



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUA UTILÁN

³ ESTUDIO Y ANÁLISIS DE LA CARACTERIZACIÓN PARCIAL DE
AGREGADOS PARA ELABORAR CONCRETO EN UNA CANTERA DE
MATERIALES ANDESÍTICOS.

TRABAJO PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE: INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA:
CÉSAR LÓPEZ SANTOS

ASESOR: M. en C. JOSÉ DE JESÚS PÉREZ SAAVEDRA

CUAUTITLÁN IZCALLI, ESTADO DE MÉXICO. AÑO 2008



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: EVALUACION DEL INFORME
 DEL DESEMPEÑO PROFESIONAL

FACULTAD DE ESTUDIOS
 SUPERIORES CUAUTITLAN



DEPARTAMENTO DE
 EXAMENES PROFESIONALES

DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
 P R E S E N T E

ATN: L. A. ARACELI HERRERA HERNANDEZ
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 26 del Reglamento General de Exámenes y el art. 66 del Reglamento de Exámenes Profesionales de FESC, nos permitimos comunicar a usted que revisamos EL TRABAJO PROFESIONAL:

"Estudio y Análisis de la Caracterización Parcial de Agregados para
 Elaborar Concreto en una Cantera de Materiales Andesíticos".

que presenta el pasante: César López Santos
 con número de cuenta: 09728782-9 para obtener el título de :
 Ingeniero Químico

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios, otorgamos nuestra
 ACEPTACION

A T E N T A M E N T E
 "POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 18 de Enero de 2007.

| | | |
|------------------|---------------------------------------|--|
| PRESIDENTE | MC. Jose de Jesús Pérez Saavedra | |
| VOCAL | Dr. Ricardo Paramont Hernández García | |
| SECRETARIO | IQ. Ma. Eugenia Velázquez Espinosa | |
| PRIMER SUPLENTE | MC. Gilberto Atilano Amaya Ventura | |
| SEGUNDO SUPLENTE | MC. Rosalva Euricides Samano Osuna | |

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

A DIOS

MI PROFUNDO AGRADECIMIENTO, A ÉL ANTES QUE HA NADIE, POR PERMITIRME VIVIR Y POR QUE EN SU VOLUNTAD ME HA PERMITIDO TITULARME COMO INGENIERO QUÍMICO. GRACIAS DIOS, POR QUE TODAS LAS COSAS BUENAS QUE TENGO LAS HE RECIBIDO DE TI.

A MIS PADRES

ESTE LOGRO SE LOS DEDICO A USTEDES, POR QUE RECONOZCO QUE NO LO HUBIERA LOGRADO SI NO ES POR EL APOYO, LOS CUIDADOS Y EL AMOR QUE ME HAN BRINDADO. LES ADMIRÓ, LES AMO Y LES RESPETO, MUCHAS GRACIAS.

A MIS HERMANOS

IGNACIO Y NANCY, QUE JUNTOS HEMOS COMPARTIDO MUCHAS COSAS, TENGO LA CERTEZA QUE EN TODO LO QUE EMPRENDAN LES IRÁ BIEN. NO PODRÍA ESCRIBIR TODAS LAS COSAS QUE HAY QUE AGRADECERLES, PERO POR TODO, MUCHAS GRACIAS.

A MI ASESOR

UN ESPECIAL AGRADECIMIENTO AL M. EN C. JOSÉ DE JESÚS PÉREZ SAAVEDRA POR SU TIEMPO, APOYO Y CONOCIMIENTOS QUE ME OFRECIÓ Y APORTO PARA LA ELABORACIÓN DE ESTE TRABAJO, EN VERDAD MUCHAS GRACIAS PROFESOR.

GRACIAS, A TODAS LAS PERSONAS, AMIGOS Y CONOCIDOS QUE DE ALGUNA U OTRA MANERA INFLUYERÓN EN LA REALIZACIÓN DEL PRESENTE TRABAJO. Y POR SUPUESTO, A ESA PERSONITA TAN QUERIDA QUE LA LLEVO MUY DENTRO DE MI CORAZÓN.

ÍNDICE

| | Páginas |
|--|---------|
| INTRODUCCIÓN | 7 |
| OBJETIVOS | 9 |
| CAPÍTULO 1. Importancia de los agregados en la elaboración de concreto | 10 |
| 1.1 Antecedentes y conceptos básicos | 10 |
| 1.2 Origen de los agregados | 11 |
| 1.2.1 Constituyentes minerales de los agregados | 11 |
| 1.2.2 Clasificación de agregados | 13 |
| 1.2.2.1 Agregados naturales | 13 |
| 1.2.2.2 Agregados triturados | 14 |
| 1.3 Composición del concreto | 15 |
| 1.4 Especificaciones de los agregados | 16 |
| 1.4.1 Agregados para concreto | 16 |
| 1.4.2 Control de calidad de agregados para concreto | 17 |
| CAPÍTULO 2. Ensayes y características de los agregados | 20 |
| 2.1 Normas y especificaciones a los agregados para ser usados en la elaboración de concreto | 20 |
| 2.2 Toma y reducción de muestras en campo | 22 |
| 2.3 Pruebas físicas aplicadas a agregados para la elaboración de concreto | 23 |
| 2.3.1 Granulometría y módulo de finura | 23 |
| 2.3.2 Contenido de humedad en los agregados | 31 |
| 2.3.3 Masa específica y absorción | 32 |
| 2.3.4 Masa Volumétrica suelta y compactada y determinación de vacíos | 33 |
| 2.3.5 Plasticidad (prueba de consistencia de finos) | 33 |
| 2.3.6 Prueba de los ángeles (abrasión) para agregados gruesos | 34 |
| 2.3.7 Pérdida por Lavado | 34 |
| 2.3.8 Factor de forma | 35 |
| 2.4 Pruebas químicas aplicadas a agregados para la elaboración de concreto | 36 |
| 2.4.1 Contenido de materia orgánica | 36 |
| 2.4.2 Reactividad álcali-agregado | 36 |
| 2.4.3 Reactividad álcali-carbonato | 39 |
| 2.4.4 Resistencia a ácidos y otras sustancias corrosivas | 40 |
| 2.5 Materiales potencial mente perjudiciales | 41 |
| CAPÍTULO 3. Proceso de obtención de grava de 20 mm y arena de 5 mm en una cantera de agregados andesíticos | 44 |
| 3.1 Generalidades en la explotación de bancos de materiales de agregados pétreos | 41 |
| 3.2 Descripción general del proceso | 42 |

| | |
|---|----|
| 3.3 Guía de procedimientos sencillos de pruebas físicas básicas aplicadas en una cantera de agregados | 45 |
| | |
| CA PÍTU LO 4. Resultados y análisis de resultados de estudios físicos en mina, y propuesta de mejora al proceso | 53 |
| 4.1 Resultados de estudios en mina para grava andesita de 20 mm | 53 |
| 4.2 Resultados de estudios en mina para arena andesita de 5 mm | 55 |
| 4.3 Análisis de resultados | 57 |
| 4.3.1 Análisis Granulométrico y de módulo de finura | 58 |
| 4.3.2 Análisis de peso volumétrico suelto y compactado | 59 |
| 4.3.3 Análisis de pérdida por lavado y contenido de materia orgánica | 59 |
| 4.3.4 Análisis de masa específica y porcentaje de absorción | 60 |
| 4.4 Propuesta de mejora al proceso | 61 |
| | |
| CAPÍTULO 5. Conclusiones | 65 |
| | |
| Bibliografía | 67 |

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el aumento de la población en nuestro país, ha traído como consecuencia, la demanda de obras civiles que cumplan con los satisfactores que resuelvan sus necesidades y además apoyen al desarrollo nacional.

Esto obliga a la construcción de grandes sistemas de riego, sistemas de conducción de aguas, de almacenamiento de las mismas, sistemas ferroviarios, carreteras, aeroportuarios y portuarios, gasoductos, oleoductos, drenajes, rectificaciones de cauces, nivelaciones de tierra, etc., en fin, grandes obras de ingeniería que requieren de una cuidadosa planeación y construcción.

En todas las obras de ingeniería se realizan grandes movimientos de materiales entre los cuales una gran mayoría son rocas y arenas, a las que se les busca una aplicación en la obra misma o hacer una explotación especial para cumplir con los requerimientos que esta obra solicita.

Generalmente el material producido de roca y arenas es conocido como agregados pétreos que con diferentes características son empleados en las obras de ingeniería. Una clasificación general de los principales tipos de agregados utilizados en la industria de la construcción sería:

- $\frac{3}{4}$ Agregados para elaborar concretos,
- $\frac{3}{4}$ Agregados para la construcción de carreteras y aeropistas y
- $\frac{3}{4}$ Agregados para la construcción de vías férreas.

El presente trabajo pretende destacar a los agregados pétreos para la elaboración de concreto. Esto conlleva a decir que en las mezclas de concreto hidráulico convencional, los agregados suelen representar entre 60 y 75 por ciento, aproximadamente, del volumen absoluto de todos los componentes; de ahí la notable influencia que las características y propiedades de los agregados ejercen sobre las del correspondiente concreto.

El concreto es muy útil en todo tipo de construcciones, ya que puede moldearse de muchas formas. Presenta una amplia variedad de texturas y colores y se utiliza para construir muchos tipos de estructuras, como autopistas, calles, puentes, túneles, presas, grandes edificios, pistas de aterrizaje, sistemas de riego y canalización, rompeolas, embarcaderos y muelles, aceras, silos o bodegas, factorías y casas, entre muchas otras.

Por otra parte, el control de calidad contribuye a formar una imagen de la capacidad técnica del país, lo que establece confianza en su nivel científico y técnico y es un aliciente para obtener la aceptación de productos de alto contenido tecnológico. Es por ello que el presente trabajo se enfoca en destacar la importancia de las pruebas físicas, las cuales nos indican la calidad del agregado para el uso más adecuado en la elaboración de concreto.

Entre la gama de actividades que el ingeniero químico puede llevar a cabo dentro de este ámbito, es proponer, mediante el análisis de los resultados de laboratorio, mejoras al proceso de obtención de agregados triturados, con el propósito de mejorar la calidad del producto y garantizar las especificaciones requeridas del cliente; además, analizar el proceso a fondo y conforme a los criterios ingenieriles, poder discernir los riesgos futuros a las instalaciones y al personal, y así proponer las medidas preventivas, correspondientes a cada caso en particular, entre otras actividades acordes a sus funciones.

Este trabajo cuenta con 4 capítulos, en el primero se destaca la importancia de los agregados en la elaboración de concreto y así mismo se justifica la necesidad de realizarle un estudio de calidad a los agregados pétreos antes utilizarse. El segundo capítulo consta de las pruebas físicas y químicas aplicadas a los agregados, definiendo cada tipo de prueba y su relevancia en el concreto. También se mencionan algunos materiales que pueden ser perjudiciales y que deben ser evitados en el proceso de obtención de agregados. En el tercero se presenta el proceso de obtención de arena de 5 mm. y de grava de 20 mm. en una cantera de agregados andesíticos. Además, se elabora una guía de procedimientos sencillos de caracterización parcial física de los agregados producidos. En el cuarto capítulo se presentan y analizan los resultados de laboratorio obtenidos en la cantera, así como las propuestas de mejora aplicadas al proceso para mejorar la calidad de arena andesita triturada de 5 mm.

OBJETIVOS:

1. Destacar la importancia de los agregados pétreos en la elaboración de concreto.
2. Dar a conocer la importancia de las pruebas físicas y químicas aplicadas a los agregados pétreos para elaborar concreto.
3. Mostrar el proceso de obtención de agregados triturados de 20 mm. y de 5 mm en una cantera de agregados andesíticos.
4. Elaborar una guía de procedimientos sencillos para realizar pruebas físicas en una cantera de agregados.
5. Analizar diferentes propuestas para mejorar la calidad de los agregados andesíticos en base a los resultados de las pruebas físicas realizadas en una cantera.

CAPÍTULO 1. IMPORTANCIA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS EN LA ELABORACIÓN DE CONCRETO

1.1 Antecedentes y conceptos básicos

La historia del concreto es la historia misma del hombre en la búsqueda de un espacio para vivir con la mayor comodidad, seguridad y protección posible. Desde que el ser humano supero la época de las cavernas, ha aplicado sus mayores esfuerzos a delimitar su espacio vital, satisfaciendo primero sus necesidades de vivienda y después levantando construcciones con requerimientos específicos.

Templos, palacios, museos son el resultado del esfuerzo que constituye las bases para el progreso de la humanidad. El pueblo egipcio ya utilizaba un mortero – mezcla de arena con materia cementosa– para unir bloques y lozas de piedra las cuales eran de admirar en sus asombrosas construcciones. Los constructores griegos y romanos descubrieron que ciertos depósitos volcánicos, mezclados con caliza y arena producían un mortero de gran fuerza, capaz de resistir la acción del agua, dulce o salada. La aparición del cemento Portland y de su producto resultante el concreto ha sido un factor determinante para que el mundo adquiera una fisonomía diferente. Edificios, calles, avenidas, carreteras, presas y canales, fábricas, talleres y casas, de diversos tamaños y variedades nos dan un mundo nuevo de comodidad, de protección y belleza donde realizar nuestros más ansiados anhelos, un mundo nuevo para trabajar, para crecer, para progresar, para vivir.

Sin contar el agua y el aire, es difícil encontrar en la actualidad un producto que el hombre utilice en mayores cantidades que el concreto. El concreto, ese material que ha impartido su sello inconfundible a la civilización moderna.

En este texto el término ³agregado´ comprende las arenas, gravas naturales y la piedra triturada utilizadas para preparar morteros y concretos y también se aplica a los materiales especiales utilizados para elaborar concretos ligeros y pesados. Los agregados pétreos son fragmentos de roca de diversos tamaños, que deben cumplir con especificaciones físicas y granulométricas.

Se le denomina yacimiento al lugar donde se deposita el material pétreo a diferencia del banco natural que es el lugar donde se localiza una cantidad grande de material pétreo. Mientras que una cantera es el lugar donde se extrae la roca para producir materiales pétreos, y se excava a cielo abierto, una mina es el lugar donde se localiza una cantidad grande de cierto material y para explotarla se excava bajo tierra.

Al material pétreo que no ha sido sometido a ningún tratamiento se le llama material en greña, este suele ser una mezcla o estratificación de limo, arcilla, arena, grava, boleo y contaminación de materiales inertes y orgánicos.

Se denomina cribar a la acción de separar las partes pequeñas de las grandes a través de una criba, siendo la criba una rejilla hecha de barras soldadas, placa de acero perforada o tela de alambre. Mientras que una quebradora o trituradora es una máquina de constitución pesada, que se usa para reducir el tamaño del material pétreo.

1.2 Origen de los agregados pétreos

Es importante y fundamental conocer el origen de los agregados pétreos, ya que las rocas con que se elaboran dichos agregados se localizan en toda la corteza terrestre, encontrándose en diferentes formas y, por supuesto, con diferentes constituyentes minerales.

1.2.1 Rocas y constituyentes minerales en los agregados

Los agregados naturales para concreto son una mezcla de rocas y minerales (véase Tabla 1-1). Mineral es una sustancia sólida natural con una estructura interna ordenada y una composición química que varía dentro de límites estrechos. Las rocas, que se clasifican según su origen en ígneas, sedimentarias o metamórficas, generalmente se componen de varios minerales. Por ejemplo, el granito contiene cuarzo, feldespato, mica y otros pocos minerales. La mayoría de las calizas consiste en calcita, dolomita y pequeñas cantidades de cuarzo, feldespato y arcilla. El intemperismo y la erosión de las rocas producen partículas de piedra, grava, arena, limo y arcilla.

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

Tabla 1-1. Rocas y Constituyentes Minerales en los Agregados

Estos materiales que nos ofrece la corteza terrestre son accesibles para su aprovechamiento, y permiten desarrollar la tecnología del ser humano. Tal como hemos podido ver estos materiales se componen de minerales y rocas lo que les da diferentes características a los agregados.

Los agregados pétreos se pueden encontrar a una cierta profundidad cubierta por una capa de suelo o puede estar aflorando en la superficie. Estando en cualquier forma de las arriba mencionadas se conoce como cantera o banco de materiales. Dependiendo del tipo de agregado pétreo se estudiará si es factible de aprovechar e iniciar la excavación de esa fuente de agregados.

La clasificación de las rocas, como ya se mencionó anteriormente, es de acuerdo a su origen. Se clasifican en rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. Las rocas ígneas que se encuentran actualmente en la superficie se formaron a partir del magma procedente de depósitos profundos. Cuando el magma se derrama en la superficie se llama lava y cuando los fragmentos de magma solidificado son arrojados violentamente, constituyen los materiales piroclásticos.

La ceniza volcánica endurece hasta convertirse en roca, la cual se llama toba. Cuando una roca contenga fragmentos angulares en una masa de ceniza se llama brecha volcánica y cuando dichos fragmentos estén redondeados se llama conglomerado volcánico.

La toba en su mayoría son rocas poco resistentes y en nuestro país es muy abundante en toda la Sierra Madre Occidental, generalmente intercaladas con lavas riolíticas.

La riolita, roca extrusiva, se halla en las cumbres de la Sierra Madre Occidental que comprenda zonas de los estados de Nayarit, Zacatecas, Sinaloa, Durango y Chihuahua y también abunda en el centro del país.

La andesita es abundante en corrientes de lava y en fragmentos de brecha volcánica. La sierra de Pachuca está constituida en sus dos terceras partes inferiores por andesita y la cumbre por dasita. Gran parte del contorno de la cuenca del valle de México está constituida por andesitas y las faldas de las sierras del sur de la Ciudad de México están formadas por material piroclástico andesítico. El mismo material se encuentra al oriente de Texcoco, en parte de Cuernavaca Morelos y en el Estado de México, en las zonas de Ocuilan, Manilalco y Manilaltenango.

El basalto es muy abundante encontrándose en la República en casi todos los estados especialmente en el Valle de México.

Entre las rocas de tipo intrusivo está el granito que abunda en las costas del Océano Pacífico, en la Sierra de Chiapas, en el Batolito de Acapulco, en Guerrero, y los de Michoacán y Jalisco, en los dos extremos de la Península de Baja California y en algunas regiones del Estado de Sonora y Sinaloa.

La diorita se presenta en grandes masas de roca como al sur de Zitácuaro y en varios lugares de la Sierra Madre Occidental y en las costas del Océano Pacífico.

El gabro se encuentra en el Estado de San Luis Potosí, en el Estado de Hidalgo cerca de Tlanchinol, en el camino Pachuca-Jecutla, en el Estado de Sinaloa y los Estados de Baja California.

Las rocas sedimentarias se componen de sedimentos sueltos ocasionados por el intemperismo tales como arena, grava y lodo que a través del transcurso del tiempo se endurecen y consolidan formando rocas.

Estas rocas se encuentran generalmente dispuestas en capas o estratos que están expuestas en la superficie o en el fondo de un lago o del océano.

En las rocas sedimentarias los minerales más comunes son la arcilla, el cuarzo y la calcita. La arenisca aflora en la Ciudad de Altamirano, en Guerrero, en la sierra Madre Occidental, en la Planicie Costera del Golfo, en la zona norte del Istmo y en masas menores en toda la República.

La lutita es una roca que abunda en el territorio nacional principalmente al Este y al Sur.

La caliza forma la masa general de la Sierra Madre Oriental, conformando también grandes masas en el Sur del País. Constituye la totalidad de la Península de Yucatán y se encuentra en casi todos los Estados de la República.

Las rocas metamórficas son aquellas que han sufrido modificaciones como consecuencia de cambios en la temperatura, presión y fluidos químicamente activos, que son producidos por las fuerzas que pliegan, inyectan magma y elevan o deprimen la roca, y estas fuerzas causan el llamado metamorfismo. Las rocas metamórficas se pueden derivar de cualquiera de las rocas sedimentarias o ígneas, algunas rocas metamórficas son pizarras, la filita, el esquisto, la anfíbolita, el gneis, la cuarcita, el micaesquisto, el esquisto de anfíbola y el mármol.

1.2.2 Clasificación de los agregados pétreos

Hay 2 formas diferentes en las que se encuentran los agregados en la corteza terrestre: ya sea formando grandes volúmenes de masas rocosas que deberán ser explotadas, fragmentándolas primero por medios mecánicos o por explosivos, para después reducirla de tamaño a la granulometría requerida por medio de un proceso de trituración; o hallarse ya fragmentada en partículas de diversos tamaños provenientes de la desintegración de la roca madre por medios naturales. De acuerdo con la forma de haberse fragmentado la roca donde se originan los agregados, estos se han dividido en dos grupos: agregados naturales y agregados triturados.

1.2.2.1 Agregados naturales

Los agregados naturales se originan cuando las rocas son alteradas química y físicamente por los agentes meteorológicos como el calor, frío, humedad y agua, comenzando a resquebrajarse las rocas dando primero fragmentos de aristas vivas, llamados bloques y cascajos según su tamaño, acumulándose al pie de los picos de las montañas. Estos materiales son luego transportados por corrientes aéreas o fluviales depositándose en los ríos, litorales, planicies de inundación, glaciares, médanos, etc. Al ser arrastrados por aguas de los torrentes y ríos, las piedras chocan unas con otras y con las laderas, fragmentándose, se reducen, pulimentan y transforman en cantos rodados, gravas, arenas, etc. Todas estas piedras reciben diversos nombres conforme a su tamaño (ver tabla 1-2).

| Tabla 1-2. Tamaño de los granos | | |
|---------------------------------|--|------------------------------------|
| NOMBRE | LÍMITES DE DIMENSIONES | EJEMPLO DE TAMAÑO |
| Boleo | 305 mm (12´) y mayores | Mayor que una pelota de baloncesto |
| Canto rodado | 76 mm (3´) a 305 mm (12´) | Naranja a sandía |
| Grava gruesa | 19 mm (3/4´) a 76 mm (3´) | Uva a naranja |
| Grava fina | 4.76 (M. No. 4) a 19 mm (3/4´) | Chícharo a uva |
| Arena gruesa | 2 mm (M. No. 10) a 4.76 mm (M. No. 4) | Sal de cocina |
| Arena mediana | 0.42 mm (M. No.40) a 2 mm (M. No. 10) | Azúcar |
| Arena fina | 0.074 mm (M. No. 200) a 0.42 mm (M. No.40) | Azúcar en polvo |
| Finos (limos y arcillas) | Menores que 0.074 mm (M. No. 200) | ----- |

Generalmente se encuentran los agregados naturales de río debajo de capas de tierra que hay que remover, llamando a esta operación de despalme, la cual se realiza con las máquinas usuales en las obras como: bulldozer, palas cargadoras y dragas de arrastre entre otras. Todas estas máquinas también suelen cargar el material en greña en vehículos de acarreo de diferentes capacidades; cuando la distancia de acarreo es corta o la planta clasificadora se monta en el banco de préstamo para agregados y el volumen a mover sea grande se puede usar el sistema transportador de bandas.

El material en greña producto de estos bancos, comúnmente requiere como mínimo un tratamiento mediante el cual se seleccione los distintos tamaños que se deseen, acompañado de un lavado que elimine las partículas suaves y polvos que en su estado natural los estén afectando, así como las contaminaciones. En otras ocasiones o en las obras grandes se requiere usar una trituradora adicional para corregir ciertas anomalías granulométricas, o bien para triturar los tamaños mayores y así obtener un aprovechamiento total de los agregados.

1.2.2.2 Agregados triturados

En aquellas obras en las que no se dispone de bancos naturales de gravas, es necesario obtener el agregado pétreo a partir de las rocas que deben ser previamente fragmentadas, para que posteriormente sean trituradas transformándolas así en agregados pétreos que cumplan con las especificaciones requeridas.

Es importante que antes de la extracción de la roca se realice una serie de trabajos de exploración y muestreo, como sondeos, pozos y análisis de las muestras, para cerciorarse de la capacidad de la fuente de abastecimiento, la clase de rocas y sus propiedades, el sitio de fracturamiento, el grado de intemperización, etc. Con todos estos elementos se puede planear donde debe hacerse el frente de ataque y determinar que procedimientos de explotación son los adecuados.

1.3 Componentes del concreto

El concreto es un material conformado por una mezcla de arena y grava embebida en una matriz de cemento y agua. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta como consecuencia de la reacción química del cemento con el agua, en la Fig. 1 se muestran a los componentes.



Fig. 1-1. Componentes del concreto: cemento, agua, agregado fino, agregado grueso, son combinados para formar el concreto.

La pasta se compone de materiales cementantes, agua y aire atrapado o aire incluido (intencionalmente incorporado). La pasta constituye aproximadamente del 25% hasta 40% del volumen total del concreto. La Figura 1-2 muestra que el volumen absoluto del cemento está normalmente entre 7% y 15% y el volumen del agua está entre 14% y 21%. El contenido de aire atrapado varía del 4% hasta 8% del volumen.

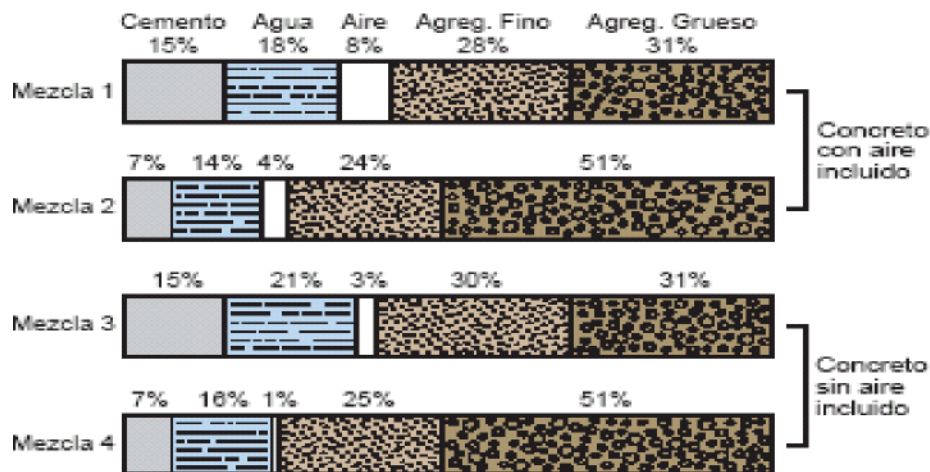


Fig. 1-2. Variación de las proporciones usadas en concreto, en volumen absoluto. Las barras 1 y 3 representan mezclas ricas con agregados de pequeño tamaño. Las barras 2 y 4 representan mezclas pobres con agregados gruesos grandes.

La calidad del concreto depende de la calidad de la pasta y del agregado así como de la unión entre los dos. En un concreto adecuadamente confeccionado, cada y toda partícula de

agregado es completamente cubierta por la pasta y todos los espacios entre las partículas de agregados se llenan totalmente con pasta, como se muestra en la Figura 1-3.

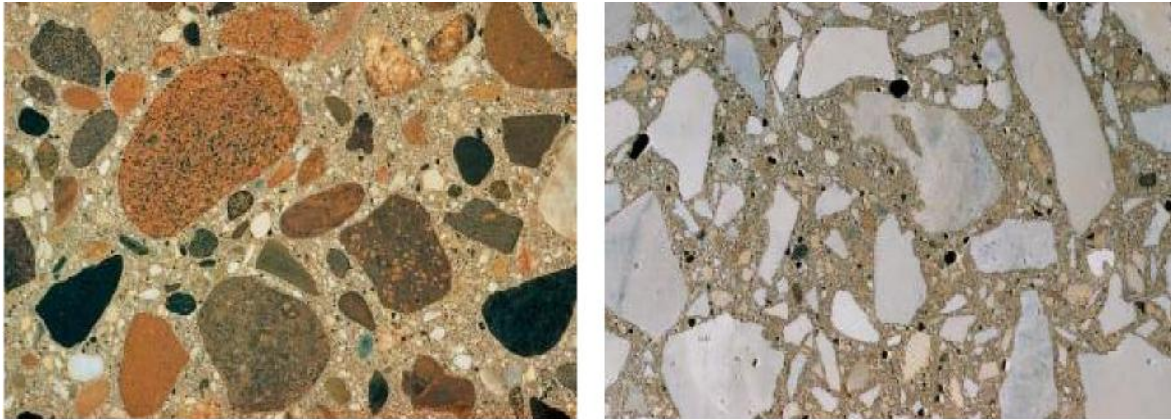


Fig. 1-3. Sección transversal del concreto endurecido, confeccionado con grava redondeada de silicio (izquierda) y calcáreo triturado (derecha). La pasta de cemento y agua cubre completamente cada partícula de agregado y llena todos los espacios entre las partículas.

Para lograr el concreto óptimo con respecto a las propiedades mecánicas y de resistencia a la fatiga, debemos contar con un esqueleto pétreo empacado lo más densamente posible y con la cantidad de pasta de cemento necesaria para llenar los huecos.

1.4 Especificaciones de los agregados

Para obtener un rendimiento óptimo en la producción de agregados es muy importante conocer el tipo de especificaciones que requiera el proyecto.

Con esto se puede hacer una buena planeación en las etapas productivas y evitar pasos indebidos que incrementen los costos y el tiempo de producción, esto refiriéndose obviamente a la obtención de agregados.

Hay algunas especificaciones de proyectos los cuales utilizan agregados, como terracerías, pavimentos, aeropistas, elaboración de concreto, bases asfálticas, nivelaciones, entre otras; para fines de este trabajo se darán únicamente las especificaciones de arena y grava que se utilizan para elaborar concreto.

1.4.1 Agregados para concreto.

La importancia del uso del tipo y de la calidad correcta del agregado (áridos) no se puede subestimar. Los agregados fino y grueso ocupan cerca del 60% al 75% del volumen del concreto (70% a 85% de la masa) e influyen fuertemente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía del concreto. Los agregados finos (Fig. 1-4) generalmente consisten en arena natural o piedra triturada con la mayoría de sus partículas menores que 5 mm (0.2 pulg.).



Fig. 1-4. Agregado fino

Los agregados gruesos (Fig. 1-5), comúnmente conocidos como grava, es agregado mayor a 5 mm (0.2 pulg.) y que pasa la criba 90 (3.5 pulg.), está constituida por materiales de cantos rodados, triturados, escoria de alto horno, concreto reciclado o una combinación de ellos u otros.



Fig. 1-5. Agregado Grueso. Grava redondeada (izquierda) y piedra triturada (derecha)

El agregado triturado se produce triturando roca de cantera, piedra bola, guijarros, o grava de gran tamaño. La escoria de alto horno enfriada al aire y triturada también se usa como agregados fino y grueso. Los agregados frecuentemente se lavan y se gradúan en la mina o en la planta. Muy frecuentemente se emplean grava y arena trituradas para elaborar concreto, debido a la falta de disponibilidad de los agregados completamente naturales.

1.4.2 Control de calidad de agregados para concreto

Los agregados de calidad deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta del cemento. Las partículas de

agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables. Los agregados que contengan cantidades apreciables de esquistos o de otras rocas esquistas, de materiales suaves y porosos, y ciertos tipos de horsteno deberán evitarse en especial, puesto que tiene baja resistencia al intemperismo y pueden ser causa de defectos en la superficie tales como erupciones.

La inspección visual normalmente revela debilidades en los agregados gruesos. Los registros de servicio son indispensables en la evaluación de los agregados. En la ausencia de registros de desempeño, se deben ensayar los agregados antes de usarlos en el concreto. Los agregados más frecuentemente utilizados – arena, grava y escoria de alto horno enfriada al aire – producen concretos frescos de peso normal con masa volumétrica (masa unitaria) de 2200 a 2400 kg/m³ (140 a 150 lb/pies³). Agregados de esquisto, arcilla, pizarra y escoria expandidos se usan para producir estructuras de concreto ligero (liviano) con la masa volumétrica el concreto fresco variando de cerca de 1350 a 1850 kg/m³ (90 a 120 lb/pies³). Otros materiales ligeros tales como la piedra pómez (pumita), cagafierro, perlita, vermiculita y diatomita se emplean para producir concreto ligero aislante con masas volumétricas que varían de 250 a 1450 kg/m³ (15 a 90 lb/pies³). Materiales pesados, tales como barita, limonita, magnetita, ilmenita, hematina y esferas de hierro se usan para producir concreto de densidad elevada (concreto de gran peso) y blindaje para la radiación. El concreto reciclado, o concreto de desperdicio triturado, es una fuente factible de agregados y una realidad económica donde escaseen agregados de calidad.

Las características de los agregados tienen mucho que ver tanto en los proporcionamientos, como en el diseño de mezclas de concreto; es por eso que es de relevante importancia hacer un estudio de calidad de agregados antes de utilizarse. Este estudio de calidad se basa en pruebas físicas y químicas (que se mencionarán en el capítulo siguiente), o de los resultados de estudios de comportamiento del concreto elaborado con agregados conocidos. Los resultados de estas pruebas o estudios, nos indicarán los posibles efectos de los agregados en el concreto. El estudio de calidad no solo nos permitirá cumplir con las especificaciones que demanda el cliente de los agregados o del cliente que va a utilizar el concreto, si no que también nos ayudará a optimizar el diseño de mezclas con el fin de economizar.

El uso de agregados de mala calidad, mal dosificados y sin supervisión alguna; se verán reflejados en construcciones dañadas, propensas a colapsarse, de poca resistencia y durabilidad, entre otros efectos adversos que provoca el no tener un control de calidad. Se han agrupado en 4 grandes rubros las causas principales de una construcción de comportamiento inadecuado:

- a) Errores en la concepción y diseño arquitectónicos
- b) Inadecuación del sistema estructural
- c) Fallas de cimentación
- d) Fallas por supervisión deficiente o insuficiente.

Para el caso de la elaboración de concreto, el conocer las propiedades de los agregados, agua y cemento deben ser parte de un programa de laboratorio cuya amplitud de investigación para una obra determinada dependerá de su tamaño e importancia, así como de las instalaciones disponibles y las preferencias personales. Es importante hacer énfasis en que no importa el tamaño de la obra, se deben realizar dichas pruebas, especialmente en agregados, que en general, no requieren de equipo sofisticado y que podemos sustituir

inclusive con utensilios domésticos o empleando técnicas alternativas como veremos más adelante.

Resulta evidente que, las pruebas de laboratorio para elaborar concreto deben convertirse en una práctica permanente del ingeniero responsable de la calidad, no importando el tamaño de esta, las etapas más importantes de control las podemos ver a continuación:

- Conocer las propiedades físicas y químicas, de los materiales a emplear para obtener dosificaciones confiables.
- Vigilar durante el proceso constructivo que la dosificación sea aplicada lo más estrictamente posible, evitando a toda costa que se realice de manera tradicional (por experiencia).
- Realizar pruebas al concreto fresco para verificar si su comportamiento es adecuado y tomar muestra para efectuar ensayos en concreto endurecido y comprobar su resistencia.
- Aplicar métodos de curado adecuados.

El presente trabajo se ocupa exclusivamente del primer punto, teniendo como objetivo fundamental el lograr la mayor seguridad al menor costo.

CAPÍTULO 2. ENSAYES Y CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS PÉTREOS

Los agregados pétreos ocupan un lugar importante dentro de la construcción, donde tiene una gran variedad de aplicaciones en las que pueden intervenir ya sea solos o componiendo alguna mezcla, teniendo además la cualidad de poderse producir a bajos precios en comparación con los materiales con los que se mezclan, siendo esto de gran interés en la economía de la construcción, como a la del país.

Por lo anteriormente mencionado se considera como trascendente hacer un estudio de la producción y calidad de los agregados en este trabajo, a continuación se darán a conocer los ensayos así como las características más importantes en los agregados, más adelante se hará también un análisis de estas pruebas, presentando resultados de estudios en campo.

2.1 Normas y especificaciones a los agregados para ser usados en la elaboración de concreto.

Como es sabido, la normalización es un proceso científico, tecnológico y administrativo que tiene el objetivo de integrar en un documento las características de un producto o actividad en forma simplificada y uniforme, es decir en un lenguaje unificado, tanto oral como escrito. A continuación se mencionan algunos institutos de normalización de diferentes países, los cuáles pueden ayudar para tener más amplitud a de información de pruebas a los agregados.

En Argentina están los documentos del Instituto Argentino de Normalización (IRAM) relacionados con los agregados, se les puede obtener en <http://www.iram.com.ar>

En Chile se tienen los documentos del Instituto Nacional de Normalización (INN) relacionados con los agregados, se les puede obtener en <http://www.inn.cl>

En Colombia están los documentos del Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) relacionados con los agregados, se los puede obtener en <http://www.icontec.org.co>

En Ecuador se tienen los documentos del Instituto Ecuatoriano de Normalización (IN EN) relacionados con los agregados, se les puede obtener en <http://www.inen.gov.ec>

En Estados Unidos las normas están en los documentos de la Sociedad Americana de Ensayos y Materiales (ASTM) relacionados con los agregados, se les puede obtener en <http://www.astm.org>

Las normas de la AASHTO se tienen en los documentos de la Asociación Americana de los Funcionarios de las Autopistas Estatales y del Transporte (AASHTO) relacionados con los agregados, se les puede obtener en <http://www.aashto.org>

En Guatemala se tienen los documentos de la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR) relacionados con los agregados, se les puede obtener en <http://www.mineco.gob.gt/mineco/coquanor>

En México están los documentos del Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación (ONNCCE) relacionados con los agregados, se les puede obtener en <http://www.onncce.org.mx>

En Perú se usan los documentos del Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual (INDECOPI) relacionados con los agregados, se les puede obtener en <http://www.indecopi.gob.pe/bvirtual/normalizacion.htm>

En Uruguay se usan los documentos del Instituto Uruguayo de Normas Técnicas (UN IT) relacionados con los agregados, se les puede obtener en <http://www.unit.org.uy>

En Venezuela se usan los documentos del Fondo para la Normalización y Certificación de la Calidad (FONDONORMA) relacionados con los agregados, se les puede obtener en <http://www.fondonorma.org.ve>.

La información anterior es de relevante importancia ya que las normas juegan un papel muy importante en el progreso tecnológico del concreto y en la práctica de la construcción.

Cada una de las pruebas realizadas a agregados para elaborar concreto está apegada a normas establecidas. A continuación se mencionan las pruebas físicas y químicas más importantes para la caracterización de agregados y los requisitos que debe cumplir según la norma especificada. Más adelante se describe para que se realiza cada prueba y su importancia en las características del concreto, además de referir la norma que especifica la prueba.

Las características más importantes de los agregados para concreto se presentan en la siguiente tabla.

| Característica | Importancia | Requisito o característica reportada |
|--|--|---|
| Resistencia a compresión y a la flexión | Aceptación del agregado fino que no haya pasado en los otros ensayos | La resistencia que exceda 95% de la resistencia lograda con arena purificada |
| * ASTM C 39 (AASHTO T 22), COVENIN 0338, IRAM 1546, NCh1037, NMX-C-083-1997-ONNCCE, NTC 673, NTE 1573, NTP 339.034, UNIT-NM 101 ASTM C 78 (AASHTO T 97), COVENIN 0342, IRAM 1547, NCh1038, NMX-C-191, NTC 2871, NTP 339.078, UNIT-NM 55 | | |
| Definiciones de los constituyentes | Entendimiento y comunicación claros | — |
| * ASTM C 125, NTC 385, NTE 0694:83, NTP 400.011, UNIT-NM 2 ASTM C 294, IRAM 1517, NMX-C-305, UNIT-NM 66 | | |
| Constituyentes del agregado | Determinar la cantidad de material deletéreo y orgánico | Porcentaje máximo permitido de los constituyentes individuales |
| * ASTM C 40 (AASHTO T 21), COVENIN 0256, NCh166, NMX-C-088-1997-ONNCCE, NTC 127, NTP 400.024, UNIT-NM 49, ASTM C 87 (AASHTO T 71), COVENIN 0275, IRAM 1647, NMX-C-07, NTC 579, NTP 400.013, ASTM C 117 (AASHTO T 11), IRAM 1540, NMX-C-084, NCh1223, NTC 78, NTE 0697, NTP 400.018, UNIT-NM 46 ASTM C 123 (AASHTO T 113), COVENIN 0260, NMX-C-072-1997-ONNCCE, NTC 130, NTE 0699, NTP 400.023, UNIT-NM 31 ASTM C 142 (AASHTO T 112), COVENIN 0257, IRAM 1647, NMX-C-071, NCh1327, NTC 589, NTE 0698, NTP 400.015, UNIT-NM 44 ASTM C 295, IRAM 1649, NMX-C-265, NTC 3773, UNIT-NM 54 | | |
| Resistencia a la reactividad con los álcalis y cambio de volumen | Sanidad contra cambios de volumen | Cambio máximo longitudinal, constituyentes, cantidad de sílice y alcalinidad. |
| * ASTM C 227, COVENIN 0276, IRAM 1637, NMX-C-180, NTC 3828, NTP 334.113, NTP 334.067 ASTM C 289, NTC 175, NTP 334.099 ASTM C 295, IRAM 1649, NMX-C-265, NTC 3773, UNIT-NM 54 ASTM C 342, NMX-C-282 ASTM C 586, COVENIN 1303, ASTM C 1260 (AASHTO T 303), IRAM 1674, NMX-C-298, NTP 334.110, UNIT 1038 ASTM C 1293, IRAM 1700 | | |

Tabla 2-1. Características y Ensayos de los Agregados

Continuación de la tabla:

| Característica | Importancia | Requisito o característica reportada |
|---|--|--|
| Resistencia a abrasión y degradación | Índice de calidad del agregado: resistencia al desgaste de pisos y pavimentos | Porcentaje máximo de pérdida de masa. Profundidad de desgaste y tiempo |
| * ASTM C 131 (AASHTO T 96), COVENIN 0266-77, IRAM 1532, NCh1369.Of1978, NMX-C-196, NTP 400.019, UNIT-NM 51 ASTM C 535, COVENIN 0267-78, NCh1369.Of1978, NMX-C-196, NTP 400.020, UNIT-NM 51 ASTM C 779, NTE 0860 | | |
| Resistencia a congelación-deshielo | Descascaramiento superficial, aspereza, pérdida de sección y estética | Número máximo de ciclos o periodo de inmunidad a congelación, factor de durabilidad. |
| * ASTM C 666 (AASHTO T 161), COVENIN 1601, NCh2185, NMX-C-205 ASTM C 682 AASHTO T 103 | | |
| Resistencia a desintegración por sulfatos | Sanidad contra el intemperismo | Pérdida de masa, partículas que muestren fallas |
| * ASTM C 88 (AASHTO T 104), COVENIN 0271, IRAM 1525, NCh1328, NMX-C-075-1997- ONNCCE, NTC 126, NTP 400.016, NTE0863 | | |
| Forma y textura superficial de las partículas | Trabajabilidad del concreto fresco | Porcentaje máximo de partículas planas y elongadas |
| * ASTM C 295, IRAM 1649, NMX-C-265, NTC 3773, UNIT-NM 54 ASTM D 3398, COVENIN 0264. IRAM 1681, IRAM 1687, UNIT 1029 | | |
| Granulometría | Trabajabilidad del concreto fresco y economía | Porcentajes mínimo y máximo que pasan por los tamices estándar |
| * ASTM C 117 (AASHTO T 11), IRAM 1540, NMX-C-084, NCh1223, NTC 78, NTE 0697, NTP 400.018, UNIT-NM 46 ASTM C 136 (AASHTO T 27), COVENIN 0255, IRAM 1505, IRAM 1627, NCh165, NMX-C-077, NTC 77, NTE 0696, NTP 400.012, UNIT 48, NTE 0872 | | |
| Degradación del agregado fino | Índice de la calidad del agregado: resistencia a degradación durante el mezclado | Cambio de la granulometría |
| * ASTM C 1137 | | |
| Contenido de vacíos no compactado del agregado fino | Trabajabilidad del concreto fresco | Contenido de vacíos no compactado del agregado fino y gravedad específica |
| * ASTM C 1252 (AASHTO T 304) | | |
| masa volumétrica (masa unitaria) | Cálculos del diseño de la mezcla, clasificación | Peso compactado y peso suelto |
| * ASTM C 29 (AASHTO T 19), COVENIN 0274, COVENIN 0263, IRAM 1548, NMX-C-073, NTC 92, NTP 400.017, UNIT-NM 45, NTE 8581 | | |
| Masa específica relativa | Cálculos del diseño de la mezcla | — |
| * ASTM C 127 (AASHTO T 85), COVENIN 0269, IRAM 1533, NMX-C-164, NCh1117, NTC 176, NTP 400.021, UNIT-NM 30, UNIT-NM 53 ASTM C 128 (AASHTO T84), COVENIN 0268, IRAM 1520, NCh1239, NMX-C-165, NTC 237, NTP 400.022, UNIT-NM 64, UNIT-NM 52, NTE 0857, NTE 0856 | | |
| Absorción y humedad superficial | Control de la calidad del concreto (relación agua-cemento) | — |
| * ASTM C 70, COVENIN 0272 ASTM C 127 (AASHTO T 85), COVENIN 0269, IRAM 1533, NMX-C-164, NCh1117, NTC 176, NTP 400.021, UNIT-NM 30, UNIT-NM 53 ASTM C 128 (AASHTO T84), COVENIN 0268, IRAM 1520, NCh1239, NMX-C-165, NTC 237, NTP 400.022, UNIT-NM 64, UNIT-NM 52 ASTM C 566 (AASHTO T 255), COVENIN 1375, NMX-C-166, NTC 1776, NTP 339.185 | | |

2.2 Toma y reducción de muestras en campo.

Los métodos para la obtención de muestras significativas de los agregados (áridos) se presentan en ASTM D 75 (AASHTO T 2), COVENIN 0270, IRAM 1509, NCh164.E, NGO 41 057, NMX-C-030, NTC 129, NTE 0695, NTP 400.010, UNIT-NM 26. La localización en el proceso de producción donde las muestras van a ser obtenidas debe ser planeada cuidadosamente. El muestreo en las esteras (bandas, cintas) transportadoras, pilas de almacenamiento o tolva (cubo, cubeta) de agregado puede requerir equipos especiales de

muestreo. Se deben tomar precauciones para que se obtenga una muestra lejos de la parte segregada de la pila y en cantidad suficiente para atender el tamaño mínimo requerido por las normas. Además de esto, las muestras para la determinación del contenido de humedad se deben colocar en recipientes sellados o en bolsas de plástico, lo más pronto posible, para retener la humedad hasta que se realice la prueba.

La reducción de muestras grandes de campo para cantidades pequeñas de pruebas individuales se debe ejecutar con cuidado, a fin de que las muestras finales sean realmente representativas (ASTM C 702 [AASHTO T 248], NMX-C-170-1997-ONNCCE, NTC 3674, NTE 0695, UNITNM 27). Con los agregados gruesos, se utiliza el método de cuarteamiento: la muestra, totalmente mezclada, se esparce sobre un pedazo de lona, en una capa regular de 75 o 100 mm (3 a 4 pulg.) de espesor, y se la divide en cuatro partes iguales. Las dos partes opuestas se desechan. Este proceso se repite hasta que se obtenga el tamaño deseado. Algunas veces se utiliza un proceso similar para el agregado fino, húmedo. Se recomiendan los cuarteadores para los agregados secos (Fig. 2-1), pero no se los debe utilizar para agregados cuya humedad sobrepase la humedad de saturado con superficie seca.



Fig. 2-1. Cuarteador normalmente usado para reducir las muestras de agregado grueso

2.3 Pruebas físicas aplicadas a agregados para la elaboración de concreto.

2.3.1 *Estudio de granulometría y módulo de finura.*

La granulometría es la distribución del tamaño de las partículas de un agregado, que se determina a través del análisis de los tamices (cedazos, cribas) (A STM C 136, AASHTO T 27, COVENIN 0255, IRAM 1505, NCh165 NMX-C-077, NTC 77, NTE 0696, NTP 400.012 y UNIT 48). La variación del tamaño de partículas se muestra en la Figura 2-2.



Fig. 2-2. Varios tamaños de partículas que se encuentran en los agregados para uso en concreto.

El tamaño de las partículas del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre con aberturas cuadradas. Los siete tamices normalizados para el agregado fino tienen aberturas que varían de 150 μm a 9.5 mm (Tamiz No.100 a 3»8 pulg.) (ASTM C 33, AASHTO M6/M80, IRAM 1512, IRAM 1531, IRAM 1627, NMX-C-111, NTC 174, NTP 400.037) de 0.160 mm a 10 mm (NCh163). Mientras que el agregado grueso se ensaya con 13 tamices estándar, con aberturas que varían de 1.18 mm a 100 mm (0.046 pulg. a 4 pulg.) (ASTM C 33, AASHTO M6/M80, NMX-C-111, NTC 174, NTP 400.037). Las tolerancias para las aberturas de la malla de los tamices se encuentran en ASTM E 11 (AASHTO M 92), IRAM 1501, NCh1022, NCh1024 y UNIT-ISO 565).

Los números de tamaño (tamaño de granulometría) de los agregados gruesos se aplican a las cantidades de agregado (en masa), en porcentaje que pasa a través de un conjunto de tamices. El agregado fino o la arena tiene solamente un rango de tamaño de partículas para la construcción en general y para la construcción de carreteras. Algunos países, tales como Argentina, Chile y México no usan números para tratar de tamaños específicos de agregados, pero usan los tamaños nominales o grados (tamaños y límites). La granulometría y los límites granulométricos se expresan generalmente en porcentaje de material que pasa a través de cada tamiz. La Figura 2-3 muestra estos límites para el agregado fino y un tamaño de agregado grueso.

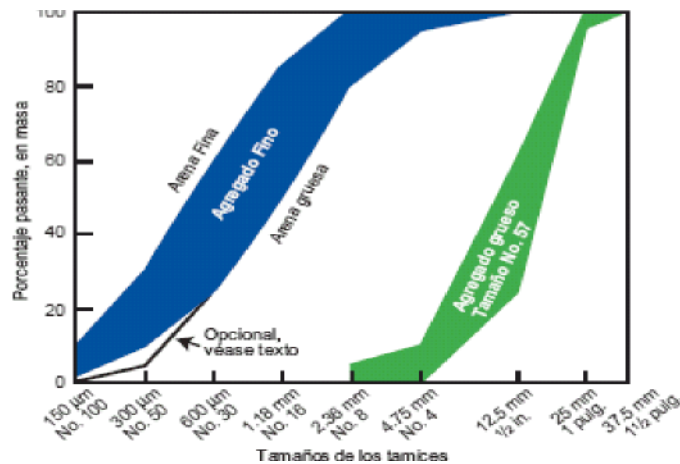


Fig. 2-3. Las curvas indican los límites especificados en la AASHTO M6, IRAM 1512, Nch 163, NM X-C-1 11, NTC 174 para el agregado fino y para un tamaño granulométrico de agregado grueso comúnmente utilizado.

Hay muchas razones por las que se especifican los límites granulométricos y el tamaño máximo nominal de los agregados, pues afectan las proporciones relativas de los agregados, bien como la demanda de agua y de cemento, trabajabilidad, bombeabilidad, economía, porosidad, contracción (retracción) y durabilidad del concreto. Las variaciones en la granulometría pueden afectar seriamente la uniformidad del concreto de una mezcla a otra. Las arenas muy finas son normalmente antieconómicas, mientras que arenas y gravas gruesas pueden producir mezclas sin trabajabilidad. En general, los agregados que no tienen una gran deficiencia o exceso de cualquier tamaño y presentan una curva granulométrica suave, producirán los resultados más satisfactorios. El efecto de la combinación de varios tamaños sobre el volumen total de vacíos entre los agregados se ilustra por un simple método ilustrado en la Figura 2-4.

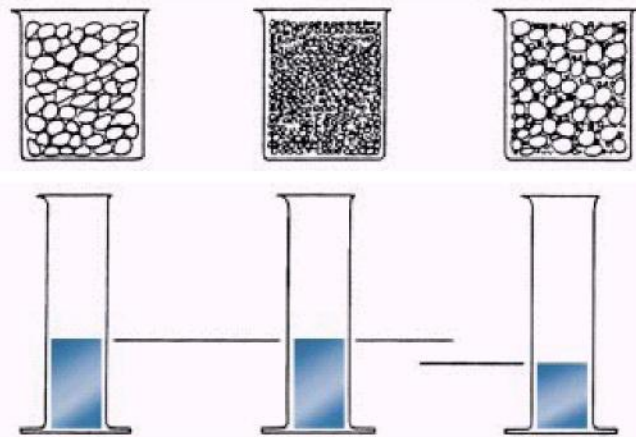


Fig. 2-4. El nivel del líquido en las probetas, que representan a los vacíos, es constante para volúmenes absolutos iguales de agregados con tamaños uniformes, aunque diferentes. Cuando se combinan tamaños diferentes, el contenido de vacíos disminuye. La ilustración no está en escala.

La probeta de la izquierda se llena con partículas grandes de agregados con tamaño y forma uniformes. La probeta del medio se llena con el mismo volumen de partículas pequeñas de agregado con tamaño y forma uniformes y la probeta de la derecha se llena con partículas de ambos tamaños. Debajo de cada probeta con agregado se muestra una probeta graduada con la cantidad de agua necesaria para llenar los vacíos en la probeta con agregado. Nótese que cuando la probeta se llena con un solo tamaño de partículas, un mismo volumen de agregado contiene una cantidad de vacíos constante, independientemente del tamaño del agregado.

Cuando se combinan dos tamaños de agregados, la cantidad de vacíos disminuye. Si se repitiera esta operación con la inclusión adicional de varios tamaños, ocurriría una reducción aún mayor en la cantidad de vacíos. La demanda de pasta de cemento para el concreto se relaciona con la cantidad de vacíos de la combinación de agregados.

Durante los primeros años de la tecnología del concreto, se asumía, algunas veces, que el menor porcentaje de vacíos (mayor densidad del agregado) era más adecuada para el concreto. En la misma época, se crearon límites para las cantidades y tamaños de las partículas más pequeñas. Ahora se sabe que, incluso con estas bases restrictas, este no es el mejor enfoque para el diseñador de la mezcla. Sin embargo, la producción de un concreto satisfactorio y económico requiere agregados con baja cantidad de vacíos, pero no la más

baja. En realidad, la cantidad de pasta de cemento necesaria en el concreto es mayor que el volumen de vacíos entre los agregados. La Figura 2-5, dibujo A, representa solamente agregados grandes, con todas las partículas en contacto. El dibujo B representa la dispersión de los agregados en la matriz de la pasta. La cantidad de pasta es necesariamente mayor que la cantidad de vacíos en el dibujo A, a fin de que se provea trabajabilidad al concreto. La cantidad real se influencia por la trabajabilidad y la cohesión de la pasta.

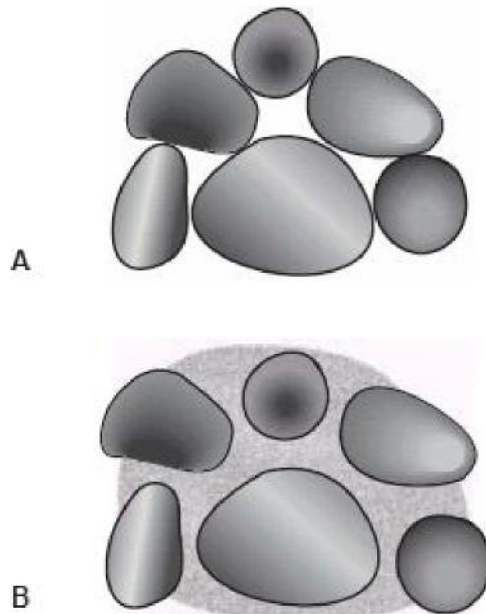


Fig. 2-5. Ilustración de la dispersión de los agregados en mezclas de concreto cohesivas

Granulometría del Agregado Fino:

La granulometría más deseable para el agregado fino depende del tipo de obra, si la mezcla es rica y del tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas más pobres, o cuando se usan agregados gruesos de pequeñas dimensiones, es conveniente, para que se logre una buena trabajabilidad, que la granulometría se aproxime al porcentaje máximo recomendado que pasa por cada tamiz. En general, si se mantiene constante la relación agua-cemento y se elige correctamente la relación agregado fino-agregado grueso, se puede usar un amplio rango de granulometrías, sin efectos considerables sobre la resistencia. Sin embargo, algunas veces, se logrará la mayor economía con el ajuste de la mezcla de concreto para que se adapte a la granulometría de los agregados locales. La granulometría de los agregados finos de acuerdo con las normas A STM C 33 (AASHTO M 6), COV EN IN 277, IRAM 1512, NCh163, NMX-C-111, NTC 174, NTP 400.037, UNIT 84, es generalmente satisfactoria para la mayoría de los concretos. Los límites de estas normas, con respecto a la granulometría se exhiben en la Tabla 2-2.

| Tamiz† | | Porcentaje que pasa (en masa) |
|---------|-----------|-------------------------------|
| 9.5 mm | (¾ pulg.) | 100 |
| 4.75 mm | (No. 4) | 95 a 100 |
| 2.36 mm | (No. 8) | 80 a 100 |
| 1.18 mm | (No. 16) | 50 a 85 |
| 600 µm | (No. 30) | 25 a 60 |
| 300 µm | (No. 50) | 10 a 30* |
| 150 µm | (No. 100) | 2 a 10** |

Tabla 2-2. Límites granulométricos del Agregado Fino (ASTM C 33/AASHTO M6, COVENIN 277, IRAM 1512, Nch 163, NMX-C-111, NTC 174 y NTP 400.037)

Las especificaciones de la AASHTO, de la NMX y de la NTC permiten que los porcentajes mínimos (por masa) de material que pasa en los tamices de 300 µm (No.50) y 150 µm (No.100) se reduzcan a 5% y 0%, respectivamente, desde que:

1. Se use el agregado en un concreto con aire incluido (incorporado) que contenga más de 237 kg de cemento por m³ de concreto (400 lb de cemento por yarda³ de concreto) y más del 3% de contenido de aire (AASHTO y NTC). En el caso de México, la mezcla debe contener más de 250 kg/m³ de cemento.

2. Se use el agregado en un concreto que contenga más de 297 kg de cemento por m³ de concreto (500 lb de cemento por yarda³ de concreto), cuando el concreto no tenga aire incluido (AASHTO y NTC). En el caso de México, la mezcla debe contener más de 300 kg/m³ de cemento.

3. Se use material cementante suplementario aprobado, a fin de suministrar la deficiencia de material que pasa en los dos tamices. Otros requisitos de la ASTM C 33 (AASHTO M6), COVENIN 277, IRAM 1501 (parte II), NMX-C-111 y NTC 174 son:

1. El agregado fino no debe contener más del 45% de material retenido entre cualquiera de dos tamices normalizados consecutivos.

2. El módulo de finura debe ser mayor que 2.3 y menor que 3.1, y no debe variar más que 0.2 del valor típico de la fuente del agregado. Si se excede este valor, el agregado se debe rechazar, a menos que se hagan ajustes adecuados en la proporción entre los agregados fino y grueso. Las cantidades de agregado fino que pasan a través de los tamices de 300 µm (No. 50) y de 150 µm (No. 100) afectan la trabajabilidad, la textura superficial, el contenido de aire y el sangrado (exudación) del concreto. La mayoría de las especificaciones permite un porcentaje que pasa en el tamiz 300 µm (No. 50) del 5% al 30%. El límite más bajo puede ser suficiente para condiciones fáciles de colocación o donde se acabe el concreto mecánicamente, como ocurre en los pavimentos. Sin embargo, en pisos acabados manualmente, o donde se desee una textura superficial lisa, se debe usar un agregado fino con, por lo menos, 15% de masa que pase en el tamiz 300 µm (No. 50) y 3% o más en el tamiz 150 µm (No. 100).

Módulo de Finura

El módulo de finura (M F) tanto del agregado fino como del grueso se calcula, de acuerdo con ASTM C 125, COVENIN 255, IRAM 1627, NCh 165, NMXC-111, NTC 385, NTE 0694:83, NTP 400.011 y UNIT-NM 2, sumándose los porcentajes acumulados de la masa retenida en cada uno de los tamices de la serie especificada y dividiéndose esta suma por 100. La serie especificada de tamices para la determinación del MF es: 150 µm (No. 100), 300 µm (No. 50), 600 µm (No. 30), 1.18 mm (No. 16), 2.36 mm (No. 8), 4.75 mm

(No. 4), 9.5 mm (3/8 pulg.), 19.0 mm (3/4 pulg.), 37.5 mm (1 1/2 pulg.), 75 mm (3 pulg.) y 150 mm (6 pulg.). La serie especificada de tamices para la determinación del MF en la norma NMX-C-111 no incluye el tamiz de malla 150 mm (6 pulg.). El MF es un índice de finura del agregado – cuanto mayor el M F, más grueso es el agregado. Agregados con granulometrías diferentes pueden tener el mismo M F. El M F de los agregados finos es útil para estimar las proporciones de agregados fino y grueso en el concreto. La degradación del agregado fino debido al rozamiento y a la abrasión decrece el M F y aumenta la cantidad de materiales más finos que 75 µm (No. 200).

Granulometría del Agregado Grueso

Los requisitos de granulometría (gradación) del agregado grueso de las normas A STM C 33 (AASHTO M 80), COVENIN 277, IRAM 1627, NCh163, NMX-C-111, NTC 174, NTP 400.037 y UNIT 102 permiten límites amplios en la granulometría y una gran variedad de tamaños granulométricos (véanse Tablas 2-3 y 2-4).

| Número del tamaño | Tamaño nominal, tamices con abertura cuadradas* | Cantidades más finas que cada tamiz de laboratorio, | | | | |
|-------------------|---|---|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------------|
| | | 100 mm (4 pulg.) | 90 mm (3 1/2 pulg.) | 75 mm (3 pulg.) | 63 mm (2 1/2 pulg.) | 50 mm (2 pulg.) |
| 1 | 90 a 37.5 mm (3 1/2 a 1 1/2 pulg.) | 100 | 90 a 100 | — | 25 a 60 | — |
| 2 | 63 a 37.5 mm (2 1/2 a 1 1/2 pulg.) | — | — | 100 | 90 a 100 | 35 a 70 |
| 3 | 50 a 25.0 mm (2 a 1 pulg.) | — | — | — | 100 | 90 a 100 |
| 357 | 50 a 4.75 mm (2 pulg. a No. 4) | — | — | — | 100 | 95 a 100 ¹ |
| 4 | 37.5 a 19.0 mm (1 1/2 a 3/4 pulg.) | — | — | — | — | 100 |
| 467 | 37.5 a 4.75 mm (1 1/2 pulg. a No. 4) | — | — | — | — | 100 |
| 5† | 25.0 a 12.5 mm (1 a 1/2 pulg.) | — | — | — | — | — |
| 56† | 25.0 a 9.5 mm (1 a 3/8 pulg.) | — | — | — | — | — |
| 57 | 25.0 a 4.75 mm (1 pulg. a No. 4) | — | — | — | — | — |
| 6† | 19.0 a 9.5 mm (3/4 a 3/8 pulg.) | — | — | — | — | — |
| 67 | 19.0 a 4.75 mm (3/4 pulg. a No. 4) | — | — | — | — | — |
| 7 | 12.5 a 4.75 mm (1/2 pulg. a No. 4) | — | — | — | — | — |
| 8 | 9.5 a 2.36 mm (3/8 pulg. a No. 8) | — | — | — | — | — |

| porcentaje que pasa | | | | | | | | |
|---------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| | 37.5 mm (1 1/2 pulg.) | 25.0 mm (1 pulg.) | 19.0 mm (3/4 pulg.) | 12.5 mm (1/2 pulg.) | 9.5 mm (3/8 pulg.) | 4.75 mm (No. 4) | 2.36 mm (No. 8) | 1.18 mm (No. 16) |
| | 0 a 15 | — | 0 a 5 | — | — | — | — | — |
| | 0 a 15 | — | 0 a 5 | — | — | — | — | — |
| | 35 a 70 | 0 a 15 | — | 0 a 5 | — | — | — | — |
| | — | 35 a 70 | — | 10 a 30 | — | 0 a 5 | — | — |
| | 90 a 100 | 20 a 55 | 0 a 15 | — | 0 a 5 | — | — | — |
| | 95 a 100 ¹ | — | 35 a 70 | — | 10 a 30 | 0 a 5 | — | — |
| | 100 | 90 a 100 | 20 a 55 | 0 a 10 | 0 a 5 | — | — | — |
| | 100 | 90 a 100 | 40 a 85 | 10 a 40 | 0 a 15 | 0 a 5 | — | — |
| | 100 | 95 a 100 ¹ | — | 25 a 60 | — | 0 a 10 | 0 a 5 | — |
| | — | 100 | 90 a 100 | 20 a 55 | 0 a 15 | 0 a 5 | — | — |
| | — | 100 | 90 a 100 | — | 25 a 55 | 0 a 10 | 0 a 5 | — |
| | — | — | 100 | 90 a 100 | 40 a 70 | 0 a 15 | 0 a 5 | — |
| | — | — | — | 100 | 85 a 100 ¹ | 10 a 30 | 0 a 10 | 0 a 5 |

Tabla 2-3. Requisitos Granulométricos para Agregados Gruesos

| Piedra picada o grava | 75 mm (3") | 64.0 mm (2 1/2") | 50.8 mm (2") | 38.1 mm (1 1/2") | 25.4 mm (1") | 19.0 mm (3/4") |
|-----------------------|---------------|---------------------|-----------------|---------------------|-----------------|-------------------|
| Nº 0 | | | | | | 100 a 80 |
| Nº 1 | | | | | 100 a 90 | 90 a 50 |
| Nº 2 | | | 100 a 95 | 90 a 75 | 70 a 35 | 30 a 5 |
| Nº 3 | 100 | 100 a 90 | 95 a 65 | 60 a 20 | 10 a 0 | 5 a 0 |

| 12.7 mm (1/2") | 9.51 mm (3/8") | 6.35 mm (1/4") | 4.76 mm (No. 4) | 2.38 mm (No. 8) | 1.19 mm (No. 16) | 595 µm (No. 30) | 297 µm (No. 50) |
|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------------------|--------------------|--------------------|
| 100 50 | 85 a 25 | 60 a 15 | 40 a 5 | 20 a 0 | 10 a 0 | | |
| 45 a 15 | 20 a 0 | 7 a 0 | | | | | |
| 10 a 0 | 5 a 0 | — | | | | | |
| | | | | | | | |

Tabla 2-4. Límites de los porcentajes en peso que pasan los tamices de aberturas cuadradas

La granulometría del agregado grueso con un determinado tamaño máximo puede variar moderadamente dentro de un intervalo, sin que afecte apreciablemente las demandas de cemento y agua de la mezcla, si las proporciones del agregado fino, con relación a la cantidad total de agregados, producen un concreto con buena trabajabilidad. Las proporciones de la mezcla se deben cambiar para producir un concreto trabajable si ocurrieran grandes variaciones en la granulometría del agregado grueso. Como estas variaciones son difíciles de predecir, frecuentemente es más económico mantener la uniformidad de la producción y el manejo del agregado grueso, para que se reduzcan las variaciones de la granulometría. El tamaño máximo del agregado grueso influye en la economía del concreto. Normalmente, se requiere más agua y cemento en concretos con agregados gruesos de tamaño máximo menor si es comparado con agregados de tamaño máximo mayor, debido al aumento del área superficial total del agregado. El agua y cemento necesarios para que se obtenga un revenimiento (asentamiento) de 75 mm (3 pulg.), con el uso de una gran variedad de tamaños de agregados gruesos, se presentan en la Figura 2-6.

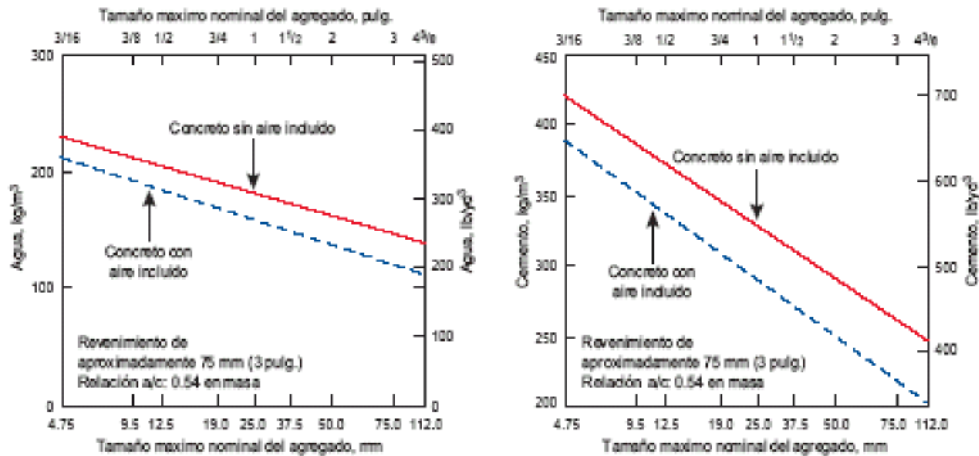


Fig. 2-6. Contenidos de cemento y agua con relación al tamaño máximo del agregado de concreto con y sin aire incluido. Se requiere menos cemento y agua en mezclas con agregados gruesos grandes

La Figura 2-6 enseña que, para una cierta relación agua-cemento, la demanda de cemento disminuye a medida que el tamaño máximo del agregado aumenta. El costo elevado para la obtención y manejo de agregados mayores que 50 mm (2 pulg.) puede compensar el ahorro por la utilización de menos cantidad de cemento. Además, agregados de tamaños diferentes pueden producir concretos con resistencias ligeramente diferentes, para una misma relación agua-cemento. Por ejemplo, con una misma relación agua-cemento, el concreto con un agregado de tamaño máximo menor podría tener una resistencia a compresión mayor. Esto se verifica principalmente en los concretos de alta resistencia. El tamaño máximo óptimo del agregado grueso para resistencias más elevadas depende de factores, tales como resistencia relativa de la pasta de cemento, adherencia entre cemento y agregado y resistencia de las partículas de agregado. La terminología que se usa para especificar el tamaño del agregado se debe elegir cuidadosamente. El tamaño de la partícula se determina por el tamaño de la abertura del tamiz y se aplica al agregado que pasa a través de éste y que se queda retenido en el tamiz inmediatamente menor. Cuando se habla de una clasificación de tamaños de partículas, se usa en algunos países (Colombia, EE.UU., Perú y Venezuela) el número de tamaño (o tamaño granulométrico), mientras que en otros países (Argentina, Chile, México) se refiere a una clasificación a través del tamaño máximo nominal. El número del tamaño se aplica a una cantidad colectiva de agregado que pasa a través de un conjunto de tamices. Como se puede observar en las Tablas 2-3 y 2-4, la cantidad de agregado que pasa a través del respectivo tamiz se representa en porcentaje y se llama de análisis granulométrico.

Algunas veces, hay una confusión entre el significado del tamaño máximo del agregado. La ASTM C 125, Nch 163, NTC 385, NTE 0694:83, NTP 400.037, UNIT-NM 2 y el ACI 116 definen este término como el menor tamiz por el cual toda la muestra de agregado grueso debe pasar. El tamaño máximo nominal se define por la ASTM C 125 y por el ACI 116 como el menor tamiz por el cual la mayor parte de la muestra de agregado grueso debe pasar. El tamiz del tamaño máximo nominal puede retener del 5% a 15% de la masa, dependiendo del número de tamaño. Por ejemplo, un agregado con número de tamaño 67 tiene un tamaño máximo de 25 mm (1 pulg.) y un tamaño máximo nominal de 19 mm (3/4 pulg.), 91% de este agregado debe pasar por el tamiz de 19 mm (3/4 pulg.) y todas las partículas deben pasar el tamiz de 25 mm (1 pulg.). La NTP 400.037 define el tamaño máximo nominal del agregado

como el menor tamiz que produce el primer retenido, pero no especifica el límite del porcentaje retenido, mientras que la Nch 163 define el tamaño máximo nominal (Dn) como la abertura del tamiz inmediatamente inferior al tamaño máximo absoluto (equivalente al que se llama de tamaño máximo en las normas de los otros países citados aquí), cuando por este tamiz pase 90% o más de la muestra. Cuando menos del 90% pasa por este tamiz, se considera como Dn el propio tamaño máximo absoluto. El tamaño máximo de agregado que se puede utilizar depende del tamaño y de la forma del miembro de concreto y de la cantidad y distribución del acero de refuerzo (armadura). Normalmente, el tamaño máximo del agregado no puede exceder:

1. Un quinto de la dimensión más pequeña del miembro de concreto.
2. Tres cuartos del espacio libre entre las barras de acero del refuerzo y entre las varillas de refuerzo y las cimbras (encofrados).
3. Un tercio de la profundidad de las losas.

Se puede renunciar a estos requisitos si, en la opinión del ingeniero, la mezcla poseyera una trabajabilidad suficiente para que el concreto se coloque adecuadamente sin la formación de agujeros y vacíos.

2.3.2 Contenido de Humedad en los Agregados

Se usan muchos métodos para la determinación del contenido de humedad en las muestras de agregado. El contenido total de humedad en el agregado fino y en el agregado grueso se puede ensayar de acuerdo con las normas ASTM C 566 (AASHTO T 255), COVENIN 1375, NMX-C-166, NTC 1776, NTP 339.185. En este método una muestra medida de agregado húmedo se seca en un horno (estufa) convencional ventilado, en un horno de microondas, en un horno eléctrico o sobre una placa directa a fuego. A través de la masa antes y después del secado, se puede calcular el contenido de humedad como sigue:

$$P = 100 (H-S)/S$$

Siendo:

P = contenido de humedad de la muestra en porcentaje

H = masa original de la muestra

S = masa seca de la muestra

La humedad (libre) de la superficie se puede calcular si se conoce el porcentaje de humedad absorbida en el agregado. El contenido de humedad en la superficie es igual a la humedad total menos la humedad absorbida. Se puede utilizar la información histórica para la fuente de agregado, a fin de que se obtengan los datos de contenido de humedad absorbida, si la composición mineralógica de la mina o de la cantera no se ha cambiado considerablemente. Sólo la humedad de la superficie, no la humedad absorbida, se vuelve parte del agua de la mezcla en el concreto. Los porcentajes de la humedad superficial se usan para calcular la cantidad de agua en los agregados, a fin de que se reduzca la cantidad de agua de la mezcla, usada en la dosificación. Adicionalmente, se debe aumentar la masa de agregados en la dosificación en el porcentaje de humedad superficial presente en cada tipo de agregado. Si no se hacen ajustes durante la dosificación, el agua superficial va reemplazar una parte de la masa de agregado y la mezcla no va a rendir adecuadamente.

2.3.3 Estudio de masa específica, absorción y humedad superficial para agregados gruesos y finos.

La masa específica relativa (densidad relativa, gravedad específica) de un agregado es la relación entre su masa y la masa de agua con el mismo volumen absoluto. Se la usa en algunos cálculos de proporcionamiento y del control de la mezcla, tales como el volumen ocupado por el agregado en el método del volumen absoluto de diseño de mezcla. Normalmente no se la usa como una medida de la calidad del agregado, aunque algunos agregados porosos que exhiben deterioro acelerado por congelación-deshielo presentan baja gravedad específica. La mayoría de los agregados naturales tiene masas específicas relativas que varían de 2.4 a 2.9, con masa específica correspondiente de las partículas de 2400 a 2900 kg/m³ (150 y 181 lb/pie³). Los métodos de ensayo (prueba) para la determinación de la masa específica relativa de los agregados fino y grueso se describen en las normas ASTM C 127 (AASHTO T 85), COVENIN 0269, IRAM 1533, NCh1117, NMX-C-164, NTC 176, NTE 0856, NTP 400.021, UNIT-NM 30, UNIT-NM53 y ASTM C 128 (AASHTO T 84), COVENIN 0268, IRAM 1520, NCh1239, NTE 857, NMX-C-165, NTC 237, NTP 400.022, UNIT-NM 64, UNIT-NM 52, respectivamente. La masa específica relativa de un agregado se puede determinar en la condición seca al horno o saturada con superficie seca. Ambas masas específicas se pueden utilizar en los cálculos del proporcionamiento del concreto. Los agregados secados al horno no contienen ninguna agua absorbida ni tampoco agua libre. Se las seca en un horno hasta la constancia de masa. Los agregados saturados con superficie seca son aquellos cuyos poros de cada partícula de agregado están llenos de agua, pero no hay exceso de agua en la superficie de las partículas.

La absorción y la humedad superficial de los agregados se deben determinar de acuerdo con las normas ASTM C 70, COVENIN 0272, ASTM C 127, COVENIN 0269, IRAM 1533, NMX-C-164, NCh1117, NTC 176, NTP 400.021, UNITNM 30, UNIT-NM 53; ASTM C 128, COVENIN 0268, IRAM 1520, NCh1239, NMX-C-165, NTC 237, NTP 400.022, UNITNM 64, UNIT-NM 52; ASTM C 566 (AASHTO T 255), COVENIN 1375, NMX-C-166, NTC 1776, NTP 339.185 así el agua total del concreto se puede controlar y las masas correctas de los materiales de la mezcla se pueden determinar. La estructura interna de una partícula de agregado se constituye de materia sólida, y vacíos que pueden o no contener agua. Las condiciones de humedad de los agregados se presentan en la Figura 2-7 y se las puede definir como:

1. Secado al horno – totalmente absorbente
2. Secado al aire – la superficie de las partículas está seca, pero su interior contiene humedad y, por lo tanto, aún es ligeramente absorbente
3. Saturado con superficie seca (SSS) – no absorben ni ceden agua al concreto
4. Húmedos – Contiene un exceso de humedad sobre la superficie (agua libre)

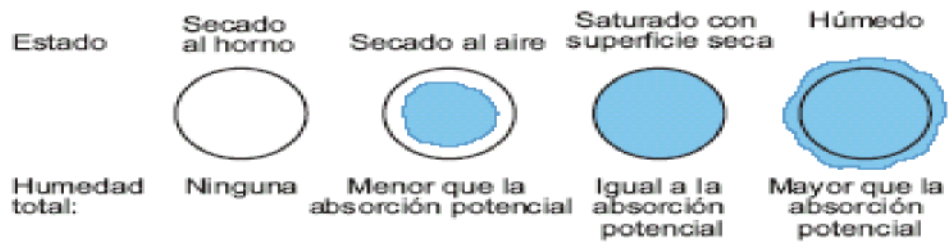


Fig. 2-7. Condiciones de humedad de los agregados.

La cantidad de agua que se adiciona en la planta de concreto se debe ajustar para las condiciones de humedad de los agregados, a fin de que se atienda a la demanda de agua del diseño de la mezcla de manera precisa. Si el contenido de agua del concreto no se mantiene constante, la relación agua-cemento variará de una amasada a la otra, resultando en la variación de otras propiedades, tales como la resistencia a compresión y la trabajabilidad.

Los agregados grueso y fino generalmente tienen niveles de absorción (contenido de humedad a SSS) que varían del 0.2% al 4% y del 0.2% al 2%, respectivamente. Los contenidos de agua libre generalmente varían del 0.5% al 2% para el agregado grueso y del 2% al 6% para el agregado fino. El contenido máximo de humedad del agregado grueso drenado es normalmente menor que aquél del agregado fino. La mayoría de los agregados finos puede mantener un contenido máximo de humedad drenada de cerca del 3% al 8%, mientras que el agregado grueso puede mantener del 1% al 6%.

2.3.4 Estudio de peso volumétrico para agregados gruesos y finos

La masa volumétrica (masa unitaria) de un agregado es la masa o el peso del agregado necesario para llenar un recipiente con un volumen unitario especificado. El volumen a que se refiere aquí es aquél ocupado por los agregados y por los vacíos entre las partículas de agregado. La masa volumétrica aproximada del agregado comúnmente usado en el concreto de peso normal varía de 1200 a 1750 kg/m³ (75 a 110 lb/pie³). La cantidad de vacíos entre las partículas afecta la demanda de pasta en el diseño de la mezcla. La cantidad de vacíos varía de cerca del 30% a 45% para el agregado grueso y de cerca del 40% a 50% para el agregado fino. La angularidad aumenta la cantidad de vacíos, mientras que los tamaños mayores de un agregado bien graduado y la mejoría de la granulometría disminuyen el contenido de vacíos. Los métodos para la determinación de la masa volumétrica del agregado y el contenido de vacíos se encuentran en las normas ASTM C 29 (AASHTO 19), COVENIN 0274, COVENIN 0263, IRAM 1548, NMX-C-073, NTC 92, NTP 400.017, UNIT-NM 45. En estas normas, se describen tres métodos para la consolidación del agregado en el recipiente, dependiendo del tamaño máximo del agregado: varillado, sacudido y vaciado con pala.

2.3.5 Estudio de límites de consistencia para finos que pasan la malla No 40

Los diferentes tipos de agregados tienen compresibilidad, módulo de elasticidad, propiedades de contracción relacionada con humedades diferentes que pueden afectar las mismas propiedades del concreto. Los agregados con absorción elevada pueden tener alta

contracción por secado. Los agregados de cuarzo y feldespatos, además de calizas, dolomitas y granitos, se consideran como agregados de baja contracción, mientras que los agregados con arenisca, pizarra, hornblenda y grauwaca frecuentemente están asociados con una alta contracción del concreto (Fig. 2-8).

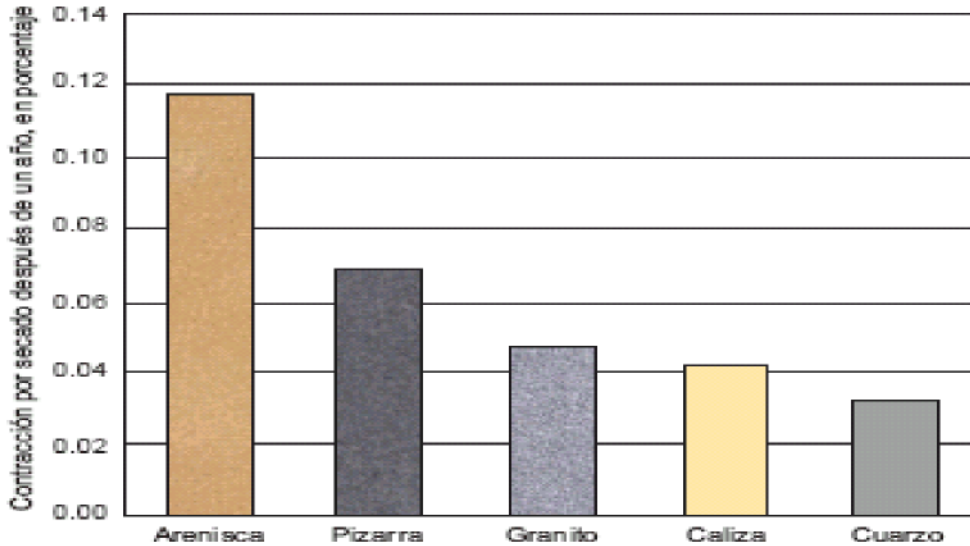


Fig. 2-8. Concretos conteniendo arenisca o pizarra presentan alta contracción. Granito, calizas y cuarzo son agregados que producen concretos con baja contracción.

2.3.6 Pérdida por lavado para agregados gruesos y finos

Grandes cantidades de arcilla y limo en agregados puede afectar adversamente durabilidad, aumentar la demanda de agua y aumentar la contracción (retracción). Las especificaciones normalmente limitan la cantidad de material que pasa por el tamiz (malla, cedazo) No. 200 (75 μ m) a 2% o 3% en el agregado fino y a 1% o menos en el agregado grueso. Las pruebas para el material más fino que 75 μ m (tamiz No. 200) deben estar de acuerdo con ASTM C 117 (AASHTO T 11), IRAM 1540, NMX-C-084, NTC 78, NTE 0697, NTP 400.018, UNIT-NM 46.

2.3.7 Prueba de los ángeles (abrasión) e impacto para agregados gruesos

La resistencia a la abrasión (desgaste) de un agregado frecuentemente se usa como un índice general de su calidad. La resistencia a la abrasión es esencial cuando el agregado se usará en un concreto sujeto al desgaste, como en los pisos para servicio pesado (industriales) o pavimentos. La baja resistencia al desgaste de un agregado puede aumentar la cantidad de finos en el concreto durante el mezclado y, consecuentemente, puede haber un aumento en la demanda de agua, requiriéndose ajustes de la relación agua-cemento. El ensayo más común de resistencia a la abrasión es el ensayo de abrasión Los Ángeles (método del tambor giratorio) realizado de acuerdo con la ASTM C 131 (AASHTOT 96), COVENIN 0266-77, IRAM 1532, NCh1369.Of1978, NMX-C-196, NTP 400.019, UNITNM 51 o ASTM C 535, COVENIN 0267-78, NCh1369, NTP 400.020. En este ensayo, una

cantidad especificada de agregado se coloca en un tambor de acero que contiene esferas de acero, se gira el tambor y se mide el porcentaje de material desgastado. Las especificaciones normalmente establecen un límite máximo de pérdida de masa. Sin embargo, una comparación de los resultados de los ensayos de abrasión con la resistencia a abrasión de un concreto producido con el mismo agregado, generalmente no muestra una clara relación. La pérdida de masa resultante del impacto en el tambor, frecuentemente, es comparable con aquélla por abrasión. La resistencia al desgaste del concreto se determina más precisamente por la abrasión del propio concreto.

Para lograr una buena resistencia al derramamiento (resbalón) en los pavimentos, el contenido de partículas silíceas del agregado fino debe ser, por lo menos, 25%. Para propósitos de especificación, el contenido de partículas silíceas se considera igual al residuo insoluble, después del tratamiento en ácido clorhídrico bajo condiciones normalizadas (ASTM D 3042). Algunas arenas manufacturadas producen superficies resbalosas de pavimentos y se las debe investigar para aceptación antes de su uso.

2.3.8 Factor de forma para agregados gruesos

La forma y la textura superficial de las partículas de un agregado influyen en las propiedades del concreto fresco más que las del concreto endurecido. Las partículas con textura áspera, angulares o elongadas requieren más agua para producir un concreto trabajable que agregados lisos, redondeados y compactos. Además, las partículas de agregado angulares requieren más cemento para mantener la misma relación agua-cemento. Sin embargo, con la granulometría satisfactoria, tanto los agregados triturados como los no triturados (de un mismo tipo de roca), generalmente, producen concretos con la misma resistencia, si se mantiene el contenido de cemento. Los agregados angulares o con granulometría pobre también pueden ser más difíciles de bombear. La adherencia entre la pasta de cemento y un determinado agregado generalmente aumenta con el cambio de partículas lisas y redondeadas por las ásperas y angulares.

Cuando la resistencia a flexión es importante o cuando se necesite alta resistencia a compresión, se debe considerar este aumento de la adherencia al elegirse el agregado para el concreto. La cantidad de vacíos de los agregados fino y grueso compactados se puede usar como un índice de las diferencias en la forma y la textura de los agregados con la misma granulometría. La demanda de agua de mezcla y cemento normalmente aumentan con el aumento de la cantidad de vacíos. Los vacíos entre las partículas de agregados aumentan con la angularidad del agregado. El agregado debe ser relativamente libre de partículas planas y elongadas. Una partícula se considera plana y elongada cuando la relación entre longitud y espesor supera un valor especificado.

Las partículas planas y elongadas se deben evitar o, por lo menos, limitar a cerca del 15% de la masa total del agregado. Este requisito es igualmente importante para el agregado grueso y para el agregado fino triturado, pues el agregado fino obtenido por la trituración de la roca frecuentemente contiene partículas planas y elongadas. Estas partículas de agregado requieren un aumento del agua de mezcla y, por lo tanto, pueden afectar la resistencia del concreto, principalmente a flexión, si no se ajusta la relación agua-cemento.

Están disponibles varias máquinas de ensayo para la determinación rápida de la distribución del tamaño de las partículas del agregado. Diseñadas para dar una alternativa

más rápida al ensayo normalizado de análisis granulométrico, estas máquinas captan y analizan imágenes digitales de las partículas de agregado para determinar la granulometría.

2.4 Pruebas químicas aplicadas a agregados para elaborar concreto

2.4.1 Contenido de materia orgánica

Las impurezas orgánicas en los agregados finos se deben determinar de acuerdo con ASTM C 40 (AASHTO T 21), COVENIN 0256, NCh166, NMX-C-088-1997-ONNCCE, NTC 127, NTP 400.024, UNIT-NM 49. Se coloca una muestra de agregado fino en una solución de hidróxido de sodio y se la agita. Al día siguiente, se compara el color de la solución de hidróxido de sodio con un estándar de color de vidrios o una solución de color estándar. Si el color de la solución que contiene la muestra es más oscuro que la solución estándar o que la placa de vidrio orgánico No. 3, no se debe utilizar el agregado fino para trabajos importantes en concreto, sin una investigación más profunda. Algunos agregados finos contienen pequeñas cantidades de carbón o lignita que dan al líquido el color oscuro. La cantidad puede ser insuficiente para reducir apreciablemente la resistencia del concreto. Si la apariencia de la superficie del concreto no es importante, la ASTM C 33 (AASHTO M 6), NCh163, IRAM 1512, IRAM 1531, NMX-C-111, NTC 174, NTP 400.037, UNIT 84 declaran que el agregado fino es aceptable si la cantidad de carbón y lignita no exceden al 1% de la masa total de agregado fino. Se puede usar el agregado fino que no atiende a este límite si, al ensayarlo de acuerdo con ASTM C 87 (AASHTO T 71), COVENIN 0275, IRAM 1647, NMXC- 07, NTC 579, NTP 400.013, la resistencia a compresión a los 7 días de cubos de mortero producidos con este agregado (ASTM C 109 o AASHTO T 106, COVENIN 484, NTC 220, NTE 0488, NTP 334.051) es, por lo menos, 96% de la resistencia del mortero producido con la misma arena, pero lavada en una solución de 3% de hidróxido de sodio y enjuagada totalmente con agua. Cantidades considerables de carbón y lignita en el agregado pueden causar erupciones y manchas del concreto y pueden disminuir su durabilidad, cuando sea expuesto a la intemperie. La experiencia local es normalmente la mejor indicación de la durabilidad del concreto producido con tales agregados.

2.4.2 Estudio de Reactividad Álcali-Agregado

Los agregados que contienen ciertos constituyentes pueden reaccionar con los hidróxidos alcalinos en el concreto. La reactividad es potencialmente perjudicial sólo cuando produce una expansión significativa. Esta reactividad álcali-agregado (RAA) se presenta en dos formas—reacción álcali-sílice (RAS) y reacción álcali-carbonato (RAC). La RAS es más preocupante que la RAC porque la ocurrencia de agregados que contienen minerales reactivos de sílice es más común. Los agregados de carbonatos reactivos con álcalis tienen una composición específica que no es muy común. La reactividad álcali-sílice se ha reconocido como una fuente potencial de deterioro desde finales de los años 30. A pesar de que existan agregados reactivos en toda América Latina y EE.UU., la ocurrencia de RAS no es tan común. Existen muchas razones para esto:

- La mayoría de los agregados son estables en concreto de cemento hidráulico.
- Agregados con buenos registros de servicio son abundantes en muchas áreas.
- La mayoría de los concretos en servicio están suficientemente secos para inhibir RAS.

- En muchas mezclas de concreto, el contenido de álcalis del concreto es suficientemente bajo para controlar la RAS.
- Algunas formas de RAS no producen expansión nociva significativa.

Para reducir el potencial de la RAS se hace necesario entender su mecanismo, usar adecuadamente los ensayos para identificar los agregados potencialmente reactivos y, si es necesario, tomar precauciones para minimizar el potencial de expansión y el agrietamiento resultante.

Reacción Álcali-Sílice

Síntomas Visuales de la Expansión por RAS. Los indicadores de RAS pueden ser: red de grietas (fisuras) (Fig. 2-9), juntas cerradas o lascadas, desplazamiento relativo de diferentes partes de la estructura o la aparición de erupciones en la superficie (Fig. 2-10).



Fig. 2-9. (Superior e inferior). Fisuración del concreto debido a la reacción álcali-agregado.

Como el deterioro por RAS es lento, el riesgo de la falla catastrófica es bajo. La RAS puede causar problemas de funcionalidad o utilización y puede exacerbar otros mecanismos de deterioro, como aquéllos que ocurren en la exposición a congelación, a descongelantes y a sulfatos.



Fig. 2-10. Erupciones causadas por RAS de partículas del tamaño de la arena.
La foto interna enseña un primer plano de la erupción

Mecanismo de la RAS. La reacción álcali-sílice forma un gel que se expande cuando absorbe agua de la pasta de cemento de su alrededor. Los productos de la reacción de RAS tienen una gran afinidad con la humedad. Este gel, al absorber agua, puede inducir presión, expansión y fisuración del agregado y de la pasta. La reacción se puede visualizar en dos etapas:

1. Hidróxido alcalino + gel de sílice reactiva → producto de la reacción (gel álcali-sílice)
2. Gel del producto de la reacción + humedad → expansión.

La cantidad de gel que se forma en el concreto depende de la cantidad y del tipo de sílice y concentración del hidróxido alcalino. La presencia de gel no siempre coincide con el daño y, por lo tanto, la presencia de gel no indica necesariamente la ocurrencia de RAS.

Factores que Afectan la RAS.

Para que la RAS ocurra, tres condiciones deben estar presentes:

1. Una forma reactiva de sílice en el agregado,
2. Una solución en el poro altamente alcalina (pH) y
3. Humedad suficiente.

Si una de estas condiciones está ausente, la reacción RAS no puede ocurrir.

Métodos de Ensayo para Identificar el Daño por RAS.

Es importante que se distinga entre la reacción y el daño resultante de la reacción. En el diagnóstico del deterioro del concreto, es más probable que se identifique el gel, pero, en algunos casos, se forma una cantidad significativa de gel sin haber daño al concreto. Para que se determine que la RAS es la causa del daño, se debe verificar la presencia del gel nocivo. Se puede definir el lugar de la reacción expansiva como una partícula de agregado reconocidamente reactivo que se haya reemplazado parcialmente por el gel. El gel puede estar presente en las fisuras y vacíos y también puede estar presente como un anillo alrededor de los bordes de las partículas de agregado. Una red interna de grietas, conectando las partículas de agregado reactivo, es una indicación casi segura de que la RAS es responsable por el agrietamiento. El examen petrográfico (ASTM C 856) es el método más seguro para la identificación del gel de RAS en concreto. La petrografía, cuando se la usa para estudiar una reacción conocida (AATH, 2001), puede confirmar la presencia de los productos de reacción y verificar la RAS como la causa principal del deterioro (Fig. 2-11).

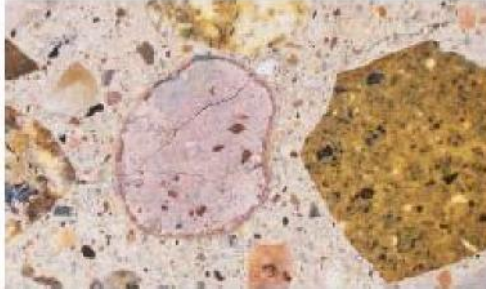


Fig. 2-11. Vista de una sección pulida de un agregado reactivo con álcalis en el concreto. Obsérvese la reacción álcali-sílice que contorna el agregado reactivo y la formación de fisuras.

Control de la RAS en el Concreto Nuevo. La mejor manera de evitar la RAS es tomar precauciones apropiadas antes de la colocación del concreto. Las especificaciones de norma pueden requerir modificaciones para tratar de RAS. Estas modificaciones se deben establecer cuidadosamente para evitar que se limiten las opciones de los productores de concreto. Esto permite un análisis cuidadoso de los materiales cementantes y agregados y la elección de la estrategia de control que mejore la eficiencia y la economía de los materiales elegidos. Si la identificación histórica o los ensayos muestran que el agregado no es reactivo, no se necesitan de requisitos especiales.

Identificación de los Agregados Potencialmente Reactivos. El comportamiento histórico en campo es el mejor medio de evaluarse la susceptibilidad de un agregado a la RAS. Para una evaluación más definitiva, el concreto existente debe estar en servicio, por lo menos, por 15 años. Se deben hacer las comparaciones entre el concreto existente y las proporciones de mezcla del concreto propuesto, sus componentes y el ambiente de servicio. Este proceso debe decir si se hacen necesarios requisitos especiales o si son necesarios ensayos de los agregados o del concreto. Los métodos de ensayo más nuevos y rápidos se pueden utilizar para la investigación inicial. Cuando aparezcan incertidumbres, se deben usar ensayos más demorados para confirmar los resultados.

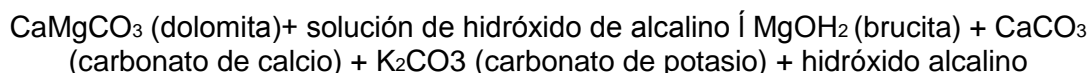
2.4.4 Estudio de Reactividad Álcali-Carbonato

Mecanismo de la RAC. Las reacciones que se observan en ciertas rocas dolomíticas están asociadas con la reacción álcali-carbonato (RAC). Las rocas reactivas contienen cristales grandes de dolomita dispersos y rodeados por una matriz de granos finos de calcita y arcilla. La calcita es una de las formas minerales del carbonato de calcio y la dolomita es el nombre común para el carbonato de calcio-magnesio. La RAC es relativamente rara porque los agregados susceptibles a esta reacción normalmente no son apropiados para el uso en concreto por otras razones, tales como la resistencia potencial. Las calizas dolomíticas arcillosas contienen calcita y dolomita con cantidades apreciables de arcilla y pueden contener pequeñas cantidades de sílice reactiva. La reactividad a álcalis de las rocas carbonáticas normalmente no depende de la composición mineralógica de la arcilla (Hadley 1961). Los agregados tienen un potencial para la RAC expansiva si están presentes las siguientes características litológicas (Ozol 1994 y Swenson 1967):

- Contenido de arcilla, o residuo insoluble, en el rango del 5% al 25%;
- Relación entre calcita y dolomita de aproximadamente 1:1;

- Aumento en el volumen de la dolomita hasta el punto que la textura entrelazada se vuelva un factor de restricción y
- Cristales dolomíticos discontinuos de pequeño tamaño dispersos en la matriz de arcilla.

Dedolomitización. La dedolomitización, o la ruptura de la dolomita, se asocian normalmente con la RAC expansiva. El concreto que contiene dolomita y se expandió también contiene brucita (hidróxido de magnesio, $Mg(OH)_2$), que se forma por la dedolomitización. La dedolomitización prosigue de acuerdo con la siguiente ecuación (Ozol 1994):



La reacción de dedolomitización y la cristalización subsiguiente de la brucita pueden causar una expansión considerable. La expansión causada directa o indirectamente por la dedolomitización frecuentemente es un prerrequisito para otros procesos expansivos (Tang, Deng y Lon 1994).

Métodos de Ensayo para la Identificación de los Daños por RAC. Los tres métodos normalmente usados para la identificación de la reactividad potencial álcali-carbonato de los agregados son:

- Examen petrográfico (ASTM C 295);
- Método del cilindro de roca (ASTM C 586) y
- Ensayo del prisma de concreto (ASTM C 1105).

Materiales y Métodos de Control de RAC. El agregado susceptible a RAC tiene una composición específica que se identifica fácilmente por los ensayos petrográficos. Si la roca indica susceptibilidad a RAC, se pueden tomar las siguientes precauciones:

- Cantera seleccionada para evitar completamente la reacción del agregado;
- Agregado mezclado de acuerdo con el apéndice de la A S T M C 1105 o
- Limitar el tamaño del agregado al menor posible.

El cemento de bajo contenido de álcalis y las puzolanas no son generalmente muy efectivos en el control de la RAC expansiva.

2.4.5 Resistencia a ácidos y otras sustancias corrosivas

El concreto de cemento portland es durable en la mayoría de los ambientes naturales, pero, sin embargo, el concreto se puede exponer ocasionalmente a sustancias que lo atacarán. La mayoría de las soluciones ácidas se desintegran lenta o rápidamente en concreto de cemento portland, dependiendo del tipo y la concentración del ácido. Ciertos ácidos, tales como el ácido oxálico, son inofensivos. Las soluciones débiles de algunos ácidos tienen efectos insignificantes. A pesar de que normalmente los ácidos atacan y lixivian los compuestos de calcio de la pasta de cemento, pueden no atacar fácilmente ciertos agregados, como los agregados silíceos. Los agregados calcáreos frecuentemente reaccionan rápidamente con los ácidos. Sin embargo, el efecto de sacrificio del agregado calcáreo es normalmente benéfico comparándose con el agregado silíceo en un ambiente de exposición a ácidos suaves o en áreas donde no haya agua fluyendo. Con los agregados calcáreos, el ácido ataca uniformemente toda la superficie expuesta del concreto,

reduciendo la tasa de ataque de la pasta y previniendo la pérdida de las partículas de agregados en la superficie. Los agregados calcáreos también tienden a neutralizar al ácido, especialmente en sitios estancados. Los ácidos también pueden decolorar el concreto. Se deben evitar los agregados silíceos cuando soluciones fuertes de hidróxido de sodio estén presentes, pues estas soluciones atacan este tipo de agregado. La lluvia ácida (frecuentemente con pH de 4 a 4.5) puede marcar levemente la superficie del concreto, normalmente sin afectar el desempeño de las estructuras de concreto expuestas. La lluvia extremadamente ácida o condiciones con agua muy ácida pueden justificar diseños o precauciones especiales para el concreto, especialmente en áreas sumergidas. El abastecimiento continuo de ácido con pH de menos de 4, como ocurre en tuberías, se considera altamente agresivo y suficiente para quemar el concreto. El concreto continuamente expuesto a líquidos con pH menor que 3 se debe proteger de manera similar al concreto expuesto a soluciones ácidas diluidas. Las aguas naturales normalmente tienen un pH mayor que 7 y raramente menor que 6. Las aguas con pH mayor que 6.5 pueden ser agresivas si contienen bicarbonatos. Las soluciones de ácido carbónico con concentraciones entre 0.9 y 3 partes por millón se consideran destructivas para el concreto.

Una relación agua-cemento baja, baja permeabilidad y un contenido de cemento de bajo a moderado pueden aumentar la resistencia a ácidos o la resistencia a corrosión del concreto. Una baja permeabilidad que resulte de una baja relación agua-cemento o el uso de humo de sílice u otras puzolanas, ayudan a evitar la penetración del agente corrosivo en el concreto. El contenido de cemento de bajo a moderado resulta en menos pasta susceptible al ataque. El uso de agregados calcáreos de sacrificio se debe considerar donde sea necesario.

Ciertos ácidos, gases, sales y otras sustancias que no se mencionaron aquí también pueden desintegrar el concreto. Se debe evitar el contacto del concreto con ácidos y otros productos químicos que atacan severamente el concreto a través de recubrimientos de protección.

2.5 Materiales potencialmente perjudiciales en agregados

Las sustancias perjudiciales que pueden estar presentes en los agregados incluyen impurezas orgánicas, limo, arcilla, esquisto, óxido de hierro, carbón mineral, lignito y ciertas partículas ligeras y suaves. Además, rocas y minerales, como el chert y el cuarzo deformado (Buck y Mather 1984) y ciertas calizas dolomíticas son reactivas con álcalis (Tabla 2-5).

| Sustancias reactivas álcali-silice* | | Sustancias reactivas álcali-carbonato** |
|---|---|---|
| Andesitas | Esquistos | Calizas dolomíticas |
| Argilitas | Filtas | Dolomitas calcíticas |
| Calcedonia | Gneis granítico | Dolomitas finamente granuladas |
| Cherts | Grauvacas | |
| Cherts calcedónicos | Material volcánico vitrificado o criptocristalino | |
| Ciertas calizas silíceas y dolomitas | Metagrauvacas | |
| Cristobalita | Ópalo | |
| Cuarzita | Pizarras opalinas | |
| Cuarzo deformado y otras formas de cuarzo | Pizarras silíceas | |
| Cuarzosas | Riolitas | |
| Dacita | Vidrio silíceo natural y sintético | |
| | Tridmita | |

Tabla 2-5. Algunos Minerales Reactivos Potencialmente Perjudiciales y Materiales Sintéticos

El yeso y la anhidrita pueden causar ataque de sulfatos. Ciertos agregados, como los esquistos causan erupciones por el abundamiento (sencillamente por la absorción de agua) o por el congelamiento del agua absorbida (Fig. 5-18).



Fig. 2-12. La erupción es el desprendimiento de un pequeño fragmento de la superficie de concreto debido a la presión interna, que deja una depresión típicamente cónica y poco profunda.

La mayoría de las especificaciones limitan las cantidades permisibles de estas sustancias. La historia del comportamiento de un agregado debe ser un factor determinante para la elección de los límites para las sustancias perjudiciales.

Los agregados son potencialmente peligrosos si contienen compuestos considerados químicamente reactivos con el concreto de cemento portland y si producen: (1) cambio significativo del volumen de la pasta, agregados o ambos, (2) interferencia en la hidratación normal del cemento y (3) otros productos secundarios dañinos.

Las impurezas orgánicas pueden retrasar el fraguado y el endurecimiento del concreto, reducir el desarrollo de la resistencia y, en algunos casos poco usuales, causar el deterioro. Las impurezas orgánicas, como las turbas, los humus y las margas orgánicas pueden no ser tan perjudiciales, pero se las debe evitar. Los materiales más finos que 75 μm (tamiz No. 200), especialmente el limo y la arcilla, pueden estar presentes como polvo suelto y pueden formar un revestimiento en las partículas de agregados. Incluso hasta los revestimientos finos de limo o arcilla, sobre las partículas de agregado grueso, pueden ser dañinos, pues

debilitan la adherencia entre la pasta de cemento y el agregado. Si ciertos tipos de limo o arcilla están presentes en cantidades excesivas, la demanda de agua puede aumentar significativamente. Hay una tendencia de algunos agregados finos en degradarse por la acción de molienda en la mezcladora de concreto. Este efecto, que se mide por la ASTM C 1137, puede alterar la demanda de agua de mezcla, de aire incluido y los requisitos de revenimiento (asentamiento). El carbón mineral o el lignito u otros materiales de baja densidad como la madera y los materiales fibrosos, cuando están presentes en grandes cantidades, afectan la durabilidad del concreto. Si estas impurezas ocurren en la superficie o cerca de ella, se pueden desintegrar, causar erupciones o manchas. Los cherts potencialmente dañinos en el agregado grueso se pueden identificar a través de las normas ASTM C 123 (AASHTO T 113), COVENIN 0260, NMX-C- 072-1997-ONNCCE, NTC 130, NTE 0699, NTP 400.023, UNIT-NM 31.

Las partículas blandas en el agregado grueso son especialmente indeseables pues pueden causar erupciones y pueden afectar la durabilidad y la resistencia al desgaste del concreto. Si son desmenuzables, se pueden romper y aumentar, aun más, la demanda de agua. Donde la resistencia a la abrasión sea importante, como en los pisos industriales, los ensayos pueden indicar que se justifica una investigación u otra fuente de agregados.

Los terrones de arcilla en el concreto pueden absorber parte del agua de mezcla, causar erupciones en el concreto endurecido y afectar la durabilidad y la resistencia al desgaste. También se pueden fracturar durante el mezclado y, como consecuencia, aumentar la demanda de agua. Los agregados pueden eventualmente contener partículas de óxido de hierro y sulfuro de hierro que resultan en manchas antiestéticas sobre las superficies expuestas del concreto (Fig. 2-13).



Fig. 2-13. Mancha de óxido de hierro provocada por impurezas en el agregado.

El agregado debe cumplir con los requisitos de manchado de la ASTM C 330 (AASHTO M 195), cuando son ensayados conforme la ASTM C 641 o cumplir con COVENIN 1895, IRAM 1688, NMX-C- 348, NMX-C-299, NTC 4045, UNIT-NM 35 y el frente de la cantera y las pilas del material no deben presentar manchas. Se puede sumergir el agregado en una lechada de cal para ayudar en la identificación de manchas. Si las partículas que provocan manchas están presentes, se forma un precipitado gelatinoso verde azulado en un periodo de 5 a 10 minutos, que rápidamente se vuelve marrón al ser expuesto al aire y a la luz. La reacción se debe completar en 30 minutos. Si no se forma el precipitado gelatinoso marrón cuando se coloca el agregado en la lechada, existe poca probabilidad de que ocurra cualquier reacción en el concreto. Estos ensayos son necesarios cuando se usan agregados sin ningún registro de empleo anterior en concreto arquitectónico.

CAPÍTULO 3. PROCESO DE OBTENCIÓN DE GRAVA DE 20 mm. Y DE ARENA DE 5 mm. EN UNA CANTERA DE AGREGADOS ANDESÍTICOS.

Este capítulo pretende dar a conocer una de las muchas formas que existen para obtener agregados. Este trabajo no tiene por objetivo adentrarse mucho en los aspectos técnicos de la maquinaria y condiciones de operación de una planta de trituración de agregados. Este es sólo un panorama general de cómo se obtienen agregados triturados en una cantera de materiales andesíticos.

Por otra parte, también se ha elaborado una guía de procedimientos sencillos, los cuales representan un estudio de caracterización parcial del agregado, estos tienen como objetivo ser lo más prácticos y confiables para tener un criterio de aceptabilidad o rechazo de agregados para el uso en concreto desde la misma cantera.

3.1 Generalidades en la explotación de bancos de materiales de agregados pétreos.

Nuestra sociedad moderna requiere de una gran variedad de materiales para construcción, los cuales provienen de la corteza terrestre, la roca y arena se encuentran en una gran variedad y con características diferentes de cada tipo.

Cuando se encuentre un depósito de roca o arena, lo que es conocido como “banco” y determinando el tipo de material que lo compone se procederá a la exploración que es el examen general preeliminar hecho fundamentalmente en la superficie para determinar las acumulaciones de roca y arena capaces de ser explotados.

En la exploración se deberá utilizar el método adecuado el cual nos permita conocer la calidad y cantidad del “banco” para que al iniciar la explotación, la obtención del material sea eficiente y al mínimo costo.

La explotación se realizará de acuerdo a ciertas variables tales como: los bloques serán del tamaño adecuado para el equipo que se encargará de mover la roca y arena hacia los procesos necesarios para obtener los agregados de acuerdo al las especificaciones requeridas en las obras para las cuáles se está produciendo la roca triturada.

En la explotación de bancos de roca para la obtención de agregados pétreos, generalmente se sigue el siguiente orden de actividades:

a) Estudios de los bancos de roca

Este estudio se realizará con los diferentes métodos de exploración que existen, eligiendo el que dé mejores resultados y al menor costo; complementándolo con algún otro si es necesario.

En un país como México, con casi dos millones de kilómetros cuadrados de superficie, se encuentran prácticamente todo tipo de rocas para la elaboración de agregados pétreos.

b) Desmante y despirme

Considerados como trabajos previos, que permiten limpiar el material no deseado al yacimiento de roca y éste quede limpio y listo para las etapas sucesivas.

c) Barrenación o excavación

El material de greña es removido por una retroexcavadora que avienta el material de greña del frente de explotación, ó dependiendo del tipo de roca se utilizan explosivos.

d) Carga y transporte

Para llevar el material a la planta de trituración se requerirá de maquinaria, capaz de poder cargar el material en los medios de transporte, eligiendo la más adecuada de acuerdo a las características de operación, tratando de equilibrar las unidades de carga con las unidades de acarreo.

e) Trituración, cribado y almacenamiento

Es el tratamiento que se le dará al material en greña, en la planta de trituración y así obtener los agregados pétreos útiles para la obra civil.

Existen diferentes máquinas que van reduciendo sucesivamente el tamaño de la roca hasta lograr el tamaño deseado, de acuerdo a las especificaciones que debe cumplir el agregado pétreo en función del tipo de obra en el cuál se utilizara.

Como el empleo del agregado pétreo no se hará inmediatamente, este requerirá de un almacenamiento, lo cual generalmente se hace sobre el terreno circundante a la exploración. Independientemente del tipo de agregado pétreo, este ha sido utilizado a través de miles de años como material para la construcción y su importancia se ha incrementado debido al descubrimiento de nuevas técnicas para extraerla del lugar donde se forme por medio de la voladura y quebradoras que la rompen en tamaños utilizables que formaran la base de carreteras, entre otras muchas aplicaciones.

3.2 Descripción general del proceso

Después de ubicar el frente de explotación, la retroexcavadora empieza a excavar material del banco, aventándola a la superficie de abajo, formando un almacén en tipo de cono de material en greña.

Después de que el material ya esta suelto y acumulado en la superficie, lo que procede ahora es que el trascabo transporte ese material en greña al triturador primario. Este triturador primario consta de una tolva de alimentación de material sólido a granel y un triturador de quijada, el cual reduce el tamaño de las piedras mayores a 8 pulg. de diámetro.

El material alimentado por el trascabo ahora es transportado a la planta de proceso de trituración por medio de bandas transportadoras, las cuáles resultan muy eficientes para el transporte de sólido a granel. El material transportado se acumula en un almacén de alimentación, al que se le conoce como stacker, para ser alimentado luego al proceso.

Debajo de la superficie del stacker se encuentra un túnel, que tiene una compuerta, la cuál se abre dependiendo de cuanto material se quiera alimentar. El material es llevado por una banda transportadora hasta una criba primaria del tipo Nordberg, la cual se encarga de clasificar al material de greña en material grueso (de $\frac{3}{4}$ ' en adelante) y material fino (Tamaños menores a $\frac{3}{4}$ '). El material grueso es llevado a un triturador secundario del tipo cono, este se encarga de reducir el tamaño del material grueso hasta el tamaño en que las rocas puedan entrar al molino de trituración terciario sin afectarlo. Cabe decir que todo el material, tanto en greña, como el de producto intermedio y final es transportado siempre en

transportadores de banda. El material que sale del molino de trituración terciario es otra vez llevado a la banda por donde se alimenta la greña al proceso. El material fino que sale de la criba primaria, es llevado hasta otra criba secundaria del tipo High Frequency la cual se encarga de separar el material en arena de 5 mm y grava de 20 mm. De manera muy general este es el proceso de obtención de agregados de 5 y 20 mm. En una cantera de materiales andesíticos. Por supuesto que las técnicas de obtención de agregados son variadas, dependiendo del tipo de material, condiciones y maquinaria que se tengan para explotar la cantera.

Es importante mencionar que la planta de trituración funciona con energía eléctrica, esta energía es alimentada por una planta generadora de energía eléctrica a través de combustible (diesel). Esta generadora está unida a un transformador que regula el voltaje y la suministra al cuarto de controles, desde donde todas las máquinas y motores del proceso son controlados.

Este banco de agregados es principalmente arenoso, es decir en un frente de explotación de 100 metros ya despalmado, un 70 % del frente de explotación es arenoso, esto lo comprobamos con análisis granulométricos de greña. La idea de esta cantera era solamente producir arena, ya que la grava es de mala calidad (baja masa específica y muy porosa, entre otras), para lo cual el circuito de la planta tiene que cerrarse con el propósito de solamente producir arena.

Para cerrar el circuito la grava obtenida es llevada a un molino donde se pulverizará, para que este material triturado fuera llevado de nueva cuenta a la banda donde se estaba alimentando la greña. Enseguida el diagrama de flujo de proceso, para entender mejor lo descrito anteriormente.

3.3 Guía de procedimientos sencillos para realizar pruebas físicas básicas en una cantera de agregados.

Los siguientes procedimientos pueden ser aplicados en un laboratorio de mina ó cantera.

Toma y reducción de muestras de agregados en mina

1.- Objetivo:

Obtener muestras representativas del material, para las pruebas que serán ejecutadas.

2.- Equipo, aparatos e instrumentos.

Placa metálica (no indispensable), cuarteador mecánico (no indispensable), escoba, brocha, pala, recipiente y/o costal.

3.- Metodología

Se toma la muestra de acuerdo al siguiente criterio:

Si el material se encuentra almacenado sin ninguna barrera o límite que lo contenga, es decir en un montón de forma cónica, se procede a tomar porciones de material aproximadamente iguales en diferentes puntos (muestras simples), iniciando para ello de la parte más alta del montón y descendiendo en forma recta, arrastrando el material a una profundidad de 40 cm. aprox., para recoger la muestra simple en la parte inferior.

Si el material se encuentra almacenado en un cajón o mampara se procede a tomar porciones de material aproximadamente iguales en diferentes puntos (muestras simples) iniciando de un extremo y buscando abarcar todo el frente (en zigzag) para terminar hasta el extremo contrario del depósito.

Las muestras simples deben de ser tomadas despalmando 40 cm. de la parte superior y en forma equidistante, buscando cubrir la mayor área posible del almacén.

Si el material es tomado de la banda, es importante interceptar todo el flujo de la caída en diferentes intervalos (muestras simples) iniciando cuando se determine qué material es el que se desea examinar.

- Las muestras simples se mezclan para formar una muestra compuesta que debe ser mayor a 40 Kg.
- Registra en el formato correspondiente las características del agregado.
- En caso que la muestra sea enviada al laboratorio central, se realizan los arreglos para el traslado.
- Se disminuye la muestra por medio del cuarteo, y es importante que este material se encuentre seco, así como para la realización de las pruebas subsecuentes y deberá de realizarse de la siguiente forma:

a) Con cuarteador:

1. abrir las quijadas de acuerdo al tamaño y tipo de agregado (12 conductos para las arenas, 8 para los gruesos, excepto para la grava de 40 mm. que deberá tener 6.
2. colocar la muestra del agregado en la tolva del cuarteador y distribuirla uniformemente en su longitud.
3. abrir lentamente la tolva del cuarteador, buscando se establezca un flujo continuo hacia los recipientes, de ser necesario se puede facilitar este proceso con las manos.

4. repetir el proceso desde el punto 2, partiendo de la porción que resulte, hasta contar con la cantidad adecuada para cada una de las pruebas.

b) con cuarteo manual:

1. limpiar un área plana y firme, que evite la pérdida de material y/o contaminación.
2. verter el agregado en el área de trabajo para homogenizarlo con la ayuda de la pala, de tal forma que cada palada del material se deposite sobre la parte anterior formando una pila cónica.
3. ejercer presión con la pala sobre el vértice de la pila cónica, hasta obtener un diámetro de 4 a 8 veces su espesor.
4. dividir la pila aplanada (con ayuda de la pala) en 4/4 para poder separar 2/4 que estén opuestos, barriendo y limpiando todos los finos que se encuentren en este espacio.
5. repetir el proceso desde el punto 2, partiendo de la porción que resulte, hasta contar con la cantidad adecuada para cada una de las pruebas.

Las masas que serán requeridas en las pruebas se describen en la siguiente tabla

REFERENCIAS:

- NMX-C-030-1990 ONNCE
- NMX-C-170-1997 ONNCE

Determinación de la granulometría

1. Objetivo

Determinar la distribución de los diferentes tamaños de una muestra de agregados.

2. Equipo, aparatos e instrumentos

Mallas No. 4, 8, 16, 30, 50, 100 y de 3/8', 4', 3 1/2', 3', 2 1/2', charolas, cepillos de alambre No. 54, y una balanza (con aproximación de 1 gramo).

3. Metodología:

- Toma la muestra del material asignado para la prueba de acuerdo al procedimiento toma y reducción de muestras de agregados en mina.
- Arma el juego de cribas que correspondan para la prueba a efectuar, de acuerdo a la tabla de mallas para arenas y/o gravas. En orden descendente de aperturas, colocando en la parte superior la criba de mayor tamaño en apertura y termina en la parte inferior con la charola

- Va depositando en porciones el material al juego de cribas por la parte superior, y coloca la tapa en caso de tratarse de una arena.
- Donde se cuente con máquina agitadora, pondrá el juego de cribas por un lapso aproximado de 10 minutos, donde no, se deberá agitar de manera manual hasta que se observe que no pase material de una criba a otra. Al terminar debe de esperar un aproximado de 5 minutos para que las partículas suspendidas se asienten, antes de desmontar el juego de cribas de la máquina agitadora.
- Para determinar la masa retenida en cada una de las cribas, se deberá vaciar con cuidado y en forma separada el material retenido a la báscula, para obtener su peso, el cual deberá de ser registrado en el formato correspondiente con una aproximación de 0.1 %.
- En el caso de las arenas se obtendrá el módulo de finura sumando los porcentajes retenidos acumulados desde la criba No. 4 hasta la malla No. 100 registrando el formato correspondiente con aproximación de 0.1 % la suma dividida entre 100.

Tablas de mallas para arena y gravas.

| Juego de mallas para las arenas | |
|---------------------------------|---------|
| Malla | 3/8" |
| Malla | No. 4 |
| Malla | No. 8 |
| Malla | No. 16 |
| Malla | No. 30 |
| Malla | No. 50 |
| Malla | No. 100 |
| Charola | |

| Juego de mallas para las gravas de 10 mm | |
|--|--------|
| Malla | 1/2" |
| Malla | 3/8" |
| Malla | No. 4 |
| Malla | No. 8 |
| Malla | No. 16 |
| Charola | |

| Juego de mallas para las gravas de 13 mm | |
|--|-------|
| Malla | 3/4" |
| Malla | 1/2" |
| Malla | 3/8" |
| Malla | No. 4 |
| Malla | No. 8 |
| Charola | |

| Juego de mallas para las gravas de 20 mm | |
|--|-------|
| Malla | 1" |
| Malla | 3/4" |
| Malla | 3/8" |
| Malla | No. 4 |
| Malla | No. 8 |
| Charola | |

| Juego de mallas para las gravas de 25 mm | |
|--|--------|
| Malla | 1 1/2" |
| Malla | 1" |
| Malla | 1/2" |
| Malla | No. 4 |
| Malla | No. 8 |
| Charola | |

| Juego de mallas para las gravas de 40 mm | |
|--|--------|
| Malla | 2" |
| Malla | 1 1/2" |
| Malla | 1" |
| Malla | 3/4" |
| Malla | 3/8" |
| Charola | |

REFERENCIA:

- NMX-C-077-1997 ONNCCE

Determinación de la masa volumétrica suelta y compactada.

1. Objetivo

Determinar la masa volumétrica del agregado.

2. Equipo, aparatos e instrumentos

Balanza (con aproximación de 1 gramo), varilla de compactación, recipiente cilíndrico y enrasador metálico.

3. Metodología

- Toma la muestra del material asignado para la prueba de acuerdo al procedimiento toma y reducción de muestras de agregados en mina.
- **Compactada:** Llena en caída libre no mayor a 5 cm. el recipiente cilíndrico en tres capas de igual volumen, cada se compacta con 25 penetraciones en la varilla, cuidando no golpear fuertemente el recipiente, elimina el agregado sobrante de la tercera capa con el enrasador para el agregado fino y con los dedos para el agregado grueso.
- **Suelta:** Mismo procedimiento anterior sin las 25 penetraciones de la varilla por capa.
- Coloca el recipiente lleno sobre la balanza para determinar el peso
- Realiza el cálculo de la masa volumétrica y lo registra en el formato correspondiente como lo indica la siguiente fórmula.

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

MV = Masa volumétrica del agregado (suelta o compactada), en Kg/m³

M CA = Masa de la cubeta con agregado en Kg.

T = Tara del recipiente cilíndrico en Kg.

F = Factor del recipiente cilíndrico en m³

REFERENCIA:

- NMX-C-073-2004 ONNCE

Determinación de la masa específica y absorción de los agregados gruesos

1. Objetivo

Determinar la masa específica y el porcentaje de absorción del agregado grueso.

2. Equipo, aparatos e instrumentos

Balanza (con aproximación de 0.1 gramos), canastilla de alambre, tanque de agua y dispositivo con las dimensiones adecuadas para que esté completamente sumergida la canastilla sin tocar las paredes laterales ni el fondo del tanque, cucharón, charola, franela, jerga, placa de vidrio, fuente de calor y la malla No. 4

3. Metodología.

- Toma la muestra del material asignado para la prueba de acuerdo al procedimiento toma y reducción de muestras de agregados en mina.
- **(Masa específica)** Lava la muestra, utilizando la malla No. 4 (eliminando los tamaños menores)

- Sumerge la muestra en el agua a temperatura ambiente por un periodo de 24 Hrs. ± 4 hrs.
- Al término de las 24 Hrs. ± 4Hrs se seca la muestra con la franela y/o jerga hasta que se encuentre en el punto seco, superficialmente y saturado (SSS = cuando el agregado pierde su brillo superficial).
- Se determina el peso de la muestra y se registra.
- Pesa la canastilla vacía dentro del tanque de agua y registra el peso
- Coloca el material dentro de la canastilla, la sumerge y registra el peso.
- Calcula masa específica conforme a la siguiente expresión.

M Esss = A/(A – (B-C))

M Esss: Masa específica del agregado grueso, en gr/cm³

A: Peso de la muestra seca superficialmente y saturada en gramos.

B: Peso de la canastilla con el agregado en el agua en gramos

C: Peso de la canastilla vacía en el agua en gramos.

- **(Absorción)** Retira el material de la canastilla y lo coloca en la charola donde ayudado con la fuente de calor elimina toda la humedad del mismo (cuidando no calcinar el material).
- Verifica que esté completamente seco por medio de la placa de vidrio.
- Se calcula la absorción conforme a la siguiente expresión:

$$\% \text{ Abs} = ((\text{SSS} - M \text{ ms}) / M \text{ ms}) * 100$$

% Abs = Porcentaje de absorción del agregado en %

SSS = Peso de la muestra superficialmente seca en gramos

M ms = Peso de la muestra seca en gramos.

REFERENCIA:

- NMX-C-164-2002 ONNCE

Determinación de la masa específica y absorción de los agregados finos

1. Objetivo

Determinar la masa específica y el porcentaje de absorción del agregado fino.

2. Equipo, aparatos e instrumentos

Balanza (con aproximación de 0.1 gramos), canastilla de alambre, molde mecánico de cono truncado, pisón cilíndrico metálico con superficie de apisonamiento plana y un diámetro de 25 ± 3 mm. peso de 340 ± 0.15 gramos, cucharón, charola, franela, jerga, placa de vidrio, fuente de calor, picnómetro y la malla No. 4

3. Metodología.

- Toma la muestra del material asignado para la prueba de acuerdo al procedimiento toma y reducción de muestras de agregados en mina.
- **(Masa específica)** Criba la muestra por la malla No. 4 y la sumerge en el agua a temperatura ambiente por un periodo de 24 Hrs. ± 4Hrs.

- Al término de las 24 Hrs. \pm 4H rs. Se seca la muestra ayudado con la fuente de calor hasta que se encuentre en el punto seco, superficialmente y saturado (SSS = Cuando la arena se disgrega al aplicarle la prueba del cono truncado).
- Una vez que se ha verificado que la arena esta en SSS, se procede a tomar una parte de la muestra determinándole el peso.
- Se introduce esta muestra en el picnómetro y se cierra, ingresando agua hasta llenarlo, cuidando eliminar en este proceso todas las burbujas de aire presentes. - Se determina el peso del picnómetro con el agregado y se registra.
- Calcula masa específica conforme a la siguiente expresión.

M Esss = A/(A – (B-C))

M Esss: Masa específica del agregado fino, en gr/cm³

A: Peso de la muestra seca superficialmente y saturada en gramos.

B: Peso del picnómetro con agua en gramos

C: Peso del picnómetro y material con agua en gramos.

- **(Absorción)** Retira el material del picnómetro y lo coloca en la charola donde ayudado con la fuente de calor elimina toda la humedad del mismo (cuidando no calcinar el material).
- Verifica que esté completamente seco por medio de la placa de vidrio. - Se calcula la absorción conforme a la siguiente expresión:

$$\% \text{ Abs} = ((\text{SSS} - M \text{ ms}) / M \text{ ms}) * 100$$

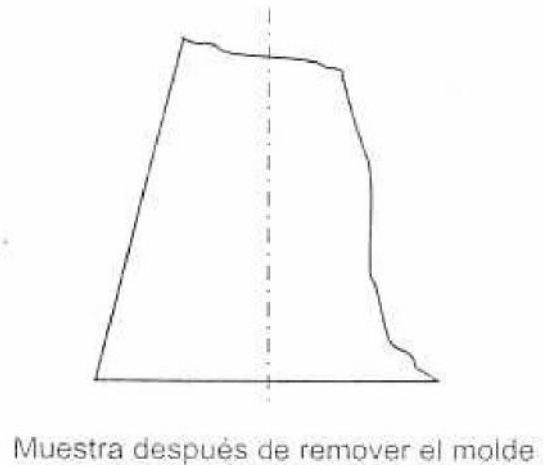
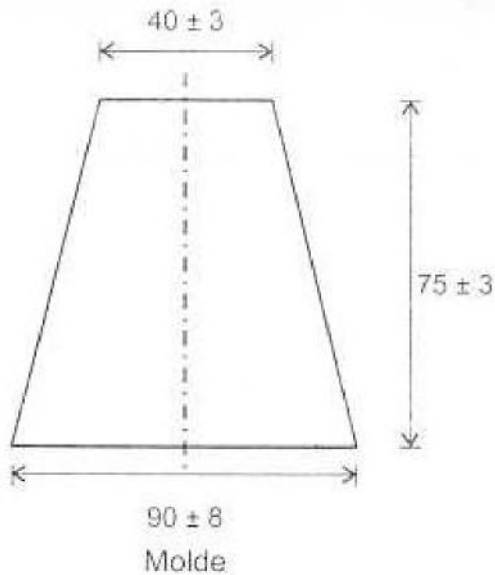
% Abs = Porcentaje de absorción del agregado en %

SSS = Peso de la muestra superficialmente seca en gramos

M ms = Peso de la muestra seca en gramos.

Prueba del cono truncado:

- Limpiar el área central de la charola colocando la arena en los extremos de la misma.
- Coloca el cono truncado en el centro de la charola de tal forma que su diámetro mayor quede apoyado en la superficie de la charola.
- Se debe de sujetar firmemente el cono y rellenarlo con arena hasta que rebose por el borde superior.
- Compactar el agregado dejando caer el pisón 25 veces en forma distribuida, y sin altura de caída, ni ejercer fuerza de compactación (repetir la operación hasta su llenado total).
- Se retira el molde de manera vertical cuidando no tocar el agregado.
- Si el cono formado por el material no se disgrega, se considera que tiene más humedad que la condición de SSS.
- Si el cono formado por el material se disgrega más de lo mostrado en el dibujo siguiente, se considera que le falta humedad para poder tener la condición de SSS.



Cotas en mm

REFERENCIA:

- NMX-C-165-2004 ONNCE

Determinación de la pérdida por lavado

1 . Objetivo

Determinar el peso en porcentaje de material que pasa la malla No. 200 (limos o arcillas) en los agregados.

2. Equipo, aparatos e instrumentos.

Balanza (con aproximación de 0.1 gramos), mallas No. 16 y 200, dispositivo de calor para secar la muestra, espátula.

4. Metodología

- Toma la muestra del material asignado para la prueba de acuerdo al procedimiento toma y reducción de muestras de agregados en mina.
- Arma el juego de cribas No. 16 y 200.
- Ir colocando poco a poco dentro de las mallas la muestra, cuidando no tener pérdida del material y poder agregar agua hasta cubrirla totalmente.
- Agitar las mallas para obtener una completa suspensión de todas las partículas más finas que la malla No. 200 (pudiéndose apoyar con la espátula).
- Repetir la operación, hasta que el agua decantada que pasa por las mallas se vea limpia.
- Secar la muestra lavada y determinar su masa con aproximación de 0.1 gramos.
- Calcular y registrar en el formato correspondiente el porcentaje de material más fino que la malla No. 200 por lavado, conforme a la siguiente fórmula:

$$\% P \times L = ((M_s - M_{sl})/M_s) \times 100$$

% P x L: Material más fino que la malla No. 200 determinado por lavado, en %
Ms: M asa original de la muestra seca, en gramos
M sl: M asa de la muestra seca después del lavado, en gramos.

REFERENCIA:

- NMX-C-084-1990 ONNCCE

Determinación de impurezas orgánicas en el agregado fino

1. Objetivo

Determinar el contenido de materia orgánica presente en el agregado.

2. Equipo, aparatos e instrumentos

Frasco de vidrio transparente, con tapa y graduado con una capacidad mínima de 300 mL, solución de NaOH al 3 %, fuente de calor, carta de color, charolas y espátulas.

3. Metodología

- Toma la muestra del material asignado para la prueba de acuerdo al procedimiento toma y reducción de muestras de agregados en mina.
- Con la ayuda de la fuente de calor se seca la muestra del agregado hasta que se pierda toda la humedad.
- Dejar enfriar el material para proceder a ingresarlo en el frasco hasta la marca de 130 mL.
- Se ingresa la solución hasta la marca de 200 mL y se agita el frasco buscando eliminar cualquier burbuja de aire en el agregado.
- Se vuelve a llenar el frasco con la solución hasta la marca de los 200 mL se cierra y se deja reposar un periodo de 24 Hrs.
- Al término de las 24 horas se compara a contraluz la coloración adquirida en la solución vs la carta de colores, registrando el número más cercano designado por la carta de colores.

Referencia:

- NMX-C-088-1997 ONNCCE

CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS EN UNA CANTERA DE AGREGADOS ANDESÍTICOS Y PROPUESTAS AL PROCESO

En el capítulo anterior se mencionó una guía de procedimientos sencillos de las pruebas básicas aplicadas a los agregados, las cuales representan un estudio de caracterización parcial. Este estudio parcial de calidad de agregados arroja un buen criterio para decidir si el agregado puede ser usado en la elaboración de concreto o rechazarlo. Además de que dicho estudio ayuda a detectar las etapas de proceso donde el material tenga problemas de calidad, es decir, a través de los resultados de estas pruebas podemos hacer mejoras al proceso, no tan solo para mejorar la calidad del producto, sino también para eficientar la producción. De aquí la importancia de realizar estudios de calidad de agregados en la misma cantera donde se lleva a cabo el proceso de obtención de agregados, además, como hemos visto el equipo requerido para realizar las pruebas es práctico y económico. Los demás estudios que requieren ya de un equipo más sofisticado, pueden hacerse en un laboratorio especializado en periodos, ya sea mensual, semanal o semestral, según la importancia de la prueba y las especificaciones que se deseen del concreto.

Entonces el propósito de hacer estudios de calidad parciales en la cantera es evitar que salga material de mala calidad, o material que no cumpla con las especificaciones requeridas para que el material sea usado en la elaboración de concreto. Esto representa muchas ventajas, ya que el material que sale de la cantera de agregados ha sido aprobado para su uso en concreto, y se garantiza que el material está llevando un control de calidad desde su explotación.

En este capítulo se muestran los resultados obtenidos de los ensayos realizados a los agregados de litología andesítica, todos los ensayos se apegaron a las normas NMX correspondientes, y fueron realizado conforme a la guía sencilla de procedimientos para agregados descrita anteriormente. Todos los ensayos se hicieron en la misma cantera de agregados, sin necesidad de envío de muestras al laboratorio.

Resultados de estudios en mina para grava andesita de 20 mm

Los estudios de calidad para grava se hicieron quincenalmente en un periodo de tres meses, en una cantera de agregados andesíticos. No se realizaban más frecuentemente estos estudios ya que el banco de explotación es principalmente arenoso, y como vamos a ver la calidad de la grava andesita no era muy buena. En vez de etiquetar a las muestras por fecha, les asignaremos un número de folio para referirnos a ellas. Las muestras de grava fueron tomadas directamente del producto final, es decir, de la banda radial.

Tabla 4.1 Resultados de estudios en mina para gravas de 20 mm.

| Folio de la muestra | masa específica (gr/cm ³) | absorción (%) | Perdida por lavado (gr) | Peso volumétrico suelto (Kg/m ³) | Peso volumétrico Compactado (Kg/m ³) |
|---------------------|---------------------------------------|---------------|-------------------------|--|--|
| GRA-001 | 2.34 | 5.37 | 3.11 | 1340 | 1414 |
| GRA-002 | 2.36 | 6.85 | 3.38 | 1337 | 1441 |
| GRA-003 | 2.36 | 7.01 | 4.36 | 1381 | 1488 |
| GRA-004 | 2.34 | 8.72 | 3.44 | 1347 | 1441 |
| GRA-005 | 2.34 | 7.87 | 2.02 | 1401 | 1515 |
| GRA-006 | 2.38 | 6.73 | 2.58 | 1407 | 1521 |
| Promedio trimestral | 2.35 | 7.09 | 3.15 | 1368.83 | 1470 |

Fig. 4.1 Gráfica de granulometrías de grava de 20 mm

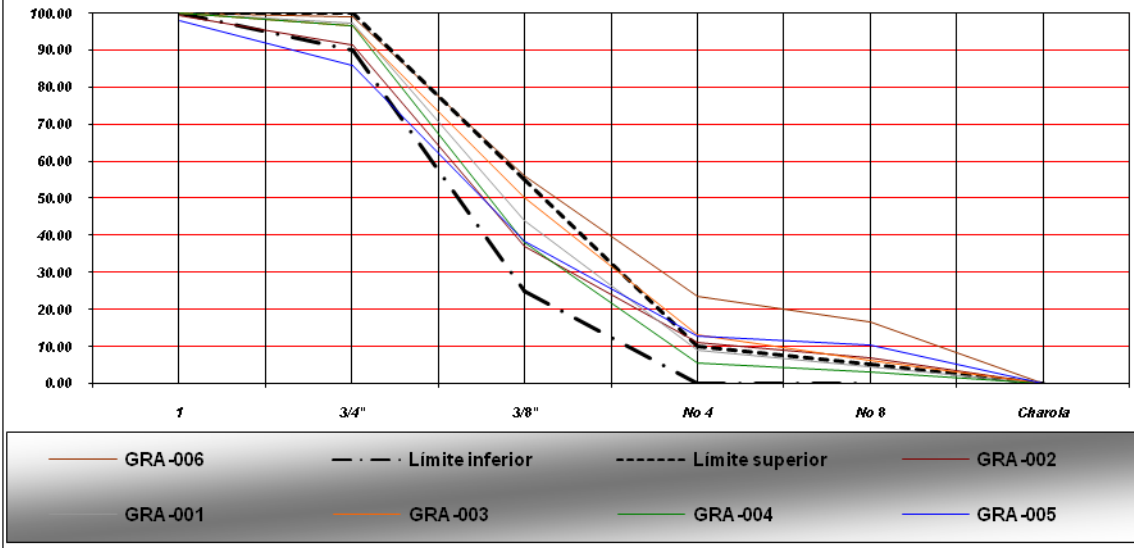


Fig. 4.2 Gráfica promedio de granulometría de gravas de 20 mm

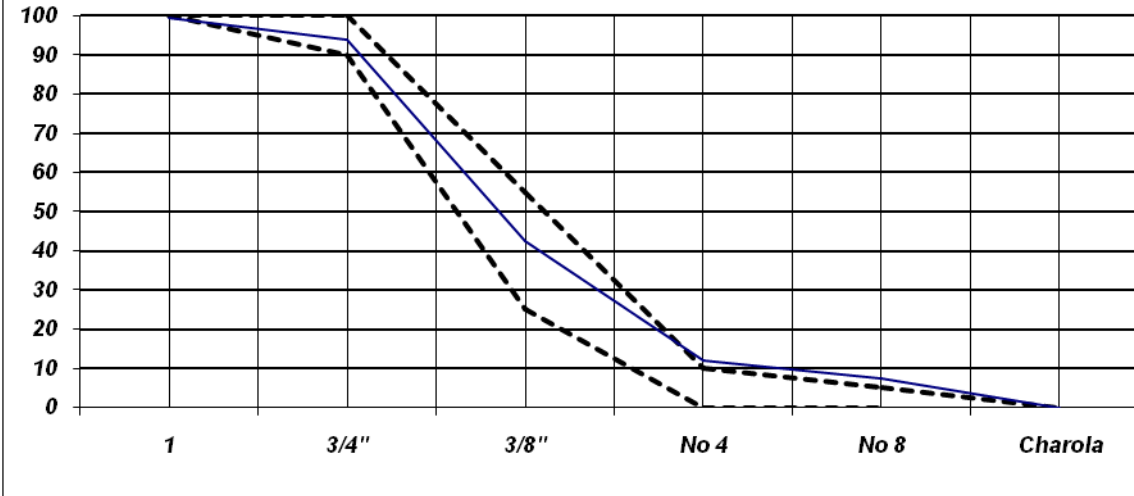
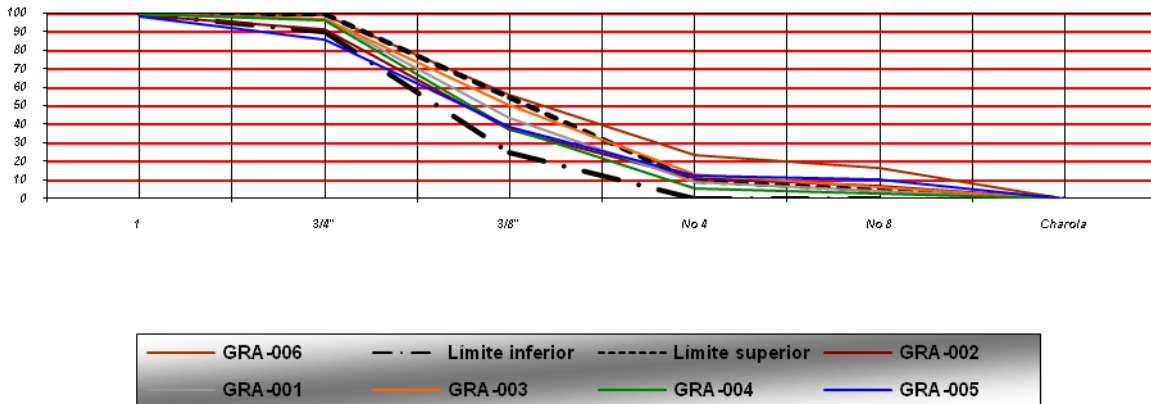


Fig. 4.1 Gráfica de granulometrias de grava de 20 mm



4.2 Resultados de estudios en mina para arena andesita de 5 mm

Los estudios de calidad de arenas se hicieron también en un periodo de 3 meses, con una frecuencia de 1 prueba semanal. Al igual que las gravas, se les dio un número de folio a cada muestra para reconocerlas. Cabe decir que los estudios se hicieron para muestras obtenidas directamente del producto final; las pruebas que se hicieron para greña y producto intermedios no se presentan, pero se consideran algunos de estos resultados para estudios del proceso. A continuación los resultados:

Tabla 4.1 Resultados de estudios en mina para arenas de 5 mm.

| Folio de la muestra | masa específica (gr/cm ³) | absorción (%) | Perdida por lavado (gr) | Peso volumétrico suelto (Kg/m ³) | Peso volumétrico Compactado (Kg/m ³) | Módulo de finura |
|---------------------|---------------------------------------|---------------|-------------------------|--|--|------------------|
| FIN-001 | 2.37 | 6.84 | 6.24 | 1448 | 1548 | 3.82 |
| FIN-002 | 2.36 | 7.76 | 7.94 | 1454 | 1541 | 3.56 |
| FIN-003 | 2.36 | 7.99 | 12.48 | 1407 | 1514 | 3.69 |
| FIN-004 | 2.37 | 7.76 | 7.46 | 1501 | 1595 | 3.65 |
| FIN-005 | 2.37 | 7.07 | 11 | 1454 | 1548 | 3.62 |
| FIN-006 | 2.38 | 6.38 | 6.75 | 1438 | 1555 | 3.69 |
| FIN-007 | 2.38 | 6.61 | 6.43 | 1501 | 1615 | 3.27 |
| FIN-008 | 2.38 | 6.61 | 4.68 | 1390 | 1494 | 3.68 |
| FIN-009 | 2.38 | 6.38 | 9.4 | 1387 | 1489 | 3.61 |
| FIN-010 | 2.38 | 6.16 | 8.75 | 1354 | 1568 | 3.72 |
| FIN-011 | 2.39 | 6.16 | 3.11 | 1448 | 1555 | 3.97 |
| FIN-012 | 2.39 | 5.67 | 5.67 | 1434 | 1548 | 3.88 |
| FIN-013 | 2.38 | 6.16 | 9.35 | 1454 | 1548 | 3.67 |
| FIN-014 | 2.39 | 6.38 | 6.28 | 1367 | 1494 | 3.83 |
| FIN-015 | 2.4 | 5.93 | 3.85 | 1448 | 1561 | 3.73 |
| Promedio trimestral | 2.379 | 6.657 | 7.293 | 1432.333 | 1544.867 | 3.693 |

Fig. 4.3 Gráfica de granulometrías de arena de 5mm.

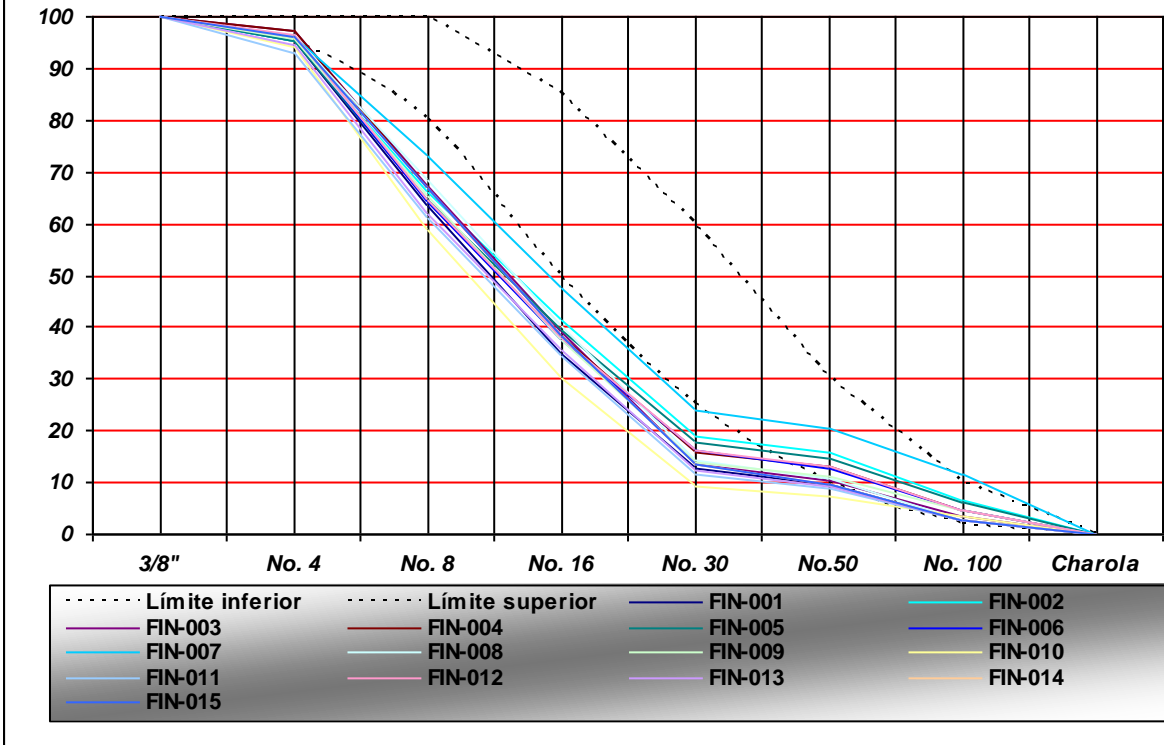
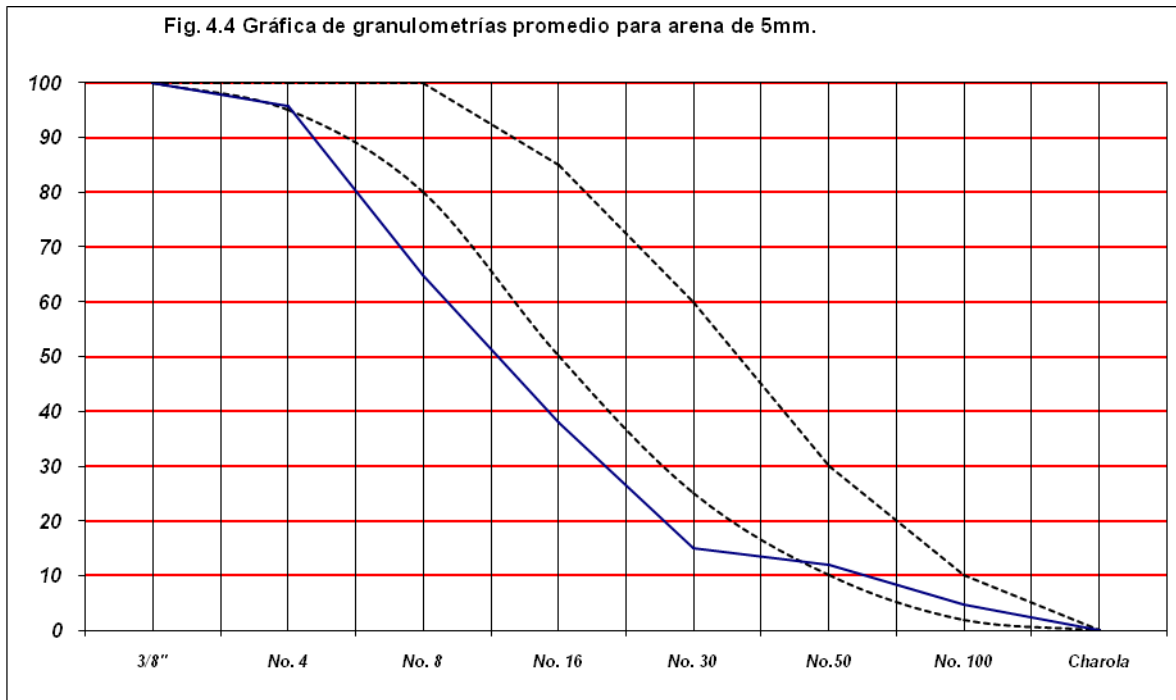


Fig. 4.4 Gráfica de granulometrías promedio para arena de 5mm.



4.3 Análisis de resultados

El siguiente análisis de resultados se hace en base a las especificaciones para agregados dadas por el departamento de control de calidad para concretos. El principal cliente de la cantera de agregados andesíticos es precisamente una empresa dedicada a la venta de concreto premezclado, por lo que desde la misma cantera se debía supervisar la calidad de los agregados a través de un estudio de caracterización parcial.

Las especificaciones de arenas y gravas andesitas para la elaboración de concreto se muestran a continuación:

| Frecuencia | Pruebas | Especificaciones para arena andesita | Especificaciones para grava andesita |
|------------|-------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Semanal | *Granulometría | Conforme a la gráfica | Conforme a la gráfica |
| Semanal | *M. de finura | (>2.3) (<3.1) | N/A |
| Semanal | *MVS(Kg/m ³) | ≥1300 | ≥1300 |
| Semanal | *MVC(Kg/m ³) | ≥1400 | ≥1400 |
| Semanal | *M. Esp. (g/cm ³) | ≥2.38 | ≥2.38 |
| Semanal | *% de Abs. | ≤7 | ≤6 |
| Semanal | *P x L (%) | ≤15 | ≤3 |
| Semanal | *C.M. Orgánica | ≤2 | N/A |
| Mensual | Contracción L. (%) | ≤2 | N/A |
| Mensual | Índice plástico (%) | ≤15 | N/A |
| Semestral | Coef. De Forma (%) | N/A | ≥15% |
| Semestral | Petrografía | No reactivo | No reactivo |
| Semestral | Desgaste (%) | N/A | ≤50 |

* Estas pruebas se efectuaron en el laboratorio de mina

Los valores de estas especificaciones están definidas para cumplir con los valores de ciertos diseños de mezcla y ensayos para concreto fresco y endurecido a diferentes periodos de tiempo. Hay reglamentos que establecen los valores de ciertos ensayos que se le practican al concreto fresco y al concreto endurecido (peso volumétrico fresco, revenimiento, compresión simple, resistencia a la tensión, módulo de elasticidad, resistencia a la flexión, contenido de aire, entre otras), esto con el fin de clasificarlos en concretos normales o fuera de especificación.

Esto es importante, ya que si los resultados que dieron las pruebas al concreto fresco y endurecido se salen del rango de especificación dada por el reglamento, entonces las mezclas de concreto no pueden ser usadas en las construcciones que especifique también el reglamento.

Entonces se hace necesario un control de calidad estricto, que satisfaga las necesidades del cliente, además de cumplir con los reglamentos en vigencia.

El siguiente análisis es solamente para las pruebas realizadas en mina, se enviaban muestras a un laboratorio donde contaban con todo el equipo necesario para realizar las demás pruebas necesarias para el estudio de caracterización total del agregado, sin embargo, no presento los resultados de tales estudios (petrografía, coeficiente de forma, sanidad, plasticidad, abrasión, impacto e intemperismo acelerado), ya que estos estudios son confidenciales del laboratorio que realizó dichas pruebas.

4.3.1 Análisis granulométrico y módulo de finura

Grava de 20 mm:

Según la Fig. 4.2 la granulometría de la grava de 20 mm. tiene un poco de exceso en el porcentaje que pasa por la malla No. 4 y la malla No.8, que son las que se salen del límite de la curva de finos. En realidad, esto no afecta demasiado a las características del concreto ya que el exceso de finos en el agregado grueso no es muy considerable. Un exceso de finos en el agregado grueso puede provocar principalmente un exceso de agua (esto también depende de otras características del agregado como la humedad superficial y el porcentaje de absorción) y de cemento en la mezcla de concreto. Por otro lado, los retenidos en malla de 1", $\frac{3}{4}$ " y $\frac{3}{8}$ " están dentro de los límites especificados, la curva granulométrica de la grava puede ser válida siempre y cuando se emplee para concretos normales. Control de calidad en concretos, no reportó ninguna anomalía en cuanto a la granulometría de la grava, por lo que se liberaba el agregado para su uso en concreto en lo que respecta a la prueba de granulometría.

El módulo de finura no aplica para la grava, debido a que no requiere este dato Control de Calidad Concretos.

Arena de 5 mm:

Según la Fig. 4.4 la granulometría de la arena de 5 mm. tiene un exceso de gruesos en el porcentaje que pasa por la malla No. 8, la malla No.16 y la malla No. 30, que son las que se salen del límite de la curva de gruesos. Estudios de granulometría de greña para agregado fino arrojó un resultado similar al que obtuvimos de agregado fino para arena de producción, entonces había que revisar las etapas del proceso para detectar el problema. Lo primero que se pensó fue en revisar el producto a la salida de los molinos, y checar también que las cribas no estuvieran rotas, en mal estado o en mal funcionamiento. Después de revisar estos equipos se detectó que el problema radicaba en el molino terciario, que no estaba cumpliendo con las condiciones de trituración que requería la arena para que cumpliera con la granulometría adecuada. Este problema se detectó al hacer un estudio de granulometría de agregado fino a la salida del molino terciario, los resultados fueron que no se producían la cantidad de finos necesarios para alcanzar una buena granulometría. El problema se canalizó con el jefe de mina y el encargado de mantenimiento de equipo fijo.

Un exceso de gruesos en el agregado fino puede provocar mala trabajabilidad en el concreto fresco, además que la cantidad de vacíos aumenta en la mezcla, provocando la demanda de más cemento. Por otro lado, los retenidos en malla de No. 50 y 100 están dentro de los límites especificados, la curva granulométrica de la arena puede ser válida siempre y cuando no afecte a las propiedades de compresión en el ensayo a 28 días del concreto endurecido. Control de calidad en concretos, reportó anomalías en cuanto a la granulometría de la arena, pero no se rechazó el material debido a que influía poco en las propiedades del concreto endurecido, por lo que se liberaba el agregado para su uso en concreto en lo que respecta a la prueba de granulometría.

El módulo de finura es un indicativo numérico que indica que la arena está muy gruesa, ya que el valor promedio trimestral de la arena producida es de 3.693 y el rango límite especificado debe estar entre 2.3 y 3.1. Con solo ver la arena era notable que la arena no cumplía con los límites de granulometría y módulo de finura, por la presencia de mucho retenido en la malla No. 8, 16 y 30. El dato de módulo de finura es importante, ya

que este se usa para calcular los proporcionamientos de agregado fino y agregado grueso en las mezclas de concreto.

4.3.2 Análisis de peso volumétrico suelto y compactado

Grava de 20 mm:

El límite especificado para peso volumétrico suelto de grava andesita de 20 mm. es de 1300 Kg/m³, el valor promedio trimestral es de 1368.83 Kg/m³, por lo que el agregado cumple con la especificación requerida por Control de Calidad Concretos. Recordemos que el peso volumétrico es un indicador de la masa del agregado necesaria para rellenar un recipiente con volumen conocido. En mina es común vender al agregado en m³ y no en toneladas, este valor de peso volumétrico suelto es ocupado en ocasiones para hacer la conversión de toneladas a m³, dependiendo mucho de las condiciones de humedad en la mina.

El límite especificado para peso volumétrico compactado de grava andesita de 20 mm. es de 1400 Kg/m³, el valor promedio trimestral es de 1470 Kg/m³, por lo que el agregado cumple con la especificación requerida por Control de Calidad Concretos. Este dato es importante para darnos una idea de la cantidad de vacíos que difieren del peso volumétrico suelto en consecuencia de la compactación. A mayor cantidad de vacíos mayor gasto de pasta, y por supuesto de cemento.

Arena de 5 mm:

El límite especificado para peso volumétrico suelto de arena andesita de 5 mm. es de 1300 Kg/m³, el valor promedio trimestral es de 1432.33 Kg/m³, por lo que el agregado cumple con la especificación requerida por Control de Calidad Concretos.

El límite especificado para peso volumétrico compactado de arena andesita de 5 mm. es de 1400 Kg/m³, el valor promedio trimestral es de 1544.867 Kg/m³, por lo que el agregado cumple con la especificación requerida por Control de Calidad Concretos. El mismo análisis de la grava es aplicable a la arena en este caso, para este tipo y litología de material.

4.3.3 Análisis de pérdida por lavado y contenido de materia orgánica

Gravas de 20 mm:

Como ya se explico anteriormente el objetivo de esta prueba es determinar la cantidad de material que pasa por el tamiz No. 200 por medio del lavado de la muestra. Esta prueba indica si el agregado puede o no llevar cantidades importantes de arcillas, limos u otros materiales perjudiciales que puedan afectar la durabilidad del correspondiente concreto o bien tenga esto efecto en la demanda de agua o en el aumento de la contracción en el concreto. Según las pruebas realizadas en el laboratorio de mina, la pérdida por lavado para gravas andesitas de 20 mm. en un promedio de tres meses fue de 3.15 %; mientras que la especificada por control de calidad concretos es de un máximo de 3 %. La grava no cumplía con las especificaciones dadas por el cliente, este dato al igual que la masa específica y el porcentaje de absorción fueron las causas por la que la mina dejo de producir grava de 20 mm (a menos que el cliente estuviera de acuerdo con los resultados de control de calidad en la mina), por la baja calidad del agregado. El banco de materiales es principalmente arenoso por lo que no se tenía mucho interés por la producción de grava.

La prueba de contenido de materia orgánica no aplica para agregados gruesos.

Arena de 5 mm:

Caso contrario al de la grava, la arena andesita si cumplía con la especificación dada por el cliente en cuanto al ensaye de la pérdida por lavado. Según los estudios de pérdida por lavado realizados en la mina de agregados, el porcentaje promedio de pérdida para arena andesita de 5 mm. fue de 7.293 %, mientras que el límite fijado por control de calidad concretos es del 15 %; por lo que el material no tiene ningún problema en liberarse con respecto a esta prueba..

La carta colorimétrica cuenta con 4 tonos de color que indican el nivel de impurezas orgánicas que puede contener el agregado fino. Según los resultados, la carta colorimétrica indica el nivel 1 para la arena, por lo que el agregado cumple con las especificaciones de Control de Calidad Concretos que da un nivel máximo de 2. Los efectos de las impurezas orgánicas del agregado en el concreto se mencionan en el capítulo 2 en el punto 2.4.1.

4.3.4 Análisis de masa específica y porcentaje de absorción

Grava de 20 mm:

Físicamente la grava se veía porosa y de bajo peso, esto se veía reflejado notoriamente en los resultados de masa específica y porcentaje de absorción del material. Las muestras de grava tomadas arrojaron un resultado promedio de 2.35 gr / cm³ de masa específica, mientras que la especificación requerida por Control de Calidad Concretos es mínimo de 2.38 gr/cm³ por lo que la grava no cumplía con la calidad para su uso en concreto. Cabe aquí recordar que al hablar de masa específica nos referimos a la relación entre la masa del agregado y la masa de agua en un volumen de recipiente (picnómetro) conocido. Difícilmente se podía mejorar esta propiedad del material, ya que la greña del banco de materiales (materia prima) era de baja masa específica, por lo que sólo para acepciones de uso en concretos era requerido el material.

Por otro lado, el porcentaje de absorción, en consecuencia de la porosidad y la baja masa específica, estaba por encima del valor límite especificado para que el agregado pudiera ser usado en la elaboración de concreto. El valor promedio de los resultados experimentales fue de 7.09 %, mientras que las especificaciones requeridas por control de calidad concretos es del 7 %. Este dato de absorción del agregado grueso es usado en el diseño de mezclas para controlar y calcular el agua requerida para la mezcla. Cabe decir que el porcentaje de absorción se calcula en estado SSS (superficialmente seco y saturado) del agregado, es decir el agua absorbida por la grava representa el agua retenida por el agregado debido a la estructura interna del agregado y los vacíos que pueden contener agua. Así, para la mezcla de concreto se tendrá en consideración este dato.

Arena de 20 mm.

Para el diseño y proporcionamientos de mezclas el dato de masa específica del agregado es muy importante, ya que esta repercute en la economía de la mezcla. El proceso de obtención de agregados es mucho más fácil y económico que el proceso de obtención del cemento, esto quiere decir en pocas palabras, que entre más cantidad de agregados tenga la mezcla más económica resultará. Mientras que el uso de mucho cemento en la mezcla resulta antieconómica. El dato de masa específica, en particular, es una medida muy importante para saber la calidad del agregado ya que esta repercute

directamente en las características del concreto. Veamos que puede suceder en las características del concreto si la arena ó la grava son de baja masa específica:

- La resistencia a la tensión resulta baja
- Los módulos de elasticidad son bajos
- Los valores de módulo de ruptura son bajos
- En el concreto fresco la prueba de revenimiento es menor que con agregados de masa específica adecuada.
- El contenido de aire en el concreto puede aumentar
- Las resistencias a compresión son bajas

Control de Calidad Concretos tiene datos de las características que el agregado debe cumplir para que las pruebas al concreto fresco y endurecido cumplan con las necesidades del proyecto o cliente. Cuando el agregado no cumple para ser usado en concreto se arriesga a tener efectos nocivos en el concreto utilizado, lo cual acarrea graves y severos, peligros y daños.

Para compensar la baja masa específica del agregado se emplea más cantidad de pasta (y por ende de cemento) con el fin de que los ensayos a los especímenes de concreto cumplan con las especificaciones del proyecto, lo cual resulta antieconómico y no recomendable.

Las muestras de arena tomadas arrojaron un resultado promedio de $2.379 \text{ gr} / \text{cm}^3$ de masa específica, mientras que la especificación requerida por Control de Calidad Concretos es mínimo de 2.38 gr/cm^3 por lo que la arena no cumplía con la calidad para su uso en concreto. La diferencia entre el resultado de las pruebas experimentales y el especificado por control de calidad concretos parece, en número, mínima; pero en la práctica por esta se diferencia se llegan a emplear cantidades bastante considerables de cemento en las mezclas de concreto.

En cuanto al porcentaje de absorción la arena andesita no entra dentro del límite especificado, ya que el resultado promedio experimental en porcentaje es de 7.293 y el límite es de 7 %. Esto indica que el agregado es poroso y afecta en cuanto al peso volumétrico de concreto fresco y otras propiedades del concreto.

4.4 Propuestas de mejora al proceso

La propuesta siguiente es solamente para mejorar la calidad de la arena andesita de 5 mm, debido a las siguientes circunstancias:

- El banco de materiales es principalmente arenoso
- La demanda de las plantas concreteras es principalmente de arena andesítica de 5 mm, debido a que la arena cumple mejor con las especificaciones para concreto, mientras que la grava es de baja calidad, y por consiguiente de muy poco demandada y no recomendable para su uso en concreto
- La arena andesítica además de ser empleada en la elaboración de concreto, es buena para usarse en morteros. (Se prefería hacer mezclas de concreto con una grava de buena calidad y con arena andesítica de 5mm)
- El costo de la arena andesítica de 5 mm es una de las más baratas para la elaboración de concreto.

- El propósito de la planta es producir solamente arena andesítica de 5 mm, y producir grava de 20 mm sólo si el cliente lo pedía.

Bajo estas circunstancias está enfocada la propuesta. Como ya se ha mencionado anteriormente una propiedad muy importante en el diseño de mezclas de concreto es la masa específica, esta característica del agregado es de relevante importancia porque tiene mucho que ver con las características del correspondiente concreto.

A través de los análisis a las pruebas efectuadas en la mina, nos dábamos cuenta de las características del agregado que había que mejorarse, en el caso de la arena las pruebas que no pasaba eran la de granulometría, módulo de finura y masa específica. La masa específica era de primordial importancia para control de calidad concretos, ya que si no se mejoraba no quedaba otra que vetar el material de la mina para su uso en concretos. Así de urgente y crítica era la situación de la mina, había que hacer algo inmediatamente para resolver este problema.

Como podemos observar en los resultados, la masa específica llegaba a estar hasta en 2.36 gr/cm^3 esto debido al comportamiento del banco de materiales. Diario se muestreaba la greña para determinar su masa específica. El problema era que el material de greña tenía baja masa específica en los primeros metros de explotación del banco. La masa específica del material aumentaba en función de la profundidad del área de explotación.

Veamos el siguiente ejemplo:

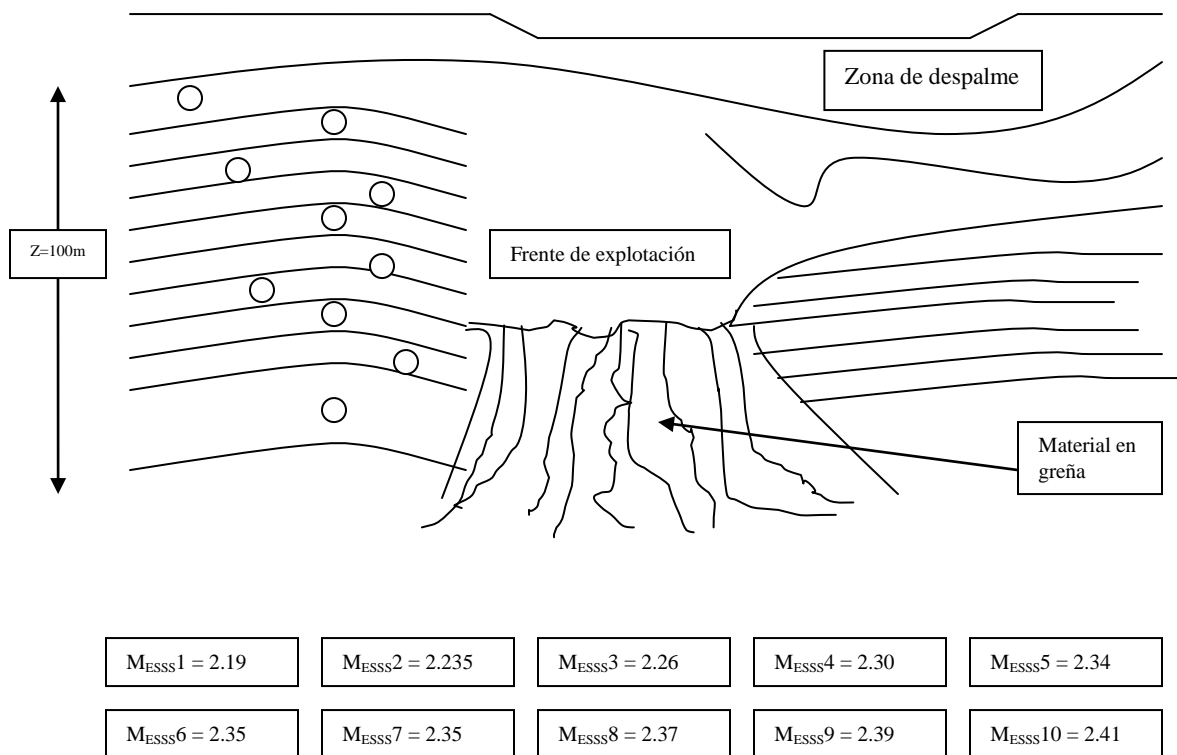


Fig. 4.5 Representación del banco de explotación, obsérvese el cambio de M_{ESSS} con respecto al avance en profundidad.

El problema es que había que despallar aproximadamente 50 metros para encontrar material más o menos aceptable. Otra, era cambiar el frente de explotación confiando en que el material podría ser de mejor calidad, sin embargo el comportamiento del frente de explotación es muy variable lo que resulta en una operación poco confiable. Otra solución era apartar el material ligero que se aventara de los primeros 50 metros, y al llegar al material empezar a revolverlo en las proporciones adecuadas para llegar a tener una mejor calidad del agregado. Esto resulto conveniente para tener controlada la masa específica en un rango de 2.34 a 2.38 gr/cm³ del material que se alimentaba al proceso. Teniendo la masa específica controlada en un rango conocido, el siguiente paso ahora era mejorar la calidad del agregado a través del proceso.

El proceso tiene dos etapas básicas, una es el cribado y otra es la trituración. El problema en específico era el siguiente: ¿Cómo obtener arena andesítica de 5 mm con un mínimo de masa específica relativa de 2.38 gr/cm³ en base a las operaciones del proceso, si la arena de greña mantiene un rango de 2.34 a 2.38 en masa específica?

Para resolver este problema se hizo el siguiente análisis:

Lo primero es conocer en promedio cuanta grava y cuanta arena contiene la greña, lo cual se hizo con estudios de granulometría. Con estas proporciones se determinaban las cantidades en las etapas intermedias del proceso de gruesos y finos.

En segundo lugar se le realizaron pruebas de calidad al material en las siguientes etapas:

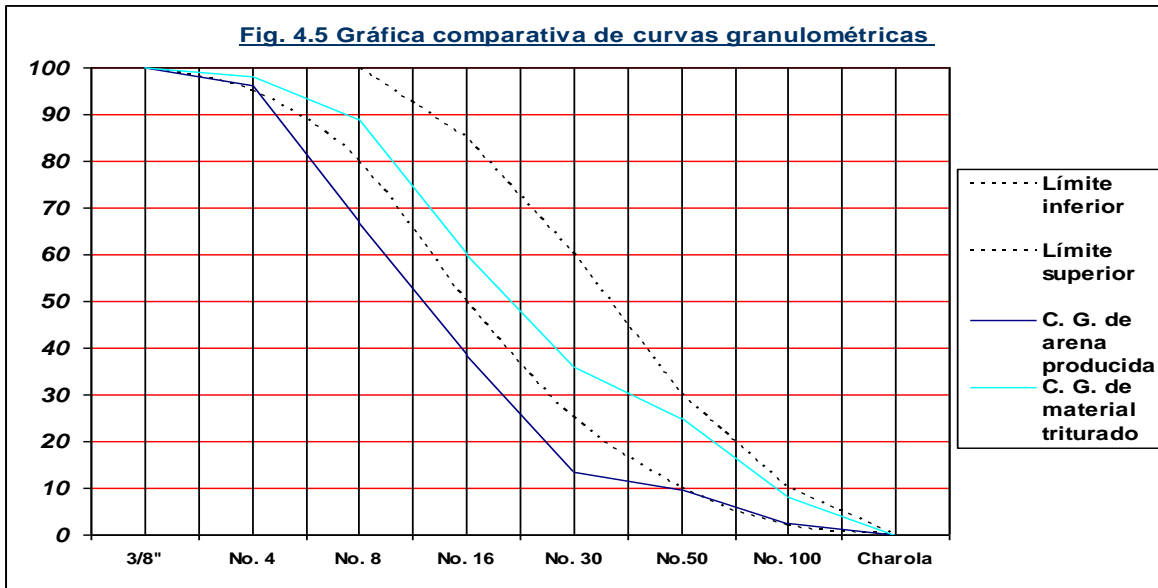
- I. Arena de banda radial ó arena de producto terminado
- II. Grava de banda radial ó grava ya procesada
- III. Alimentación de greña
- IV. Material saliente del molino de grava

Un estudio preliminar de masa específica en estas etapas, se obtuvieron los siguientes resultados:

$$\begin{aligned}M_{ESSSI} &= 2.36 \text{ gr/cm}^3 \\M_{ESSSII} &= 2.34 \text{ gr/cm}^3 \\M_{ESSSIII} &= 2.36 \text{ gr/cm}^3 \\M_{ESSSIV} &= 2.39 \text{ gr/cm}^3\end{aligned}$$

Como era posible que la M_{ESSS} de la grava es de 2.34 gr/cm³ y al molerse salga con una M_{ESSS} de 2.39 gr/cm³, tal prueba se verifico por triplicado con arena saturada con agua, y se confirmo que los resultados anteriores son correctos. Se comparo a simple vista el material triturado que salía del molino de grava con el producto final de arena, y la diferencia que se notaba entre estas dos muestras era la cantidad de finos. Cabe decir aquí, que teníamos la idea de que la densidad de la grava podía ser mayor que la de la arena, esto porque había rocas duras, pero también piedras de grava disgregables, entonces se suponía que al aumentar la alimentación de grava triturada podía llegar a haber una compensación, en masa específica, con la arena; es decir, si la densidad de arena de greña es de 2.36 gr/cm³, con el material triturado pudiera llegar la arena producida a 2.38 gr/cm³, sin embargo, este comportamiento no se daba y se comprobó verificando las M_{ESSS} de arena y grava producidas.

Volviendo a la comparación entre el material triturado y la arena de banda radial, la diferencia entre estas estaba en la cantidad de finos presentes. Veamos la siguiente gráfica comparativa:



Del análisis de estas gráficas se dedujo una muy buena relación, la masa específica es una función de la granulometría del agregado, esto era lo que daban a entender los resultados. Lo que no quedaba claro, era porque la M_{ESSS} cambiaba con la granulometría, si se tenía la idea que la M_{ESSS} era una propiedad intrínseca del material. Tal idea se desechó al concluir lo siguiente:

La densidad de la masa puede variar, dependiendo del grado de empaquetamiento de los granos. La densidad de una partícula individual es una función exclusiva de la temperatura la presión, pero no ocurre lo mismo con la densidad global o aparente (que es la que se calcula con la prueba de M_{ESSS}). La densidad global es mínima cuando la masa está suelta y alcanza un máximo cuando la masa se somete a vibración o apisonamiento. Entonces cuando la muestra tiene un mejor empaquetamiento su densidad aparente tiende a aumentar, lo cual sucede con una mayor cantidad de finos en la muestra.

Esta es la explicación al porque de los resultados de la M_{ESSS} en las diferentes etapas de producción. Considerando lo anterior, es posible aumentar la M_{ESSS} de la arena producida, cambiando las condiciones de los equipos de proceso.

Según los resultados de granulometría, la arena de banda radial estaba saliendo gruesa, es decir, había mucho retenido en las mallas 8, 16 y 30, y eran poco los finos de malla 50 y malla 100, aunque entraban dentro de los límites establecidos.

La propuesta se sugirió al jefe de mina y al jefe de mantenimiento de equipo móvil y fijo de operación de la planta, esta consistía en traer un molino secundario que tuviera la capacidad de reducir aún más el tamaño de la arena de 5 mm producida con el propósito de que esta entrara en la curva granulométrica en los límites establecidos y automáticamente al densidad del agregado iba también a aumentar, por el principio antes expuesto. Además de que las mallas de las cribas tengan un buen mantenimiento, debido a que las mallas pueden romperse o taparse, frecuentemente. Es importante que a través de los resultados de granulometría se tenga el criterio de cuando hacer el cambio de mallas.

Mediante estas pruebas de laboratorio en mina se pudo mejorar la calidad del producto, y aún más tener un control de calidad en la producción. Después de ser aceptada la propuesta por el jefe de mina y el jefe de mantenimiento, ellos fueron los encargados de traer un molino que funcionará lo más aproximado a las especificaciones granulométricas recibidas por el laboratorista de mina. No es objetivo del presente trabajo entrar en detalles técnicos, mecánicos ó eléctricos de los molinos, ni en principios de funcionamiento de estos, ni tampoco en la energía requerida por parte de estas máquinas.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

El objetivo principal de este trabajo fue el de hacer un estudio de caracterización parcial de agregados andesíticos, para verificar su calidad y entonces decidir si el agregado, de acuerdo a las pruebas físicas, era apto para su uso en concreto o no.

Los agregados tienen mucha importancia en la elaboración de concreto, debido a que estos representan más de las 2/3 partes en la elaboración de tan indispensable material para las personas de este país y del mundo. El tener un eficiente control de calidad de los agregados a través del conocimiento de sus propiedades físicas y químicas, contribuirá sustancialmente a que el concreto elaborado sea un material confiable, lo más económico posible, además de cumplir con las expectativas que requiere el cliente para su uso en cualquier construcción.

De acuerdo a los estudios experimentales de este trabajo, el agregado fino estaba en el límite de calidad de las especificaciones que requería Control de Calidad Concretos. Según los resultados la granulometría y masa específica del material no entraban dentro de las especificaciones de calidad por lo que había que hacer modificaciones al proceso para evitar este problema de calidad del producto. Lo que se hizo para resolver este problema se describe en el capítulo 4 inciso 4.5.

Para entender esta propuesta, que es la base de este trabajo, se hacía necesario conocer un panorama general del proceso de obtención de agregados triturados, así como de los procedimientos experimentales de las pruebas; además de las repercusiones que tiene los problemas de calidad de los agregados en el correspondiente concreto. Todo esto se cubrió en este trabajo, y por datos confidenciales de la empresa no se entro en detalles económicos ni en la información técnica de la maquinaria, ni en el almacenaje y distribución del producto. Se hace importante y necesario llevar un control, análisis y supervisión de calidad del agregado en sus diversas etapas desde la misma cantera de obtención de agregados, ya que esto evitará problemas al cliente que requiere el concreto a la calidad debida. Por la experiencia obtenida en este tipo de trabajo es importante tener en cuenta las siguientes recomendaciones para tener un buen control de calidad dentro de la mina de agregados:

- ✓ Hacer una verificación y validación diaria del frente de explotación, esto con el fin de no explotar al banco en donde esté presente contaminaciones importantes de material indeseable, o donde el material no pase las pruebas físicas de calidad.
- ✓ Llevar un control de calidad en las diversas etapas de proceso, con el fin de mantener un buen funcionamiento de la maquinaria, esto con el fin de que el producto terminado no presente problemas de calidad.
- ✓ Llevar a detalle y de manera cuidadosa cada una de las pruebas físicas aplicadas en mina, ya que estas nos darán la seguridad de tomar las decisiones correspondientes en cuanto a la liberación del material, así como de las propuestas de mejora que podamos aportar.
- ✓ Llevar un registro de verificación y validación de embarques, esto es importante ya que de lo que se trata es de mandar un producto de buena calidad a las plantas concreteras, y es importante que cada góndola este debidamente limpia e inspeccionada para que pueda transportar el material.

- ✓ Llevar un programa periódico de pruebas especiales que no se puedan llevar a cabo en un laboratorio de mina, se recolectarán las muestras y se harán los trámites de envío para un laboratorio especializado y certificado donde se puedan llevar a cabo estas pruebas; esto con el fin de tener un conocimiento total de caracterización del producto y poder actuar en caso que así lo requiera Control de Calidad Concretos.

REFERENCIAS

Arturo Somohano Méndez. *El concreto premezclado y su control de calidad*, Tesis. UNAM, ENEP Acatlán Edo. de Méx. 1983

Construcción y Tecnología. IMCYC. Vol. VIII No. 95. Abril 1996. Pag. (s): 18-22

Construcción y Tecnología. IMCYC. Vol. II No. 22. Marzo 1990. Pag. (s): 14-18

Construcción y Tecnología. IMCYC. Vol. IX No. 100. Septiembre 1996. Pag. (s): 30, 34, 37 y 40.

Kosmatka, Steven H.; Kerkhoff, Beatrix; Panarese, William C.; y Tanesi, Jussara: *Diseño y Control de Mezclas de Concreto*, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, EE.UU., 2004.

V Curso Internacional de Construcción Módulo II. División de Educación Continua Cursos Abiertos. Realizado los días 13-17 de junio del año 2004. Facultad de Ingeniería UNAM.

Alfonso Ocampo Téllez. *Técnicas Actuales de Trituración de agregados*, Tesis. UNAM, ENEP Acatlán. Naucalpan Edo. de Méx. 1996