



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Proceso de Producción de
Agregados Pétreos y su Control de
Calidad**

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de
Ingeniero Civil

P R E S E N T A

Diego Fernando Olguín de la Mora

ASESOR DE INFORME

M.I. Fernando Monroy Miranda



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2016

Agradecimientos

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Ingeniería por haberme permitido ser parte de una extraordinaria comunidad académica, en donde pude desarrollar mi carrera, conocer y tomar clases con excelentes maestros y compañeros, todos amigos, y por permitirme sentir los colores azul y oro.

A mis padres, Irma Guadalupe de la Mora Munguía y José Clemente Olguín Cabrera, pues sin ellos no sería nada. Gracias por todos los momentos llenos de cariño, aprendizaje, tolerancia, y sobre todo por haber hecho de mí una persona con valores. Gracias por todo el esfuerzo y dedicación para sacarme adelante, por todos los consejos, regaños, momentos tristes y momentos felices, sin ellos no sé quién sería el día de hoy. A mi mamá, que es una gran mujer, que he admirado toda la vida, simplemente gracias, gracias por siempre darme aliento cuando más lo he necesitado, por estar ahí en mis triunfos y fracasos, por siempre ser optimista y por la enorme satisfacción que me da el saber que ella es mi madre. A mi papá, que es una excelente persona, siempre ayudando, siempre atento, gracias por todo el esfuerzo, gracias por todo el apoyo, por estar conmigo siempre, muchas gracias.

A mis hermanos, Karla I. Olguín de la Mora y a José Rodrigo Olguín de la Mora, pues gracias a su enorme entusiasmo y a sus ganas de salir adelante han sido el mejor ejemplo para mí. Gracias por estar conmigo siempre, gracias por ser los profesionistas que hoy son y que fueron motivación para poder terminar una carrera universitaria, gracias por todos los buenos momentos que hemos pasado, por todas las cosas que he aprendido gracias a ellos, por estar siempre unidos cuando más lo necesitamos, gracias por ser la familia que somos y gracias por sus buenos consejos, regaños y por ser, además de mis hermanos, mis amigos.

A Adriana Ambriz, quien me ha motivado para este y muchos proyectos de vida más, quien ha estado conmigo, en todo momento, por ser una parte muy importante de mi vida, por ser la profesionista que es, por alentarme siempre a ser una mejor persona, por su cariño, paciencia, amor y comprensión.

Al M.I. Arturo Gaytan Covarrubias, quien me dio la gran oportunidad de formar parte de una empresa como CEMEX, quien ha orientado mi gran pasión por el concreto y que gracias a su experiencia profesional y confianza, he podido conocer diversos lugares, gente y he adquirido nuevos conocimientos.

Al grupo de académicos que accedieron a formar parte de mi examen profesional, al M.I. Fernando Monroy, por su valioso apoyo, desde las aulas en la facultad, hasta la asesoría de este trabajo profesional, muchas gracias al M.I. Miguel Ángel Vega, al Ing. José Luis Cottier, al M.I. Sergio Macuil y al M.I. Rodrigo Sepúlveda por su asesoría y por su paciencia para ser parte de este trabajo.

A todo el equipo CEMEX, quienes han formado también, parte de este trabajo, quienes siempre me han apoyado, por toda su dedicación y por todo su entusiasmo para amar lo que hacemos.

A mis amigos, que han salido adelante como profesionistas, por ser una enorme motivación para mí, por su confianza y por su incondicional apoyo en todo momento. ¡Gracias!

Diego Fernando Olguín de la Mora
Septiembre 2016



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA
COMITÉ DE TITULACIÓN
FING/DICyG/SEAC/UTIT/072/16

Señor
DIEGO FERNANDO OLGUÍN DE LA MORA
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento que ha sido aprobado el tema que usted propuso, mismo que será asesorado por el profesor M.I. FERNANDO MONROY MIRANDA para ser desarrollado como informe escrito, conforme a la opción VI. "Titulación mediante trabajo profesional" para obtener su título de INGENIERO CIVIL.

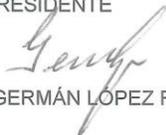
"PROCESO DE PRODUCCIÓN DE AGREGADOS PÉTREOS Y SU CONTROL DE CALIDAD"

- INTRODUCCIÓN
- I. CEMEX MÉXICO
- II. DESCRIPCIÓN DEL PUESTO DE TRABAJO
- III. ANTECEDENTES
- IV. DEFINICIÓN DE AGREGADOS PÉTREOS
- V. CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS PÉTREOS
- VI. PRODUCCIÓN DE AGREGADOS PÉTREOS
- VII. CONTROL DE CALIDAD DE AGREGADOS
- VIII. 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 5 de septiembre del 2016.
EL PRESIDENTE


M.I. GERMÁN LÓPEZ RINCÓN

GLR/MTH*gar

Índice

Proceso de Producción de Agregados Pétreos y Su Control de Calidad

Introducción	7
I. CEMEX México	8
I.I Historia	8
I.II Valores CEMEX	9
I.III Organigrama CEMEX México	10
II. Descripción del Puesto de Trabajo	11
II.I Principales Responsabilidades del Puesto	11
II.II Ampliación de Conocimientos	12
III. Antecedentes	13
IV. Definición de Agregados Pétreos	13
V. Clasificación de los Agregados Pétreos	14
V.I Por su modo de Fragmentación	14
a. Naturales	
b. Artificiales o Manufacturados	
c. Industriales	
V.II Por su tamaño	14
a. Grava	
b. Arena	
V.III Por su color	14
V.IV Por su Composición Mineralógica	15
a. Agregados Pétreos Ígneos	
b. Agregados Sedimentarios	
c. Agregados Metamórficos	
V.V Por su Masa Unitaria	15
a. Agregados Ligeros	
b. Agregados de Masa Volumétrica Normal	
c. Agregados Pesados	
VI. Producción de Agregados Pétreos	16
VI.I Exploración de una Cantera de Agregados	17
VI.I.I Exploración de la Cantera Cerro Jardín	17
VI.I.II Objetivos de la Exploración	17
VI.I.III Trabajos de Exploración	18
VI.I.IV Especificaciones de las Muestras Obtenidas en Campo	18
VI.I.V Preparación de las muestras para análisis	18
VI.I.VI Consideraciones	18
VI.II Plan de Minado de una Cantera de Agregados	20
VI.II.I Plan de Minado de la Cantera Cerro Jardín	20
VI.III Despalme de una Cantera de Agregados	21
VI.III.I Despalme de la Cantera Cerro Jardín	21
VI.IV Explotación de una Cantera de Agregados	21
VI.IV.I Explotación de canteras con uso de explosivos	22
VI.IV.II Explotación de canteras sin el uso de explosivos	23
VI.IV.III Explotación de la Cantera Cerro Jardín	27

VI.V Trituración de una Cantera de Agregados	27
VI.V.I Tipo de Trituradoras	27
VI.V.I.I Trituradoras por Compresión	27
VI.V.I.I.I Trituradoras de Mandíbulas	
VI.V.I.I.II Trituradoras de Cono y Giratorias	
VI.V.I.I.III Trituradoras Giratorias	
VI.V.I.I.IV Trituradoras de Cono Secundarias, Terciarias y Cuaternarias	
VI.V.I.II Trituradoras de Impacto	30
VI.V.I.II.I Trituradoras de Impacto de eje Horizontal HSI	
VI.V.I.II.II Trituradoras de Impacto Vertical VSI	
VI.V.I.II.III Molino de Martillo	
VI.V.II Trituración Primaria	32
VI.V.III Trituración Intermedia (Secundaria)	32
VI.V.IV Trituración fina y cubicidad (Terciaria y Cuaternaria)	32
VI.V.V Trituración de la Cantera Cerro Jardín	32
VI.VI Clasificación (Cribado) de una Cantera de Agregados	32
VI.VI.I Estratificación	33
VI.VI.II Probabilidad de Separación	33
VI.VI.III Mecanismo de Clasificación	34
VI.VI.IV Clasificación por Cribado en la Cantera Cerro Jardín	35
VI.VII Comercialización y Distribución de un Agregado	36
VI.VII.I Distribución de los Agregados	36
VI.VII.II Comercialización y Distribución de Agregado en Cantera Cerro Jardín	37
VII. Control de Calidad de Agregados	38
VII.I Plan de Calidad elaborado para CEMEX	39
VII.II Especificaciones Básicas de Control de Calidad de Agregados	39
VII.II.I Muestreo de Agregados (NMX-C-030)	40
VII.II.I.I Muestreo de Material Almacenado	40
VII.II.I.II Muestreo en la Corriente de Tolvas o Bandas	40
VII.II.II Reducción de las Muestras Obtenidas en Campo (NMX-C-170)	40
VII.II.II.I Reducción por el método Manual	41
VII.II.II.I Reducción por el método Mecánico	41
VII.II.III Análisis Granulométrico (NMX-C-077)	42
VII.II.IV Material más fino que la Malla No. 200 (NMX-C-084)	42
VII.II.V Masa Volumétrica del Agregado (NMX-C-073)	43
VII.II.VI Contenido de Humedad (NMX-C-166)	44
VII.II.VII Densidad Relativa y % de Absorción (NMX-C-164-165)	45
VII.II.VII.I Densidad Relativa del Agregado Saturado y superficialmente Seco	45
VII.II.VII.II Densidad Relativa del Agregado Seco	45
VII.II.VII.III Absorción	45
VII.II.VII.IV Método de Prueba	45
VII.III Especificaciones Especiales de Control de Calidad de Agregados	49
VII.III.I Límites de Consistencia (NMX-C-416 Capítulo 6)	49
VII.III.I.I Límite Líquido	49
VI.III.I.II Límite Plástico	50
VI.III.I.III Índice de Plasticidad	51
VII.III.II Contracción Lineal de un Agregado (NMX-C-416 Capítulo 7)	51

VII.III.III Sanidad de un Agregado (NMX-C-075)	52
VII.III.IV Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables (NMX-C-071)	54
VII.III.V Análisis de Factor de Forma (ASTM-D-4791)	55
VII.III.VI Coeficiente Volumétrico (NMX-C-436)	55
VII.III.VII Contenido de Materia Orgánica en el Agregado Fino (NMX-C-088)	56
VI.III.VIII Abrasión de los Agregados (NMX-C-196)	57
VII.IV Control de Calidad de la Cantera CEMEX Cerro Jardín	60
VIII. Conclusiones	66
Bibliografía	67

Proceso de Producción de Agregados Pétreos y Su Control de Calidad

Introducción

La importancia del uso del tipo y de la calidad correcta de los agregados no se puede subestimar. Los agregados finos y gruesos ocupan cerca del 60% al 75% del volumen del concreto (70% a 85% de la masa) e influyen fuertemente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía del concreto.¹ Las proporciones de agregados, empleadas en concreto se muestran en la figura 1.

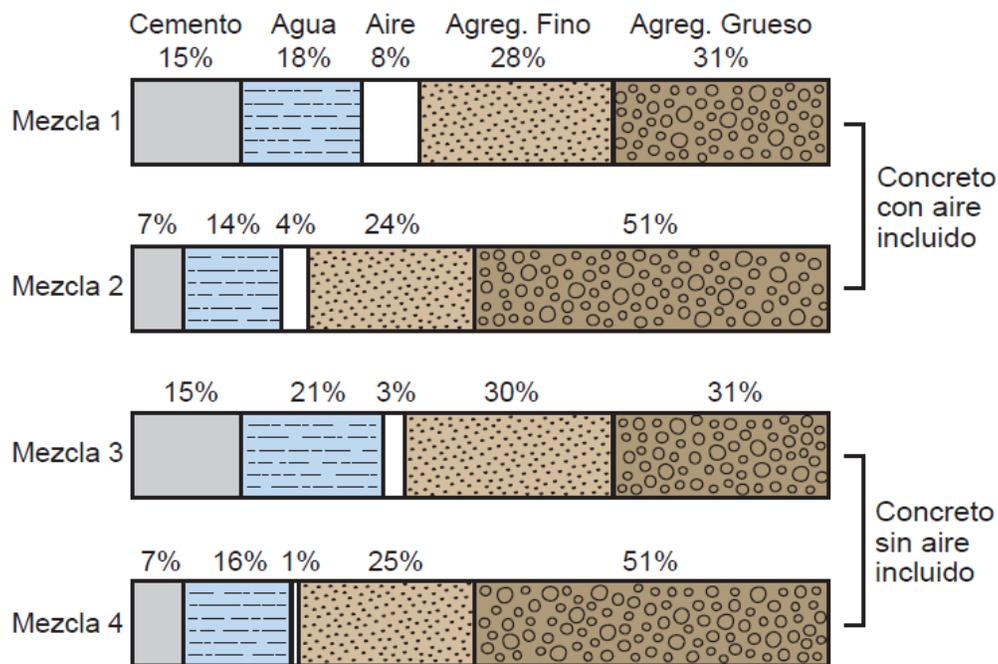


Figura 1. Variación de las proporciones usadas en concreto en volumen absoluto. (Fuente: PCA)

En este trabajo, se mencionan las diferentes formas que se tienen para elaborar agregados pétreos para la elaboración de concreto premezclado y hecho en obra, iniciando desde la exploración de una cantera, hasta el control de calidad de los materiales producidos.

El objetivo principal de este trabajo es elaborar un documento en donde se plasmen las diversas actividades que son necesarias para la producción de agregados pétreos de buena calidad con el fin de hacer más eficientes las mezclas de concreto premezclado.

A lo largo de mi estancia en la empresa he estado presente en los temas que en este trabajo se documentan, desde la exploración hasta el control de calidad, en donde se diseñó un plan de calidad para con el fin de llevar un adecuado control sobre los materiales producidos y comercializados.

I. CEMEX México

I.I Historia

CEMEX es una compañía global de materiales para la construcción que ofrece productos de alta calidad y servicios confiables en más de 50 países del mundo, a la vez que mantiene relaciones comerciales en más de 100 naciones.

En 1906, CEMEX es fundada con la apertura de la planta de Cementos Hidalgo ubicada en el norte del país; para 1909 CEMEX producía 66 000 toneladas anuales de cemento, sin embargo durante la Revolución Mexicana, debido a la falta de energía eléctrica, vías de comunicación y recursos humanos, se detuvo la distribución de cemento, obligando a parar la producción por casi 7 años; Para 1919, con un ambiente político y económico difícil, CEMEX reinicia la fabricación de cemento en planta Hidalgo.

En 1920, inicia operaciones la planta de Cementos Portland Monterrey, con una producción anual de 20 000 toneladas. Esta planta comercializaba la marca Cemento Portland Monterrey para satisfacer la demanda del noreste de México.

Para el año de 1930, planta Monterrey, incrementa en un 100 % su capacidad de producción al instalar un segundo horno para satisfacer la demanda del noreste de México.

En 1931, Cementos Hidalgo y Cementos Portland Monterrey, se fusionan para formar Cementos Mexicanos S.A; Para 1948 Cementos Mexicanos logra una capacidad de producción de 124 000 toneladas, casi cuatro veces más que en 1906.

En 1951, Cementos Portland expande su capacidad de producción con un cuarto horno, para poder así tener una producción diaria de 300 toneladas.

En 1966 CEMEX, comienza su expansión en México, adquiriendo la planta de cementos Maya en Mérida, y continúa satisfaciendo la demanda en el sureste mexicano con la marca Cementos Portland Maya.

Así mismo en 1966, CEMEX adquiere la planta de cementos Valles, que atiende la región Huasteca en México con la marca Cementos Portland Monterrey.

Para 1967, CEMEX inicia producción en su nueva planta de cemento Torreón a través de las marcas de Cemento Portland Puzolana Monterrey y Cemento Portland Monterrey para satisfacer la creciente demanda en el Noreste de México.

En 1972, las plantas Monterrey y Mérida inician producción con nuevos hornos de dos etapas, y con una capacidad de producción de 1250 toneladas diarias cada una.

En 1976 CEMEX inicia su cotización en la Bolsa Mexicana de Valores, y con la adquisición de Cementos Guadalajara, se convierte en el principal productor de cemento en México.

En 1985, por primera vez, las ventas de CEMEX, exceden los 6.7 millones de toneladas de Cemento y Clinker, y sobrepasan el millón de toneladas en tres de sus plantas cementeras, Monterrey, Guadalajara y Torreón. Así mismo en este mismo año, las exportaciones de CEMEX alcanzan las 574 mil toneladas de Cemento y Clinker en el año.

En 1986, la planta de Cementos Huichapan inicia operaciones con la más avanzada tecnología cementera y con una capacidad de más de 1 millón de toneladas al año, distribuye cemento a constructores en la

región central de México. En este año, la compañía excede los 10.7 millones de toneladas al año de capacidad de producción instalada.

En 1987 CEMEX adquiere cementos Anáhuac y dos años más tarde, CEMEX se convertiría en una de las diez compañías cementeras más grandes del mundo al adquirir Cementos Tolteca, el segundo productor más grande de México.

En 1992 CEMEX, comienza su expansión internacional en el mercado europeo con la adquisición de Valenciana y Sanson, las dos compañías cementeras más grandes de España.

En 1994 CEMEX inicia operaciones en Centroamérica al adquirir Cemento Bayano en Panamá.

Así mismo, en 1994, CEMEX adquiere la planta cementera Balcones en los Estados Unidos.

Para 1995 CEMEX se establece en la región del Caribe al adquirir Cementos Nacionales, la compañía cementera líder en República Dominicana.

En 1996, CEMEX, se convierte en la tercera compañía cementera más grande del mundo al adquirir Cementos Diamante y Samper en Colombia.

En 1997, CEMEX inicia operaciones en Asia con la adquisición de Rizal Cement en Filipinas.

En 1999, CEMEX inicia operaciones en África al adquirir Assiut Cement Company, uno de los productores líderes en Egipto. Así mismo en 1999, CEMEX refuerza su presencia en Centroamérica y Caribe al adquirir Cementos del Pacífico, la compañía cementera más grande de Costa Rica.

En 1999 inicia la cotización de CEMEX en la Bolsa de Valores de Nueva York, bajo el símbolo de pizarra "CX".

En el año 2000 CEMEX, se convierte en el productor de cemento más grande de Norteamérica al adquirir Southdown Inc en Estados Unidos.

Para el año 2001, CEMEX inicia operaciones en Nicaragua, además, fortalece su presencia en el mercado asiático al adquirir Saraburi Cement Company en Tailandia.

En 2002 CEMEX consolida su presencia en el Caribe al adquirir Puerto Rican Cement Company.

En 2005 CEMEX duplica su tamaño con la adquisición de RMC, sumando operaciones en 20 países adicionales, principalmente en Europa.

En 2006 CEMEX celebra su centenario con más de 50 000 empleados y presencia en gran parte del mundo.²

I.II Valores CEMEX

Los valores CEMEX definen el carácter de la compañía, expresan quienes trabajan en ella, como se comportan y en que creen. Los 5 valores principales de CEMEX son:

Garantizar la Seguridad: En CEMEX, la seguridad es una responsabilidad personal, los empleados se exigen unos con otros el actuar siempre de forma segura, buscando que nada este por delante de la seguridad y salud de las personas, contratistas y comunidades con las que se convive.

Enfocarse al Cliente: En CEMEX se escucha al cliente, se entienden sus retos y se ofrecen soluciones valiosas para construir relaciones cercanas que distinguen a la compañía de sus competidores.

Buscar la Excelencia: La pasión por el trabajo empuja a la gente CEMEX a exceder expectativas, a retarse constantemente para mejorar y nunca darse por satisfecho solamente con lo suficiente.

Trabajar como un solo CEMEX: Aprovechar el conocimiento global de la empresa

Actuar con integridad: El personal de CEMEX actúa con integridad y transparencia en todas sus interacciones por que valoran sus recursos humanos, comunidades y recursos naturales.³

I.III Organigrama CEMEX México

La estructura general directiva de CEMEX SAB y del segmento Construcción se muestra en la figura 2.



Figura 2: Estructura general directiva y del segmento Construcción de CEMEX. (Fuente: Manual de Calidad CMX)

II. Descripción del Puesto de Trabajo

Ingresa a CEMEX en el año 2010 como becario en el Centro de Tecnología Cemento y Concreto, específicamente a la Gerencia de Análisis Tecnológico, 10 meses después tuve la oportunidad de ingresar a la nómina externa de la compañía como Gestor de Calidad en la Cantera de Agregados CEMEX Cerro Jardín en Atotonilco, Hidalgo.

Después de 9 meses de desempeñar la función de Gestor de Calidad se me invitó a regresar al Centro de Tecnología, en donde me asignaron la responsabilidad del Laboratorio de Agregados, puesto en el que me he desempeñado durante 4 años.

II.I Principales Responsabilidades del Puesto

- a. Dar soporte a la operación de CEMEX Construcción a nivel nacional mediante pruebas de laboratorio para proyectos especiales, las pruebas que se hacen en el laboratorio son:
 - Muestreo
 - Reducción de Muestras
 - Análisis Granulométrico
 - Masa Volumétrica
 - Densidad y Absorción
 - Partículas más finas que la malla No. 200
 - Contenido de Humedad
 - Abrasión
 - Impacto
 - Sanidad (Intemperismo Acelerado)
 - Límites de Consistencia y Contracción Lineal
 - Análisis de Vacíos
 - Análisis de Factor de Forma
 - Partículas Deleznable y Terrones de Arcilla
 - Pulimento Acelerado
 - Resistencia al Deslizamiento por Fricción
 - Contenido de Materia Orgánica
- b. Mantener un sistema de gestión de calidad integral con el fin de acreditar el mayor número de pruebas posibles, hasta el año 2016 se tienen acreditadas 14 pruebas, siendo el laboratorio matriz del CTCC, el laboratorio de construcción más completo de México.
- c. Capacitación al personal de calidad de canteras de CEMEX Industriales y clientes terceros mediante programas como "Programa de Mejora Técnica".
- d. Soporte a vendedores a través de pruebas de productos de la compañía.
- e. Investigación y desarrollo de temas relacionados a agregados.
 - Concreto Compactado con Rodillo
 - Materiales para Bases Hidráulicas.
 - Concreto con Agregados Reciclados.
- f. Soporte en Proyectos de Pisos y Pavimentos mediante la prueba de Placa en campo.

II.II Ampliación de Conocimientos

A lo largo de 5 años trabajando para CEMEX, he cursado algunas certificaciones con validez internacional ante el American Concrete Institute, las cuales son:

- Técnico en Pruebas de Concreto Grado I.
- Técnico en Pruebas de Agregado Grado I.
- Supervisor de Obras de Concreto.
- Técnico Acabador de Pisos Planos de Concreto.

Además de diversos cursos dentro y fuera de la compañía, mismos que han reforzado y orientado a que mi carrera de Ingeniero Civil se enfoque a temas de concreto:

- Formación de Auditor Interno en Sistemas de Gestión Integrados ISO 9001:2008, ISO 14001:2004 y OSHAS 18001:2007. “SGS 2014”
- Formación de Auditor Interno en la Norma NMX-EC-17025-IMNC-2006. “CEMEX 2012”.
- “De jefe a líder Coach” Liderazgo. “Centro de Estudios Superiores Tecnológico de Monterrey 2014”.
- Liderazgo en seguridad Industrial “CEMEX Legacy”.

III. Antecedentes

Resulta complicado encontrar una referencia formal sobre el inicio de la extracción de agregados pétreos en el territorio nacional. Sin embargo, por diversos escritos y por los restos de construcciones de época prehispánica, resulta evidente que estos minerales han sido ampliamente utilizados para la edificación de casas, ciudades, monumentos y plazuelas.

Durante la época de la Colonia y hasta nuestros días, hay información de diferentes centros de extracción de agregados pétreos, sin que se tenga un registro o reporte confiable de los volúmenes o tonelaje producidos, principalmente porque su consumo es local e inmediato además de que los productores no están obligados a presentar información al respecto, por lo que es difícil hacer un seguimiento histórico de sus volúmenes de producción a nivel general.⁴

Los agregados pétreos representan un factor muy importante para la economía, eficiencia, durabilidad y estabilidad de las obras de ingeniería ya que ocupan el mayor volumen de materiales de construcción, un ejemplo es el volumen de agregados pétreos en concretos premezclados o hechos en obra, en donde representan del 60 a 75 %, que en peso podría ser hasta el 85 % de una mezcla.

Por ello, el estudio adecuado de las características de producción, físicas, geológicas y químicas es muy importante para su eficiente utilización en las obras de ingeniería.

IV. Definición de Agregados Pétreos

Agregado Pétreo (del latín Petreus) es aquél material proveniente de la roca y se utiliza sin apenas sufrir transformaciones, regularmente se encuentran en forma de macizos rocosos o en depósitos no consolidados conteniendo fragmentos de distintos tamaños (arena y gravas).

Suelen ser naturales aunque a veces procesados o manufacturados por el hombre, derivan de la roca o poseen una calidad similar a la de ésta, siendo usados casi exclusivamente en el sector de la construcción.

V. Clasificación de los Agregados Pétreos

Los agregados pétreos pueden ser clasificados de la siguiente manera:

V.I Por su modo de fragmentación, podemos encontrar 3 tipos:

- a. **Naturales.** Localizados en yacimientos naturales o depósitos no consolidados, para utilizarlos sólo es necesario que sean seleccionados, refinados y clasificados por tamaños.
- b. **Artificiales o manufacturados.** Se localizan en macizos rocosos, para obtenerlos se emplean procedimientos de voladura con explosivos, posteriormente se limpian (despolvan), trituran y clasifican; Con este proceso se procede a utilizarlos.
- c. **Industriales.** Son aquellos que han pasado por diferentes procesos de fabricación, tal como productos de desecho, materiales calcinados, procedentes de demoliciones o algunos que ya han sido manufacturados y mejorados.⁴

V.II Por su tamaño.

- a. **Grava:** Es aquel material que pasa por la malla de 3" y se retiene en la malla No. 4.
- b. **Arena:** Es aquel material que pasa por la malla No. 4 y se retiene en la malla No. 200.

V.III Por su Color.

Esta es una clasificación muy común en los agregados, sin embargo el color no influye en las propiedades mecánicas que afectan la calidad de un concreto. Su uso se limita a concretos arquitectónicos aparentes (por ejemplo el mármol) y/o a control de color en una obra, por ejemplo los pisos industriales, en donde se deberá cuidar que todo el agregado presente condiciones de color similares para evitar la suposición de que un concreto más oscuro es un concreto más resistente.

V.IV Por su Composición Mineralógica.

De acuerdo con su composición mineralógica, se cuenta con 3 tipos de agregados, y su origen se basa en el ciclo de las rocas, ilustrado en la figura 3.

- a. **Agregados Ígneos:** Son rocas formadas por la consolidación del magma fundido. Estas se clasifican en rocas intrusivas y extrusivas, clasificándose de acuerdo a su textura.
- b. **Agregados Sedimentarios:** Son rocas formadas por fragmentos de rocas preexistentes que son transportados por agua, viento o hielo hasta su área de depósito, y por precipitación química de minerales por medio del agua, o por la acumulación de residuos orgánicos.
- c. **Agregados Metamórficos:** Las rocas ígneas como las sedimentarias pueden estar sujetas a movimientos terrestres que las llevan hacia el interior a grandes profundidades en la corteza, donde son sujetas a la acción de altas temperaturas y presiones, este fenómeno de re cristalización da origen a las rocas metamórficas.⁵

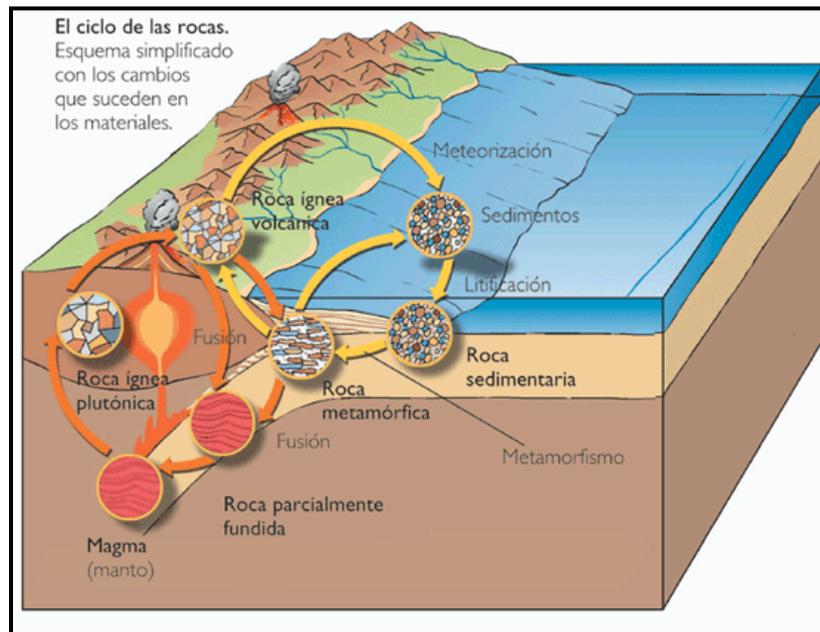


Figura 3: Ciclo de las Rocas. (Fuente: geociencias UNAM)

V.V Por su Masa Unitaria

La masa unitaria también es conocida como masa volumétrica.²⁹

- a. **Agregados Ligeros:** Son aquellos agregados que producen concretos con masa unitaria menores que $1\,900\text{ kg/m}^3$, sin la presencia de elementos que generen aire.
- b. **Agregados de Masa Volumétrica Normal:** Aquellos que producen concretos con masa unitaria de $1\,900\text{ kg/m}^3$ a $2\,400\text{ kg/m}^3$.
- c. **Pesados:** Son aquellos que producen concretos con una masa unitaria mayor que $2\,400\text{ kg/m}^3$.

VI. Producción de Agregados Pétreos

La producción de agregados pétreos se puede dividir en las etapas mostradas en la figura 4:



Figura 4: Etapas de producción de un agregado pétreo.

En este trabajo se pondrá como ejemplo la Cantera de agregados CEMEX Cerro Jardín, ubicada en Atotonilco, Hidalgo. Trabajé durante 9 meses como gestor de calidad en esta cantera.

La Cantera de Agregados CEMEX Cerro Jardín se encuentra ubicada en una zona donde predomina la roca caliza tal como se aprecia en la figura 5.

Para la correcta y adecuada funcionalidad de los diferentes procesos de producción de agregados intervienen Ingenieros Mineros, Topógrafos e Industriales.

La labor de mi trabajo en estos procesos es identificar cuestiones de calidad que pudieran estar relacionadas con la producción, tales como el factor de forma, la granulometría, la cantidad de finos presentes en los agregados, la segregación, sobretamaños y/o contaminación con materiales orgánicos.



Figura 5: Ubicación de Cantera de Agregados CEMEX Cerro Jardín. ⁶ (Fuente: Google Maps)

La cantera de Agregados CEMEX Cerro Jardín produce cerca de 100 000 toneladas mensuales, de las cuales, 60 000 toneladas son de grava $\frac{3}{4}$ " y 40 000 de arena No. 4.

Actualmente la cantera suministra el 65 % de la grava caliza empleada en concretos estructurales para la operación de CEMEX Constructores en la región centro (Ciudad de México, Hidalgo, Morelos y Estado de México). La arena producida por la cantera se emplea en un 45 % de los concretos de línea y estructurales.

VI.I Exploración de una Cantera de Agregados

La actividad de explotación minera inicia con la prospección o exploración, con el objetivo de localizar depósitos minerales de interés. Posteriormente se definen a detalle las características más importantes a nivel geológico que permiten definir el tipo de yacimiento y forma del cuerpo del mineral, así como el cálculo de reservas que ayudarán en gran medida a definir si un depósito es económicamente explotable.⁷

VI.I.I Exploración de la Cantera Cerro Jardín

VI.I.II Objetivos de la exploración

- Evaluación cualitativa y cuantitativa de las reservas de caliza que constituyen el yacimiento de Cantera Cerro Jardín, el alcance del trabajo implica la caracterización de la caliza y determinación de las reservas probadas.
- La exploración incluye la evaluación de la calidad física y alteraciones presentes en la caliza así como el despalme para determinar sus volúmenes y calidad a fin de definir si dichos materiales pueden ser utilizados o deben de removerse, total o parcialmente, para recuperar la mayor cantidad de reservas de caliza.

VI.I.III Trabajos de exploración

- Extracción de núcleos a partir de la ejecución de barrenos.
- Numero de barrenos: 32, mostrados en la figura 6.
- Metros totales: 3 207 m, el metraje total es alto por tratarse de barrenos inclinados.
- Diámetro: 2" a 4"
- Profundidad general: de 30 a 165m.
- Inclinación: Todos los barrenos se programaron inclinados (al E o al W, según el caso), durante la ejecución se analizará cada uno en particular para modificarlo si fuera necesario. Tabla 1.

VI.I.IV Especificaciones de las Muestras obtenidas en Campo

- Muestreo: Alojarse los núcleos obtenidos, en cajas de manera secuencial, según sean extraídos, las cajas serán plenamente identificadas indicando el nombre de los barrenos y el intervalo a que corresponde cada muestra (profundidad).

VI.I.V Preparación de las muestras para análisis

- Las muestras se envían al laboratorio de Planta Atotonilco para su preparación y análisis.
- El análisis de las muestras se debe hacer en intervalos (compósitos) de 3 m.
- El compósito resultante de 3m se debe cuartear con el apoyo de un cuarteador mecánico de laboratorio hasta alcanzar la cantidad de 500 g, los cuales se depositarán en una bolsa de plástico identificándola con el nombre del barreno, indicando el intervalo al que corresponde.
- Se tomará de cada bolsa la cantidad necesaria para el análisis químico y el resto de la muestra se mantendrá en la planta para su conservación como testigo.

VI.I.VI Consideraciones

- La localización de los barrenos es preliminar, varios de ellos podrían cambiar de ubicación y especificaciones después de la verificación de campo.

Es importante verificar las condiciones topográficas, ubicación de linderos y estructura de la caliza en el momento de la localización en campo para ajustar las especificaciones de los barrenos.

Tabla 1: Localización de Barrenos de Exploración en Cantera Cerro Jardín. (Fuente: Exploración CEMEX)

SHID	X	Y	Z1	Z2	Inclinación	Azimuth	Profundidad
2001	476500	2208850	2274.00	2210.00	51	270	82.35
2002	475997.396	2208699.89	2269.00	2210.00	51	90	75.92
2003	476197.396	2208699.89	2278.70	2210.00	51	90	88.40
2004	476397.396	2208699.89	2279.00	2210.00	51	90	88.79
2005	476497.396	2208699.89	2293.00	2210.00	51	270	106.80
2006	476597.396	2208699.89	2288.00	2210.00	51	270	100.37
2007	476097.396	2208499.89	2280.00	2210.00	51	90	90.07
2008	476297.396	2208499.89	2300.50	2210.00	51	90	116.45
2009	476497.396	2208499.89	2261.00	2210.00	51	270	65.62
2010	476597.396	2208499.89	2318.00	2210.00	51	270	138.97
2011	476697.396	2208499.89	2310.00	2210.00	51	270	128.68
2012	476097.396	2208299.89	2283.00	2210.00	51	90	93.93
2013	476197.396	2208299.89	2291.00	2210.00	51	90	104.23
2014	476397.396	2208299.89	2270.50	2210.00	51	90	77.85
2015	476597.396	2208299.89	2262.50	2210.00	51	90	67.55
2016	476797.396	2208299.89	2234.00	2210.00	51	270	30.88
2017	476997.396	2208299.89	2328.00	2210.00	51	270	151.84
2018	476097.396	2208099.89	2279.00	2210.00	51	90	88.79
2019	476297.396	2208099.89	2304.00	2210.00	51	90	120.96
2020	476497.396	2208099.89	2271.00	2210.00	51	90	78.49
2021	476697.396	2208099.89	2262.50	2210.00	51	90	67.55
2022	476897.396	2208099.89	2337.00	2210.00	51	270	163.42
2023	476197.396	2207899.89	2285.00	2210.00	51	90	96.51
2024	476397.396	2207899.89	2315.00	2210.00	51	90	135.11
2025	476597.396	2207899.89	2262.00	2210.00	51	90	66.91
2026	476797.396	2207899.89	2281.00	2210.00	51	90	91.36
2027	476997.396	2207899.89	2313.00	2210.00	51	270	132.54
2028	476397.396	2207699.89	2301.00	2210.00	51	90	117.10
2029	476497.396	2207699.89	2303.50	2210.00	51	90	120.31
2030	476697.396	2207699.89	2274.00	2210.00	51	90	82.35
2031	476897.396	2207699.89	2319.00	2210.00	51	270	140.26
2032	477097.396	2207699.89	2285.00	2210.00	51	270	96.51
						m Totales	3206.86
						Prof. Max.	163.42
						Prof. min.	30.88

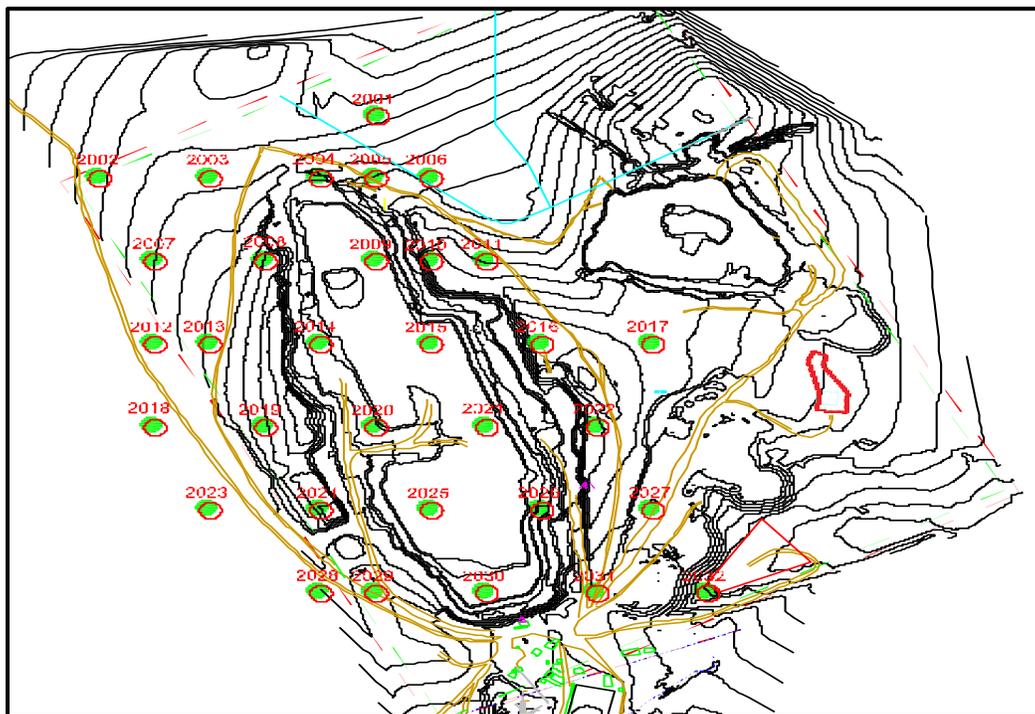


Figura 6: Localización de Barrenos en Cantera Cerro Jardín. (Fuente: Exploración junio 2016 CMX CJ)

VI.II Plan de Minado de una Cantera de Agregados

El método seleccionado deberá satisfacer condiciones de máxima seguridad y permitir un ritmo óptimo de extracción bajo las condiciones geológicas particulares del depósito. Los planes de minado deben ser elaborados con base en la geología estructural y en la mecánica de rocas, prevaleciendo el concepto fundamental de estabilidad en las obras.⁸

De los rasgos y características del depósito mineral dependerán las condiciones que determinen el método más adecuado. Desde el punto de vista de la ingeniería geológica estructural, las siguientes características son de suma importancia en la selección de un método de explotación minera:

- El tamaño y el origen (roca ígnea, sedimentaria o metamórfica) del cuerpo mineral.
- El espesor y el tipo del despalme superficial.
- La localización, rumbo y echado del depósito.
- Las características físicas y resistencia de la roca.
- La presencia o ausencia de aguas subterráneas y sus condiciones hidráulicas relacionadas con el drenaje de las obras.
- Factores económicos involucrados con la operación, costos comparativos de minado y ritmos de producción deseados.
- Factores ecológicos y ambientales tales como conservación del contorno topográfico original en el área de minado.

El despalme localizado sobre el tajo planeado siempre deberá removerse y colocarse fuera del área antes o inmediatamente después de que el minado ha empezado.

En cada lugar de cargado debe ser posible el transporte de material, por lo que siempre será necesario planear cada banco con una sección horizontal que permita el tránsito de camiones en dos direcciones.

El espacio mínimo de trabajo también es necesario para actividades de barrenación, detonación, alojamiento de la roca fragmentada etc., lo cual significa que cada banco de trabajo deberá tener una longitud que varíe entre 60 y 90 m.

Estas condiciones son posibles en distancias de acarreo cortas, lo que significa que en planes de minado a largo plazo, donde las distancias se van incrementando, las dimensiones de los bancos de explotación tendrán que ser modificadas con márgenes adicionales.⁹

VI.II.I Plan de Minado de la Cantera Cerro Jardín

Se lleva a cabo cada mes una planificación de la zona y bancos que serán explotados, cada mes existen cuatro eventos de voladura, el plan de minado considera la ubicación y profundidad de cada barreno para que la explotación sea uniforme y permita tener los espacios adecuados para el acarreo de material crudo (material producto de voladura).

El plan de minado incluye entre 60 y 80 barrenos dependiendo de la profundidad del mismo, que va de los 15 a los 20 m de acuerdo a la zona del banco que se estará explotando.

VI.III Despalme de una Cantera de Agregados

Esta parte del proceso de producción de agregados es la remoción de cualquier tipo de roca o material vegetal (tierra) para descubrir los estratos aprovechables de material. El espesor o volumen de despalme se puede conocer con los resultados de la exploración de la cantera.

El despalme puede consistir en terreno superficial, subsuelo, arena, grava y arcillas de baja calidad y otros depósitos sedimentarios. El espesor del despalme que puede removerse depende de varios factores, entre ellos, la facilidad de poder removerlo, el posible aprovechamiento del material a retirar y del tipo de explotación.

En la mayor parte de trabajos de despalme, el material removido no tiene valor, usualmente es desechado en áreas donde el material explotable ya ha sido removido.

VI.III.I Despalme de la Cantera Cerro Jardín

El despalme o descapote promedio de la cantera Cerro Jardín incluye remoción de tierra vegetal, arbustos pequeños, raíces y material orgánico de diferentes orígenes, en promedio se tiene que remover 1.6 m de esta capa para poder barrenar y explotar la roca caliza.

VI.IV Explotación de una Cantera de Agregados

La explotación de una cantera de agregados pétreos depende en su totalidad del tipo de material que se pretenda triturar.

El tipo de material deberá ser clasificado durante el proceso de exploración, en este proceso se informará la geología del material, las características intrínsecas del material, y el tipo de formación ya sea macizo rocoso o un depósito de material no consolidado en donde se encuentran gravas y arenas que pueden tener distintos orígenes.

A continuación se presenta la tabla 2, en donde se muestran diferentes tipos de rocas y su método de explotación:

Tabla 2: Principales Rocas y sus Características para ser explotadas⁵

TIPO DE ROCA	MÉTODO DE EXPLOTACIÓN	TIPO DE FRAGMENTACIÓN
Granito / Diorita	Explosivos	Fragmentos Irregulares, dependen del uso de explosivos
Basalto	Explosivos	Fragmentos irregulares que dependen de las juntas y grietas en los estratos
Toba	Equipo Mecánico o Explosivos	Fragmentos irregulares, finos en exceso ocasionales.
Arenisca	Equipo o Explosivos	En lajas, dependiendo de la estratificación
Conglomerado	Equipo o Explosivos	Exceso de finos dependiendo el cementante
Limonita Luitita	Equipo	Desde pequeños bloques a lajas
Caliza Masiva (Ejemplo Cerro Jardín)	Explosivos	Fragmentos Irregulares, muchas veces lajas.
Cuarcita	Explosivos	Fragmentos Irregulares muy angulosos
Pizarras	Explosivos	Fragmentos irregulares o lajeados según la foliación
Gneis	Explosivos	Fragmentos irregulares muchas veces alargados

VI.IV.I Explotación de canteras con uso de explosivos

Para la explotación de un macizo rocoso se requiere el uso de métodos de fragmentación en el banco, principalmente mediante barrenación y voladura empleando explosivos.

Se entiende por voladura la disposición de un grupo de barrenos, en los que se ha colocado una cierta carga de explosivo y se inicia con una secuencia tal que se consiguen los resultados de fragmentación y desplazamiento deseados, sin afectar a elementos ajenos a la misma.

Parámetros de las voladuras en Banco

Para una voladura a cielo abierto se pueden definir, entre otros conceptos, los siguientes:

- **Banco:** lugar donde se ubican los barrenos de voladura que viene definido por el plan de minado establecido así como el método de explotación.
- **Altura de banco:** Distancia vertical entre dos bancos adyacentes.
- **Ángulo del frente:** ángulo del talud definido entre dos bancos adyacentes. Puede expresarse bien con respecto a la vertical, o bien respecto a la horizontal.
- **Espaciamiento:** Distancia entre dos barrenos adyacentes en la misma fila.

La voladura de un macizo rocoso es la parte del proceso en donde se extrae el denominado crudo, material que será triturado mediante las diferentes etapas de trituración y producción.

Los conceptos anteriores se representan gráficamente en la Figura 7.¹⁰

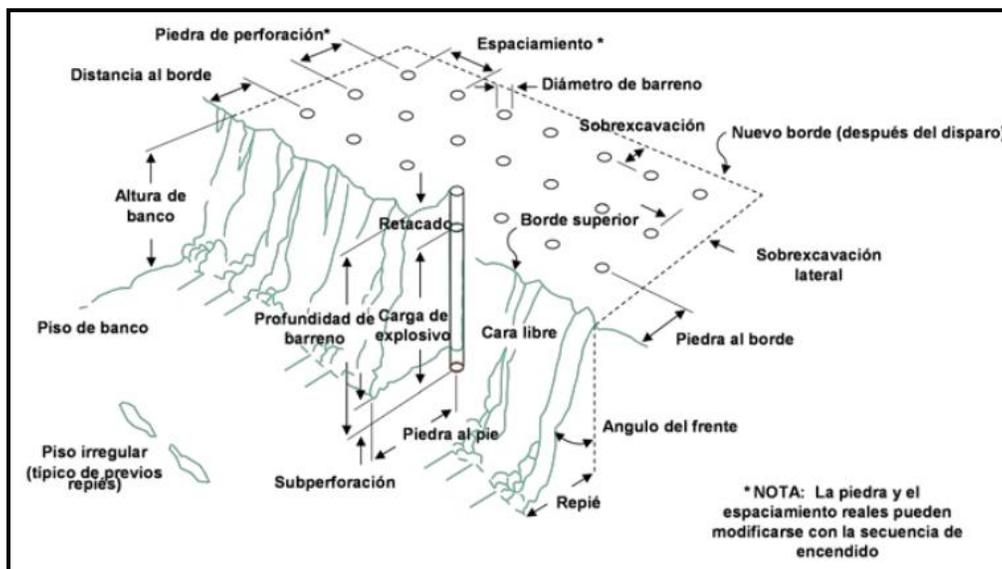


Figura 7. Parámetro de Voladuras en Banco.¹⁰ (Fuente: Otello del Greco)

VI.IV.II Explotación de canteras sin el uso de explosivos

Las técnicas de explotación sin el uso de explosivos permiten, entre otras cosas, obtener fragmentos de geometría bien definida que son muy útiles como material ornamental.

Existen depósitos de material no consolidado, para este tipo de depósitos durante la explotación no hace falta la elaboración de barrenos y voladuras.

Los métodos de explotación de materiales no consolidados, derivan de principios elementales para los cuales se han fabricado maquinarias o sistemas que reproducen a gran escala operaciones manuales sencillas como por ejemplo: excavación con pico, escarificación, perforación de huecos con taladro y excavación con pala.¹¹

Para este tipo de explotaciones se pueden emplear las siguientes máquinas denominadas en general maquinaria pesada:

- **Retroexcavadora** (el tamaño y capacidad dependerán del tipo de material a explotar): Este tipo de equipos se emplearán en alturas de banco de gran tamaño, haciendo escalones de acuerdo al plan de minado, la generación de bancos y accesos para equipos de acarreo de materiales dependerán en gran parte de la habilidad del operador del equipo pesado. Un ejemplo de este tipo de maquinaria se muestra en la figura 8.



Figura 8: Retroexcavadora en cantera de agregados CEMEX San Vicente. (Fuente: Cantera CMX SV)

- **Adaptaciones de martillos hidráulicos a retroexcavadoras:** este tipo de equipos se usa para fragmentar rocas con sobretamaño para que una vez trituradas puedan ingresar al proceso de trituración primaria. (Este tipo de equipos no es de uso exclusivo para explotaciones sin voladura, pues en algunas ocasiones, la voladura puede desprender fragmentos grandes de rocas que necesitan ser reducidos empleando este tipo de equipos). Un ejemplo de este tipo de maquinaria se muestra en la figura 9.



Figura 9: Martillo hidráulico triturando rocas con sobretamaño. (Fuente: Google)

- **Cargadores Frontales:** Este tipo de equipos se emplean en canteras de tamaño mediano o pequeño, en donde las alturas de banco apenas sobrepasen la altura máxima del cargador. El equipo irá removiendo material desde la parte superior a la inferior, haciendo que gravas y arenas caigan como material suelto. Un ejemplo de este tipo de cargadores se muestra en la figura 10.



Figura 10: Cargador frontal extrayendo material en cantera de agregados Trivomex (Fuente: Cantera Trivomex)

- **Equipos de Minería:** Este tipo de equipos emplea la fuerza mecánica en un molino equipado con gran número de excavadoras, que a su vez, van depositando el material en bandas transportadoras para su posterior utilización. En canteras de agregados no es común el uso de este tipo de equipos. Un ejemplo se muestra en la figura 11.



Figura 11: Equipo de excavación minera. Bagger 288 Alemania (Fuente: Bagger)

VI.IV.III Explotación de la Cantera Cerro Jardín

La cantera Cerro Jardín emplea el método de explotación con el uso de explosivos. Se programan cuatro voladuras cada mes con un volumen de 40 000 toneladas por evento, empleando barrenos de 4.5" de diámetro con una profundidad aproximada de 15 m. La zona del banco explotado se muestra en la figura 12.



Figura 12: Cantera de Agregados Cerro Jardín. (Fuente: Cantera CMX CJ)

VI.V Trituración de una Cantera de Agregados

VI.V.I Tipo de trituradores

Se pueden clasificar todas las trituradoras en dos grandes grupos:

- a. **Trituradoras por compresión:** Son aquellas que comprimen el material hasta que este se rompe.
- b. **Trituradoras por Impacto:** Son aquellas que usan el principio de impactos rápidos para triturar el agregado.

Las trituradoras de mandíbulas, cono, giratorias y de rodillos operan según el principio de compresión, mientras que las trituradoras de impactos y los molinos de martillos usan el principio de impacto.¹²

VI.V.I.I Trituradoras por Compresión

VI.V.I.I.I Trituradoras de Mandíbulas

Las trituradoras de mandíbulas se usan principalmente como trituradoras primarias. Su propósito principal es producir material que puede ser transportado en bandas transportadoras hacia las etapas posteriores de trituración.

La trituración ocurre entre una mandíbula fija y una mandíbula móvil. Los forros de la mandíbula móvil están montados en una biela con movimiento oscilante y deben reemplazarse regularmente debido al desgaste.

Hay dos tipos básicos de trituradoras de mandíbulas, las de un solo efecto y las de doble efecto.

En la trituradora de un solo efecto hay un eje excéntrico en la parte superior de la trituradora. La rotación del eje, junto con la placa basculante, produce una acción compresiva. Una trituradora de doble efecto tiene básicamente dos ejes y dos placas basculantes. El primer eje es un eje pivotante en la parte superior de la trituradora (figura 13), mientras que el otro es un eje excéntrico que acciona las dos placas articuladas (figura 14). La mandíbula móvil tiene un movimiento puro de vaivén hacia la mandíbula fija.¹²

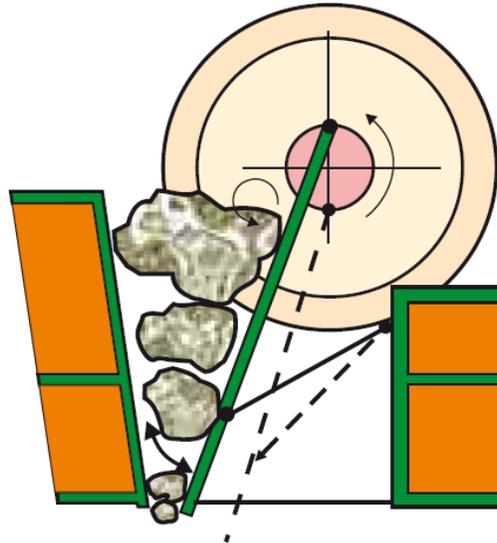


Figura 13: Trituradora de Mandíbulas de Efecto Simple. (Fuente: Manual METSO)

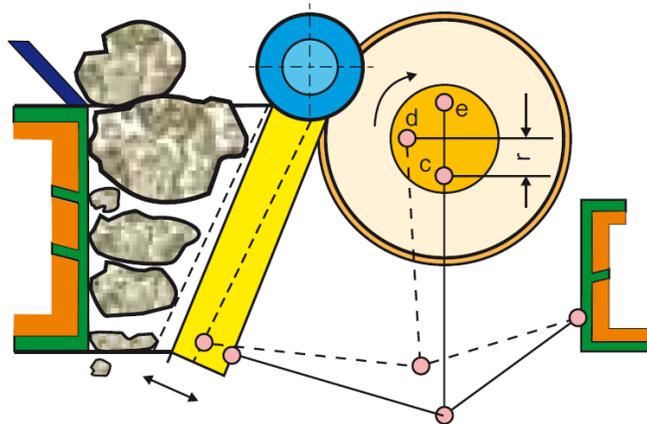


Figura 14: Trituradora de Mandíbulas de Doble Efecto. (Fuente: Manual METSO)

El movimiento de compresión que causa compresión tanto en la entrada como en la descarga de material, le da a la trituradora de simple efecto una mejor capacidad que la de las trituradoras de doble efecto de tamaño similar. La trituradora de mandíbulas es un equipo robusto y fiable, y por ello muy popular en plantas de trituración primaria.¹²

VI.V.I.I.II Trituradoras de Cono y Giratorias

Tanto las trituradoras de cono como las giratorias tienen un eje oscilante. El material es triturado en una cavidad o cámara de trituración entre un elemento exterior fijo (forro) y un elemento interior móvil (manto) montado en el conjunto del eje oscilante.

La fragmentación del material resulta de la compresión continuada que ocurre entre los forros alrededor de la cámara. Un efecto de trituración adicional ocurre entre las partículas comprimidas, resultando en un menor desgaste de los forros. Este efecto también es conocido como auto trituración de partículas, es decir chocan entre ellas y se comprimen hasta fracturarse.¹²

VI.V.I.I.III Trituradoras Giratorias

Las trituradoras giratorias primarias se usan en la primera etapa de trituración. Las giratorias secundarias se usan normalmente en la segunda etapa de trituración, pero, en algunos casos, pueden usarse en la primera etapa desde que el tamaño del material permita su entrada en la abertura de alimentación. Comparado con la trituradora de cono secundaria, la trituradora giratoria tiene una cámara de trituración diseñada para aceptar material de alimentación de tamaño relativamente grande en relación con el diámetro del manto. Por ello, el ángulo de la cabeza del cono es más pequeño que el de una trituradora de cono giratoria (figura 15).¹²

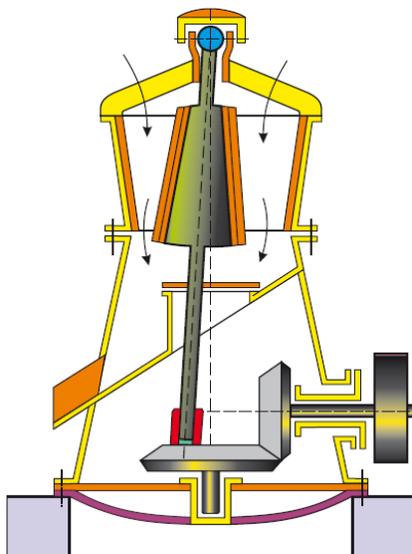


Figura 15: Trituradora Giratoria. (Fuente: Manual METSO)

VI.V.I.I.IV Trituradoras de Cono Secundarias, Terciarias y Cuaternarias

Estas trituradoras se usan para trituración de tamaños intermedios y finos y/o para obtener un producto con buen formato cúbico (factor de forma). El material de alimentación ha sido tratado en trituradoras primarias en etapas anteriores. En una cantera de depósitos no consolidados, la trituración primaria ha sido realizada por la naturaleza, razón por la cual la trituradora de cono secundaria puede, en algunos casos, llevar a cabo el proceso de trituración completo.

El factor determinante para el desempeño de una trituradora de cono secundaria es el perfil de la cámara o cavidad de trituración. Por eso, normalmente hay un rango de cavidades estándar disponibles para cada trituradora de modo a permitir la selección de la cavidad adecuada al tipo de material de alimentación. (figura 16).¹²

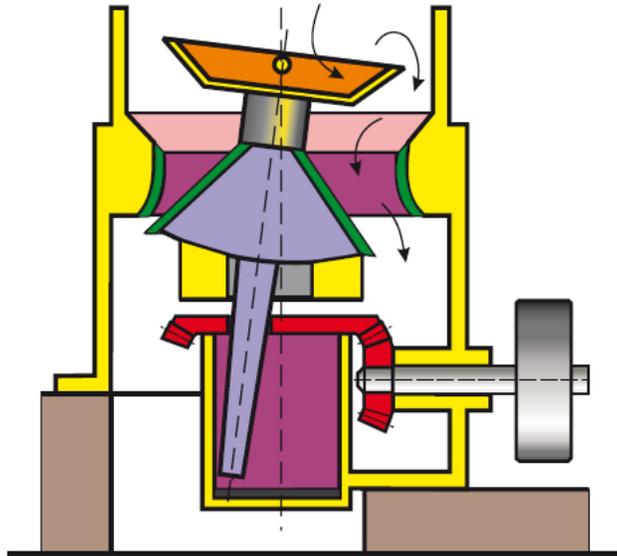


Figura 16: Trituradora de cono. (Fuente: Manual METSO)

VI.V.I.II Trituradoras de Impacto

Los dos tipos principales (trituradoras de impactos de eje horizontal y de eje vertical) se caracterizan por una elevada tasa de reducción y por la propiedad de dar forma cúbica al producto.

Las trituradoras de impactos consisten en una carcasa de placa de acero integrando un eje y un conjunto de rotor. El número de piezas móviles es muy reducido.¹²

VI.V.I.II.I Trituradoras de Impacto de eje Horizontal HSI

El material de alimentación es triturado mediante impactos altamente intensos originados por el rápido movimiento rotacional de martillos/barras fijados al rotor (figura 17). Las partículas resultantes son posteriormente retritadas dentro de la trituradora al chocar contra las piezas de la trituradora y entre sí mismas, produciendo un producto más fino y con mejor formato.¹²

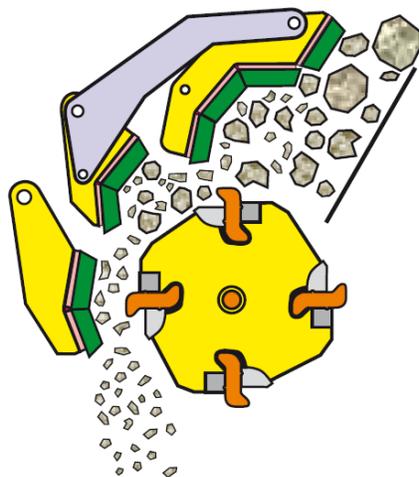


Figura 17: Trituradora de Impacto Horizontal. (Fuente: Manual METSO)

VI.V.I.II.II Trituradoras de impactos de eje vertical VSI

Las trituradoras de impactos de eje vertical pueden considerarse “bombas de piedra” que operan como una bomba centrífuga. El material se alimenta a través del centro del rotor, donde es acelerado hasta una alta velocidad antes de ser descargado a través de aberturas en la periferia del rotor (figura 18). La trituración ocurre mientras el material choca a alta velocidad contra los forros de la carcasa exterior y también debido a la acción de roca contra roca.¹²

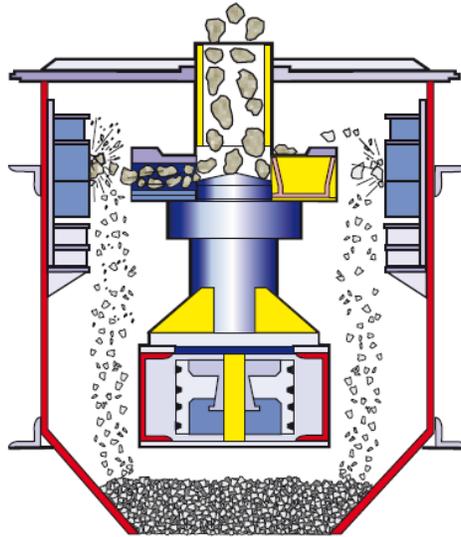


Figura 18: Trituradora de Impacto Vertical VSI. (Fuente: Manual METSO)

VI.V.I.II.III Molino de Martillos

Los molinos de martillos son muy parecidos a los de impactos. La diferencia es que el molino de martillos tiene muchos martillos articulados fijados al rotor y las aberturas de descargas consisten en una rejilla a través de la cual el material tiene que pasar, contribuyendo así al proceso de reducción. Los molinos de martillos se usan para triturar y pulverizar materiales que no sean demasiado duros o abrasivos. La velocidad del rotor y el espaciado de las barras de la rejilla pueden ser optimizados para satisfacer las necesidades de distintas aplicaciones. (Figura 19)¹²

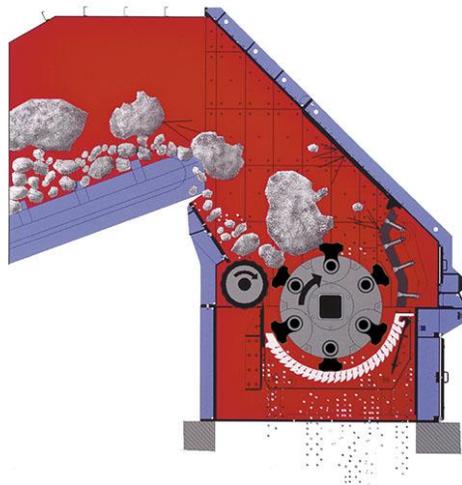


Figura 19: Molino de Martillos. (Fuente: Manual METSO)

VI.V.II Trituración Primaria

El propósito de la trituración primaria es reducir el material a un tamaño que permita su transporte en bandas transportadoras. En la mayor parte de las instalaciones productoras de agregados, la trituración primaria se hace con una trituradora de mandíbulas. Plantas con capacidades muy elevadas usan normalmente una trituradora giratoria primaria. Cuando el material es fácil de triturar y no muy abrasivo, una trituradora de impactos puede ser la mejor solución para la trituración primaria.¹²

VI.V.III Trituración Intermedia (Secundaria)

El propósito de la trituración intermedia es producir varios productos gruesos – por ejemplo, agregados para terracerías – o preparar el material para retritución final. Si la trituración intermedia se destina a producir balastro para ferrocarriles, la calidad del producto es importante. En los demás casos, normalmente no hay exigencias de calidad con la excepción de que el producto sea adecuado para la trituración fina. En la mayoría de los casos, el objetivo es obtener la mayor reducción posible con los menores costos.¹²

VI.V.IV Trituración fina y cubicidad (Terciaria y Cuaternaria)

Estas etapas del proceso de trituración determinan la calidad del producto final. Las especificaciones de calidad son exactas para los productos finales, especialmente en la industria de agregados.

Las exigencias comunes por parte de los clientes en la producción de agregados son la capacidad y la calidad (granulometría). La industria de agregados también tiene exigencias de calidad adicionales, tales como la forma cúbica de las partículas (factor de forma).¹²

VI.V.V Trituración de la Cantera CEMEX Cerro Jardín

La cantera de agregados CEMEX Cerro Jardín presenta las siguientes etapas de Trituración:

Trituración Primaria: Triturador de compresión del tipo Mandíbulas de un solo eje marca Nordberg.

Trituración Secundaria: Triturador de compresión del tipo Giratorio “Cono” marca Symons.

VI.VI Clasificación (Cribado) de una Cantera de Agregados

La clasificación o cribado de agregados es el paso del proceso de producción de agregados en donde se separan los diferentes productos que pueden producir los equipos de trituración. Normalmente se hace a través del uso de cribas vibratorias.

Los principios de cribado para cribas vibrantes son básicamente los mismos en cualquier aplicación (figura 20). El material a ser cribado, cuando es lanzado sobre la caja de alimentación o directamente sobre la superficie de cribado, pierde su componente de velocidad vertical y cambia la dirección de su movimiento. Bajo el efecto de la vibración, la capa de material tiende a desarrollar un estado fluido.¹²

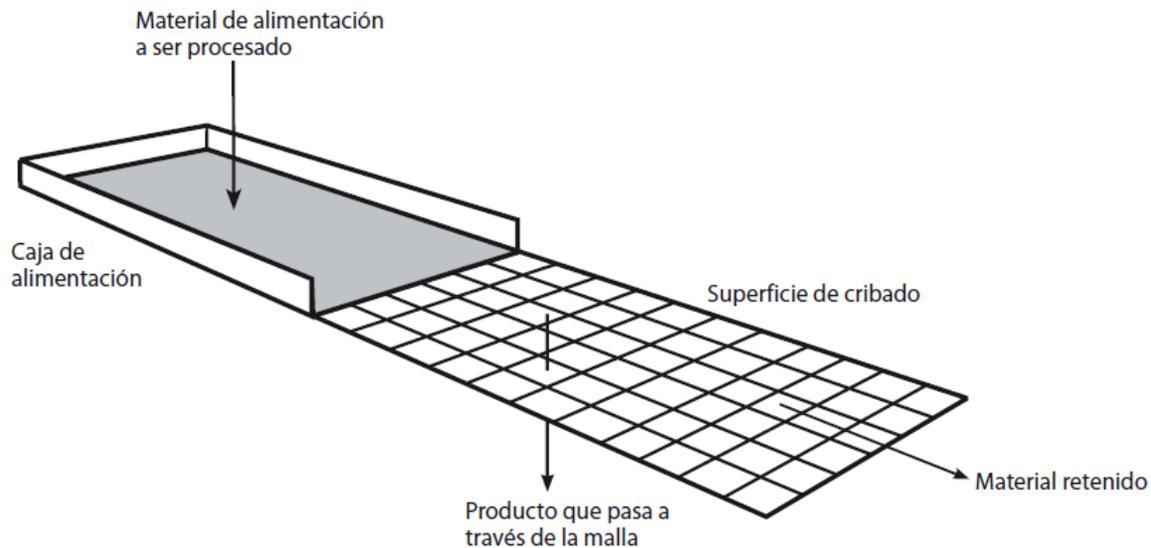


Figura 20: Clasificación de Agregados por Cribado. (Fuente: Manual METSO)

Una vez que el material esté sobre la superficie de cribado, ocurren dos procesos que posibilitan la clasificación:

VI.VI.I Estratificación

Este es el proceso en el que por efecto del movimiento vibratorio, las partículas gruesas emergen a la parte superior de la capa de material y las partículas más pequeñas buscan su camino hacia la parte inferior de la capa a través de los espacios creados entre las partículas gruesas.

Los factores interrelacionados que afectan la estratificación son:

1. Velocidad del flujo de material: una función de la estratificación del material, espesor de la capa, características del motor, e inclinación de la criba.
2. Características del motor: amplitud, dirección, rotación, tipo de movimiento y frecuencia.
3. Humedad superficial de las partículas – un alto contenido de humedad dificulta la estratificación.

VI.VI.II Probabilidad de Separación

Este es el proceso en el que las partículas llegan a la malla y, según sean mayores o menores que las aberturas de la malla, son rechazadas o pasan a través de la criba.

La probabilidad de separación de una partícula es una función de la relación entre su tamaño y la abertura de la malla de la criba. Cuanto mayor sea la diferencia de tamaño, mayor será la probabilidad que las partículas pasen o sean rechazadas y viceversa. Las partículas con tamaño $d > 1.5a$ (donde a = abertura de la malla) tienen poca importancia para el resultado del cribado. La cantidad relativa de estas partículas tiene mayor influencia sobre el desgaste y el consumo de energía.

Las partículas con tamaño $d < 0.5a$ también son poco relevantes ya que pasan fácilmente a través de la malla.

Las partículas de tamaño $0.5a < d < 1.5a$ se llaman “clase crítica” y determinan tanto la eficiencia como la capacidad, ya que:

- a. A menudo, las partículas $0,5 a < d < a$, requieren varias tentativas antes de pasar a través de la malla.
- b. Las partículas $a < d < 1.5 a$, atascan muchas aberturas antes de salir de la malla como material retenido.

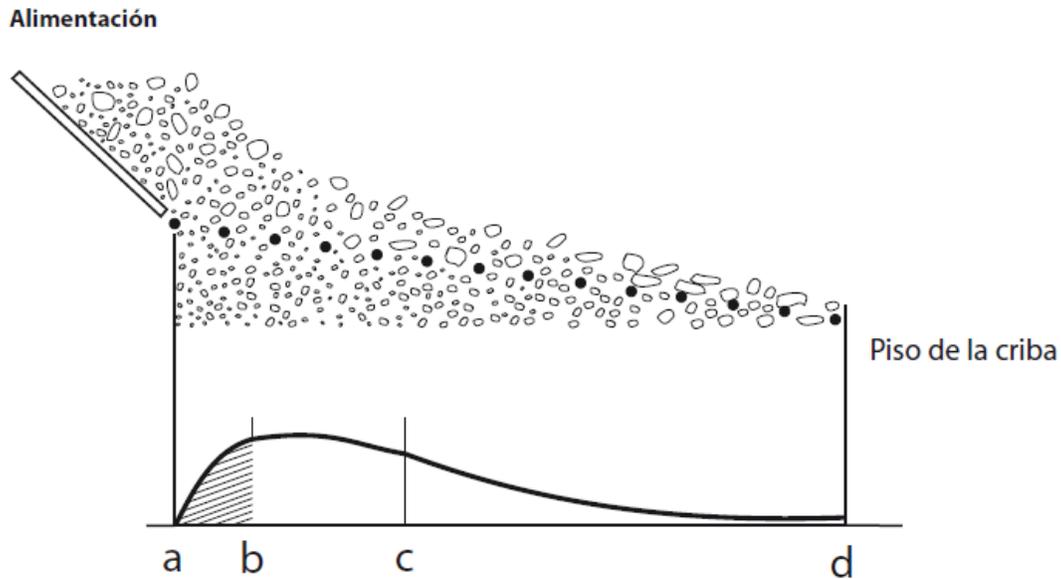
VI.VI.III Mecanismo de Clasificación

La tasa del flujo de material a través de las aberturas de malla de la criba varía según el grado de estratificación y probabilidad.

Cuando se descarga el material en la extremidad de alimentación de la superficie de cribado, la vibración causa la estratificación. Esta sección consiste en el espacio entre los puntos a y b mostrados en la figura 21, con la máxima estratificación en b. La máxima remoción de partículas ocurre entre b y c (sección de cribado saturado), el punto de mayor probabilidad, debido al gran porcentaje de material fino. La sección entre los puntos c y d es la de menor probabilidad.

En esta sección la probabilidad de que las partículas pasen las aberturas de la malla es menor debido al mayor porcentaje de partículas de la clase crítica.

Con una criba típica de separación simple, como se puede apreciar en la figura 18, una separación perfecta (100 % de eficiencia) no es comercialmente viable porque a partir del punto de la probabilidad de que las partículas pasen a través de las aberturas es muy baja. Teóricamente, para una separación absolutamente perfecta se requeriría una criba de longitud infinita, debido a que la curva en la figura se vuelve asintótica al eje longitudinal de la criba.¹²



a – b estratificación junto a la extremidad de alimentación

b – c cribado saturado

c – d separación por tentativas repetidas

Figura: Estratificación y separación en la criba: Relación flujo de partículas a través de la criba vs. longitud de la criba.

Figura 21. Estratificación y separación en la criba. (Fuente: Manual METSO)

VI.VI.IV Clasificación por Cribado en la Cantera CEMEX Cerro Jardín

La cantera de agregados CEMEX Cerro Jardín ocupa una sola criba para la clasificación de los agregados, es una criba marca Simplicity con la cual se obtienen dos productos:

El triturador primario arroja material (balasto) con un tamaño de 4" a finos, pasa por bandas hasta la criba Simplicity con la finalidad de separar la arena de la grava, en esta etapa, la criba separa todo el material que pasa por la malla de 1" y se retiene en la malla de 1/4" para enviarlo por banda como producto terminado de 3/4" (figura 22), todo el material que pasa por la malla de 1/4" se envía por medio de bandas a producto terminado como arena No. 4 (figura 23).

Todo el material que no pase por la malla de 1", es decir material de 4" a 1", es llevado al proceso de trituración secundario, en donde se emplea un cono marca Symons, en donde el material es triturado y retornado a la alimentación de la criba Simplicity para cerrar el ciclo de trituración.

Es importante mencionar que mientras menos material pase al proceso de trituración secundaria, el costo de producción será menor.



Figura 22: Producto Terminado de Cantera Cerro Jardín. (Grava 3/4"). (Fuente: Cantera CMX CJ)



Figura 23: Producto Terminado de Cantera Cerro Jardín. (Arena No. 4). (Fuente: Cantera CMX CJ)

VI.VII Comercialización y Distribución de un Agregado

En México, los agregados son comercializados en distintas formas, siendo la más común la venta a granel del agregado.

Entre las diversas formas de comercialización se encuentran:

- **A granel:** Normalmente se oferta por peso (toneladas) o volumen (m^3) dependiendo del equipamiento de los productores de material. Por ejemplo, si en una cantera se cuenta con una báscula o se tiene el acceso a alguna, el agregado se comercializa por toneladas; sin embargo si no existe la posibilidad, siendo este escenario el más común en México, el agregado se comercializa por volumen.

Una variante de la comercialización de agregados a granel es la venta en casas de materiales, en donde se comercializa por botes, camiones pequeños de máximo $14 m^3$, camionetas o carretillas.

- **En sacos de 50 kg:** No es la opción más económica, sin embargo es fácil encontrarlo en tiendas de productos de construcción. Actualmente CEMEX vende agregados en sacos de 50 kg solo en Monterrey, en tiendas Home Depot (figura 24)



Figura 24: Agregado en saco para su venta en Centros Home Depot. (Fuente: CEMEX Agregados)

VI.VII.I Distribución de los Agregados

Existen diversos tipos de distribución de agregados, el más común es el transporte carretero por medio de camiones y góndolas de $31 m^3$ de capacidad. El precio promedio que se debe pagar por la distribución de agregados mediante este tipo de transporte es de aproximadamente \$2.15 por tonelada por km.

En algunas canteras se cuenta con acceso a ferrocarriles, haciendo que la distribución de los materiales sea más económica. Aproximadamente el costo por transportar en ferrocarril 1 tonelada de agregado es de aproximadamente \$1.25 por tonelada por km.

Los costos de transporte varían de acuerdo al sindicato, estado, tipo de construcción y tipo de material.

VI.VII.II Comercialización y Distribución de agregados en Cantera Cerro Jardín

Actualmente la cantera de agregados Cerro Jardín cuenta con dos modalidades de comercialización y distribución:

A granel vía góndola (figura 25): 39 % del volumen de la cantera es comercializado a través de este método, normalmente en zonas cercanas a la cantera o que no se tenga acceso al centro de distribución, en donde el material es trasladado vía ferrocarril.



Figura 25: Góndola de agregados descargando material en planta. (Fuente: Cantera CMX CJ)

En ferrocarril (figura 26): La cantera tiene la ventaja de estar conectada a una red de ferrocarril, trasladando el agregado a la Ciudad de México hasta un centro de distribución en Vallejo, en donde se reparte el agregado a las diferentes plantas de concreto de CEMEX y a clientes terceros. La comercialización no se realiza de esta manera, es únicamente a través de venta a granel vía transporte carretero. 61 % del agregado producido en la cantera es distribuido de esta forma.



Figura 26: Cargado de ferrocarril en Cantera de Agregados Cerro Jardín. (Fuente: Cantera CMX CJ)

VII. Control de Calidad de Agregados

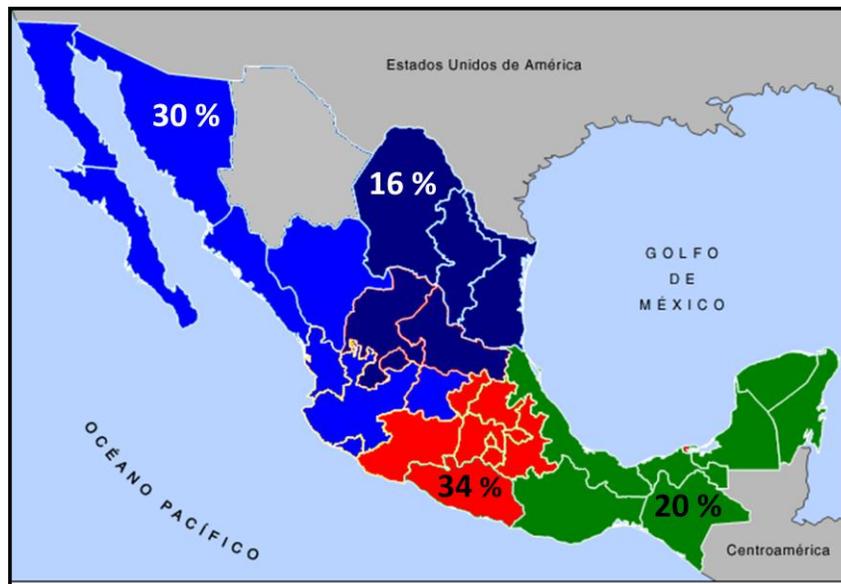
Actualmente la producción de agregados en CEMEX se encuentra distribuida en todo el país en 15 diferentes canteras, entre las que se encuentra la cantera Cerro Jardín. En la figura 27 se detallan los nombres y ubicaciones de cada una de ellas.

1. Mexicali (B.C.)
2. Poncitlán (Jal.)
3. Tesistán (Jal.)
4. San Vicente (Méx.)
5. Cancún (Q.R.)
6. Monterrey (N.L.)
7. Tula (Hgo.)
8. Cerro Jardín (Hgo.)
9. Torreón (Coah.)
10. Tamuín (S.L.P.)
11. Querétaro (Qro.)
12. León (Gto.)
13. Tijuana (B.C.)
14. Villahermosa (Tab.)
15. Santa Alicia (B.C.)



Figura 27: Canteras de Agregados CEMEX en México. (Fuente: CEMEX Agregados)

Además, CEMEX cuenta con el negocio de venta de agregados de productores terceros de agregados en todo el país, la distribución de este negocio se muestra en la figura 28.



- Sureste: 50 proveedores 1 cantera CEMEX (Cancún) 20 %
- Noreste: 39 proveedores 4 canteras CEMEX (Tamuín, Tambora, Monterrey, Torreón) 16 %
- Pacífico: 76 proveedores 5 canteras CEMEX (Tesistán, Poncitlán, Santa Alicia, San Isidro, Mexicali) 30 %
- Centro: 86 proveedores 5 canteras CEMEX (Cerro Jardín, Tula, Huixquilucan, San Vicente, Querétaro) 34 %

Figura 28: Distribución del negocio de agregados CEMEX. Total: 266 Canteras, 15 propias y 251 proveedores en todo el país. (Fuente: CEMEX Agregados)

El control de calidad de los agregados en CEMEX, es responsabilidad de cada uno de los productores, independientemente de ser cantera propia o proveedor, en este proceso es donde interviene directamente mi trabajo en la compañía, al participar en la elaboración de un plan de calidad en donde se especifica claramente la frecuencia de realización de las diferentes pruebas que ayudan a controlar la calidad de los materiales producidos.

VII.I Plan de Calidad elaborado para CEMEX

El objetivo del plan de calidad creado para CEMEX es “Establecer los lineamientos de verificación de calidad aplicables a los Agregados Pétreos”.

Las características que deben cumplir los agregados en México, se encuentran descritos en la norma mexicana NMX-C-111. Así mismo, existen normativas internacionales que regulan la calidad de los materiales como son: ASTM-C-33 y BS-812. El plan de calidad elaborado para CEMEX se basa en estas normas.

Para los agregados producidos se determinaron las inspecciones y especificaciones a cumplir, mismas que se describen en las tablas que a continuación se mencionan:

- **Tabla 3.** Frecuencia de realización de pruebas básicas de un agregado.
- **Tabla 4.** Requisitos de Granulometría de Agregados Finos.
- **Tabla 5.** Requisitos de Granulometría de Agregados Gruesos.
- **Tabla 6.** Cantidades máximas de material que pasa la malla No. 200 en agregados finos.
- **Tabla 7.** Frecuencia de realización de pruebas especiales de un agregado.

Cada tipo de agregado es analizado y verificada su calidad por un Analista de Control de Calidad (Existen 4 analistas de calidad de agregados en el país) apoyándose con el Jefe de Laboratorio de Agregados del Centro de Tecnología (puesto que desempeño actualmente), así como de los laboratoristas de cada planta conforme a los parámetros establecidos en las tablas mencionadas anteriormente.

VII.II Especificaciones Básicas de Control de Calidad de Agregados

Las pruebas básicas de agregados son aquellas pruebas que se requiere conocer frecuentemente con dos propósitos:

1. Evaluar la eficiencia y calidad de la Cantera de Agregados. (Granulometría y Pérdida por Lavado)
2. Evaluar las características de los materiales para el diseño de mezclas y corrección de humedades en una planta de concreto. (Granulometría, Pérdida por Lavado, Masa Volumétrica, Densidad Relativa y Humedad)

En todos los casos, las pruebas deberán comenzar por el muestreo de los materiales en planta, así como la reducción de muestras al tamaño deseado para cada prueba.

VII.II.I Muestreo de Agregados (NMX-C-030)

Es la actividad en donde se recolectan las muestras de agregados, existen diversos tipos de muestreo como son: Muestreo en tajos a cielo abierto, muestreo por medio de pozos, muestreo por medio de trincheras, muestreo de material de pepena, muestreo de brechas y aglomerados, muestreo en formaciones de roca no explotadas, muestreo de canteras, muestreo de unidades de transporte, muestreo en la corriente de descarga de tolvas o bandas y muestreo de material almacenado, siendo estos últimos los más comunes en el control de calidad de agregados pétreos.

De esta actividad depende en gran medida una evaluación eficaz de la producción de los materiales. En caso de realizar un muestreo no adecuado, las probabilidades de que los resultados no representen al volumen producido son altas.

VII.II.I.I Muestreo de material almacenado

Si el material se encuentra almacenado sin ninguna barrera o límite que lo contenga, es decir, como una pila en forma cónica (figura 29), se toman porciones de material aproximadamente iguales en diferentes puntos (muestras simples), indicando para ello de la parte más alta de la pila y descendiendo en forma de espiral hasta la base tratando de cubrir todo el almacenamiento.

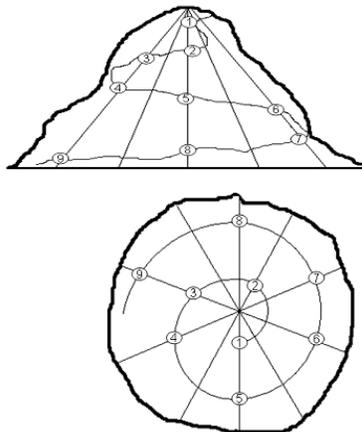


Figura 29: Muestreo de material almacenado sin barreras. (Fuente: NMX-C-030)

VII.II.I.II Muestreo en la corriente de descarga de Tolvas o Bandas

Si se toma la muestra de un flujo de descarga de tolvas o bandas, se obtienen tres porciones iguales al azar para formar una muestra compuesta. Se van tomando a medida que se va descargando en forma transversal y con ayuda de dos placas que limitan el largo de la banda que se está muestreando (aproximadamente 1 m), depositándolo en un recipiente. Las muestras parciales no deben incluir material de descarga inicial o final.¹⁴

VII.II.II Reducción de las Muestras Obtenidas en Campo (NMX-C-170)

Esta prueba tiene como finalidad reducir las muestras de agregados tomadas en campo al tamaño requerido para cada una de las pruebas de control de calidad con el fin de que se conserven representativas como la muestra de campo. Existen dos metodologías, reducción o cuarteo por el método manual, reducción o cuarteo por el método mecánico.¹⁵

Cualquiera de los dos métodos se puede aplicar, bajo cualquier condición de humedad, excepto para los siguientes casos:

- El cuarteo mecánico se aplica cuando el agregado fino se encuentra superficialmente seco.
- El cuarteo manual se aplica cuando las muestras de agregado fino se encuentren superficialmente húmedas. Si se encuentra superficialmente seca, se debe humedecer y volver a mezclar para cuarteo por el método manual, de lo contrario, reducir por cuarteo mecánico con el agregado superficialmente seco.

VI.II.II.I Reducción por el método Manual

El cuarteo manual se aplica sobre una superficie, misma que deberá estar limpia para evitar la contaminación del material a estudiar, es posible emplear una lona limpia para efectuar la prueba. La prueba consiste en formar una pila cónica con el material, aplanarla hasta que su diámetro sea de 8 a 10 veces el espesor, dividir en 4 porciones, tomar dos porciones opuestas entre si y desechar las dos restantes hasta que se tenga el tamaño de muestra requerido para cada prueba tal como se muestra en la figura 30.¹⁵

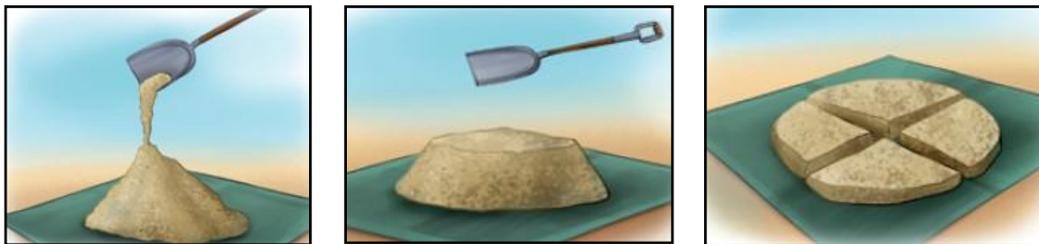


Figura 30: Reducción de muestras por el método manual.¹³ (Fuente: IMCYC)

VI.II.II.I Reducción por el método Mecánico

A diferencia del método manual, en este método se hace uso de un cuarteador de muestras, mismo que contiene una tolva superior en donde el material deberá distribuirse uniformemente, posteriormente se abre la tolva en donde fue depositado el material para que el material caiga por gravedad en dos receptáculos con los que está provisto el equipo (figura 31); uno se desecha y el otro se sigue reduciendo hasta el tamaño requerido para cada muestra.¹⁵

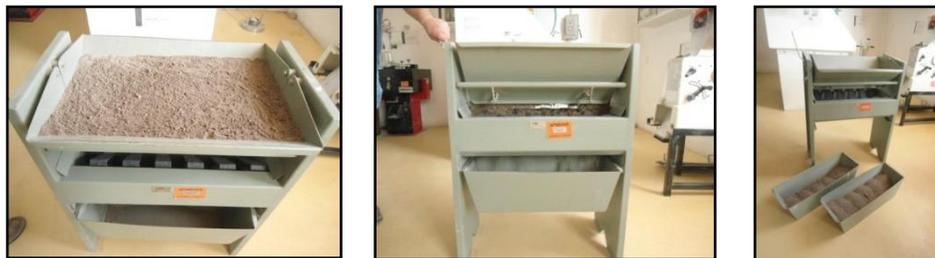


Figura 31: Reducción de muestras por el método mecánico. (Fuente: Lab. de Agregados CEMEX)

VI.II.III Análisis Granulométrico (NMX-C-077)

El análisis granulométrico es una prueba en donde se determina la distribución de partículas de diferentes tamaños por medio de cribas.¹⁶

Del análisis granulométrico dependen diversos factores en una mezcla de concreto, entre los que se destacan, la trabajabilidad, la resistencia a la compresión y la durabilidad.

La prueba consiste en hacer pasar una muestra de agregado fino o grueso por diferentes mallas, en donde de acuerdo a su tamaño se irán reteniendo, al finalizar la prueba el resultado obtenido será una curva (figura 32) en donde se gráfica el No. de malla vs. el porcentaje que pasa cada una.

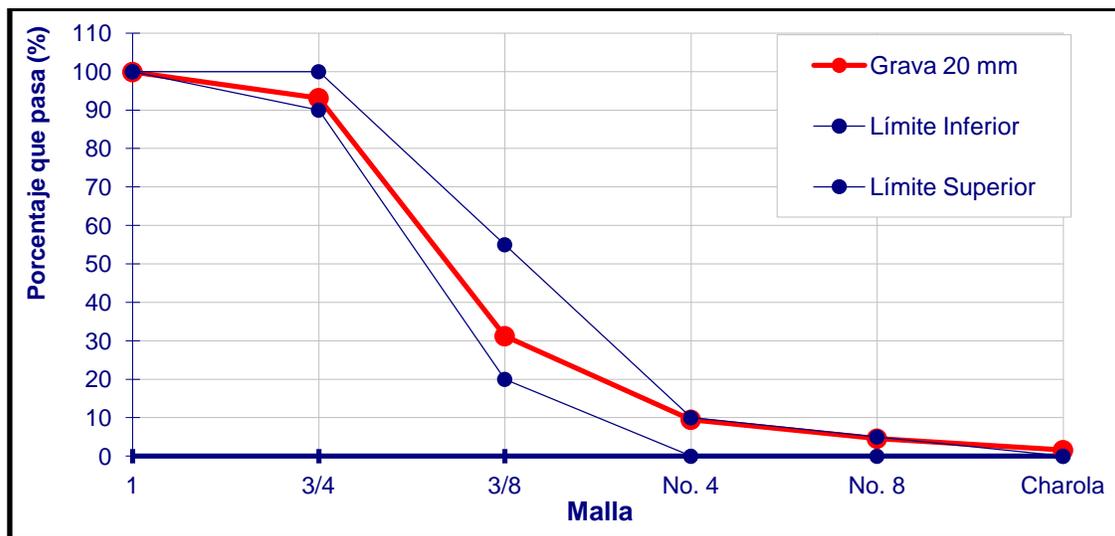


Figura 32: Granulometría de la grava 3/4" de la cantera Cerro Jardín. (Fuente: Lab. de Agregados CEMEX)

Como se observa en la gráfica anterior, la curva deberá encontrarse entre el límite inferior y superior, estos límites están especificados en las normas que rigen a los agregados tal como la NMX-C-111 o consideraciones especiales de cada proyecto.

Durante esta prueba, es posible determinar el módulo de finura de una arena, obteniéndolo al sumar los porcentajes acumulados de cada fracción hasta la malla No. 100 y dividiéndolo entre 100. Los valores obtenidos de esta determinación deberán encontrarse entre 2.3 a 3.1.

VI.II.IV Material más fino que la malla No. 200 (NMX-C-084)

El objetivo de esta prueba es determinar el contenido de partículas más finas que la malla No. 200 (0.075 mm) por medio de lavado. Las partículas de arcilla y otras se disgregan por el agua de lavado y las que son solubles son separadas de la muestra original durante esta prueba.¹⁷

La prueba consiste en obtener la masa seca inicial de una muestra de agregado, para posteriormente, con ayuda de las mallas No. 16 y No. 200 lavarla y separar las partículas que pasen por la malla No. 200 tal como se muestra en la figura 33. Al finalizar, la muestra es secada en un horno a 110° C para obtener un porcentaje de pérdida.

Las partículas más finas que la malla No. 200 deberán calcularse de la siguiente forma:

$$\%PxL = \frac{Ms - Msl}{Ms} * 100$$

Donde:

%PxL: Porcentaje de material más fino que la criba No. 200 determinado por lavado.

Ms: masa original de la muestra seca, en g.

Msl: masa de la muestra seca después de lavado, en g.



Figura 33: Partículas más finas que la malla No. 200. (Fuente: Lab. de Agregados CEMEX)

VI.II.V Masa Volumétrica del Agregado (NMX-C-073)

La masa volumétrica de un agregado es la masa por unidad de volumen, siendo el volumen el ocupado por el material en un recipiente especificado.¹⁸

Durante la ejecución de este método, se determinarán la masa volumétrica suelta y la masa volumétrica compactada. La diferencia radica en el método de llenado del molde.

Para la obtención de este resultado se deberá emplear un recipiente con un volumen determinado, obteniendo así un factor que será empleado para el resultado final. Dicho factor se determina dividiendo 1/ volumen del recipiente.

La masa volumétrica suelta se determina llenando el recipiente en 3 capas, con una altura de caída máxima del material de 5 cm y enrasando al finalizar las 3 capas.

La masa volumétrica compactada se determina llenando el recipiente en 3 capas, y en cada capa se deberán aplicar 25 compactaciones con una varilla de punta semiesférica, enrasando al finalizar las 3 capas.

La masa volumétrica suelta y compactada deberá ser calculada de la siguiente forma:

$$MV = (MCA - T) * F$$

Donde:

MV: masa volumétrica

MCA: masa de la cubeta con agregado en kg

T: tara de la cubeta, en kg

F: factor de la cubeta, (1/m³)



Figura 34: Masa Volumétrica de los Agregados. (Fuente: Lab. de Agregados CEMEX)

VII.II.VI Contenido de Humedad (NMX-C-166)

Los agregados pétreos pueden contener diferentes cantidades de agua, misma que puede ser adquirida durante el proceso de producción, en el traslado o en el almacenamiento, así mismo, existen agregados que de origen contienen cierta cantidad de agua, este contenido de humedad es importante determinarlo ya que con él se deberá corregir el diseño de una mezcla de concreto aumentando o disminuyendo la cantidad de agua.¹⁹

Si no se corrige el diseño por esta propiedad, el concreto podría sufrir un cambio en la relación agua/cemento y por lo tanto en resistencia a compresión, revenimiento, durabilidad y trabajabilidad.

La prueba consiste en determinar la masa húmeda de un agregado previamente muestreado y cuarteado de acuerdo a las normas NMX-C-030 y NMX-C-170, llevarla a una fuente de calor, misma que no deberá alterar el material, para que una vez seca se vuelva a tomar su masa y se determine el contenido de humedad. Se deberá revisar que el agregado se encuentra seco con ayuda de una placa de vidrio. (figura 35)

El contenido de humedad de un agregado deberá ser calculado de la siguiente forma:

$$H = \left(\frac{Mh - Ms}{Ms} \right) * 100$$

Donde:

H: es el contenido de agua en %

Mh: es la masa de la muestra húmeda en kg

Ms: es la masa de la muestra seca en kg



Figura 35: Contenido de Humedad de un agregado. (Fuente: Lab. de Agregados CEMEX)

VI.II.VII Densidad Relativa y % de Absorción (NMX-C-164-165)

VII.II.VII.I Densidad Relativa del Agregado Saturado y superficialmente Seco

Es la relación de la densidad del agregado saturado y superficialmente seco a la densidad del agua, equivalente a la relación de la masa del agregado saturado superficialmente seco a la masa del volumen de agua desalojada, considerando la masa de las partículas saturadas de agua y superficialmente secas (figura 36) y la masa de las partículas de agua que se incluyen en los poros que se encuentran dentro de las mismas.²⁰⁻²¹

VII.II.VII.II Densidad Relativa del Agregado Seco

Es la relación de la densidad de la masa del agregado seco a la densidad del agua, equivalente a la relación de la masa del agregado seco a la masa del volumen de agua desalojado, considerando las partículas secas (figura 36), incluyendo la cantidad de aire contenida en los poros.

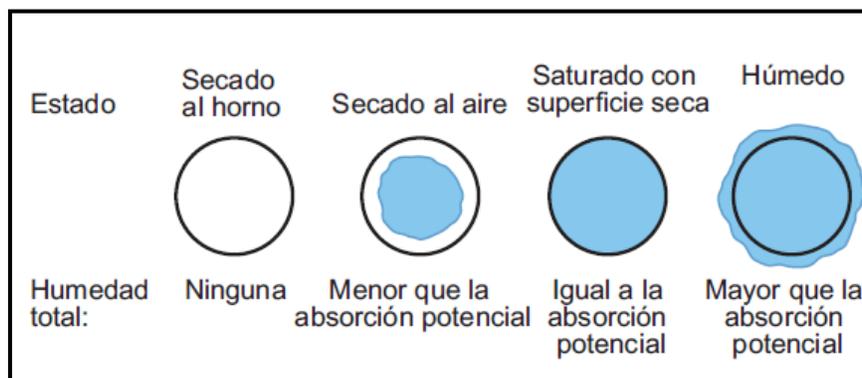


Figura 36: Estados de saturación de un agregado. (Fuente: PCA)

VII.II.VII.III Absorción

Es el incremento en la masa de un agregado seco, cuando es sumergido en agua durante un tiempo determinado a temperatura ambiente; este aumento de masa es debido al agua que se introduce en los poros del material y no incluye el agua adherida a la superficie de las partículas. Se expresa como por ciento de la masa seca y es un indicador de la porosidad del material.²⁰⁻²¹

VII.II.VII.IV Método de Prueba

Durante esta prueba se determina la densidad relativa en estado saturado, superficialmente seco ya que en un diseño de concreto el agregado debe considerarse de esta manera, la prueba consiste en determinar la masa y el volumen en dicho estado.

La obtención del volumen es la parte más importante en este método de prueba, para ello existe una norma para agregado fino y una norma para agregado grueso.

El volumen en estado SSS de un agregado grueso se determina empleando una canastilla, en donde se deberá determinar el peso en el aire del material en dicha condición y el peso sumergido del agregado. El estado SSS de un agregado grueso se determina por vista, dejando el material saturándose por un periodo de 24 horas y secándolo hasta que las partículas pierdan el brillo superficial; esta determinación deberá

hacerse en un lugar con condiciones estables de temperatura, sin corriente de aire y sin estar expuesto a la intemperie.

El volumen en estado SSS de un agregado fino se determina empleando un picnómetro, que es un equipo volumétrico con una tapa cónica, misma que asegura que el volumen de agua introducido en el es siempre el mismo con cierta temperatura; el volumen se determina con la diferencia de la masa del picnómetro con material y lleno de agua y la masa del picnómetro lleno únicamente con agua. El estado SSS del agregado fino se determina cuando después de llenar un cono trunco de 75 mm de altura en 3 capas con 25 penetraciones de un pisón con masa de 340 g, el material pierde la mitad de su forma tronco-cónica.

La absorción, en cualquiera de los dos casos se determina al tomar la masa del material en estado SSS y llevarlo al horno hasta que pierda toda la humedad.

La densidad relativa del agregado grueso se calcula de la siguiente forma:

$$Dr = Dr \frac{Mag\ sss}{Ma}$$

Donde:

Drsss: Densidad relativa saturada y superficialmente seca del agregado grueso, adimensional.

Mag sss: masa de la muestra de prueba saturada y superficialmente seca (masa en el aire), en kg.

B: masa de la canastilla, incluyendo la muestra de prueba, dentro del agua (masa de la muestra sumergida, en kg).

T: masa de la canastilla dentro del tanque de agua, en kg.

La densidad relativa del agregado fino se calcula de la siguiente forma:

$$Dr\ sss = \frac{Msss}{Mpa + M\ sss - Mpma}$$

Donde:

Drsss: Densidad relativa aparente saturada y superficialmente seca del agregado, adimensional

Msss: masa de la porción de muestra saturada y superficialmente seca, en g.

Mpa: masa del picnómetro lleno de agua hasta el nivel de aforo, en g.

Mpma: masa del picnómetro con la muestra y agua hasta el nivel del aforo, en g.

La absorción del agregado fino y grueso se calcula de la siguiente forma:

$$absorción = \frac{masa\ de\ la\ muestra\ SSS - masa\ de\ la\ muestra\ seca}{masa\ de\ la\ muestra\ seca} * 100$$

La aplicación en el plan de calidad de las pruebas definidas anteriormente se define a continuación:

Todos los productos deberán cumplir con las especificaciones y puntos de medición establecidos en el plan de calidad. En caso de encontrar algún parámetro fuera de especificación, el Analista de Control de Calidad apoyándose en el Jefe del Laboratorio de Agregados le deberá informar al Gerente de Planta, quien en conjunto con su equipo de trabajo determinará las acciones a seguir.

Tabla 3: Frecuencia de realización de pruebas básicas de un agregado. (Fuente: Plan de Calidad CEMEX)

Punto de Medición	Referencia	Especificación	Frecuencia
Muestreo de Agregado en Planta	NMX-C-030	Muestreo por Producto	Diario
Reducción de Muestras	NMX-C-170	Reducción por Producto	Reducción por cada prueba
Granulometría de Arena	NMX-C-077	Tabla 4	Diario
Módulo de Finura	NMX-C-077	2.3 a 3.1	Diario
Granulometría de Grava	NMX-C-077	Tabla 5	Diario
Pérdida por Lavado	NMX-C-084	Grava \leq 2 % Arena \leq 5 %	Diario
Masa Volumétrica Suelta y Compactada	NMX-C-073	Mayor a 1 000 kg	Diario
Densidad Relativa y % de Absorción	NMX-C-164 NMX-C-165	DR > 1.8 % Abs. < 12 %	Semanal

Nota 1: Diario*; Cada prueba marcada con esta frecuencia se deberá realizar cada día o cada 3 000 toneladas producidas (por producto).

Nota 2: Semanal**; Cada prueba marcada con esta frecuencia se deberá realizar una vez por semana o cada 30 000 toneladas producidas (por producto).

Tabla 4: Requisitos de Granulometría de Agregados Finos. (Fuente: Plan de Calidad CEMEX)

Tamaño Nominal de la Arena	Porcentaje Que Pasa							
	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
No. 4	100	95-100	80-100	50-85	25-60	10-30	2 - 10	--
No. 5	--	100	95-100	70-100	40-75	20-40	10 - 25	0 - 10
No. 8	100	100	95-100	45-90	20-70	5-40	2 - 25	--

Nota 3: Límites granulométricos de acuerdo a la norma NMX-C-111 y a especificaciones de CEMEX Concretos (Arena No 5 y No. 8).

Tabla 5: Requisitos de Granulometría para Agregados Gruesos. (Fuente: Plan de Calidad CEMEX)

Tamaño Nominal, mm (in.)	Porcentaje que Pasa												
	100 4"	90 3 1/2"	75 3"	63 2 1/2"	50 2"	37.5 1 1/2"	25 1"	19 3/4"	12.5 1/2"	9.5 3/8"	# 4 4.75	# 8 2.36	# 16 1.18
3 1/2" a 1 1/2"	100	90 a 100	--	25 a 60	--	0 a 15	--	0 a 5	--	--	--	--	--
2 1/2" a 1 1/2"	--	--	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	--	0 a 5	--	--	--	--	--
2" a 1"	--	--	--	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	--	0 a 5	--	--	--	--
2" a No. 4	--	--	--	100	95 a 100	--	35 a 70	--	10 a 30	--	0 a 5	--	--
1 1/2" a 3/4"	--	--	--	--	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	--	0 a 5	--	--	--
1 1/2" a No. 4	--	--	--	--	100	95 a 100	--	35 a 70	--	10 a 30	0 a 5	--	--
1" a 1/2"	--	--	--	--	--	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	--	--	--
1" a 3/8"	--	--	--	--	--	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	--	--
1" a No. 4	--	--	--	--	--	100	95 a 100	--	25 a 60	--	0 a 10	0 a 5	--
3/4" a 3/8"	--	--	--	--	--	--	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	--	--
3/4" a No. 4	--	--	--	--	--	--	100	90 a 100	--	20 a 55	0 a 10	0 a 5	--
1/2" a No. 4	--	--	--	--	--	--	--	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	--
3/8" a No. 8	--	--	--	--	--	--	--	--	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

VII.III Especificaciones Especiales del Control de Calidad de Agregados

Las pruebas especiales de agregados son aquellas pruebas que determinan cualitativa y cuantitativamente parámetros específicos en los agregados, mismos que son requisitos de proyectos, clientes y/o concretos especiales.

Los parámetros de aceptación o rechazo de la mayoría de las especificaciones plasmadas en los proyectos se refieren a este tipo de pruebas, mismas que se detallan a continuación:

VII.III.I Límites de Consistencia (NMX-C-416 Capítulo 6)

Cuando se definió la arena se mencionó que es todo aquel material que pasa por la malla No. 4 y se retiene en la malla No. 200. Todo el material que pasa por la malla No. 200, determinado por la prueba de material más fino que la malla No. 200, es considerado arcilla o limo, finos que pudieran llegar a ser perjudiciales para el concreto si se encuentran en una cantidad mayor al 5 % en una arena, de ahí la necesidad de determinar su origen, para ello se ocupa la prueba de límites de consistencia.²²

Normalmente esta prueba se emplea para la clasificación de suelos de acuerdo a un Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS, durante esta prueba se tendrá que determinar qué tipo de fino es el que está presente en la muestra de agregado.

Durante esta prueba se obtendrán 3 valores, mismos que son importantes para determinar la cantidad máxima de partículas más finas que la malla No. 200.

VII.III.I.I Límite Líquido

Es el contenido de agua, expresado en por ciento de la masa seca, que debe tener un suelo remoldeado, húmedo para una muestra del mismo, en que se haya practicado una ranura de dimensiones estándar, al someterla al impacto de 25 golpes en una longitud de 13 mm tal como se muestra en la figura 37.

Para la determinación de este límite, será necesario emplear una muestra de material que pasa por la malla No. 40, saturarla por un periodo de 24 horas y llevarla a un estado de contenido de agua tal que su manejo se parezca al de una plastilina. Se dice que se ha encontrado el estado de límite líquido, cuando después de 25 golpes en la copa de Casagrande, el material se une por 13 mm en una ranura de dimensiones estándar hecha antes de los golpes.

El porcentaje de humedad, al conocer este límite se determina de la siguiente forma:

$$\%H_{LL} = \left(\frac{Wh - W_s}{W_s - W_v} \right) \times 100$$

Donde:

%Hn: Contenido de agua cuando se ha encontrado el límite líquido, en %

Wh: Masa de la muestra húmeda más el vidrio de reloj, en g.

Ws: Masa de la muestra seca más el vidrio de reloj, en g.

Wv: Masa del vidrio vacío, en g.

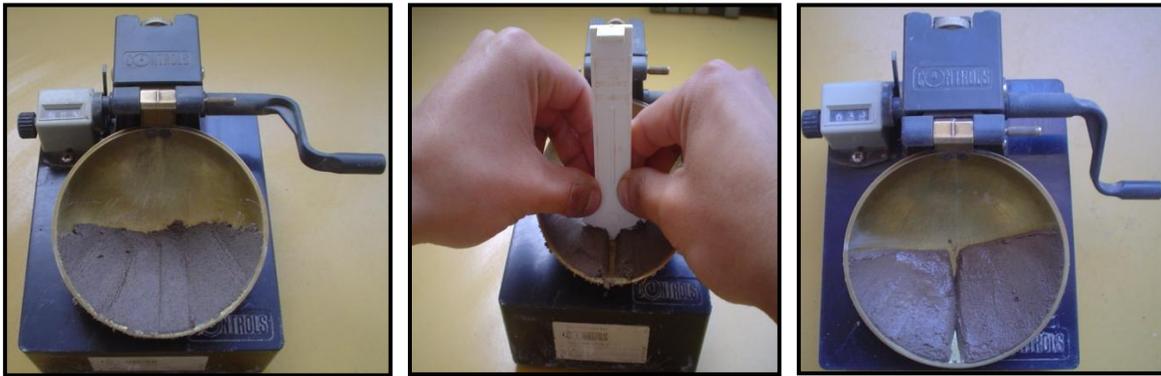


Figura 37: Obtención del Límite Líquido. (Fuente: Lab. de Agregados CEMEX)

VII.III.I.II Límite Plástico

Es el contenido de agua con el que comienza a agrietarse un rollo formado con el suelo, de aproximadamente 3.2 mm de diámetro y 50 mm de longitud mínima, al rodarlo con la mano o espátula sobre una superficie lisa no absorbente que puede ser una placa de vidrio (figura 38).

El estado de límite líquido, se determina cuando el material en un estado de límite líquido se ha secado hasta la condición de ser más rígido que una plastilina, se obtiene elaborando rollos con suelo de 3.2 mm de diámetro y una longitud mínima de 50 mm, cuando el rollo empiece a perder humedad y se empiece a agrietar, se dice que el material presenta este estado.

El porcentaje de humedad, al conocer este límite se calcula de la siguiente forma:

$$\%LP = \left(\frac{Wh - Ws}{Ws - Wv} \right) \times 100$$

Donde:

%LP: Contenido de agua definido como el estado de límite plástico, en %

Wh: Masa promedio de las muestras húmedas más el vidrio de reloj, en g.

Ws: Masa promedio de las muestras secas más el vidrio de reloj, en g.

Wv: Masa del vidrio vacío, en g.

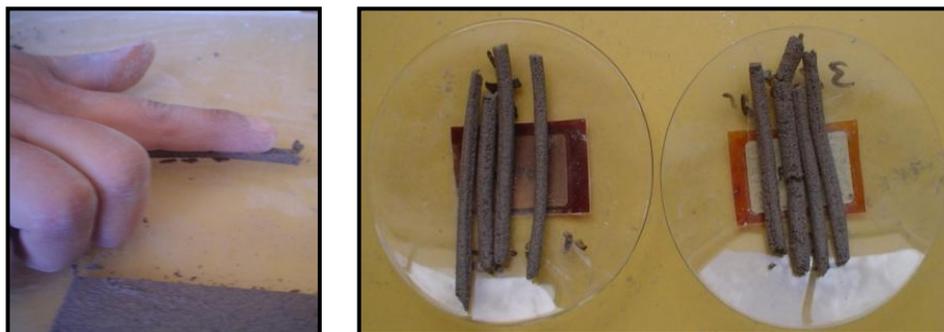


Figura 38: Límite Plástico de un Agregado Fino. (Fuente: Lab. de Agregados CEMEX)

VII.III.I.III Índice de Plasticidad

Es la diferencia encontrada entre el límite líquido y el límite plástico, y es la medida de la plasticidad del suelo.

El índice de plasticidad no es como tal una prueba, es el resultado de la resta de los contenidos de humedad del límite líquido y el límite plástico, siendo este valor de suma importancia para la clasificación del material en estudio, mientras mayor sea el índice, mayor probabilidad existe que un suelo presente contracción lineal.

El índice de plasticidad se calcula de la siguiente forma:

$$IP = LL - LP$$

Donde:

IP = índice de Plasticidad

LL = Límite líquido, obtenido en la ecuación del punto 7.3.1.1

LP = Límite plástico, obtenido con la ecuación del punto 7.3.1.2

7.3.1.4 Sistema Unificado de Clasificación del Suelo y su adaptación a concreto.

Este sistema fue desarrollado por Casagrande en 1942, y fue empleado por el Cuerpo de Ingenieros del ejército de los Estados Unidos durante la segunda guerra mundial para la construcción de pistas de aterrizaje. Actualmente ASTM lo tiene normado en el documento ASTM-D-2487 y se emplea para clasificar el suelo que será usado en obras de ingeniería.

En concreto se emplea para determinar la cantidad máxima de partículas más finas que la malla No. 200 y se encuentra regulado por la norma NMX-C-111, en esta norma se establece la tabla 6.

Tabla 6: Cantidades máximas de material que pasa la malla No. 200 (0.075 mm) en agregados finos. (Fuente: NMX-C-111)

Límite Líquido (%)	Índice de Plasticidad (%)	% Máximo de Partículas más finas que la Malla No. 200
Hasta 25	Hasta 5	15 %
Hasta 25	6 – 10	13 %
Hasta 25	11 – 15	6 %
26 – 35	Hasta 5	13 %
26 – 35	6 – 10	10 %
26 - 35	11 – 15	5 %
36 - 40	Hasta 5	10 %

VII.III.II Contracción Lineal de un Agregado (NMX-C-416 Capítulo 7)

Se define como la reducción en mayor dimensión de un espécimen en forma prismática rectangular, elaborado con la fracción de suelo que pasa la malla No. 40 (0.425 mm), cuando su contenido de agua disminuye del correspondiente límite líquido hasta la pérdida total de agua, expresada dicha reducción como un porcentaje de la longitud inicial del espécimen.²²

Para la ejecución de esta prueba se deberá emplear material que se encuentre en el límite líquido, aprovechando siempre el material de la prueba de límites de consistencia. Se deberá llenar un molde prismático de 100 mm de longitud en 3 capas asegurándose que el aire contenido es expulsado a través de golpes en la barra contra una base sólida; una vez lleno y enrasado, se deberá dejar a temperatura

ambiente hasta que cambie su color, una vez hecho esto, se deberá introducir en un horno a 110° para llevarlo hasta la pérdida total de agua.

Se deberá medir inicialmente el molde, y una vez transcurrida la contracción, se deberá medir la longitud final de la barra, misma que tendrá un aspecto como el mostrado en la figura 39.

La contracción lineal se calcula de la siguiente forma:

$$CL = \left(\frac{(Li - Lf)}{Li} \right) \times 100$$

Donde:

CL: Contracción lineal, en %

Li: Lectura inicial de la barra, largo del molde, en mm

Lf: Lectura final de la barra de material, en mm



Figura 39: Contracción lineal de un agregado. (Fuente: Lab. De Agregados CEMEX)

VII.III.III Sanidad de un Agregado (NMX-C-075)

La prueba de sanidad de un agregado también es conocida como prueba de “Intemperismo Acelerado” y determina la resistencia a la degradación de los agregados a la desintegración debido a la acción química y física de los agentes de intemperismo.²³

Para la prueba es necesario el uso de sustancias químicas como el sulfato de sodio o sulfato de magnesio, sustancias que son inestables, lo que quiere decir que cristalizan a altas o bajas temperaturas, al cristalizar, la sustancia se expande. La simulación de intemperismo en el agregado consiste en someter a los agregados a esta solución en estado líquido, las soluciones se estabilizan a una temperatura de 21° ± 1°C, el agregado se deja inmerso en la solución por un periodo de 16 a 18 horas con la finalidad de que la solución penetre en estado líquido por todos los poros del material, una vez que se ha cumplido el tiempo

de inmersión, se deberá llevar a los agregados a un horno a 110° C con la finalidad de que la solución se expanda dentro de ellos y si así fuera el caso, los fracture, un ejemplo de partículas fracturadas se muestra en la figura 40.

Existen agregados muy resistentes a este tipo de cambios volumétricos, sin embargo existen otros que no resisten y se desintegran por completo.

Para calcular la pérdida por intemperismo acelerado de un agregado se deberá emplear la siguiente fórmula:

$$PI = \left(\frac{MAI - MDI}{MAI} \right) * 100$$

Donde:

PI: Pérdida por intemperismo, en %.

MAI: Peso total de la muestra de agregado antes de la prueba, en g.

MDI: Peso total de la muestra de agregado después de la prueba, en g.



Figura 40: Pérdida por Intemperismo de una muestra de grava. (Fuente: Lab. de Agregados CEMEX).

VII.III.IV Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables (NMX-C-071)

Esta prueba determina la cantidad de terrones de arcilla y partículas deleznables, mismas, que son consideradas como sustancias nocivas por la norma NMX-C-111.²⁴

La prueba consiste en someter cierta masa de agregado previamente lavado de acuerdo a la prueba de partículas más finas que la malla No. 200 a un recipiente con agua destilada por un periodo de saturación de 24 h ± 4 h, una vez transcurrido este tiempo, las partículas que se puedan desmenuzar con los dedos y convertirse en finos que puedan separarse por cribado se deberán considerar como partículas deleznables y terrones de arcilla.

Para el cálculo de la cantidad de terrones de arcilla y partículas deleznables se deberá emplear la siguiente fórmula:

$$P = \frac{M - R}{M} \times 100$$

Donde:

P: es el porcentaje de partículas deleznables y terrones de arcilla, en %.

M: es la masa de la muestra de prueba, en g.

R: es la masa de las partículas retenidas y secas, después del cribado por lavado, en g.



Figura 41: Proceso de desintegración de partículas deleznables y terrones de arcilla en una muestra de grava. (Fuente: Lab. de Agregados CEMEX).

VII.III.V Análisis de Factor de Forma (ASTM-D-4791)

Esta prueba consiste en determinar la cantidad, en por ciento de partículas planas, partículas alargadas, así como de partículas planas y alargadas.³⁰

Las partículas planas y alargadas pueden ocasionar pérdida de trabajabilidad en un concreto en estado fresco, además de que la resistencia a compresión en estado endurecido se puede ver afectada.

La determinación de estas pruebas se realiza mediante el análisis de al menos 500 partículas que se retienen en la malla de 3/8". Con ayuda de un dispositivo llamado Caliper se deberán probar todas las partículas que a simple vista se puedan considerar planas, largas o planas y alargadas.

Al finalizar la prueba será necesario contar las partículas con forma adecuada (No plana, larga o plana y alargada) y obtener un porcentaje de partículas planas, largas y planas y alargadas (figura 42).



Figura 42: Análisis de factor de forma de una grava. (Fuente: Lab. de Agregados CEMEX)

VII.III.VI Coeficiente Volumétrico (NMX-C-436)

El coeficiente volumétrico es la relación que existe entre la suma de los volúmenes de las partículas representativas de agregado grueso que componen una muestra con la suma de los volúmenes de las esferas que circunscriben a cada partícula de dicha muestra.²⁵

La prueba evalúa la forma de las partículas de una muestra de grava, mientras mayor sea el coeficiente volumétrico, la partícula se considerará más adecuada para la producción de concreto hidráulico.

La prueba consiste en llevar a un estado SSS de todas las partículas que se deberán probar, una vez en dicho estado se deberá medir con ayuda de un vernier el largo de las partículas y registrarlo, cada vez que

una partícula sea medida se deberá introducir en un picnómetro del tipo sifón con la finalidad de conocer su volumen real. Al finalizar, se deberán sumar todos los volúmenes de las esferas que circunscriben las partículas y se deberá obtener el coeficiente volumétrico empleando las siguientes fórmulas:

Fórmula para obtener el volumen de la esfera que circunscribe la partícula:

$$V_i = \frac{\pi \cdot d^3}{6}$$

Donde:

V_i : es el volumen teórico que circunscribe cada partícula, en cm^3

π : 3.1415927

d : es la longitud mayor de cada partícula, en cm.

El coeficiente volumétrico es calculado con la siguiente fórmula:

$$C_v = \frac{V_r}{V_i}$$

Donde:

C_v : es el coeficiente volumétrico del agregado grueso.

V_r : es el volumen real de las partículas obtenido del picnómetro, en g.

V_i : es la suma de las esferas que circunscriben a cada partícula evaluada, en cm^3

VII.III.VII Contenido de Materia Orgánica en el Agregado Fino (NMX-C-088)

Durante esta prueba se determina la presencia de materia orgánica dañina en agregados finos que se usan para la fabricación de concretos o morteros con cemento hidráulico.²⁶

La prueba consiste en someter una muestra de agregado a una solución de hidróxido de sodio (sosa caústica) al 3 % durante un periodo de 24 horas. Para ello se emplean frascos graduados a 130 cm^3 y 200 cm^3 .

El agregado es introducido al frasco hasta la marca de 130 cm^3 y la solución de hidróxido de sodio hasta la marca de 200 cm^3 . Una vez transcurridas las 24 horas, se deberá comparar la solución libre entre los 130 y los 200 cm^3 con una carta de colores, tal como se muestra en la figura 43, existiendo niveles de contenido de materia orgánica siendo 1 y 2 considerados como bajo o nulo contenido de materia orgánica y siendo el nivel de coloración 3 un nivel que pudiera ocasionar daños en el concreto como son pérdida de revenimiento, bajas resistencia y fraguado tardío.

Si un agregado presenta el nivel 3 de coloración deberán hacerse mezclas de concreto para revisar si se trata de materia orgánica o presencia de carbón y lignito que pudieran llegar a colorar la solución, siendo este último caso, el agregado podría emplearse si los resultados de compresión en concreto no se ven afectados durante las pruebas.



Figura 43: Contenido de Materia Orgánica en una muestra de arena. (Fuente: Lab. de Agregados CEMEX)

VII.III.VIII Abrasión de los Agregados (NMX-C-196)

Esta prueba determina la resistencia al desgaste de materiales pétreos, mediante el impacto y abrasión que produce un número de esferas de acero sobre una muestra de material con características granulométricas específicas, contenidas en un tambor giratorio como el mostrado en la figura 44.²⁷

La prueba consiste en someter una más inicial conocida de agregado grueso a 500 o 1000 revoluciones en un tambor giratorio que contiene, además de la muestra de agregado, cierta cantidad de esferas que impactan al material con la finalidad de desgastarlo por abrasión. Una vez transcurridas las revoluciones de cada muestra, el material deberá ser recolectado y lavado a través de la malla No. 12, todo el material que pasa por esta malla será considerado pérdida por abrasión (figura 45).

La abrasión deberá ser calculada con la siguiente fórmula:

$$D = \frac{M_i - M_f}{M_i} \times 100$$

Donde:

D: es el desgaste por abrasión, en %.

M_i: es la masa inicial, en g.

M_f: es la masa final, en g.



Figura 44: Máquina de Abrasión de los Ángeles. (Fuente: Lab. de Agregados CEMEX)



Figura 45: Muestra de grava después de la prueba de abrasión. (Fuente: Lab. de Agregados CEMEX)

Tabla 7: Frecuencia de realización de pruebas especiales de un agregado.
(Fuente: Plan de Calidad CEMEX Agregados)

Punto de Medición	Referencia	Especificación	Frecuencia
Límites de Consistencia y Contracción Lineal	NMX-C-416 Capítulo 6	Tabla 6	Mensual
Contracción Lineal	NMX-C-416 Capítulo 7	$\leq 2 \%$	Mensual
Sanidad (Intemperismo Acelerado)	NMX-C-075	$\leq 12 \%$ (Empleando Sulfato de Sodio)	Cada 6 meses
Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables	NMX-C-071	$\leq 3 \%$	Mensual
Análisis de Factor de Forma	ASTM-D-4791	$\leq 20 \%$	Cada 3 meses
Coefficiente Volumétrico	NMX-C-436	≥ 0.20	Cada 3 meses
Contenido de Materia Orgánica	NMX-C-088	Nivel Máximo: 3	Mensual
Abrasión de los Ángeles	NMX-C-196	$\leq 50 \%$	Cada 3 meses

VII.IV Control de Calidad de la Cantera Cerro Jardín

Tabla 8: Características Básicas del Agregado fino de Cerro Jardín. (Fuente: Lab. de Agregados CEMEX)

Agregado Fino		Caracterización Básica del Agregado de Cantera Cerro Jardín			
Prueba	Resultados	Calificación	Método de Prueba	Límites Establecidos en la norma NMX-C-111 ²⁹	
Análisis Granulométrico	Ver figura 46 y 47	Cumple	NMX-C-077	Tabla 1	
Módulo de Finura	3.02	Cumple		2.3 a 3.1	
Densidad Relativa en estado SSS	2.68	NA	NMX-C-165	NA	
% Absorción	1.3 %				
Masa Volumétrica	Suelta	1 633 kg/m ³	NA	NMX-C-073	NA
	Compactada	1 840 kg/m ³			
Partículas más finas que la malla No. 200	15 %	Cumple	NMX-C-084	Máximo 15 % de acuerdo a prueba de plasticidad	
Contenido de Humedad	4.2 %	NA	NMX-C-166	NA	

Las características presentadas en este documento son de una muestra tomada mediante el procedimiento que marca la norma NMX-C-030 y reducida hasta los tamaños requeridos para cada una de las pruebas mediante el procedimiento indicado en la norma NMX-C-170.

Las pruebas presentadas fueron realizadas con la intención de ejemplificar las características con las que debe cumplir un agregado.

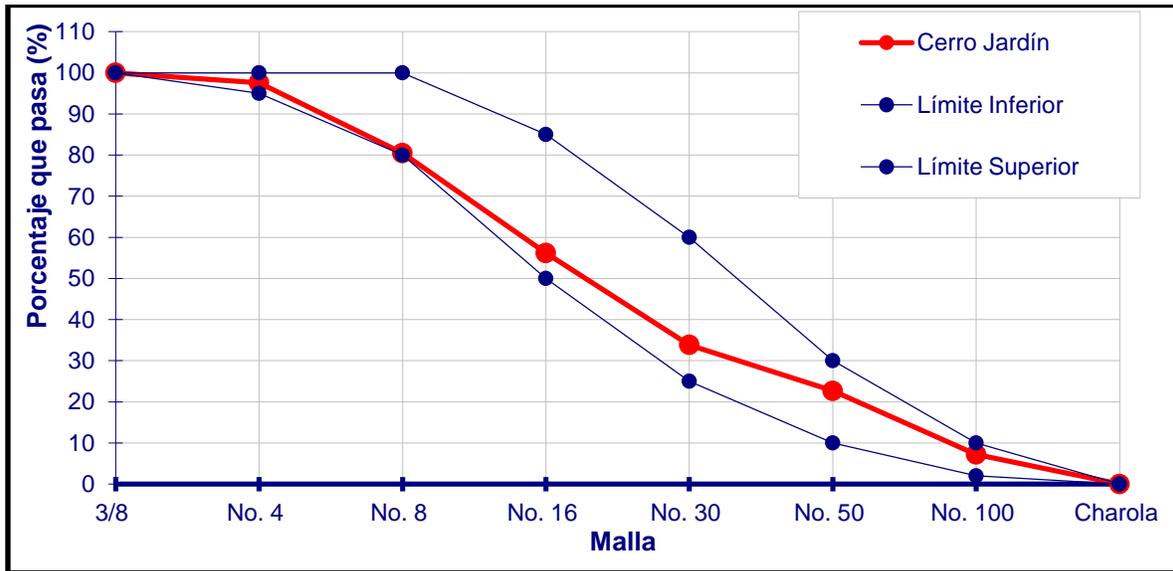


Figura 46: Gráfica de Granulometría del Agregado Fino de la Cantera Cerro Jardín. (Fuente: Lab. de Agregados CEMEX)



Figura 47: Granulometría del Agregado Fino de la Cantera Cerro Jardín. (Fuente: Lab. de Agregados CEMEX)

Tabla 9: Características Especiales del Agregado fino de Cerro Jardín.
(Fuente: Lab. de Agregados CEMEX)

Agregado Fino		Caracterización Especial del Agregado de Cantera Cerro Jardín			
Prueba	Resultados		Calificación	Método de Prueba	Límites Establecidos en la norma NMX-C-111
Límites de Consistencia	Límite Líquido	13.6 %	NA	NMX-C-416 Capítulo 6	Tabla 6
	Límite Plástico	10.5 %			
	Índice de Plasticidad	3.1 %			
Contracción Lineal	0.35 % (Ver figura 48)		Cumple	NMX-C-416 Capítulo 7	≤ 2 %
Sanidad (Intemperismo Acelerado)	3.3 %		Cumple	NMX-C-075	≤ 12 % (Empleando Sulfato de Sodio)
Terrones de Arcilla y Partículas Deleznales	1.5 %		Cumple	NMX-C-071	≤ 3 %
Contenido de Materia Orgánica	Nivel 1		Cumple	NMX-C-088	Máximo Nivel 3



Figura 48: Contracción Lineal de la Cantera Cerro Jardín. (Fuente: Lab. de Agregados CEMEX)

Tabla 10: Características Básicas de la grava ¾" de Cantera Cerro Jardín.
(Fuente: Lab. de Agregados CEMEX)

Agregado Grueso		Caracterización Básica del Agregado de Cantera Cerro Jardín			
Prueba	Resultados	Calificación	Método de Prueba	Límites Establecidos en la norma NMX-C-111	
Análisis Granulométrico	Ver figura 49 y 50	Cumple	NMX-C-077	Tabla 1.	
Densidad Relativa en estado SSS	2.65	NA	NMX-C-164	NA	
% Absorción	1.7 %				
Masa Volumétrica	Suelta	1 536 kg/m ³	NA	NMX-C-073	NA
	Compactada	1 731 kg/m ³			
Partículas más finas que la malla No. 200	1.3 %	Cumple	NMX-C-084	≤ 2 %	
Contenido de Humedad	2.6 %	NA	NMX-C-166	NA	

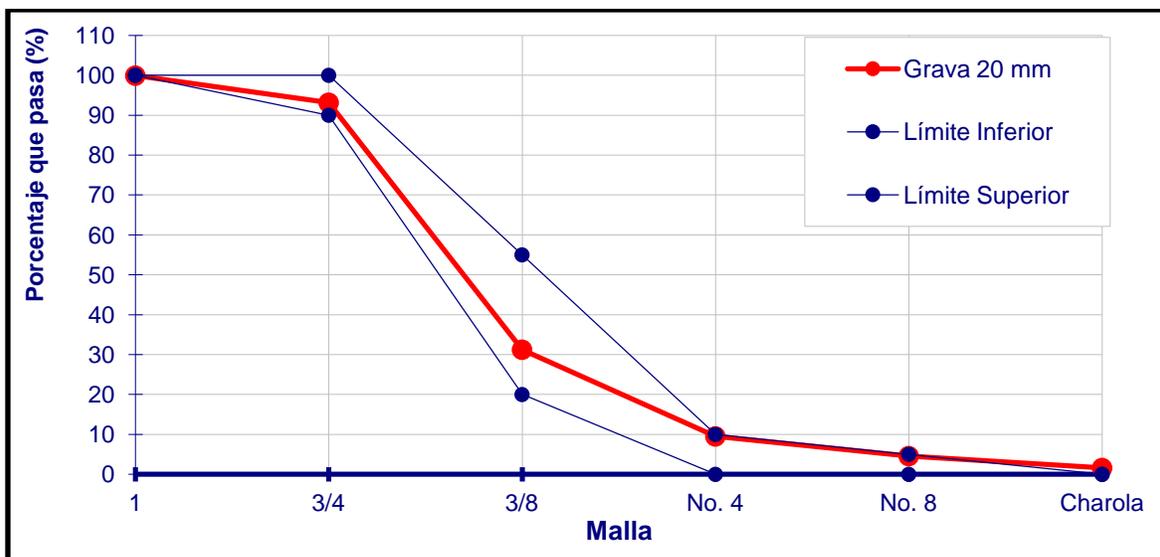


Figura 49: Gráfica de Granulometría del Agregado Grueso de Cantera Cerro Jardín.
(Fuente: Lab. de Agregados CEMEX)



Figura 50: Granulometría del Agregado Grueso de Cantera Cerro Jardín. (Fuente: Lab. de Agregados CEMEX)

Tabla 11: Características Especiales de la grava ¾" de Cantera Cerro Jardín. (Fuente: Lab. de Agregados CEMEX)

Agregado Grueso		Caracterización Especial del Agregado de Cantera Cerro Jardín		
Prueba	Resultados	Calificación	Método de Prueba	Límites Establecidos en la norma NMX-C-111
Sanidad (Intemperismo Acelerado)	4.5 %	Cumple	NMX-C-075	≤ 12 % (Empleando Sulfato de Sodio)
Terrones de Arcilla y Partículas Deleznables	1.1 %	Cumple	NMX-C-071	≤ 3 %
Análisis de Factor de Forma	19 %	Cumple	ASTM-D-4791	≤ 20 %
Coefficiente Volumétrico	0.22	Cumple	NMX-C-436	≥ 0.20
Abrasión de los Ángeles	35 % (Ver figura 51 y 52)	Cumple	NMX-C-196	≤ 50 %



Figura 51: Muestra de grava antes de la prueba de Abrasión. (Fuente: Lab. de Agregados CEMEX)



Figura 52: Muestra de grava después de la prueba de Abrasión. (Fuente: Lab. de Agregados CEMEX)

VIII. Conclusiones

Los agregados pétreos han sido y serán excelentes materiales de construcción, el desempeño de ellos depende en gran parte de la producción, sin embargo es muy importante la selección de los materiales al momento de diseñar una mezcla, pues no existe un solo agregado que sea adecuado para todo tipo de concretos, por ejemplo, la caliza es un material que otorga un módulo de elasticidad del doble que una andesita, por ello su uso es reglamentado para concretos estructurales, sin embargo una caliza es muy propensa a ser desgastada por abrasión, por lo que su uso en pavimentos de concreto hidráulico no es muy recomendable; el basalto es un material denso, ofrece características mecánicas superiores a una andesita o un tezontle, sin embargo este tipo de agregados no es recomendable para concretos ligeros, en cambio la andesita no es un material adecuado para un concreto estructural, pues su módulo de elasticidad es bajo, normalmente, una andesita es usada en la fabricación de concretos de línea o convencionales, por ejemplo, plantillas, guarniciones, banquetas, andadores peatonales, etc.

Si se cuenta con un estricto control de calidad de agregados, como el presentado a lo largo de este trabajo, es probable que se cuente con mezclas de concreto con un excelente desempeño. Algunos problemas generados en los concretos provienen de los agregados y de su bajo o nulo control de calidad, por ejemplo un concreto elaborado con agregados con partículas planas y alargadas, será un concreto con baja trabajabilidad, factor que influirá en el consumo de agua, haciendo que la resistencia a compresión baje por la elevada relación agua / cemento; un concreto elaborado con agregados que no cumplan con la prueba de sanidad y presenten deterioro será un concreto con una durabilidad baja, propenso a desgastarse y ser penetrado por el agua atacando el acero de refuerzo. Este tipo de problemas siempre recaen en numerosas cantidades de dinero, haciendo que las obras se retrasen o no cumplan con los requisitos especificados en los proyectos.

En México hace falta la cultura de profesionalización de la industria de Agregados, y aunque se cuenta con productores que exportan materiales, todavía se pueden encontrar productores que usan únicamente un cargador frontal, 4 postes y una malla para la producción de arena, descuidando en todo momento la seguridad de los trabajadores y sobre todo la calidad de los productos, pues dichos elementos de producción no son revisados ni mantienen controles de mantenimiento. Este tipo de profesionalización se puede aplicar exigiendo a todos los productores de concreto y a los consumidores de agregado que revisen que los materiales cumplan con las normas vigentes que los regulan.

Por otra parte, es importante conocer adecuadamente los procesos de producción de los agregados, pues la calidad depende en gran medida de una buena elección del circuito de trituración, manejo y almacenaje de los materiales, tipos de trituradoras, tipo de cribas, tipos de bandas, tipos de voladuras, etc.

A lo largo de mi estancia en CEMEX he aprendido que el control de calidad de los productos, procesos y servicios siempre generan en el cliente la satisfacción que buscan al hacer negocios con una empresa reconocida mundialmente.

Así mismo he logrado conocer las diferentes aplicaciones de los agregados, la forma en que se producen, relacionándome con Ingenieros Mineros, Industriales, Civiles, Mecánicos, Abogados, Contadores, Vendedores, Productores, Clientes y Proveedores haciendo que mi estancia en la compañía me haya formado como profesionista.

Bibliografía

1. Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, William C. Panarese, y Jussara Tanesi. (2004). Diseño y Control de Mezclas de Concreto. Illinois: Portland Cement Association.
2. Javier Lara Bayón, Alejandra Betancourt, Ernesto Soto Páez. (2006). CEMEX, El libro del Centenario. Monterrey, México: Editorial Clío.
3. <http://www.cemex.com/ES/AcercaCemex/Valores.aspx#sthash.NGU DTGHZ.dpuf>
4. Secretaría de Economía. (2013). Estudio de la Cadena Productiva de los Agregados Pétreos. Enero 2013, de Secretaría de Economía México Sitio web: www.gob.mx/se/
5. Libia Gutiérrez de López. (2003). El Concreto y Otros Materiales Para la Construcción Parte I.
6. <https://www.google.com.mx/maps/search/CEMEX+CERRO+JARDIN+/@19.9681369,99.2218852,2544m/data=!3m1!1e3>
7. <http://portalweb.sgm.gob.mx/museo/yacimientos-minerales/explotacionminera>
8. Geología Richard M. Pearl, Geología para ingenieros geotécnicos J.C. Harvey
9. Manual para la selección de métodos de explotación de minas, Víctor Manuel López Aburto Facultad de ingeniería, UNAM.
10. J. Bernaola Alonso, J. Castilla Gómez y J. Herrera Herbert. (2013). Perforación y Voladura de Rocas en Minería. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
11. Otello del Greco. (1982). Explotación de Canteras sin el uso de Explosivos. Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral
12. Jarmo Eloranta. (2008). Manual de Trituración y Cribado Metso. Finlandia: Kirjapaino Hermes
13. Felipe Hernández. (julio, 2010). Agregados - Reducción de Muestras de Agregados Obtenidas en Campo requerido de las pruebas. Construcción y Tecnología, 35, 5. julio, 2010, De NMX-C-170-ONNCCE-1997 Base de datos.
14. NMX-C-030-ONNCCE-2004 – Industria de la Construcción – Agregados – Muestreo.
15. NMX-C-170-1997-ONNCCE – Industria de la Construcción – Agregados – Reducción de las Muestras Obtenidas en el campo al Tamaño Requerido para las Pruebas.
16. NMX-C-077-1997-ONNCCE – Industria de la Construcción – Agregados para Concreto – Análisis Granulométrico – Método de Prueba.
17. NMX-C-084-ONNCCE-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.
18. NMX-C-073-ONNCCE-2003 – Industria de la Construcción – Agregados – Masa Volumétrica – Método de Prueba.
19. NMX-C-166-ONNCCE-2006 – Industria de la Construcción – Agregados – Contenido de Agua por Secado – Método de Prueba.
20. NMX-C-164-ONNCCE-2014 – Industria de la Construcción – Agregados – Determinación de la Densidad Relativa y Absorción de Agua del Agregado Grueso.
21. NMX-C-165-ONNCCE-2014 – Industria de la Construcción – Agregados – Determinación de la Densidad Relativa y Absorción del Agua del Agregado Fino - Método de Ensayo.
22. NMX-C-416-ONNCCE-2003 – Industria de la Construcción – Muestreo de Estructuras Téreas y Métodos de Prueba. (Capítulos 6 y 7)
23. NMX-C-075-ONNCCE-2006 – Industria de la Construcción – Agregados – Determinación de la Sanidad por Medio de Sulfato de Sodio o Sulfato de Magnesio.
24. NMX-C-071-ONNCCE-2004 – Industria de la Construcción – Agregados – Determinación de Terrones de Arcilla y Partículas Deleznales.
25. NMX-C-436-ONNCCE-2004 – Industria de la Construcción – Agregados para Concreto – Coeficiente Volumétrico (de Forma) en Agregado Grueso – Método de Prueba.
26. NMX-C-088-1997-ONNCCE – Industria de la Construcción – Agregados – Determinación de Impurezas Orgánicas en el Agregado Fino.
27. NMX-C-196-ONNCCE-2010 – Industria de la Construcción – Agregados – Determinación de la Resistencia a la degradación por Impacto y Abrasión e Impacto de los Agregados Gruesos usando la máquina de los Ángeles.

- 28.** NMX-C-111-ONNCCE-2014 – Industria de la Construcción – Agregados para Concreto Hidráulico – Especificaciones y Métodos de Ensayo.
- 29.** ASTM-C-33/C33M-16 Especificación Normalizada para Agregados para Concreto.
- 30.** ASTM-D-4791 Método normalizado para la obtención de partículas planas, partículas largas y partículas planas y alargadas en agregado grueso.