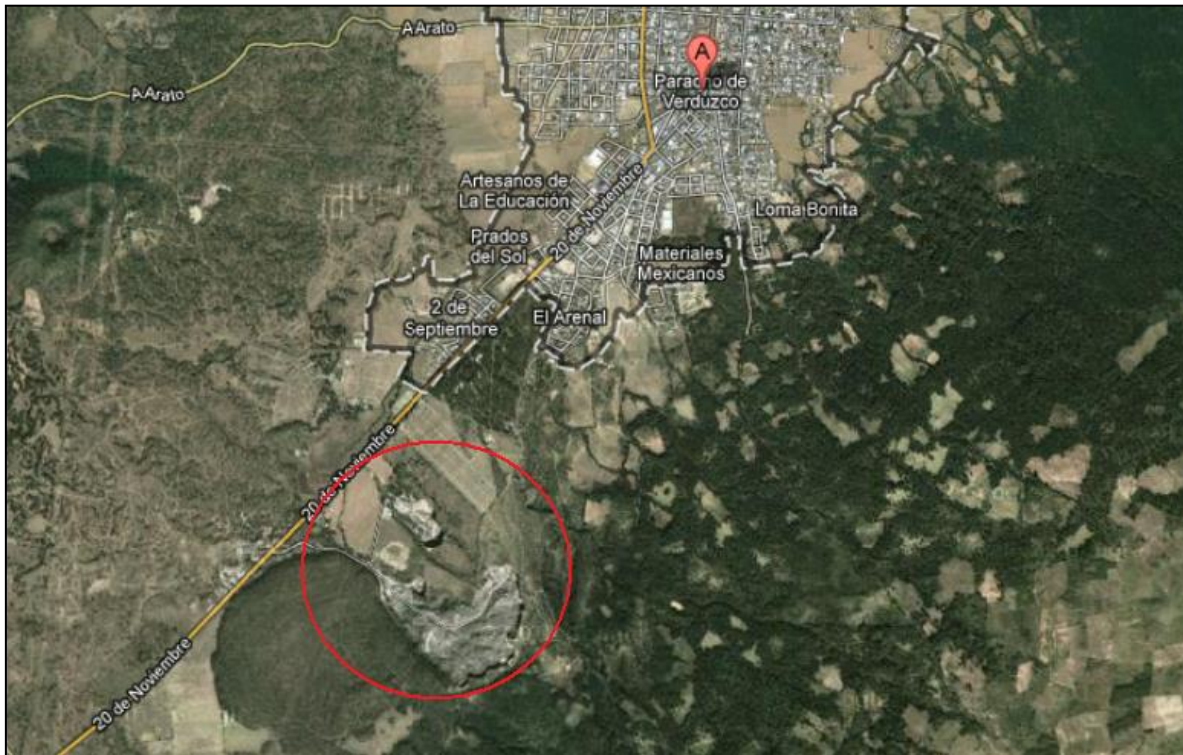


Imagen 4.6. Banco de materiales Paracho.

Fuente: www.googlemaps.com

4.11. Estado actual.

La trituradora 1 se encuentra en funcionamiento. Cuanta maquinaria para la explotación y transporte del material. El material se transporta del cerro de san francisco hacia la máquina trituradora. la maquinaria se encuentra en buen estado,

además que los empleados están al pendiente de la trituración de la roca. Al momento de vaciar material hacia la trituradora se notó que el material llevaba materia orgánica como troncos y tierra. El sistema triturador no deshacía por completo el contaminante. Entre materiales disponibles se encuentra la grava 1", 3/4", 1/2, 1" 1/2", material para base, arena y demás derivados de la trituración de roca basáltica.



Foto 4.7. Equipo de trituración y selección de agregados en el banco de materiales 1.

Fuente: Propia

Las condiciones en la trituradora 2 son muy similares a la trituradora 1 ya que ambos explotan el mismo cerro de San Francisco. Al momento de ir por la muestra la maquinaria se encontraba detenida por motivos de reparación del pulpo. Además, se tiene diversidad de agregados producto de la trituración de la roca.



Foto 4.8. Bandas transportadoras para selección de agregados (izquierda), y roca madre de la cual se obtiene el agregado triturado (derecha); todo en el banco de materiales 2.

Fuente: Propia

El banco de materiales de Paracho se encuentra en funcionamiento la explotación se hace por medio de excavaciones a paredones. La maquinaria se encuentra en buen estado y en operación. Existe diversidad de maquinaria además de un pulpo y cribas. Las cribas son utilizadas para arenas muy finas y el pulpo para gravas y arenas normales.



Foto 4.9. Mallas grandes para cribado y selección de agregado (izquierda), y pared del talud donde se aprovechan los agregados volcánicos (derecha); todo en el banco de materiales de Paracho

Fuente: Propia

4.12. Planteamiento de alternativas.

Después de las visitas de campo a los tres bancos de materiales, el investigador se pudo percatar de las condiciones en las que se producen los agregados. En el banco de materiales volcánicos del municipio de Paracho, los agregados son extraídos por medio de excavaciones y posteriormente son cribados. Para determinar la calidad de estos agregados, se pueden tomar varios caminos. El proceso de cribado podría presentar fallas que repercuten en la correcta granulometría de los materiales, la alternativa sería revisar los procesos de cribado para identificar posibles deficiencias. En cuanto a la forma en que se obtienen los agregados, por excavación del suelo; existe el problema latente de que las vetas de suelo varían con la profundidad, tanto en condiciones físicas de las partículas como en la composición mineral. La alternativa de solución sería cerciorarse de que existe una observación constante de parte de un especialista calificado, que elija los estratos adecuados para explotarse. La última alternativa es revisar la calidad de los agregados por medio de ensayos de laboratorio.

En el banco de materiales triturados número 1, en el cerro de San Francisco, Uruapan; las condiciones son más bien de procesamientos y no de extracción. La roca grande se extrae de las paredes del cerro, para acto seguido, triturarlas por medios mecánicos y clasificar los subproductos obtenidos. Aquí las posibles alternativas se incrementan pues las situaciones donde hay incidencias de errores se incrementan por el proceso. Primero, habría que revisar el material que se esté extrayendo de la montaña para conocer si su composición mineral adecuada. Los métodos de extracción de las grandes rocas no son tan relevantes, tomando en

cuenta los procesos subsecuentes. En este punto del proceso en particular, entre la extracción y el transporte hasta la trituradora, se observó que las rocas llegaban a la trituradora con gran cantidad de tierra y material vegetal (troncos de hasta 50 cm de largo y 10 cm de espesor). A pesar de que la máquina trituradora provee una selección que separa tierra y materia vegetal de los agregados, en las muestras tomadas para llevar al laboratorio se encontraron partículas de madera de tamaño considerablemente dañino. La alternativa de solución para este problema podría consistir en mejorar el proceso de extracción, implementar un lavado de los materiales o revisar efectividad de la maquina seleccionadora.

En el banco de materiales triturados 2, ubicado a un kilómetro sobre la carretera, del anterior banco. Las condiciones de extracción y procesamiento son casi idénticas, esto resulta obvio al considerar que los materiales base son prácticamente los mismos, excepto por las pequeñas variaciones que tienen en diferentes puntos los materiales que conforma una estructura rocosa. Quizás el problema en esta trituradora es que el equipo no estaba en funcionamiento al momento de tomar las muestras. Es decir, en la trituradora 1 el material se tomó casi recién procesado, mientras que en la trituradora 2 ya tenía algunos días reposando. Las características que pueden variar entre los agregados triturados de distintos frentes, debidas al tiempo de reposo entre uno y otro se consideran irrelevantes. Por ultimo cabe señalar que la mayor diferencia que se observó, entre los materiales triturados, fue que los triturados 2 tenían partículas. ligeramente más grandes que los triturados 1, sobre todo en las arenas.

4.13. Alternativas de solución.

Exponer las características de los materiales que produce y vende cierta empresa, puede ser tanto provechoso como perjudicial. Es probable, que la opinión del investigador fundamentada en parámetros teóricos, resulte irrelevante para las entidades que solo se ven obligadas a mejorar la calidad de sus productos ante una baja en las ventas. Se torna más adecuada probar la calidad de los agregados en base a ensayos prescritos de laboratorio, ya que, en base a los resultados se puede deducir la causa de malos comportamientos de los agregados, y entonces, elegir si vale la pena sugerir al productor sobre un cuidado extra de sus procesos. Sin importar lo determinantes que sean los resultados de la experimentación, las empresas no se verán obligadas por ello a cambiar. En consecuencia, la mejor alternativa de solución consiste en evaluar los materiales desde el punto de vista del cliente, ejerciendo su derecho a probar a complacencia el producto ofrecido. Dejando así, que las conclusiones de los estudios de esta tesis trasciendan a través de los lectores que adquieran el conocimiento y lo apliquen en las practica de la construcción y la ingeniería civil.

CAPÍTULO 5

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

De acuerdo con Herman Max, citado por Jurado (2005), la única forma de lograr que una investigación proporcione resultados claros que interpreten fielmente los fenómenos estudiados, es llevando a cabo un procedimiento específico. Por tal motivo, en este apartado se describe la metodología utilizada para llevar a cabo la investigación, partiendo de la definición y argumentación del uso de los métodos: científico, matemático y analítico. El estudio surge bajo un enfoque cuantitativo que también se explica. Con la finalidad de alcanzar los objetivos planteados, se determinó un alcance descriptivo y un diseño cuasi-experimental para la tesis. Finalmente se señala como se llevó a cabo la investigación, puntualizando los pasos seguidos, el orden en que se ejecutaron los mismos y los instrumentos o herramientas utilizadas para recopilar la información pertinente.

5.1. Método Empleado.

Al basarse en lo dicho por Ceballos (2001), esta tesis es una investigación ya que pretende buscar, indagar y averiguar sobre un fenómeno en particular, como lo es la calidad de gravas y arenas en una zona geográfica. Requiere ser, obligadamente, de carácter científico; para lo cual es indispensable seguir un método científico.

Por consiguiente, este documento es una investigación científica, es decir, "...una actividad humana de carácter social, mediante la cual los hombres de ciencia y quienes participan en este tipo de trabajo, descubren la existencia de cosas nuevas; ponen de manifiesto sus relaciones con otros aspectos de la realidad; obtienen un conocimiento sobre sus propiedades; identifican la forma de su estructura y los vínculos entre los elementos que la integran;" (Ceballos; 2001: 42). Siempre bajo la tutela del método científico: un procedimiento organizado y previamente planeado que permite obtener resultados válidos y confiables, necesarios para proporcionar al lector el conocimiento legítimo sobre un tema.

De acuerdo con Ceballos (2001) y Mendieta (2005), el método científico que se empleó consta elementalmente de: Un conocimiento previo del campo en estudio, la observación del fenómeno, el planteamiento del problema, la investigación teórica, el estudio de variables independientes y dependientes, el análisis de resultados, las conclusiones o formulación de teorías y finalmente, la publicación del escrito.

Para concretar la presente investigación, se hace amplio uso del método matemático que descrito por Mendieta (2005) es aquel que, a través de operaciones matemáticas, comparaciones, comprobaciones y relaciones numéricas afirma o niega una suposición, da nociones de proporción y brinda criterios cuantificables. Para este caso en particular, todas las pruebas realizadas a la grava y arena están basadas en números, porcentajes, factores y gráficas que permiten determinar su calidad y sus características. El método también permite la comparación de los distintos tipos de arenas y gravas.

No menos importante, el método analítico es el que "...distingue los elementos de un fenómeno y permite revisar ordenadamente cada uno de ellos por separado..., para luego, a partir de él y de la experimentación de un gran número de casos, establecer leyes universales." (Jurado; 2005:2). El método permite observar, distinguir y comparar las gravas y las arenas de la región. Al aislar las características propias de cada material es posible estudiarlas y contrastarlas con las de otro material e igualmente para una sola propiedad común entre todos los agregados, lográndose de cualquier manera la explicación del fenómeno.

5.2. Enfoque de la Investigación.

La presente investigación se guía a través del enfoque cuantitativo. El enfoque cuantitativo es una forma de investigar que "Usa la recolección de datos para probar hipótesis, con base en la medición numérica y el análisis estadístico para establecer patrones de comportamiento y probar teorías." (Hernández y Cols.; 2004:4)

Hernández y cols. (2004) afirma que el enfoque cuantitativo implica llevar a cabo una serie de pasos estrictamente ordenados, característica que lo diferencia del enfoque cualitativo. El proceso comienza con una *idea* que proviene de la observación de acontecimientos, como la de conocer las características de gravas y arenas en la Región de Uruapan, la idea tiene que ser delimitada y específica para mantener un control máximo durante el desarrollo de la investigación minimizando el error y eliminando la incertidumbre generada por posibles explicaciones alternas del fenómeno en estudio. Conforme a lo anterior, este estudio se limita en dos aspectos: Primero, de todos los materiales susceptibles de usarse como agregados para

elaborar concreto, se analizan únicamente las gravas y arenas que se pueden emplear para fabricar concreto hidráulico estructural; segundo, los materiales estudiados son los ofrecidos por los bancos de materiales *representativos* de la región de Uruapan, Michoacán; lo anterior incluye específicamente, bancos de materiales abiertos al público que abastecen a la ciudad de Uruapan, por lo tanto, la ubicación de cada banco con respecto a la ciudad no es relevante.

Siguiendo lo dicho por el mismo autor, la idea, lleva implícito el planteamiento del problema, para resolverlo se definen objetivos y se redactan preguntas de investigación. Posteriormente se revisa la literatura para elaborar un marco teórico que proporcione información sobre las teorías y conocimientos previos que se tienen del tema. Al considerar lo investigado anteriormente, se elaboran hipótesis y se definen las variables dependientes (las propiedades de cada material) e independientes (cada tipo de grava y arena) teniendo en cuenta los alcances del estudio. Siguiendo un diseño de investigación las hipótesis son probadas por medio de procesos estandarizados basados en la literatura; para el presente caso las propiedades de los agregados pétreos son evaluadas conforme a pruebas de laboratorio ya establecidas y aceptadas por la comunidad científica a nivel Nacional.

Para Hernández y cols. (2004), el siguiente paso es la selección de una muestra adecuada que represente al conjunto estudiado. Por este motivo se realizan muestreos en los que se trata cabalmente de mantener las mismas condiciones que los agregados tienen cuando el banco de materiales proporciona la materia prima al cliente. Una vez obtenidas las muestras, se procede a efectuar las pruebas (de causa-efecto) de laboratorio propias de cada material, el autor llama a este proceso

la medición o recolección de datos. En lo sucesivo, se presenta la parte más importante de la investigación: el análisis de la información obtenida. “Debido a que los datos son producto de mediciones se representan mediante números (cantidades) y se deben *analizar* a través de *métodos estadísticos*.” (Hernández y Cols.; 2004:5) Finalmente, se presenta el reporte de resultados donde se abordan conclusiones tomando en cuenta las hipótesis, los estudios previos y los resultados de las pruebas; es propio de este enfoque presentar los resultados en tablas, gráficas y diagramas estandarizados, que permitan conocer la información obtenida y, en esta tesis comparar los materiales de cada lugar respecto a sus propiedades.

Durante todo el proceso, el investigador debe mantener una postura neutral, imparcial, impersonal y lo más objetiva posible, siguiendo siempre un proceso lógico de razonamiento deductivo para garantizar que “los datos generados poseen los estándares de validez y confiabilidad, y las conclusiones derivadas contribuirán a la generación de conocimiento.” (Hernández y Cols.; 2004:5)

5.2.1. Alcance de la Investigación.

La presente tesis es un estudio de alcance descriptivo. Hernández (2004) se refiere a los estudios de este tipo como aquellos que “Buscan especificar propiedades, características y rasgos importantes de cualquier fenómeno que se analice. Describe tendencias de un grupo o población...Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren...” (Hernández y Cols.; 2004:80)

Lo anterior significa que las investigaciones con alcance descriptivo no pretenden comparar o relacionar las variables.

Se considera que el alcance de ésta investigación es descriptivo, debido a que por un lado la literatura referente a los agregados pétreos demuestra que ya existe una cantidad suficiente de información, basada principalmente en pruebas experimentales y en la observación del comportamiento de los agregados, para identificar y clasificar las variables, que, en este caso, son cada tipo de grava y arena que se oferta al público en la ciudad de Uruapan. Visto de otra manera, al revisar lo dicho por otros autores se descubrieron los métodos específicos para clasificar a los agregados y de la misma manera, ya se han identificado las propiedades que definen su comportamiento individual y dentro del concreto. También se encontró una normatividad vigente que aplica para cualquier tipo de material a emplearse como agregado en el concreto.

Por otra parte, la perspectiva del presente estudio no pretende explicar el comportamiento de los agregados, simplemente se limita a efectuar, en las gravas y arenas previamente definidas, las pruebas necesarias para poder catalogarlas y tabular su capacidad para generar mezclas de concreto que cumplan con los límites establecidos en la Norma Oficial Mexicana, basándose en la teoría existente y en los procedimientos ya establecidos por otros autores.

5.2.2. Diseño de la Investigación.

Para concretar los estudios de esta tesis se siguió un diseño de investigación del tipo Cuasi-experimental. “El término diseño se refiere al plan o estrategia concebida para obtener la información que se desea” (Hernández y Cols.; 2004:120) Hernández (2004) advierte que, dependiendo del diseño de la investigación elegido, los resultados obtenidos serán amplios o específicos. Para un enfoque cuantitativo es de especial importancia cuidar el seguimiento cabal del diseño, para viabilizar la adquisición del conocimiento.

El mismo autor jerarquiza los diseños, con lo cual se puede afirmar que la investigación realizada es primeramente del tipo experimental, porque a diferencia de la investigación no experimental, modifica intencionalmente las variables independientes para deducir los efectos producidos en las variables dependientes. En segunda instancia, el diseño experimental se clasifica como cuasi-experimental gracias a que trabaja con grupos intactos, es decir, que los conjuntos de estudio ya están definidos por situaciones ajenas al estudio, el investigador solamente estudia los grupos sin pretender modificar sus condiciones.

Para las presentes circunstancias, la arena o grava representa la variable independiente, que ha de variar dependiendo del lugar donde se extrae afectando así a las propiedades del material, o bien, las características de los agregados varían dependiendo de la grava y arena con la que se experimente.

5.3. Instrumentos de recopilación de información.

Para llevar a cabo los muestreos, las pruebas de laboratorio, el análisis e interpretación de resultados y en general, todo el proceso de investigación, se usaron diversos instrumentos y herramientas que se enlistan y se describen a continuación:

1. Herramientas y equipo para realizar pruebas de laboratorio:

- Medio de Transporte: En general cualquier vehículo automotriz que facilite el acceso del investigador a los bancos de materiales para la extracción de muestras y a su vez permita la pronta transferencia de los materiales del sitio al laboratorio. Se utilizó una camioneta con caja.
- Costales y bolsas de plástico: Se utilizaron respectivamente, para almacenar las muestras y para dejar saturando porciones de grava y arena.
- Palas, espátulas, palas de boca recta, cucharones y charolas metálicas: Su uso es muy obvio y tiene que ver con el manejo de los materiales, a grandes rasgos se puede decir que se utilizaron para mover, mezclar, depositar, extraer, colocar y extraer los materiales.
- Franelas, Brochas, cepillos de pelo y de fibras metálicas: Se emplearon en general, para labores de limpieza. Específicamente, los cepillos sirvieron para retirar partículas atascadas en las mallas o tamices. Las franelas pueden utilizarse para secar la arena y la grava, cuando se busca que estén *secos superficialmente* (procedimiento del troncocónico).

- Báscula y balanza con aproximación al décimo de gramo: Se utilizaron respectivamente, para pesar muestras de más de tres kilos y para muestras pequeñas que requieren gran exactitud.
- Parrilla eléctrica o de gas: Se utilizó para secar material completa o parcialmente.
- Cristal o Vidrio de reloj: Su uso se limitó a dar indicios de que el material ha perdido toda la humedad. Al colocar el cristal cerca del material calentado en la parrilla, no debe empañarse para aceptar que el material está completamente seco.
- Cono metálico o troncocónico: Cono de metal, sin base y truncado en la parte superior que se utilizó para determinar el momento en el que el agregado fino está superficialmente seco.
- Pinzón: Barra metálica de peso y tamaño especificado por norma, que sirvió para dar compactación a la arena dentro del troncocónico.
- Varilla lisa punta de bala de 5/8 de diámetro: Se empleó para compactar los materiales en las pruebas de PVSV.
- Recipientes metálicos o plásticos de volumen y peso conocido: Se utilizaron para las pruebas de volumen, densidad, PVSS y PVSV de gravas y arenas.
- Juego de mallas o tamices con abertura rectangular o circular de los números o designación: 4", 3 1/2", 3", 2 1/2", 2", 1 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No. 100, No. 200 y charola con su respectiva tapa.

2. Instrumentos adicionales:

- Microsoft Word 2016: Es un programa de soporte lógico (*Software*) que permite procesar y elaborar textos con la posibilidad de incluir elementos que complementen el texto, como imágenes, figuras, esquemas, etc. Se utilizó para redactar información pertinente y presentar tablas, gráficas e imágenes.
- Microsoft Excel 2016: Es un programa de soporte lógico (*Software*) que a través de hojas de cálculo permite el procesamiento de datos. Se utilizó para elaborar gráficas, listas, tablas y cálculos derivados de los resultados obtenidos en pruebas de laboratorio.

5.4. Descripción del proceso de investigación.

Partiendo de la observación, la incertidumbre general de la calidad de gravas y arenas en el municipio de Uruapan, Michoacán; motivó la realización de esta tesis. Se definieron el problema, los objetivos y la pregunta de investigación; para dar solución a ellos se hizo el diseño de la investigación. Se indagó en la biblioteca de la Universidad Don Vasco, para construir un marco teórico fiel a la literatura existente.

Se identificaron los bancos de materiales abiertos al público que ofrecen o abastecen de grava y arena a la de región de Uruapan, se realizaron visitas de campo a cada uno de los bancos. En cada banco de materiales, se obtuvieron muestras, de aproximadamente 50 kilogramos, de arena, y grava de tamaño nominal de $\frac{3}{4}$ " (debido a que este es el tamaño nominal usado para preparar mezclas de concreto hidráulico que conformarán estructuras como trabes, losas, columnas y

castillos). Las muestras se trasladaron al laboratorio, donde se realizaron para cada material, las pruebas indicadas en el capítulo 2.

Tras realizar todas las pruebas, se tabularon, graficaron y ordenaron los resultados de las pruebas para su posterior comparación con los límites establecidos en la Norma Oficial Mexicana. Los resultados de las pruebas se pueden encontrar en el capítulo 5: análisis e interpretación de resultados. Con la información obtenida se elaboraron los resúmenes pertinentes para facilitar la comprensión de los datos y poder dar solución a la pregunta de investigación, se expone finalmente como se cumplió con los objetivos planteados y se establecen las conclusiones finales.

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE DATOS

Para determinar la calidad de los materiales de cada banco, se procedió a realizar las pruebas necesarias para analizar las características de cada grava y arena. Es indispensable que se tenga en cuenta, tal como se dijo en el capítulo 2, que existe gran variedad de métodos para determinar las propiedades de un agregado y para cada característica, puede existir más de un tipo de prueba que arroje datos representativos del material. Los diferentes organismos o instituciones que dictan la normatividad de las características de los materiales en cada país, eligen los ensayos de laboratorio que han de efectuarse para comparar los valores obtenidos con los valores límite.

Para el análisis de la calidad de las gravas y arenas de este estudio se seleccionaron las pruebas sugeridas por Navarro y Cols. (2000), que son acordes con la Norma Oficial Mexicana (N-CMT-2-02-002/02), sin embargo, algunas de las pruebas dictaminadas por Navarro y Cols. (2000) y por la misma Norma no se pudieron realizar debido a las limitaciones, tanto de los laboratorios de Suelos y Materiales de la Universidad, como de la misma ciudad de Uruapan, que siendo joven en el estudio de los materiales, carece de la cultura e infraestructura para realizar algunas pruebas.

A continuación, el lector encontrará de cada prueba realizada, el procedimiento, los materiales empleados, imágenes ilustrativas, cálculos y los resultados obtenidos. Finalmente, se presentan tablas resumen, cuadros comparativos y el análisis de los datos obtenidos.

6.1. Humedad de absorción en gravas.

El objetivo de esta prueba es indicar la capacidad máxima de absorción de una grava expresándola en porcentaje respecto a su peso seco.

Tipo de absorción	% H. Absorción
Baja	Menos del 2 %
Media	Entre 2 % y 4 %
Alta	Más del 4 %

Tabla 6.1. Especificaciones

Fuente: Navarro y cols;2000:138

Material	Peso Saturado y Superficialmente Seco (Ph) (gr)	Peso seco (gr)	% H. Absorción.
Grava Paracho	303.5	297.2	2.12
Grava Triturada 1	300.5	284.5	5.62
Grava Triturada 2	300	291.5	2.92

Tabla 6.2. humedad de absorción en gravas.

Fuente: Propia.

Según los resultados y las especificaciones se demuestra que la grava de Paracho y la grava triturada 2 tienen un porcentaje de absorción media. la grava triturada 1 es la única con un porcentaje alto.

6.2. Densidad en gravas.

Esta prueba es realizada para determinar el volumen absoluto de las partículas de grava en peso por unidad de volumen. Los resultados muestran que las gravas trituradas del área de San Francisco son más densas que las de Paracho.

Material	Volumen (cm³)	Peso seco (gr)	Densidad (gr/cm³)
Grava Paracho	172	394	2.29
Grava Triturada 1	184	422.7	2.30
Grava Triturada 2	123	300	2.44

Tabla 6.3. Densidad en gravas.

Fuente: Propia.

6.3. Peso volumétrico seco y suelto en gravas (PVSS).

El objetivo de la prueba es determinar el peso por unidad de volumen cuando la grava se encuentra en estado natural seco y suelto.

Material	Volumen (cm³)	Peso seco (gr)	P.V.S.S. (gr/cm³)
Grava Paracho	3999.76	4730.00	1.18
Grava Triturada 1	3999.76	4240.00	1.06
Grava Triturada 2	3880.03	4770.60	1.23

Tabla 6.4. PVSS en gravas.

Fuente: Propia

En estado natural la grava triturada 1 muestra un acomodo más pobre entre sus partículas. Grava Paracho y la grava triturada 2 muestran un mejor PVSS.

6.4. Peso volumétrico seco y varillado en gravas (PVSV).

Este ensayo se realiza para obtener el peso de la grava por unidad de volumen cuando es sometida a cierto grado de compactación. La siguiente grafica muestra que la grava triturada 2 y la grava Paracho muestran un mejor comportamiento al ser compactado que la grava triturada 1.

Material	Volumen (cm³)	Peso seco (gr)	P.V.S.V. (gr/cm³)
Grava Paracho	3999.76	5270.00	1.32
Grava Triturada 1	3999.76	4630.00	1.16
Grava Triturada 2	3880.03	5108.60	1.32

Tabla 6.5. PVSV en gravas.

Fuente: Propia

6.5. Granulometría en gravas.

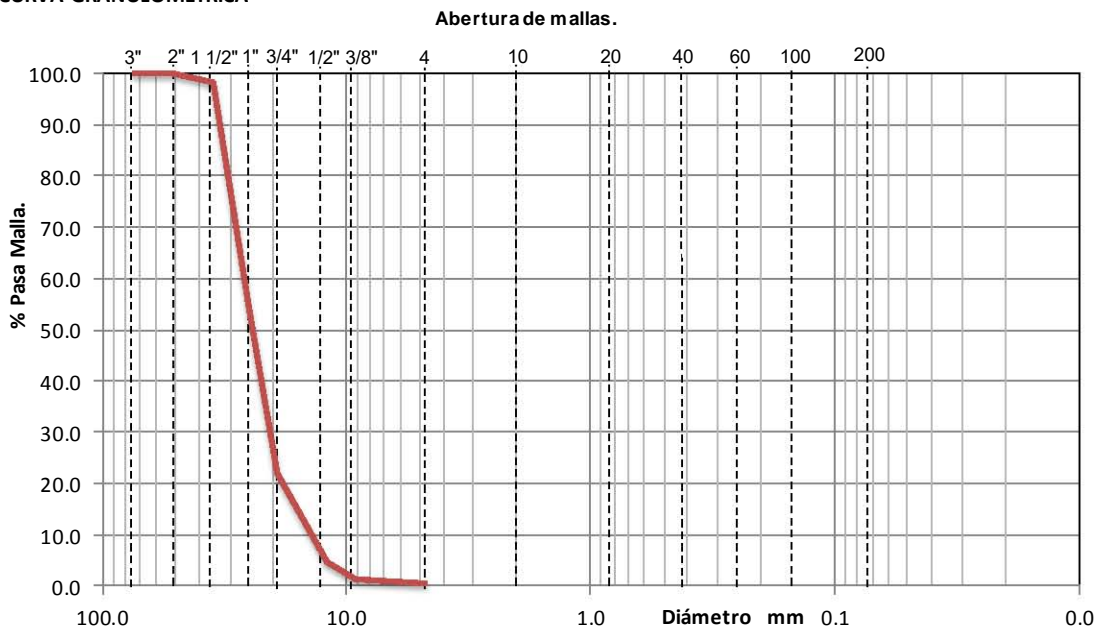
El objetivo es obtener la distribución de los tamaños de las partículas de la grava, así como el tamaño máximo (T.M.) de la grava, valor que se utiliza para el cálculo del proporcionamiento. La siguiente tabla muestran la granulometría de la grava de Paracho, Triturado 1 y triturada 2.

GRANULOMETRIA O CLASIFICACION POR TAMAÑOS DEL SUELO

OBRA	Banco de Materiales de Paracho		DESPERDICIO % RET 2"	0.0%	FECHA:	04/10/2012	
LOCALIZACION	Carretera Paracho-Uruapan Km. 43		PESO HUMEDO (gram)	303.50			
ENSAYE No.	1	SONDEO No.	1	PESO SECO (gram)	297.20	% WNAT.	-
MUESTRA No.	1	PROF.	Superficial	PESO NETO DE MAT. "kg"	3.000	OPERADOR:	Fernando
DESCRIPCION MATER.	GRAVA DE 3/4" DE COLOR GRIS OSCURO		VOLUMEN MOLDE "m3"	0.0040	CÁLCULO:	Fernando	
TIPO DE GRANULOMETRIA :	GRUESA		PESO VOLUMETRICO "Ton/m ³	1.180	Vo. Bo.:	Ing. Blanco	

GRANULOMETRIA GRUESA HASTA MALLA No. 4					GRANULOMETRIA FINA POR LAVADO HASTA MALLA No. 200				
Abertura	Malla	Peso retenido	% Retenido	% Pasa malla	Abertura	Malla	Peso retenido	% Retenido	% Pasa malla
Malla mm.	pulgadas	Parcial (kgs)	Parcial	Parcial	Malla mm.	No.	Parcial (gms)	Parcial	Parcial
76.2	3"	0	0.00	100.00					
50.8	2"	0	0.00	100.00	2	10	-	-	-
36.1	1 1/2"	0.056	1.86	98.14	0.84	20	-	-	-
25.4	1"	1.3290	44.17	53.97	0.42	40	-	-	-
19.05	3/4"	0.9680	32.17	21.80	0.25	60	-	-	-
12.7	1/2"	0.5050	16.78	5.02	0.149	100	-	-	-
9.52	3/8"	0.1240	4.12	0.90	0.074	200	-	-	-
4.76	No. 4	0.0130	0.43	0.47		Pasa 200	-	-	-
	Pasa No. 4	0.0140	0.47	0.00		SUMA	-	-	-
	SUMA	3.009	100.00						

CURVA GRANULOMETRICA



DENSIDAD

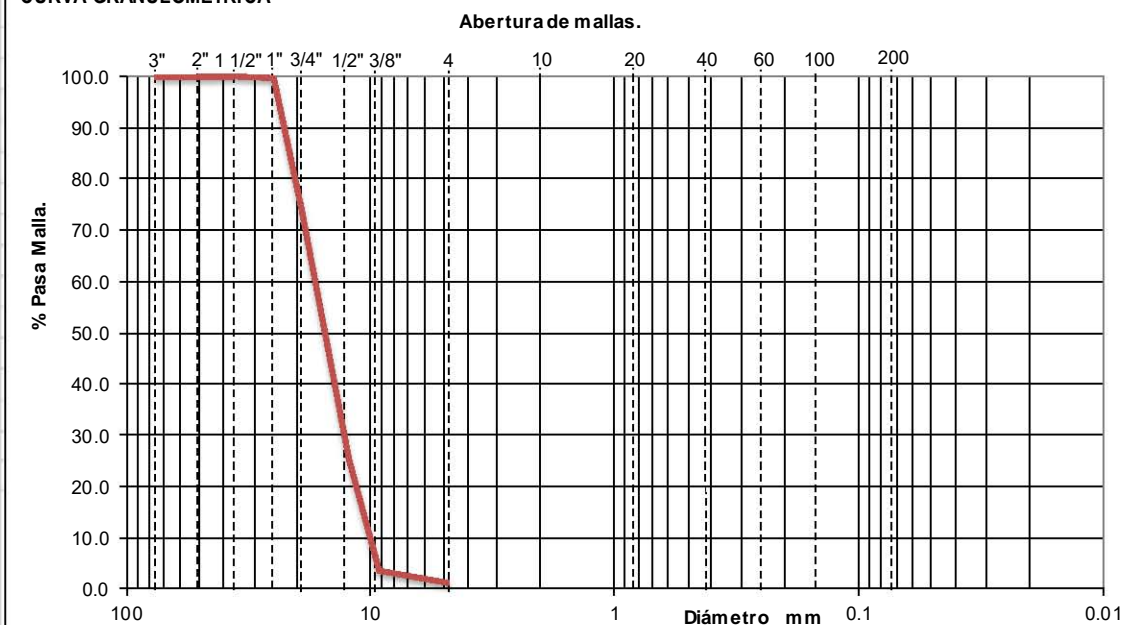
Volumen Desalojado=	172	Peso seco=	394	Densidad Relativa Aparente =	2.29
D 10 =	15.11	Cu = D60 / D10 =	1.81	MAYOR 3"=	0.00%
D 30 =	21.48	Gravas Cu > 4 Arenas, Cu > 6.		G =	99.53%
D 60 =	27.41	Cc = (D30) ² / (D10*D60) =	1.11	S =	0.47%
		Gravas y Arenas Cc entre 1 y 3		F =	0.00%
CLASIFICACIÓN GRANULOMETRICA:		GRAVA MAL GRADUADA (GP)			

GRANULOMETRIA O CLASIFICACION POR TAMAÑOS DEL SUELO

OBRA	Banco de Materiales San Francisco Trituradora 1	DESPERDICIO % RET 2"	0.0%	FECHA:	04/10/2012
LOCALIZACION	Carretera Pátzcuaro-Uruapan Km. 55	PESO HUMEDO (grm)	300.50		
ENSAYE No.	2	SONDEO No.	1	PESO SECO (grm)	284.50
MUESTRA No.	2	PROF.	Superficial	% WNAT.	-
DESCRIPCION MATER.	GRAVA DE 3/4" DE COLOR CAFÉ CLARO	PESO NETO DE MAT. "kg"	3.000	OPERADOR:	Fernando
TIPO DE GRANULOMETRIA :	GRUESA	VOLUMEN MOLDE "m3"	0.0040	CÁLCULO:	Fernando
		PESO VOLUMETRICO "Ton/m ³ "	1.060	Vo. Bo.:	Ing. Blanco

GRANULOMETRIA GRUESA HASTA MALLA No. 4					GRANULOMETRIA FINA POR LAVADO HASTA MALLA No. 200				
Abertura	Malla	Peso retenido	% Retenido	% Pasa malla	Abertura	Malla	Peso retenido	% Retenido	% Pasa malla
Malla mm.	pulgadas	Parcial (kgs)	Parcial	Parcial	Malla mm.	No.	Parcial (gms)	Parcial	Parcial
76.2	3"	0	0.00	100.00					
50.8	2"	0	0.00	100.00	2	10	-	-	-
36.1	1 1/2"	0	0.00	100.00	0.84	20	-	-	-
25.4	1"	0.0000	0.00	100.00	0.42	40	-	-	-
19.05	3/4"	0.7494	25.20	74.80	0.25	60	-	-	-
12.7	1/2"	1.4230	47.86	26.94	0.149	100	-	-	-
9.52	3/8"	0.6680	22.47	4.47	0.074	200	-	-	-
4.76	No. 4	0.0840	2.83	1.65		Pasa 200	-	-	-
	Pasa No. 4	0.0490	1.65	0.00		SUMA	-	-	-
	SUMA	2.973	100.00						

CURVA GRANULOMETRICA



DENSIDAD

Volumen Desalojado	184	Peso seco	422.7	Densidad Relativa Aparente	2.30
D 10 =	10.60	Cu = D60 / D10 =	1.70	MAYOR 3"=	0.00%
D 30 =	14.00	Gravas Cu > 4 Arenas, Cu > 6		G =	98.35%
D 60 =	18.00	Cc = (D30) ² / (D10*D60) =	1.03	S =	1.65%
		Gravas y Arenas Cc entre 1 y 3		F =	0.00%

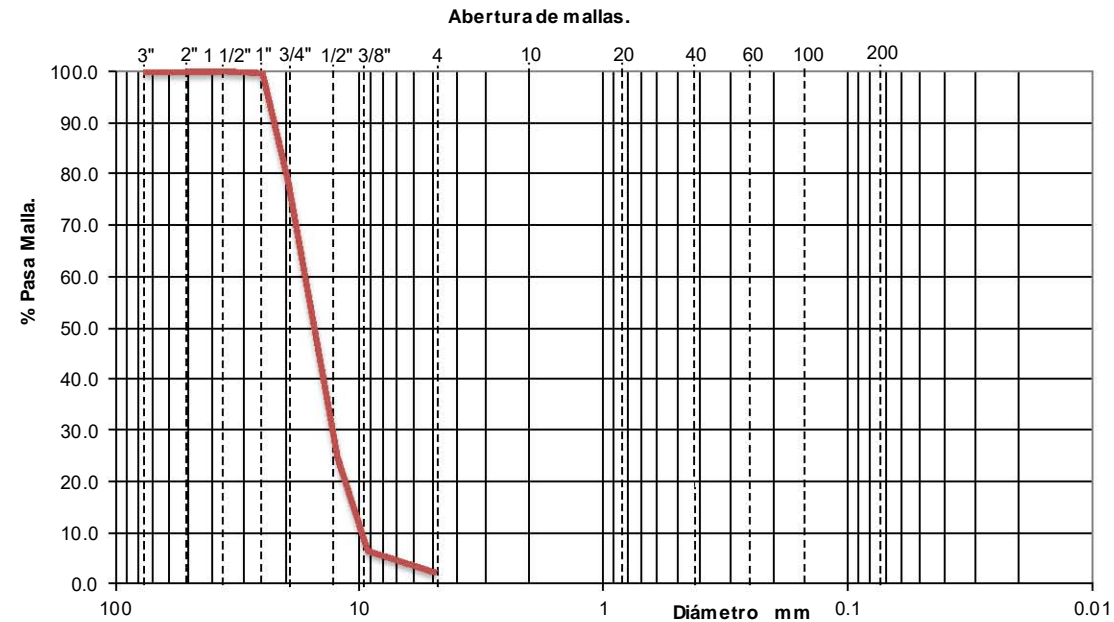
CLASIFICACIÓN GRANULOMETRICA: **GRAVA MAL GRADUADA (GP)**

GRANULOMETRIA O CLASIFICACION POR TAMAÑOS DEL SUELO

OBRA	Banco de Materiales San Francisco Trituradora 2			DESPERDICIO % RET 2"	0.0%	FECHA:	04/10/2012
LOCALIZACION	Carretera Pátzcuaro-Uruapan Km. 54			PESO HUMEDO (grm)	300.00		
ENSAYE No.	3	SONDEO No.	1	PESO SECO (grm)	291.50	% WNAT.	-
MUESTRA No.	3	PROF.	Superficial	PESO NETO DE MAT. "kg"	2.000	OPERADOR:	Fernando
DESCRIPCION MATER.	GRAVA DE 3/4" COLOR CAFÉ CLARO			VOLUMEN MOLDE "m3"	0.0039	CÁLCULO:	Fernando
TIPO DE GRANULOMETRIA :	GRUESA			PESO VOLUMETRICO "Ton/m ³ "	1.230	Vo. Bo.:	Ing. Blanco

GRANULOMETRIA GRUESA HASTA MALLA No. 4					GRANULOMETRIA FINA POR LAVADO HASTA MALLA No. 200				
Abertura	Malla	Peso retenido	% Retenido	% Pasa malla	Abertura	Malla	Peso retenido	% Retenido	% Pasa malla
Malla mm.	pulgadas	Parcial (kgs)	Parcial	Parcial	Malla mm.	No.	Parcial (gms)	Parcial	Parcial
76.2	3"	0	0.00	100.00					
50.8	2"	0	0.00	100.00	2	10	-	-	-
36.1	1 1/2"	0	0.00	100.00	0.84	20	-	-	-
25.4	1"	0.00	0.00	100.00	0.42	40	-	-	-
19.05	3/4"	413.90	20.70	79.30	0.25	60	-	-	-
12.7	1/2"	1081.40	54.09	25.21	0.149	100	-	-	-
9.52	3/8"	359.30	17.97	7.24	0.074	200	-	-	-
4.76	No. 4	96.30	4.82	2.43		Pasa 200	-	-	-
	Pasa No. 4	48.50	2.43	0.00		SUMA	-	-	-
	SUMA	1999.40	100.00						

CURVA GRANULOMETRICA



DENSIDAD

Volumen Desalojado	123	Peso seco	300	Densidad Relativa Aparente	2.44
D 10 =	10.00	Cu = D60 / D10 =	1.76	MAYOR 3" =	0.00%
D 30 =	14.00	Gravas Cu > 4 Arenas, Cu > 6.		G =	97.57%
D 60 =	17.60	Cc = (D30) ² / (D10*D60) =	1.11	S =	2.43%
		Gravas y Arenas Cc entre 1 y 3		F =	0.00%

CLASIFICACIÓN GRANULOMETRICA: **GRAVA MAL GRADUADA (GP)**

6.6. Humedad superficial y humedad de absorción en arenas.

El objetivo de esta prueba es indicar la capacidad máxima de absorción que tiene una arena expresando en porcentaje. La siguiente gráfica muestra que la arena triturada 1 tiene un muy bajo porcentaje de absorción comparadas con las arenas de Paracho y triturada 2.

Material	Peso Saturado y Superficialmente Seco (Ph) (gr)	Peso seco (gr)	% H. Absorción.
Arena Paracho	300.00	297.70	0.77
Arena Triturada 1	300.00	299.00	0.33
Arena Triturada 2	300.00	297.80	0.74

Tabla 6.6. Humedad de absorción.

Fuente: Propia

6.7. Peso volumétrico seco y suelto de una arena (PVSS)

Según Navarro y Cols. (2000) el objetivo de la prueba de PVSS, es obtener el peso por unidad de volumen de una arena, cuando el acomodo de sus partículas es de forma libre o natural. Según los resultados de la prueba las tres arenas son muy parecidas, siendo la arena triturada 1 la que cuenta con un mayor PVSS.

Material	Volumen (cm³)	Peso seco (gr)	P.V.S.S. (gr/cm³)
Arena Paracho	3880.03	6198.30	1.60
Arena Triturada 1	3880.03	6282.80	1.62
Arena Triturada 2	3880.03	6264.00	1.61

Tabla 6.7. PVSS en arenas.

Fuente: Propia

6.8. Peso volumétrico seco y varillado de una arena (PVSV)

Según Navarro y Cols. (2000) el objetivo de la prueba de PVSV, es determinar por medio de compactación el peso por unidad de volumen de la arena.

Material	Volumen (cm ³)	Peso seco (gr)	P.V.S.V. (gr/cm ³)
Arena Paracho	3880.03	6956.80	1.79
Arena Triturada 1	3880.03	6806.80	1.75
Arena Triturada 2	3880.03	7244.00	1.87

Tabla 6.8. PVSV en arenas.

Fuente: Propia

La arena triturada 2 es la que tiene mayor PVSV. La arena triturada 2 es la que tiene un menor peso por unidad de volumen. Un mayor peso significa que hay un mejor acomodo entre las partículas al ser compactados por la varilla lisa punta de bala.

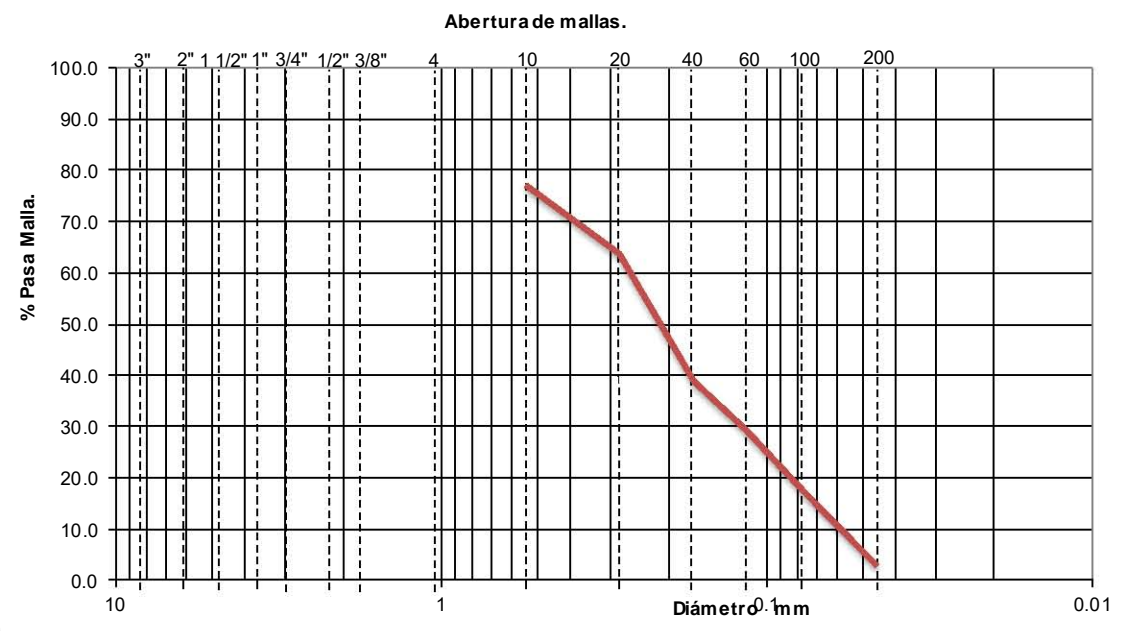
6.9. Granulometría en arenas.

Navarro y Cols. (2000) determinan que el objetivo de la granulometría es pasar por una serie de mallas o tamices la muestra representativa de arena, para conocer la distribución de los diámetros de las partículas y el módulo de finura. Para lo cual se deberá efectuar el registro correspondiente y el cálculo para comparar los resultados de decidir si es o no aceptable la arena.

GRANULOMETRIA O CLASIFICACION POR TAMAÑOS DEL SUELO										
OBRA	Banco de Materiales Paracho				DESPERDICIO % RET 2"	0.0%	FECHA:	04/10/2012		
LOCALIZACION	Carretera Paracho-Uruapan Km. 43				PESO HUMEDO (gram)	300.00				
ENSAYE No.	4	SONDEO No.	1		PESO SECO (gram)	297.70	% WNAT.	-		
MUESTRA No.	4	PROF.	Superficial		PESO NETO DE MAT. "kg"	0.500	OPERADOR:	Fernando		
DESCRIPCION MATER.	ARENA COLOR GRIS OBSCURO				VOLUMEN MOLDE "m3"	0.0039	CÁLCULO:	Fernando		
TIPO DE GRANULOMETRIA :	FINA				PESO VOLUMETRICO "Ton/m:	1.600	Vo. Bo.:	Ing. Blanco		

MÓDULO DE FINURA M. F.					GRANULOMETRIA FINA HASTA MALLA No. 200				
Abertura	Malla	Peso retenido	% Retenido	% Retenido	Abertura	Malla	Peso retenido	% Retenido	% Pasa malla
Malla mm.	pulgadas	Parcial (kgs)	Parcial	Acumulado	Malla mm.	No.	Parcial (gms)	Parcial	Parcial
2	10	105.9	20.85	20.85	2	10	105.9	20.85	79.15
0.84	20	67.9	13.37	34.21	0.84	20	67.9	13.37	65.79
0.42	40	130.4	25.67	59.88	0.42	40	130.4	25.67	40.12
0.25	60	47.4	9.33	69.21	0.25	60	47.4	9.33	30.79
0.149	100	59.8	11.77	80.98	0.149	100	59.8	11.77	19.02
0.074	200	70.2	13.82	94.80	0.074	200	70.2	13.82	5.20
	Pasa 200	26.4	5.20	100.00		Pasa 200	26.4	5.20	0.00
	SUMA	508.0	100.00	359.94		SUMA	508.0	100.00	
			M. F. =	3.60					

CURVA GRANULOMETRICA



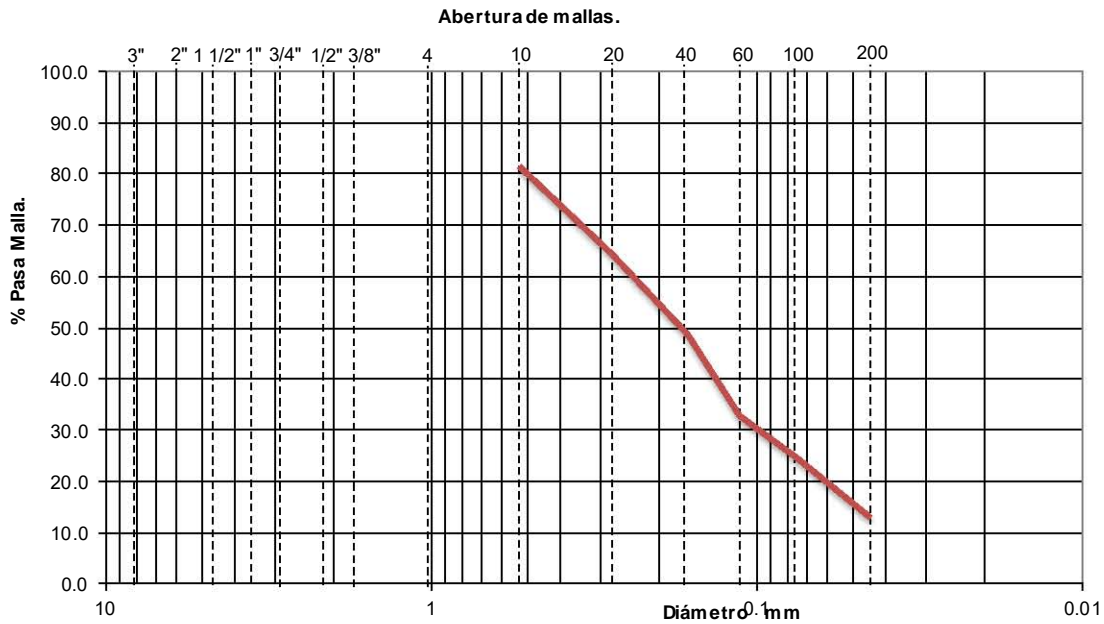
DENSIDAD						
	Volumen Desalojado	119	Peso seco	300	Densidad Relativa Aparente	2.52
	D 10 =	0.095	Cu = D60 / D10 =	7.63	MAYOR 3"=	0.00%
	D 30 =	0.263	Gravas Cu > 4	Arenas, Cu > 6.	G =	0.00%
	D 60 =	0.725	Cc = (D30) ² / (D10*D60) =	1.01	S =	94.80%
			Gravas y Arenas Cc entre 1 y 3		F =	5.20%
CLASIFICACIÓN GRANULOMETRICA:	ARENA BIEN GRADUADA (SW)					

GRANULOMETRIA O CLASIFICACION POR TAMAÑOS DEL SUELO

OBRA	Banco de Materiales San Francisco Trituradora 1	DESPERDICIO % RET 2"	0.0%	FECHA:	04/10/2012
LOCALIZACION	Carretera Pátzcuaro-Uruapan Km. 55	PESO HUMEDO (grm)	300.00		
ENSAYE No.	5	SONDEO No.	1	PESO SECO (grm)	299.00
MUESTRA No.	5	PROF.	Superficial	PESO NETO DE MAT. "kg"	0.500
DESCRIPCION MATER.	ARENA DE COLOR CAFÉ CLARO		VOLUMEN MOLDE "m3"	0.0039	OPERADOR:
TIPO DE GRANULOMETRIA :	FINA		PESO VOLUMETRICO "Ton/m ³	1.620	Ing. Blanco

MÓDULO DE FINURA M. F.					GRANULOMETRIA FINA HASTA MALLA No. 200				
Abertura	Malla	Peso retenido	% Retenido	% Retenido	Abertura	Malla	Peso retenido	% Retenido	% Pasa malla
Malla mm.	pulgadas	Parcial (kgs)	Parcial	Acumulado	Malla mm.	No.	Parcial (gms)	Parcial	Parcial
2	10	88.8	17.77	17.77	2	10	88.8	17.77	82.23
0.84	20	92.5	18.51	36.28	0.84	20	92.5	18.51	63.72
0.42	40	74.5	14.91	51.19	0.42	40	74.5	14.91	48.81
0.25	60	79.3	15.87	67.06	0.25	60	79.3	15.87	32.94
0.149	100	42.8	8.57	75.63	0.149	100	42.8	8.57	24.37
0.074	200	52.3	10.47	86.09	0.074	200	52.3	10.47	13.91
	Pasa 200	69.5	13.91	100.00		Pasa 200	69.5	13.91	0.00
	SUMA	499.7	100.00	334.02		SUMA	499.7	100.00	
			M. F. =	3.34					

CURVA GRANULOMETRICA



DENSIDAD

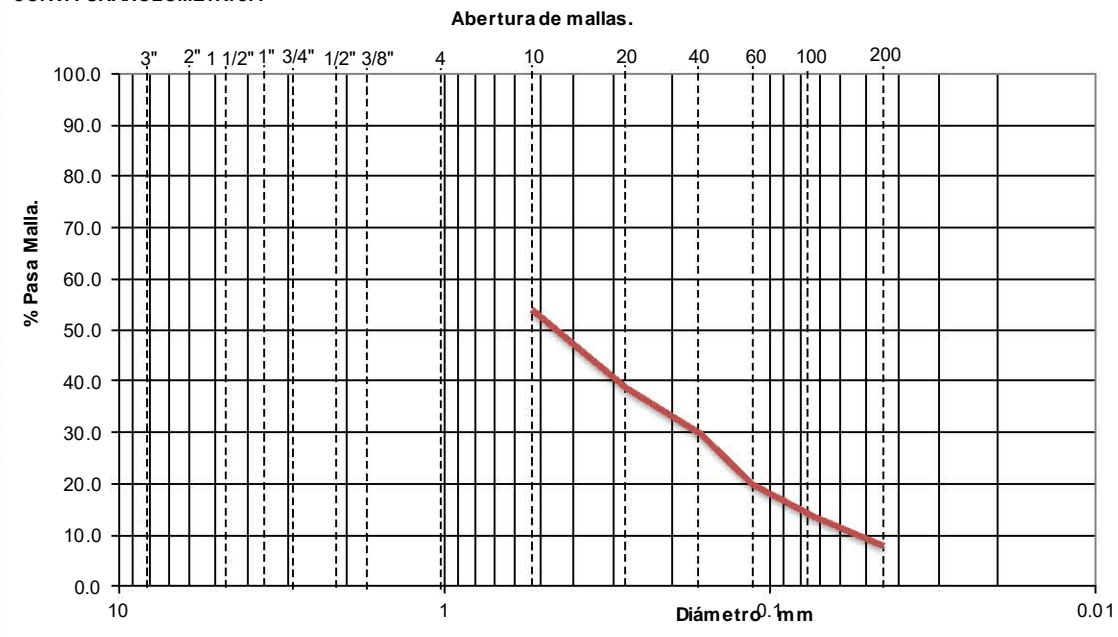
Volumen Desalojado	114	Peso seco	300	Densidad Relativa Aparente	2.63
D 10 =	0.06	Cu = D60 / D10 =	11.67	MAYOR 3" =	0.00%
D 30 =	0.22	Gravas Cu > 4 Arenas, Cu > 6.		G =	0.00%
D 60 =	0.70	Cc = (D30) ² / (D10*D60) =	1.12	S =	86.09%
		Gravas y Arenas Cc entre 1 y 3		F =	13.91%

CLASIFICACIÓN GRANULOMETRICA: **ARENA CON FINOS (SM o SC)**

GRANULOMETRIA O CLASIFICACION POR TAMAÑOS DEL SUELO							
OBRA	Banco de Materiales San Francisco Trituradora Feluxa			DESPERDICIO % RET 2"	0.0%	FECHA:	04/10/2012
LOCALIZACION	Carretera Pátzcuaro-Uruapan Km. 54			PESO HUMEDO (gram)	300.00		
ENSAYE No.	6	SONDEO No.	1	PESO SECO (gram)	297.80	% WNAT.	-
MUESTRA No.	6	PROF.	Superficial	PESO NETO DE MAT. "kg"	0.500	OPERADOR:	Fernando
DESCRIPCION MATER.	ARENA COLOR CAFÉ CLARO			VOLUMEN MOLDE "m3"	0.0039	CÁLCULO:	Fernando
TIPO DE GRANULOMETRIA :	FINA			PESO VOLUMETRICO "Ton/m3"	1.610	Vo. Bo.:	Ing. Blanco

MÓDULO DE FINURA M. F.					GRANULOMETRIA FINA HASTA MALLA No. 200				
Abertura	Malla	Peso retenido	% Retenido	% Retenido	Abertura	Malla	Peso retenido	% Retenido	% Pasa malla
Malla mm.	pulgadas	Parcial (kgs)	Parcial	Acumulado	Malla mm.	No.	Parcial (gms)	Parcial	Parcial
2	10	230.5	46.35	46.35	2	10	230.5	46.35	53.65
0.84	20	71.8	14.44	60.79	0.84	20	71.8	14.44	39.21
0.42	40	48.7	9.79	70.58	0.42	40	48.7	9.79	29.42
0.25	60	49.0	9.85	80.43	0.25	60	49.0	9.85	19.57
0.149	100	25.6	5.15	85.58	0.149	100	25.6	5.15	14.42
0.074	200	30.8	6.19	91.78	0.074	200	30.8	6.19	8.22
	Pasa 200	40.9	8.22	100.00		Pasa 200	40.9	8.22	0.00
	SUMA	497.3	100.00	435.51		SUMA	497.3	100.00	
			M. F. =	4.36					

CURVA GRANULOMETRICA



DENSIDAD						
	Volumen Desalojado	115	Peso seco	300	Densidad Relativa Aparente	2.61
	D 10 =	0.09	$C_u = D_{60} / D_{10} =$	33.33	MAYOR 3" =	0.00%
	D 30 =	0.43	Gravas $C_u > 4$	Arenas, $C_u > 6$.	G =	0.00%
	D 60 =	3.00	$C_c = (D_{30})^2 / (D_{10} \cdot D_{60}) =$	0.68	S =	91.78%
			Gravas y Arenas C_c entre 1 y 3		F =	8.22%

CLASIFICACIÓN GRANULOMETRICA: **ARENA MAL GRADUADA CON FINOS INORGÁNICOS (SP - SM)**

6.10. Sedimentación en arenas.

Esta prueba sirve para determinar si el contenido de material fino que contiene una arena es aceptable para definir si se acepta o no para la elaboración de concreto. Si el material fino rebasa la marca de 444 ml se reporta el material con exceso de finos. Si el material fino no rebasa la marca de 444 ml, se reportará que el contenido de materia fina es aceptable. Los tres materiales resultaron con un contenido aceptable de finos, bajo esta prueba, ya que después de 24 horas de reposo, ningún material supero la marca de los 444 ml.

6.11. Material que pasa por la malla número 200 en arena.

El objetivo de esta prueba es establecer la cantidad de materia fina que contiene una arena, cribándola por la malla número 200. Cuando la arena se va a emplear en la elaboración del concreto hidráulico y ésta contiene exceso de partículas finas que pasan la malla número 200, la cantidad de cemento necesario aumenta considerablemente, existiendo la posibilidad de que aparezcan grietas en las estructuras de concreto. Cuando la arena cae fuera de las especificaciones, si económicamente es posible se recomienda lavarla o adoptar una solución que permita quitarle el material fino o desecharla totalmente.

Material	Peso Seco Inicial (gr)	Peso Lavado (gr)	% Pasa Malla No. 200 (%)
Arena Paracho	500.00	436.20	14.63
Arena Triturada 1	500.00	418.50	19.47
Arena Triturada 2	500.00	429.10	16.52

Tabla 6.9. Material que pasa por la malla No. 200

Fuente: Propia

Según la tabla del SUCS (anexo1) los 3 materiales superan el 12% lo cuales pueden ser clasificados como SM o SC. Estas arenas son consideradas como sucias, ya que contienen una gran cantidad de finos.

6.12. Densidad de la arena.

Esta prueba como lo indica Navarro y cols. (2000) tiene como finalidad obtener el volumen obstáculo de las partículas de arena, es decir, el volumen efectivo excluyendo los vacíos que se forman entre las partículas de arena cuando se acomodan una sobre la otra. Según los resultados de la prueba el material más denso en la grava triturada 1, el material menos denso es la arena Paracho.

Material	Volumen (cm³)	Peso seco (gr)	Densidad (gr/cm³)
Arena Paracho	119.00	300.00	2.52
Arena Triturada 1	114.00	300.00	2.63
Arena Triturada 2	115.00	300.00	2.61

Tabla 6.10. Densidad arenas.

Fuente: Propia

6.13. Tabla resumen gravas y arenas.

La siguiente tabla es un resumen sobre todos los resultados de las pruebas realizadas a las gravas y arenas de los bancos de materiales de Paracho, triturada 1 y triturada 2. En gravas no se aplica porcentaje retenido en la malla No. 200, tampoco el módulo de finura y además no se le realiza la cantidad de finos encontrados en la sedimentación de arena, ya que más de la mitad de la fracción gruesa es retenido en el tamiz No.4.

PROPIEDAD DEL AGREGADO	Arena Paracho	Arena Triturada 1	Arena Triturada 2	Grava Paracho	Grava Triturada 1	Grava Triturada 2
% H. Absorción.	0.77	0.33	0.74	2.12	5.62	2.92
Densidad (gr/cm ³)	2.52	2.63	2.61	2.29	2.30	2.44
P.V.S.S. (gr/cm ³)	1.60	1.62	1.61	1.18	1.06	1.23
P.V.S.V. (gr/cm ³)	1.79	1.75	1.87	1.32	1.16	1.32
% Pasa Malla No. 200	14.63	19.47	16.52	No aplica	No aplica	No aplica
Módulo de Finura	3.60	3.34	4.36	No aplica	No aplica	No aplica
Cantidad de finos en la prueba de Sedimentación en arenas	Aceptable	Aceptable	Aceptable	No aplica	No aplica	No aplica

Tabla 6.11. Tabla de resumen.

Fuente: Propia

6.14. Resistencia a la compresión simple en cilindros.

Según Navarro y cols. (2000) la resistencia a la compresión simple consiste en aplicar una carga axial concéntrica a un cilindro. En las pruebas de resistencia a la compresión se utilizaron las mismas dosificaciones para tener a los 3 bancos de materiales en el mismo punto de partida. Se escoge arbitrariamente un concreto con una resistencia a 200 kg/cm² por su facilidad de elaboración y por ser un concreto de uso cotidiano. El expendedor por medio de su página de internet http://www.cmoctezuma.com.mx/assets/Dosificacion/CPC_30R.pdf indica que para elaborar una mezcla con una resistencia de 200 kg/cm² se requiere un saco de cemento (50 kg), 5.5 botes de grava 3/4, 4.5 de arena y 1 ¾ de cubetas de agua de 19 litros. Los 3 concretos superaron la prueba de revenimiento.

Las pruebas se realizan a los 7 días para conocer si fueron elaborados correctamente los cilindros, el resultado de la prueba debe de aproximarse al 65 %. A

los 14 días se espera una resistencia al 90% y a los 28 días se debe de tener un resultado superior al 99%. La siguiente tabla muestran los resultados en $F'c''$ y después en porcentajes.

Material	Resistencia del concreto		
	día 7	día 14	día 28
Grava y Arena Paracho	124.49	141.47	158.45
Grava y Arena Triturada 1	152.79	158.45	211.66
Grava y Arena Triturada 2	141.47	152.79	169.76

Material	Resistencia del concreto %		
	día 7	día 14	día 28
Grava y Arena Paracho	62.25	70.74	79.22
Grava y Arena Triturada 1	76.39	79.22	105.83
Grava y Arena Triturada 2	70.74	76.39	84.88

Tabla 6.12. Resistencia a la compresión en $F'c''$ y porcentaje

Fuente: Propia

Como se puede observar, el día 7 no se mostró ningún dato inconsistente, siendo los materiales del banco de Paracho los únicos que no lograron el 65% esperado. Al día 14 ninguno de los 3 materiales obtuvo lo esperado. La grava y arena triturada 1 fue el que más se acercó al 90%. Al día 28 el único material que obtuvo la resistencia esperada fue la grava y arena triturada 1 con una resistencia de 211.66 $F'c''$ que equivale al 105.83%. se concluye según la tabla 6.11 y 6. 12 que los tres materiales dan resultados aceptables. Siendo las gravas y arenas trituradas 1 el material como mejores características para elaborar un concreto hidráulico.

CONCLUSIONES.

Esta tesis pretendía determinar la calidad de gravas y arenas de los bancos de materiales de la región de Uruapan para la elaboración de concreto estructural, relacionando los conocimientos teóricos con los procedimientos de campo que permiten determinar la calidad de los agregados, se encontró su cumplimiento, al momento de presentar los resultados de las pruebas realizadas. Se obtuvieron muestras de agregados de tres diferentes bancos de materiales, un banco de volcánicos cribados y dos de materiales triturados.

El objetivo principal de esta tesis era: Determinar la calidad de gravas y arenas de los bancos de materiales de la región de Uruapan para la elaboración de concreto hidráulico estructural. Se demostró su cumplimiento, al momento de presentar los resultados de las pruebas de laboratorio realizadas a cada material. La calidad se puede definir como el conjunto de características que se deben reunir para considerar, al elemento en cuestión. Como objetivo particular se logró identificar los 3 bancos más representativos de la región, banco Paracho y las 2 trituradoras en el cerro de San Francisco. Otro objetivo era el de proponer métodos prácticos para identificar en campo la calidad de los agregados, se cumplió puesto que la mayoría de las pruebas se pueden realizar con equipo básico de laboratorio. Como último objetivo se demostró que los agregados pétreos de la trituradora 1 dan mayor resistencia al concreto hidráulico, por medio de la prueba de compresión simple en cilindros.

A pesar de venir de la misma zona, ambas trituradas reaccionaron a las pruebas muy distintamente. La maquinaria pesada utilizada para triturar y clasificar los agregados jugó un papel muy importante además de la morfología de la piedra extraída. Los resultados arrojaron la grava triturada 2 como un material más denso y con una mejor masa unitaria que la grava triturada 1, además que el comportamiento de la grava 1 al momento de agregarle humedad tubo un pésimo comportamiento, ya que obtuvo un muy alto porcentaje de absorción la cual es perjudicial porque afecta directamente en la relación agua-cemento, pero a su vez esta debilidad demostró ser una virtud ya que ayudó a un mejor ligamiento entre partículas en el concreto. La grava Paracho mostró comportamientos muy parecidos con la grava 2 PVSS, PVSV, densidad y porcentaje de absorción, pero con una gran diferencia su morfología, ya que las gravas trituradas tienden a ser más angulares mientras que las gravas volcánicas tienden a ser más redondeadas.

La arena triturada 1 demostró ser un material más denso y con menores índice de absorción de humedad la tabla del SUCS clasifica esta arena como una arena que contiene finos, la recomendación para esta arena es de ser lavada ya que también en la prueba de material que pasa la malla número 200 excedió el 12 porciento. La arena triturada 2 según la tabla del SUCS es una arena mal graduada con finos inorgánicos además de tener muy alto porcentaje de humedad superficial.

La composición mineralógica, forma y textura de los agregados, varían de una zona a otra, incluso del mismo lugar de donde se extraen un claro ejemplo son las

diferencias que existen entre los resultados de las pruebas entre la grava triturada 1 y 2. Al final de los 28 días donde se esperaba un resultado del 100 por ciento o hasta más en la prueba de compresión simple siendo solamente la grava triturada 1 la que logro los resultados. La grava y arena de Paracho y la triturada 2 no cumplieron con los resultados, pero no se descartan como agregados para la elaboración de un concreto se requiere modificar la dosificación modificando la relación agua-cemento.

Se recomienda a los bancos de materiales generar una tabla de dosificación especial para cada uno de sus agregados, ya que siempre en campo se generaliza y se utilizan las mismas dosificaciones para la elaboración de concretos y esto es un error ya que todos los agregados pueden llegar a la resistencia requerida, pero con su ambiente adecuado.

Finalmente se comprobó mediante la prueba de resistencia a la compresión simple en cilindros de concreto que los agregados pétreos triturados de los bancos de materiales en el cerro de San Francisco dan una mayor resistencia al concreto hidráulico, que los agregados explotado mediante excavaciones y cribados de Paracho.

BIBLIOGRAFÍA.

Ceballos Hernández, Reynaldo y Cols. (2001).

Métodos de Investigación I.

Editorial Nueva Imagen. México, D.F.

Mendieta Alatorre, Ángeles. (2005).

Métodos de Investigación y Manual Académico.

Editorial Porrúa. México.

Hernández Sampieri, Roberto y Cols. (2004).

Metodología de la Investigación.

Editorial Mc Graw Hill. México.

Jurado Rojas, Yolanda. (2005).

Técnicas de Investigación Documental.

Editorial Thomson. México.

Kosmatka, Steven H. y Panarese, William C. (1992).

Diseño y Control de Mezclas de Concreto.

Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C. México.

Merritt, Frederick S. y Cols. (2008).

Manual del Ingeniero Civil. Tomo. I.

Editorial Mc Graw Hill. México.

García Rivero, José Luis. (2004).

Manual Técnico de Construcción Holcim Apasco.

Editorial Fernando Porrúa. México.

Neville, Adam M. (1988).

Tecnología del Concreto. Tomo I.

Editorial Limusa. México.

Neville, Adam M. y Brooks, J. J. (1998).

Tecnología del Concreto.

Editorial Trillas. México.

Meli Piralla, Roberto. (2009).

Diseño Estructural.

Editorial Limusa. México.

American Concrete Institute (ACI). (1968)

Selección y Empleo de Agregados para Concreto.

Traducción autorizada para el Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A. C. (IMCYC).

Love, T. W. (2006).

El concreto en la construcción.

Editorial Trillas. México. 2ª Edición.

Arnal Simón, Luis. (2005)

Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal.

Editorial Trillas. México. 5ª Edición. Reimpresión 2009.

Juárez Badillo, Eulalio y Rico Rodríguez, Alfonso. (2011)

Mecánica de Suelos. Tomo 1. Fundamentos de la Mecánica de Suelos.

Editorial Limusa. México. 2011.

Ortiz Fernández, Alvarado J. (1986)

Control de calidad del concreto hidráulico y sus componentes

Editorial Limusa. México.

Luis M. Navarro Sánchez, Wilfrido Martínez Molina, José A. Espinoza Mandujano (2000).

Análisis de materiales.

Editorial Morevallado. Mexico.

OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN.

Norma Oficial Mexicana (N-CMT-2-02-002/02)

<http://www.hormigonfihp.org>.

<http://www3.inegi.org.mx/sistemas/mexicocifras/default.aspx?e=16>

http://www.canacem.org.mx/la_industria_historia.htm

<http://globalbrief.ca/alejandrogarciamagos/files/2011/11/michoacan.gif>

http://www.cmoctezuma.com.mx/assets/Dosificacion/CPC_30R.pdf

www.sg.michoacan.gob.mx

www.uruapan.org.mx

http://buscador.inegi.org.mx/search?tx=uruapan&CboBuscador=default_collection&q=uruapan&site=default_collection&client=frontend_1&output=xml_no_dtd&proxystyle=frontend_1&getfields=*&entsp=a__inegi_politica&Proxyreload=1&numgm=5

http://sg.michoacan.gob.mx/documentos/coespo/Modelo%204/diagnostico.pdf;_pag2

ANEXOS

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.)
INCLUYENDO IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN

DIVISIÓN MAYOR		NOMBRES TÍPICOS		CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO				
SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 @ Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 @ Las partículas de 0.075 mm de diámetro (la malla No. 200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista.	GRAVAS Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/2 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	GW	Grava bien graduada mezcla de grava y arena con poco o nada de finos	DETERMINESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA DE LA CURVA GRANULOMÉTRICA DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE DE FINOS (fracción que pasa por la malla No. 200). LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SUELO: Menos del 5% (0.075 mm) más del 12% (0.075 mm) entre 5% y 12% Caso de muestra que requiera un uso de símbolos dobles **	COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD C_u : mayor de 4. COEFICIENTE DE CURVATURA C_c : entre 1 y 3. $C_u = D_{60} / D_{10}$ $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$			
		GP	Grava mal graduada mezcla de grava y arena con poco o nada de finos		NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW.			
		* GM	Gravas limosas, mezcla de grava, arena y limo		LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O IP MENOR QUE 4.	Ariba de la "línea A" y con IP entre 4 y 7 son casos de fronteras que requieren el uso de símbolos dobles.		
		GC	Gravas arcillosas, mezcla de grava, arena y arcilla		LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON IP MAYOR QUE 7.	fronteras que requieren el uso de símbolos dobles.		
		SW	Arenas bien graduadas, arena con grava, con poco o nada de finos.		$C_u = D_{60} / D_{10}$ mayor de 6 ; $C_c = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$ entre 1 y 3.			
		SP	Arenas mal graduadas, arena con grava, con poco o nada de finos.		No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW			
	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa pasa por la malla No. 4 PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/2 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4	ARENA LIMPILA Poco o nada de partículas finas	SM		Arenas limosas, mezcla de arena y limo.	LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A" O IP MENOR QUE 4.	Ariba de la "línea A" y con IP entre 4 y 7 son casos de fronteras que requieren el uso de símbolos dobles.	
		ARENA CON FINOS Cantidad apreciable de partículas finas	SC		Arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla.	LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A" CON IP MAYOR QUE 7.	fronteras que requieren el uso de símbolos dobles.	
		LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor de 50	LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido menor de 50		ML	Limos inorgánicos, polvo de caca, limo arcilloso o arcillosos ligeramente plásticos.	CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.) 	G - Grava, S - Arena, O - Suelo Orgánico, P - Turba, M - Limo C - Arcilla, W - Bien Graduada, P - Mal Graduada, L - Baja Compresibilidad, H - Alta Compresibilidad
					CL	Arcillas marginales de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arcillosas, arcillas limosas, arcillas pedregas.		
			OL		Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.			
			LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido Mayor de 50		LIMOS Y ARCILLAS Límite Líquido Mayor de 50	MH		
CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas finas.							
SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	OH	Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad.					
		P	Turbas y otros suelos altamente orgánicos.					

** CLASIFICACIÓN DE FRONTERA - LOS SUELOS QUE POSEAN LAS CARACTERÍSTICAS DE DOS GRUPOS SE DESIGNAN CON LA COMBINACIÓN DE LOS DOS SÍMBOLOS, POR EJEMPLO GW-GC, MEZCLA DE ARENA Y GRAVA BIEN GRADUADAS CON CEMENTANTE ARCILLOSO.

@ TODOS LOS TAMAÑOS DE LAS MALLAS EN ESTA CARTA SON LOS U.S. STANDARD.

* LA DIVISIÓN DE LOS GRUPOS GM Y SM EN SUBDIVISIONES J Y U SON PARA CAMINOS Y AEROPUERTOS UNICAMENTE, LA SUB-DIVISIÓN ESTA BASADA EN LOS LÍMITES DE ATTERBERG EL SUFJO J SE USA CUANDO EL L.L. ES DE 28 O MENOS Y EL IP, ES DE 6 O MENOS. EL SUFJO u ES USADO CUANDO EL L.L. ES MAYOR QUE