



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

**FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA**

TESIS

“ESTUDIOS FÍSICOS DE LOS BANCOS DE MATERIALES,

CERRO BLANCO DE APAXCO Y LA LUPITA

Y LA MAGDALENA DE IXTAPALUCA,

PARA SU USO COMO AGREGADOS

EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO

HIDRÁULICO DE MASA NORMAL”.

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTA

JORGE HERMILO GONZÁLEZ GALLARDO

DIRECTOR DE TESIS

ING. MARCOS TREJO HERNÁNDEZ

MÉXICO, D.F. CIUDAD UNIVERSITARIA NOVIEMBRE 2013.





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/140/10

Señor
JORGE HERMILO GONZÁLEZ GALLARDO
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. MARCOS TREJO HERNÁNDEZ, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"ESTUDIOS FÍSICOS DE LOS BANCOS DE MATERIALES, CERRO BLANCO DE APAXCO Y LA LUPITA Y LA MAGDALENA DE IXTAPALUCA, PARA SU USO COMO AGREGADOS EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO DE MASA NORMAL"

- INTRODUCCIÓN
- I. DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LOS BANCOS SELECCIONADOS
- II. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS AGREGADOS
- III. MARCO NORMATIVO (DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA NORMA NMX-C-111-2004)
- IV. PRUEBAS DE LABORATORIO
- V. VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO HIDRÁULICO CON AGREGADOS DE LOS BANCOS SELECCIONADOS
- VI. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cd. Universitaria a 26 de noviembre del 2013.
EL PRESIDENTE


M.I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ

JLTS/MTH*gar.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA

DEDICATORIA

A mis Padres
A mi Esposa
A mi Querido Sebastián
A tí Bebé
A mis Hermanos
A mis Suegros

A quienes Amo con todo mi corazón
Por estar siempre conmigo
Eres todo para mi
Que te esperamos con mucho amor
Por todo su cariño
Por su afecto y apoyo recibido siempre

AGRADECIMIENTOS

A Roberto Albarrán
A todos los Ingenieros
A la UNAM y Facultad
de Ingeniería
Al Comité de Titulación
A los Ingenieros del Jurado
Al Ing. Marcos Trejo Hernández

Por su incondicional apoyo
Por la formación académica

Siempre en mi corazón
Por la oportunidad recibida
Por el espacio para acompañarme
Muy Especialmente.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA**



“ESTUDIOS FÍSICOS DE LOS BANCOS DE MATERIALES, CERRO BLANCO DE APAXCO Y LA LUPITA Y LA MAGDALENA DE IXTAPALUCA, PARA SU USO COMO AGREGADOS EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO DE MASA NORMAL”.

INTRODUCCIÓN

- 1.- DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LOS BANCOS SELECCIONADOS**
- 2.- DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS AGREGADOS**
- 3- MARCO NORMATIVO (DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA NORMA NMX-C-111-2004)**
- 4.- PRUEBAS DE LABORATORIO**
- 5.- VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO HIDRÁULICO CON AGREGADOS DE LOS BANCOS SELECCIONADOS.**
- 6.- CONCLUSIONES**



“ESTUDIOS FÍSICOS DE LOS BANCOS DE MATERIALES, CERRO BLANCO DE APAXCO Y LA LUPITA Y LA MAGDALENA DE IXTAPALUCA, PARA SU USO COMO AGREGADOS EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO DE MASA NORMAL”.

1.- DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LOS BANCOS SELECCIONADOS.	1
1.1 Descripción de los bancos	1
1.2 Aspectos geológicos de la zona	1
1.2.1 Geología Regional	1
1.2.1.1 Para la zona de Apaxco	3
1.2.1.2 Para la zona de Ixtapaluca	5
1.3 Tipo de banco (Geología Local)	6
1.3.1 Para la zona de Apaxco	6
1.3.2 Para la zona de Ixtapaluca	7
1.4 Localización Geográfica y Rutas de Acceso	9
1.4.1 Para la zona de Apaxco	9
1.4.2 Para la zona de Ixtapaluca	12
2.- DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS AGREGADOS.	14
2.1 Características de los agregados	14
2.2 Clasificación de los agregados	14
2.2.1 Por su tamaño de partícula	14
2.2.2 Por su origen	15
2.2.3 Por su fuente	15
2.2.4 Por su forma	16
2.2.5 Por su textura	17
2.3 Propiedades físicas de los agregados	18
2.4 Manejo de los agregados	24
3.- MARCO NORMATIVO (DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA NORMA NMX-C-111-2004).	26
3.1 Norma NMX-C-111-ONNCCE-2004	26
Especificaciones y métodos de prueba	26
3.1.1 Agregado fino	26
3.1.1.1 Granulometría del agregado fino	26
3.1.1.2 Materiales mas finos que pasan la criba 0.075 mm (malla No. 200)	27
3.1.1.3 Sustancias nocivas	28
3.1.1.4 Impurezas orgánicas	28
3.1.2 Agregado grueso	29
3.1.2.1 Granulometría del agregado grueso	29



“ESTUDIOS FÍSICOS DE LOS BANCOS DE MATERIALES, CERRO BLANCO DE APAXCO Y LA LUPITA Y LA MAGDALENA DE IXTAPALUCA, PARA SU USO COMO AGREGADOS EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO DE MASA NORMAL”.

3.2 Norma NMX-C-030-ONNCCE	31
Muestreo	
3.2.1 Muestreo	31
3.2.2 Fuentes de abastecimiento	32
3.2.3 Procedimiento	32
a) Muestreo en tajos a cielo abierto	32
b) Muestreo por medio de pozos	32
b.1) Pozos a cielo abierto	32
c) Muestreo de brechas y aglomerados	33
d) Muestreo en canteras	33
e) Muestreo de material almacenado	33
3.3 Norma NMX-C-170-ONNCCE	34
Reducción de las muestras de agregados obtenidas en el campo al tamaño requerido para las pruebas	
3.3.1 Muestreo «A» cuarteo mecánico	34
3.3.2 Muestreo «B» cuarteo manual	35
3.4 Norma NMX-C-077-ONNCCE	36
Análisis granulométrico	36
3.4.1 Procedimiento de análisis granulométrico	37
3.4.1.1 Para agregado fino	37
3.4.1.2 Para agregado grueso	38
3.4.2 Cálculos	38
3.5 Norma NMX-C-084-ONNCCE	38
Partículas + finas que la criba 0.075 mm (No. 200) por medio de lavado	39
3.5.1 Procedimiento de lavado	39
3.5.2 Cálculos	40
3.6 Norma NMX-C-073-ONNCCE	41
Masa volumétrica	
3.6.1 Procedimiento para determinar la masa volumétrica compacta de un agregado	41
3.6.2 Procedimiento para determinar la masa volumétrica suelta de un agregado	42
3.7 Norma NMX-C-165-ONNCCE	43
Determinación de la masa específica y absorción de agua del agregado fino	
3.7.1 Procedimiento de material en condición saturado y superficialmente seco	45
3.7.2 Procedimiento para determinar masa específica saturada y superficialmente seca	45
3.7.3 Procedimiento para obtención de absorción	46
3.7.4 Procedimiento para obtención de humedad	46



“ESTUDIOS FÍSICOS DE LOS BANCOS DE MATERIALES, CERRO BLANCO DE APAXCO Y LA LUPITA Y LA MAGDALENA DE IXTAPALUCA, PARA SU USO COMO AGREGADOS EN LA PRODUCCIÓN DE CONCRETO HIDRÁULICO DE MASA NORMAL”.

3.8 Norma NMX-C-164-ONNCCE	47
Determinación de la masa específica y absorción de agua del agregado grueso	
3.8.1 Procedimiento de material en condición saturado y superficialmente seco	48
3.8.2 Procedimiento para determinar masa específica saturada y superficialmente seca	48
3.8.3 Procedimiento para obtención de absorción	49
4.- PRUEBAS DE LABORATORIO.	50
4.1 Agregado fino (andesita) del banco La Lupita de Ixtapaluca.	51
4.1.1 Granulometría y curva granulométrica	51
4.1.2 Masa volumétrica suelta y compacta	52
4.1.3 Absorción, densidad y pérdida por lavado	52
4.2 Agregado fino (andesita) del banco La Magdalena de Ixtapaluca.	53
4.2.1 Granulometría y curva granulométrica	53
4.2.2 Masa volumétrica suelta y compacta	54
4.2.3 Absorción, densidad y pérdida por lavado	54
4.3 Agregado grueso (andesita $\frac{3}{4}$) del banco La Lupita de Ixtapaluca.	55
4.3.1 Granulometría y curva granulométrica	55
4.3.2 Masa volumétrica suelta y compacta	56
4.3.3 Absorción y densidad	56
4.4 Agregado grueso (caliza $\frac{3}{4}$) del banco Cerro Blanco de Apaxco.	57
4.4.1 Granulometría y curva granulométrica	57
4.4.2 Masa volumétrica suelta y compacta	58
4.4.3 Absorción y densidad	58
4.5 Análisis de resultados	59
5.- VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO HIDRÁULICO CON AGREGADOS DE LOS BANCOS SELECCIONADOS.	60
5.1 Ensayo de concreto a compresión	60
5.1.1 Para el diseño de 200N2014 de losa de cimentación	60
5.1.2 Para el diseño de 150N2014 para obra exterior	62
5.1.3 Para el diseño de 150N2018 para muros	63
5.1.4 Para el diseño de 250R2014 para losa estructural	64
5.1.5 Para el diseño de 200R2014 para losa	65
5.2 Procedimiento de diseño de concreto con el método ACI 211.1	66
6.- CONCLUSIONES.	71

GLOSARIO

Agregado	Materiales naturales, naturales procesados o artificiales que se mezclan con los cementos y agua para hacer concreto y mortero.
Agregado fino	Material obtenido de manera natural o de la trituración de rocas, escoria volcánica, concreto reciclado o una combinación de éstos u otros, que pasa por la criba 4.75 mm (malla No. 4) y se retiene en la criba (No. 200)..
Agregado grueso	Material obtenido de manera natural o de la trituración de rocas, escoria de alto horno, escoria volcánica, concreto reciclado o una combinación de éstos u otros, que es retenido por la criba 4.75 mm (malla No. 4) y que pasa por la criba 90 mm (malla No. 3 ½”).
Andesita	Roca ígnea volcánica cuya composición mineral comprende generalmente plagioclasa, hornblenda y materiales máficos olivino, biotita y piroxeno.
ASTM	Siglas que corresponden a la entidad American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana para pruebas y materiales).
Banco	Son depósitos de materiales fragmentados que posteriormente fueron cubiertos por otros y debido a esto se dificulta su explotación.
Caliza	Roca sedimentaria compuesta en su mayoría por carbonato de calcio (CaCO ₃) generalmente calcita.
Cantera	Son fuentes de abastecimiento donde se obtienen agregados por trituración que generalmente son de buena calidad.
Dolomía	Roca sedimentaria de origen químico compuesta por el carbonato doble de calcio y magnesio (CaMg (CO ₃) ₂).
Intemperismo	Es el desgaste y descomposición de las rocas debida a la exposición a los agentes del medio ambiente.
Lignito	Es un carbón mineral de color negro o pardo cuya composición es 70 % de carbono, 25 % de oxígeno y 5 % de hidrógeno.

GLOSARIO

Masa Unitaria	Cantidad de materia contenida en un metro cúbico de concreto fresco (Kg/m^3).
Módulo de finura	Es la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados a partir de criba 4.75 mm (malla N. 4) hasta la criba 0.150 mm (malla No. 100).
NMX	Normas Oficiales Mexicanas.
ONNCCE	Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación.
Rendimiento	Es el volumen de concreto fresco producido por una cantidad de ingredientes, obtenido del cociente del valor de la masa total de los mismos entre el valor de la masa unitaria del concreto fresco.
Revenimiento	Es una medida de la consistencia del concreto fresco en término de la disminución de altura.
Rocas Ígneas	Son rocas que se forman cuando el magma se enfría y se solidifica sobre la corteza terrestre(extrusivas), o a una cierta profundidad de la misma (intrusivas).
Rocas Metamórficas	Son las que se forman a partir de otras rocas mediante un proceso llamado metamorfismo.
Rocas Sedimentarias	Son rocas que se forman por la acumulación de sedimentos que son partículas de diversos tamaños que son transportados por el hielo, el agua o el aire y sometidos a procesos físicos y químicos.

OBJETIVOS

- **GENERAL:**

Determinar las propiedades físicas de los agregados de los bancos Cerro Blanco de Apaxco, la Lupita y La Magdalena de Ixtapaluca Estado de México para su uso como agregados en la producción de concreto hidráulico de masa normal.

- **ESPECÍFICOS:**

1. Ubicar y caracterizar los 3 bancos de agregados de los Municipios mencionados.
2. Conocer las principales propiedades físicas de los agregados y su influencia en el concreto hidráulico.
3. Establecer los requisitos de calidad que deben cumplir los agregados para la producción de concreto hidráulico de masa normal de acuerdo a la Norma NMX-C-111-ONNCCE-2004.
4. Verificar que los agregados de los bancos mencionados cumplan con los requisitos de calidad establecidos en las Normas Mexicanas mencionadas en los puntos de 3.2 a 3.8.
5. Verificar el cumplimiento de la resistencia de diseño de cada elemento a edad compromiso por medio de especímenes cilíndricos moldeados y curados en húmedo en el laboratorio.

INTRODUCCIÓN

El concreto es el producto artificial de construcción de más uso en el mundo, ha sido y seguirá siendo el material que define el perfil de las construcciones actuales y del futuro.

Los agregados representan en volumen, el principal componente del concreto al alcanzar una ocupación superior al 60 % por metro cúbico, por ello su proceso de selección y evaluación tiene gran relevancia en el procedimiento de producción, ya que influyen en las propiedades y el desempeño tanto del estado fresco como endurecido del concreto.

Las propiedades físicas de los agregados influyen de manera importante en las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido, por ejemplo en la trabajabilidad, durabilidad, resistencia a compresión y flexión, propiedades térmicas y densidad.

En México se utiliza la Norma Oficial Mexicana para conocer y analizar las propiedades físicas de los agregados y tiene como objetivo establecer los requisitos de calidad que deben cumplir los agregados naturales y procesados para la producción de concreto hidráulico.

Para este trabajo de tesis se hace una descripción geológica de los bancos y su ubicación geográfica, una descripción de las principales propiedades físicas de los agregados, la aplicación general de la Norma Mexicana NMX-C-111-ONNCCE-2004. "Especificaciones y Métodos de Prueba". Se determinan las propiedades físicas de los agregados y la resistencia mecánica del concreto.

Las pruebas físicas de los agregados se realizan en el laboratorio de una planta de concreto premezclado ubicada en el Municipio de Tecámac, Estado de México.

Para evaluar su resistencia mecánica se elaboran cilindros de concreto para ser sometidos a pruebas de compresión y observar que cumplan con los requisitos de diseño para cada elemento.

De esta forma de analizarán las propiedades físicas para verificar que son aptos para su uso como agregados.

1.0 DESCRIPCIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LOS BANCOS SELECCIONADOS.

En esta parte se hace una descripción de la geología regional y local y se presenta la ubicación de los sitios y sus rutas de acceso.

1.1 DESCRIPCIÓN DE LOS BANCOS.

Para realizar el estudio de agregados se escogieron los siguientes bancos: uno denominado Cerro Blanco ubicado en el Municipio de Apaxco de donde se extrae agregado grueso (caliza) y los otros denominados La Lupita y La Magdalena ubicados en el Municipio de Ixtapaluca de donde se extrae agregados grueso y fino (andesita).

Los bancos a estudiar se escogieron debido a la importancia de su ubicación geográfica y su potencial de explotación, además de ser los principales proveedores de agregado de una empresa constructora de vivienda en el Municipio de Tecámac Estado de México.

Según inventario del Servicio Geológico Mexicano del año 2007, el banco Cerro Blanco cuenta con reservas de 33 000,000 de toneladas con el 94.13 % de CaCO_3 .

El municipio de Ixtapaluca cuenta con una extensión territorial de 315.1 km² y el 52.99 % esta conformado geológicamente por roca andesita.

La toma de muestras para la realización de los estudios físicos del agregado se realizaron del material almacenado en el depósito de la planta de concreto de dicha constructora.

1.2 ASPECTOS GEOLÓGICOS DE LA ZONA.

1.2.1 Geología Regional

Fisiográficamente el Estado de México pertenece a las provincias Sierra Madre del Sur y Eje Neo volcánico, que a su vez se dividen en varias sub-provincias.

La provincia Sierra Madre del Sur se divide en : sub-provincia Depresión del Balsas y Sierras y Valles Guerrerenses.

La provincia Eje Neo volcánico se divide en : sub-provincias Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo, Mil Cumbres y Lagos y Volcanes de Anáhuac. (**Figura 1.1**).

A esta provincia la integran la cadena de estratovolcanes como el Popocatepetl, Iztaccíhuatl, Zinantécatl (Nevado de Toluca), Volcán de Colima, Matlalcuéyetl (La Malinche) y Citlaltépetl (Pico de Orizaba).



Figura 1.1 Provincias Fisiográficas del Estado de México.

1.2.1.1 Para la zona de Apaxco

Los municipios de Apaxco, Hueypoxtla y Zumpango se ubican en la región 15 localizada en el extremo norte central de la Provincia Geológica llamada Faja Volcánica Transmexicana. (Figura 1.2).



Figura 1.2. Provincias Geológicas de México.

Desde el punto de vista tecno-estratigráfico pertenece al “Eje Volcanico Transmexicano”. **(Figura 1.3).** Y tiene como sub-provincias a las Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo y Lagos Y Volcanes de Anáhuac.

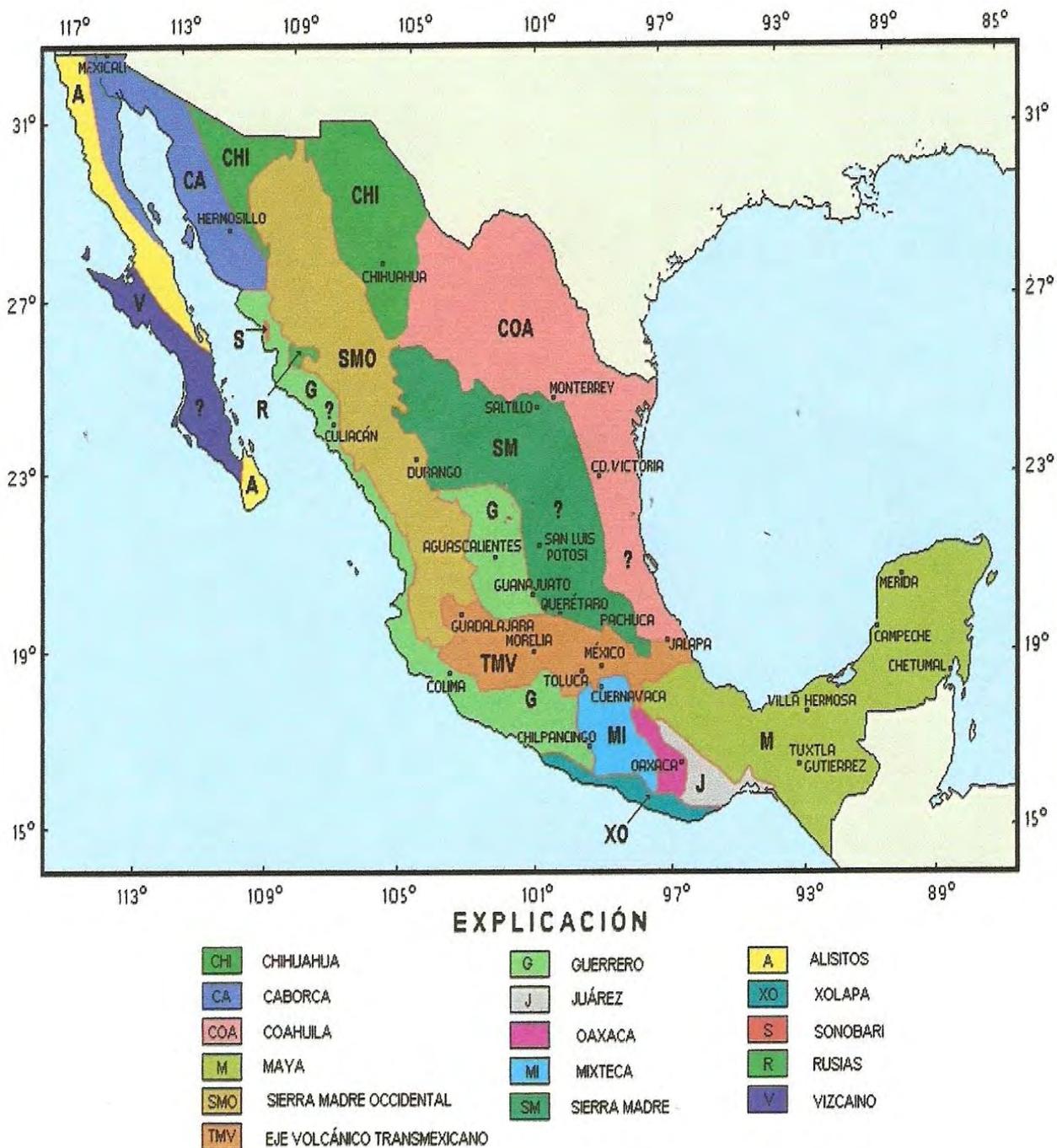


Figura 1.3. Terrenos Tecno-estratigráficos de México.

Ésta región se caracteriza por el emplazamiento de una enorme masa de rocas volcánicas de diferentes tipos, acumuladas durante varios episodios volcánicos sucesivos iniciados a mediados del Terciario Inferior y que continuaron durante el Reciente (CRM, 1996).

Las rocas más antiguas son caliza y dolomía del Cretácico Inferior, sobre las que se depositaron extensas coladas lávicas de composición riolítica, andesítica y basáltica terciarias.

El Mesozoico en el Estado de México comprende varias unidades litológicas, una de ellas es La Formación El Doctor. Esta formación aflora en el norte del Estado de México en áreas de la región de Tequixquiac-Apaxco. Son bancos de caliza considerada del Albiano Cenomaniano por su correlación con la Formación Morelos y en parte con la Formación Cuautla (CRM 1996). Se caracteriza por tener una facies calcárea y una dolomítica, la caliza está constituida por una unidad de estratos de diversos espesores de calcarenita, calcirrudita, dolomía y caliza de grano fino a medio de color gris.

1.2.1.2 Para la zona de Ixtapaluca.

Esta región también pertenece a la Provincia Geológica llamada Faja Volcánica Transmexicana y a la sub-provincia Lagos y Volcanes de Anáhuac.

El Cenozoico en el Estado de México comprende unidades litológicas que varían desde conglomerado y rocas calcáreas hasta rocas volcánicas, como riolita, toba y andesita. Cubren aproximadamente el 70 % de la entidad, principalmente en el centro, norte y oriente, dentro de la provincia del Eje Neovolcánico.

Los depósitos del Cuaternario se ven principalmente en la Cuenca de México y en Toluca; están representadas por secuencias efusivas de composición andesítico-basáltica dentro del Pleistoceno-Holoceno y depósitos aluviales y lacustres del Holoceno.

Estos depósitos comprenden varias formaciones, una de ellas es la Formación Chichinautzin dentro del Pleistoceno Básico, se encuentra distribuida en la parte meridional de la cuenca de México y parte central del Estado de México. Comprende extensos cuerpos de lava de composición andesítico-basáltica y andesítica, así como la presencia de andesita basáltica de augita, basalto, basalto alcalino y dacita (Bloomfield y Valastro, 1974, 1977; Martín del Pozo 1980). El espesor de esta unidad varía de un sitio a otro; aunque el espesor máximo que se ha asignado es de 1,800 m. (Fries 1960). Estas rocas representan un largo periodo de vulcanismo que duró del final del Pleistoceno al Holoceno (Arnold y Libby 1951).

Otra unidad que se depositó contemporáneamente a la formación anteriormente descrita, comprende los derrames lávicos emitidos por el centro eruptivo del Popocatepetl, compuestos mayormente por riodacita, latita, dacita y productos volcánicos más recientes que forman el cráter actual y que han sido cartografiados como Formación Popocatepetl.

1.3 TIPO DE BANCO (Geología Local)

1.3.1 Para la zona de Apaxco

Dentro del municipio de Apaxco, en el período Cretácico, los afloramientos que predominan son de rocas sedimentarias de origen químico constituidas en lo general de caliza y de caliza y dolomía en la porción oriental del Banco Cerro Blanco, situado inmediatamente al norte de la cabecera municipal. En la porción occidental del municipio aflora caliza probablemente perteneciente a la Formación Cuautla del Cenomaniano (Geyne, 1963). La caliza de la Formación El Doctor, se presenta en estratos gruesos, de aspecto masivo en partes y las de la Formación Cuautla, en espesores del orden de 40 a 80 cm. Son de color gris claro y de textura fina a media.

Constituye la parte alta y la porción central y occidental del Banco Cerro Blanco, topográfica y estructuralmente se encuentra cubriendo a la dolomía. **(Figuras 1.4 y 1.5).**



Figura 1.4. Explotación de caliza en la porción central del Cerro Blanco.



Figura 1.5. El banco tiene una superficie de explotación de 50 hectáreas.

1.3.2 Para la zona de Ixtapaluca.

La evolución y el ambiente geológico del Estado de México son propicios para contener depósitos de minerales tanto metálicos como no metálicos. Los minerales no metálicos se encuentran asociados a las rocas terciarias y cuaternarias. Los depósitos de minerales no metálicos se distribuyen en todo el territorio del estado, concentrándose notoriamente al este y noreste de la entidad, dentro de la provincia fisiográfica del Eje Neo volcánico.

La arena y grava con que cuenta la entidad, es el material pétreo de mayor importancia económica en el Estado de México. Estos depósitos resultan de una asociación ígnea volcánica de composición intermedia a básica, del Terciario Superior al Holoceno; su origen fue principalmente de productos piroclásticos de los volcanes de las Sierras Las Cruces, Zempoala, Chichinautzin y Guadalupe, así como el Nevado de Toluca y el Iztaccíhuatl.

Los principales depósitos de la entidad se encuentran en los municipios de Huixquilucan, Calimaya, Chicoloapan, Ixtapaluca, Lerma, Naucalpan, Villa del Carbón, Texcoco, Ozumba, Zinacantepec y Metepec. **(Figura 1.6).**



Figura 1.6. Banco de agregado de andesita La Lupita en Ixtapaluca.

1.4 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA Y RUTAS DE ACCESO

1.4.1 Para el Municipio de Apaxco

El Municipio de Apaxco se localiza en la porción norte del Valle de México, entre las coordenadas geográficas $19^{\circ} 58' 11''$ a $20^{\circ} 01' 51''$ de latitud norte y $99^{\circ} 05' 00''$ a $99^{\circ} 11' 52''$ de longitud oeste. La cabecera municipal se ubica a una distancia de 91 kilómetros al $N34^{\circ}E$ de la Plaza de Armas de la Ciudad de Toluca y a 60.5 kilómetros al $N04^{\circ}W$ desde el zócalo de la Ciudad de México. **(Figura 1.7).**

El acceso partiendo de la Ciudad de México, es por la autopista México-Pachuca (No. 85D), tomando la desviación en el Municipio de Tecámac hacia la carretera federal México-Pachuca (No. 85), se continúa por esta ruta hasta tomar la carretera Tecámac-Zumpango, pasando la Plaza Municipal de Zumpango se toma hacia Tequixquiac por la carretera Melchor Ocampo y finalmente Apaxco. **(Figura 1.8).**

El banco Cerro Blanco donde aflora caliza se encuentra en los límites de los Estados de México y de Hidalgo a 2.19 km en línea recta al N-W, de la cabecera municipal de Apaxco y a 1 km de la comunidad de Vito en el estado de Hidalgo.

Localización Geográfica

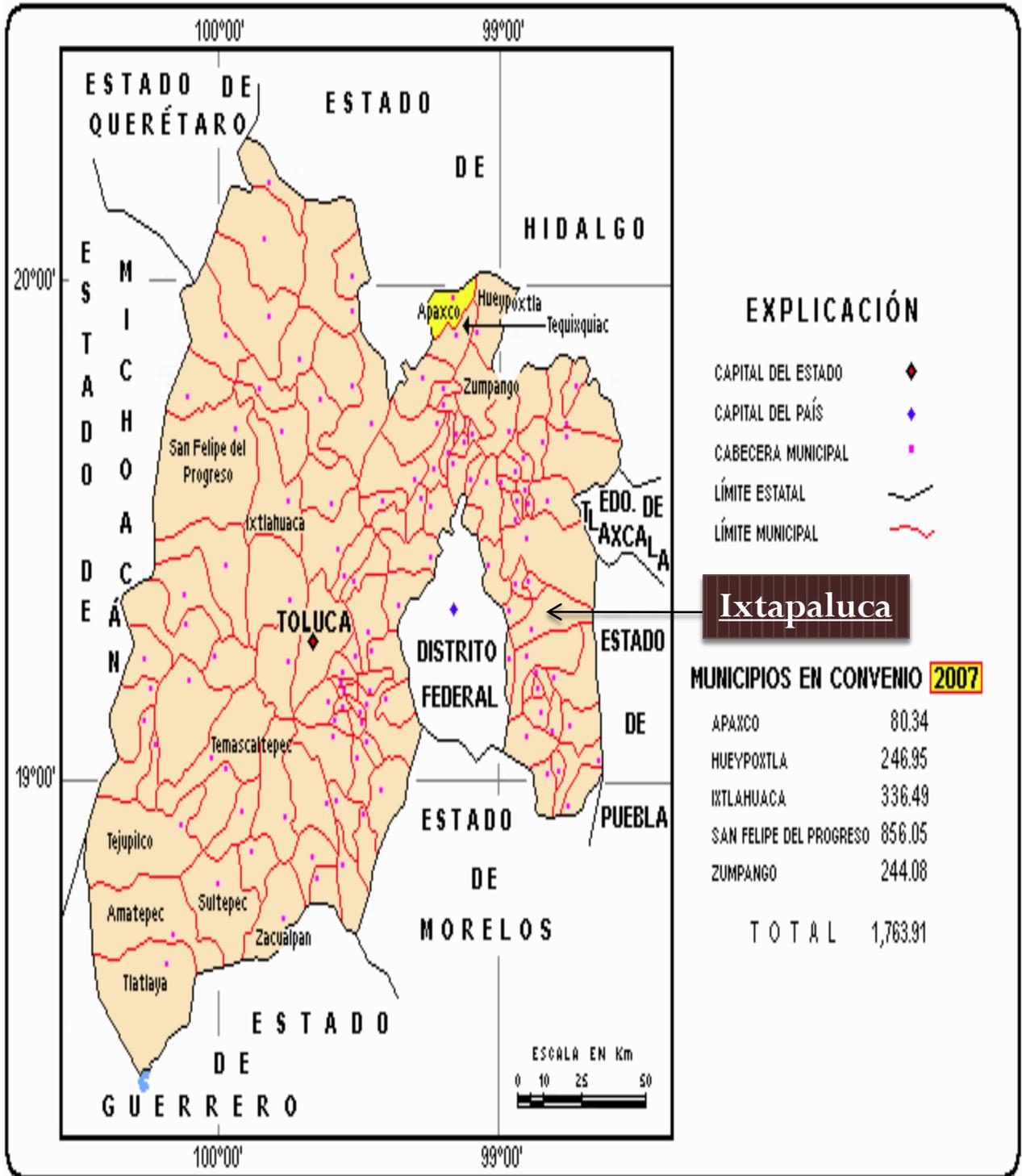


Figura 1.7. Localización de los Municipios de Apaxco e Ixtapaluca, Edo. de México.

Rutas de acceso

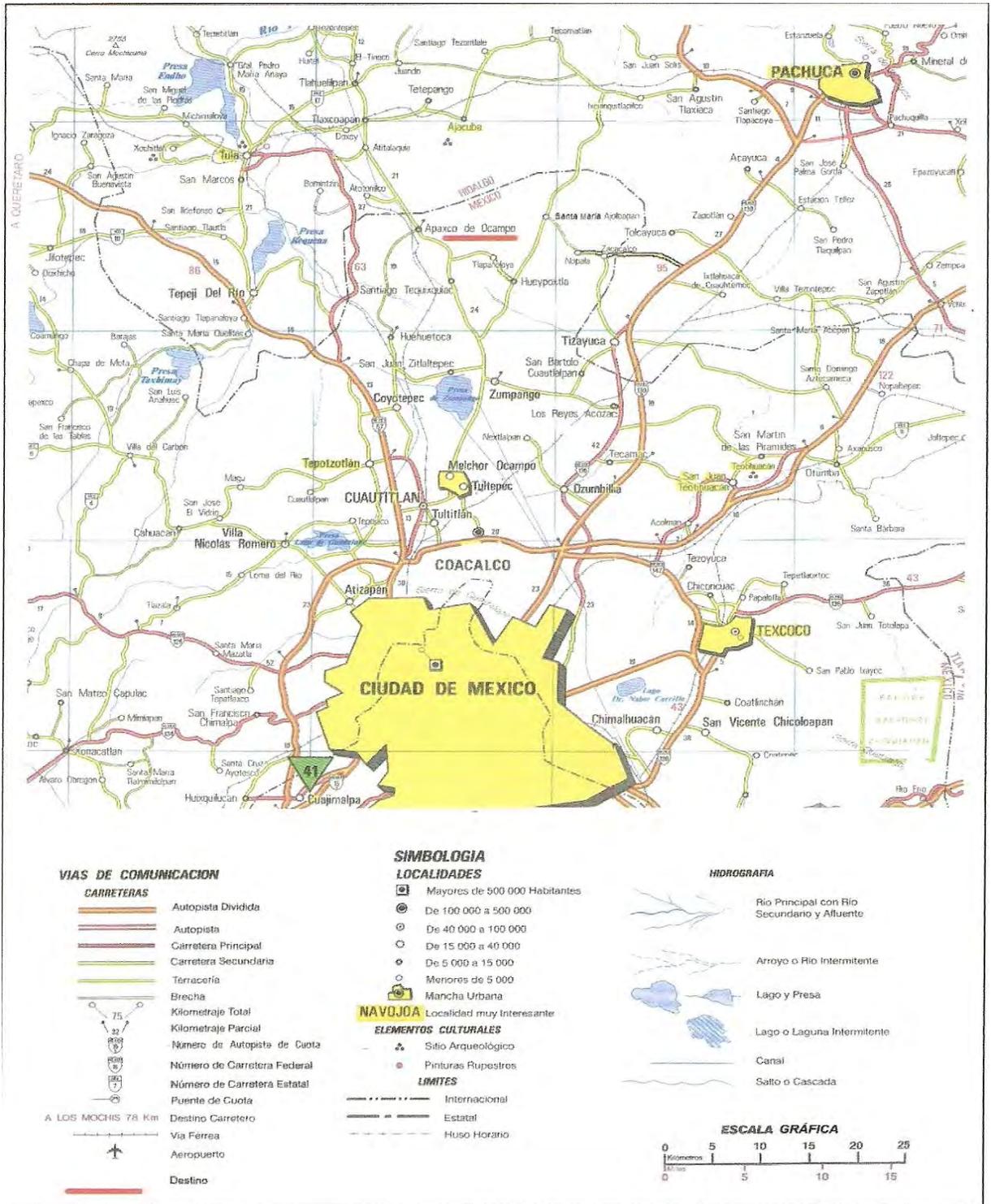


Figura 1.8. Vías de acceso al Municipio de Apaxco, Estado de México.

1.4.2 Para el Municipio de Ixtapaluca.

El municipio de Ixtapaluca se localiza en la zona oriente del Estado de México, entre las coordenadas geográficas $19^{\circ}14'$ a $19^{\circ}25'$ de latitud norte y $98^{\circ}38'$ a $98^{\circ}58'$ de longitud oeste. La cabecera municipal se ubica a una distancia de 38 kilómetros al S-E partiendo desde el zócalo de la Ciudad de México. **(Figura 1.7).**

El acceso partiendo de la Ciudad de México es por la Calzada Ignacio Zaragoza (No. 150), llegando a Santa Martha se toma la carretera federal México-Puebla (No. 190), pasando por Los Reyes La Paz y Ayotla, después de Plaza Galerías se encuentra el Palacio Municipal de Ixtapaluca.

Para llegar al banco La Magdalena se continúa sobre la carretera federal México-Puebla, tomando enseguida la carretera hacia San Francisco Acuatla localizado a 6 kilómetros de la cabecera municipal, después se toma el camino hacia La Virgen y aproximadamente 5 kilómetros hacia adentro se encuentra el área de estudio.

Para La Lupita después del pueblo de San Francisco Acuatla se toma la carretera hacia Coatepec distante 10 kilómetros de la cabecera de Ixtapaluca, llegando al centro se toma el camino hacia Las Minas y aproximadamente a 5 kilómetros se encuentra el banco de materiales. **(Figura 1.9).**

Rutas de acceso

Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos
Ixtapaluca, México

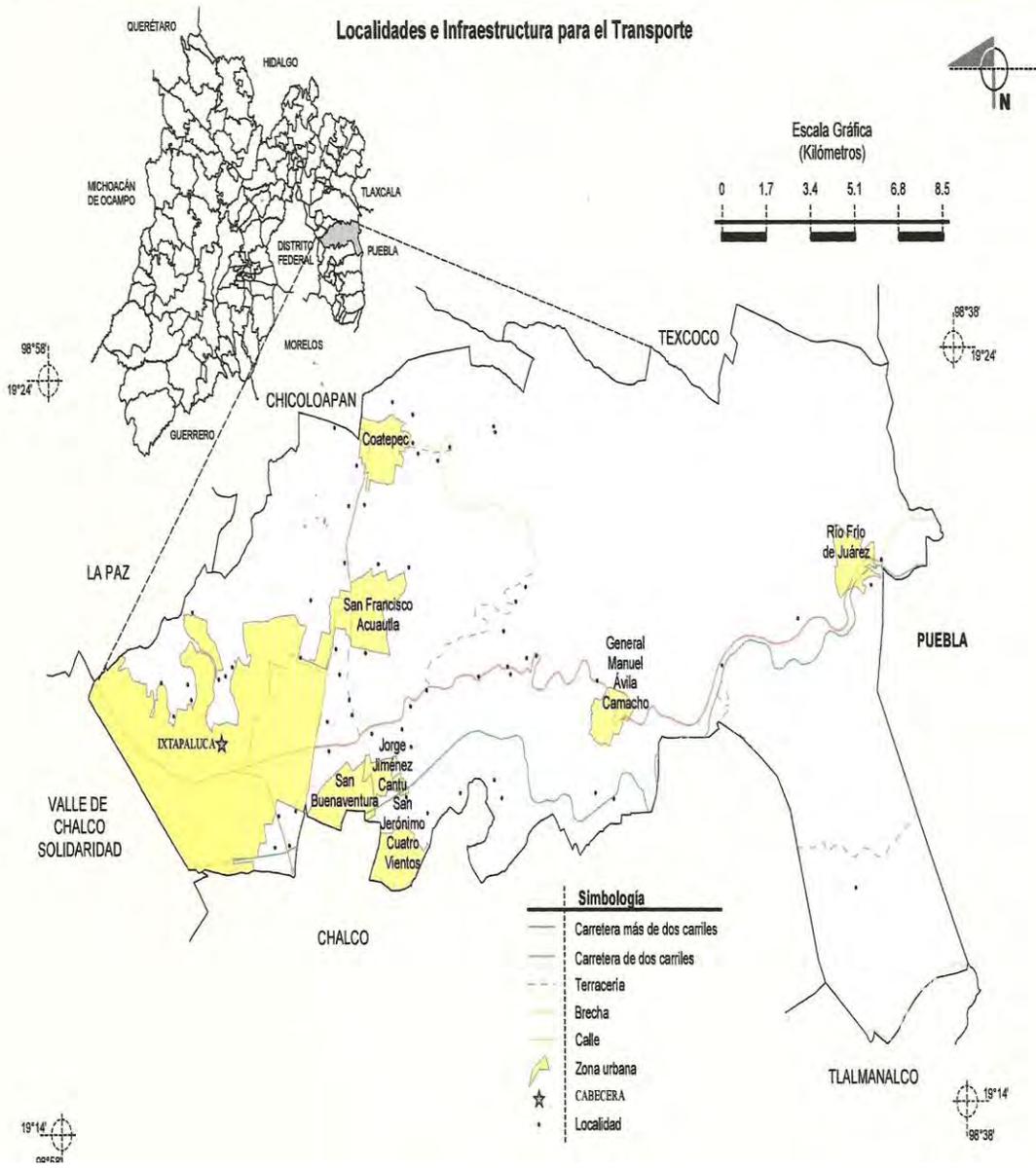


Figura 1.9. Vías de acceso al Municipio de Ixtapaluca Estado de México.

2.0 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS AGREGADOS

En esta parte mencionaremos aspectos generales de los agregados con respecto a sus características físicas.

2.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS.

Debe estar constituido por partículas limpias, duras, resistentes y durables que desarrollen buena adherencia con la pasta de cemento, libres de recubrimiento de arcilla y de impurezas que interfieran en el desarrollo de la resistencia del concreto.

2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS

2.2.1 Por su tamaño de partícula

Agregado grueso (grava): Comprende los fragmentos de material menores de 76 mm (3") y mayores de 5 mm. **(Figura 2.1).**



(Figura 2.1)

Agregado fino (arena): Abarca las partículas de material menores de 5 mm y mayores a 75 micras (0.075 mm). **(Figura 2.2).**



(Figura 2.2)

2.2.2 Por su origen

Rocas Ígneas: andesita, granito, basalto, escoria, pómez.

Rocas Sedimentarias: caliza, caliza dolomítica, arenisca.

Rocas Metamórficas: mármol, pizarras, esquistos.

2.2.3 Por su fuente

Agregados Naturales.

de río (canto rodado)



(Figura 2.3)

de mina



(Figura 2.3 a)

Agregados semi-triturados (mixtos)



(Figura 2.4)

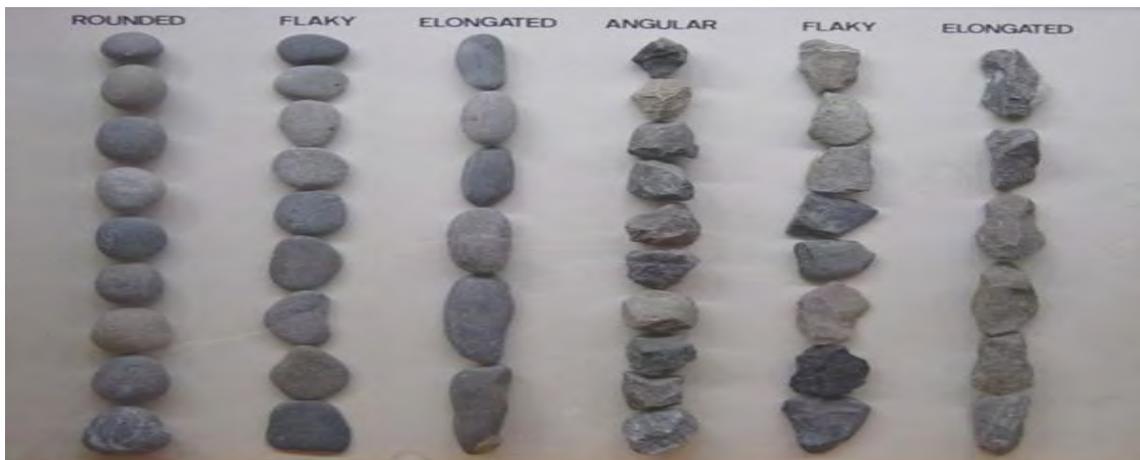
Agregados triturados (manufacturados).



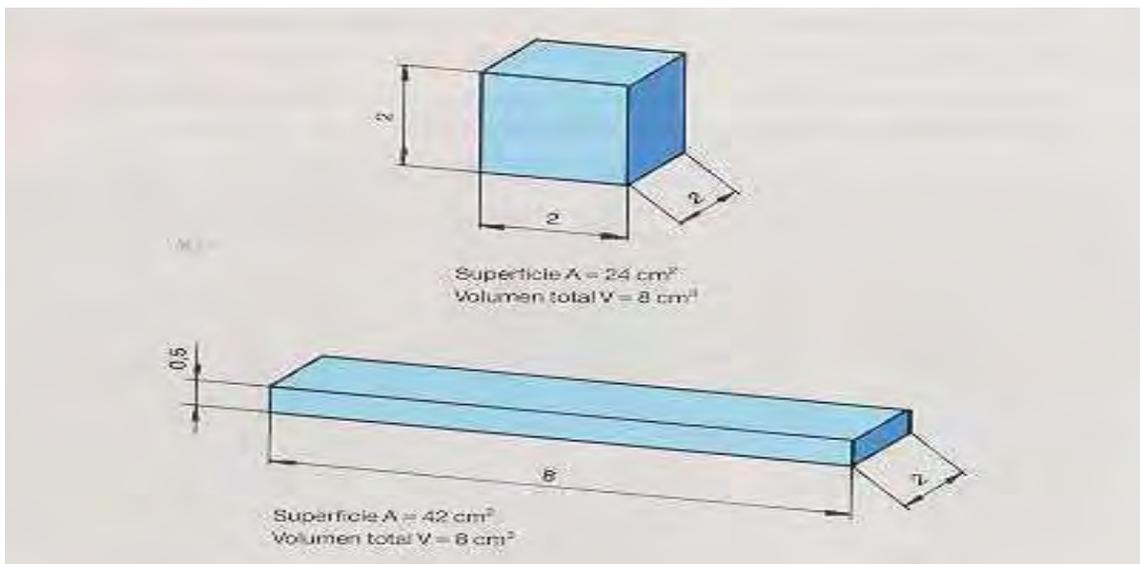
(Figura 2.5)

2.2.4 Por su forma

(Figura 2.6)



Influencia de la forma del agregado



(Figura 2.7)

2.2.5 Por su textura

Para fines prácticos la textura superficial se define como el grado de aspereza o rugosidad que presentan las superficies de las partículas. Esta característica se deriva de la naturaleza de la roca y el origen de los agregados ya sea naturales o manufacturados.

- Las partículas de forma redondeada y superficie lisa como las que se encuentran en los depósitos aluviales (ríos), producen buena trabajabilidad en las mezclas de concreto, pero no son propicias para lograr una alta adherencia con la pasta de cemento (**Fig. 2.8**).



(Figura 2.8)

- Las mezclas de concreto elaboradas con agregados triturados (partículas de forma muy angulosa y superficies ásperas), presentan una menor trabajabilidad, pero a cambio desarrollan mayor adherencia con la pasta de cemento (**Fig. 2.9**).



(Figura 2.9)

2.3 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS.

Las propiedades fundamentales de los agregados corresponden a las rocas que los conforman, se dividen en carácter intrínseco o inalterables y en carácter extrínseco o que se pueden modificar mediante la aplicación de un proceso de beneficio.

Las propiedades físicas intrínsecas son:

▪ **Peso específico**

Su importancia radica en el control que tiene sobre el peso unitario del concreto. Se define como el peso por unidad de volumen. En general se considera el mismo valor para el peso específico y para la densidad.

Se mide en g/cm^3 ó kg/m^3

▪ **Porosidad**

En forma llana la porosidad es el volumen de huecos V_u que se ubican en el interior de una roca con respecto a su volumen total V_t (partículas sólidas + huecos).

Se representa por
$$n(\%) = \frac{V_u}{V_t} * 100$$

Donde: $n(\%)$ = porosidad

V_u = volumen de huecos

V_t = volumen total

Es una propiedad que afecta a las características resistentes y mecánicas, siendo inversamente proporcional a la resistencia y densidad y directamente proporcional a la deformabilidad, ya que la existencia de huecos da lugar a zonas de debilidad. Existen casos como los basaltos vesiculares o tezontle cuya estructura porosa es abundante pero no por ello es permeable o de pobre resistencia mecánica. También existen rocas de baja porosidad como las de grano fino ricas en arcillas que presentan deficiencias en sus propiedades mecánicas.

▪ **Absorción**

Es el aumento de la masa de un cuerpo sólido con poros, como consecuencia de la penetración de un líquido en sus poros permeables.

Puede expresarse como la relación entre el peso del agua absorbida y el peso del material.

Se representa por:
$$Abs(\%) = \frac{W_w - W_o}{W_o} * 100$$

Donde: Abs (%) = absorción

Ww = peso del material saturado en agua

Wo = peso del material seco

Cuando un agregado tiene una elevada absorción, se tiene como consecuencia una pérdida acelerada del revenimiento derivada de la ocupación con agua del espacio poroso disponible y por ende una reducción del nivel de agua disponible en la mezcla.

▪ **Sanidad**

La sanidad de un agregado se expresa como su capacidad para resistir las acciones agresivas de origen físico y químico a las que puede ser expuesto, por las condiciones de servicio a las que es sometido el concreto que lo contiene. A mayor edad mayor tiempo de exposición a condiciones ambientales que afectan su sanidad.

Los límites aceptados para su uso en concreto están definidos en la NMX C 111, con base al uso de sulfato de sodio como sustancia control, que indican una pérdida máxima del 10 % en el agregado fino y 12 % en el agregado grueso, independientemente de la zona de intemperismo definidas por esta norma, donde el concreto preste su servicio.

▪ **Resistencia a la compresión.**

Las rocas deben su valor final a muy diversas causas entre las que se incluyen: el origen, los procesos involucrados en su formación, su composición químico-mineralógica y la historia geológica que la ha afectado hasta el momento previo a su utilización. Como ejemplo se citan rocas como el basalto, granito y caliza.

En la evaluación de concreto endurecido, la prueba que determina la aceptación del producto y lo califica en aptitud en el desempeño de una estructura es la resistencia a compresión. En el caso de los agregados no se evalúan en forma independiente, sino se califica su desempeño en el concreto como un todo.

Dos motivos singulares por los que un agregado puede ser puesto en duda al ser evaluado, mediante su comportamiento en concreto, es cuando el tipo de falla en los cilindros de prueba se presenta en los fragmentos individuales o cuando el espécimen presenta una modificación de la sección por el aplastamiento de los granos.

▪ **Resistencia a la abrasión y al impacto**

Éstas propiedades se determinan por la prueba con la máquina de “Los Ángeles” (americana) y la máquina de impacto (inglesa) respectivamente. Los resultados son indicadores particulares de la calidad física del agregado para usarse en la fabricación de pisos y pavimentos, donde estarán expuestos en la superficie.

Los agregados con altas pérdidas en éstas pruebas se degradan fácilmente y resulta difícil mantener su curva granulométrica intacta durante los procesos de manejo de material (producción, transporte, almacenamiento, mezclado). Este tipo de agregados también pueden desintegrarse rápidamente cuando se exponen al tráfico y al ambiente, por lo que estas pruebas son buenos indicadores del comportamiento real del agregado.

Las características físicas y químicas de los materiales que tienen relación con estas propiedades son la composición mineralógica y la composición química de una roca.

La primera se determina mediante técnicas de petrografía y su utilidad radica en poder definir el comportamiento de los agregados a los procesos abrasivos con base en sus características mineralógicas.

La composición química realiza un análisis químico para definir el contenido de óxidos totales, que para este caso, define el contenido de Óxido de Sílice (SiO_2), que nos indica el porcentaje de cuarzo y/o silicatos que contiene el material y su potencial para desarrollar fases mineralógicas de mayor resistencia física.

▪ **Módulo de elasticidad.**

El módulo de elasticidad se define como la relación unitaria entre el esfuerzo y la deformación unitaria ubicada en el intervalo elástico de una curva esfuerzo-deformación unitaria.

Como parte de una investigación para evaluar la influencia de los agregados de la zona del D. F., se fabricó concreto con andesita, caliza y basalto, arrojando resultados en cuanto a las propiedades mecánicas, que la resistencia es prácticamente igual pero en el caso del módulo elástico existen diferencias significativas muy superiores en favor de la caliza con lo que se demuestra que el agregado ejerce un control básico sobre esta propiedad en el concreto.

En los sismos ocurridos en septiembre de 1985 en la Ciudad de México se considera que uno de los factores de falla fue la baja deformabilidad de los concretos utilizados para la construcción.

▪ **Composición químico-mineralógica.**

La composición química de las rocas se expresa con base en sus óxidos fundamentales. De los óxidos presentes el óxido de sílice (SiO_2) es el más común y de mayor presencia en las rocas, cuando presenta valores por encima del 65 %, puede representar a materiales de gran poder abrasivo. Otros óxidos importantes son el hierro, sodio y potasio.

En el primero una presencia abundante puede dar origen a especies mineralógicas con inestabilidad volumétrica y los segundos pueden contribuir a la presencia de una reacción con agregados potencialmente deletéreos con los álcalis.

En cuanto a la composición mineralógica formadores de rocas el grupo más común sobre la corteza terrestre son los feldspatos, que incluye especies minerales de gran inestabilidad bajo condiciones ambientales normales, su transformación incluye minerales arcillosos capaces de cambios volumétricos mayores.

Los minerales ferromagnesianos dan lugar en su proceso de adaptación atmosférica a especies mineralógicas formadas principalmente por óxidos de hierro que en presencia de humedad se caracterizan por una inestabilidad volumétrica; de este grupo se distinguen las micas por su baja capacidad para resistir esfuerzos, lo que lo convierte en un grupo mineral capaz de originar una deformación excesiva.

Otro grupo importante son los carbonatos, de ellos es notoria su posibilidad y facilidad de cambio que incluyen transformaciones calcita-dolomita que es reversible, misma que da paso a un proceso de dedolomitización que produce expansiones poderosas que dan lugar a una reacción deletérea en la masa de concreto.

Como último grupo tenemos a los minerales de sílice que son reconocidos por su capacidad abrasiva y por su estabilidad química, que toma un carácter inestable cuando la forma mineral no tiene una estructura cristalina bien definida o se encuentra afectada por una deformación intensa.

- **Propiedades térmicas.**

Existen métodos de prueba para la medición de las principales propiedades térmicas de los agregados entre las que se incluyen: el coeficiente de expansión térmica, la conductividad térmica, el calor específico y la difusividad térmica. Su aplicación se encuentra poco difundida y al igual que otras propiedades intrínsecas son evaluadas por su comportamiento en una mezcla de concreto.

Las propiedades de calidad física extrínseca son:

- **Pérdida por lavado.**

Son identificados como los finos, la pérdida por lavado representa el resultado del material que pasa la malla No. 200 de acuerdo a ASTM, expresada como porcentaje del total de la muestra analizada. El interés particular radica en 2 condiciones, su nivel de finura introduce una mayor superficie específica para ser cubierta por la pasta de mortero y el comportamiento plástico de algunas especies minerales en esa clase de tamaños.

Éstos finos se dividen en finos plásticos (arcillas) y no plásticos (limos), para su uso en concreto los finos indeseables son los que representan un comportamiento plástico.

En las Especificaciones de la NMX-C-111 se han establecido los siguientes criterios:

En el agregado grueso la cantidad de material máximo permisible que pasa la criba 0.075 es de 2 % sin importar el tipo de fino de que se trate, para el agregado fino la propuesta introduce los límites plásticos y líquidos, además la cantidad máxima admisible alcanza un valor del 15 % pero su aceptación depende de la combinación con los límites mencionados y una contracción lineal máxima del 2 %.

- **Materia orgánica.**

En los agregados existen diversos tipos de contaminación orgánica que puede ser representada por humus, azúcar, algunas raíces de plantas, fragmentos de madera, carbón y lignito.

Para este parámetro existe una especificación en la NMX-C-111 en donde el criterio para su aceptación es el porcentaje de resistencia a compresión obtenida en cubos de mortero, que debe ser superior al 95 % de la resistencia medida a siete días.

- **Partículas inconvenientes.**

En los agregados hay una diversidad de partículas que pueden considerarse inconvenientes y pueden estar representadas por rocas parcial o totalmente alteradas, terrones de arcilla y fragmentos de carbón y lignito y pueden estar presentes en agregados de tipo natural o manufacturados.

- **Sales inorgánicas.**

Los agregados pueden contener 2 tipos de sales: estas son los cloruros y los sulfatos.

Los cloruros son encontrados comúnmente en materiales en contacto directo con el agua de mar o su área de influencia por lo que se recomienda verificar su contenido y existe una limitación en referencia al riesgo de corrosión para el acero de refuerzo en el concreto endurecido del orden del 0.4 % del peso del cemento lo que resulta en un aproximado de 1 a 2 kilogramos de ión cloruro por metro cúbico de concreto.

Desde el punto de vista geológico las zonas o depósitos tipo con potencial para acumular concentraciones de iones sulfato en la naturaleza son los depósitos lacustres que pueden sufrir la evaporación del agua y con ello favorecer la concentración de sales en el material remanente. También los materiales que se encuentren en el área de influencia del agua de mar son susceptibles de tener altas concentraciones de sales sulfato. Para tal caso las especificaciones de agregados definen cuales son las cantidades máximas permisibles y a cada límite le asocian un tipo de cemento para limitar los daños.

- **Forma.**

La forma de la partícula debe ser definida por la combinación de 2 características conocidas como esfericidad y redondez. La esfericidad puede ser descrita por el radio de los 3 ejes principales: largo, ancho y espesor.

En los agregados para concreto no existe una especificación formal para la partícula, aunque existe una recomendación de limitar su contenido por los efectos que produce en las características del concreto en estado fresco y endurecido, el ACI recomienda el uso de un máximo de 20 % de piezas planas y alargadas y por otra parte se indica que no debe exceder el 15 % del peso total de agregado grueso, en la misma referencia se indica el control para el agregado fino aunque no se menciona la manera de medirlo..

- **Superficie textural.**

La superficie textural es un parámetro que se evalúa de manera subjetiva ya que se realiza en base a la experiencia de la persona. En los agregados manufacturados su característica final es otorgada por la textura de la roca. En los agregados de origen natural con una superficie de textura lisa se recomienda sean sometidos a trituración para inducir un carácter rugoso y aristas vivas para fomentar la adherencia en la pasta del cemento. Su evaluación se realiza en la prueba a compresión de los cilindros de concreto.

- **Composición granulométrica y tamaño máximo.**

En la composición granulométrica se definen elementos relevantes para un buen desempeño en las mezclas del concreto en estado fresco y endurecido. Los materiales se segmentan en gruesos que se definen en el mayor tamaño contenido en la curva y la malla 4.75 mm y finos que incluyen tamaños comprendidos entre 4.75 y 0.75 mm. Los tamaños después de esta referencia se consideran indeseables para su uso en concreto.

Para ambas fracciones es necesario que existan todos los tamaños posibles logrando así una adecuada distribución granulométrica, este concepto se conoce como continuidad o discontinuidad. El establecimiento de una curva granulométrica se realiza por criterio económicos, por la geometría de los elementos, por las características del acero de refuerzo entre otros.

2.4 MANEJO DE LOS AGREGADOS.

El descuido en el manejo del agregado procesado puede dar como resultado los siguientes problemas que pueden afectar las propiedades de las mezclas de concreto.

- Segregación que destruye la uniformidad de la granulometría.
- Contaminación o inclusión de materiales dañinos.
- La falta de un mantenimiento adecuado, uniforme y estable de la humedad en el agregado conforme es dosificado, complica todavía más la producción de un concreto uniforme.
- La degradación del material que produce más finos y tiene un efecto desventajoso en las propiedades del concreto.

Recomendaciones para mantener uniformidad en la granulometría y el contenido de humedad:

- La segregación puede minimizarse cuando los agregados se separan en tamaños individuales y se dosifican separadamente.
- El material de tamaños menores que el tamaño mínimo designado en cada fracción debe mantenerse en un mínimo práctico; cuando hubiera ocurrido una degradación significativa, podría requerirse recibado del agregado grueso en la planta de dosificación para eliminar variaciones inadmisibles en las cantidades de los materiales.
- El agregado fino debe controlarse para minimizar variaciones de granulometría y contenido de humedad. La relación de agregado fino a agregado grueso al proporcionarse en la mezcla de concreto está gobernada por el módulo de finura del agregado fino y la variación excesiva de las cantidades de tamaños menores de 75 mm (No. 200) tiene un efecto importante en el requerimiento de agua de mezclado, la velocidad de pérdida de revenimiento, la resistencia y la contracción por secado. Cuando es necesaria la combinación de agregados finos de 2 fuentes distintas deben almacenarse separadamente y emplearse un método de control para asegurar una combinación uniforme.
- Las pilas de los materiales almacenados deben construirse en capas horizontales o de inclinación leve. Deben evitarse las pilas cónicas o cualquier forma de descarga deslizándose por los lados inclinados de las pilas.
- Mantener en la medida de lo posible un contenido de humedad estable en los agregados, particularmente en los finos. Ésta depende de la granulometría, la forma de las partículas, la textura de la superficie y las prácticas de almacenamiento de los agregados. Las fluctuaciones en el contenido estable de humedad causadas por el clima pueden compensarse por el uso de medidores de humedad para indicar las pequeñas variaciones a medida que los agregados son dosificados. El uso de agregados para compensación en los ajustes rápidos pueden minimizar las variaciones de humedad en propiedades como revenimiento, contracción, relación agua-cemento y resistencia.
- Los depósitos de almacenamiento deben mantenerse tan llenos como sea prácticamente posible para minimizar la rotura y cambios de graduación a medida que se retiran los materiales.

MANEJO DE LOS AGREGADOS.



Figura 2.10. Se observa la colocación de letreros para identificar el material y la separación de los mismos.



Figura 2.10 a. En esta imagen se realiza la homogeneización de la arena para tener un mejor control de la humedad.

3.0 MARCO NORMATIVO. (DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA NORMA NMX-C-111-2004).

En esta parte se describen los lineamientos técnicos necesarios para el análisis y caracterización de los agregados de los bancos en estudio, según lo especifica la Norma NMX-C-111-ONNCCE-2004..

3.1 NORMA NMX-C-111-ONNCCE-2004.

Especificaciones

Esta norma establece los requisitos de calidad que deben cumplir los agregados naturales y procesados, de uso común para la producción de concretos de masa normal (usualmente de 1800 kg/m³ a 2 400 kg/m³).

3.1.1 Agregado fino:

Puede ser de origen natural, arenas manufacturadas, de roca triturada o una combinación de estos u otros.

3.1.1.1 Granulometría del agregado fino.

- Debe cumplir con los límites granulométricos establecidos en la **tabla 3.1** y el módulo de finura debe estar comprendido entre 2.3 y 3.1.

Criba (mm.)	(No.)	Porcentaje que pasa (%)
9.5	(3/8")	100
4.75	(No.4)	95-100
2.36	(No.8)	80-100
1.18	(No.16)	50-85
0.600	(No.30)	25-60
0.300	(No. 50)	10-30
0.150	(No.100)	2-10

Tabla 3.1. Límites de granulometría para agregado fino.

- El retenido parcial de la masa total en cualquier criba no debe ser mayor del 45 %. Pueden aumentarse los porcentajes del retenido acumulado de la masa ensayada en las cribas 0.300 mm (No. 50) y 0.150 mm (No. 100) a 95 % y 100 % respectivamente, siempre y cuando el contenido de cemento del concreto en que se vaya a utilizar el agregado sea mayor de 250 kg/m³ para concreto con aire incluido o mayor de 300 kg/m³ para concreto sin aire incluido, o bien añadiendo un adicionante que supla la deficiencia de material que pase por esas cribas.

- Si los agregados no cumplen con los puntos anteriores, pueden usarse siempre y cuando haya antecedentes de comportamiento aceptable o los resultados de las pruebas realizadas en el concreto elaborado con ellos sean satisfactorias o haciendo un ajuste apropiado en el proporcionamiento del concreto, para compensar las deficiencias de la granulometría.

Módulo de finura.

Es la sumatoria de los porcentajes retenidos acumulados a partir de la criba 4.75 mm (malla No. 4) hasta la criba 0.150 mm (malla No. 100) divididos entre 100 (**Tabla 3.2**).

Módulo de Finura	Clasificación
Menor de 2.0	Muy fina
2.0 a 2.3	Fina
2.3 a 2.6	Medio fina
2.6 a 2.9	Media
2.9 a 3.2	Medio gruesa
3.2 a 3.5	Gruesa
Mayor de 3.5	Muy gruesa

Tabla 3.2. Clasificación de arena según el módulo de finura.

3.1.1.2 Materiales finos que pasan la criba 0.075 mm (No. 200).

Los agregados finos deben cumplir con lo establecido en la **tabla 3.3**.

Concepto	Material máximo permisible en masa de la muestra total en %
En concreto sujeto a abrasión	5.0
En concretos presforzados	8.0
En otros concretos	15.0

Tabla 3.3. Materiales finos que pasan por la criba 0.075 mm (No 200).

En el caso de agregados triturados, si el material que pasa por la criba 0.075 mm (malla No. 200) es el resultado de la pulverización de rocas de arcilla y/o pizarras, este límite puede incrementarse a 6 % y 10 % respectivamente.

3.1.1.3 Sustancias nocivas en el agregado fino.

Éstas no deben exceder los límites de la **tabla 3.4** de la presente norma.

Concepto	Material máximo permisible en la masa total de la muestra en %
Grumos de arcilla y partículas deleznable.	3.0
Carbón y lignito:	
En concreto aparente	0.5
En otros concretos	1.0

Tabla 3.4. Límites máximos de partículas deleznable y carbón o lignito en agregados finos.

3.1.1.4 Impurezas orgánicas.

Los agregados finos deben estar libres de materia orgánica. Éste contenido puede determinarse por medio de la prueba de colorimetría. Si arroja un color más oscuro que la coloración No.3 debe rechazarse, excepto si se demuestra que la coloración es debida a la presencia de cantidades pequeñas de carbón, lignito o partículas semejantes, o bien, demostrar que el efecto de las impurezas orgánicas en morteros ensayados a 7 días dan resistencias no menores al 95 %.

Procedimiento:

- Se toma una muestra de agregado fino de masa aproximada de 450 grs.
- Se prepara una solución que consiste en disolver 3 partes por masa de hidróxido de sodio (sosa cáustica) en 97 partes de agua .
- En una botella graduada de vidrio con capacidad de aproximadamente 240 a 400 ml, se colocan 130 ml de la muestra de agregado fino, posteriormente se añade la solución de hidróxido de sodio hasta que el volumen de ambos marque 200 ml aproximadamente.
- Se tapa la botella se agita vigorosamente el tiempo necesario hasta que la solución de hidróxido de sodio y el agregado se han mezclado completamente.
- Se deja reposar por 24 horas y se procede a comparar la coloración del líquido por encima de la arena en la botella de vidrio con la placa orgánica de colores (**Fig. 3.1**), o en su defecto con una solución de color patrón que consiste en mezclar dicromato de potasio en ácido sulfúrico concentrado a una proporción de 0.25 gr. de dicromato por cada 100 ml. de ácido sulfúrico.
- Si la coloración es mayor al No. 3 de la placa de colores o más intenso que la coloración patrón se procede conforme a 3.1.1.4. (**Figura 3.1**).



Figura 3.1. Coloración de impurezas orgánicas.

Efectos producidos en el concreto con características fuera de norma:

Características	Efectos en el concreto
Impurezas orgánicas	Afecta el tiempo de fraguado y el endurecimiento
Material más fino que 75 mm.	Afecta la adherencia, aumenta la demanda de agua
Carbón , lignito u otro material ligero	Afecta la durabilidad, puede causar manchas y erupciones
Terrones de arcilla y partículas deleznable	Afecta la trabajabilidad y la durabilidad, puede causar erupciones
Granulometría, MF Y TMA	Afecta la trabajabilidad, cálculos para el diseño de mezclas de concreto.

Tabla 3.5. Características del agregado y efectos en el concreto.

3.1.2 Agregado grueso.

Esta formado por grava, grava triturada, concreto triturado o una combinación de ámbos.

3.1.2.1 Granulometría para agregado grueso.

Debe cumplir con los límites granulométricos que establece la **tabla 3.6.**

Cuando se tengan agregados gruesos fuera de los límites indicados en esta tabla, se deben procesar para que satisfagan dichos límites.

Si se aceptan agregados que no cumplan con estos limites debe ajustarse el proporcionamiento del concreto para compensar las deficiencias granulométricas y demostrar que el concreto tiene un comportamiento adecuado.

Tamaño Nominal, mm. (Pulgadas)	100 4"	90 3 ½"	75 3"	63 2 ½"	50 2"	37.5 1 ½"	25 1"	19 ¾"	12.5 ½"	9.5 3/8"	No 4 4.75	No 8 2.36	No 16 1.18
90.0 a 37.5 (3 ½" a 1 ½")	100	90.a 100	—	25.a 60	—	0 a 15	—	0 a 5	—	—	—	—	—
63.0 a 37.5 2 ½" a 1 ½")	—	—	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	—	0 a 5	—	—	—	—	—
50.0 a 25.0 (2 a 1")	—	—	—	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	—	0 a 5	—	—	—	—
50.0 a 47.5) 2" a No. 4)	—	—	—	100	95 a 100	—	35 a 70	—	10 a 30	—	0 a 5	—	—
37.5 a 19.0 (1 ½" a ¾")	—	—	—	—	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	—	0 a 5	—	—	—
37.5 a 4.75 1 ½" a No. 4)	—	—	—	—	100	95 a 100	—	35 a 70	—	10 a 30	0 a 5	—	—
25.0 a 12.5 (1" a ½")	—	—	—	—	—	100	90 a 100	20 a 25	0 a 10	0 a 5	—	—	—
25.0 a 9.5 (1" a 3/8")	—	—	—	—	—	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	—	—
25.0 a 4.75 (1" a No. 4)	—	—	—	—	—	100	95 a 100	—	25 a 60	—	0 a 10	0 a 5	—
19.0 a 9.5 (3/4" a 3/8")	—	—	—	—	—	—	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	—	—
19.0 a 4.75 (3/4" a No 4)	—	—	—	—	—	—	100	90 a 100	—	20 a 55	0 a 10	0 a 5	—
12.5 a 4.75 (1/2" a No 4)	—	—	—	—	—	—	—	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	—
9.5 a 2.36 (3/8" a No 8)	—	—	—	—	—	—	—	—	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Tabla 3.6. Límites granulométricos del agregado grueso, en masa, en porcentaje que pasa.

3.2 NORMA NMX-C-030-ONNCCE-2004

Muestreo

Esta norma establece el muestreo de agregados que se utilizan para la investigación preliminar de fuentes potenciales de suministro; el control de agregados en la fuente de abastecimiento; el control de las operaciones en el sitio de uso y la aceptación o rechazo de los agregados.

3.2.1 Muestreo

Las muestras para la investigación preliminar las obtendrá el responsable de la explotación

Las muestras para el control de agregados en la fuente de abastecimiento, o el control de operaciones en el sitio de uso, serán obtenidas por el productor o por grupos responsables de llevar a cabo el trabajo.

Las muestras para la aceptación o rechazo de agregados deben ser obtenidas por el comprador o su representante autorizado.

- **Muestra simple**
Es la cantidad de material extraído de un solo sondeo de una sola vez de la fuente.
- **Muestra parcial**
Es la cantidad de material cuya masa no debe ser menor de 1,000 grs y es obtenida de una muestra simple o compuesta.
- **Muestra compuesta**
Es la cantidad de material que comprende todas las muestras simples.

Masa mínima de la muestra.

La masa mínima de la muestra para su estudio en laboratorio está indicada en la **tabla 3.7**.

Material	Tamaño máximo nominal (en mm.)	Pasa por la malla (criba No.)	Masa mínima de la muestra de campo (en Kg.)
Arena	Hasta 5	4.75 mm (No. 4)	100
Grava	Hasta 75	75 mm (3")	150
Grava	Mayor de 75	- - - -	200
Grava	Cualquiera	- - - -	300

Tabla 3.7. Masa mínima de la muestra.

3.2.2 FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGREGADOS.

Las fuentes de abastecimiento de agregados son los siguientes:

- **Depósitos fluviales.**
Se localizan en playones o cauces de los ríos. Proporcionan agregados redondeados de fácil y económica explotación.
- **Arenas y gravas volcánicas.**
Suelen encontrarse en las faldas de los volcanes y están formados por cenizas, basaltos, andesitas y tobas porosas.
- **Arenas de playas marítimas y lacustres.**
Estos agregados sufren una constante clasificación por el movimiento del agua. Deben determinarse los contenidos de sales que dañan los concretos como los cloruros y los sulfatos para determinar si requieren algún tratamiento.
- **Canteras.**
En estas fuentes de abastecimiento se obtienen agregados por trituración, que generalmente son de buena calidad, se deben elegir zonas sanas de buena estructura, debiendo eliminarse rocas foliadas como pizarras o esquistos a fin de evitar que al triturarse se produzcan partículas lajeadas o alargadas.

3.2.3 Procedimiento

- Se deben localizar las fuentes de abastecimiento que estén cercanos a la obra, así como los caminos o las brechas existentes para su acceso.
- Se deben efectuar estudios preliminares a fin de determinar la calidad de los materiales existentes y su mejor aprovechamiento, de acuerdo con la normas mexicanas aplicables.
- A fin de obtener muestras representativas de un yacimiento, es importante efectuar el muestreo de campo de acuerdo con las siguientes recomendaciones para los diferentes tipos de yacimiento.
 - a) Muestreo en tajos a cielo abierto.**
 - b) Muestreo por medio de pozos.**
 - b.1) Pozos a cielo abierto.**

c) Muestreo de brechas y aglomerados

d) Muestreo en canteras.

e) Muestreo de material almacenado.

Cuando se tenga material almacenado en la zona de explotación, en la obra, el muestreo se debe hacer tomando porciones aproximadamente iguales de diferente nivel y directriz al del almacén. Las muestras simples obtenidas se mezclan para formar una muestra compuesta que sea representativa del material almacenado. **(Figura 3.2).**

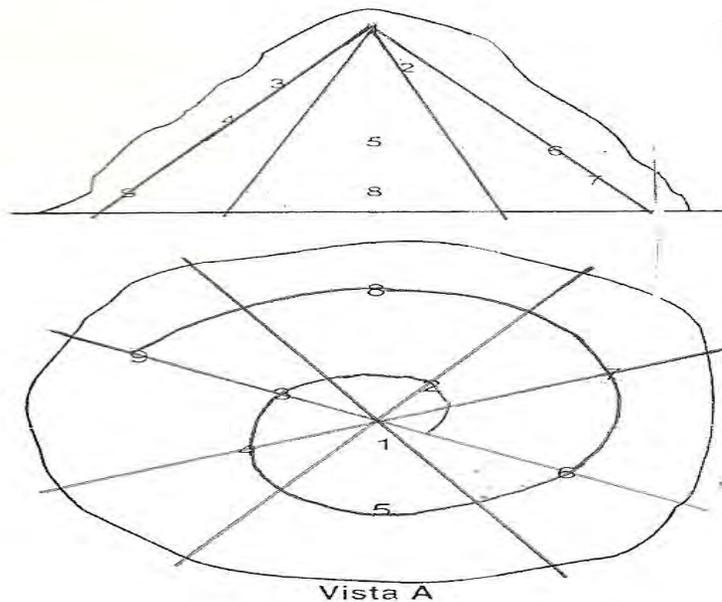


Figura 3.2. Muestreo de material almacenado.

3.3 NORMA NMX-C-170-1997-ONNCCE

Reducción de las muestras de agregados obtenidas en el campo al tamaño requerido para las pruebas.

La norma establece los métodos para la reducción de las muestras de agregados obtenidas en el campo hasta el tamaño apropiado para la prueba, se designan con las letras "A" y "B".

3.3.1 Método "A" Cuarteo mecánico

El cuarteador de muestras debe 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 de 8 para agregado grueso y no menor de 12 para agregado fino.

Debe estar equipado con dos receptáculos para recibir las dos mitades de la muestra al cuartearse. También debe contar con una tolva con un ancho igual o ligeramente menor al ancho total de los conductos, para alimentar la muestra a velocidad controlada. **(Figura 3.3).**



Figura 3.3. Muestreador mecánico.

3.3.2. Método "B" cuarteo manual

Se coloca la muestra sobre una superficie plana, dura y limpia, para evitar contaminación. Se mezcla el material formando una pila cónica, se aplanada con cuidado hasta que tenga un espesor y un diámetro uniformes. Se divide la pila aplanada en cuatro partes iguales con la pala o la cuchara y se eliminan dos de las partes diagonalmente opuestas, incluyendo todo el material fino cepillando los espacios vacíos para limpiarlos. Se mezcla el material restante y se cuarteo sucesivamente hasta reducir la muestra la tamaño requerido para las pruebas. (Figura 3.4).

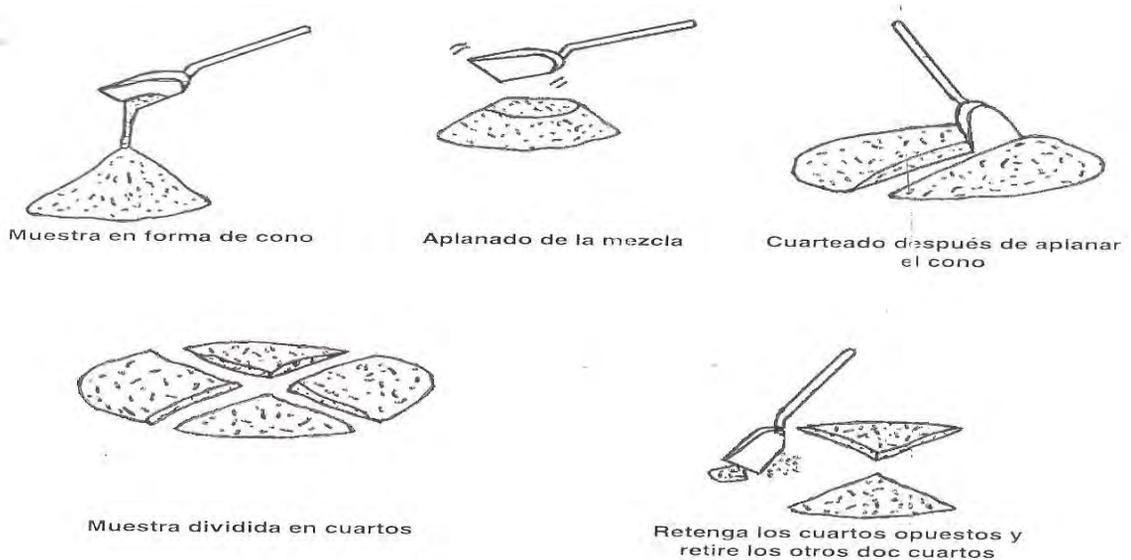


Figura 3.4. Cuarteo manual.

- Las muestras de campo que se reduzcan por el método "B" deben encontrarse húmedas superficialmente de no ser así se deben humedecer y después deben ser remezcladas.
- Para el agregado grueso se debe usar cualquiera de los dos métodos "A" o "B" siendo "A" el más efectivo.

3.4 NORMA NMX-C-077-1997-ONNCCE

Análisis granulométrico

Esta norma mexicana establece el método para el análisis granulométrico de agregados finos y gruesos, con el fin de determinar la distribución de las partículas de diferentes tamaños por medio de cribas.

▪ Término usado para describir la distribución de las partículas que constituyen un agregado fino y grueso (arena y grava).

▪ La determinación de la granulometría nos ayuda a prevenir variaciones en el contenido de agua, en la consistencia y en la trabajabilidad de las mezclas.

Granulometría Integral :

Si disponemos de agregados bien graduados, podemos producir concreto con la máxima resistencia con la menor cantidad de cemento. Esto es posible debido a la reducción de vacíos. (Figuras 3.5 y 3.6).

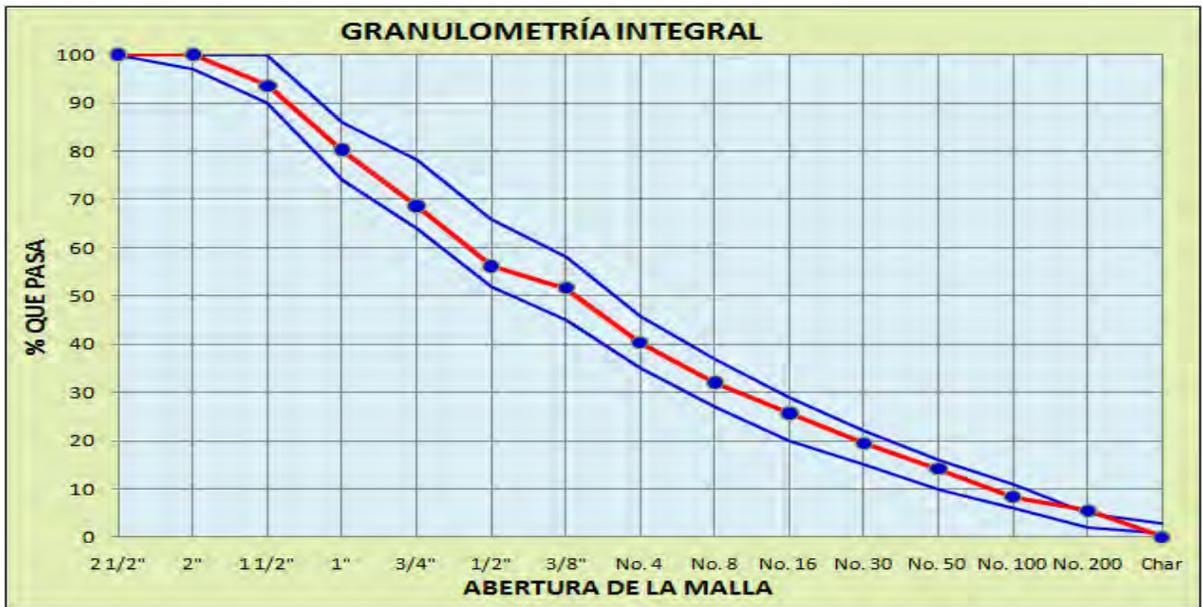
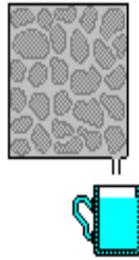
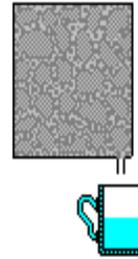


Figura 3.5. Granulometría integral.

Granulometría



Partículas del mismo tamaño producen una gran cantidad de vacíos, que tienen que ser rellenados con pasta de cemento.



Partículas de diferentes tamaños ayudan a llenar los vacíos entre ellas, reduciendo así la cantidad de pasta de cemento.

Figura 3.6. Reducción de vacíos.

3.4.1 procedimiento de análisis granulométrico:

3.4.1.1 Para agregado fino:

Se seca la muestra a masa constante a una temperatura de $383\text{ K} \pm 5\text{ K}$ ($110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$).

Se arman las cribas que van a emplearse en la determinación en orden descendente de aberturas, terminando con la charola (fondo) y se coloca la muestra en la criba superior y se tapa bien. Se agitan las cribas a mano o con un aparato mecánico por un tiempo suficiente, que se establece por experiencia o por comprobación.

Se continúa la criba individual con su charola y tapa bien ajustadas en posición ligeramente inclinada en una mano, se golpea el lado de la criba con rapidez, se le da un movimiento hacia arriba y golpeando con la palma de la otra mano a una frecuencia de 120 por minuto, se gira la criba un sexto de vuelta cada vez que se le dan 25 golpes.

Se determina la masa retenida en cada criba por medio de una balanza o báscula con una aproximación de 0.1 % de la masa de la muestra y se calculan los porcentajes hasta los décimos.

3.4.1.2 Para agregado grueso:

Para este método, se utilizan 3 charolas de tamaño adecuado a la muestra; en la primera se coloca la muestra seca con su masa previamente determinada, sobre la segunda se pone la criba de mayor tamaño a utilizar colocando porciones de la muestra de tal manera que no cubran la malla en más de una capa de partículas y se agita con las manos cuidando visualmente que todas las partículas tengan movimiento sobre la malla. Cuando ya no pase material, el retenido se pasa a la tercer charola y se continua con la siguiente porción en la misma forma hasta cribar toda la muestra.

Se determina la masa del retenido total en esa criba y se registra; se continua con las siguientes cribas en la misma forma hasta la No. 4.75 mm (malla No. 4), la No. 2.36 mm (malla No. 8), según el caso. **(Figura 3.7.)**

3.4.2 Cálculos.

Se calculan los porcentajes basándose en la masa total de la muestra incluyendo el del material que pasó la criba No. 0.075 (malla No. 200).



Figura 3.7. Análisis granulométrico.

3.5 NORMA NMX-C-084-ONNCCE-2006

Partículas + finas que la criba 0.075 mm (No. 200) por medio de lavado.

Esta norma especifica el método de prueba para determinar el contenido de partículas más finas que la criba 0.075 mm (No. 200) por medio de lavado. Las partículas de arcilla y otras que se disgregan por el agua de lavado y las que son solubles en el agua son separadas durante esta prueba.

- Se llama pérdida por lavado a todo aquél material consistente en arcilla, limo y polvo de trituración cuyo tamaño es menor de 0.075 mm (malla No. 200).

La masa del espécimen de prueba, después del secado, debe ser aproximadamente igual a lo especificado en la tabla 3.8.

Tamaño máximo del agregado (mm.) (No.)	Masa (grs.)
2.36 (No.8)	100
4.75 (No.4)	500
9.5 (3/8")	2 000
19.0 (3/4")	2 500
38.0 (1 ½") o Mayores	5 000

Tabla 3.8. Masa del espécimen de prueba.

3.5.1 Procedimiento de lavado

- Secar la muestra a masa constante a una temperatura de $383\text{ K} \pm 5\text{ K}$ ($110 \pm 5^\circ\text{C}$) y determinar su masa con una aproximación de 0.1 %, antes y después del lavado.
- La muestra de agregados se lava por agitación adicionando detergente si se desea y el agua que contienen los materiales disueltos y en suspensión se separa por decantación, pasándola por la criba 0.075 mm (No. 200).
- Se lava hasta que el agua se observe limpia incorporando a la muestra todo el material retenido en la criba. (Figura 3.8).



(Figura 3.8). Pérdida por lavado de agregado para concreto.

La pérdida de masa resultante del tratamiento de lavado se calcula como por ciento de la masa de la muestra original y se informa como el porcentaje del material más fino que la criba 0.075 mm (No. 200) obtenida por lavado.

3.5.2 Cálculos.

La cantidad de material que pasa la criba 0.075 mm (No. 200) por lavado se calcula con la fórmula siguiente:

$$\% \text{ ppl} = \frac{M_o - M_s}{M_s} * 100$$

En donde:

% ppl es el porcentaje del material que pasa la criba 0.075 mm (No. 200) determinado por lavado, en décimas del porcentaje, excepto cuando el resultado sea 10 % o mayor se reporta el porcentaje al número entero más próximo.

M_o es la masa original de la muestra, en gramos.

M_s es la masa de la muestra seca después de lavada, en gramos.

Efectos negativos en el concreto:

1. Aumento en el consumo de agua
2. Disminución de resistencia
3. Aumento de contracción
4. Interferencia en la adherencia entre el agregado y la pasta

3.6 NORMA NMX-C-073-ONNCCE-2004

Masa volumétrica

Esta norma establece el método de prueba para la determinación de la masa volumétrica de los agregados finos y gruesos o de una combinación de ambos, aplicable a agregados cuyo tamaño máximo nominal no excedan de 150 mm.

▪ **Es la masa del material por unidad de volumen, siendo el volumen el ocupado por el material en un recipiente especificado.**

▪ **Su obtención es en esencia útil para saber si cumple con los requisitos de peso unitario del concreto que se va a fabricar con el agregado motivo de la prueba para el diseño y control de las mezclas del concreto.**

▪ Masa seca

El agregado es considerado seco cuando se ha mantenido a una temperatura de $383\text{ K} \pm 5\text{ K}$ ($110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$) durante el tiempo necesario para lograr masa constante. El material se considera seco cuando la diferencia entre dos pesadas sucesivas es igual o menor que 0.1 % de la masa de material.

3.6.1 Procedimiento para determinar la masa volumétrica compacta de un agregado:

Procedimiento de compactación con varilla para agregados que tengan un tamaño máximo nominal de 40 mm o menor.

El recipiente se llena hasta la tercera parte de su volumen, nivelando la superficie con los dedos. El material se compacta con la varilla con 25 penetraciones distribuidas uniformemente sobre la superficie cuidando de no dañar el agregado. Se agrega material hasta dos terceras partes y nuevamente se compacta con 25 penetraciones. Se llena totalmente sobrepasando el borde superior y se vuelve a compactar con 25 penetraciones.

Cuando se trate de agregado fino, se enrasa con el enrasador cortando horizontalmente.

Cuando se trate de agregado grueso se quitan y se ponen partículas manualmente de modo que las salientes sobre la superficie del borde compensen las depresiones por debajo del mismo.

- a) Se determina la masa total del recipiente con el material.
- b) Se calcula la masa neta del material en kg contenida en el recipiente.
- c) La masa volumétrica del material se obtiene multiplicando la masa neta del agregado en kg. por el factor de calibración determinado del recipiente. **(Se maneja como un factor dado).**

3.6.2 Procedimiento para determinar la masa volumétrica suelta de un agregado.

Determinación de masa volumétrica suelta para agregados que tengan un tamaño máximo nominal de 100 mm o menor.

El recipiente se llena hasta que el material sobrepase el borde del mismo sin derramarse, por medio de una pala o cucharón dejando caer el agregado de una altura no mayor de 50 mm sobre el borde distribuyéndolo uniformemente para evitar la segregación.

El enrase se hace de la misma manera que el punto anterior para agregado fino o grueso.

- a) Se determina la masa total del recipiente con el material.
- b) Se calcula la masa neta del agregado en kg contenida en el recipiente
- c) La masa volumétrica del agregado se obtiene multiplicando la masa neta del agregado en kg. por el factor de calibración del recipiente.



Figura 3.9. Peso volumétrico del agregado.

Rangos aproximados de pesos unitarios de los agregados según el tipo de concreto.

Tipo de concreto	Rango aproximado (Kg/m ³).
Pesado	Mayor a 1,700
Peso normal	1,200 a 1,700
Ligero estructural	500 a 1,100
Ligero aislante	100 a 1,100

Tabla 3.9. Fuente Construcción de Pavimentos de Concreto Hidráulico Modulo V. CMIC.

3.7 NORMA NMX-C-165-ONNCCE.

Determinación de la masa específica y absorción de agua del agregado fino.

Esta norma establece el método de prueba para la determinación de la masa aparente y la absorción del agregado fino en la condición saturado y superficialmente seco. Estos datos se emplean para el cálculo y la dosificación del concreto elaborado con cemento hidráulico.

▪ La masa específica o densidad de un material sólido es la razón entre su masa y la masa de un volumen igual de agua.

- La determinación de la masa saturada superficialmente seca es importante para:
- El diseño de mezclas
- El calculo de consumo de materiales / m³.

La humedad de un agregado está compuesta por humedad de saturación (o bien de absorción) y humedad libre o superficial. Para corregir el peso del material al hacer mezclas de concreto, es necesario obtener el porcentaje de humedad contenida además del porcentaje de absorción del agregado.

Los agregados pueden estar en alguno de los cuatro estados siguientes:

- Seco al horno, completamente seco y absorbente.
- Seco al aire, seco en su superficie pero con algo de contenido de humedad, menor que la requerida para saturar las partículas. Algo absorbente.
- Saturado y de superficie seca, que es la condición ideal que debe tener el agregado para que no adicione o absorba agua del concreto.
- Húmedo o mojado, contiene exceso de humedad en la superficie de las partículas.

Para proporcionar mezclas de concreto, todos los cálculos deben basarse en agregado en condición seco saturada (Figura 3.10).



Figura 3.10. Estados de humedad del agregado

- **Masa específica saturada y superficialmente seca (Messs).**

Es la relación de masa a volumen, considerando la masa de las partículas saturadas de agua y superficialmente secas y el volumen sólido de las partículas que incluye los volúmenes de los poros que se encuentran dentro de las mismas.

- **Masa específica aparente seca (Mes)**

Es la relación de masa a volumen considerando la masa de las partículas secas y el volumen sólido de las partículas, que incluyen los volúmenes de los poros dentro de las mismas.

- **Absorción**

Es el incremento en la masa de un agregado seco, cuando es sumergido en agua durante 24 h a temperatura ambiente, el aumento de masa es debido al agua que se introduce en los poros y no incluye el agua adherida a la superficie de las partículas.

Se expresa como por ciento de la masa seca y es índice de la porosidad del material.

A mayor peso específico los agregados tendrán menor absorción.

- **Contenido de humedad**

Es la cantidad de agua que posee una muestra de arena con respecto al peso seco de la muestra. Ésta se lleva a cabo antes de hacer una mezcla de concreto con el fin de hacer los ajustes en el peso de los agregados y en la cantidad de agua de diseño.

- **Equipo:**

- Balanza con una sensibilidad de 0.1 grs.
- Horno de secado y/o fuente indirecta de calor (estufa)
- Picnómetro
- Molde y pisón de mano

3.7.1 Procedimiento de material en condición saturado y superficialmente seco:

- Por el método del cuarteo se toma una muestra de aproximadamente 1 o 2 Kg de material, se coloca en una charola, se seca en el horno a 110°C hasta alcanzar masa constante y se deja enfriar.
- Se sumerge en agua durante 24 horas.
- Se decanta el exceso de agua y se extiende la muestra en una superficie lisa y no absorbente expuesta a una corriente de aire tibio y removiendo con frecuencia hasta alcanzar un secado uniforme.
- Se coloca el material en el molde cónico hasta copetearlo, se consolida con el peso propio del pisón 10 veces sin altura de caída, se llena nuevamente el molde, se compacta 10 veces, nuevamente se llena el molde compactándose 3 veces más y al final se llena y se compacta 2 veces para completar las 25 compactaciones. Si rebasa el borde del molde se enrasa con el pisón.
- Se levante el molde verticalmente debiendo adquirir la forma mostrada para saber que el material se encuentra en condición saturada superficialmente seca (**Figura 3.11**).

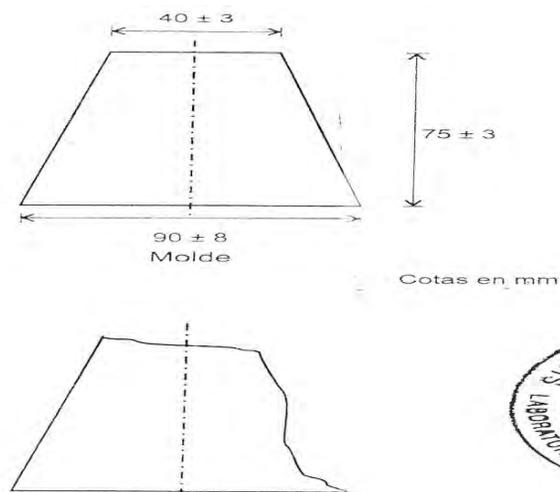


Figura 3.11. Muestra saturada y superficialmente seca después de retirar el molde.

3.7.2 Procedimiento para determinar masa específica saturada y superficialmente seca:

- Se determina la masa del picnómetro lleno con agua hasta su nivel de aforo (Mpa).
- Se determina la masa de un volumen de muestra en condición saturada y superficialmente seca (Msss).
- Ésta se introduce en el picnómetro y se agrega agua en exceso hasta que cubra la muestra, se tapa y se agita para retirar las burbujas de aire, después se llena con agua hasta nivel de aforo, se seca superficialmente y se determina su masa con una aproximación de 0.1 % (Mpamsss).

- Se determina la masa específica saturada y superficialmente seca con la siguiente expresión:

$$Messs = \frac{Msss}{Mpa + Msss - Mpamsss}$$

En donde:

- Messs es la masa específica saturada superficialmente seca en, gr/cm³
- Msss es la masa de la muestra saturada y superficialmente seca, en grs.
- Mpa es la masa del picnómetro lleno con agua, en grs.
- Mpamsss es la masa del picnómetro, agua y muestra, en grs.

3.7.3 Procedimiento para obtención de la absorción:

- Se toma otra muestra en condición saturada y superficialmente seca, se determina su masa (Msss) y se seca a 110 ° C. Se deja enfriar a temperatura ambiente y se determina la masa de la muestra seca (Ms).
- El % de absorción se determina con la siguiente expresión:

$$\% Abs = \frac{Msss - Ms}{Ms} * 100$$

En donde:

- % Abs es el porcentaje de absorción en base a la muestra seca, en por ciento.
- Msss es la masa de la muestra saturada y superficialmente seca, en grs.
- Ms es la masa de la muestra seca, en grs.

3.7.4 Procedimiento para obtención de humedad:

- Se toma una muestra del material en su condición normal, se determina su masa(Mh), se seca a 110 ° C. Se deja enfriar a temperatura ambiente y se determina la masa de la muestra seca (Ms).

$$\% Hum = \frac{Mh}{Ms} * 100$$

En donde:

- % Hum Es el porcentaje de humedad del material, en por ciento %
- Mh Es la masa de la muestra húmeda ,en grs.
- Ms Es la masa de la muestra seca, en grs.

3.8 NORMA NMX-C-164-ONNCCE

Determinación de la masa específica y absorción de agua del agregado grueso.

Esta norma establece el método de prueba para la determinación de la masa específica y la absorción del agregado grueso.

- **Masa específica saturada y superficialmente seca (Messs)**

Es la relación de masa a volumen, considerando la masa de las partículas saturadas de agua y superficialmente secas y el volumen de las partículas que incluye los volúmenes de los poros que se encuentran dentro de las mismas.

El material se considera saturado y superficialmente seco cuando al retirarse del picnómetro se seca con una tela húmeda y las partículas pierden el brillo acuoso.

- **Masa específica aparente seca (Mes)**

Es la relación de masa a volumen considerando la masa de las partículas secas y el volumen sólido de las partículas, que incluyen los volúmenes de los poros dentro de las mismas.

- **Absorción**

Es el incremento en la masa de un agregado seco, cuando es sumergido en agua durante 24 h a temperatura ambiente, el aumento de masa es debido al agua que se introduce en los poros y no incluye el agua adherida a la superficie de las partículas.

Se expresa como por ciento de la masa seca y es índice de la porosidad del material.

- **Masa seca (Ms)**

El agregado es considerado seco cuando se ha mantenido a una temperatura de $383\text{ K} \pm 5\text{ K}$ ($110\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$) durante el tiempo necesario para lograr la masa constante. El material se considera seco cuando la diferencia entre dos pesadas sucesivas es igual o menor que 0.1 % de la masa del material.

El tamaño de la muestra necesario para la prueba se menciona en la tabla 3.10.

- **Contenido de humedad (% Humedad)**

Se procede como en 3.7.4.

Tamaño máximo nominal en mm.	Masa mínima de la muestra de prueba en kg.	Tamaño máximo nominal en mm.	Masa mínima de la muestra de prueba en kg.
13	2	76	18
20	3	90	25
25	4	100	40
40	5	112	50
50	8	125	75
64	12	150	125

Tabla 3.10. Tamaño mínimo de la muestra.

Equipo:

- Balanza y/o báscula con una aproximación de 0.1 % de la masa por utilizar
- Criba del No. 4
- Horno y/o fuente indirecta de calor (estufa)
- Picnómetro de sifón
- Probeta graduada

3.8.1 Procedimiento de material en condición saturado y superficialmente seco:

- Se toma una muestra de acuerdo a la tabla 09, se lava todo el material sobre la criba 4.75 mm (No. 4) para eliminar los tamaños menores y polvo. Se seca a masa constante a 110 °C y se deja enfriar a temperatura ambiente.
- Se sumerge en agua durante 24 horas.
- Se decanta el agua, se secan las partículas superficialmente con una tela húmeda hasta que pierdan el brillo acuoso, con lo que el material queda saturado y superficialmente seco.

3.8.2 Procedimiento para determinar masa específica saturada y superficialmente seca:

- Se determina la masa de una fracción de la muestra preparada en condición saturada y superficialmente seca (M_{ss}).
- Se llena con agua a 22 °C el picnómetro tipo sifón dejando que fluya el agua hasta que deje de gotear.

- Se tapa la salida del sifón y se introduce la muestra poco a poco evitando que arrastre burbujas de aire. Cuando la superficie libre del agua quede en reposo, se destapa el sifón y se recibe el agua en una probeta graduada, se mide su volumen o se determina su masa (V_{ad}).
- Con la expresión mostrada a continuación se determina la masa específica saturada y seca.

$$M_{esss} = \frac{M_{sss}}{V_{ad}}$$

En donde:

M_{esss} es la masa específica saturada y superficialmente seca en Kg/cm^3 .

M_{sss} es la masa de la muestra saturada y superficialmente seca en Kg

V_{ad} es el volumen de la masa del agua desalojada en ml

3.8.3 Procedimiento para obtención de la absorción:

- Se toma otra muestra del material en estado saturado y superficialmente seco, y se determina su masa (M_{sss}); posteriormente se seca a masa constante a 110°C , se enfría a temperatura ambiente y se determina su masa (M_s).

$$\% Abs = \frac{M_{sss} - M_s}{M_s} * 100$$

En donde:

$\% Abs$ es la absorción expresada en por ciento de la masa seca.

M_{sss} es la masa de la muestra en estado saturado y superficialmente seco, en Kg.

M_s es la masa de la muestra seca en Kg.

4. PRUEBAS DE LABORATORIO

Para analizar las propiedades físicas de los agregados se realizaron las pruebas de granulometría, masa volumétrica suelta y compacta, absorción, densidad y pérdida por lavado.

Las pruebas físicas se realizaron en el laboratorio de una planta de concreto premezclado elaborado mediante un sistema de dosificación automatizado y que suministra concreto hidráulico para la construcción de vivienda de interés social y tipos semi-residencial y residencial, además de instalaciones integrales como:

La construcción de escuelas (Jardines de Niños, Secundarias, Preparatorias)
Centros de Salud
Zonas Deportivas
Tanques de Tormenta y
Centros Comerciales en el Municipio de Tecámac, Estado de México.

Tabulación y análisis de resultados.

En esta parte se muestran los resultados de las pruebas de laboratorio en base al marco teórico.

El punto 4.1 Agregado fino (andesita) del Banco La Lupita de Ixtapaluca.

El punto 4.2 Agregado fino (andesita) del Banco La Magdalena de Ixtapaluca.

El punto 4.3 Agregado grueso (andesita) del Banco La Lupita de Ixtapaluca.

El punto 4.4 Agregado grueso (caliza) del Banco Cerro Blanco de Apaxco.

4.1 Agregado fino (andesita) del banco La Lupita de Ixtapaluca, Estado de México.

4.1.1 Granulometría y curva granulométrica.

CRIBA	PESO DEL MATERIAL	RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
No.	Grs.	%	%	%
3/8"				100
No. 4	99.1	9.2	9.2	90.8
No.8	226.3	21.1	30.3	69.7
No. 16	171.1	16.0	46.3	53.7
No. 30	129.2	12.0	58.3	41.7
No. 50	120.6	11.2	69.5	30.5
No. 100	106.7	10.0	79.5	20.5
No. 200	110.6	10.3	89.8	10.2
CHAROLA	109.9	10.2	100.0	0.0
SUMA	1,073.5	100.0	100.0	0.0
	Módulo de finura		2.93 %	

Tabla 4.1. Granulometría del agregado fino del banco La Lupita.

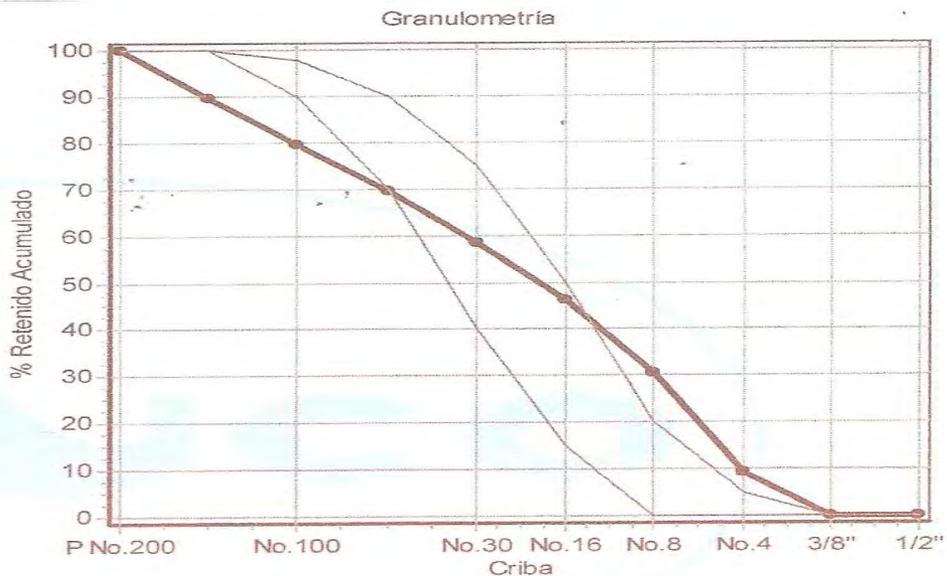


Figura 4.1. Curva granulométrica.

4.1.2 Masa volumétrica suelta y compacta.

	MVSS (Kg/m ³)	MVSS (Kg/m ³)	MVSC (Kg/m ³)	MVSC (Kg/m ³)
No.	1	2	1	2
Masa + tara	11300 (kg.)	11200 (Kg.)	11900 (Kg.)	12000 (kg.)
Tara	3300 (kg.)	3300 (Kg.)	3300 (Kg.)	3300 (kg.)
Masa neta	8000 (kg.)	7900 (Kg.)	8600 (Kg.)	8700 (kg.)
Factor calib.	0.1993 (m ³)	0.1993 (m ³)	0.1993 (m ³)	0.1993 (m ³)
Masa volum.	1,594	1,574	1,714	1,734
	PROMEDIO	1,584 (Kg/m³)	PROMEDIO	1,724 (kg/m³)

Tabla 4.2. Tabla de masa volumétrica suelta y compacta.

4.1.3 Absorción, densidad y pérdida por lavado.

ABSORCIÓN		DENSIDAD	
Msss	500 (grs.)	Msss	500 (grs.)
Masa seca (Ms)	481.9 (grs.)	Mpa	1,529 (grs.)
Agua	18.1 (grs.)	Mpamsss	2,233.5 (grs.)
Absorción	3.75 (%)	Messs (Densidad)	2.44 (gr/cm³)
PÉRDIDA POR LAVADO			
Masa original (Mo)			1,073.5 (grs.)
Masa seca (Ms)			963.6 (grs.)
Diferencia			109.9 (grs.)
Pérdida por lavado (ppl)			10.23 (%)

Tabla 4.3. Tabla de absorción, densidad y pérdida por lavado.

Masa Volumétrica Seca Suelta:	1,584 (Kg/m ³)
Masa Volumétrica Seca Compacta:	1,724 (Kg/m ³)
Absorción:	3.75 (%)
Densidad:	2.44 (Gr/cm ³)
Grava en Arena:	9.2 (%)
Pérdida por lavado:	11.00 (%)
Módulo de Finura:	2.93 (%)

Tabla 4.4. Tabla de características físicas.

4.2 Agregado fino (andesita) del banco La Magdalena de Ixtapaluca, Estado de México.

4.2.1 Granulometría y curva granulométrica

CRIBA	PESO DEL MATERIAL	RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA
No.	Grs.	%	%	%
3/8"				100
No. 4	106.9	6.2	6.2	93.8
No.8	275.6	16.0	22.2	77.8
No. 16	283.5	16.5	38.7	61.3
No. 30	255.2	14.9	53.6	46.4
No. 50	249.1	14.5	68.1	31.9
No. 100	204.0	11.9	80.0	20.0
No. 200	185.2	10.8	90.8	9.2
CHAROLA	158.5	9.2	100.0	0.0
SUMA	1,718.0	100.0	100.0	0.0
Módulo de finura			2.68 %	

Tabla 4.5. Granulometría del agregado fino del banco La Magdalena.

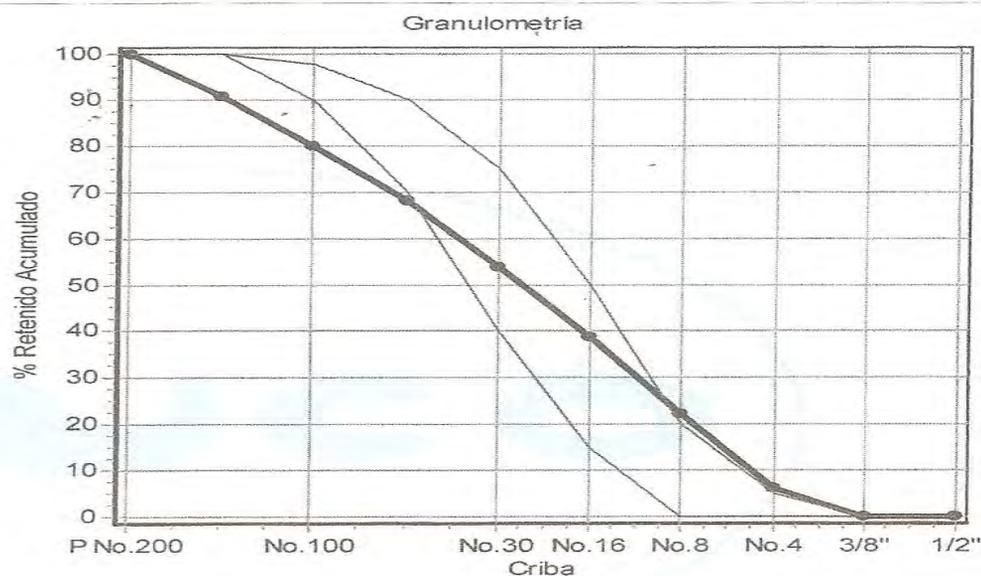


Figura 4.2. Curva granulométrica.

4.2.2 Masa volumétrica suelta y compacta.

	MVSS (Kg/m ³)	MVSS (Kg/m ³)	MVSC (Kg/m ³)	MVSC (Kg/m ³)
No.	1	2	1	2
Masa + tara	10900 (Kg.)	10800 (kg.)	11700 (Kg.)	11800 (kg.)
Tara	3300 (Kg.)	3300 (Kg.)	3300 (Kg.)	3300 (Kg.)
Masa neta	7600 (Kg.)	7500 (Kg.)	8400 (Kg.)	8500 (Kg.)
Factor calib.	0.1993 (m ³)	0.1993 (m ³)	0.1993 (m ³)	0.1993 (m ³)
Masa volum.	1515	1495	1674	1694
	PROMEDIO	1,505 (Kg/m³)	PROMEDIO	1,684 (Kg/m³)

Tabla 4.6. Tabla de masa volumétrica suelta y compacta.

4.2.3 Absorción, densidad y pérdida por lavado.

ABSORCIÓN		DENSIDAD	
Msss	500 (grs.)	Msss	500 (grs.)
Masa seca (Ms)	486.2 (grs.)	Mpa	1,527.1 (grs.)
Agua	13.8 (grs.)	Mpamsss	2,228.2 (grs.)
Absorción	2.84 (%)	Messs (Densidad)	2.48 (gr/cm³)
PÉRDIDA POR LAVADO			
Masa original (Mo)	1,718 (grs.)		
Masa seca (Ms)	1,559.5 (grs.)		
Diferencia	158.5 (grs.)		
Pérdida por lavado (ppl)	9.22 (%)		

Tabla 4.7. Absorción, densidad y pérdida por lavado.

Masa Volumétrica Seca Suelta:	1,505 (Kg/m ³)
Masa Volumétrica Seca Compacta:	1,684 (Kg/m ³)
Absorción:	2.84 (%)
Densidad:	2.48 (Gr/cm ³)
Grava en Arena:	6.2 (%)
Pérdida por lavado:	9.22 (%)
Módulo de Finura:	2.68 (%)

Tabla 4.8. Tabla de Características físicas.

4.3 Agregado grueso (andesita) del banco La Lupita de Ixtapaluca, Estado de México.

4.3.1 Granulometría y curva granulométrica

CRIBA	PESO DEL MATERIAL	RETENIDO PARCIAL	RETENIDO ACUMULADO	QUE PASA
No.	Grs.	%	%	%
2"				
1 1/2"				100
1"	210.0	5.6	5.6	94.4
3/4"	850.0	22.7	28.3	71.7
1/2"	1170.0	31.2	59.5	40.5
3/8"	800.0	21.3	80.8	19.2
No. 4	600.0	16.0	96.8	3.2
No. 8	60.0	1.6	98.4	1.6
No. 16	10.0	0.3	98.7	1.3
CHAROLA	50.0	1.3	100.0	0
SUMA	3,750	100.0	100.0	0

Tabla 4.9. Tabla de granulometría del agregado grueso del banco La Lupita.

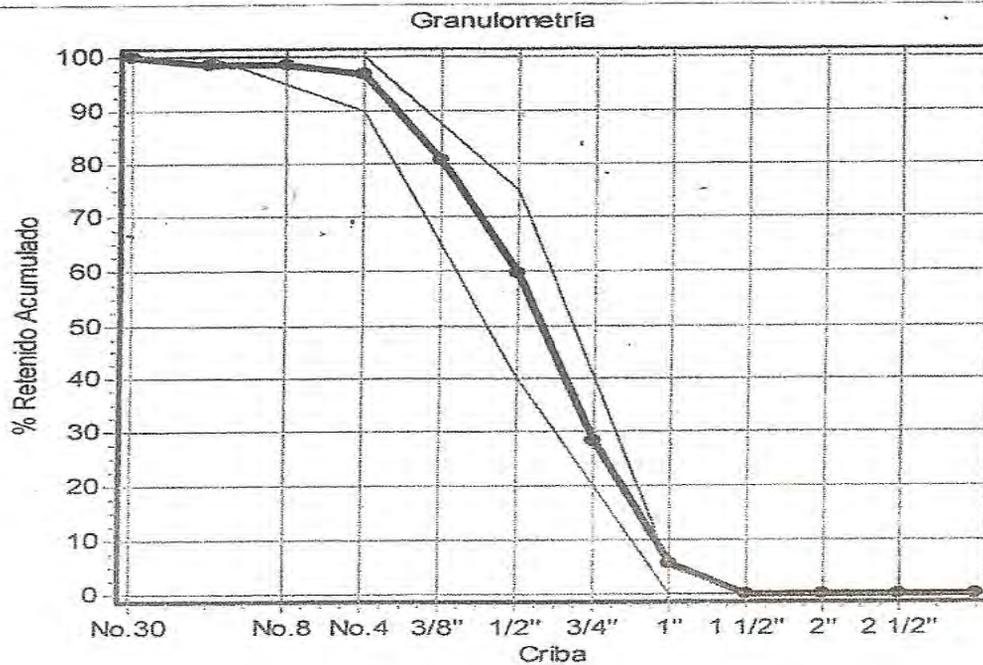


Figura 4.3. Curva granulométrica.

4.3.2 Masa volumétrica suelta y compacta.

	MVSS (Kg/m ³)	MVSS (Kg/m ³)	MVSC (Kg/m ³)	MVSC (Kg/m ³)
No.	1	2	1	2
Masa + tara	26300 (Kg.)	26200 (Kg.)	27800 (Kg.)	27900 (Kg.)
Tara	6250 (Kg.)	6250 (Kg.)	6250 (Kg.)	6250 (Kg.)
Masa neta	20050 (Kg.)	19950 (Kg.)	21550 (Kg.)	21650 (Kg.)
Factor calib.	0.0679 (m ³)	0.0679 (m ³)	0.0679 (m ³)	0.0679 (m ³)
Masa volum.	1361	1355	1463	1470
	PROMEDIO	1,358 (Kg/m³)	PROMEDIO	1,467 (Kg/m³)

Tabla 4.10. Tabla de masa volumétrica suelta y compacta.

4.3.3 Absorción y densidad.

ABSORCIÓN		DENSIDAD	
Msss	1000 (grs.)	Msss	1000 (grs.)
Masa seca (Ms)	935.4 (grs.)	Vad	430 (grs.)
Agua	64.6 (grs.)	Messs (Densidad)	2.33 (gr/cm³)
Absorción	6.90 (%)		
Pérdida por lavado	0.80 (%)	Arena en grava	3.2 (%)
		Módulo de finura	7.71 (%)

Tabla 4.11. Tabla de absorción y densidad.

Masa Volumétrica Seca Suelta:	1,358 (Kg/m ³)
Masa Volumétrica Seca Compacta:	1,467 (Kg/m ³)
Absorción:	6.91 (%)
Densidad:	2.33 (Gr/cm ³)
Arena en grava:	3.2 (%)

Tabla 4.12. Tabla de características físicas.

4.4 Agregado grueso (caliza) del banco Cerro Blanco de Apaxco, Estado de México.

4.4.1 Granulometría y curva granulométrica

CRIBA	RETENIDO PARCIAL Grs.	RETENIDO PARCIAL %	RETENIDO ACUMULADO %	QUE PASA %
No.	Grs.	%	%	%
2"				
1 ½"				100
1"	80.0	1.5	1.5	98.5
¾"	530.0	10.0	11.5	88.5
½"	1620.0	30.7	42.2	57.8
3/8"	1450.0	27.5	69.7	30.3
No. 4	1300.0	24.6	94.3	5.7
No. 8	200.0	3.8	98.1	1.9
No. 16	20.0	0.4	98.5	1.5
CHAROLA	80.0	1.5	100.0	0
SUMA	5,280	100.0	100.0	0

Tabla 4.13. Tabla de granulometría del agregado grueso del banco Cerro Blanco.

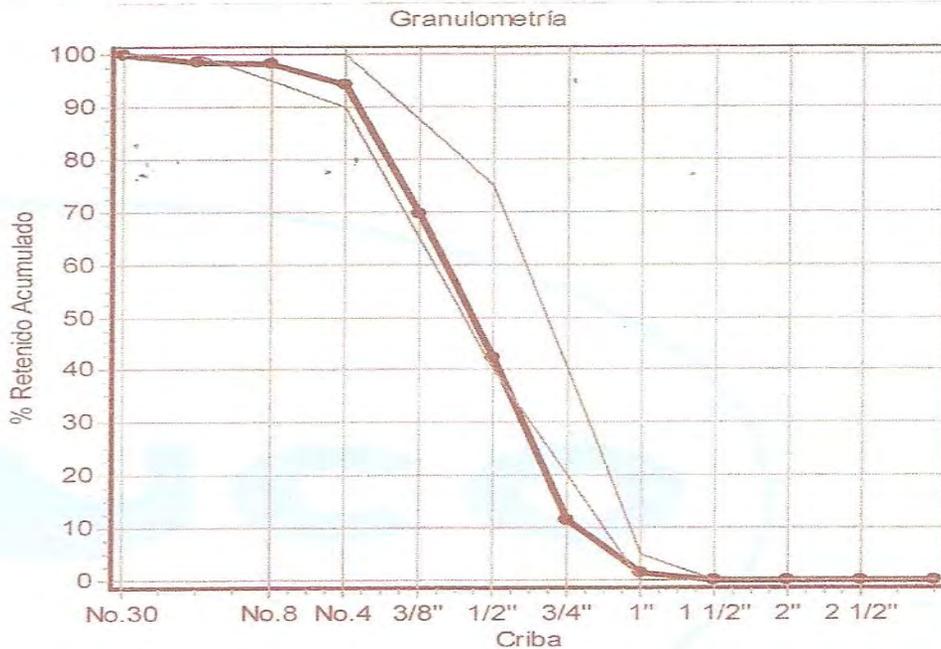


Figura 4.4. Curva Granulométrica.

4.4.2 Masa volumétrica suelta y compacta.

	MVSS (Kg/m ³)	MVSS (Kg/m ³)	MVSC (Kg/m ³)	MVSC (Kg/m ³)
No.	1	2	1	2
Masa + tara	27700 (Kg.)	27800 (Kg.)	30200 (Kg.)	30300 (Kg.)
Tara	6250 (Kg.)	6250 (Kg.)	6250 (Kg.)	6250 (Kg.)
Masa neta	21450 (Kg.)	21550 (Kg.)	23950 (Kg.)	24050 (Kg.)
Factor calib.	0.0679 (m ³)	0.0679 (m ³)	0.0679 (m ³)	0.0679 (m ³)
Masa volum.	1456	1463	1626	1633
	PROMEDIO	1,460 (Kg/m³)	PROMEDIO	1,630 (Kg/m³)

Tabla 4.14. Tabla de masa volumétrica suelta y compacta.

4.4.3 Absorción y densidad.

ABSORCIÓN		DENSIDAD	
Msss	1000 (grs.)	Msss	1000 (grs.)
Masa seca (Ms)	992.3 (grs.)	Vad	370 (grs.)
Agua	7.7 (grs.)	Messs (Densidad)	2.70 (Gr/cm³)
Absorción	0.77 (%)		
Pérdida por lavado	0.94 (%)	Arena en grava	5.7 (%)
		Módulo de finura	7.19 (%)

Tabla 4.15. Tabla de absorción y densidad.

Masa Volumétrica Suelta:	1,460 (Kg/m ³)
Masa Volumétrica Compacta:	1,630 (Kg/m ³)
Absorción:	0.78 (%)
Densidad:	2.70 (Gr/cm ³)
Arena en Grava:	5.7 (%)

Tabla 4.16. Tabla de características físicas.

4.5 Análisis de resultados.

4.5.1 Agregado fino (andesita) del banco La Lupita.

En el estudio granulométrico se observa discontinuidad en el material, cumpliendo solo en las mallas No. 16, 30 y 50, observándose mas grueso en las mallas No. 4 y No. 8 y mas fino después de la malla No. 100.

El módulo de finura nos indica que se encuentra dentro de los limites con una clasificación de agregado medio grueso.

El porcentaje que pasa la malla No. 200 con un 10 % sobrepasa el limite especificado.

La masa volumétrica nos indica estar dentro de los limites.

4.5.2 Agregado fino (andesita) del banco La Magdalena.

Presenta un comportamiento de discontinuidad similar al agregado del banco La Lupita, teniendo menos grueso en las mallas Nos. 4 y 8, pero presentando mas finos a partir de la malla No. 50.

El módulo de finura nos indica una clasificación media encontrándose dentro de los limites.

El porcentaje que pasa la malla No. 200 con un 9 % sobrepasa el limite especificado.

La masa volumétrica se maneja dentro los limites para un agregado para concreto normal.

4.5.3 Agregado grueso (andesita) del banco La Lupita.

Se observa una granulometría mas integral en este agregado grueso, cumpliendo en todas las mallas.

La masa volumétrica se encuentra dentro de lo especificado.

4.5.4 Agregado grueso (caliza) del banco Cerro Blanco.

En la malla No. $\frac{3}{4}$ se nota ligeramente mas delgado, pero cumpliendo en el resto de las mallas.

La masa volumétrica cumple con los limites establecidos para un concreto normal.

5.0 VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO HIDRÁULICO CON AGREGADOS DE LOS BANCOS SELECCIONADOS.

Después de haber realizado los estudios físicos de agregados, se lleva a cabo la elaboración de mezclas de concreto para la construcción de vivienda tomando las muestras correspondientes para comprobar su desempeño real como lo establecen las normas.

5.1 Ensayo de concreto a compresión.

Este ensayo se aplicó a los siguientes elementos dosificados con agregados de arena y grava andesita mostrando los resultados en las tablas siguientes:

5.1.1 Para el diseño de 200 N 2014 de Losa de Cimentación:

Peso de grava andesita $\frac{3}{4}$: 750 kg
 Peso de arena: 990 kg
 Peso cemento: 210 Kg
 Peso de agua : 135 Lt.

Se toman las muestras para la masa unitaria, el rendimiento volumétrico y revenimiento.

1.Volumen de la mezcla(teórico). 8.0 m ³	2. Peso del recipiente y muestra. 39,200 kg	3. Peso del recipiente. 7,100 kg	4. Peso de la muestra(2-3). 32,100 kg
5. Factor del recipiente. 0.0665 m ³	6. Masa unitaria del concreto (4*5). 2,134 kg/m ³	7. Masa del cemento. 1,690 kg	8. Masa de la grava. 5,990 kg
9. Masa de la arena. 7,915 kg	10. Masa del agua. 1,547 kg	11. Masa total de los materiales. 17,142 kg	12. Volumen real de la masa(11/6). 8.03 m ³
13. Rendimiento volumétrico (12/1) * 100. 100.41 %	14. Masa total kg/ m ³ . 2,085 kg/m ³	15. Rendimiento volumétrico teórico (14/6) *100. 97.70 %	Aspecto de la mezcla: Grava 43% Arena 57%
Revenimiento cms 15			

Tabla 5.1. Masa unitaria y rendimiento volumétrico.

Se realiza después el ensayo de cilindros en los días que señala la norma indicando los resultados en la tabla siguiente:

Diseño	Elemento	No. Muestra	Edad (días)	Peso (kgs)	Área (cms ²)	Carga (kgs)	F'c (Kg/Cm ²)
200 N 20 14	Losa Cimentación	48229	3	11.400	176.71	21,540	122
			12	11.400	176.71	37,760	214
			28	11.450	176.71	45,710	259
			28	11.400	176.71	46,400	263

Tabla 5.2. Verificación de la resistencia mecánica del concreto.

Como se pueden apreciar los siguientes datos:

- **Masa unitaria:** **2,134 kg/m³**
- **Rendimiento volumétrico:** **100.41 %**
- **Revenimiento:** **15 cms.**
- y los datos de diseño en ensaye se encuentran dentro de lo solicitado.

5.1.2 Para el diseño de 150 N 2014 para Obra Exterior:

Peso de grava andesita 3/4":	780 Kg.
Peso de arena:	965 Kg.
Peso del cemento:	175 Kg.
Peso de agua:	135 Lt.

Se toman las muestras para la masa unitaria, rendimiento volumétrico y revenimiento.

1. Volumen de la mezcla (teórico).	2. Peso del recipiente y muestra.	3. Peso del recipiente.	4. Peso de la muestra (2-3).
5.0 m ³	38,700 kg	7,100 kg	31,600 kg
5. Volumen del recipiente.	6. Masa unitaria del concreto (4*5).	7. Masa del cemento.	8. Masa de la grava.
0.0665 m ³	2,101 kg/m ³	872 kg	3,885 kg
9. Masa de la arena.	10. Masa del agua.	11. Masa total de los materiales.	12. Volumen real de la masa (11/6).
4,780 kg	946 kg	10,483 kg	4.99 m ³
13. Rendimiento volumétrico (12/1) * 100.	14. Masa total kg/ m ³ .	15. Rendimiento volumétrico teórico (14/6) * 100.	Aspecto de la mezcla: Grava 45% Arena 55%
99.79 %	2,055 kg/m ³	97.81 %	
Revenimiento cms			
15			

Tabla 5.3. Tabla de masa unitaria y rendimiento volumétrico.

Para los datos del ensayo de cilindros obtenemos lo siguiente:

Diseño	Elemento	No. Muestra	Edad (días)	Peso (kgs)	Área (cms ²)	Carga (kgs)	F'c (Kg/Cm ²)
150 N 20 14	Obra Exterior	48235	3	11.350	176.71	15,600	88
			12	11.350	176.71	26,670	151
			28	11.400	176.71	38,560	218
			28	11.400	176.71	37,640	213

Tabla 5.4. Verificación de la resistencia mecánica del concreto.

- **Masa unitaria:** **2,101 Kg/m³**
- **Rendimiento volumétrico:** **99.79 %**
- **Revenimiento:** **15 cms**

5.1.3 Para el diseño de 150 N 2018 para Muros:

Peso de grava andesita 3/4":	730 Kg.
Peso de arena:	990 Kg.
Peso del cemento:	195 Kg.
Peso de agua:	142 Lt.

Se toman las muestras para la masa unitaria, rendimiento volumétrico y revenimiento.

1. Volumen de la mezcla (teórico).	2. Peso del recipiente y muestra.	3. Peso del recipiente.	4. Peso de la muestra (2-3).
7.50 m ³	38,700 kg	7,100 kg	31,600 kg
5. Volumen del recipiente.	6. Masa unitaria del concreto (4*5).	7. Masa del cemento.	8. Masa de la grava.
0.0665 m ³	2,101 kg/m ³	1,458 kg	5,485 kg
9. Masa de la arena.	10. Masa del agua.	11. Masa total de los materiales.	12. Volumen real de la masa (11/6).
7,435 kg	1,510 kg	15,888 kg	7.56 m ³
13. Rendimiento volumétrico (12/1) * 100.	14. Masa total kg/ m ³ .	15. Rendimiento volumétrico teórico (14/6) * 100.	Aspecto de la mezcla:
100.82 %	2,057 kg/m ³	97.90 %	Grava 42% Arena 58%
Revenimiento cms			
18			

Tabla 5.5. Tabla de masa unitaria y rendimiento volumétrico.

Para los datos del ensaye de cilindros obtenemos lo siguiente:

Diseño	Elemento	No. Muestra	Edad (días)	Peso (kgs)	Área (cms ²)	Carga (kgs)	F'c (Kg/Cm ²)
150 N 20 14	Muro	48236	3	11.350	176.71	15,590	88
			12	11.350	176.71	26,600	151
			28	11.350	176.71	36,500	207
			28	11.400	176.71	37,570	213

TABLA 5.6. Verificación de la resistencia mecánica.

- Masa unitaria : **2,101 Kg/m³**
- Rendimiento volumétrico: **100.82 %**
- Revenimiento: **18 cms**

5.1.4 Para el diseño de 250 R 20 14 para Losa Estructural:

Peso de grava caliza ¾": 895 Kg.
 Peso de arena: 865 Kg.
 Peso del cemento: 307 Kg.
 Peso de agua: 135 Lt.

Se toman las muestras para la masa unitaria, rendimiento volumétrico y revenimiento.

1. Volumen de la mezcla (teórico). 7.50 m ³	2. Peso del recipiente y muestra. 40,600 kg	3. Peso del recipiente. 7,100 kg	4. Peso de la muestra (2-3). 33,500 kg
5. Volumen del recipiente. 0.0665 m ³	6. Masa unitaria del concreto (4*5). 2,227 kg/m ³	7. Masa del cemento. 2,294 kg	8. Masa de la grava. 6,685 kg
9. Masa de la arena. 6,455 kg	10. Masa del agua. 1,389 kg	11. Masa total de los materiales. 16,823 kg	12. Volumen real de la masa (11/6). 7.55 m ³
13. Rendimiento volumétrico (12/1) * 100. 100.72 %	14. Masa total kg/m ³ . 2,202 kg/m ³	15. Rendimiento volumétrico teórico (14/6) * 100. 98.87 %	Aspecto de la mezcla: Grava 51% Arena 49%
Revenimiento cms 15			

Tabla 5.7. Masa unitaria y rendimiento volumétrico.

Para los datos del ensayo de cilindros obtenemos lo siguiente:

Diseño	Elemento	No. Muestra	Edad (días)	Peso (kgs)	Área (cms ²)	Carga (kgs)	F'c (Kg/Cm ²)
250 R 20 12	Losa Estructural	48245	3	12.100	176.71	38,100	216
			7	12.100	176.71	51,090	289
			14	12.100	176.71	55,920	316
			14	12.100	176.71	55,100	312

Tabla 5.8. Verificación de la resistencia mecánica.

- **Masa unitaria:** 2,227 Kg/m³
- **Rendimiento volumétrico:** 100.72 %
- **Revenimiento:** 15 cms

5.1.5 Para el diseño de 200 R 20 14 para Losas:

Peso de grava andesita ¾":	760 Kg.
Peso de arena:	970 Kg.
Peso del cemento:	225 Kg.
Peso de agua:	135 Lt.

Se toman las muestras para la masa unitaria, rendimiento volumétrico y revenimiento.

1. Volumen de la mezcla (teórico).	2. Peso del recipiente y muestra.	3. Peso del recipiente.	4. Peso de la muestra (2-3).
6.75 m ³	39,300 kg	7,100 kg	32,200 kg
5. Volumen del recipiente.	6. Masa unitaria del concreto (4*5).	7. Masa del cemento.	8. Masa de la grava.
0.0665 m ³	2,141 kg/m ³	1,522 kg	5,180 kg
9. Masa de la arena.	10. Masa del agua.	11. Masa total de los materiales.	12. Volumen real de la masa (11/6).
6,475 kg	1,347 kg	14,524 kg	6.78 m ³
13. Rendimiento volumétrico (12/1) * 100.	14. Masa total kg/ m ³ .	15. Rendimiento volumétrico teórico (14/6) * 100.	Aspecto de la mezcla:
100.49 %	2,090 kg/m ³	97.61 %	Grava 44% Arena 56%
Revenimiento cms			
15			

Tabla 5.9. Masa unitaria y rendimiento volumétrico.

Para los datos del ensaye de cilindros obtenemos lo siguiente:

Diseño	Elemento	No. Muestra	Edad (días)	Peso (kgs)	Área (cms ²)	Carga (kgs)	F'c (Kg/Cm ²)
200 N 20 14	Muro	48246	3	11.500	176.71	29,610	167
			7	11.500	176.71	37,960	215
			14	11.500	176.71	42,940	243
			14	11.500	176.71	41,640	236

Tabla 5.10. Verificación de la resistencia mecánica del concreto.

- **Masa unitaria:** **2,141 Kg/m³**
- **Rendimiento volumétrico:** **100.49 %**
- **Revenimiento:** **15 cms**

5.2 Procedimiento de diseño de mezcla de concreto hidráulico (Método ACI 211.1), tomando las características físicas de los materiales estudiados conforme a las Normas NMX.

Concreto **$F'_c = 250RR2014$** losa estructural de una escuela en un conjunto habitacional de la zona Metropolitana de la Cd. de México, se usará un aditivo reductor de agua al 6%, se colocará con bomba, edad compromiso a 14 días.

Características físicas de los agregados:

▪ Densidad del cemento	3.00	gr/cm ³
▪ Tamaño máximo de grava	19	mm
▪ Densidad de grava caliza ¾	2.70	gr/cm ³
▪ Absorción de grava caliza ¾	0.77	%
▪ Humedad de grava caliza ¾	1.0	%
▪ PVSC grava caliza ¾	1,629	kg/m ³
▪ Densidad de arena andesita	2.44	gr/cm ³
▪ Absorción de arena	3.75	%
▪ Humedad de arena	8.0	%
▪ Módulo de Finura de arena	2.93	%

Procedimiento de cálculo:

1. Selección del revenimiento

Cuando no se especifica, se selecciona de la tabla 6.3.1. Para nuestro caso es de 14 cms.

Tabla 6.3.1 Revenimientos recomendados para diversos tipos de construcción.		
Tipos de construcción	Revenimiento, cms.	
	Máximo	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas	7.5	2.5
Zapatas, cajones de cimentación y muros de sub-estructura sencillos	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados	10	2.5
Columnas para edificios	10	2.5
Pavimentos y losas	7.5	2.5
Concreto masivo	7.5	2.5

2. Selección del tamaño máximo del agregado

El tamaño máximo del agregado no debe exceder (ACI - 318):

- 1/5 de la separación menor entre los lados de la cimbra, ni de
- 1/3 del peralte de la losa, ni de
- ¾ de la separación libre mínima entre varillas o alambres de refuerzo individuales, paquetes de varilla, cables individuales, cables en paquete o ductos.

Si el concreto se coloca por medio de bomba, no debe exceder (ACI – 304):

- **1/3 del diámetro interior de la tubería, para agregados triturados angulosos**
- **2/5 del diámetro interior de la tubería, para agregados bien redondeados**

Para nuestro caso tomaremos 19 mm.

3. Agua de mezclado y contenido de aire

Tabla 6.3.3 Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregados.								
Revenimiento en cms.	Agua, Kg/m ³ para el concreto de agregado de tamaño nominal máximo (mm) indicado.							
	9.5	12.5	19	25	38	50	75	150
2.5 a 5	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
15 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	----
Cantidad aproximada de aire en concreto, sin aire incluido, %.	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

* Éstas cantidades de agua de mezclado son para usarse en el cálculo de contenido de cemento para mezclas de prueba a una temperatura de 20 a 25 ° C.

* Son cantidades máximas para agregados gruesos angulosos, razonablemente bien formados y con granulometría dentro de los límites aceptados por las especificaciones.

* El empleo de aditivos químicos reductores de agua, que cumple ASTM C 494, pueden también reducir el agua de mezclado en un 5 % o más.

* Para revenimientos mayores de 18 cm y TMA < 25 mm es necesario emplear aditivos químicos reductores de agua.

* Los valores de revenimiento para concreto con agregado < 40 mm están basados en pruebas de revenimiento, después de quitar las partículas < 40 mm, mediante cribado húmedo.

De la tabla 6.3.3 se estima un contenido de agua para el revenimiento y tamaño máximo del agregado especificados de 214 lts/m³.

- Como se usará un aditivo reductor de agua del 6 %, tenemos entonces:

$$\text{Agua de mezclado} = 214 - (214 * 0.06) = 214 - 12.84 = \mathbf{201 \text{ lts/m}^3}.$$

De la misma tabla se estima el contenido de aire en el concreto del **2.0 %**.

4. Selección de la relación agua / cemento

Tabla 9.3 Dependencia entre la relación agua-material cementante y la resistencia a la compresión del concreto.		
Resistencia a compresión a los 28 días, Kg/cm ² (MPa)	Relación agua-material cementante en masa	
	Concreto sin aire incluido	Concreto con aire incluido
450 (45)	0.38	0.31
400 (40)	0.43	0.34
350 (35)	0.48	0.40
300 (30)	0.55	0.46
250 (25)	0.62	0.53
200 (20)	0.70	0.61
150 (15)	0.80	0.72

* La resistencia se basa en cilindros sometidos al curado húmedo durante 28 días, de acuerdo con ASTM C 31.

- De acuerdo a la tabla 9.3 y a la especificación de la resistencia, tenemos un valor para la relación **a/c = 0.62.**

5. Contenido de cemento

De la relación $a / c = 0.62$, despejamos el cemento:

$$\text{Cemento} = \text{agua} / 0.62 = 201 / 0.62$$

$$\text{Cemento} = \mathbf{324 \text{ Kg} / \text{m}^3}$$

6. Estimación del contenido de grava

Tabla 6.3.6 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.				
Tamaño máximo nominal del agregado, mm.	Volumen de agregado grueso* varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de 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
38 (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

* Volúmenes seleccionados a partir de relaciones empíricas para producir concreto con un grado de trabajabilidad adecuado para la construcción reforzada común.

* Para concretos menos trabajables, como los requeridos en la construcción de pavimentos de concreto, se pueden incrementar en un 10 % aproximadamente.

* Para colados con bomba o áreas congestionadas, se puede reducir el volumen de agregado hasta en un 10 %.

- Con base al módulo de finura de la arena de 2.93 y de acuerdo a la tabla 6.3.6, con el tamaño de agregado de 19 mm, el volumen aparente de la grava es de 0.61 m³. Entonces:

$$\text{Contenido de grava} = 0.61 * PVSC = 0.61 * 1,629 \text{ kg/m}^3$$

Contenido de grava = 994 Kg / m³.

7. Estimación del contenido de arena

La cantidad de arena se puede determinar por diferencia mediante el volumen absoluto de los componentes:

Volumen Absoluto de los componentes:

Volumen del cemento:	$324/3.00 = 108 \text{ lts/m}^3$
Volumen del agua:	$201/1.00 = 201 \text{ lts/m}^3$
Volumen de grava:	$994/2.70 = 368 \text{ lts/m}^3$
Vacíos:	20 lts/m^3
SUMA	697 lts/m³

$$\text{Volumen de arena} = 1,000 - 697 = 303 \text{ lts/m}^3$$

Contenido de arena = Volumen de arena * densidad de arena

Contenido de arena = 303 * 2.44 = 739 Kg/m³

8. Ajuste por humedad de los agregados

Se debe considerar la humedad de los agregados para realizar una dosificación real durante la elaboración de la mezcla.

Tomando los datos de humedad de:

Grava : 1 %

Arena : 8 %

Se realizan las correcciones en masa de los agregados:

$$\text{Grava húmeda} = 994 * 1.01 = 1,004 \text{ Kg}$$

$$\text{Arena húmeda} = 739 * 1.08 = 798 \text{ Kg}$$

6. CONCLUSIONES

De acuerdo con las especificaciones de la Norma Mexicana NMX-C-155, se analizaron las propiedades físicas de los agregados de los bancos de Ixtapaluca y Apaxco y se obtienen las siguientes conclusiones:

1. En primera instancia visitar los potenciales bancos de materiales cercanos a la obra, solicitar muestras de los agregados para realizar pruebas físicas y químicas que impliquen además determinar la reactividad potencial con los álcalis del cemento.

2. Una vez aceptados como proveedores de agregado, inspeccionar diariamente el material de forma visual apoyándose con personal de laboratorio, además de realizar 1 prueba física semanal y tabular los resultados. Controlando así el estado físico del material.

3. En el patio de agregados mantener una separación mínima entre la grava y la arena para evitar la contaminación, colocar aspersores, homogeneizar el agregado fino diariamente manteniendo una humedad constante y colocar señalamientos para cada material, cubrirlo en la mayoría de los posible de las condiciones climáticas.

4. Obtener humedades diarias de arena y grava previas al inicio de labores en las mezclas de concreto para controlar los consumos de agua, revenimientos y resistencias.

5. En cuanto al agregado que nos atañe presenta en general buenas características físicas en todas las pruebas realizadas , cumpliendo con las especificaciones de la Norma, excepto los finos en las mallas Nos. 50, 100 y 200.

6. En el desempeño en el concreto se cumplen los parámetros de masa unitaria, rendimiento volumétrico, revenimientos y resistencias de acuerdo a los datos mostrados en las tabulaciones.

7. En el diseño presentado en forma de ejemplo, las proporciones calculadas se deben verificar mediante mezclas de pruebas en el laboratorio y en condiciones reales de producción para efectuar los ajustes necesarios.

BIBLIOGRAFÍA

1. Uribe Afif Roberto; 2004 «Manual de Identificación Práctica de Minerales y Rocas para su uso como Agregados para Concreto». Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
2. «Guía para uso de Agregados». ACI 221 R-01. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
3. González Vallejo Luis I; Universidad Complutense de Madrid. Ferrez Mercedez; Instituto Geológico y Minero de España. Oteo Carlos; Universidad Politécnica de Madrid. «Ingeniería Geológica». Prentice Hall.
4. Ruiz Vázquez Mariano; González Huesca Silvia. «Geología Aplicada a la Ingeniería Civil». Limusa Noriega Editores.
5. Norma NMX-C-111-2004. «Industria de la Construcción-Agregados para Concreto Hidráulico-Especificaciones y Métodos de Prueba». Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y las Edificaciones, S.C.
6. Norma NMX-C-030-ONNCCE-2004. «Industria de la Construcción-Agregados para Concreto Hidráulico-Muestreo». Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y las Edificaciones, S. C.
7. Norma NMX-C-170-ONNCCE-1997. «Industria de la Construcción-Agregados-Reducción de las Muestras de Agregados Obtenidas en el Campo al Tamaño Requeridas para las Pruebas». Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. C.
8. Norma NMX-C-077-ONNCCE-1997. «Industria de la Construcción-Agregados para Concreto-Análisis Granulométrico-Método de Prueba». Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. C.

BIBLIOGRAFÍA

9. Norma NMX-C-084-2006. «Industria de la Construcción-Agregados para Concreto- Partículas más finas que la Criba 0.075 mm (No. 200) por Medio de Lavado-Método de Prueba». Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S. C.

10. Norma NMX-C-073-2004. «Industria de la Construcción-Agregados para Concreto-Masa Volumétrica-Métodos de Prueba». Organismo Nacional de Normalización Certificación de la Construcción y la Edificación, S. C.

11. Norma NMX-C-165-2004. «Industria de la Construcción-Agregados para Concreto Hidráulico-Determinación de la Masa Específica y Absorción de Agua del Agregado Fino-Método de Prueba». Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y las Edificaciones, S.C.

12. Norma NMX-C-164-2002. «Industria de la Construcción-Agregados para Concreto Hidráulico-Determinación de la Masa Específica y Absorción de Agua del Agregado Grueso-Método de Prueba». Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y las Edificaciones, S.C.

Consultas en Internet

13. Servicio Geológico Mexicano. Fideicomiso del Fomento Minero. Inventario Físico de los Recursos Minerales del Municipio Apaxco, Estado de México, 2007.

14. Prontuario de Información Geográfica Municipal de los Estados Unidos Mexicanos. Ixtapaluca ,México 2009.