



BUAP

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ingeniería

Secretaría de Investigación Estudios de Posgrado

**CALIDAD DE ARENA PARA CONCRETO
HIDRÁULICO EN CINCO BANCOS DE
MATERIALES DEL MUNICIPIO DE PUEBLA**

TESIS

Que para obtener el grado de
**MAESTRO EN INGENIERÍA CON OPCIÓN
TERMINAL EN CONSTRUCCIÓN**

Presenta:

ING. EDUARDO GARCÍA ZENTENO

Director de tesis:

M.I. WOLFSTANO VERNET LÓPEZ

Puebla, Pue.

Febrero 2020



BUAP

Oficio No. 0070/2020

C. Eduardo García Zenteno

Pasante de la Maestría en Ingeniería
con opción terminal en Construcción
Facultad de Ingeniería, BUAP.
Presente

Por medio del presente, el suscrito M.I. Fernando Daniel Lazcano Hernández, Director de la Facultad de Ingeniería, de acuerdo a su solicitud de aprobación de Tema de Tesis, le autoriza desarrollar el tema titulado: **Calidad de arena para concreto hidráulico en cinco bancos de materiales del municipio de Puebla.** Para obtener el grado de Maestro en Ingeniería con opción terminal en Construcción. Asignándose como Director al M.I. Wolstano Vernet López.

Sin otro particular de momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente

"Pensar bien, para vivir mejor"

H. Puebla de Zaragoza, enero 9 de 2020

M.I. Fernando Daniel Lazcano Hernández
Director

C.c.p. M.I. Wolstano Vernet López, Director del Tema de Tesis.

C.c.p. Archivo

ABH/CBM/sco*

CU

Facultad
de Ingeniería

Bldv. Valsequillo y Av. San Claudio
s/n, edif. ING 4, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00 Ext. 7610

M.I. Fernando D. Lazcano Hernández
Director de la Facultad de Ingeniería
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

P r e s e n t e

El suscrito M.I. Wolstano Vernet López, Director del Tema de Tesis denominado: **“CALIDAD DE ARENA PARA CONCRETO HIDRÁULICO EN CINCO BANCOS DE MATERIALES DEL MUNICIPIO DE PUEBLA”** que presenta el Ing. Eduardo García Zenteno con matrícula 218470100, egresado de la **Maestría en Ingeniería con opción terminal en Construcción de la Facultad de Ingeniería de la B.U.A.P.**, siendo requisito para su defensa en el examen de grado, informo a usted, que después de haber procedido a revisar la Tesis correspondiente, verificando que se han atendido las observaciones y recomendaciones por un servidor, no existe inconveniente alguno de mi parte, en **autorizar la impresión** de la misma, por lo que se extiende la presente para los efectos legales a que haya lugar.

Sin otro particular, quedo de usted.

Puebla, Pue., a 10 de Febrero de 2020

A T E N T A M E N T E



M.I. Wolstano Vernet López

Ccp. Dr. Alejandro Hernández Bautista. - Secretario de Investigación y Estudios de Posgrado.

Ccp. M.I. Carlos Bustos Mota. - Coordinador de la Maestría en Ingeniería en Construcción.

Ccp. Archivo.

A mis hijos:

Eduardo, María Rosa y María José por su cariño y paciencia.

A mis padres:

Sergio y María del Carmen por su apoyo incondicional.

Agradecimientos

A la Facultad de Ingeniería de la B.U.A.P.

ÍNDICE

Resumen	viii
Abstract.....	viii
Introducción.....	ix
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO DE LA ARENA PARA CONCRETO HIDRÁULICO.....	11
1.1. Antecedentes históricos del estudio de la arena para concreto hidráulico	11
1.2. El concreto y sus agregados pétreos	14
1.3. Función de la arena en el concreto	16
1.4. Pruebas a la arena para concreto.....	19
1.5. Normatividad de las arenas para concreto	22
CAPÍTULO 2. BANCOS DE MATERIALES.....	30
2.1. Selección de los bancos de arena para concreto	30
2.1.1. Ubicación Geográfica	30
2.1.2. Localización	32
2.1.3. Clima.....	35
2.1.4. Geología de la zona	37
2.2. Obtención de muestras	38
2.2.1. Equipo.....	39
2.2.2. Etiquetas.....	39
2.2.3. Procedimiento	40
CAPÍTULO 3. PRUEBAS REALIZADAS A LAS ARENAS EN EL LABORATORIO INTEGRAL (FI-BUAP).....	45
3.1. Contenido de humedad natural en las muestras de arena. ...	45
3.2. Masas volumétricas de las muestras de arena.....	49
3.3. Granulometría y módulo de finura en las muestras de arena	58
3.4. Impurezas orgánicas en las muestras de arena	64

3.5. Equivalente de arena de las muestras de arena.....	67
3.6. Absorción y Masa específica de las muestras de arena.....	72
3.7. Porcentaje de partículas que pasan la malla No. 200.....	79
3.8. Rotura por compresión de arenas.....	83
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS	99
4.1. Análisis de contenidos de humedad	99
4.2. Análisis de masas volumétricas.....	100
4.3. Análisis de granulometrías	101
4.4. Análisis de impurezas orgánicas.....	103
4.5. Análisis de los equivalentes de arena.....	104
4.6. Análisis de la absorción y densidad de las arenas	105
4.7. Análisis del porcentaje de partículas que pasan la malla No. 200	107
4.8. Análisis Rotura por compresión de arenas	108
CONCLUSIONES.....	111
RECOMENDACIONES	112
BIBLIOGRAFÍA	114
ANEXO A.....	117
ANEXO B.....	120

Resumen

En la presente investigación, se analiza las características de calidad en las arenas para concreto hidráulico en cinco de los bancos de material más explotados para el municipio de Puebla. Los resultados obtenidos darán certeza de la calidad de la arena de acuerdo con la normatividad mexicana vigente.

La falta de revisión de calidad en los agregados pétreos del concreto hidráulico aumenta en gran medida la posibilidad de que se presenten patologías que encarezcan la obra, ya sea porque se requiera su reparación o, en el peor de los casos, la demolición de elementos construidos. Cuando el constructor conoce los resultados del análisis sobre la calidad de los materiales utilizados en la construcción mediante un laboratorio, tiene la seguridad y garantía de las obras realizadas.

Abstract

In the present investigation, the characteristics of quality in the sands for hydraulic concrete in five of the most exploited material banks for the municipality of Puebla are analyzed. The results obtained will give certainty of the quality of the sand in accordance with current Mexican regulations.

The lack of quality review in the stone aggregates of hydraulic concrete greatly increases the possibility of pathologies that lead to the work, either because its repair is required or, in the worst case, the demolition of elements built. When the builder knows the results of the analysis on the quality of the materials used in the construction by means of a laboratory, he has the security and guarantee of the works carried out.

Introducción

El trabajo de investigación que se presenta a continuación, ha sido elaborado con la finalidad de conocer las características y cumplimientos en calidad de la arena utilizada para la dosificación de concreto hidráulico. Para esto se elige una muestra representativa de cinco bancos de materiales con mayor explotación para el municipio de Puebla; estos son: “Acajete”, “Derrumbadas”, “Thome”, “Miravalles”, “La Letra” registrados dentro de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes; y se introduce un banco de explotación particular no registrado al que denominaremos “sin nombre”. Para la realización del estudio se requiere hacer análisis experimental de las arenas y comparar los resultados con las normas mexicanas vigentes para el diseño del concreto hidráulico.

Actualmente se realizan estudios y cálculos del proporcionamiento del concreto y morteros, donde se analizan los materiales que lo integran para alcanzar diferentes resistencias de los mismos. La arena es uno de estos componentes del concreto y es útil para cubrir los huecos que se forman entre las partículas del agregado grueso (grava). Para ello, la arena debe cumplir con requerimientos que la hacen eficiente dentro del concreto. En el Estado de Puebla, existen treinta y seis bancos de materiales que comercializan arena para concreto hidráulico. Mismos que venden el material sin analizarlo y delegan al constructor la responsabilidad de la calidad de su material. Esto hace que, por costumbre o confianza, el constructor utilice el material sin analizarlo en un laboratorio que verifique su calidad. Por lo tanto, la arena es utilizada en la elaboración del concreto con el riesgo de producir afectaciones inmediatas o futuras a la obra.

Las pruebas de calidad a analizar en el presente estudio son: granulometría, módulo de finura, impurezas orgánicas, equivalente de

arena y porcentaje de partículas que pasan la malla No. 200 (0.075mm) y las que complementan los requerimientos de dosificación son: contenido de humedad natural, masas volumétricas seca suelta y seca varillada, absorción y densidad. Por otro lado se agrega una prueba experimental para determinar la resistencia a la rotura de las arenas ensayadas a compresión, misma que dará nuevos indicios de cuál de las muestras en estudio tiene un mejor comportamiento, con una mayor durabilidad y resistencia en el concreto hidráulico.

En el primer capítulo del estudio, se presenta una compilación de antecedentes del uso de la arena en el concreto hidráulico y su función así como la normatividad mexicana de las pruebas que se aplican; en el segundo se hace la selección y muestreo de bancos de arena a analizar, dando su ubicación geográfica y geología. El tercer capítulo abarca las pruebas de calidad realizadas a las arenas en estudio dentro del Laboratorio Integral de la Facultad de Ingeniería de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla y en el cuarto y último capítulo se hace el análisis comparativo de resultados con las normas mexicanas vigentes.

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES DEL ESTUDIO DE LA ARENA PARA CONCRETO HIDRÁULICO

Los estudios en los materiales que componen una dosificación, tanto los inertes (gravas y arenas), como los activos (agua y cemento), son necesarios e importantes para un buen concreto hidráulico y su comportamiento. En este capítulo, se presentarán los antecedentes del estudio de la arena como elemento importante para el concreto hidráulico, con las pruebas físicas que se le aplican, exclusivamente dentro de la dosificación; además de describir la historia desde sus inicios hasta las normas que están vigentes en México.

1.1. Antecedentes históricos del estudio de la arena para concreto hidráulico

En el transcurso de la historia, la humanidad ha necesitado aprender a usar los recursos propios de la naturaleza. El proceso de los agregados se remonta a la actividad gestada desde el interior de la tierra a través de las eras geológicas. Esto ha llevado a cambios en la formación y transformación de las rocas para el uso en concreto hidráulico. De acuerdo con algunas investigaciones, los hallazgos más antiguos de los que se tiene conocimiento sobre el uso de mezclas cementantes datan de los 7000 y 6000 a.C. En Israel y la antigua Yugoslavia, respectivamente, se encontraron vestigios de los primeros pisos de concreto a partir de calizas calcinadas.

Durante el siglo XI a.C. en la población de Pozzuoli, se desarrolló el cemento puzolánico, al mezclar caliza calcinada con finas arenas de origen volcánico. En cambio, el estudio de la arena tiene aproximadamente unos cien años, debido a que surge la normatividad para el uso de agregados en el concreto (Osorio, 2010).

En los últimos 100 años, la necesidad del uso de materiales para construcción ha llevado al hombre a estudiar las características de los agregados (grava y arena) desde su estado natural hasta sus medios de uso.

En 1915, en los Estados Unidos se crea un laboratorio de investigaciones experimental, auspiciado por los fabricantes de cemento y constructores. Al colocar al frente al Dr. Duff Abrams, se inicia el ensayo de mezclas con la misma cantidad de cemento, grava y arena, solamente con variación en el contenido de agua. Con esta variación, se observó que el agua influía en la resistencia del concreto y, a partir de esto, surge la ley de Abrams, que se enuncia en la siguiente fórmula:

$$F'c = A/B^x \quad (1.1)$$

Donde los componentes:

F'c. Es el esfuerzo unitario de un cilindro de concreto de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura, sometido a una fuerza de compresión simple, a una edad de 28 días con temperatura de 23 +/- 1.7°C y una humedad mayor a 90%.

A. Es un valor de 984.2 kg/cm².

B. Es una constante por tipo de cemento.

x. Es la razón agua/cemento (A/C) en volumen en donde esta relación varía entre 0.33 y 1.

La fórmula anterior es parte del aporte del Dr. Abrams y sigue vigente hasta el día de hoy, para determinar la resistencia de un concreto a una edad de ensaye de 28 días (Abrams, 1918). En el

mismo año de la publicación del Dr. Abrams, referente a la resistencia a compresión del concreto hidráulico, Edward y Young estudiaron el tamaño máximo del agregado y la relación cemento-agregado. Dedujeron que un concreto con mayor tamaño de agregado será más resistente y económico.

En 1963, Gilkey investiga los factores más importantes que influyen en la resistencia de un concreto y da los siguientes enunciados, que son mencionados de mayor a menor importancia. (Rivva López, 1992)

- 1.-La relación agua/cemento
- 2.-La relación cemento/agregado
- 3.-Forma, textura y granulometría de los agregados
- 4.-Tamaño máximo del agregado

Aquí, Gilkey incluye ciertas características de la relación de los agregados en la mezcla de concreto hidráulico, en cuanto a la textura, granulometría y tamaño máximo (Rivva López, 1992). Por lo tanto, da la importancia a los agregados del concreto hidráulico en la mezcla e inicia un estudio más cuidadoso a los agregados.

Tres años después, en México son aplicados los estudios hechos por Abrams, Gilkey, Edward y Young en las Normas de 1966 para los agregados y modificados. Con el pasar de los años, en las normas de 1977, 1985, 1987, etcétera, se presentan modificaciones e inclusión de propiedades de los agregados que mejoran la calidad del concreto hidráulico en comparación con el de la mezcla de concreto que es milenario.

1.2. El concreto y sus agregados pétreos

Los agregados pétreos para concreto hidráulico son materiales granulares, formados por fragmentos de roca, en su mayoría utilizados en la construcción. Estos materiales son conocidos de forma coloquial como gravas, arenas, gravillas y fino.

La comercialización de los agregados es a granel y se transporta en camiones llamados “góndolas” por su tamaño y capacidad. Los agregados pétreos, también conocidos como áridos, son materia prima que se explota, por lo general, cerca del lugar de consumo, con el fin de aminorar los costos de traslado. Depende del requerimiento industrial o de construcción, los áridos deben tener características diferentes, según corresponda, asociadas a su petrografía o a la necesidad para lo cual sean empleados. Cabe destacar ciertas propiedades o características de los agregados como:

- Mecánicas, como: resistencia a la compresión, la fragmentación, al pulimento y al congelamiento.
- Físicas y químicas, como: granulometría, geometría, densidad, porosidad y absorción. Contenidos de materia orgánica, azufre y cloruros.

En el caso del concreto hidráulico, el conocimiento de las características de los agregados a usar en el concreto es fundamental para que la dosificación sea la adecuada. De esta manera, se asegura que el comportamiento de resistencia y durabilidad del concreto sea acorde al diseño de proyecto a realizar. Por el tipo de roca según la composición de los áridos se pueden clasificar de forma natural en tres grupos básicos:

- Rocas ígneas, estas se solidifican a partir de un estado de fusión. Por ejemplo: las rolitas, basaltos, dioritas, gabros.
- Rocas sedimentarias, que están compuestas de partículas derivadas de otras rocas y son depositadas por el agua o viento, por ejemplo: las calizas, areniscas, dolomitas.
- Rocas metamórficas, estas se originan a partir de las sedimentarias o ígneas, cuando han sufrido alteraciones por fuertes presiones y altas temperaturas por ejemplo: mármoles, cuarcitas, esquistos, pizarras, gneises. (Milera Marinez, 2001)

En el uso del concreto se busca que los agregados tengan una excelente resistencia, forma, textura y poca porosidad, esto permite una disminución de la cantidad de cemento y agua. Ejemplos de estos son el basalto, la caliza y el mármol. Actualmente, se busca reutilizar los agregados de demoliciones como un reciclado o también residuos de la industria como la escoria, que es un desecho en la producción de acero.

Otra forma de clasificar a los agregados es de acuerdo con el tamaño de las partículas. Si son contenidos entre la malla No. 200 y la malla número 4 (4.7 mm) se consideran arenas; si pasan la malla No. 200 se consideran finos y si se retienen en la malla No. 4 y pasan la malla de 3 pulgadas se consideran gravas.

El proceso de obtención de los agregados es tecnológicamente complejo ya que intervienen varias disciplinas como la topografía, la petrografía, la mineralogía, etcétera. Sin embargo, básicamente es sencillo, consiste en triturar la roca extraída para obtener tamaños menores y clasificarlos de acuerdo con su granulometría para almacenarlos.

La trituración y molienda disminuye el tamaño de las partículas. En el caso de este estudio, se requiere de equipos de trituración

como mandíbulas, equipo de percusión, giratorios y molinos de bolas de acero. En las arenas se trituran tamaños que no tienen el diámetro de 4.7 mm; por lo tanto, suele ser menor el número de etapas para su obtención.

El empleo de los agregados pétreos es amplio dentro de la construcción, ya sea en edificación, urbanización e infraestructura. Después del agua, los agregados pétreos son la materia prima más utilizada y quienes se benefician no conocen el proceso de obtención, ya que adquieren bienes terminados.

1.3. Función de la arena en el concreto

Dentro de la industria de la construcción, se realizan mezclas de materiales de acuerdo con su volumen tales como la 1:2:4, que se refiere a la proporción de una parte de cemento, dos partes de arena por cuatro partes de grava. Esta combinación la siguen usando, hasta hoy en día por los maestros albañiles en el trabajo que desempeñan. Desafortunadamente, hay un error en este procedimiento, ya que solo se agrega el agua a la mezcla de acuerdo con la manejabilidad del material y con la cantidad de arena.

El Dr. Abrams, modifica este concepto de mezcla de arena y grava (materiales pétreos) con la introducción de una pasta compuesta por agua y cemento. Después de realizar suficientes experimentos de laboratorio que permitieran tener las bases para demostrar y comprobar su propuesta, Abrams enunció su ley:

“Siempre que una mezcla de hormigón (o de mortero) sea laborable y que los áridos sean limpios y estructuralmente sanos, la resistencia, impermeabilidad y otras buenas

cualidades del hormigón y del mortero, para unas condiciones dadas de manufactura y curado, están fijadas por la cantidad de agua que entra en la mezcla, expresada como una relación con la cantidad de cemento. La cantidad de agua en la mezcla está fijada por el tamaño y graduación de los áridos, la cantidad de cemento y la consistencia del hormigón o mortero”. (Abrams, 1918)

Abrams en su ley no solo da importancia a la relación agua/cemento de la pasta, además, imprime relevancia a las características de los áridos para la mezcla. Por tanto, con la proporción adecuada de los agregados pétreos, se obtiene una mezcla trabajable, con una buena graduación de sus tamaños y calidad lo que permite obtener la resistencia, impermeabilidad, plasticidad y consistencia del concreto hidráulico.

En particular, la plasticidad se obtiene con una correcta proporción de los agregados pétreos, es decir, se debe determinar la cantidad de grava necesaria por cada volumen de arena en la mezcla. Aquí, la arena tiene un papel importante en la unión con el cemento y el agua, ya que son quienes cubren a las gravas, evitando la segregación y manteniendo la aglutinación de los elementos.

Cuando falta arena en la dosificación del concreto hidráulico, no queda bien cubierta la grava por el mortero; en consecuencia, se reduce la *trabajabilidad* del concreto y se dejan huecos entre las gravas. En la figura 1.1, se observan los huecos que se forman en un concreto cuando no se tiene arena en la mezcla, lo que la hace menos compacta e impermeable. Cuando falta la arena en la mezcla, que es un medio de distribución de la pasta de cemento y agua, las partículas de grava se adhieren unas con otras y la pasta no se distribuye lo suficiente para cubrir las oquedades.



Figura 1.1. Fotografía de concreto sin arena (Concreto Único Empresa).

La relación entre arena y grava es un factor que varía según la cantidad de agua y cemento que se agregan al concreto. Esto significa que mientras más pobre es la cantidad de cemento, es necesaria una cantidad mayor de arena con respecto a la grava. Otro factor que influye con la falta de arena y el aumento de huecos en el concreto es la permeabilidad. Un concreto con excesivos huecos se verá afectado por el agua que absorbe y por los efectos de congelación, que producen un aumento de volumen y, por ende, microfisuras que afectan seriamente la resistencia del concreto hidráulico.

Para la determinación de la cantidad de arena, debe tenerse en cuenta que es preferible una mezcla con arena suficiente y necesaria a que exista escases de ella. Un concreto con poca arena presenta oquedades, un acabado áspero y muy permeable; pero, si tiene un exceso de arena se tendrá un concreto poroso y baja densidad, así como un concreto de baja resistencia, debido a mayor requerimiento de cemento y agua para cumplir con cierta proporción A/C y dar el revenimiento adecuado, traducido en mayor costo de fabricación.

Finalmente, se puede decir que la función de la arena en el concreto es cubrir todas las partículas de grava, junto con la pasta de cemento y agua. Cuando esto se cumple, la mezcla tiene una mejor apariencia, se puede trabajar, tiene resistencia y durabilidad en el concreto.

1.4. Pruebas a la arena para concreto

La dosificación del concreto hidráulico requiere de la aplicación de ciertas pruebas a los agregados pétreos. Estas pruebas se refieren a la calidad necesaria que justifique el uso de los materiales pétreos en la dosificación.

De acuerdo con la información anterior, en este trabajo se presentan solo ciertos aspectos de la arena que intervienen en el proporcionamiento del concreto y se encuentran en la normatividad mexicana (NMX). A continuación, se indican las pruebas que se realizarán a la arena en este trabajo con referencia al Manual del Concreto de la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

El contenido de humedad natural de la arena varía durante el año, debido a los cambios climáticos. Por lo tanto, es necesario analizar la arena periódicamente, para modificar la cantidad de agua a agregar en la mezcla y no afectar la relación agua/cemento en una dosificación. El contenido de humedad natural de la arena puede cambiar la resistencia de un concreto, sino se incluye en los cálculos para la dosificación de agua en la mezcla. Es decir, deberá aumentarse la cantidad de agua para realizar la mezcla, debido al efecto de absorción de la arena.

La granulometría y módulo de finura de la arena, influyen en los diferentes tamaños de las partículas que rellenan, junto con el cemento y el agua, los huecos formados entre las gravas. Es una prueba física que además permite determinar el módulo de finura del agregado, mediante un cálculo de relación de partículas retenidas en las cribas utilizadas. Este es un dato igualmente requerido en la dosificación, indicador del comportamiento que tendrán las arenas dentro del concreto.

Impurezas orgánicas es una prueba de calidad, revisa la cantidad de materia orgánica que contiene la arena ya que es muy deleznable. Por tanto, afecta la adherencia de las partículas del concreto y provoca micro oquedades, que afectan en gran medida la calidad del concreto, ya que provoca un determinado índice de contaminación. Para la medición de las impurezas orgánicas, se requiere una tabla de las tonalidades en color ámbar (Tabla de colores A.S.T.M. 815), que permite la comparación del color. Este color depende de la solución de hidróxido de sodio diluido al tres por ciento en agua destilada dentro de la arena, una vez que ha transcurrido un lapso de 24 horas.

Equivalente de arena es otra prueba de calidad, donde se observa la parte fina indeseable en la arena, ya que son de naturaleza plástica. Esta prueba se calcula mediante la razón entre arenas y arcillas; si es baja su relación, se puede rechazar la arena analizada para concreto debido al exceso de parte fina en la arena.

La absorción y densidad de las arenas son pruebas físicas y sus cálculos son necesarios en la dosificación. La prueba de absorción permite conocer la cantidad de agua que absorbe la arena

en una condición de arena saturada superficialmente seca. Es un valor requerido para agregar agua a la calculada de la dosificación. El cálculo es la razón entre el peso de la masa de las partículas de arena entre el volumen que ocupan y la densidad de las arenas, por lo tanto, forma parte de la densidad del concreto en su conjunto. (SRH, 1970)

Masa volumétrica seca suelta de la arena. Es la relación que existe entre el peso de una masa de arena, contenido dentro de un volumen conocido. Este se lleva a cabo llenando un recipiente de acero de volumen y peso conocidos con arena en estado seco y se deja caer dentro del recipiente a una altura constante comprendida entre los 15 y 20 cm. Este procedimiento se realiza hasta alcanzar el derrame de arena sobre el recipiente, para finalmente enraizar con una regla metálica y pesar el recipiente para realizar los cálculos. Esta prueba es para el método de dosificación por medio de las curvas de Abrams. (Gutiérrez de López, 2003)

Masa volumétrica seca varillada de la arena. Para el cálculo de esta prueba, se utilizan los mismos datos que en el caso anterior. Su forma de llenado es por tercios aproximados del volumen del recipiente. Con cada tercio de arena se forma una capa que es compactado por medio de 25 penetraciones de una varilla de acero de 16 mm de diámetro. Estas penetraciones deben ser distribuidas en la superficie de la arena. El peso volumétrico seco varillado se utiliza en el método de dosificación del *American Concrete Institute (ACI)*. (Cano Jesús, 2019)

Los pesos volumétricos son datos requeridos en el proporcionamiento, ya que son parte del peso volumétrico de un

concreto y del método de dosificación por volumen. Para que el peso específico o volumétrico de un material sea representativo, deberá determinarse en condiciones reales de trabajo o almacenamiento en que se encuentre.

Partículas más finas que la malla No. 200 (0.075mm) en los agregados. Esta prueba consiste en determinar la cantidad de material que pasa la malla N° 200 (0,075 mm) que contienen los agregados finos y gruesos, lavando la muestra de manera que, por decantación, el material fino en suspensión se separe de los agregados para posteriormente cribarlo mediante un juego de mallas con aberturas determinadas.

Rotura por compresión de arenas. Esta es una prueba que se introduce en este estudio, para revisar el comportamiento que presentan las arenas cuando son sometidas a una carga a compresión. No se encuentra normada, pero debido a que el concreto trabaja a compresión debe ser necesario conocer cómo trabajan sus materiales de forma individual a un ensaye de este tipo. Siendo que puede hacer cambiar una granulometría o producir micro fisuras que afecten al concreto.

1.5. Normatividad de las arenas para concreto

La intención de este trabajo es comparar y revisar la calidad de la arena con los parámetros establecidos en la norma mexicana de construcción, para elaborar una guía de los bancos con mejor calidad. Para lograr el objetivo, se mencionan las normas referentes a la arena, para la dosificación de concreto hidráulico. Estas normas están vigentes en las normas mexicanas de construcción.

NMX-C-111-ONNCCE-2014 Industria de la Construcción - Agregados para Concreto Hidráulico - Especificaciones y métodos de ensayo. Esta norma contiene las características de calidad de los agregados que se utilizan en la fabricación del concreto hidráulico. Los agregados son materiales pétreos naturales seleccionados: materiales sujetos a tratamientos de disgregación, cribado, trituración o lavado o materiales producto de expansión, calcinación o fusión excipiente. Estos materiales se mezclan con cemento portland y agua para formar un concreto hidráulico. (NMX-C-111, Agregados para concreto hidráulico, 2014)

NMX-C-030-ONNCCE-2004 Industria de la Construcción - Agregados Muestreo. En esta norma mexicana se establece el muestreo de agregados que se utiliza en la investigación preliminar de las fuentes de suministro. Además, el control de agregados pétreos permite determinar la aceptación o rechazo de los agregados.

El muestreo es tan importante como el ensaye, por lo que la muestra debe llevar todas las precauciones necesarias para que resulte representativa del banco de materiales a estudiar. El muestreo en los bancos de material del presente estudio, se realiza en los conos de material. Para ello, se elimina la capa superficial de la parte alta del cono por medio de un surco que va hacia abajo. Este procedimiento se repite en la siguiente capa y, entonces, se está en condiciones extraer la muestra representativa. A ésta se le aplica la reducción de muestra por el método de cuarteo manual. (NMX-C-030, 2004)

NMX-C-170-ONNCCE-1997 Industria de la construcción – Agregados

– Reducción de muestras de agregados obtenidas en campo al tamaño requerido de las pruebas – Método de prueba. Esta norma indica los métodos para reducir las muestras de agregados obtenidas en campo (bancos de materiales), señala el tamaño de la muestra que se requiere para las pruebas de laboratorio, la cual debe ser representativa como la muestra de campo. Estos métodos son aplicables a muestras más o menos homogéneas, en caso contrario se debe estudiar toda la muestra de campo.

Esta norma aprueba dos métodos para la reducción de muestras: por cuarteo mecánico, que es con el uso de un cuarteador, y el método manual. Para el presente estudio, se utiliza el método manual, que es por traspaleo, truncado de cono y cuarteo de muestra, reducida por selección de cuartos contrarios. (NMX-C-170, 1997)

NMX-C-166-ONNCCE-2006 Industria de la construcción – Agregados

– Contenido de agua por secado – Método de prueba. La norma establece el procedimiento para la determinación del contenido de agua de una muestra de arena. Esta prueba se puede realizar de dos formas: en la primera, se utiliza el horno de materiales, donde se introducen 500 gramos de arena en condiciones de humedad natural y se dejan a una temperatura de 105°C +/- 5°C durante 24 horas. Transcurrido el tiempo indicado, se extrae la arena del horno y se deja enfriar a temperatura ambiente; por último, se vuelve a pesar

para determinar el peso de agua mediante la diferencia de pesos¹. El segundo método es mediante un secado de la muestra de arena en parrilla, donde se verifica que la arena se encuentra totalmente seca. En este procedimiento, se utiliza un vidrio de reloj sobre la muestra de arena; si no se empaña el vidrio, entonces se procede a enfriar a temperatura ambiente y se repiten los pasos del método anterior. (NMX-C-166, 2006)

NMX-C-073-ONNCCE-2004 Industria de la construcción – Agregados

– **Masa volumétrica – Método de prueba.** Para la aplicación de estas pruebas a las arenas, se requiere de dos definiciones, que a continuación se mencionan:

- Masa seca: el agregado se considera en estado seco cuando se ha mantenido a una temperatura de 110°C +/- 5°C durante el tiempo necesario para lograr una masa de peso constante.
- Masa volumétrica: es la masa de la arena por unidad de volumen de la muestra con una precisión igual o mayor a 0.1% de la masa por utilizar.

Los métodos a aplicar en el presente estudio son la masa volumétrica seca suelta (M.v.s.s.) y masa volumétrica seca varillada (M.v.s.v.), ya que son las pruebas que se utilizan en la dosificación del concreto hidráulico. Se diferencian las masas volumétricas seca y varillada por cómo se llena el recipiente que indica el volumen de la masa. (NMX-C-073, 2004)

¹ Se realiza la siguiente operación: el peso del agua dividido entre el peso de la muestra de arena seca y multiplicado por cien, es el porcentaje del contenido de agua en la arena.

NMX-C-077-ONNCCE-1997 Industria de la construcción – Agregados para concreto – Análisis Granulométrico – Método de prueba. La norma señala el método de análisis granulométrico de agregados finos y gruesos para concreto, con el fin de determinar la distribución de las partículas de diferentes tamaños a través de cribas.

Para la realización de la prueba, se requiere que las arenas sean seleccionadas por reducción de muestra y se encuentren totalmente secas. La muestra representativa de arena se criba por las mallas para conocer los retenidos parciales y determinar los porcentajes de los pesos, parcial y acumulado. Se verificará que el resultado del porcentaje acumulado se encuentre dentro de los límites granulométricos indicados en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Límites granulométricos para el agregado fino

Malla		Porcentaje retenido acumulado	
abertura en mm	No. De designación		
9.5	3/8"	0	
4.5	4	0	5
2.36	8	0	20
1.8	16	15	50
0.600	30	40	75
0.300	50	70	90
0.150	100	90	98

Fuente: NMX-C-077-ONNCCE-1997.

El módulo de finura que corresponda a la granulometría que se refiere en la Fracción anterior, es decir, la centésima parte de la suma de las partes de los porcentajes retenidos acumulados en cada una de las mallas (Tabla 1.1.). El resultado debe contenerse dentro de los límites adimensionales de dos coma tres (2,3) y tres coma uno

(3,1), con una tolerancia de variación de dos décimas (0.2) más o menos. En caso de que el módulo de finura sobrepase dicha tolerancia, se harán los ajustes necesarios en las proporciones, para compensar las variaciones de composición granulométrica. (NMX-C-077, 1997)

NMX-C-088-ONNCCE-1997 Industria de la construcción – Agregados para concreto – Determinación de impurezas orgánicas – Método de prueba. En esta norma se establece el método de prueba para determinar el contenido de impurezas orgánicas en la arena. Esta prueba indica el índice de contaminación que es dañino para el concreto hidráulico, mediante el agregado de una solución de hidróxido de sodio al 3% en agua destilada. La solución se agrega a la arena y se deja reposar por 24 horas. Al término del tiempo indicado, se realiza una comparación de la tonalidad ámbar de la solución en la arena, con la tabla de tonalidades ámbar de cinco cristales, verificando la aceptación o rechazo de la arena para el uso en el concreto. (NMX-C-088, 1997)

NMX-C-416-ONNCCE-2003 Industria de la construcción – Agregados – Determinación del equivalente de arena – Método de prueba. El ensaye de equivalente de arena, en general, se aplica a materiales para sub-base hidráulica, base hidráulica, agregado pétreo para mezcla asfáltica y arenas para concreto hidráulico. En esta prueba, se observa la parte fina indeseable en la arena, ya que son de naturaleza plástica. El equivalente de arena se calcula mediante la razón entre arenas y arcillas; se toma la lectura de arcillas por floculación y la lectura de arenas por medición de pisón. Si la relación de la lectura de arena entre la lectura de arcilla en porcentaje es menor al 70%, se puede rechazar la arena analizada

para concreto. Esta es una prueba no tipificada dentro de la calidad de arena para concreto hidráulico, pero en estudios realizados por el ACI, se tiene la propuesta de agregarse para determinar el contenido de arcilla. (NMX-C-416, 2003)

NMX-C-165-ONNCCE-2004 Industria de la construcción – Agregados Determinación de la masa específica y absorción de agua del agregado fino – Método de prueba. La norma establece el método de prueba para la determinación de la masa específica aparente y la absorción del agregado fino, bajo condiciones de saturado y superficialmente seco.

La masa saturada superficialmente seca es la relación de la masa entre y su volumen saturado por dentro, con una superficie libre de agua. Esta incluye los volúmenes de poros que se encuentran dentro de las arenas. A este dato también se le conoce como densidad de las arenas.

La absorción es el incremento de masa de un agregado seco, cuando es sumergido en agua durante un periodo de 24 horas a una temperatura ambiente. Este aumento de masa se debe al agua que se introduce en los poros del material, sin incluir el agua adherida a la superficie de las partículas. Se expresa como porcentaje de la masa seca y es el índice de la porosidad del material. (NCTM, 2018) (NMX-C-165, 2004)

M•MMP•2•02•030/18. CAPÍTULO 030. Partículas más Finas que la Malla N°200 (0,075 mm) en los Agregados. Este manual describe el procedimiento de prueba para la determinación del porcentaje de partículas más finas que la malla N°200 (0,075 mm) presentes en los agregados a los que se refiere la Norma

CAPÍTULO 2. BANCOS DE MATERIALES

La selección de bancos de arena para concreto hidráulico, se realiza por la ubicación cercana a la capital poblana además de ser lugares donde se genera una gran explotación para las diferentes obras de la capital del Estado y municipios circunvecinos. En el registro de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT, 2019), se tienen en el estado de Puebla aproximadamente 36 bancos para explotación de agregado fino para concreto, de estos se toman cinco para tener una muestra representativa y se agrega uno de explotación particular no registrado.

2.1. Selección de los bancos de arena para concreto

Los bancos elegidos son: “Acajete”, “Derrumbadas”, “La Letra”, “Thome”, “Miravalles”; adscritos a la unidad de servicios básicos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes en la información básica sobre localización y aprovechamiento de bancos de materiales pétreos para construcción y mantenimiento de carreteras, así como un banco que denominamos “sin nombre” de explotación particular.

2.1.1. Ubicación Geográfica

Los bancos de estudio se encuentran dentro del Estado de Puebla, en diferentes municipios a distancias no mayores de 100 km de la capital. De acuerdo con SCT, se tiene el mapa de distribución de bancos de materiales. (Figura 2.1)

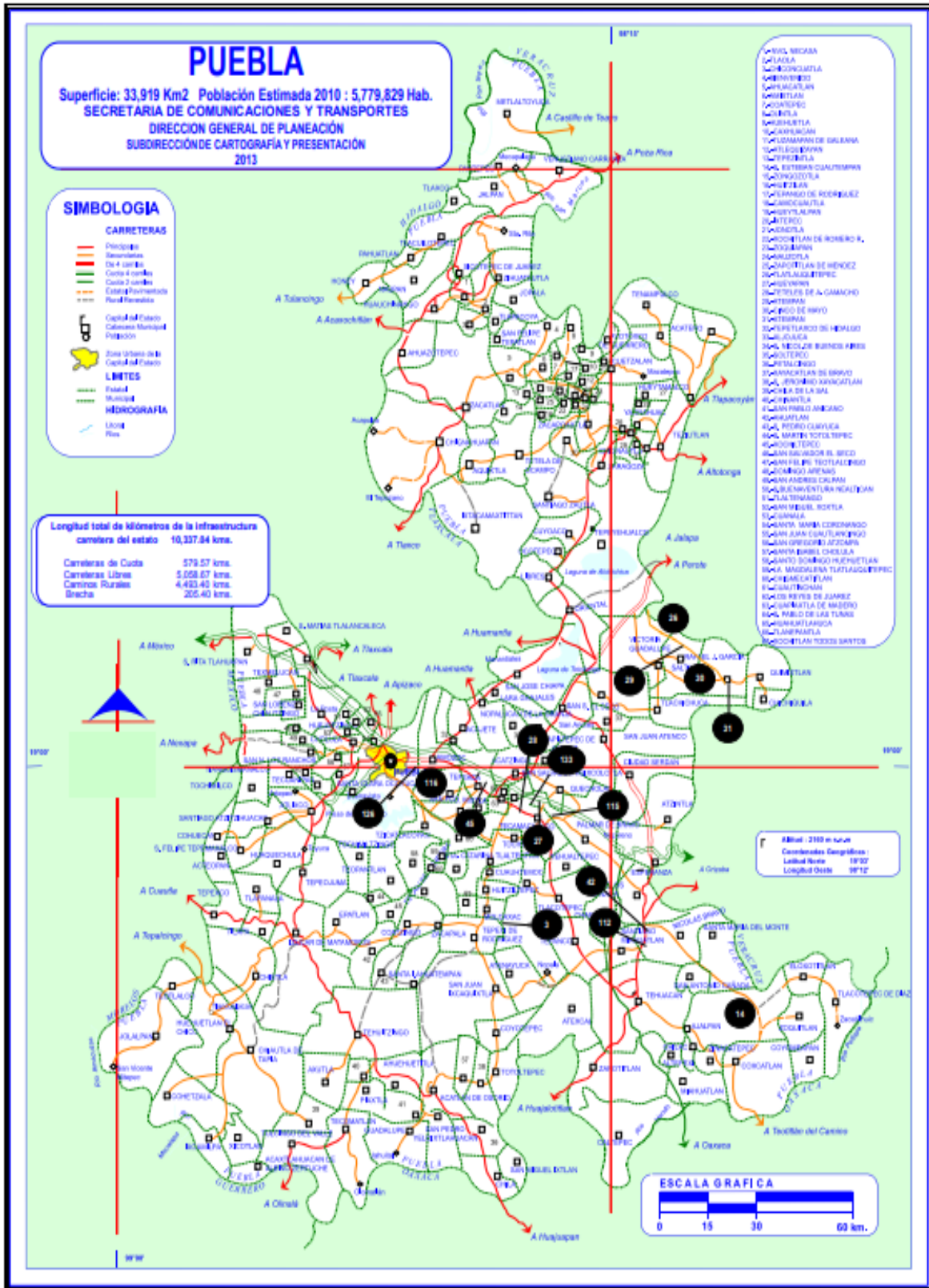


Figura 2.1. Mapa de localización de bancos de materiales de la SCT

2.1.2. Localización

A continuación, se muestran las ubicaciones en mapas de los bancos a analizar, indicando su localización y croquis con distancias desde ciudad universitaria hasta el banco de materiales:

El banco denominado **“La letra”** se encuentra en la carretera: Puebla – Azumiatla. Localizado a 15 km del centro de la capital poblana. (Figura 2.2)

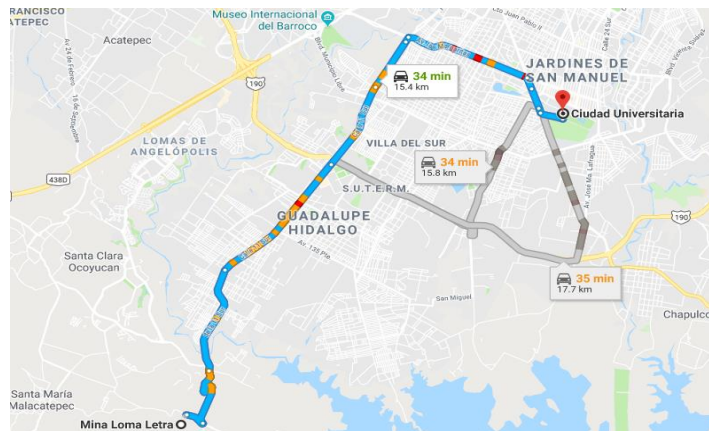


Figura 2.2. Ruta de localización del banco denominado **“La Letra”**.
(Google maps 2019)

El banco denominado **“Thome”** se encuentran en la carretera: Puebla – Azumiatla. Localizado a 15 km del centro de la capital poblana. (Figura 2.3)

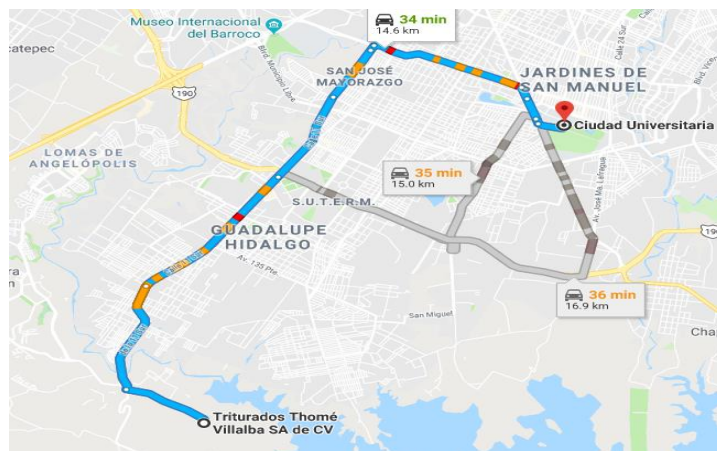


Figura 2.3. Ruta de localización del banco denominado **“Thome Villalba S.A. de C.V.”**. (Google maps 2019)

El banco denominado **“Acajete”** mina “El Pinal”, se encuentra en la carretera: Amozoc – Teziutlán. Localizado a 30.5 km del centro de la capital poblana. (Figura 2.4)

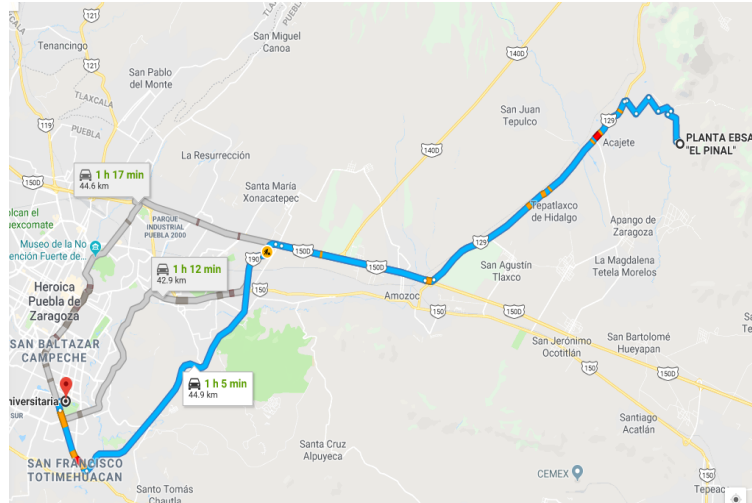


Figura 2.4. Ruta de localización del banco denominado “Acajete”.
(Google maps 2019)

El banco denominado **“Miravalles”** se encuentra en la carretera: Zacatepec – Oriental. Localizado a 78.6 km del centro de la capital poblana. (Figura 2.5)

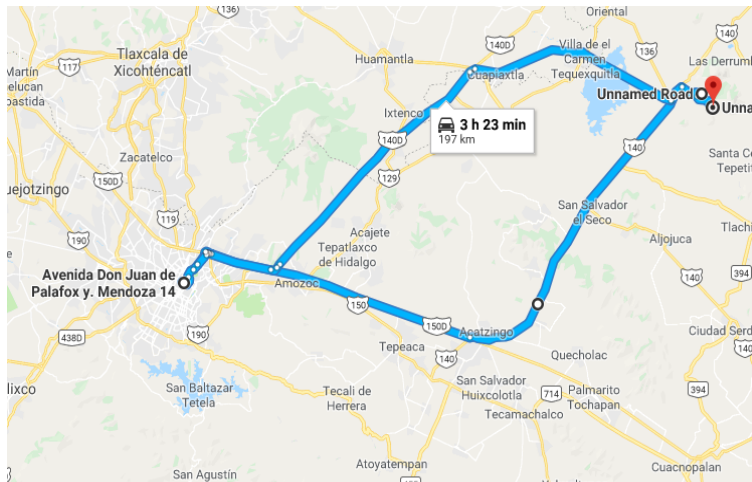


Figura 2.5. Ruta de localización del banco denominado “Miravalles”.
(Google maps 2019)

El banco denominado **“Derrumbadas”** se encuentra en la carretera federal: Puebla - Orizaba. Localizado a 78.6 km del centro de la capital poblana. (Figura 2.6)

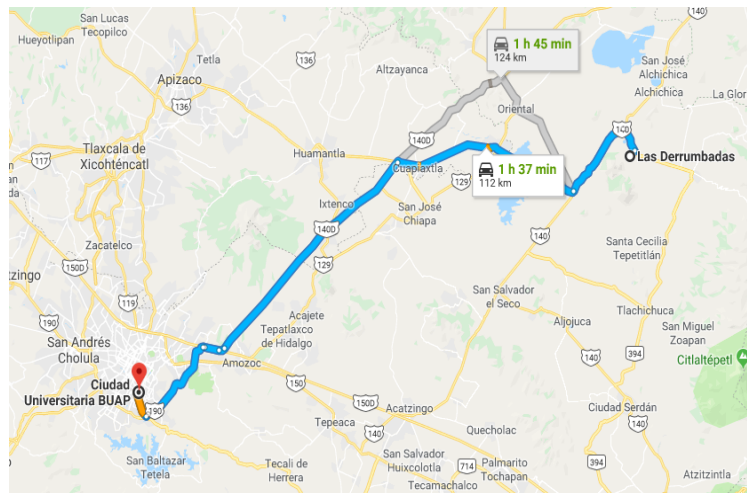


Figura 2.6. Ruta de localización del banco denominado **“Derrumbadas”**.
(Google maps 2019)

El banco **“sin nombre”** se encuentra en la carretera: Puebla – Izúcar de Matamoros. Localizado a 9.8 km del centro de la capital poblana. (Figura 2.7)

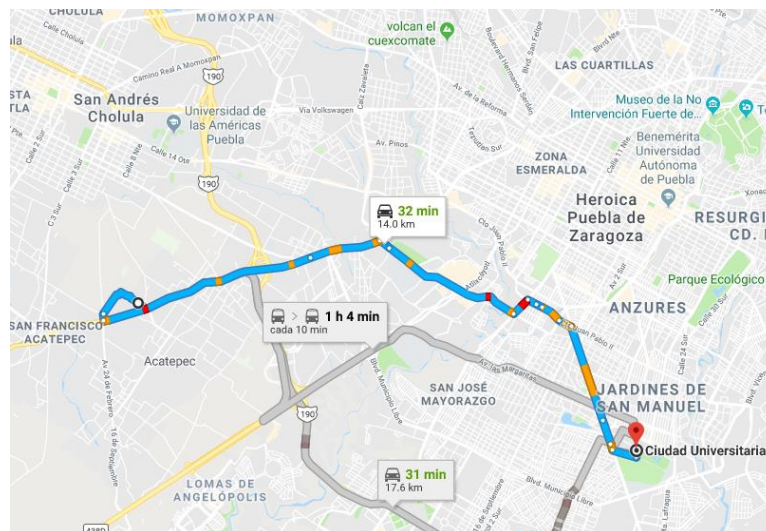


Figura 2.7. Ruta de localización del banco denominado **“sin nombre”**.
(Google maps 2019)

En la tabla 2.1., se muestran los bancos a analizar que se encuentran dentro del registro de SCT.

Tabla 2.1. Nombres de los bancos a analizar contenidos dentro de la SCT

Num.	Nombre	Kilómetro	Desviación	Fecha de estudio	Fecha de act.	Tipo Prop.	Tipo material
57	Derrumbadas	056+000	D 05500	jul-95	mar-13	Part.	cong. andesítico
82	Acajete	008+200	I 01000	jul-11	jul-11	Part.	arena andesítica
105	Thome	59+600	D 00300	may-11	may-11	Part.	cong. andesítico
117	Miravalles	008+400	D 03000	may-00	nov-11	Fed.	arena
130	La Letra	011+000	D 00500	nov-11	nov-14	Part.	Roca basáltica y arena

Tabla2.1. Continuación

Num.	Nombre	Tratam.	Volumen x 1000 m³	Espesor despalmes (m)	Usos prob.	Usos Expl.	Restricc. Ecológ.	Aspec. Econom.
57	Derrumbadas	TPCL	800	1	1,2,8,10	NR.	Consider.	Come.
82	Acajete	C	20	1	10	NR.	Consider.	Come.
105	Thome	TPCL	600	1	1,2,8,10	NR.	Consider.	Come.
117	Miravalles	C	10	0	10	NR.	Consider.	Asep.
130	La Letra	TTC	150	0.1	1,2,5,6,10	NR.	Consider.	Come.

Fuente: registro de bancos de materiales (SCT, 2019)

2.1.3. Clima

El clima en el Estado de Puebla, ubicado en la parte central de La República Mexicana a 100 km de la Ciudad de México, es templado con variaciones según la ubicación de cada municipio.

El clima es templado y cálido en Santa María Malacatepec. Los veranos son mucho más lluviosos que los inviernos en Santa María Malacatepec. La clasificación del clima de Köppen-Geiger es CWB. La temperatura promedio en Santa María Malacatepec es 17.5°C. Precipitaciones promedio de 853 mm. Donde se encuentran los bancos de “la Letra” y “Thome Villalba”.

El banco “las Derrumbadas” se encuentra en San José Alchichica, con un clima de estepa local. Durante el año hay poca lluvia. Este clima es considerado BSK según la clasificación climática de Köppen-Geiger. La temperatura media anual en San José Alchichica se encuentra a 14.6 °C. En un año, la precipitación media es 372 mm.

El banco “El Pinal” se encuentra en Acajete es cálido y templado. Cae una gran cantidad de lluvia en Acajete, incluso en el mes más seco. El clima aquí se clasifica como CBF por el sistema Köppen-Geiger. La temperatura media anual en Acajete se encuentra a 14.7°C. En un año, la precipitación media es 1621 mm.

El clima en Tecamachalco, donde se encuentra el banco “Miravalles”, se conoce como un clima de estepa local. Durante el año hay poca lluvia. De acuerdo con Köppen y Geiger clima se clasifica como BSK. En Tecamachalco, la temperatura media anual es de 17.7°C. La precipitación media aproximada es de 597 mm.

El clima en San Andrés Cholula donde se encuentra en la zona del banco “sin nombre” es cálido y templado. En invierno, hay mucho menos lluvia en San Andrés Cholula que en verano. Este clima es considerado CWB según la clasificación climática de Köppen-

Geiger. La temperatura promedio en San Andrés Cholula es 16.9°C. Precipitaciones aquí promedios 835 mm. (INEGI, 2019)

2.1.4. Geología de la zona

De acuerdo con la información de la Secretaría de Comunicaciones y transportes, se tiene diversos materiales que conforman las arenas utilizadas en la construcción, en la zona poblana se encuentran el conglomerado andesítico, material que conforman los bancos de “Derrumbadas” y “Thome”, de los cuales se extrae la arena por trituración parcial, cribado y lavado de material.

En Acajete, lugar donde se encuentra el banco denominado “Acajete” se encuentra arena andesítica de mina, de fácil extracción. Este material requiere del cribado para su comercialización como arena para construcción.

Para el caso del banco de materiales denominado “La letra”, se tiene un material de tipo basáltico. Este requiere de trituración total y cribado para la extracción de grava y arena. (SRH, 1970)

La zona de Libres-Oriental se encuentra enclavada en el extremo oriente de la provincia “Cordillera Volcánica Transmexicana” y parte de la provincia “Sierra Madre del Sur”, donde se encuentra el banco de materiales “Miravalles”. La primera es volcánica, con basaltos, andesitas y riolitas, que han dado origen a conos de escoria y de cenizas. (CONAGUA, 2015)

2.2. Obtención de muestras

El muestreo de materiales que no conserva sus propiedades mecánicas naturales es de muestras inalteradas. Esta forma de tomar muestras se encuentra en la Norma Mexicana NMX C-030-ONNCCE 2004 Industria de la Construcción- Agregados Muestreo. El objetivo de esta norma mexicana es establecer el muestreo de agregados que se utilizan para la investigación preliminar de fuentes potenciales de suministro; el control de los agregados en la fuente de abastecimiento; el control de las operaciones en el sitio de uso y la aceptación o rechazo de los agregados. La persona que realiza el muestreo debe tomar todas las precauciones necesarias para que la muestra resulte representativa de la fuente de abastecimiento. Para realizar el muestreo se requiere conocimiento de las muestras y como seleccionar el material a analizar, los tipos de muestras:

- **Espécimen:** Es la cantidad de material obtenida de acuerdo con la NMX-C-170- ONNCCE. Reducción de las muestras de agregados obtenidas en el campo, al tamaño requerido para las pruebas, y en la cual se van a determinar las características de la misma. (NMX-C-170, 1997)
- **Muestra compuesta:** Es la cantidad de material que comprende todas las muestras simples.
- **Muestra parcial:** Es la cantidad de material cuya masa no debe ser menor de mil gramos, y que es obtenida de una muestra simple o compuesta.
- **Muestra simple:** Es la cantidad de material que se extrae de un solo sondeo o tamaño, de una sola vez de la fuente de abastecimiento.

Las muestras para la investigación preliminar deben ser obtenidas por el responsable de la exploración o bajo su supervisión. Las muestras para la aceptación o rechazo de los agregados también

pueden ser obtenidas por el comprador o su representante autorizado. La muestra del material debe ser de 50 kg mínimo para lograr la ejecución adecuada de las pruebas de laboratorio. Para agregados procesados, ya sean naturales o artificiales, el tamaño próximo nominal de las partículas es el tamaño mayor de la granulometría indicada en la norma que se vaya a aplicar, y sobre la cual se señale la retención máxima permitida en la criba respectiva.

2.2.1. Equipo

Para obtener la muestra se requiere de un equipo básico que permita mover el material seleccionado en cantidades suficientes, así como personal capacitado en su uso. Referido en el siguiente listado:

- Palas
- Regla metálica o de madera
- Cepillo, brocha
- Bolsa de hule o costal
- Lona

2.2.2. Etiquetas

Las etiquetas de referencia deben tener los datos necesarios y suficientes para reproducir el muestreo sin alterar resultados de las pruebas realizadas en laboratorio. Deben quedar protegidas con una bolsa plástica para evitar que se dañen durante el traslado de la muestra. Las etiquetas deben contener los siguientes datos (Figura 2.8).

Nombre del banco de materiales, Fecha, Croquis de ubicación, Estado, municipio y localidad, Frente de revisión del banco, Norte, Distancia aproximada de desviación en el croquis, Tipo de material, Uso que se dará al material. Nombre de la empresa o responsable del muestreo y nombre del laboratorio que realizara los estudios correspondientes. (NMX-C-030, 2004)

Nombre del banco de materiales	
Fecha	
Estado, municipio y localidad	
Frente de revisión del banco	
Norte	
Distancia aproximada de desviación en el croquis	
Tipo de material	
profundidad de muestreo	
Uso que se dará al material	
Croquis de ubicación	

Figura 2.8. Etiqueta de muestreo de materiales. (Fuente propia, 2018)

2.2.3. Procedimiento

De acuerdo a la NMX-C-416-2003 que se presenta en el capítulo 3 indica el procedimiento para la preparación de las muestras en laboratorio, trata lo referente a la preparación de las muestras de suelo y fragmentos de roca, que pudiesen emplearse en la construcción de una estructura terrea o bien cuando estos materiales ya se encuentran formando dichas estructuras, previos a las pruebas de laboratorio correspondientes. La preparación de una muestra alterada llevada al laboratorio comprende las siguientes operaciones:

Secado: Debe secarse la muestra para eliminar el agua que contiene a un grado tal que permita su fácil disgregación y manejo y peso constante, exponiéndola al sol, extendiendo todo el material sobre una superficie limpia y tersa o bien en charolas de lámina, en un horno a una temperatura de $100^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$. En ambos casos es conveniente revolver periódicamente el material para lograr un secado más rápido y uniforme. (Figura 2.9)



Figura 2.9. Tendido de materiales para secado al sol. (Fuente propia, 2018)

Disgregado: Tiene por objeto hacer la separación de las diferentes partículas de material que constituye la muestra, para obtener porciones representativas de la misma. Se utiliza un pisón de madera con peso aproximado de 1 kg de forma prismática cuadrangular con base de neopreno para no dejar que se fracturen las partículas que conforman la muestra. Para el caso de arena el disgregado es mínimo o innecesario debido a que no existen cementantes naturales contenidos en este material. (Figura 2.10)



Figura 2.10. Rastrille para apisonado para disgregado. (Fuente propia, 2018)

Traspaleo y cuarteo: Para muestras de 20 kg o mayores, la muestra total debe revolverse con una pala, por traspaleo de un lugar a otro 4 veces todo el material, hasta conseguir un aspecto homogéneo. Se forma un cono con el traspaleo, colocando con la pala el material en el vértice de este permitiendo que, por sí mismo busque su acomodo, dejando caer el material desde una altura de 15 a 20 cm. (Figura 2.11)



Figura 2.11. Traspaleo de material para formar el cono. (Fuente propia, 2018)

Se trunca el cono formado con ayuda de una pala o regla, encajándola en forma radial y haciendo el material hacia la periferia, el diámetro del cono debe ser de 4 a 8 veces el espesor. (Figura 2.12)



Figura 2.12. Truncado de cono de arena. (Fuente propia, 2018)

Se divide el cono truncado en cuadrantes aproximadamente iguales usando una regla de longitud conveniente. (Figura 2.13)



Figura 2.13. Cuarteo de material. (Fuente propia, 2018)

Se combina el material de dos cuadrantes opuestos y se repite el proceso que se requiera. (NMX-C-073, 2004) (NMX-C-073, 2004) Para muestras menores de 20 kg, se emplea un hule de forma cuadrada de 1,20 m por lado, o una superficie que no contamine la muestra. (NMX-C-416, 2003)

Cuartheador mecánico: Se emplea el cuartheador mecánico para muestras menores de 20 kg utilizando recipientes de lámina que tengan la misma longitud que el cuartheador. El cuartheador debe estar equipado con dos receptáculos para recibir las dos mitades de la muestra al cuartearse. Se hace pasar el material por el cuartheador de tal forma que cubra todas sus divisiones que recogerán en los recipientes, repitiéndose la misma operación tantas veces como sea necesaria hasta conseguir el tamaño de la muestra deseada. (Figura 2.14)

El cuarteador debe de contar con un número igual de conductos, todos del mismo ancho y que descarguen alternadamente a ambos lados del cuarteador; el número de conductos no debe ser menor a 8 para agregado grueso y no menor a 12 para agregado fino. (Mata, 2012)



Figura 2.14. Selección de cuartos opuestos, utilizando cuarteador mecánico.

(Fuente propia, 2018)

CAPÍTULO 3. PRUEBAS REALIZADAS A LAS ARENAS EN EL LABORATORIO INTEGRAL (FI-BUAP)

Las arenas analizadas en este estudio son sometidas a diferentes pruebas descritas mediante su nombre, un objetivo o definición y cálculos correspondientes para cada caso. Se presentan figuras que son parte del procedimiento de prueba para tener una visualización más clara del mismo. Al finalizar se presenta un ensaye, no incluido en las normas para agregados del concreto, de rotura de las partículas de arena; que es un experimento de resistencia de arena a compresión.

3.1. Contenido de humedad natural en las muestras de arena.

Por definición el contenido de humedad es la cantidad total de agua que contiene la muestra de agregado al momento de efectuar la determinación de su masa para dosificar un concreto hidráulico. Puede estar constituida por la suma del agua superficial y la absorbida. La estructura interna de una partícula de agregado está conformada de material sólido y vacío que pueden o no contener agua.

Equipo

- Balanza. Una balanza o báscula con capacidad mínima de 3 kg y precisión de 0.1% de la carga de ensayo en cualquier punto dentro del rango de uso.
- Horno, estufa o parrilla. Fuente de calor capaz de mantener una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, vidrio de reloj.
- Recipiente y espátulas, guantes. Se utiliza para manejar la muestra en la fuente de calor.

Procedimiento

a) Método rápido:

1. Se anota el número de la charola y se pesa, anotándola como (Wt).
2. Se vacía arena húmeda a la charola y se pesa, anotándola como tara + arena húmeda (Wt + Ph).
3. Se pone a secar la arena en la estufa, moviendo el material para que sea más rápido el secado, se coloca encima el vidrio de reloj para comprobar que la arena ya no tenga humedad; esto ocurrirá cuando ya no empañe el cristal.
4. Posteriormente, se deja enfriar (charola y arena)
5. Se procede a pesar, charola + arena seca (Wt + Ps)
6. Para la obtención del contenido de agua se aplica la siguiente fórmula:

$$W_{nat} (\%) = \frac{(Ph - Ps)}{Ps} \times 100 \quad (3.1)$$

Dónde:

W_{nat} .- porcentaje natural de humedad (%)

Ph.- peso húmedo de la arena (g)

Ps.- peso seco de la arena (g)

b) Método normal.

Este método difiere, con respecto al rápido, en la forma de secado del material. En el punto 3 del procedimiento anterior en lugar de ocupar estufa, se ocupa un horno de secado de materiales con temperatura controlada de $110 \text{ }^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$; donde se deja la tara con el material durante 18 horas, pasado este tiempo se extrae y se deja enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente, para después

proceder a realizar los pesajes del material en estado seco. Se aplica la misma fórmula para la determinación del contenido de agua en el método normal.

Resultados

Los datos varían de acuerdo con la fecha en la que se toma el muestreo de materiales debido al cambio de clima, por lo que es un cálculo que debe ser frecuente para la dosificación del concreto. Se presentan los cálculos del contenido de humedad de las arenas en estudio, para este análisis se utilizó el método rápido. Se contempla un peso natural (Ph) de arena de 500g para cada caso de estudio.

- Banco "**Derrumbadas**":

Datos: Ph=500g Ps=489.2g

Calculo:

$$W_{nat}(\%) = \left(\frac{500 \text{ g} - 489.2 \text{ g}}{489.2 \text{ g}} \right) \times 100 = \mathbf{2.21 \%}$$

- Banco "**Acajete**":

Datos: Ph=500g Ps=491.2g

Calculo:

$$W_{nat}(\%) = \left(\frac{500 \text{ g} - 491.2 \text{ g}}{491.2 \text{ g}} \right) \times 100 = \mathbf{1.79 \%}$$

- Banco "**Thome**":

Datos: Ph=500g Ps=481.6g

Calculo:

$$W_{nat}(\%) = \left(\frac{500 \text{ g} - 481.6 \text{ g}}{481.6 \text{ g}} \right) \times 100 = \mathbf{3.82 \%}$$

- Banco “**Miravalles**”:

Datos: Ph=500g Ps=481.3g

Calculo:

$$W_{nat}(\%) = \left(\frac{500 \text{ g} - 481.3 \text{ g}}{481.3 \text{ g}} \right) \times 100 = \mathbf{3.89 \%}$$

- Banco “**La Letra**”:

Datos: Ph=500g Ps=485.6g

Calculo:

$$W_{nat}(\%) = \left(\frac{500 \text{ g} - 485.6 \text{ g}}{485.6 \text{ g}} \right) \times 100 = \mathbf{2.97 \%}$$

- Banco “**sin nombre**”:

Datos: Ph=500g Ps=490.9g

Calculo:

$$W_{nat}(\%) = \left(\frac{500 \text{ g} - 490.9 \text{ g}}{490.9 \text{ g}} \right) \times 100 = \mathbf{1.85 \%}$$

Normativa

La Norma Mexicana NMX-C-166-0NNCCE-2006.” Industria de la construcción-Agregados-Contenido de agua por secado método de prueba”. Esta norma establece el procedimiento para la determinación del contenido de agua natural en una muestra de agregado, mediante el secado de la misma, siendo este método aproximado para utilizar su resultado en la determinación de las cantidades de agua en una mezcla de concreto. (NMX-C-166, 2006)

3.2. Masas volumétricas de las muestras de arena

Las masas volumétricas son variables para un mismo material, de acuerdo con el acomodo que adopten sus partículas sólidas, dependiendo de diversos factores, tales como el sistema de carga, el medio de transporte, tipo y altura del almacenamiento, etc. Para que la masa específica o volumétrica de un material sea representativa, deberá de determinarse en las condiciones reales de trabajo o de almacenamiento en que se encuentre. Como se indicó en el capítulo 2. En este apartado se determinan la masa volumétrica seca suelta (Mvss) y seca varillada (Mvsv) para las comparaciones de cada banco de arena.

Equipo

- Cucharón de lámina
- Recipiente de lámina No. 14, de forma cilíndrica peso y volumen conocidos.
- Escantillón de 20 cm. de longitud
- Regla para enrazar de 30 cm.
- Balanza con capacidad de 30 kg y 1 gramo de aproximación.
- Varilla de acero con punta semiesférica de 5/8" de diámetro.

Procedimiento

a) Masa volumétrica seca suelta

1. De una muestra preparada, se toma por cuartos contrarios la porción necesaria para llenar completamente el recipiente y se mezcla para homogeneizarla. (Figura 3.1)

2. Con el cucharón de lámina se toma el material del centro hacia los extremos del cuarteo y se deja caer el material dentro del recipiente desde una altura de 20 cm con la referencia del escantillón hasta que se llene, sin que el material se reacomode por movimientos indebidos, después se enrasa el material utilizando la regla de 30 cm.

3. Se registra el peso del recipiente con material como (P_{rm}) con aproximación de 1 gramo.

4. El cálculo se realiza de la siguiente forma:

$$P_m = P_{rm} - P_r \quad (3.2)$$

$$M_{vss} = P_m / V_m \quad (3.3)$$

P_m .- peso del material (g)

P_{rm} .- peso del material más peso de recipiente (g)

V_m .- volumen del material = volumen del recipiente (cm^3)

M_{vss} .- Masa o peso volumétrico seco suelto (kg/m^3)

El resultado de la M_{vss} se multiplica por mil para que las unidades sean en kg/m^3 . Las pruebas se deben realizar por triplicado para obtener un promedio.



*Figura 3.1. Llenado y enrasado de recipiente para masa volumétrica seca suelta.
(Fuente propia, 2018)*

a) Masa volumétrica seca varillada

Se repite el punto 1 de la masa volumétrica seca suelta y el punto dos se realiza de la siguiente forma:

2. Con el cucharón de lámina se toma el material del centro hacia los extremos del cuarteo y se deja caer el material dentro del recipiente desde una altura de 20 cm hasta completar el primer tercio del volumen del recipiente, a continuación, se le aplican 25 penetraciones con una la varilla de 5/8” en forma de espiral para distribuir el compactado. Se llena de la misma forma el segundo y tercer tercio del volumen.

3. Se registra el peso del recipiente con material como (Prm) con aproximación de 1 gramo.

4. El cálculo se realiza de la siguiente forma:

$$P_{mv} = P_{rmv} - P_r \quad (3.4)$$

$$M_{vsv} = P_{mv} / V_m \quad (3.5)$$

P_{mv}.- peso del material varillado (g)

P_{rmv}.- peso del material varillado más peso de recipiente (g)

V_m.- volumen del material = volumen del recipiente (cm³)

M_{vsv}.- Masa o peso volumétrico seco varillado (kg/m³)

El resultado de M_{vsv} se multiplica por mil para para que las unidades sean en kg/m³. Las pruebas se deben realizar por triplicado para obtener un promedio.

Resultados

Los datos del recipiente, para el cálculo de las masas volumétricas, son los mismos para cada caso peso del recipiente Pr=2486.3g volumen del recipiente Vr=2850.4cm³.

A) Masa volumétrica seca suelta (Mvss)

- Banco “**Derrumbadas**”:

Datos: Prm1=6360.5g Prm2=6370.9g Prm3=6350.8g

Cálculo:

$$\mathbf{Mvss1} = \left(\frac{6360.5\text{g} - 2486.3\text{g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1359.2\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvss2} = \left(\frac{6370.9\text{g} - 2486.3\text{g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1362.8\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvss3} = \left(\frac{6350.8\text{g} - 2486.3\text{g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1355.8\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvss(prom)} = \left(\frac{1359.2\text{kg/m}^3 + 1362.8\text{kg/m}^3 + 1355.8\text{kg/m}^3}{3} \right) = \mathbf{1359.3\text{ kg/m}^3}$$

- Banco “**Acajete**”:

Datos: Prm1=6690.8g Prm2=6688.1g Prm3=6667.9g

Cálculo:

$$\mathbf{Mvss1} = \left(\frac{6690.8\text{g} - 2486.3\text{g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1475.1\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvss2} = \left(\frac{6688.1\text{g} - 2486.3\text{g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1474.1\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvss3} = \left(\frac{6667.9\text{g} - 2486.3\text{g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1467.0\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvss(prom)} = \left(\frac{1475.1\text{ kg/m}^3 + 1474.1\text{ kg/m}^3 + 1467\text{ kg/m}^3}{3} \right) = \mathbf{1472.1\text{ kg/m}^3}$$

- Banco "**Thome**":

Datos: Prm1=7095.3g Prm2=7053.5g Prm3=7012.3g

Cálculo:

$$\mathbf{Mvss1} = \left(\frac{7095.3\text{g} - 2486.3\text{g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1617\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvss2} = \left(\frac{7053.5\text{g} - 2486.3\text{g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1602.3\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvss3} = \left(\frac{7102.3\text{g} - 2486.3\text{g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1619.4\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvss(prom)} = \left(\frac{1617\text{kg/m}^3 + 1602.3\text{kg/m}^3 + 1619.4\text{kg/m}^3}{3} \right) = \mathbf{1612.9\text{ kg/m}^3}$$

- Banco "**Miravalles**":

Datos: Prm1=6254.2g Prm2=6228.9g Prm3=6224.0g

Cálculo:

$$\mathbf{Mvss1} = \left(\frac{6254.2\text{g} - 2486.3\text{g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1321.9\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvss2} = \left(\frac{6228.9\text{g} - 2486.3\text{g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1313.0\text{kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvss3} = \left(\frac{6224.0\text{g} - 2486.3\text{g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1311.3\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvss(prom)} = \left(\frac{1321.9\text{kg/m}^3 + 1313\text{kg/m}^3 + 1311.3\text{kg/m}^3}{3} \right) = \mathbf{1315.4\text{ kg/m}^3}$$

- Banco "**La Letra**":

Datos: Prm1=6641.7g Prm2=6659.8g Prm3=6672.2gr

Cálculo:

$$\mathbf{Mvss1} = \left(\frac{6641.7\text{g} - 2486.3\text{ g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1457.8\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvss2} = \left(\frac{6659.8\text{g} - 2486.3\text{ g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1464\text{kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvss3} = \left(\frac{6672.2\text{g} - 2486.3\text{ g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1468.5\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvss(prom)} = \left(\frac{1457.8\text{kg/m}^3 + 1464\text{kg/m}^3 + 1468.5\text{kg/m}^3}{3} \right) = \mathbf{1463.4\text{ kg/m}^3}$$

- Banco "**sin nombre**":

Datos: Prm1=6371.7g Prm2=6401.9g Prm3=6364.9g

Cálculo:

$$\mathbf{Mvss1} = \left(\frac{6371.7\text{g} - 2486.3\text{ g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1363.1\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvss2} = \left(\frac{6401.9\text{g} - 2486.3\text{ g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1373.7\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvss3} = \left(\frac{6364.9\text{g} - 2486.3\text{ g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1360.7\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvss(prom)} = \left(\frac{1363.1\text{kg/m}^3 + 1373.7\text{kg/m}^3 + 1360.7\text{kg/m}^3}{3} \right) = \mathbf{1365.8\text{ kg/m}^3}$$

B) Masa volumétrica seca varillada (Mvsv)

- Banco “**Derrumbadas**”:

Datos: Prm1=6839.5g Prm2=6807.3g Prm3=6841.4g

Cálculo:

$$\mathbf{Mvsv1} = \left(\frac{6839.5\text{g} - 2486.3\text{g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1527.2\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvsv2} = \left(\frac{6807.3\text{g} - 2486.3\text{g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1515.9\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvsv3} = \left(\frac{6841.4\text{g} - 2486.3\text{g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1527.9\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvsv(prom)} = \left(\frac{1527.2\text{kg/m}^3 + 1515.9\text{kg/m}^3 + 1527.9\text{kg/m}^3}{3} \right) = \mathbf{1523.7\text{ kg/m}^3}$$

- Banco “**Acajete**”:

Datos: Prm1=7205.5g Prm2=7185.3g Prm3=7196.5g

Cálculo:

$$\mathbf{Mvsv1} = \left(\frac{7205.5\text{g} - 2486.3\text{g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1655.5\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvsv2} = \left(\frac{7185.3\text{g} - 2486.3\text{g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1648.5\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvsv3} = \left(\frac{7196.5\text{g} - 2486.3\text{g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1652.5\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvsv(prom)} = \left(\frac{1655.2\text{kg/m}^3 + 1648.5\text{kg/m}^3 + 1652.5\text{kg/m}^3}{3} \right) = \mathbf{1652.2\text{ kg/m}^3}$$

- Banco "**Thome**":

Datos: Prm1=7380.9g Prm2=7372.0g Prm3=7395.2g

Cálculo:

$$\mathbf{Mvsv1} = \left(\frac{7380.9\text{g} - 2486.3\text{ g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1717.2\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvsv2} = \left(\frac{67372.0\text{g} - 2486.3\text{ g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1714.0\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvsv3} = \left(\frac{7395.2\text{g} - 2486.3\text{ g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1722.2\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvsv(prom)} = \left(\frac{1717.2\text{kg/m}^3 + 1714\text{kg/m}^3 + 1722.2\text{kg/m}^3}{3} \right) = \mathbf{1717.8\text{ kg/m}^3}$$

- Banco "**Miravalles**":

Datos: Prm1=6704.1g Prm2=6710.7g Prm3=6725.8g

Cálculo:

$$\mathbf{Mvsv1} = \left(\frac{6704.1\text{g} - 2486.3\text{ g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1479.7\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvsv2} = \left(\frac{6710.7\text{g} - 2486.3\text{ g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1482.0\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvsv3} = \left(\frac{6725.8\text{g} - 2486.3\text{ g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1487.3\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvsv(prom)} = \left(\frac{1479.7\text{kg/m}^3 + 1482\text{kg/m}^3 + 1487.3\text{kg/m}^3}{3} \right) = \mathbf{1483\text{ kg/m}^3}$$

- Banco "**La Letra**":

Datos: Prm1=7151.4g Prm2=7187.8g Prm3=7169.9g

Cálculo:

$$\mathbf{Mvsv1} = \left(\frac{7151.4\text{g} - 2486.3\text{ g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1636.6\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvsv2} = \left(\frac{7187.8\text{g} - 2486.3\text{ gr}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1649.4\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvsv3} = \left(\frac{7169.9\text{g} - 2486.3\text{ g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1643.1\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvsv(prom)} = \left(\frac{1636.6\text{kg/m}^3 + 1649.4\text{kg/m}^3 + 1643.1\text{kg/m}^3}{3} \right) = \mathbf{1643\text{ kg/m}^3}$$

- Banco "**sin nombre**":

Datos: Prm1=6907.3g Prm2=6864.7g Prm3=6896.0g

Cálculo:

$$\mathbf{Mvsv1} = \left(\frac{6907.3\text{g} - 2486.3\text{ g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1551.0\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvsv2} = \left(\frac{6864.7\text{g} - 2486.3\text{ g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1536.1\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvsv3} = \left(\frac{6896.0\text{g} - 2486.3\text{ g}}{2850.4\text{ cm}^3} \right) \times 1000 = 1547.0\text{ kg/m}^3$$

$$\mathbf{Mvsv(prom)} = \left(\frac{1551\text{kg/m}^3 + 1536.1\text{kg/m}^3 + 1547\text{kg/m}^3}{3} \right) = \mathbf{1544.7\text{ kg/m}^3}$$

Normativa

La Norma mexicana NMX-C-073-0NNCCE-2004. "Industria de la construcción-Agregados, masa volumétrica, método de prueba". Esta Norma establece el método de prueba para la determinación de la masa volumétrica de los agregados finos y gruesos o una combinación de ambos. Este método es aplicable a agregados cuyo tamaño máximo no exceda los 150 mm de acuerdo con la granulometría (NMX-C-073, 2004).

3.3. Granulometría y módulo de finura en las muestras de arena

Granulometría

Consiste en separar por medio de mallas, los diferentes tamaños de agregados que componen la muestra de arena. La norma indica que la granulometría de los materiales debe estar contenida dentro de ciertos límites (Tabla 1.1.) para que el material presente una calidad adecuada.

Módulo de finura de las arenas

El objetivo es obtener el número empírico denominado módulo de finura del material fino; con ayuda de la granulometría efectuada. Este resultado debe estar contenido dentro del parámetro de 2.3 a 3.2.

Equipo

- Mallas de los siguientes No. 3/8", 4, 8, 16, 30, 50, 100.
- Vaso de aluminio y cepillo para mallas.
- Báscula de capacidad de 2,610 g. y aproximación de una décima de gramo.
- Horno con termostato para una temperatura de 105 ± 5 °C.
- Agitador mecánico *Rot-ap* o agitado manual.
- Varilla con diámetro de 3/8" y longitud de 20 cm.

Procedimiento

1. Se toman por cuarteo 200 g. de arena, previamente nivelada la báscula, y se colocan en un vaso de aluminio, saturando con agua y dejando en reposo durante 12 horas como mínimo.
2. Transcurrido ese tiempo, se lava la muestra a través de la malla No. 100. Para el lavado se agita el contenido del vaso con la varilla durante 15 segundos, se deja reposar dicho contenido durante 30 segundos. Inmediatamente después se decanta la suspensión sobre la malla No.100. Para facilitar el paso de las partículas finas a través de la malla, deberá aplicarse sobre esta un chorro de agua a baja presión.
3. Se repite la operación de lavado indicada anteriormente hasta que el agua decantada salga limpia. Se regresa el material que se halla retenido en la malla No.100 al vaso metálico, utilizando un poco de agua, la cual se decanta al final de la operación, se debe evitar el arrastre de partículas.
4. Se seca el material en el mismo vaso metálico en el horno por un lapso no menor de 16 horas, a una temperatura de 105 ± 5 °C, hasta que se obtenga un peso constante, se retira la muestra del horno y se deja enfriar hasta que adquiera la temperatura ambiente.
5. Se superponen las mallas a partir de la charola de fondo en el siguiente orden: No. 100, 50, 30, 16, 8, 4 y 3/8", se vierte el material sobre la malla superior y se coloca la tapa, se procede a cribar, para lo cual se aplica al juego de mallas un movimiento vertical y de rotación horizontal durante 5 minutos, en esta operación es conveniente emplear el agitador mecánico (*rot-ap*).
6. Se quita la tapa, se separa la malla No.3/8" y se agita sobre una charola hasta que se estime el peso del material que pasa dicha malla durante un minuto no sea mayor de un gramo. Se vierte sobre

la malla No.4 el material que pasa se deposita en la charola. Se repite este procedimiento de cribado adicional con cada una de las mallas restantes. Las partículas que hayan quedado atoradas deberán regresarse a las porciones retenidas correspondientes, cepillando las mallas por el revés. Finalmente se pesan los materiales retenidos en cada una de las mallas y se anotan como pesos retenidos (Pmr) en gramos.

Para determinar el módulo de finura en las arenas analizadas, se requiere de los cálculos de la tabla de granulometría. Este es un cálculo que se realiza al sumar los porcentajes retenidos acumulados, desde la malla No.4 hasta la malla No.100. Como es un resultado porcentual al resultado de la suma se le divide entre 100.

Resultados

Para el cálculo de la granulometría se procede de la siguiente manera mediante una tabla para cada caso:

Columna 3.- Es el peso del material retenido en cada una de las mallas (Pmr) en gramos. Lo que pasa la malla No.100 se obtiene por diferencia. El total son los 200 gramos que se pesaron inicialmente.

Columna 4.- Es el porcentaje del peso retenido. Se obtiene de multiplicar la columna 2 (Pmr) por 100 y dividirlo entre el peso total del material (200 gramos).

Columna 5.- Porcentaje acumulado. Se obtiene de ir sumando los retenidos parciales de cada malla (col. 3).

Columna 6.- Porcentaje que pasa. Se obtiene restando 100 a cada porcentaje acumulado.

Para el cálculo del módulo de finura (M.F.) se aplica la fórmula (3.6):

$$\text{M.F.} = \frac{\text{suma de los \% acumulados desde No.4 " hasta 100" }}{100} \quad (3.6)$$

Las siguientes tablas presentan los datos obtenidos y los cálculos realizados de granulometría y módulos de finura para cada arena analizada. En todos los casos se considera un peso de arena inicial de 200g.

- Banco “**Derrumbadas**”

Tabla 3.1. Granulometría del banco “Derrumbadas”.

GRANULOMETRÍA					
No. MALLA	APERTURA EN mm	PESO RETENIDO (%)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3/8"	9.5	1.00	0.5	0.5	99.5
4	4.5	2.50	1.25	1.75	98.25
8	2.36	9.60	4.8	6.55	93.45
16	1.8	26.10	13.05	19.6	80.4
30	0.600	40.70	20.35	39.95	60.05
50	0.300	38.70	19.35	59.3	40.7
100	0.150	33.60	16.8	76.1	23.9

Fuente: Autoría propia, 2019

$$\text{MF} = \left(\frac{1.75 + 6.55 + 19.6 + 39.95 + 59.3 + 76.1}{100} \right) = 2.0\%$$

- Banco “**Acajete**”

Tabla 3.2. Granulometría del banco “Acajete”.

GRANULOMETRÍA					
No. MALLA	APERTURA EN mm	PESO RETENIDO (%)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3/8"	9.5	2.20	1.1	1.1	98.9
4	4.5	4.80	2.4	3.5	96.5
8	2.36	17.30	8.65	12.15	87.85
16	1.8	23.80	11.9	24.05	75.95
30	0.600	25.10	12.55	36.6	63.4
50	0.300	27.40	13.7	50.3	49.7
100	0.150	31.60	15.8	66.1	33.9

Fuente: Autoría propia, 2019

$$MF(\%) = \left(\frac{3.5 + 12.15 + 24.05 + 36.6 + 50.3 + 66.1}{100} \right) = 1.9\%$$

- Banco “**Thome**”

Tabla 3.3. Granulometría del banco “Thome”.

GRANULOMETRÍA					
No. MALLA	APERTURA EN mm	PESO RETENIDO (%)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3/8"	9.5	0.00	0	0	100
4	4.5	5.90	2.95	2.95	97.05
8	2.36	59.30	29.65	32.6	67.4
16	1.8	41.80	20.9	53.5	46.5
30	0.600	22.90	11.45	64.95	35.05
50	0.300	11.70	5.85	70.8	29.2
100	0.150	9.00	4.5	75.3	24.7

Fuente: Autoría propia, 2019

$$MF = \left(\frac{2.95 + 32.6 + 53.5 + 64.95 + 70.8 + 75.3}{100} \right) = 3.0\%$$

- Banco “**Miravalles**”

Tabla 3.4. Granulometría del banco “Miravalles”.

GRANULOMETRÍA					
No. MALLA	APERTURA EN mm	PESO RETENIDO (%)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3/8"	9.5	0.00	0	0	100
4	4.5	0.00	0	0	100
8	2.36	1.20	0.6	0.6	99.4
16	1.8	4.00	2	2.6	97.4
30	0.600	14.20	7.1	9.7	90.3
50	0.300	35.50	17.75	27.45	72.55
100	0.150	50.10	25.05	52.5	47.5

Fuente: Autoría propia, 2019

$$MF = \left(\frac{0 + 0.6 + 2.6 + 9.7 + 27.45 + 52.5}{100} \right) = 0.9\%$$

- Banco “**La Letra**”

Tabla 3.5. Granulometría del banco “La Letra”.

GRANULOMETRÍA					
No. MALLA	APERTURA EN mm	PESO RETENIDO (%)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
3/8"	9.5	0.00	0	0	100
4	4.5	4.30	2.15	2.15	97.85
8	2.36	47.60	23.8	25.95	74.05
16	1.8	48.80	24.4	50.35	49.65
30	0.600	33.10	16.55	66.9	33.1
50	0.300	15.70	7.85	74.75	25.25
100	0.150	10.70	5.35	80.1	19.9

Fuente: Autoría propia, 2019

$$MF = \left(\frac{2.15 + 25.95 + 50.35 + 66.9 + 74.75 + 80.1}{100} \right) = 3.0\%$$

- Banco “*sin nombre*”

Tabla 3.6. Granulometría del banco “*sin nombre*”.

Granulometría					
No. Malla	Apertura en mm	Peso retenido (g)	Porcentaje retenido (%)	Porcentaje acumulado (%)	Porcentaje que pasa (%)
3/8"	9.5	0.00	0	0	100
4	4.5	0.00	0	0	100
8	2.36	28.10	14.05	14.05	85.95
16	1.8	32.20	16.1	30.15	69.85
30	0.600	50.40	25.2	55.35	44.65
50	0.300	45.00	22.5	77.85	22.15
100	0.150	29.10	14.55	92.4	7.6

Fuente: Autoría propia, 2019

$$MF = \left(\frac{0 + 14.05 + 16.01 + 55.35 + 77.85 + 92.4}{100} \right) = 2.70\%$$

Normativa

NMX-C-077-ONNCCE-1997 Industria de la construcción – Agregados para concreto – Análisis Granulométrico – Método de prueba. La Norma indica cómo se realiza el análisis granulométrico de agregados finos y gruesos para concreto, con el fin de determinar la distribución de las partículas de diferentes tamaños a través de mallas. (NMX-C-077, 1997)

3.4. Impurezas orgánicas en las muestras de arena

Esta prueba tiene como finalidad determinar de forma física la presencia de materia orgánica, que es perjudicial en las arenas, que se van a utilizar para la fabricación de morteros o concretos. Si existe la presencia de materia orgánica la recomendación es realizar

especímenes de mortero o concreto y verificar que no afecten la resistencia o durabilidad. El principal valor del ensaye radica en advertir si se deben efectuar ensayos de las arenas, antes de considerarlas como adecuadas para los usos mencionados. Si tiene presencia de materia orgánica, se debe determinar su mejora o rechazo.

Equipo

- Botellas graduadas de vidrio incoloro, de sección oval aproximadamente 350 ml. con tapón hermético
- Malla No.4 y Cucharón metálico
- Báscula con capacidad de 2610 gramos y aproximación a una décima
- Solución de hidróxido de sodio al 3 por ciento. Se disuelven tres partes de hidróxido de sodio (NaOH) en 97 partes de agua, en peso.
- Tabla estándar de colores ámbar 815 de la American Society for Testing and Materials (ASTM)

Procedimiento

1. Se toma por cuarteo 500 gramos de arena que pase la malla No.4.
2. Con ayuda del embudo, se llena una botella hasta la marca correspondiente a 130 ml. con la muestra de arena que se vaya a ensayar y se añade la solución de hidróxido de sodio, hasta que el volumen de la arena y del líquido sea de 200 ml, finalmente, se tapa la botella se agita vigorosamente durante 2 minutos, como existe penetración de solución en las arenas durante el agitado, se completa nuevamente a 200 ml con la solución y se deja reposar durante 24 horas.
3. Transcurrido el tiempo indicado, se compara el color del líquido que quede sobre la muestra (después del asentamiento de la arena) con la tabla de color estándar de referencia.

Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de las impurezas orgánicas en las arenas en estudio:

- Banco “**Derrumbadas**” color de la solución menor a 1 de acuerdo con la tabla de color testigo ASTM C-40. Considerado como bajo en contenido de materia orgánica.
- Banco “**Acajete**” color de la solución menor a 1 de acuerdo con la tabla de color testigo ASTM C-40. Considerado como bajo en contenido de materia orgánica.
- Banco “**Miravalles**” color de la solución menor a 1 de acuerdo con la tabla de color testigo ASTM C-40. Considerado como bajo en contenido de materia orgánica.
- Banco “**Thome**” color de la solución <1 de acuerdo con la tabla de color testigo ASTM C-40. Considerado como medio en contenido de materia orgánica.
- Banco “**La Letra**” color de la solución está entre 2 y 3 de acuerdo con la tabla de color testigo ASTM C-40. Considerado como bajo en contenido de materia orgánica.
- Banco “**sin nombre**” color de la solución menor a 1 de acuerdo con la tabla de color testigo ASTM C-40. Considerado como bajo en contenido de materia orgánica.

Normativa

NMX-C-088-ONNCCE-1997 Industria de la construcción – Agregados para concreto – Determinación de impurezas orgánicas – Método de prueba. En esta norma se establece el método de prueba para establecer el contenido de materia orgánica en la arena, dando una advertencia de su presencia en el agregado fino. La norma

americana ASTM C 40, indica el uso de la tabla de color estándar indicada. (ASTM-C-40, 2003) (NMX-C-088, 1997)

3.5. Equivalente de arena de las muestras de arena

Esta prueba tiene por objeto determinar en la fracción de arena que pasa la malla No.4 bajo condiciones de prueba establecidas, la porción volumétrica de partículas de arena, con respecto al volumen de las partículas finas de arcilla.

Equipo

- Probetas de lucita o acrílico transparente, con escala de alturas graduadas en mm o pulgadas y con tapón de hule.
- Tubo irrigador de acero inoxidable, provisto de un tramo de manguera de hule y de un sifón.
- Pisón metálico con peso de 1000 ± 5 gramos.
- Cápsulas metálicas de 57 mm de diámetro con capacidad de 85 ± 5 cm³. Embudo de boca ancha de 10 cm de diámetro.
- Cronometro con aproximación de 1 segundo.
- Dos botellas de vidrio o plástico, con capacidad mínima de 3.78 litros.
- Malla No.4.
- Balanza de 2 kg. de capacidad y 0.1 de gramo de aproximación.
- Papel filtro con velocidad de filtrado rápido.

Procedimiento

Para realizar la prueba, se requiere de preparar las siguientes soluciones:

SOLUCION DE RESERVA

Esta se prepara al disolver 454 gramos de cloruro de calcio en 1.89 litros de agua destilada, como al preparar esta solución se genera calor, se le deja enfriar y se hace pasar a través del papel filtro, a continuación, se agregan 47 gramos de solución volumétrica al 40% de formaldehído y 2050 gramos de glicerina (glicerina normalizada), se mezcla el total y se agrega agua destilada hasta completar 3.78 litros, finalmente se agita toda la solución para homogeneizarla.

SOLUCION DE TRABAJO:

Esta se prepara colocando en una botella de 3.78 litros de capacidad, 85 cm³ de la solución de reserva, se llena con agua destilada y se agita para obtener una solución homogénea.

Del material que pasa la malla No.4, se toman 500 gramos aproximadamente, mezclando esté se llena la cápsula y se golpea esta por su base contra la mesa de trabajo con el fin de acomodar las partículas y finalmente se enrasa.

1. Se coloca la botella con la solución de trabajo en una repisa que estará a una altura de 915 ± 25 mm. Sobre el nivel de la mesa de trabajo.
2. Se instala el sifón en la botella, el cual se llena al soplar por el tubo corto y mantener abierta la pinza de que está provisto el tubo largo.
3. Se vierte en la probeta con ayuda del sifón la solución de trabajo, hasta una altura de 4 pulgadas.

4. Se coloca en la probeta la muestra previamente preparada, con el embudo para evitar pérdidas de material, se golpea finalmente varias veces la base de la probeta contra la palma de la mano, para remover las burbujas de aire que hubieran quedado atrapadas y facilitar la saturación superficial del material.
5. Se deja reposar la muestra durante 10 ± 1 minuto, sin mover la probeta durante este lapso. A continuación, se coloca el tapón de hule en la probeta y se afloja el material del fondo mediante una inclinación y agitación.
6. Se agita la probeta sosteniéndola por sus con un movimiento horizontal, hasta completar 90 ciclos en 30 segundos con una carrera aproximada de 20 centímetros, donde un ciclo es un movimiento de oscilación completo.
7. Se destapa la probeta y se introduce en ella el tubo irrigador de manera que al agregar la solución se laven las paredes de la probeta. Se lleva el tubo hacia el fondo y con la presión se produce la agitación de la arena, acompañado de movimientos rotatorios alternativos del tubo dentro en la probeta, esta acción tiene por objeto, separar el material fino de las partículas gruesas, con el fin de dejarlo en suspensión.
8. Cuando el nivel del líquido llegue a 12 pulgadas, se saca lentamente el irrigador de la probeta sin cortar el flujo de la solución, de manera que el líquido se mantenga aproximadamente al mismo nivel, se regula el flujo un poco antes de que el tubo este completamente afuera y se ajusta el nivel final en la probeta a 15 pulgadas.
9. Se deja la probeta en reposo durante $20 \text{ minutos} \pm 15 \text{ segundos}$, contados a partir del momento en que se haya extraído el tubo irrigador.

10. Transcurrido el tiempo de reposo, se lee en la escala de la probeta el nivel superior de los finos en suspensión, el cual se denomina "lectura de arcilla".

11. Después de hacer la lectura de arcilla, se introduce lentamente el pisón en la probeta hasta que por su propio peso descansa en la fracción gruesa del material, si perturbar los finos en suspensión, se hace la lectura del nivel superior del indicador, se le restan 10 pulgadas y se registra la diferencia como "lectura de arena".

12. Cuando el nivel de la fracción fina o el de la gruesa queden entre las divisiones de la escala de graduación, deberán registrarse las lecturas correspondientes a la división superior.

$$EA = \frac{\text{LECTURA DE ARENA}}{\text{LECTURA DE ARCILLA}} \times 100 \quad (3.7)$$

Donde:

EA.- Es el porcentaje del Equivalente de arena (%)

Resultados

Del material que pasa la malla No.4, está formado por arenas y finos, estos últimos pueden estar constituidos a su vez por partículas no plásticas, el método que se describe cuantifica el volumen total de material no plástico deseable en la muestra, denominando su porción volumétrica como equivalente de arena. Se considera que un valor resultante mayor a 70% es aceptable para el uso en el concreto hidráulico.

- Banco "**Derrumbadas**":

Datos: Lectura de arcilla= 3.4pulgadas Lectura de arena=2.3pulgadas

Cálculo:

$$EA = \left(\frac{3.7}{7.0}\right) \times 100 = 52.9 \%$$

- Banco "**Acajete**":

Datos: Lectura de arcilla= 6.0pulgadas Lectura de arena=3.1pulgadas

Cálculo:

$$EA = \left(\frac{3.5}{6.9}\right) \times 100 = 50.7 \%$$

- Banco "**Thome**":

Datos: Lectura de arcilla= 5.7pulgadas Lectura de arena=3.2pulgadas

Cálculo:

$$EA = \left(\frac{3.8}{5.5}\right) \times 100 = 69.1\%$$

- Banco "**Miravalles**":

Datos: Lectura de arcilla= 4.9pulgadas Lectura de arena=3.3pulgadas

Cálculo:

$$EA = \left(\frac{2.6}{6.8}\right) \times 100 = 38.2 \%$$

- Banco "**La Letra**":

Datos: Lectura de arcilla= 5.6pulgadas Lectura de arena=3.1pulgadas

Cálculo:

$$EA = \left(\frac{3.6}{7.2}\right) \times 100 = 50 \%$$

- Banco "**sin nombre**":

Datos: Lectura de arcilla= 4.3pulgadas Lectura de arena=3.1pulgadas

Cálculo:

$$EA = \left(\frac{3.1}{4.3}\right) \times 100 = 72.1 \%$$

Normativa

NMX-C-416-ONNCCE-2003 Industria de la construcción – Agregados – Determinación del equivalente de arena – Método de prueba. La prueba de equivalente de arena en general se aplica a materiales para sub- bases, bases y agregados pétreos para mezclas asfálticas y para concreto hidráulico, permitiendo obtener rápidamente datos sobre la calidad del material, desde el punto de vista de su contenido de finos indeseables, generalmente de naturaleza plástica. (NMX-C-416, 2003)

3.6. Absorción y Masa específica de las muestras de arena

La absorción del agregado fino consiste en determinar la cantidad de agua que penetra en el agregado fino o en sus partículas cuando se le deja sumergido en agua a una temperatura de 15-25 °C durante 24 horas.

La densidad del agregado fino determina la relación entre el peso específico en las condiciones de temperatura y presión barométrica del lugar y el peso específico del agua destilada, en las mismas condiciones de temperatura y presión barométrica.

Equipo

- Balanza con capacidad de 2,610 gramos y aproximación de una décima de gramo.
- Molde de latón o acero inoxidable en forma de cono truncado de 38 milímetros de diámetro en la base superior, 89 mm de diámetro en la base inferior y 74 mm de altura.
- Pisón metálico con peso de 390 ± 15 gramos, con los extremos planos y de un diámetro de 25 ± 2 milímetros.
- Parrilla eléctrica o fuente de calor.
- Charola circular de un diámetro de 25 centímetros.
- Frasco volumétrico con capacidad de 450 ml.
- Embudo, espátula, vaso de aluminio.
- Probeta con capacidad de 500 ml.

Procedimiento

a) Absorción

1. Se obtiene por cuarteo 1000 gramos del agregado fino que se desee examinar, que se haya tamizado por la malla No.4.
2. Se seca el material hasta peso constante a una temperatura de $105 \pm 5^\circ\text{C}$, y se deja enfriar a la temperatura ambiente hasta que se pueda manipular.
3. Se sumerge el material en un vaso con agua limpia a una temperatura de 15 a 25°C y se mantiene así durante 24 horas.
4. Transcurrido este tiempo, se decanta el agua y se expone a fuego el material, moviéndolo frecuentemente con la espátula para asegurar

un secado uniforme. Esta operación se deberá prolongar hasta que el agregado fino alcance la condición de que pueda fluir libremente.

5. Enseguida, se coloca el agregado fino sin compactar en el molde tronco cónico y se compacta la superficie suavemente con ayuda del pisón dando 25 golpes, para posteriormente levantar el molde. Si existe humedad en la muestra, el agregado conservara su forma original.

6. Se continuará secando el material, moviéndolo constantemente; repitiendo la operación de apisonado en el molde a intervalos frecuentes, hasta que el cono del agregado fino se extienda al quitar el molde (se dice que el material presenta un *revenimiento*) esto indica que el agregado fino ha alcanzado una condición de sequedad superficial.

7. Obtenida esta condición se pesan 200 gramos de material, el cual nos indica el peso de la arena saturada superficialmente seca (A_{sss}) y se depositará en una charola de lámina circular. La arena se expone al secado por medio de la parrilla hasta obtener un peso constante.

8. Posteriormente se deja que el material tome la temperatura ambiente, conseguido lo anterior se pesa el material y se registra dicho peso como peso seco (A_s) en gramos.

$$\text{Absorción} = \frac{(A_{sss} - A_s)}{A_s} \times 100 \quad (3.8)$$

Dónde:

A_{sss} .- Peso de arena saturada superficialmente seca (g)

A_s .- Peso de la arena seca (g)

b) Masa específica

El procedimiento a seguir en la masa específica de la arena debe cumplir con los puntos indicados en la prueba de absorción del 1 al 5. Esto para alcanzar la condición de arena saturada superfinamente seca; con el material en esta condición se continúa con el siguiente proceso:

6. Antes de proceder a efectuar la prueba, se debe limpiar el frasco volumétrico con la mezcla crómica que se obtiene de la siguiente manera. Se disuelve en caliente 60 gramos de bicromato de potasio en 300 centímetros cúbicos de agua destilada, a la cual se le adicionan en frío 450 centímetros cúbicos de ácido sulfúrico comercial. Se lava el frasco con esta mezcla para eliminar la grasa que pueda tener adherida en su interior.

7. Se enjuaga dicho frasco con agua destilada y se escurre perfectamente, se agrega alcohol para eliminar los residuos de agua.

Para finalizar el lavado, se enjuaga nuevamente el frasco con éter sulfúrico y con el objeto de facilitar la eliminación de éste, se coloca el matraz en un soporte con la boca libre hacia abajo durante 10 minutos.

8. Se determina el peso del frasco seco y limpio y se anota este peso como (F) en gramos.

9. Obtenida la condición de material saturado superficialmente seco se pesan 200 gramos (Asss) y se introducen en el frasco con ayuda del embudo con la precaución de vaciar todo el material.

10. Se llena el frasco con agua destilada y con la piseta hasta que la parte inferior del menisco coincida con la marca de aforo de 200 ml. a una temperatura de 20 °C. Enseguida se eliminan las burbujas de aire que contenga el material, y se complementa el volumen del frasco con la piseta hasta que el menisco en su parte inferior coincida con la

marca del aforo de 450 ml., se seca cuidadosamente el interior del cuello del frasco con un papel absorbente enrollado sin tocar el menisco, para retirar el agua excedente que tenga el frasco en su parte exterior y proceder a pesarlos para obtener el peso total del agua introducida al frasco, más el peso del material saturado y superficialmente seco, más el peso del frasco (K) en gramos. Para el cálculo de la densidad de arena se aplica la siguiente fórmula:

$$D = \frac{Asss}{V_f - (K - F - Asss)} \quad (3.9)$$

Donde:

D.- Densidad de la arena.

Asss.- Arena saturada superficialmente seca.

Vf.- Volumen del frasco en cm³.

F.- Peso del frasco volumétrico.

K.- Suma de los pesos (As + F + agua destilada hasta los 450 cm³).

Resultados

Los resultados de la absorción y densidad se muestran a continuación:

- Banco "**Derrumbadas**":

Datos de absorción: Asss=200g As=194.78g

Cálculo:

$$\text{Abs}(\%) = \left(\frac{200 \text{ g} - 195.1 \text{ g}}{195.1 \text{ g}} \right) \times 100 = 2.68 \%$$

Datos para densidad: Asss=200g K=852.2g Vf=450cm³ F=293.6g

$$D = \left(\frac{200 \text{ g}}{450 \text{ cm}^3 - (852.2 \text{ g} - 293.6 \text{ g} - 200 \text{ g})} \right) = 2.19$$

- Banco "**Acajete**":

Datos de absorción: $A_{sss}=200\text{g}$ $A_s=194.9\text{g}$

Cálculo:

$$\text{Abs}(\%) = \left(\frac{200\text{ g} - 194.9\text{ g}}{194.9\text{ g}} \right) \times 100 = 2.62\%$$

Datos para densidad: $A_{sss}=200\text{g}$ $K=893.9\text{g}$ $V_f=450\text{cm}^3$ $F=325\text{g}$

$$D = \left(\frac{200\text{ g}}{450\text{cm}^3 - (893.9\text{g} - 325\text{g} - 200\text{g})} \right) = 2.47$$

- Banco "**Thome**":

Datos de absorción: $A_{sss}=200\text{g}$ $A_s=195.01\text{g}$

Cálculo:

$$\text{Abs}(\%) = \left(\frac{200\text{ g} - 195.01\text{ g}}{195.01\text{ g}} \right) \times 100 = 2.56\%$$

Datos para densidad: $A_{sss}=200\text{g}$ $K=879.6\text{g}$ $V_f=450\text{cm}^3$ $F=304.5\text{g}$

$$D = \left(\frac{200\text{ g}}{450\text{cm}^3 - (879.6\text{g} - 304.5\text{g} - 200\text{g})} \right) = 2.67$$

- Banco "**Miravalles**":

Datos de absorción: $A_{sss}=200\text{g}$ $A_s=192.9\text{g}$

Cálculo:

$$\text{Abs}(\%) = \left(\frac{200\text{ g} - 191.4\text{ g}}{191.4\text{ g}} \right) \times 100 = 4.49\%$$

Datos para densidad: $A_{sss}=200\text{g}$ $K=877.5\text{g}$ $V_f=450\text{cm}^3$ $F=293.3\text{g}$

$$D = \left(\frac{200\text{ g}}{450\text{cm}^3 - (855.6\text{g} - 293.3\text{g} - 200\text{g})} \right) = 2.28$$

- Banco "**La Letra**":

Datos de absorción: $A_{sss}=200g$ $A_s=191.5g$

Cálculo:

$$Abs(\%) = \left(\frac{200g - 191.5g}{191.5g} \right) \times 100 = 4.44\%$$

Datos para densidad: $A_{sss}=200g$ $K=873.3g$ $V_f=450cm^3$ $F=304.3g$

$$D = \left(\frac{200g}{450cm^3 - (873.3g - 304.5g - 200g)} \right) = 2.46$$

- Banco "**sin nombre**":

Datos de absorción: $A_{sss}=200g$ $A_s=194.2g$

Cálculo:

$$Abs(\%) = \left(\frac{200g - 194.2g}{194.2g} \right) \times 100 = 2.99\%$$

Datos para densidad: $A_{sss}=200g$ $K=864.1g$ $V_f=450cm^3$ $F=304.3g$

$$D = \left(\frac{200g}{450cm^3 - (864.1g - 304.5g - 200g)} \right) = 2.2$$

Normativa

NMX-C-165-ONNCCE-2004 Industria de la construcción – Agregados – Determinación de la masa específica y absorción de agua del agregado fino – Método de prueba. La Norma establece el método de prueba para la determinación de la masa específica aparente y la absorción del agregado fino, bajo condiciones de saturado y superficialmente seco. (NMX-C-165, 2004) (BUAP, 2018)

3.7. Porcentaje de partículas que pasan la malla No. 200

Esta prueba consiste en determinar la cantidad de material que pasa la malla No.200 (0.075 mm) que contienen los agregados finos y gruesos. Mediante un lavado de muestra y por decantación, el material fino en suspensión se separe de los agregados para posteriormente cribar mediante un juego de mallas con aberturas determinadas.

Equipo

- Mallas de los siguientes No. 100 y 200, tapa o fondo para malla.
- Vaso de aluminio y varilla con diámetro de 3/8" y longitud de 20 cm.
- Báscula de capacidad de 2,610 g. y aproximación de 0.1 de gramo.
- Horno con termostato y temperatura de 105 ± 5 °C.
- Agitador mecánico *Rot-ap* o agitado manual.
- Charolas de acero para secado

Procedimiento

Se reduce la muestra por cuarteo sobre una charola y con el cucharón se coloca el material formando un cono truncado, el cual se extiende hasta lograr una capa circular de espesor uniforme. Se divide el material en cuatro partes iguales con el material de dos cuadrantes opuestos se obtiene la porción de prueba del tamaño indicado en la Tabla 3.7. Se tendrá cuidado de distribuir y de no perder el material fino en cada operación de cuarteo, para lo cual se podrá utilizar una brocha.

Tabla 3.7. Tamaño de la porción de prueba.

Tamaño máximo del agregado (mm)	Masa de la porción de prueba (g)
Menor de 4,75 (Nº4)	300
Mayor de 4,75 (Nº4) hasta 9,50 ($\frac{3}{8}$ in)	1 000
Mayor de 9,50 ($\frac{3}{8}$ in) hasta 19,00 ($\frac{3}{4}$ in)	2 500
Mayor de 19,00 ($\frac{3}{4}$ in)	5 000

Fuente: (M-MMP-2-02-019, 2018)

1. Se seca la porción de prueba en el horno a una temperatura de $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ hasta masa constante, la cual se registra como W_m en gramos con aproximación de 0.1 g.
2. Se ensamblan las mallas No.100 (0.15 mm) y No.200 (0.075 mm) en orden descendente perfectamente sujetas entre sí. El arreglo de mallas se coloca horizontalmente sobre una tarja que permita drenar el agua que se verterá a través de las mallas.
3. A continuación se coloca la porción de prueba en un recipiente y se le agrega agua potable en cantidad suficiente hasta que quede totalmente cubierta y se deja reposar por un tiempo de 12 h.
4. Hecho lo anterior se lava el material dentro del recipiente, para lo cual se agita su contenido en forma de ochos utilizando la varilla metálica; inmediatamente después se decanta sobre las mallas el agua de lavado que contenga los sólidos suspendidos teniendo el cuidado de evitar la caída de partículas gruesas de la porción de prueba.
5. Cuando la separación del material fino no se logre adecuadamente podrá incorporarse una pequeña cantidad de agente humectante al agua potable. Es importante considerar que durante la agitación se

puede generar cierta cantidad de espuma que puede llevar consigo partículas del material.

6. Se agrega nuevamente agua potable al recipiente que contiene la porción de prueba y se repite el procedimiento indicado en la Fracción 4 de este Manual las veces necesarias, hasta observar que el agua que pasa por las mallas se vea limpia y libre de partículas.

7. Se incorpora todo el material retenido en las mallas al recipiente que contiene la porción de prueba lavada. De ser necesario, se recupera el material que quedó adherido a las mallas aplicando un chorro de agua por la parte inferior de las mallas y con ayuda de la brocha hasta que las mallas queden limpias de partículas.

8. Finalmente, la porción de prueba lavada se seca en el horno a una temperatura $110 \pm 5^{\circ}$ C hasta masa constante, la cual se registra como WI, en g, con aproximación de 0,1 g.

* Para concreto sujeto a desgaste máximo 3%

* Para concreto de cualquier otra índole máximo 5%

Resultados

Se calcula y reporta el porcentaje de partículas que pasan la malla No.200 (0,075 mm) mediante la siguiente expresión:

$$F = \frac{(Wm - WI)}{Wm} X 100 \quad (3.10)$$

F.- Porcentaje de partículas que pasan la malla No.200 (0,075 mm), (%)

Wm.- Masa de la porción de prueba seca, (g)

WI.- Masa de la porción de prueba lavada, (g)

Se presentan a continuación los resultados obtenidos a las muestras correspondientes a cada banco analizado:

- Banco "**Derrumbadas**":

Datos: $W_m=300\text{g}$ $W_l=249.9\text{g}$

Cálculo:

$$F = \left(\frac{300\text{ g} - 249.9\text{ g}}{300\text{ g}} \right) \times 100 = 16.7\%$$

- Banco "**Acajete**":

Datos: $W_m=300\text{g}$ $W_l=225.75\text{g}$

Cálculo:

$$F = \left(\frac{300\text{ g} - 225.75\text{ g}}{300\text{ g}} \right) \times 100 = 24.75\%$$

- Banco "**Thome**":

Datos: $W_m=300\text{g}$ $W_l=235.05\text{g}$

Cálculo:

$$F = \left(\frac{300\text{ g} - 235.05\text{ g}}{300\text{ g}} \right) \times 100 = 21.65\%$$

- Banco "**Miravalles**":

Datos: $W_m=300\text{g}$ $W_l=261.45\text{g}$

Cálculo:

$$F = \left(\frac{300\text{ g} - 190.95\text{ g}}{300\text{ g}} \right) \times 100 = 36.35\%$$

- Banco "**La Letra**":

Datos: $W_m=300\text{g}$ $W_l=247.95\text{g}$

Cálculo:

$$F = \left(\frac{300\text{ g} - 247.95\text{ g}}{300\text{ g}} \right) \times 100 = 17.35\%$$

- Banco “*sin nombre*”:

Datos: $W_m=500g$ $W_l=297.9g$

Cálculo:

$$F = \left(\frac{300 \text{ g} - 297.9 \text{ g}}{300 \text{ g}} \right) \times 100 = 0.7 \%$$

Normativa

Este Manual describe el procedimiento de prueba para la determinación del porcentaje de partículas más finas que la malla No.200 (0,075 mm) presentes en los agregados a los que se refiere la Norma N-CMT-2-02-002, Calidad de Agregados Pétreos para Concreto Hidráulico, en muestras tomadas conforme al Manual M-MMP-2-02-019, Muestreo de Agregados Pétreos. (M-MMP-2-02-019, 2018)

3.8. Rotura por compresión de arenas

Estudios relacionados a la caracterización geotécnica y comportamiento que exhiben las arenas provenientes directamente de la desintegración de un macizo rocoso son escasos. Más aun investigaciones relacionadas a la rotura de partículas de estas arenas sometidas a esfuerzo de compresión simple son casi inexistentes. Por otro lado, estos materiales granulares son importante en la industria minera ya que por ejemplo son utilizados como material de construcción. Por lo tanto, el desarrollo de mayor investigación en este tipo de materiales es necesario.

El objetivo general de esta prueba es estudiar el comportamiento de la rotura y desgaste por abrasión de partículas de las arenas. El fin es entender la evolución de la granulometría del material al aumentar la carga vertical y al variar la densidad relativa

inicial indicando cuál de ellas tiene una mayor resistencia. (D'espessailles Tapia, 2014)

Equipo

- Prensa con capacidad de 25 toneladas.
- Contenedor de arena de acero no deformable con diámetro y altura conocidos y Pisón de ensaye. (Figura 3.2)
- Malla No. 4, 10, 8, 16, 30, 50, 100 y 200

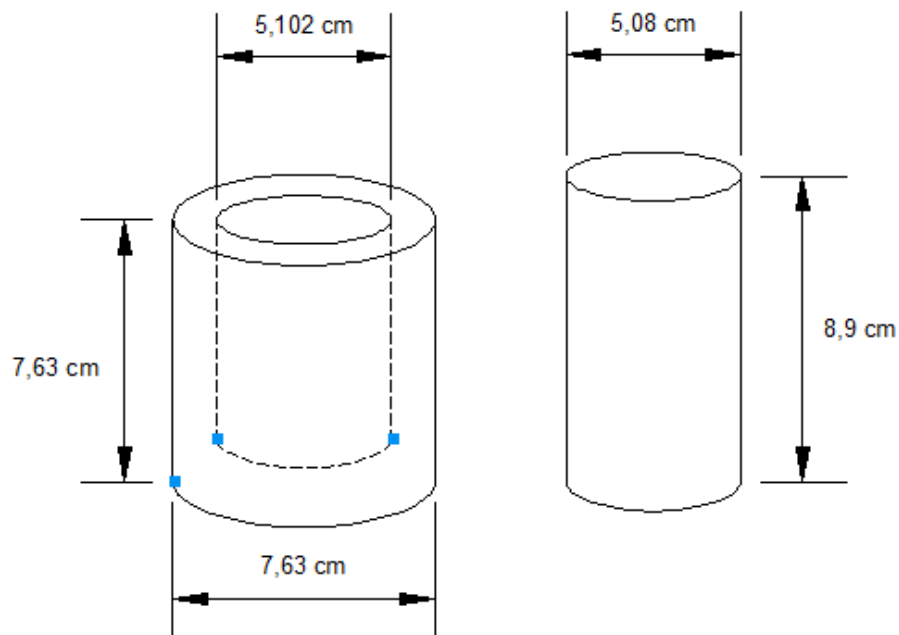


Figura 3.2. Molde y pisón de ensaye a compresión en arenas

(Fuente propia, 2018)

Procedimiento

- Se hace pasar la muestra seccionada por cuarteo por la malla No.4 y se selecciona para la prueba el material retenido en malla No.10 para tener un tamaño estandarizado de las arenas.
- El material retenido en malla No. 10 se introduce en el contenedor de arena para compresión hasta el borde que es la altura inicial (h_i), y a continuación se enraza, registrando el peso del material (P_m).
- Con el peso de la muestra y el volumen del contenedor se registra el peso volumétrico de cada muestra (P_{vol}).
- Lleno el contenedor se coloca el pisón de compresión y se le aplica una carga de 15 000 Kg, esta carga produce la rotura y abrasión de las partículas. Se mide el desplazamiento (Δx) de la arena después de la aplicación de carga. Se determina la altura final de la muestra con:

$$h_f = h_i - \Delta x \quad (3,11)$$

- Se mide la diferencia de alturas ($h_i - h_f$) que indican el desplazamiento después de la aplicación de la carga y se calcula nuevamente el peso volumétrico.
- Finalmente se realiza una granulometría utilizando las mallas No. 8, 16, 30, 50, 100 y 200. Con los datos obtenidos se realizan relaciones entre mallas.

Resultados

Los resultados de los desplazamientos, granulometrías y relaciones entre mallas se muestran a continuación. Las dimensiones del contenedor son igual para todos los casos:

Diámetro=5.102cm **$h_i=7.63\text{cm}$** **Área de la**
sección=(A)=20.44cm²

Volumen del contenedor= Vol. (inicial)=155.99cm³

- Banco “**Derrumbadas**”:

Datos: $\Delta x = 2.474\text{cm}$ $P_m = 164.3\text{g}$

Cálculo del peso volumétrico suelto inicial:

$$P_{vs}(\text{inicial}) = \left(\frac{164.3 \text{ g}}{155.99 \text{ cm}^3} \right) = 1.05327 \text{ g/cm}^3$$

Cálculo de la diferencia de alturas:

$$h_f = (7.63\text{cm} - 2.474\text{cm}) = 5.156\text{cm}$$

Cálculo del volumen final de la muestra de arena después de la aplicación de carga:

$$V_f(\text{final}) = (20.44\text{cm}^2 \times 5.156\text{cm}) = 105.39\text{cm}^3$$

Cálculo del peso volumétrico suelto final:

$$P_{vs}(\text{final}) = \left(\frac{164.3\text{g}}{105.39 \text{ cm}^3} \right) = 1.55897 \text{ g/cm}^3$$

Tabla 3.8. Cálculo de la granulometría obtenida banco “Derrumbadas”

GRANULOMETRÍA					
No. MALLA	APERTURA EN (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
8	2.36	48	29.21	29.21	70.79
16	1.8	39.7	24.16	53.38	46.62
30	0.6	16.5	10.04	63.42	36.58
50	0.3	16	9.74	73.16	26.84
100	0.15	20	12.17	85.33	14.67
200	0.074	12.2	7.43	92.76	7.24
PASA 200	< 0.074	11.9	7.24	100.00	0.00
		164.3	100.00		100

Fuente: Autoría propia, 2019

Determinación de las sumas granulométricas:

Suma de pesos retenidos en las mallas No.8 y No.16

$$(No.8 + No.16)(g) = 48g + 37.9g = \mathbf{85.9g}$$

Porcentaje de la muestra obtenido de las mallas No.8 y No.16

$$(No.8 + No.16)(\%) = 29.21\% + 24.16\% = \mathbf{53.37\%}$$

Suma de pesos retenidos en las mallas No.30 y No.50

$$(No.30 + No.50)(g) = 16.5g + 16g = \mathbf{32.5g}$$

Porcentaje de la muestra obtenido de las mallas No.30 y No.50

$$(No.30 + No.50)(\%) = 10.04 + 9.74 = \mathbf{19.78\%}$$

Suma de pesos retenidos en las mallas No.100 y No.200

$$(No.100 + No.200)(g) = 20g + 12.2g = \mathbf{32.2g}$$

Porcentaje de la muestra obtenido de las mallas No.100 y No.200

$$(No.100 + No.200)(\%) = 12.17 + 7.43 = \mathbf{19.6\%}$$

Porcentaje que se pasa malla No.200.

$$< 0.075\text{mm} = \mathbf{7.24\%}$$

- Banco “**Acajete**”:

Datos: $\Delta x = 2.01\text{cm}$ $P_m = 194.3\text{g}$

Cálculo del peso volumétrico suelto inicial:

$$P_{vs}(\text{inicial}) = \left(\frac{194.3 \text{ g}}{155.99 \text{ cm}^3} \right) = 1.24559 \text{ g/cm}^3$$

Cálculo de la diferencia de alturas:

$$h_f = (7.63\text{cm} - 2.01\text{cm}) = 5.62\text{cm}$$

Cálculo del volumen final de la muestra de arena después de la aplicación de carga:

$$V_f(\text{final}) = (20.44\text{cm}^2 \times 5.62\text{cm}) = 114.87\text{cm}^3$$

Cálculo del peso volumétrico seco final:

$$P_{vs}(\text{final}) = \left(\frac{194.3 \text{ g}}{114.87\text{cm}^3} \right) = 1.69148 \text{ g/cm}^3$$

Tabla 3.9. Cálculo de la granulometría obtenida banco “Acajete”

GRANULOMETRÍA					
No. MALLA	APERTURA EN (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
8	2.36	76.4	39.32	39.32	60.68
16	1.8	56.7	29.18	68.50	31.50
30	0.6	18.7	9.62	78.13	21.87
50	0.3	10.9	5.61	83.74	16.26
100	0.15	9.1	4.68	88.42	11.58
200	0.074	7.3	3.76	92.18	7.82
PASA 200	< 0.074	15.2	7.82	100.00	0.00
		194.3	100.00		100

Fuente: Autoría propia, 2019

Determinación de las sumas granulométricas:

Suma de pesos retenidos en las mallas No.8 y No.16

$$(No.8 + No.16)(g) = 76.4g + 56.7g = \mathbf{133.1g}$$

Porcentaje de la muestra obtenido de las mallas No.8 y No.16

$$(No.8 + No.16)(\%) = 39.32\% + 29.18\% = \mathbf{68.5\%}$$

Suma de pesos retenidos en las mallas No.30 y No.50

$$(No.30 + No.50)(g) = 18.7g + 10.9g = \mathbf{29.6g}$$

Porcentaje de la muestra obtenido de las mallas No.30 y No.50

$$(No.30 + No.50)(\%) = 9.62 + 5.61 = \mathbf{15.23\%}$$

Suma de pesos retenidos en las mallas No.100 y No.200

$$(No.100 + No.200)(g) = 9.1g + 7.3g = \mathbf{16.4g}$$

Porcentaje de la muestra obtenido de las mallas No.100 y No.200

$$(No.100 + No.200)(\%) = 4.68 + 3.76 = \mathbf{8.44\%}$$

Porcentaje que se pasa malla No.200.

$$< 0.075\text{mm} = 7.82\%$$

- Banco “**Thome**”:

Datos: $\Delta x = 2.257 \text{ cm}$ $P_m = 211.2 \text{ g}$

Cálculo del peso volumétrico suelto inicial:

$$P_{vs}(\text{inicial}) = \left(\frac{211.2 \text{ g}}{155.99 \text{ cm}^3} \right) = 1.3539 \text{ g/cm}^3$$

Cálculo de la diferencia de alturas:

$$h_f = (7.63 \text{ cm} - 2.257 \text{ cm}) = 5.373 \text{ cm}$$

Cálculo del volumen final de la muestra de arena después de la aplicación de carga:

$$V_f(\text{final}) = (20.44 \text{ cm}^2 \times 5.373 \text{ cm}) = 109.82 \text{ cm}^3$$

Cálculo del peso volumétrico seco final:

$$P_{vs}(\text{final}) = \left(\frac{211.2 \text{ g}}{109.82 \text{ cm}^3} \right) = 1.9231 \text{ g/cm}^3$$

Tabla 3.10. Cálculo de la granulometría obtenida banco “Thome”

GRANULOMETRÍA					
No. MALLA	APERTURA EN (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
8	2.36	91.7	43.42	43.42	56.58
16	1.8	68.9	32.62	76.04	23.96
30	0.6	19.3	9.14	85.18	14.82
50	0.3	7.3	3.46	88.64	11.36
100	0.15	4.4	2.08	90.72	9.28
200	0.074	2.3	1.09	91.81	8.19
PASA 200	< 0.074	17.3	8.19	100.00	0.00
		211.2	100.00		100

Fuente: Autoría propia, 2019

Determinación de las sumas granulométricas:

Suma de pesos retenidos en las mallas No.8 y No.16

$$(No.8 + No.16)(g) = 91.7g + 68.9g = \mathbf{160.6g}$$

Porcentaje de la muestra obtenido de las mallas No.8 y No.16

$$(No.8 + No.16)(\%) = 43.42\% + 32.62\% = \mathbf{76.2\%}$$

Suma de pesos retenidos en las mallas No.30 y No.50

$$(No.30 + No.50)(g) = 19.3g + 7.3g = \mathbf{26.6g}$$

Porcentaje de la muestra obtenido de las mallas No.30 y No.50

$$(No.30 + No.50)(\%) = 9.14 + 3.46 = \mathbf{12.6\%}$$

Suma de pesos retenidos en las mallas No.100 y No.200

$$(No.100 + No.200)(g) = 4.4g + 2.3g = \mathbf{6.7g}$$

Porcentaje de la muestra obtenido de las mallas No.100 y No.200

$$(No.100 + No.200)(\%) = 2.08 + 1.09 = \mathbf{3.17\%}$$

Porcentaje que se pasa malla No.200.

$$< 0.075\text{mm} = 8.19\%$$

- Banco “**Miravalles**”:

Datos: $\Delta x = 2.922 \text{ cm}$ $P_m = 143.4 \text{ g}$

Cálculo del peso volumétrico suelto inicial:

$$P_{vs}(\text{inicial}) = \left(\frac{143.4 \text{ g}}{155.99 \text{ cm}^3} \right) = 0.919 \text{ g/cm}^3$$

Cálculo de la diferencia de alturas:

$$h_f = (7.63 \text{ cm} - 2.922 \text{ cm}) = 4.708 \text{ cm}$$

Cálculo del volumen final de la muestra de arena después de la aplicación de carga:

$$V_f(\text{final}) = (20.44 \text{ cm}^2 \times 4.708 \text{ cm}) = 96.23 \text{ cm}^3$$

Cálculo del peso volumétrico seco final:

$$P_{vs}(\text{final}) = \left(\frac{143.4 \text{ g}}{96.23 \text{ cm}^3} \right) = 1.4902 \text{ g/cm}^3$$

Tabla 3.11. Cálculo de la granulometría obtenida banco “Miravalles”

GRANULOMETRÍA					
No. MALLA	APERTURA EN (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
8	2.36	25.6	17.85	17.85	82.15
16	1.8	37.8	26.36	44.21	55.79
30	0.6	13.8	9.62	53.84	46.16
50	0.3	12	8.37	62.20	37.80
100	0.15	15.4	10.74	72.94	27.06
200	0.074	18.7	13.04	85.98	14.02
PASA 200	< 0.074	20.1	14.02	100.00	0.00
		143.4	100.00		100

Fuente: Autoría propia, 2019

Determinación de las sumas granulométricas:

Suma de pesos retenidos en las mallas No.8 y No.16

$$(No.8 + No.16)(g) = 25.6g + 37.8g = \mathbf{63.4g}$$

Porcentaje de la muestra obtenido de las mallas No.8 y No.16

$$(No.8 + No.16)(\%) = 17.85\% + 26.36\% = \mathbf{44.21\%}$$

Suma de pesos retenidos en las mallas No.30 y No.50

$$(No.30 + No.50)(g) = 13.8g + 12g = \mathbf{25.8g}$$

Porcentaje de la muestra obtenido de las mallas No.30 y No.50

$$(No.30 + No.50)(\%) = 9.62 + 8.37 = \mathbf{17.99\%}$$

Suma de pesos retenidos en las mallas No.100 y No.200

$$(No.100 + No.200)(g) = 15.4g + 18.7g = \mathbf{34.1g}$$

Porcentaje de la muestra obtenido de las mallas No.100 y No.200

$$(No.100 + No.200)(\%) = 10.74 + 13.04 = \mathbf{23.78\%}$$

Porcentaje que se pasa malla No.200.

$$< 0.075\text{mm} = 14.02\%$$

- Banco “**La Letra**”:

Datos: $\Delta x = 2.284 \text{ cm}$ $P_m = 198.3 \text{ g}$

Cálculo del peso volumétrico suelto inicial:

$$P_{vs}(\text{inicial}) = \left(\frac{198.3 \text{ g}}{155.99 \text{ cm}^3} \right) = 1.2712 \text{ g/cm}^3$$

Cálculo de la diferencia de alturas:

$$h_f = (7.63 \text{ cm} - 2.284 \text{ cm}) = 5.346 \text{ cm}$$

Cálculo del volumen final de la muestra de arena después de la aplicación de carga:

$$V_f(\text{final}) = (20.44 \text{ cm}^2 \times 5.346 \text{ cm}) = 109.27 \text{ cm}^3$$

Cálculo del peso volumétrico seco final:

$$P_{vs}(\text{final}) = \left(\frac{198.3 \text{ g}}{109.27 \text{ cm}^3} \right) = 1.8147 \text{ g/cm}^3$$

Tabla 3.12. Cálculo de la granulometría obtenida banco “La Letra”

GRANULOMETRÍA					
No. MALLA	APERTURA EN (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
8	2.36	81.3	41.00	41.00	59.00
16	1.8	73.2	36.91	77.91	22.09
30	0.6	21.4	10.79	88.70	11.30
50	0.3	8.5	4.29	92.99	7.01
100	0.15	5.3	2.67	95.66	4.34
200	0.074	2.5	1.26	96.92	3.08
PASA 200	< 0.074	6.1	3.08	100.00	0.00
		198.3	100.00		100

Fuente: Autoría propia, 2019

Determinación de las sumas granulométricas:

Suma de pesos retenidos en las mallas No.8 y No.16

$$(No.8 + No.16)(g) = 81.3g + 73.2g = \mathbf{154.5g}$$

Porcentaje de la muestra obtenido de las mallas No.8 y No.16

$$(No.8 + No.16)(\%) = 41\% + 36.91\% = \mathbf{77.91\%}$$

Suma de pesos retenidos en las mallas No.30 y No.50

$$(No.30 + No.50)(g) = 21.4g + 8.5g = \mathbf{29.9g}$$

Porcentaje de la muestra obtenido de las mallas No.30 y No.50

$$(No.30 + No.50)(\%) = 10.79 + 4.29 = \mathbf{15.08\%}$$

Suma de pesos retenidos en las mallas No.100 y No.200

$$(No.100 + No.200)(g) = 5.3g + 2.5g = \mathbf{7.8g}$$

Porcentaje de la muestra obtenido de las mallas No.100 y No.200

$$(No.100 + No.200)(\%) = 2.67 + 1.26 = \mathbf{3.93\%}$$

Porcentaje que se pasa malla No.200.

$$< 0.075\text{mm} = 3.08 \%$$

- Banco “*sin nombre*”:

Datos: $\Delta x = 2.261\text{g}$ $P_m = 209.5\text{g}$

Cálculo del peso volumétrico suelto inicial:

$$P_{vs}(\text{inicial}) = \left(\frac{209.5\text{ g}}{155.99\text{ cm}^3} \right) = 1.3430\text{g/cm}^3$$

Cálculo de la diferencia de alturas:

$$h_f = (7.63\text{cm} - 2.261\text{cm}) = 5.369\text{cm}$$

Cálculo del volumen final de la muestra de arena después de la aplicación de carga:

$$V_f(\text{final}) = (20.44\text{cm}^2 \times 5.369\text{cm}) = 109.74\text{cm}^3$$

Cálculo del peso volumétrico seco final:

$$P_{vs}(\text{final}) = \left(\frac{209.5\text{ g}}{109.74\text{cm}^3} \right) = 1.8062\text{g/cm}^3$$

Tabla 3.13. Cálculo de la granulometría obtenida banco “*sin nombre*”

GRANULOMETRÍA					
No. MALLA	APERTURA EN (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO (%)	PORCENTAJE QUE PASA (%)
8	2.36	82.4	39.33	39.33	60.67
16	1.8	63.5	30.31	69.64	30.36
30	0.6	24.2	11.55	81.19	18.81
50	0.3	12.5	5.97	87.16	12.84
100	0.15	7.2	3.44	90.60	9.40
200	0.074	2.6	1.24	91.84	8.16
PASA 200	< 0.074	17.1	8.16	100.00	0.00
		209.5	100.00		100

Fuente: Autoría propia, 2019

Determinación de las sumas granulométricas:

Suma de pesos retenidos en las mallas No.8 y No.16

$$(No.8 + No.16)(g) = 82.4g + 63.5g = \mathbf{145.9g}$$

Porcentaje de la muestra obtenido de las mallas No.8 y No.16

$$(No.8 + No.16)(\%) = 39.33\% + 30.31\% = \mathbf{69.64\%}$$

Suma de pesos retenidos en las mallas No.30 y No.50

$$(No.30 + No.50)(g) = 24.2g + 12.5g = \mathbf{36.7g}$$

Porcentaje de la muestra obtenido de las mallas No.30 y No.50

$$(No.30 + No.50)(\%) = 11.55 + 5.97 = \mathbf{17.52\%}$$

Suma de pesos retenidos en las mallas No.100 y No.200

$$(No.100 + No.200)(g) = 7.2g + 2.6g = \mathbf{9.8g}$$

Porcentaje de la muestra obtenido de las mallas No.100 y No.200

$$(No.100 + No.200)(\%) = 3.44 + 1.24 = \mathbf{4.68\%}$$

Porcentaje que se pasa malla No.200.

$$< 0.075\text{mm} = 8.16\%$$

Normativa

No se tiene una normativa de este método, ya que es solo experimental para la observación de la resistencia a la rotura en las partículas de arena. Pero si demuestra la capacidad de soportar la aplicación de carga vertical (compresión) que es la forma en que se aplica la carga a cilindros de concreto hidráulico.

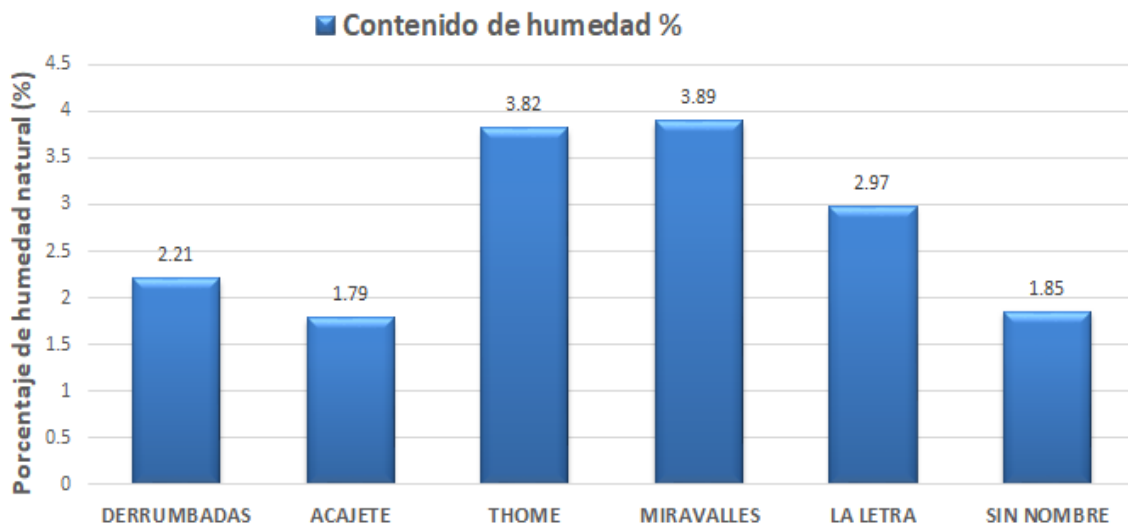
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se realiza la revisión de los resultados obtenidos, a través de una comparativa con los requerimientos de calidad de la normatividad mexicana. Es importante resaltar que las pruebas de calidad son: granulometría, módulo de finura, equivalente de arena, impurezas orgánicas, porcentaje de partículas que pasan la malla No 200. En el caso de la ruptura por compresión de arenas se presenta como una nueva prueba de calidad. El resto de las pruebas son el complemento de un estudio que se debe realizar a la arena utilizada en la dosificación de un concreto: contenido de humedad, masas volumétricas, absorción y densidad.

4.1. Análisis de contenidos de humedad

El comportamiento de las arenas analizadas presenta diferentes contenidos de humedad de acuerdo con la fecha de revisión y porosidad del material. Este dato es relevante para la dosificación, en cuanto a la relación agua/cemento requerida y la afectación que se produce en la resistencia del concreto hidráulico. Es necesario hacer constantes mediciones del contenido de agua de las arenas para hacer las correcciones de la cantidad de agua en las dosificaciones para diferentes resistencias del concreto. Una arena con menor capacidad de agua retenida permite realizar una corrección con menores posibilidades de error para la cantidad de agua requerida en el concreto.

A continuación, se presenta un gráfico del contenido de humedad de las arenas. Se debe tomar en cuenta que este parámetro varía durante el año dependiendo del clima bajo el cual se encuentre afectado el material: Gráfica (4.1)



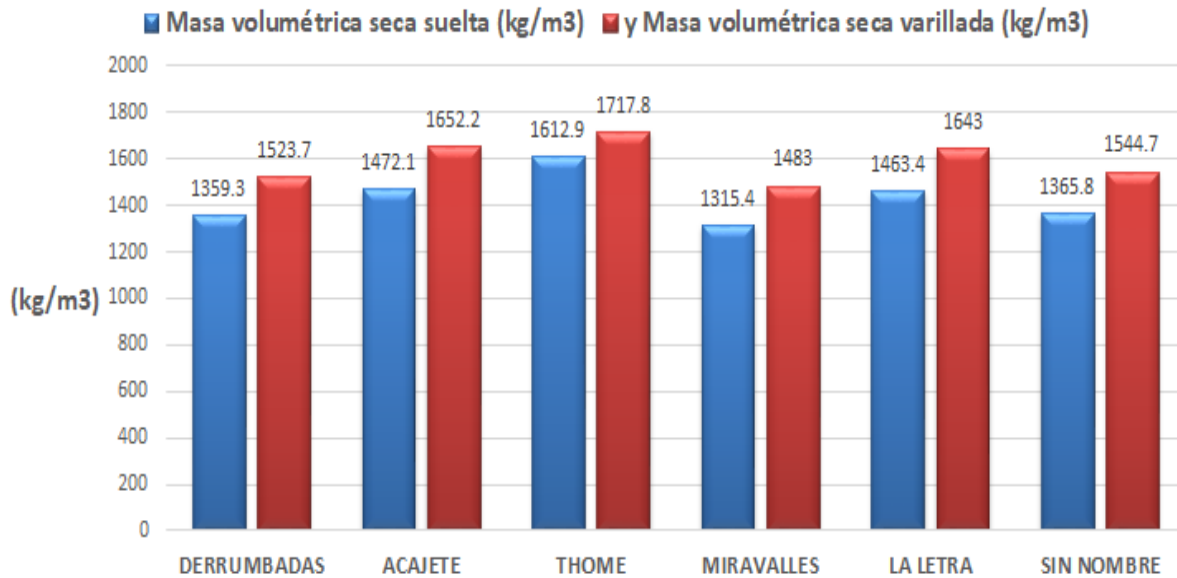
Gráfica 4.1. Contenido de humedad de las arenas analizadas. Fuente: Autoría propia, 2019

4.2. Análisis de masas volumétricas

Los análisis de las masas volumétricas ya sea seca suelta o seca varillada (Mvss, Mvsv), presenta variaciones de acuerdo con el tipo de roca de la cual se formaron las arenas, de los componentes minerales si son más pesados o menos, así como de la porosidad de la arena, una mayor cantidad de poros significa mayor vacío dentro de la partícula de arena y menor peso en consecuencia.

El método de curvas de Abrams para la dosificación del concreto, toma en cuenta el valor de la masa volumétrica seca suelta de la arena para determinar el volumen del concreto, donde a mayor masa volumétrica seca suelta, menor volumen de arena. En el transporte de materiales, una mayor masa volumétrica indica que se puede trasladar menor cantidad de material en los camiones de carga por lo tanto se encarece y afecta el costo de producción del concreto.

A continuación, se presentan los gráficos correspondientes a las masas volumétricas de las arenas analizadas. Gráfica (4.2)



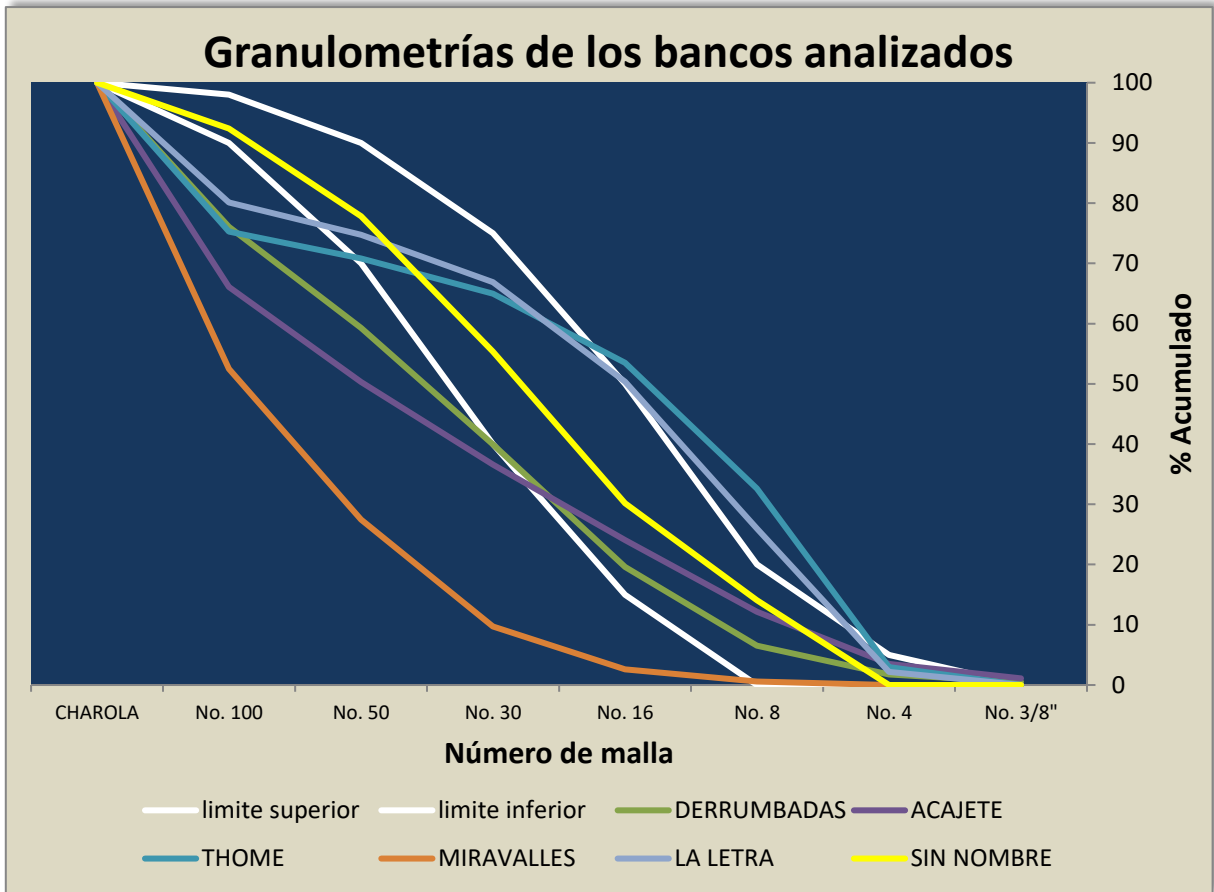
Gráfica 4.2. Masas volumétricas seca suelta y seca varillada de las arenas analizadas.

Fuente: Autoría propia, 2019

4.3. Análisis de granulometrías

La granulometría permite conocer un dato importante en la dosificación del concreto, que es el módulo de finura, que se ocupa tanto para el método del ACI, como para el de curvas de Abrams. También se encuentra la distribución idealizada de las partículas dentro de parámetros indicados en la norma (NMX-C-077, 1997) para un adecuado comportamiento granulométrico de las arenas en el concreto. Además de ser de gran utilidad en la *trabajabilidad* del concreto. Gráfico (4.3).

Se puede observar en el gráfico, que solo el banco denominado “sin nombre” cumple con la especificación de granulometría al estar dentro de los límites superior e inferior de acuerdo con la norma indicada en el párrafo anterior. El resto de las granulometrías se encuentran fuera de estos límites.

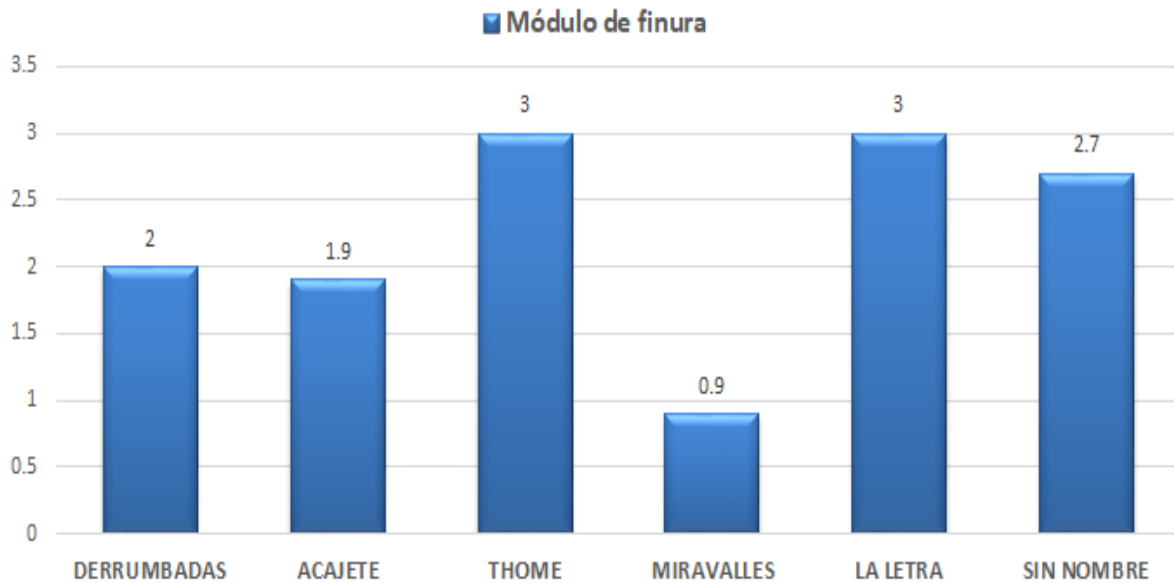


Grafica 4.3. Granulometría de las arenas analizadas. Fuente: Autoría propia, 2019

Así mismo, se presentan los resultados obtenidos del módulo de finura de las arenas analizadas que ocupa el método de curvas de Abrams, para determinar la relación grava-arena por peso² en diferentes tamaños de grava, mismo que ayuda en la determinación de contenido de agua requerido en la dosificación. En el caso del método del ACI el módulo de finura de las arenas y el tamaño máximo del agregado se requieren para conocer el volumen de agregado

² La grafica grava-arena por peso del método de las curvas de Abrams se presenta en los anexos.

grueso por volumen unitario de concreto³. El resultado del módulo de finura debe estar contenido dentro de los parámetros 2.3 a 3.2 estipulados por norma (NMX-C-077, 1997) considerando un módulo adecuado para la dosificación del concreto. Gráfico (4.4).



Gráfica 4.4. Módulo de finura de las arenas de las arenas analizadas. Fuente: Autoría propia, 2019

El resultado muestra que los bancos “Thome”, “La Letra” y “sin nombre”, cumplen con un módulo de finura dentro de los parámetros esperados indicados en la norma.

4.4. Análisis de impurezas orgánicas

El contenido de materia orgánica dentro de las arenas analizadas es una prueba de calidad, la presencia de impurezas afecta la calidad del concreto, ya que al producirse la descomposición de la misma produce micro-oquedades que afectan la durabilidad, porosidad y resistencia del concreto. (NMX-C-088, 1997)

³ La tabla de ACI del volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto se presenta en los anexos.

A continuación, se presenta una tabla con los nombres de los bancos analizados y su contenido de impurezas orgánicas. Tabla (4.1)

Tabla (4.1). Contenido de materia orgánica obtenido de las arenas analizadas de acuerdo con la tabla de colores 815 de la ASTM.

NOMBRE DEL BANCO DE MATERIALES	CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA	CUMPLE/ NO CUMPLE
DERRUMBADAS	BAJO <1	CUMPLE
ACAJETE	BAJO <1	CUMPLE
THOME	BAJO <1	CUMPLE
MIRAVALLS	BAJO <1	CUMPLE
LA LETRA	MEDIO ENTRE 2 Y 3	NO CUMPLE
SIN NOMBRE	BAJO <1	CUMPLE

Fuente: Autoría propia, 2019

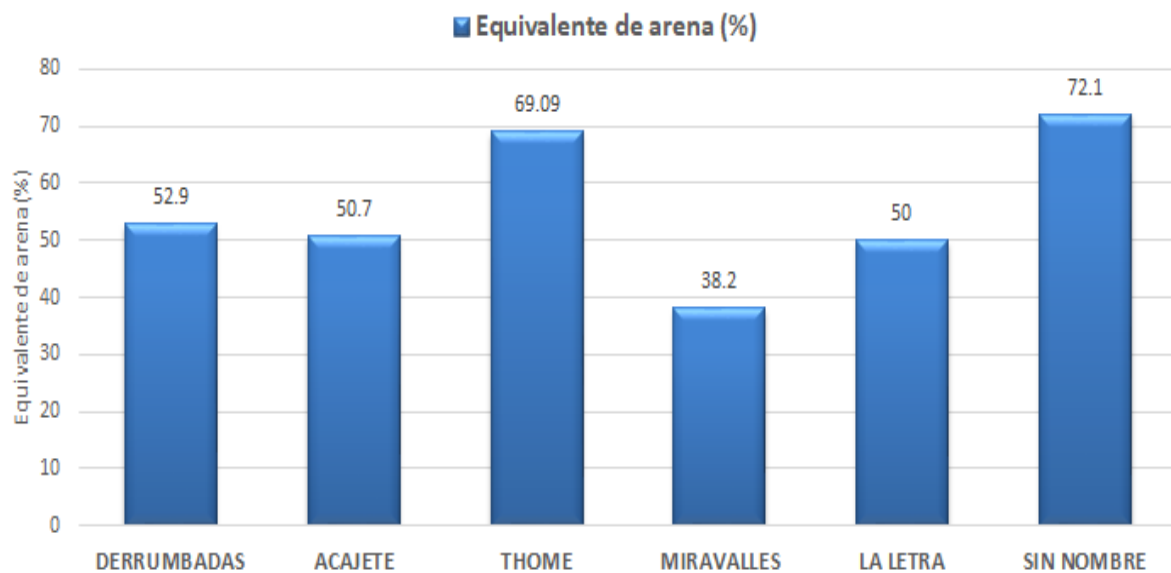
Se puede observar que solo el banco denominado “La Letra” no cumple con la especificación de calidad, ya que para aprobarla se requiere que tenga un contenido bajo o nulo de materia orgánica, de acuerdo con la tabla de colores. Esto puede deberse en gran medida a las malas condiciones de almacenamiento del material, ya que existe vegetación cercana en la zona, además el material amontonado se ve afectado por el intemperismo, mismo que traslada partículas orgánicas a la arena en estudio.

4.5. Análisis de los equivalentes de arena

El equivalente de arena es una prueba no requerida dentro de los datos de la dosificación del concreto y no es necesaria en las pruebas para calidad de arena para concreto hidráulico. Sin embargo, adelantando la aceptación de esta revisión, se espera que se aplique como prueba de calidad a partir del año 2019 y es por esto que se

incluye en el estudio. Considerando que el parámetro deseado del equivalente de arena cumpla para una buena calidad sea mínimo del 70%. (NMX-C-416, 2003)

A continuación, se presentan los resultados de dicha prueba y la aceptación o rechazo de su parámetro. Gráfico (4.5)



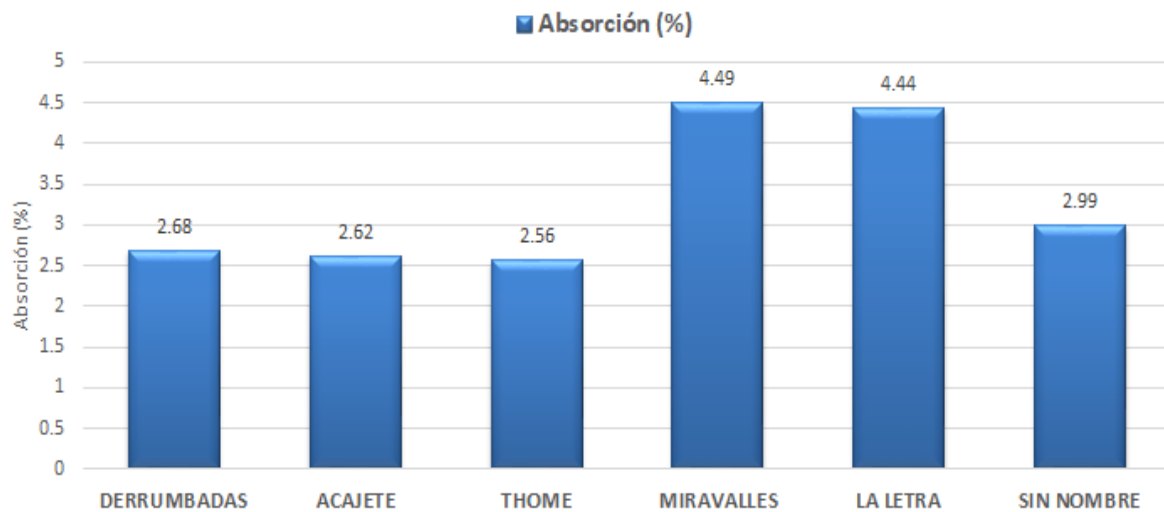
Gráfica 4.5. Equivalente de arena. Fuente: Autoría propia, 2019

Para el análisis de los equivalentes de arena, solamente cumple la arena del banco “sin nombre”. Lo cual significa que el resto de las arenas no cumplen con este requisito de calidad y por tanto deben ser mejoradas para el uso en el concreto hidráulico.

4.6. Análisis de la absorción y densidad de las arenas

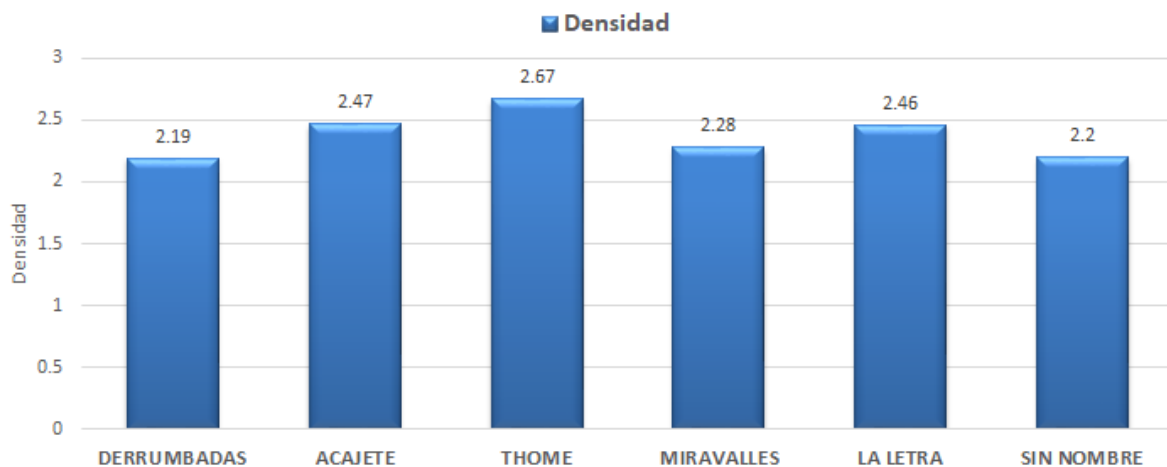
Los resultados de absorción de agua en las arenas y los de contenido de humedad, son requeridos para hacer correcciones en la cantidad de agua de una dosificación. Son presentadas en la gráfica (4.6) donde se puede determinar cuál de estas tiene mayor absorción

debido a la porosidad y tipo de rocas que conforman a las arenas.
(SRH, 1970)



Grafica 4.6. Absorción de las arenas analizadas. Fuente: Autoría propia, 2019

Las densidades obtenidas de los diferentes bancos de material, presentan valores que se indican en el grafico (4.7). Este es un dato requerido para realizar el cálculo de dosificación del concreto hidráulico en cuanto a la cantidad de arena requerida, ya sea por peso o por volumen según los métodos de ACI y curvas de Abrams.



Grafica 4.7. Densidad de las arenas de las arenas analizadas. Fuente: Autoría propia, 2019

4.7. Análisis del porcentaje de partículas que pasan la malla No. 200

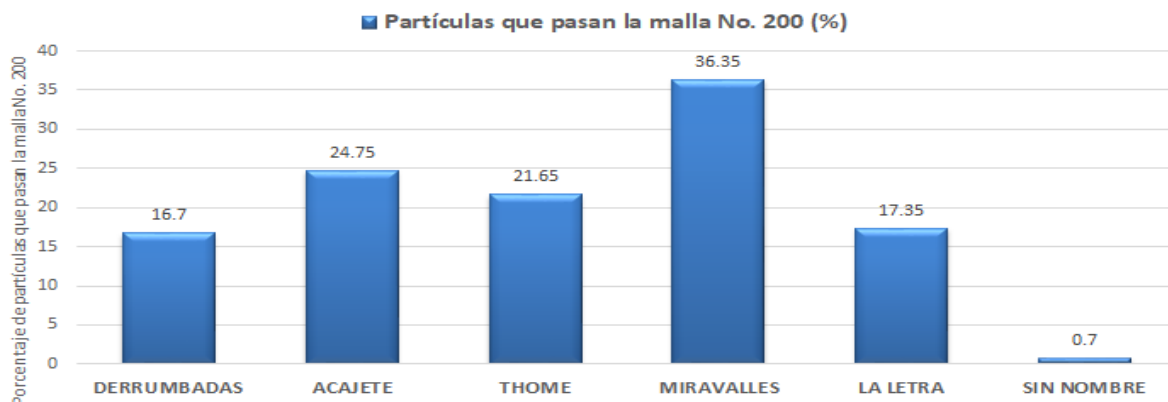
La tabla 4.2 que se presenta a continuación perteneciente a la norma (M-MMP-2-02-019, 2018), muestra los parámetros a comparar de los resultados obtenidos del porcentaje de partículas que pasan la malla No. 200. Las arenas analizadas son comparadas solo con los datos 3% y 5% correspondientes al estudio realizado y a los materiales finos que pasan la malla No. 200.

Tabla 4.2. Contenido de sustancias perjudiciales en el agregado fino

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

En caso de arenas obtenidas por trituración, si el material que pasa la malla No. 200 está formado por el polvo producto de la trituración, exento de arcillas o pizarras, estos límites podrán aumentar hasta el 5% y 7%, respectivamente. (M-MMP-2-02-019, 2018)

A continuación, se presentan los datos obtenidos de la prueba partículas que pasan la malla No 200 de las arenas. Donde solo el banco denominado “sin nombre” cumple con lo estipulado en la tabla 4.2, siendo menor al 5%. Grafica (4.8)



Grafica 4.8. Partículas que pasan la malla No. 200 de las arenas de las arenas analizadas.

Fuente: Autoría propia, 2019

4.8. Análisis Rotura por compresión de arenas

No existe una norma que permita conocer parámetros de aceptación de la prueba de ruptura de arenas, pero es evidente que se pueden registrar ciertos datos que permitan reconocer la arena que tenga un mejor comportamiento en el ensaye a compresión y ayudar a determinar cuál tiene una mejor resistencia.

En la tabla 4.3 se presentan resultados de desplazamiento y cambio de pesos volumétricos. Esto permite determinar cuál de las arenas tiene una mejor resistencia al ensaye a compresión.

Tabla 4.3. Cambio pesos volumétricos de las arenas ensayadas a compresión.

NOMBRE DEL BANCO	Altura inicial hi (cm)	Altura final hf (cm)	Desp. Δx (cm)	Vol. inicial (cm ³)	Vol. final (cm ³)	Peso inicial (g)	Peso volumétrico inicial (kg/m ³)	Peso volumétrico final (kg/m ³)
DERRUMBADAS	7.63	5.156	2.474	155.99	105.39	164.3	1053.27	1558.97
ACAJETE	7.63	5.620	2.010	155.99	114.87	194.3	1245.59	1691.48
THOME	7.63	5.373	2.257	155.99	109.82	211.2	1353.93	1923.15
MIRAVALLS	7.63	4.708	2.922	155.99	96.23	143.4	919.29	1490.18
LA LETRA	7.63	5.346	2.284	155.99	109.27	198.3	1271.24	1814.77
SIN NOMBRE	7.63	5.369	2.261	155.99	109.74	209.5	1343.03	1909.06

Fuente: Autoría propia, 2019

Si se fija un parámetro de aceptación de desplazamiento, este sería de acuerdo con los materiales revisados un valor $\Delta x < 2.3$; con esta condición los bancos de material que cumplen la resistencia por desplazamiento son "Acajete", "Thome", "La Letra" y "sin nombre". Donde se aprecia que el menor desplazamiento y mayor resistencia lo presenta el banco "Acajete".

Otro dato que se obtiene con los resultados de compresión de arenas es a través de la granulometría resultante después de realizada la compresión. Donde se puede registrar el tamaño de partículas que se retienen en las diferentes mallas por peso o porcentaje; esto permite conocer el comportamiento de las arenas en su distribución granulométrica. Los análisis de datos se obtienen de la tabla 4.4.

Tabla 4.4. Resultados de pesos y porcentajes de las granulometrías obtenidas del ensaye a compresión de arenas.

NOMBRE DEL BANCO	Suma de pesos retenidos de mallas No. 8 y No. 16 (g)	Suma de porcentaje retenidos de mallas No. 8 y No. 16 (%)	Suma de pesos retenidos de mallas No. 30 y No. 50 (g)	Suma de porcentaje retenidos de mallas No. 30 y No. 50 (%)	Suma de pesos retenidos de mallas No. 100 y No. 200 (g)	Suma de porcentaje retenidos de mallas No. 100 y No. 200 (%)	Porcentaje de partículas que pasan malla No. 200 (%)
DERRUMBADAS	85.9	53.37	32.5	19.78	32.2	19.6	7.24
ACAJETE	131.1	68.5	26.9	15.23	16.4	8.44	7.82
THOME	160.6	76.2	26.6	12.6	6.7	3.17	8.19
MIRAVALLS	63.4	44.21	25.8	17.9	34.1	23.78	14.02
LA LETRA	154.5	77.91	29.9	15.08	7.8	3.93	3.08
SIN NOMBRE	145.9	69.64	36.7	17.52	9.8	4.68	8.16

Fuente: Autoría propia, 2019

Se puede apreciar el comportamiento por porcentajes de partículas retenidas en las mallas, donde un mayor porcentaje retenido en las mallas No. 8 y No. 16 indica una mayor resistencia a la ruptura y pulimiento de las partículas. Este dato lo presenta el banco "La Letra". Si se considera un resultado aceptable en el porcentaje retenido en estas mallas de un 60%, entonces con este dato los bancos que cumplen son "Acajete", "Thome", "La Letra" y "sin nombre".

Otro parámetro será el que indique el porcentaje máximo de partículas que pasan la malla No. 200. Donde de acuerdo con la

prueba de partículas que pasan la malla No. 200 no debe ser mayor a 5%. Por lo tanto solo el banco “La Letra” cumple con este requisito.

Finalmente se presenta un resumen general de las pruebas de calidad realizadas a los cinco bancos registrados en SCT de arena para concreto, y el banco denominado “sin nombre”, ubicados dentro del Estado de Puebla. Tabla 4.5

Tabla 4.5. Resultados de análisis de calidad en los bancos de material.

NOMBRE DEL BANCO	Granulometría si cumple/no cumple (dentro de los límites granulométricos)	Módulo de finura (%) (entre 2.3 y 3.2)	Impurezas orgánicas si cumple/no cumple (tabla de color)	Equivalente de arena (%) (E A > 70%)	Partículas que pasan la malla No.200 (3% o 5%)	Suma de porcentajes retenidos en mallas No.8 y No.16 después de compresión (60% min)
DERRUMBADAS	no cumple	2.0	si cumple	52.90	16.7	53.37
ACAJETE	no cumple	1.9	si cumple	50.70	24.75	68.5
THOME	no cumple	3.0	si cumple	69.10	21.65	76.2
MIRAVALLS	no cumple	0.9	si cumple	38.20	36.35	44.21
LA LETRA	no cumple	3.0	no cumple	50.00	17.35	77.91
SIN NOMBRE	si cumple	2.7	si cumple	72.10	0.7	69.64

Fuente: Autoría propia, 2019

Se puede observar que solo el banco denominado “sin nombre” presenta la calidad adecuada para ser considerado dentro de los parámetros de la normativa mexicana para su uso en el concreto. Los cinco bancos analizados para este estudio no cumplen con los parámetros de la normatividad mexicana.

CONCLUSIONES

De acuerdo con las cinco pruebas de calidad (granulometría, módulo de finura, impurezas orgánicas, equivalente de arena y partículas que pasan la malla No. 200) realizadas a los cinco bancos de arena ubicados dentro del estado de Puebla. Se puede concluir que ninguno presenta la calidad adecuada para ser considerada dentro de los parámetros de la normativa mexicana para el uso en el concreto. El banco denominado “sin nombre”, mismo que no se encuentra dentro del registro de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte (SCT, 2019), es el único que cumple con los todos parámetros, siendo de uso particular.

En el caso de la rotura de arenas por compresión, siendo una prueba experimental nueva para tomar en cuenta dentro de la calidad del concreto, se puede concluir que el material con mayor resistencia corresponde a los bancos “Acajete” en desplazamiento y “La Letra” en porcentaje de retenidos, compuesto por arena andesítica y roca basáltica con arena respectivamente, según los datos de S.C.T. Este dato ayuda a determinar cuál de las arenas analizadas tiene un menor riesgo de falla por compresión dentro de concreto. Se espera que se pueda analizar en próximos estudios la prueba a compresión de forma individual y realizar análisis de la combinación de resultados. Un buen comportamiento en el ensaye a compresión de las arenas puede permitir una mayor durabilidad a un concreto.

Finalmente, el estar registrados los bancos de arena para concreto en SCT, no es una garantía de la calidad del material, por lo tanto, es necesario hacer revisiones en laboratorio para determinar la calidad de la misma y obtener concretos con un mejor comportamiento.

RECOMENDACIONES

Se recomienda a los constructores, ingenieros, arquitectos y a todo aquel que utiliza las arenas como parte de una mezcla con cemento realizar análisis de laboratorio que permitan conocer y reconocer cuales son los materiales más convenientes para las obras. Con estos estudios se garantiza la calidad de los materiales utilizados en la infraestructura civil y arquitectónica.

En las arenas analizadas en el presente trabajo se pueden mejorar sus características, mediante la combinación de materiales. Por ejemplo, en la **granulometría**, agregando material retenido de las mallas No 8, 16, 30 y 50 producirán una mejor granulometría y **módulo de finura** adecuándolos dentro de los parámetros de la normatividad mexicana, ya que ninguno de los bancos cumple con este requerimiento.

En el caso de las **impurezas orgánicas**, el reducir el tono del color ámbar de medio o alto a uno bajo se puede lograr mezclando materiales limpios o mediante el lavado del material por malla 200 para eliminar las arcillas. El banco “La Letra”, es el único de los cinco bancos que no cumple con esta prueba. Este procedimiento también producirá una mejora en los valores de la prueba de **equivalente de arena** prueba que no cumple ninguno de los bancos analizados.

Con la combinación de materiales se puede alcanzar una menor cantidad de **finos de tamaño inferior a la malla No. 200 (0.075mm)**,

ya que esta prueba tampoco la cumple ninguno de los cinco bancos analizados. Otra forma es separar mediante cribas, materiales de los bancos referidos, para disminuir su cantidad de partículas finas o eliminar materiales finos deleznable en las arenas para concreto.

En el caso de la **ruptura por compresión de arenas**, se puede mejorar el parámetro al mezclar las arenas de los bancos que no cumplen con agregados retenidos en las mallas No 8 y No 16 de un material resistente a la prueba como triturados de basalto o andesita. Esto producirá en el resultado de prueba una mejor resistencia al pulimento y compresión. Además de mejorar el comportamiento granulométrico, módulo de finura, equivalente de arena e impurezas orgánicas.

BIBLIOGRAFÍA

- Abrams, D. (1918). *Desing of Concrete Mixtures*. Chicago: Lewis Institute.
- ASTM-C-40. (2003). Standar practice for sampling aggregates. *ASTM C 40-99*. USA: American Standards of Testing of Materials.
- Barros Sierra, J. (2017). *Las muestras en laboratorio*. México: S.C.T.
- BUAP, M. (2018). Manual de prácticas de laboratorio de tecnologia de materiales. *Facultad de Ingeniería Laboratorio Integral*. Puebla, Puebla, México: BUAP.
- Cano Jesús, F. A. (2019). *Imcyc*. Retrieved from Computo para diseño de mezclas: <http://www.imcyc.com/cyt/noviembre03/computo.htm>
- CONAGUA. (2015). *DETERMINACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE AGUA EN EL ACUÍFERO LIBRES - ORIENTAL, ESTADO DE PUEBLA*. México: DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN.
- D'espessailles Tapia, N. E. (2014). Universidad de Chile. *Estudio del comportamiento y Rotura de arena de tronadura de tunel minero sometida a esfuerzo de corte simple monótono*. Santiago, Chile: 2014.
- Gutiérrez de López, L. (2003). *El concreto y otros materiaales para construcción*. Manizales: Univesidad Nacional de Colombia.

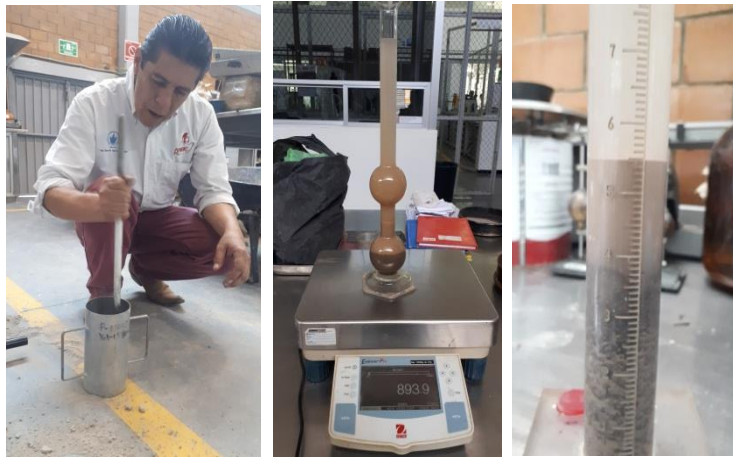
- INEGI. (2019). *Información por entidad*. Retrieved from [cuentama.inegi.org.mx:
http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/pue/territorio/clima.aspx?tema=me&e=21](http://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/pue/territorio/clima.aspx?tema=me&e=21)
- Milera Marinez, M. E. (2001). *Enciclopedia Autodidacta, Siglo XXI*. Madrid: EUROMEXICO.
- M-MMP-2-02-019, 2. (2018). Metodo de muestreo y prueba de materiales. *Partículas más finas que la malla No. 200 (0.075 mm) en agregados para concreto*. Ciudad de México, México: Secretaría de Comunicaciones y transportes.
- NCTM, 2. (2018). M-MMP-2-02-030/18. *Partículas más finas que la malla No. 200 (0.075mm) en los agregados*. México: NCTM.
- NMX-C-030, O. (2004). Agregados. *Muestreo*. Distrito Federal, México, México: ONNCCE.
- NMX-C-073, O. (2004). Agregados. *Masa volumétrica*. Distrito Federal, México, México: ONNCCE.
- NMX-C-077, O. (1997). Agregados para concreto. *Análisis granulométrico*. Distrito Federal, México, México: ONNCCE.
- NMX-C-088, O. (1997). Agregados para construcción. *Determinación de impurezas orgánicas*. Distrito Federal, México, México: ONNCCE.
- NMX-C-111, O. (1988). agregados. Distrito Federal, México, México: ONNCCE.
- NMX-C-111, O. (2014). Agregados para concreto hidráulico. *Especificación y métodos de ensayo*. Distrito Federal, México, México: ONNCCE.

- NMX-C-165, O. (2004). Agregados. *Determinación de la masa específica y el agua del agregado fino*. Distrito Federal, México, México: ONNCCE.
- NMX-C-166, O. (2006). Agregados. *Contenido de agua por secado*. Distrito Federal, México, México: ONNCCE.
- NMX-C-170, O. (1997). Reducción de muestras de agregados. Distrito Federal, México, México: ONNCCE.
- NMX-C-416, O. (2003). Agregados. *Determinación del equivalente de arena*. Distrito Federal, México, México: ONNCCE.
- Osorio, J. D. (2010). *Historia del concreto*. Retrieved from 360 grados en concreto: <http://blog.360gradosenconcreto.com/historia-del-concreto/>.
- Ricardo, M. L. (2012). Manual de laboratorio para agregados para concreto y explotación de canteras enfocado al pequeño y mediano minero. *Tesina*. México, México, México: UNAM.
- Rivva López, E. (1992). *Diseño de mezclas*. Lima, Perú: Hozlo.
- SRH. (1970). Manual del concreto. *Manual del concreto*. Distrito Federal, Distrito Federal, México: Gráfica Panamericana.

ANEXO A.

Fotografías de los procedimientos de pruebas en los materiales.

Material banco "Acajete".



Material banco "Derrumbadas".



Material banco "Thome".



Material banco "Miravalles".



Material banco "La Letra".

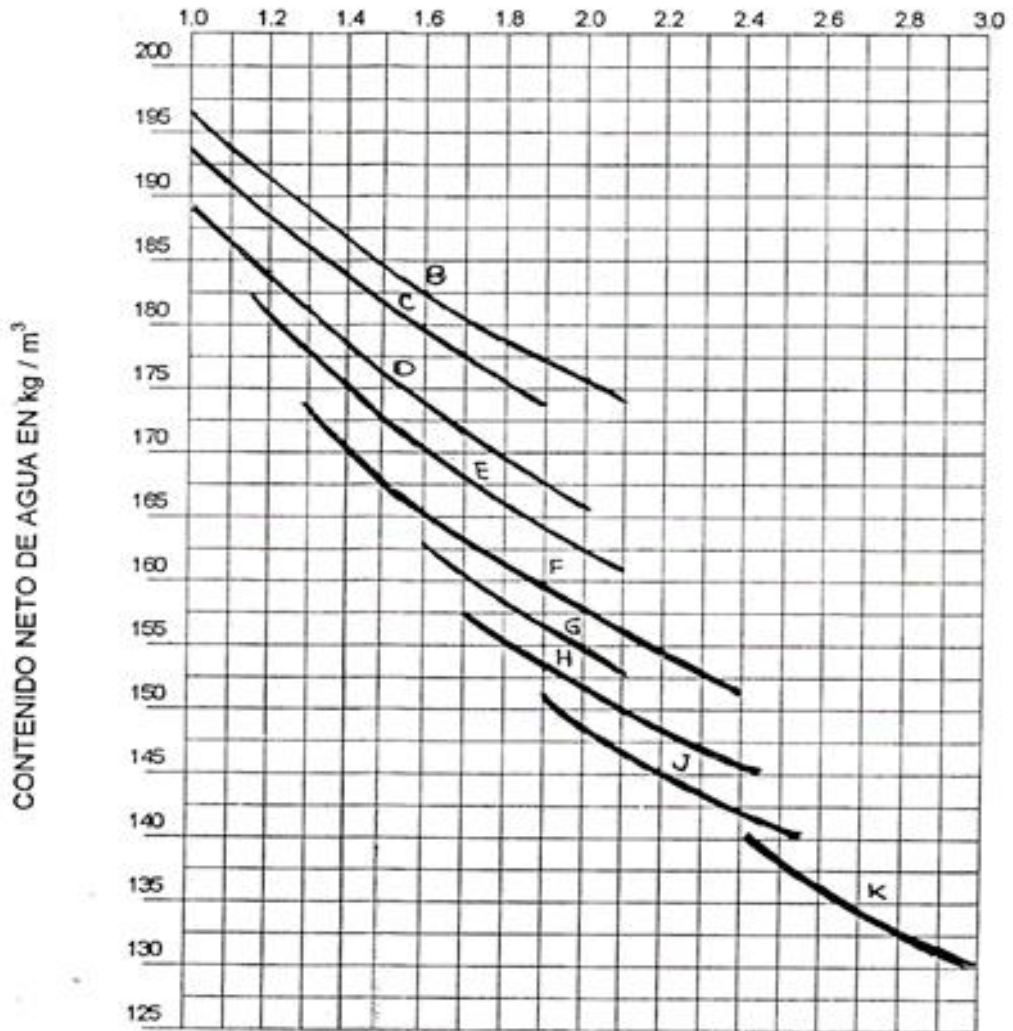


ANEXO B.

Gráfica y tablas de apoyo.

De la Página 99

RELACION GRAVA ARENA POR PESO



- B - GRAVA MAX. 3/4"
- C - GRAVA MAX. 1"
- D - GRAVA MAX. 1 1/2"
- E - GRAVA MAX. 2"
- F - GRAVA MAX. 2 1/2"
- G - GRAVA MAX. 3"
- H - GRAVA MAX. 4"
- J - GRAVA MAX. 5"
- K - GRAVA MAX. 6"

(2) Grafica grava-arena por peso del método de las curvas de Abrams

TABLA 6.3.6 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.

Tamaño máximo de agregado, mm	Volumen de agregado grueso varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5 (3/8")	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
19 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1")	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5 (1 1/2")	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2")	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3")	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6")	0.87	0.85	0.83	0.81

(3) *Tabla de ACI del volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto (Página 99)*



Listas de verificación vigentes
LABORATORIOS DE ENSAYO

Fecha de actualización: 30/04/2019

Archivo	Rama	Lista	Revisión	Fecha de aprobación	Fecha de entrada en vigor
	Construcción - Cementos	NMX-C-049-ONNCCE-2013	03	2018-04-30	2018-08-01
	Construcción - Cementos	NMX-C-057-2010-ONNCCE	03	2018-04-30	2018-08-01
	Construcción - Cementos	NMX-C-059-ONNCCE-2013	03	2018-04-30	2018-08-01
	Construcción - Cementos	NMX-C-061-2010-ONNCCE	03	2018-04-30	2018-08-01
	Construcción - Cementos	NMX-C-062-2010-ONNCCE	03	2018-04-30	2018-08-01
	Construcción - Cementos	NMX-C-085-2010-ONNCCE	03	2018-04-30	2018-08-01
	Construcción - Cementos	NMX-C-132-2010-ONNCCE	03	2018-04-30	2018-08-01
	Construcción - Cementos	NMX-C-152-2010-ONNCCE	03	2018-04-30	2018-08-01
	Construcción - Cementos	NMX-C-180-ONNCCE-2001	02	2018-04-30	2018-08-01
	Construcción - Cementos	NMX-C-273-ONNCCE-2010	02	2018-04-30	2018-08-01
	Construcción - Cementos	NMX-C-329-ONNCCE-2013	03	2018-04-30	2018-08-01
	Construcción - Agregados	NMX-C-030-ONNCCE-2004	02	2018-04-30	2018-08-01
	Construcción - Agregados	NMX-C-073-ONNCCE-2004	02	2018-04-30	2018-08-01
	Construcción - Agregados	NMX-C-077-ONNCCE-1997	02	2018-04-30	2018-08-01
	Construcción - Agregados	NMX-C-164-ONNCCE-2014	03	2018-04-30	2018-08-01
	Construcción - Agregados	NMX-C-170-1997-ONNCCE	02	2018-04-30	2018-08-01
	Construcción - Agregados	NMX-C-084-ONNCCE-2006	02	2018-04-30	2018-08-01
	Construcción - Agregados	NMX-C-088-1997-ONNCCE	02	2018-04-30	2018-08-01
	Construcción - Agregados	NMX-C-165-ONNCCE-2014	02	2018-04-30	2018-08-01
	Construcción - Agregados	NMX-C-166-2006-ONNCCE	02	2018-04-30	2018-08-01