

27
9.27

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

"ACATLAN"



CONCRETO RECICLADO

TESIS PROFESIONAL

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A

LUIS GERARDO RIVAS GOMEZ

ACATLAN, EDO. DE MEXICO

1988

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



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 está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

I N D I C E .

Introducción.	1
Capítulo I. Generalidades sobre cementos, agregados y concretos.	
I.1. Cementos.	5
I.1.1. Breve historia del cemento.	5
I.1.2. Fabricación del cemento.	7
I.1.3. Tipos de cementos y usos.	7
I.1.4. Almacenamiento.	9
I.2. Agregados.	11
I.2.1. Clases de agregados.	12
I.2.2. Características físicas de los agregados.	13
I.2.3. Características químicas de los agregados.	17
I.2.4. Almacenamiento.	19
I.3. Concretos.	20
I.3.1. Dosificación de materiales y mezclado.	21
I.3.2. Pruebas de control de calidad.	26
I.3.3. Transporte y colocación del concreto.	28
I.3.4. Curado del concreto.	30
Capítulo II. Estudio de las propiedades físicas de los agregados de concreto reciclado.	
II.1. Grava.	32
II.1.1. Granulometría.	32
II.1.2. Absorción.	35
II.1.3. Densidad.	36
II.1.4. Peso volumétrico.	37
II.2. Arena.	38
II.2.1. Granulometría.	38
II.2.2. Absorción.	44
II.2.3. Densidad.	45
II.2.4. Peso volumétrico.	46
II.2.5. Pérdida por lavado.	47



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

II.2.6. Colorimetría.	48
Capítulo III. Proporcionamiento para concreto.	
III.1. Alcance y objetivo.	52
III.2. Proporcionamiento del concreto.	52
III.2.1. Cálculo de la proporción base para un concreto con resistencia a la compresión axial de 150 kg/cm ² .	70
III.2.2. Cálculo de la proporción base para un concreto con resistencia a la compresión axial de 200 kg/cm ² .	74
III.2.3. Cálculo de la proporción base para un concreto con resistencia a la compresión axial de 250 kg/cm ² .	81
Capítulo IV. Elaboración de mezclas de concreto con agregados de concreto reciclado y agregados naturales.	
IV.1. Alcance y objetivo.	84
IV.2. Concreto con resistencia a la compresión axial de 150 kg/cm ² .	84
IV.2.1. Mezcla elaborada con agregado fino reciclado y agregado grueso natural.	84
IV.2.2. Mezcla elaborada con agregado fino natural y agregado grueso reciclado.	85
IV.2.3. Mezcla elaborada con agregado fino y grueso reciclado.	87
IV.3. Concreto con resistencia a la compresión axial de 200 kg/cm ² .	90
IV.3.1. Mezcla elaborada con agregado fino reciclado y agregado grueso natural.	90
IV.3.2. Mezcla elaborada con agregado fino natural y agregado grueso reciclado.	92
IV.3.3. Mezcla elaborada con agregado fino y grueso reciclado.	92



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

IV.4. Concreto con resistencia a la compresión axial de 250 kg/cm ² .	94
IV.4.1. Mezcla elaborada con agregado fino reciclado y agregado grueso natural.	94
IV.4.2. Mezcla elaborada con agregado fino natural y agregado grueso reciclado.	96
IV.4.3. Mezcla elaborada con agregado fino y grueso reciclado,	98
 Capítulo V. Análisis de resultados.	
V.1. Concreto con resistencia a la compresión axial de 150 kg/cm ² .	101
V.2. Concreto con resistencia a la compresión axial de 200 kg/cm ² .	105
V.3. Concreto con resistencia a la compresión axial de 250 kg/cm ² .	110
 Capítulo VI. Evaluación, tecnología y posibilidades económicas del reciclado del concreto.	
VI.1. Evaluación de las cantidades de escombros de concreto.	124
VI.2. Tecnología del reciclado del concreto.	125
VI.2.1. Limpieza preliminar y reducción de tamaño.	126
VI.2.2. Triturado primario.	129
VI.2.3. Separación manual y magnética de fragmentos ferrosos.	130
VI.2.4. Selección de impurezas ligeras.	130
VI.2.5. Trituración secundaria.	130
VI.3. Posibilidad económica del reciclado del concreto.	131
VI.3.1. Inversión inicial en las plantas de reciclado.	131
VI.3.2. Estimación del costo de producción para las plantas de reciclado.	132



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

VI.3.3. Ingresos y egresos anuales de los sistemas - de reciclado.	133
VI.3.4. Ventajas de invertir en los sistemas de reci- clado.	135
VI.3.5. Comparación del agregado reciclado con el -- agregado natural.	138
Conclusiones.	141
Anexo A. Registro y resultados de los ensayos de los ci- lindros de prueba de las proporciones base de los concretos con resistencias de 150, 200 y 250 --- kg/cm ² .	144
Anexo B. Registro y resultados de los ensayos de los cilin- dros de prueba de las mezclas elaboradas con agre- gados de concreto reciclado y agregados natura- les.	146
Anexo C. Selección y cálculo del equipo de alimentación, - trituración (primaria y secundaria) y cribado, -- para la planta de reciclado con capacidad de ---- 110 - 275 tons/hr.	149
Bibliografía.	164



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

INTRODUCCION .

La idea original de obtener agregados pétreos a partir de desechos de concreto hidráulico (concreto reciclado), fue fundamentalmente a finales de la Segunda Guerra Mundial y en el continente europeo. Debido a que la población de estos países tuvo que solucionar un gran problema, el problema de cómo desechar la gran cantidad de escombros producto de sus ciudades destruidas por los embates de la guerra.

El problema fue resuelto cuando se decidió reutilizar o reciclar todos los materiales que se encontraran en condiciones de hacerlo, dicha decisión tuvo resultados relevantes, y fue en ese instante donde nació la idea de reciclar los escombros de concreto con el objeto de obtener nuevos agregados para producir concretos nuevos.

Las publicaciones de aquella época, hicieron alusión a las propiedades del agregado de concreto reciclado, siendo estos los primeros documentos que se refieren al tema.

Es de importancia el buscar, encontrar y evaluar nuevas fuentes de agregados pétreos, una fuente posible e importante es el concreto de desecho, es decir, el concreto proveniente de demoliciones de edificios, de pavimentos hidráulicos y otros miembros de concreto que sean desechados, los cuales puedan ser reciclados mediante algún método o sistema de trituración para obtener nuevamente agregados pétreos.

El concreto es el material de construcción más abundante en los escombros de demolición y representa al rededor del 67 %, en peso de todos los escombros¹.

En los E. U. A. se han comenzado a utilizar escombros reciclados de pavimentos de concreto hidráulico como agregado para bases o sub-bases de pavimento, o bien, como agregado para un nuevo pavimento¹. Al parecer, en México no se ha adoptado tal práctica, sin —



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

embargo, en este estudio se pretende analizar las propiedades de los agregados de concreto reciclado, así mismo, los efectos o variaciones que pudieran derivar al emplearlos en la fabricación de concretos nuevos en relación a la compresión axial y consumos unitarios de materiales.

Cabe mencionar que el concreto de desecho sólo proporcionaría una fracción pequeña de las necesidades de agregados de la creciente industria del concreto, sin embargo, los materiales pétreos - así obtenidos pueden proveer, en ciertos casos y bajo ciertas circunstancias bien determinadas, una fuente importante de agregados. - Otro aspecto importante, al reciclar los escombros de concreto, es el de que se reduciría la contaminación provocada por los desechos - de las demoliciones.

Por lo anteriormente expuesto, el presente trabajo pretende analizar los convenientes o inconvenientes al utilizar, como fuente de agregados pétreos, al concreto reciclado.

En el capítulo I se presenta en forma muy general, algunos aspectos importantes referentes a los cementos, agregados y concretos.

En el inciso referente a los cementos, se bosqueja la historia de éste a lo largo de los años, así como la evolución que ha - tenido; la forma en la que actualmente se fabrica y los materiales - que intervienen para tal fin. Por otro lado, se señalan los diferentes tipos de cementos y usos más frecuentes y, finalmente, la forma en que debe almacenarse.

En relación a los agregados, se presentan los diferentes - tipos de éstos; sus características físicas y químicas y la forma en la que deben ser almacenados.

En lo referente al concreto, se indica la forma en la que se deben dosificar los materiales; la forma y el equipo que se emplea para su mezclado; las pruebas más comunes que se le practican -



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

(en campo y laboratorio); su transporte y colocación, y por último, la importancia que tiene el curado en el proceso de adquisición de sus propiedades.

En el capítulo II, después de haber obtenido y triturado los fragmentos de concreto que serán reciclados, se les practicarán a los agregados así obtenidos una serie de pruebas de laboratorio, con el objeto de evaluar sus características físicas que en capítulos posteriores nos servirán de referencia para comparar estas propiedades con las de los agregados naturales, además de que serán de utilidad para efectuar las mezclas de prueba.

En el capítulo III, se mencionan algunos métodos para el proporcionamiento de un concreto, tomando alguno de éstos para elaborar la proporción base de los concretos con resistencias bajas, medias y altas (150, 200 y 250 kg/cm², respectivamente). Estas proporciones se efectuarán con agregados naturales y servirán de testigo para efectuar las mezclas o revolturas en las que intervendrá ya el agregado de concreto reciclado. Las proporciones base se apoyarán en los resultados obtenidos de los ensayos a la compresión axial a que serán sujetos los especímenes cilíndricos de concreto de cada una de las mezclas de las proporciones base.

En lo que respecta al capítulo IV y de acuerdo a las proporciones base obtenidas en el capítulo III, para cada una de las resistencias propuestas, se fabricará una serie de mezclas utilizando, alternativamente, como primera opción, agregados naturales y de concreto reciclado, y como segunda opción, agregados de concreto reciclado únicamente. Se obtendrán los correspondientes especímenes cilíndricos de concreto para más tarde ser ensayados y obtener así los resultados a la compresión axial.

En el capítulo V se presentan los resultados obtenidos en forma global y separada, según la resistencia de que se trate, y serán comparados dichos resultados con los obtenidos en la mezcla patrón o testigo correspondiente. Con lo anterior se analizarán los re-



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

sultados para cada una de las resistencias propuestas.

En el capítulo VI, se analizan las características que se deben reunir, en cuanto a las cantidades potenciales de escombros — que derivan de una locación; la tecnología disponible para el reciclado del concreto, y por último, estimación de los costos de adquisición de equipo, instalaciones, etc., así como también, las ventajas y desventajas del agregado de concreto reciclado en relación al agregado natural, tomando como base el costo obtenido del análisis — de la inversión inicial para establecer el sistema de reciclado de — concreto.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

CAPÍTULO I.

Generalidades sobre cementos, agregados y concretos.

I.1. Cementos.

Según las Normas Oficiales Mexicanas; NCM-C-1-1980 y NCM-C-2-1982, sustenta la siguiente definición:

Cemento Portland.

"Es el conglomerado hidráulico que resulta de la pulverización del clinker frío, a un grado de finura determinado, al cual se le adiciona sulfato de calcio natural, o agua y sulfato de calcio natural. A criterio del productor pueden incorporarse además, como auxiliares a la molienda o para impartir determinadas propiedades al cemento, otros materiales en proporción tal que no sean nocivos para el comportamiento posterior del producto, de acuerdo con lo especificado en la NCM-C-133 en vigor".

Sin embargo, comúnmente se le define y entiende, al cemento portland, como un material finamente pulverizado que al agregarle agua, ya sea sólo o mezclado con otros materiales como arena, grava, asbesto, suelo, etc., tiene la propiedad de fraguar tanto en el aire como en el agua y formar una masa endurecida.

I.1.1. Breve historia del cemento.

Los materiales cementantes han sido utilizados desde los albores de la civilización. Los antiguos egipcios usaban un cemento compuesto de yeso calcinado impuro. Los griegos y los romanos utilizaban la caliza calcinada y más tarde desarrollaron el cemento puzolánico, moliendo conjuntamente cal y una ceniza volcánica llamada puzolana. Los griegos emplearon un material similar llamado tufa de Santorin. En la siguiente era, el conocimiento de los materiales cementantes declinó, retornando a las prácticas antiguas. Las puzolanas fueron olvidadas y los morteros de cal fueron de pobre calidad. Hubo, sin embargo, una tendencia gradual hacia el uso de las puzola-



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

nas en los siglos XV y XVI. No obstante el uso temprano de estos materiales, se conoció muy poco de su química y no se lograron avances importantes en la fabricación de materiales cementantes desde el tiempo de los romanos hasta 1756, cuando Jhon Smeaton, ingeniero inglés, descubrió que cuando se calcinaba una caliza suave impura que contenía cierta proporción de arcilla, podía endurecerse bajo el agua, así como en el aire en una masa sólida. Este descubrimiento de Smeaton permitió el rápido desarrollo de cales y cementos para la construcción.

En 1796, Joseph Parker de Northfleet, Inglaterra, obtuvo una patente para la fabricación de un material cementante que fue conocido como cemento romano debido al color que presentaba, semejante al de los viejos cementos romanos. Parker calcinaba ciertas piedras o productos arcillosos llamados "nódulos de arcilla" en un horno de cal ordinario y molía el producto resultante. En 1802 se produjo en Francia un cemento de este tipo.

En 1810 Edgar Dobbs de Southwick, Inglaterra, produjo un cemento de caliza y arcilla. En 1813, Vicat en Francia y, en 1822, James Frost en Inglaterra, comenzaron a elaborar cementos de caliza y arcilla.

En 1824, Joseph Aspdin, albañil inglés, adquirió una patente para fabricar un cemento perfeccionado, producido por el calentamiento de una mezcla de caliza y arcilla moliendo el producto resultante hasta convertirlo en un polvo muy fino; a este polvo le dio el nombre de "Cemento Portland", por la similitud que tiene este cemento endurecido con ciertas canteras de piedra de la isla de Portland, Inglaterra. Aspdin es generalmente reconocido como el inventor del cemento portland.

Los primeros trabajos para fabricar cemento portland en Inglaterra fueron establecidos por James Frost en 1825. Las primeras plantas establecidas fuera de Inglaterra se hicieron en Bélgica y Alemania en 1855. En los Estados Unidos comenzó a fabricarse cemento por



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

tland en 1875 y en México a principios del siglo XX.

I.1.2. Fabricación del cemento.

Las materias primas fundamentales para la fabricación del cemento son: un material calcáreo, como la piedra caliza, conchas, greda o margá, y un material arcilloso (en el cual la sílice es el constituyente importante) tales como arcilla, pizarra o escorfa de altos hornos. Algunas veces los materiales calcáreos y arcillosos se encuentran combinados en depósitos naturales, por lo que la dosificación de las materias primas deben guardar proporciones muy precisas. Por lo general, las materias primas se localizan cerca de las fábricas, trasportándose por góndolas, camiones y aún directamente por --bandas, sin embargo, el yeso y el material férrico, en algunas ocasiones, distan de las instalaciones teniendo que transportarlos por ferrocarril.

Las materias primas, finamente molidas y homogenizadas, se calientan hasta principios de la fusión (aproximadamente 1 500 °C) - en grandes hornos giratorios que pueden tener más de 200 mts. de longitud y un diámetro de 5.50 mts. Al material parcialmente fundido -- que sale del horno se le denomina "clinker". El clinker enfriado y --molido a polvo muy fino, es lo que constituye el cemento portland comercial. Durante la molienda se adiciona una pequeña cantidad de yeso (3 o 4 por ciento) para controlar el fraguado ⁷.

Los consumos relativos de materias primas pueden variar -- considerablemente, debido a que las cantidades de caliza y arcilla -- dependen de su composición química (contenido de cal, sílice, alúmina y óxido férrico), no obstante, se pueden considerar los siguientes consumos aproximados de materias primas por cada tonelada de cemento: caliza 1 200 kgs., arcilla 370 kgs., yeso 60 kgs., mineral de hierro 30 kgs., material silicoso (cuarzo) 30 kgs. Los dos últimos -- materiales sólo se emplean cuando se desea fabricar cementos especiales: modificado, bajo calor y resistente a los sulfatos.

I.1.3. Tipos de cementos y usos.



Según la Norma Oficial Mexicana NOM-C-1-1980 clasifica al cemento portland como sigue:

- Tipo I.- común.
- Tipo II.- modificado.
- Tipo III.- de rápida resistencia alta.
- Tipo IV.- de bajo calor.
- Tipo V.- de alta resistencia a los sulfatos.

Cemento portland tipo I. Es el cemento común u ordinario - que más se emplea en la fabricación de concretos para estructuras, - caminos y otros elementos en general, en los que no se precisan propiedades especiales.

Los concretos y morteros elaborados con este tipo de cemento, son susceptibles a los ataques de los sulfatos y ácidos; los sulfatos pueden existir en tabiques de arcilla, suelos y aguas subterráneas por efectos de procesos industriales o materias orgánicas.

Cemento portland tipo II. Es el cemento cuyas características son intermedias entre las del tipo I y las de los tipos IV y V. Es adecuado cuando se exige un moderado calor de hidratación así como un moderado ataque de los sulfatos.

Cemento portland tipo III. Es el cemento que adquiere resistencia a edades tempranas con mayor rapidez, en comparación con los otros cementos. Su composición es similar a la del cemento portland normal, pero se caracteriza por poseer una finura más elevada y un contenido mayor de sulfato tricálcico. Su tiempo de fraguado es similar al del cemento portland normal, después de este fraguado inicial, el aumento de resistencia se toma más rápido. Su empleo está indicado en obras en donde se requiere obtener pronta resistencia del concreto, con la ventaja de disminuir y utilizar, en menor tiempo, al elemento colado; es adecuado utilizarlo en tiempos fríos para compensar los efectos de la baja temperatura. No se recomienda en obras de concreto masivo.

Cemento portland tipo IV. Este cemento desarrolla su resis



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

tencia con lentitud, así mismo, genera menos calor durante su hidratación, lo que se logra, generalmente, limitando el contenido de sulfato tricálcico y aluminato tricálcico; es recomendable para obras de concreto masivo en donde se requiere una baja temperatura durante su hidratación y una adquisición lenta de resistencia.

Cemento portland tipo V. Este cemento se elabora de la misma manera que el cemento portland normal, pero con la diferencia que en éste se restringe, y en algunas ocasiones, se suprime el contenido de aluminato tricálcico, que es el que reacciona con los sulfatos externos. Su empleo está indicado para concretos que tengan contacto con aguas o terrenos que contengan sales agresivas; obras marítimas, portuarias y de conducción de aguas negras.

Existen otros tipos de cementos con características especiales, los cuales son: cemento portland de escoria, cemento portland puzolánico, cemento portland de color, cementos expansivos o sin contracción, cementos refractarios, cementos inclusores de aire, etc.

1.1.4. Almacenamiento.

Es bien sabido que el cemento debe conservarse seco antes de su uso, sin embargo, por lo general no se toma en cuenta que el aire con un elevado contenido de humedad puede provocar tanto daño como la humedad directa.

El tiempo durante el cual puede ser almacenado el cemento, para después ser utilizado en condiciones satisfactorias, depende principalmente de la forma o método de almacenamiento y de las condiciones climatológicas; de ahí la importancia de elegir un método adecuado de almacenamiento que se apegue a las circunstancias imperantes en una obra determinada.

El cemento almacenado en latas herméticas se conserva indefinidamente; almacenado a granel, en un silo en buenas condiciones, puede conservarse al rededor de tres meses; el cemento en bolsas de



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

papel puede perder en gran parte sus características de resistencia (cerca del 20 %) al cabo de 4 o 6 semanas⁸.

Almacenamiento en cobertizo.

Cuando el cemento que se va a emplear en una obra es suministrado en bolsas, este deberá ser almacenado en un cobertizo, el cual debe garantizar protección contra el agua; que el piso sea firme y se encuentre seco, si no lo está, habrá que colocar un entarimado apoyado en tabiques con el objeto de que las bolsas queden separadas del piso húmedo; se estibarán las bolsas separadas de los muros, evitando apilar más de ocho bolsas⁸; se procurará que las bolsas se encuentren lo más juntas posible para evitar la menor circulación de aire entre una y otra. Adicionalmente, las bolsas se pueden cubrir con hojas de polietileno.

Otro aspecto importante es el de que las primeras bolsas - en llegar sean las primeras en salir para su uso, es decir, que el cemento se emplee en el mismo orden en que es recibido.

Almacenamiento a la intemperie.

Es común este tipo de almacenamiento en obras de pequeña embergadura y que posiblemente no se disponga de un cobertizo. En este caso, las bolsas se colocarán sobre una cama hecha de polines y tablas apoyadas en tabiques; las bolsas deben cubrirse con lonas u hojas de polietileno, asegurándose de que se traslapen adecuadamente y de que no tengan roturas que puedan permitir la entrada de agua de lluvia. El recubrimiento debe colocarse de tal forma que el agua pueda circular libremente hacia el piso.

Almacenamiento a granel.

En la actualidad se dispone de silos portátiles en donde el cemento a granel es preferible al cemento en bolsas por las razones siguientes:

- Es más económico.
- Se requiere de un mínimo de personal.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

- Menor desperdicio.
- Durante el almacenaje el riesgo de deterioro se reduce, ya que los silos son impermeables.
- El cemento se utiliza en el orden en que se recibe.
- El equipo de mezclado puede usarse a toda su capacidad.

además, los silos están provistos de un mecanismo que puede pesar se paradamente las cantidades exactas de cemento para después descargar se en la revolvedora directamente o en la tolva de esta misma⁸.

1.2. Agregados.

El concreto está constituido en su mayor parte por agregados, aproximadamente tres cuartas partes de él, por lo que conviene tener presente la participación de éstos en las características y -- propiedades del concreto.

En los principios del uso del concreto, los agregados se -- consideraban como materiales inertes que sólo se añadían a la pasta de cemento para incrementar el volumen y reducir el costo del producto, es decir, a la pasta de cemento se le atribuía la responsabi-- lidad total en el comportamiento del producto.

Actualmente, el concreto es tratado como un conjunto de -- partículas aglutinadas con pasta de cemento; así, los agregados han adquirido la categoría de materiales de construcción, endonde las -- propiedades físicas y químicas de estos influyen en el comportamien-- to del concreto desde su fabricación hasta el término de su vida --- útil.

La importancia de utilizar agregados del tipo y calidad a-- decuados no puede subestimarse, por lo que la investigación sobre a-- gregados es un factor esencial dentro de las investigaciones de la construcción y el empleo de materiales; naturales y manufacturados; renovables y no renovables, a fin de poder servir eficientemente a -- la humanidad.

En Agosto de 1971, el A.C.I. publicó el informe sobre "con



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

creto-año 2 000", el cual dice de los agregados lo siguiente:

"Las materias primas para la fabricación de cemento y agregados son esencialmente ilimitadas, ya que prácticamente puede emplearse toda la corteza terrestre, suponiendo que se contara con los requisitos de energía para tal producción. Además, cada vez mayores cantidades de desechos de otras industrias serán reciclados para la producción de concreto en cantidades mucho mayores que las actuales".

Por lo anterior, debe darse preferencia al empleo de recursos renovables en lugar de los no renovables, por lo que el concreto que pueda ser reciclado para emplearlo como agregado debe preferirse sobre materiales que no puedan ser reciclados⁹.

1.2.1. Clases de agregados.

Generalmente los agregados para concreto consisten en partículas de roca cuyo diámetro puede ser de algunas micras hasta el tamaño máximo o especificado, y que en ciertos casos puede llegar a ser de 25 o 30 cms.

Con el objeto de controlar la proporción relativa que deben guardar los distintos tamaños de partículas entre sí, se acostumbra dividirlos en fracciones que se manejan por separado. De aquí la primera clasificación de los agregados y de acuerdo a su tamaño, en lo que se denomina agregado fino (arena) y agregado grueso (grava).

Según la Norma Oficial Mexicana NOM-C-111-1982, el agregado fino es el material que pasa por la criba NOM G 4.75 mm. y cuya composición granulométrica varía dentro de los límites especificados en esta norma; el agregado grueso es el material que es retenido por la criba NOM G 4.75 mm. cuya composición granulométrica varía dentro de los límites especificados en esta norma.

Otra clasificación usual se basa en distinguir el origen de las partículas de roca; agregados naturales y manufacturados. Los primeros resultan de la desintegración de las rocas, producto de las fuerzas naturales y de igual forma son transportados y depositados.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

Generalmente estos materiales se presentan en la naturaleza en depósitos de formación acuática (fluvial, lacustre, marítima, glacial), eólica (dunas) o ígnea (depósitos piroclásticos).

Los agregados manufacturados son el producto de la trituración de una roca previamente fragmentada de dimensiones adecuadas y conforme a un proceso definido de reducción progresiva. Se dice que un agregado es totalmente manufacturado cuando la roca original procede de una misma formación rocosa fija, que debe ser explotada como cantera, o bien de grandes fragmentos aislados de roca que requieren una división inicial antes de ser triturados.

Quando el proceso de trituración es alimentado con partículas más grandes que un agregado natural y que no son utilizables en esas condiciones, debido a su tamaño, el producto es definido como agregado mixto.

Otra clasificación se basa en la forma y textura superficial de las partículas, pudiéndose establecer una amplia diversidad de clases; que van desde las partículas naturales de formas muy redondeadas y superficies muy lisas, hasta los fragmentos manufacturados de formas muy angulosas y superficies muy ásperas.

En general, que a igualdad de calidad, los agregados naturales son más ventajosos que los manufacturados por lo siguiente:

- Obtención más fácil.
- Procesamiento más sencillo.
- Menor costo en instalaciones.
- Producto más económico.
- Menor riesgo de producir agregados de mala calidad.
- Partículas con forma y superficies más convenientes.

sin embargo, existen casos en que los agregados manufacturados no solamente pueden competir, sino que resultan más convenientes que los naturales.

I.2.2. Características físicas de los agregados.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Las características físicas de los agregados son un factor importante debido a que estas ejercen influencia sobre las propiedades y comportamiento del concreto, algunas sobre el concreto fresco y otras sobre el concreto endurecido.

Dentro de las características físicas de los agregados podemos mencionar las siguientes:

a) Composición granulométrica. Es la característica que determina la distribución de tamaños de las partículas que constituyen a un agregado. Para determinar esta composición que comúnmente se denomina granulometría, se acostumbra separar el material por medio de mallas con aberturas cuadradas de dimensiones establecidas. A esta operación se la denomina análisis granulométrico, con el que se obtiene:

- Porción de grava y arena.
- Granulometría de la arena.
- Granulometría de la grava.
- Tamaño máximo de las partículas.

b) Peso específico. Comúnmente suele llamarsele, también, densidad. La densidad de un material se define (ASTM-E-12) como la masa de un volumen unitario del material, a una temperatura específica, donde, si el material es un sólido, el volumen debe de ser de la porción impermeable. Si en vez de la masa, se opera con el peso del volumen unitario, se le llama densidad aparente. Si además, en este último caso, el volumen unitario incluye la porción permeable, la densidad recibe el nombre de densidad en masa^{4,16}.

c) Absorción. Es la capacidad de los agregados para absorber agua y que generalmente depende del tamaño, continuidad y cantidad total de vacíos permeables que contienen.

Sin embargo, se debe distinguir entre lo que se llama agua de absorción y contenido de humedad en los agregados; el agua de absorción es aquella que es absorbida por un agregado que ha sido sumergido en un lapso de 24 hrs. y al que se le ha eliminado el agua -



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

superficial, es decir, en la condición de saturado y superficialmente seco. El contenido de humedad corresponde a la cantidad total de agua que presenta un agregado en un momento determinado, y que puede ser mayor o menor que la de absorción.

d) Sanidad. La sanidad de los agregados se define como la capacidad para resistir y permanecer inalterables bajo condiciones de servicio. Estas condiciones de servicio, generalmente son representadas por efectos de congelación y deshielo, humedecimiento y secado y cambios extremos de temperatura. Como se observa, todas estas condiciones están relacionadas con el medio ambiente que rodean al concreto, por lo que la prueba que determina esta capacidad se denomina intemperismo acelerado.

e) Sustancias deletéreas. En este renglón se incluyen todas las sustancias que, estando presentes en los agregados, pueden ser nocivas para las propiedades del concreto o a su comportamiento posterior.

Estas sustancias son muy numerosas, sin embargo, las que se presentan con mayor frecuencia son las siguientes:

- Materiales muy finos, principalmente; arcilla, limo y polvo de trituración.
- Impurezas orgánicas.
- Partículas suaves, desmenuzables y ligeras.

f) Resistencia a la abrasión. Es la característica de las gravas, y es importante debido a que cuando el concreto se encuentra expuesto a la acción de fuerzas que producen desgaste o erosión, ya sea de carácter mecánico o hidráulico. Dicha resistencia se mide con una prueba en la que se somete al material a una combinación de fuerzas de impacto y desgaste superficial, además, con esta prueba se obtiene un índice de calidad general del material.

Los ensayos comunes para determinar dicha resistencia se efectúan en las máquinas Deval (ASTM-D-289) y los Angeles (ASTM-C-131 y C-535) ésta última de mayor aplicación⁴.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

g) Forma y textura de las partículas. Esta característica de los agregados suele influir en el comportamiento del concreto en su estado fresco y endurecido, debido a los desplazamientos de las partículas dentro de la masa fluida y en la adherencia posterior entre las partículas y la pasta endurecida. La forma deseable de las partículas depende de la clase de concreto y resistencia que se desee. En ciertos casos, las partículas trituradas muy alargadas y las excesivamente esféricas son indeseables: las primeras debido a la dificultad en la manejabilidad del concreto y en las segundas, debido a la falta de adherencia que limita la posibilidad de obtener resistencias elevadas, sin embargo, los agregados en tal circunstancia -- son susceptibles de mejoramiento.

La textura superficial, generalmente se define como el grado de aspereza o rugosidad que presenta la superficie de las partículas. Esta característica esta dada por la naturaleza de la roca y el origen de los agregados.

h) Expansión térmica. Es bien sabido que todo material experimenta cambios de volumen debido a la variación de la temperatura, y en el concreto esta variación depende, en mayor grado, del tipo y contenido de grava más que de cualquier otro de sus componentes. Dicha variación esta dada por el coeficiente de variación térmica lineal, que es el cambio de dimensión en la unidad de longitud -- por cada variación unitaria de temperatura.

A continuación se indican valores aproximados del intervalo en que varía el coeficiente de expansión térmica para el concreto y sus componentes:

Material	Coefficiente de expansión térmica ($10^{-6} \text{ m} / ^\circ \text{C}$)
concreto	5.8 - 14.0
mortero	7.9 - 12.6
pasta de cemento	10.8 - 16.2
rocas	0.9 - 16.0



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

i) Resistencia y elasticidad. La resistencia de los agregados debe de ser tal que permita el total desarrollo de la resistencia de la pasta de cemento que actúa como matriz cementante, ya que de lo contrario, la resistencia de los agregados actúa como límite para la del concreto, sin embargo, no se acostumbra establecer un procedimiento para medir la resistencia del agregado. Afortunadamente, la mayoría de las rocas que constituyen a los agregados para concreto presentan resistencias a la compresión superiores a las que se requieren en el concreto, sin embargo, en algunas ocasiones las rocas (como las calizas y areniscas) pueden presentar resistencias bajas, del orden de 400 kg/cm^2 y aún menores, en cuyo caso, su empleo como agregado podría ser inconveniente.

Las propiedades elásticas del concreto pueden verse afectadas tanto por las de la pasta de cemento así como por la de los agregados, principalmente la grava, teniendo los agregados una mayor influencia debido a que conforman un volumen mayor dentro del concreto.

En el caso de las rocas que constituyen a los agregados para concreto, se acostumbra aplicar el módulo de elasticidad estático a compresión.

La gráfica esfuerzo-deformación de los agregados únicamente puede determinarse labrando especímenes de roca o bien embebido las partículas en una matriz de propiedades conocidas.

I.2.3. Características químicas de los agregados.

Existen diversos agregados que pueden conducir a cambios o reacciones químicas con la pasta de cemento afectando el comportamiento del concreto. Puede deberse a la presencia de materias solubles, a la oxidación por cambios atmosféricos o a la reacción de componentes del agregado y la pasta de cemento.

Aunque es posible que ocurran dichos cambios y reacciones, los más conocidos, debido a su frecuencia, son dos casos: el primero se trata de una reacción álcali-sílice y el segundo en una reacción álcali-carbonato. Dichas reacciones son el resultado del ataque de -



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

soluciones alcalinas derivadas de la hidratación del cemento.

No todas las rocas que contienen sílice se consideran reactivas. El óxido de sílice (SiO_2) se encuentra presente en numerosas rocas bajo forma cristalina (con diversas modificaciones) y amorfa. En ambas formas existen rocas que posiblemente sean reactivas con los álcalis del cemento. Las comunes y perjudiciales contienen ópalo (sílice amorfa), calcedonia (forma criptocristalina de cuarzo) y tridimita (cristalina). En México, las principales rocas de esta naturaleza son representadas por rocas ígneas que contienen vidrio volcánico (riolita y andesita, tobas riolíticas y andesíticas) y rocas opalinas y calcedónicas (pedernal).

Para que esta reacción deletérea se manifieste, y que generalmente es a largo plazo, requiere de tres condiciones para producirse:

- 1.- Que el agregado contenga sílice reconocida como reactiva con los álcalis del cemento o de otra fuente.
- 2.- Que el cemento no sea de bajo contenido de álcalis totales, expresados como Na_2O (menos de 6.06 %).
- 3.- Que el concreto se encuentre permanentemente húmedo o sometido a períodos frecuentes de humedecimiento.

debido a que es imposible descartar como agregados a todas aquellas rocas que contuvieran sílice reactiva, la especificación ASTM-C-33, permite que un agregado, en tal circunstancia, se acepte si se utiliza junto con un cemento de bajo contenido de álcalis (menor del 0.60 %), o bien si se adiciona a la mezcla de concreto un material que restrinja la posible reacción.

Para identificar a las rocas que contienen sílice reactiva y cuantificar los posibles efectos de su reacción con los álcalis del cemento, la ASTM proporciona lo siguiente:

- Práctica recomendada ASTM-C-295. Examen petrográfico de agregados para concreto. Determina la presencia y cantidad de minera



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

les reconocidos como potencialmente reactivos con los álcalis.

- Método ASTM-C-289. Prueba química de reactividad potencial de agregados. Prueba rápida que suministra información auxiliar para calificar al agregado, no es totalmente confiable.

- Método ASTM-C-227. Prueba de reactividad potencial de álcalis en combinación cemento-agregado. Mide las expansiones que se presenten en barras de mortero elaboradas con el agregado y el cemento a emplear. Cuando la expansión en un lapso de seis meses resulta mayor de 0.10 %, se considera excesiva e indica que el agregado es reactivo y debe tratarse como tal.

- Método ASTM-C-342. Prueba de cambio potencial de volumen en combinaciones cemento-agregado. También mide las expansiones en barras de mortero. Se utilizan los agregados y el cemento a emplear, y se producen cambios de temperatura y humedad. La expansión se considera excesiva cuando es mayor de 0.20 % a un año de edad.

Quando se emplean materiales como aditivos para restringir la reacción álcali-agregado en el concreto, es adecuado el método ASTM-C-441, que considera eficaz a un material cuando logra reducir más del 75 % de la expansión.

Existen evidencias de expansiones deletéreas cuando el agregado que se emplea es una caliza dolomítica, lo que ha conducido a estimar que se trata de una reacción llamada desdolomitización, en la que la dolomita se descompone y forma hidróxido de magnesio ($Mg(OH)_2$ - brucita). Este es el caso de la reacción álcali-carbonato y la única medida recomendable es el empleo de un cemento de bajos álcalis, máximo 0.60 %, expresado en Na_2O (método ASTM-C-586).

I.2.4. Almacenamiento.

Los agregados requieren un buen almacenamiento y trato, ya que como se ha visto, las características del concreto dependen en gran medida de las condiciones y características de éstos, y de nada sirve asegurarse que se encuentren limpios al recibirlos, si se deja



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

que se contaminen en la obra.

Los agregados finos y gruesos deben descargarse sobre terreno limpio, duro y seco. Si en el lugar de la obra no existe un terreno con tales características, es aconsejable colocar sobre el área, en la que serán almacenados los agregados, una capa de concreto pobre. Este trabajo debe efectuarse desde el inicio de la obra, - su costo redundará en gran medida en el ahorro de material. Al colocar la losa se procurará dar inclinación hacia los bordes exteriores con el objeto de eliminar el exceso de humedad que pudieran contener los agregados.

Otro aspecto importante, es el de tener cuidado que el agregado fino no se mezcle con el agregado grueso. Para evitar esto, es recomendable colocar divisiones entre los agregados, éstas deben ser lo suficientemente elevadas para evitar derrames de una pila a otra.

Se debe tener cuidado que el lodo proveniente del exterior, por ejemplo el que se encuentra adherido a las ruedas de los vehículos que transitan por el lugar, no contaminen las pilas de los agregados.

Si se utilizan bandas o cubetas transportadoras para mover al agregado, se procurará evitar pilas demasiado elevadas, debido a que estas propician la segregación, especialmente cuando se trata de agregados gruesos graduados.

Es preciso recordar que cualquier cosa que se deposite sobre el agregado puede dañarlo, por lo que se debe evitar la deposición de desechos de cualquier índole. Si no se va a preparar concreto por algunos días conviene cubrir a los agregados con lonas u hojas de polietileno.

1.3. Concretos.

El concreto es una mezcla de cemento, agua y agregados, -- que cuando son bien dosificados y mezclados, conforman una masa plás



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

tica que puede ser moldeada en forma predeterminada y que al endurecerse se convierte en una piedra artificial, resistente y durable.

El concreto esta sujeto a la influencia de numerosas variables. Dependiendo de su propia variabilidad, las características de cada uno de los ingredientes del concreto pueden ocasionar variaciones en la resistencia de éste. Las variaciones también pueden ser el resultado de las prácticas seguidas durante la dosificación, el mezclado, la transportación, la colocación y el curado.

1.3.1. Dosificación de materiales y mezclado.

El proceso de elaboración del concreto se inicia, de hecho, a partir de la medición de las cantidades de materiales que se requieren para integrar una mezcla de concreto fresco que satisfaga los requisitos de la obra en que se aplique.

Las proporciones de cemento, agua y agregados, normalmente se determinan con muestras de materiales de la obra mediante ensayos previos de laboratorio hasta concluir en una mezcla de concreto a escala reducida que se conoce como mezcla de prueba.

La fabricación de concreto en el campo consiste en la reproducción consecutiva de la mezcla de prueba, amplificada en la medida que lo permita el equipo de mezclado disponible en el lugar.

Frecuentemente, los materiales que componen la mezcla de prueba se miden en el laboratorio con una precisión que no se conserva en la obra, por lo que se pierde fidelidad, resultando afectadas las características y propiedades del producto. De ahí la conveniencia de contar con los medios necesarios para medir, en obra, los materiales que componen a la mezcla de concreto con la mayor aproximación posible.

a) Dosificación del cemento.

Las causas más importantes de las alteraciones de calidad en el concreto endurecido son debidas principalmente a las variaciones de los contenidos de cemento y agua en las mezclas de concreto.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

Generalmente se acostumbra especificar el contenido de cemento por peso, permitiendo una aproximación del uno por ciento. En obras de magnitud considerable se emplean métodos o sistemas de pesado consistentes de báscula y tolva especialmente dispuestos para el pesado del cemento; en obras de menor magnitud los equipos son de capacidad y precisión en donde sólo se dispone de una sola báscula para el pesado de todos los materiales los que se miden en la misma tolva acumulando sus pesos; en obras pequeñas se acostumbra dosificar el cemento por sacos, lo que conduce a errores, debido a que la tolerancia en el contenido de los sacos es de 0.750 kgs.

De cualquier forma el cemento se mide por peso y se puede alcanzar cierta uniformidad en sus dosificaciones pese a las limitaciones mencionadas. Lo que por ningún motivo se debe permitir es la medición del cemento por volumen, ni el fraccionamiento de sacos por volumen, debido a que tales procedimientos conducen a grandes variaciones en el contenido del cemento y por ende en la calidad del concreto.

b) Dosificación del agua.

De igual forma que el cemento, el agua debe medirse con un uno por ciento de aproximación. Debido a que este elemento no presenta grandes variaciones con la temperatura de trabajo, es posible tener la aproximación indicada mediéndola por peso o por volumen siempre que se cuente con los dispositivos adecuados. Existen en el mercado una gran variedad de dispositivos para tal efecto, pudiendo elegir el sistema que más se ajuste a las necesidades económicas y de trabajo. Una práctica inaceptable es el verter el agua manualmente por medio de un recipiente de volumen reducido hasta obtener la fluidez supuestamente buscada.

La cantidad teórica de agua que entra en una mezcla de concreto la determina la relación agua-cemento, sin embargo, esta cantidad puede variar de acuerdo a la humedad de los agregados en el momento de su empleo. Si los agregados se encuentran saturados y superficialmente secos la cantidad de agua no varía; si se encuentran sub



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

saturados se incrementa y, si están sobresaturados se reduce.

c) Dosificación de agregados.

Cuando los agregados se dosifican en forma individual deben medirse con una aproximación del dos por ciento, y con una aproximación del uno por ciento cuando los distintos tamaños se dosifican en forma acumulada. Esta aproximación, y en particular la de la arena, sólo se puede obtener cuando se dosifica por peso; dentro de los equipos que permiten llevarlo a cabo se tienen las siguientes tres categorías:

1) Equipos de dosificación manual. Para obras hasta de $5\ 000\ m^3$ aproximadamente; consta de una báscula de plataforma acondicionada con rampas para la circulación de carretillas donde se cargan y pesan los agregados manualmente.

2) Plantas semiautomáticas de dosificación acumulada. Para obras que manejan entre $5\ 000$ y $100\ 000\ m^3$; consta de tolvas para cada uno de los materiales y una tolva donde se pesan los agregados acumulados. Existe una gran variedad de tamaños dentro de la que se puede elegir la más adecuada, de acuerdo a la necesidad de producción de concreto y número de materiales que se requieren dosificar.

3) Plantas automáticas de dosificación individual. Para obras con volúmenes de concreto mayores de $100\ 000\ m^3$; consta de báscula y tolva pesadora para cada uno de los materiales que intervienen en una mezcla de concreto. Su manejo puede ser manual, semiautomático o automático, así mismo, cuenta con un registro gráfico de todas las cantidades de materiales que se dosifican, lo que proporciona un medio adicional para el control y comprobación⁴.

Debido a que el volumen que ocupa un peso determinado de agregados presenta grandes variaciones, en particular la arena, la dosificación de agregados por volumen no es un procedimiento recomendable, sin embargo, existen casos en donde no es justificable hacer llegar un equipo de dosificación por peso y se tiene que recurrir a la dosificación por volumen, en estos casos es aconsejable lo si---



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

guiente:

- Se tomará en cuenta cómo van a medirse los materiales y la dispersión de resistencia que en estas condiciones puedan esperarse.

- La cantidad de material para una revoltura debe definirse en peso, calculada para 50 kgs. de cemento, o múltiplos de ésta - cantidad, según la capacidad de la revoladora.

- Que el cemento se dosifique por sacos enteros, y el agua en un recipiente único de volumen aforado que permita adicionar en - una sola operación.

- Los agregados debe dosificarse en un recipiente de forma regular y sección transversal constante, donde se determinen los volúmenes mediante pesada directa marcando el nivel correspondiente.

- Frecuentemente se pesaran los volúmenes del recipiente a fin de tomar en cuenta los efectos que producen los cambios de humedad y efectuar las correcciones pertinentes.

d) Dosificación de aditivos.

Los aditivos tienen varias presentaciones; líquidos, polvos, escamas, pastas, etc.

La medición de aditivos líquidos debe efectuarse por un medio que permita obtener una aproximación mínima del cinco por ciento. Para aditivos no líquidos es conveniente disolverlos en agua formando una mezcla de concentración determinada.

No es conveniente verter los aditivos sobre los materiales secos ni en el tanque que contiene el agua de mezcla; en el primer caso, resulta difícil distribuir uniformemente el producto, en el segundo, existe la posibilidad de corrosión o a la obstrucción de conductos y válvulas.

El siguiente paso en la fabricación del concreto, después de la dosificación de los materiales, consiste en revolverlos hasta conseguir una mezcla uniforme.

Los equipos de mezclado abarcan desde las pequeñas revolva



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

doras independientes hasta las revolventoras de gran capacidad que forman parte de las plantas automáticas de dosificación y mezclado.

De acuerdo a su funcionamiento las revolventoras se clasifican, en general, en dos categorías:

- Revolventoras que mezclan los materiales por gravedad o -caída libre.
- Revolventoras que inducen mezcla forzada en los materiales.

Además de esta clasificación, existen otras características que distinguen a estos equipos, algunas de estas son:

- * La posición de su eje de rotación; puede ser de eje horizontal, vertical o inclinado.
- * Por la libertad de movimiento del recipiente; fijo o basculante.
- * Por la disposición de sus elementos móviles, recipiente fijo y aspas giratorias, recipiente giratorio y aspas fijas, recipiente y aspas giratorias.
- * Por la forma de descargar, de compuerta (inferior o lateral), de volteo, de avance helicoidal, con extractor de embudo, de marcha reversible, etc.

Un aspecto importante para producir una mezcla homogénea, independientemente del equipo de mezclado, es la velocidad de rotación y el tiempo de mezclado; la velocidad de rotación no debe ser demasiado lenta ya que se obtiene un mezclado débil, tampoco demasiado rápida porque se produciría segregación de los materiales; cuando el tiempo de mezclado es menor que el mínimo especificado no se logra una homogeneidad adecuada, y cuando es mayor resulta antieconómico debido a que el rendimiento se reduce.

En la tabla I.1. se muestran los intervalos de velocidad de rotación que son usuales para los distintos tipos de revolventoras estacionarias que normalmente se fabrican. En la tabla I.2. se presentan los tiempos mínimos de mezclado, en segundos, para las distintas capacidades de revolventoras de tambor conforme a los criterios -



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

del USBR y del ACI.

tipo de revolvedora	velocidad de rotación (rpm)	
	recipiente	aspas o paletas
tambor giratorio, aspas fijas al tambor	14-20	14-20
tambor fijo, aspas giratorias	0	20-30
tazón fijo, paletas giratorias	0	36-48
tazón giratorio en sentido dextrógiro, paletas giratorias en sentido levógiro	12-60	18-100

Tabla I.1. Intervalos de velocidades usuales en revolvedoras⁴.

capacidad nominal de la revolvedora M ³	tiempo mínimo de mezclado (seg)	
	criterio ACI	criterio USBR
menos de 0.75	60	90
0.75-1.50	75	90
1.50-2.25	90	120
2.25-3.00	105	150
3.00-3.75	120	165
3.75-4.50	135	180

Tabla I.2. Tiempos de mezclado según la capacidad de la revolvedora

I.3.2. Pruebas de control de calidad.

Como se ha visto, la fabricación del concreto en una obra, consiste en reproducir la mezcla de prueba con el mayor apego posible. Por lo que el proceso de control de calidad del concreto consiste de dos etapas fundamentales:

1) La etapa preliminar en la que se recomiendan todas las medidas preventivas con objeto de evitar cambios de calidad en el producto, como lo son; el control de calidad de las materias primas y su dosificación, control de mezclado, transporte y colocación del concreto fresco.

2) La etapa final, en la que se comprueba la calidad real obtenida en el producto, esto se consigue mediante el ensaye de especímenes de concreto endurecido y la interpretación estadística de —



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

sus resultados, o bien con pruebas efectuadas directamente sobre las estructuras fabricadas.

Entre las pruebas que se efectúan al concreto fresco están las siguientes:

- Consistencia.
- Peso volumétrico.
- Contenido de aire (cuando se utiliza un aditivo inclusor de aire).
- Temperatura.
- Contenido de cemento.
- Tiempo de fraguado (cuando se utiliza un aditivo retardante o acelerante).

Las tres primeras son más usuales y las tres últimas son menos frecuentes. En cada caso existen métodos normalizados para su evaluación.

El concreto endurecido se considera como un material frágil con buena aptitud para resistir esfuerzos de compresión y muy poca capacidad para soportar los de tensión.

La resistencia del concreto endurecido se determina por compresión, tensión y cortante.

La resistencia a compresión del concreto se determina sobre especímenes representativos (normalmente se emplean piezas cilíndricas cuya altura es dos veces el diámetro del mismo), y consiste en someter a los especímenes, después de cierto tiempo de elaboración, a una carga que produzca esfuerzos de compresión en la totalidad de la sección transversal, hasta alcanzar el máximo que pueda soportar el espécimen de concreto, sin embargo, el esfuerzo máximo de compresión puede verse afectado por diversos factores; energía de moldeo, humedad y temperatura de curado, edad de prueba, dimensiones del espécimen, condiciones y velocidad de carga, etc.

La resistencia a tensión puede medirse por tres procedimientos:

- 1) Tensión directa (se emplea poco, debido a la presencia



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

de esfuerzos secundarios o a la forma de sujetar al espécimen).

- 2) Tensión por flexión (se emplean vigas de concreto simple).
- 3) Tensión indirecta (se aplica una carga de compresión).

Como generalmente el esfuerzo cortante se presenta en las estructuras combinado con otro (compresión o tensión), la medición a cortante puro no es una práctica corriente.

En cualquier caso, la determinación de resistencia mecánica es el medio más usual para estimar la calidad del concreto endurecido.

1.3.3. Transporte y colocación del concreto.

En muchas ocasiones no existe una clara delimitación entre lo que constituye el transporte y la colocación del concreto fresco. En general, puede decirse que el transporte consiste en trasladar el concreto desde la mezcladora hasta el punto más cercano posible a su ubicación final en la estructura; y la colocación, el proceso mediante el cual ese concreto se deposita dentro de los moldes que deban darle forma, sin embargo, ambas se confunden, constituyendo una sola operación que puede definirse como manejo del concreto en general. - De tal modo conviene mencionar separadamente los procedimientos y equipos que se emplean con mayor frecuencia para el transporte y colocación del concreto.

a) transporte del concreto. Durante el transporte se corre el riesgo que se presenten segregaciones de los materiales cuyos factores principales son:

- Consistencia de la mezcla.
- Tamaño máximo del agregado.
- Contenido de cemento.
- Procedimiento y equipo de transporte.

El equipo para transportar el concreto debe seleccionarse de acuerdo a las características particulares de cada obra y al as-



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

pecto económico. A continuación se mencionan los principales equipos que se emplean para el transporte y/o colocación del concreto:

- Carretillas y vagonetas. Cuando se requiere transportar volúmenes reducidos de concreto a distancias cortas.
- Camiones. Cuando se manejan volúmenes y distancias de acarreo mayores. Suelen emplearse tres tipos de camiones:
 - i) de volteo con caja normal.
 - ii) de volteo con caja especial para concreto (dump---crete).
 - iii) mezcladores (truck mixers).
- Botes para concreto. Son recipientes metálicos de forma generalmente tronco-cónica, de diseño especial para conducir y descargar concreto, su capacidad oscila entre -- 0.8 y 9.3 m³.
- Canalones. Constituye un sistema por gravedad no satisfactorio para el transporte del concreto, debido a que se produce segregación o induce a incrementar la fluidez de las mezclas.
- Bandas transportadoras. Cuando se utilizan debidamente, se obtiene buen rendimiento en el transporte de mezclas cuya consistencia va de seca a plástica, son ineficientes para conducir mezclas fluidas.
- Bombas para concreto. Son equipos especialmente diseñados para el transporte de mezclas de consistencia plástica a través de tuberías metálicas. Sus capacidades nominales de operación fluctúan entre los 10 y 50 m³ de concreto bombeados por hora⁴. Están indicadas cuando no se dispone de espacio suficiente para el manejo del concreto.

b) Colocación del concreto. Su finalidad principal estriba en conseguir una distribución uniforme y homogénea de la masa de concreto, en sentido horizontal y vertical. Para conseguirlo, normalmente debe atenderse a dos aspectos básicos:

- 1º) Conservar la homogeneidad de la mezcla conforme se



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

recibe, evitando segregaciones durante su descarga.

- 2º) Distribuir el concreto de acuerdo a un plan definido que se ajuste a la geometría y dimensiones de la estructura, a fin de que todo el concreto que se coloque en forma sucesiva en un sólo colado — constituya un volumen monolítico después de endurecido.

El concreto debe colocarse en el punto más cercano posible al de su destino final. En algunas ocasiones, por falta de planeación adecuada, se dispone de pocas facilidades para la descarga del concreto en suficientes puntos dentro del área de colado, lo que ocasiona acumulación de éste y la necesidad de desplazarlo lateralmente, lo que invariablemente produce segregación.

Cuando se coloca concreto fresco sobre otro que a sobrepasado el fraguado, no es posible conseguir la unión entre ambos, porque el concreto anterior ya no es moldeable y se produce lo que se conoce con el nombre de "junta fría" y representa planos que pueden limitar, como conjunto, la resistencia mecánica, impermeabilidad o durabilidad del concreto.

I.3.4. Curado del concreto.

El curado consiste en mantener un contenido satisfactorio de humedad y temperatura en el concreto recién colado para que se puedan desarrollar las propiedades deseadas. La resistencia y durabilidad del concreto se desarrollarán plenamente, sólo si se cura de manera adecuada, sin embargo, cuando las condiciones ambientales de humedad y temperatura son favorables para el curado, no se requiere ninguna acción adicional.

La cantidad de agua de mezclado en el concreto en el momento del colado es normalmente más de la que debe retenerse para el curado, sin embargo, la pérdida excesiva por evaporación puede reducir la cantidad de agua retenida a un nivel inferior al necesario para el desarrollo de las propiedades deseadas. Los efectos potencialmen-



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

te perjudiciales de la evaporación deben evitarse, ya sea mediante la aplicación de agua o evitando la evaporación excesiva. El hecho de no evitar esta evaporación, frecuentemente causa grietas por contracción plástica y pérdida de resistencia del material más cercano a la superficie.

La rapidez de hidratación del cemento varía según la temperatura; siendo más lenta a bajas temperaturas, hasta -10°C , y más rápida a temperaturas más elevadas, hasta un poco menos de 100°C . Las temperaturas inferiores a 10°C son desfavorables para el desarrollo de la resistencia temprana. A temperaturas inferiores a los 5°C el desarrollo de resistencia temprana se retarda bastante y a 0°C se desarrolla muy poca resistencia ^{7,10}.

Para el curado del concreto existen diversos materiales, métodos y procedimientos, pero los principios son los mismos: garantizar un contenido satisfactorio de humedad y temperatura para que se desarrollen las propiedades deseadas.

En general, existen dos sistemas para el curado del concreto, los cuales son:

- 1) La continua o frecuente aplicación de agua por anegamiento, aspersión, vapor o materiales de cubrimiento saturados como carpetas de yute o algodón, alfombras, tierra, arena, aserrín, paja, heno, etc.
- 2) Evitar la pérdida excesiva de agua en la superficie del concreto mediante el empleo de materiales tales como hojas de polietileno o de papel impermeable, o bien mediante la aplicación de compuestos de curado formadores de membrana sobre el concreto recién colado.

La elección de cualquiera de estos sistemas va en función de las características de la obra, de los medios disponibles y del factor económico.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

CAPITULO II.

Estudio de las propiedades físicas de los agregados de concreto reciclado.

II.1. Grava.

La grava que se empleó para efectuar los estudios correspondientes a este capítulo (grava de concreto reciclado), se obtuvo mediante la fragmentación o trituración de trozos de concreto provenientes de diferentes elementos*; losas, columnas, trabes, cilindros de prueba, etc. Cabe mencionar que los fragmentos de concreto fueron recolectados en diferentes puntos de la Ciudad de México, con el objeto de cubrir diferentes tipos de resistencias (relaciones agua-cemento) y con cualquier tipo de agregado.

El tamaño máximo del agregado grueso que se empleará en este capítulo y en los subsiguientes, será de $3/4"$ (19 mm), por lo que la fragmentación se realizó hasta obtener el tamaño adecuado conforme a las Normas Oficiales Mexicanas en vigor (NOM-C-111-1982).

Simultáneamente se analizarán, también, las propiedades físicas de la grava natural o de referencia, con el objeto de evaluar y observar las diferencias que existen entre uno y otro agregado.

II.1.1. Granulometría.

Dentro de los factores que intervienen en la elaboración de un concreto económico y seguro que proporcione la resistencia y manejabilidad requerida, destaca el granulométrico, es decir, el material inerte debe estar integrado por porcentajes de tamaños distintos de partículas que al agruparse queden con el menor número de vacíos o huecos, que serán llenados por la lechada de cemento.

La granulometría de la grava se determina separándola en fracciones con el empleo de mallas estándar, y que según la Norma Oficial Mexicana NOM-C-111-1982, establece los límites granulométricos.

* La fragmentación se realizó manualmente.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

cos para el agregado grueso, como se observa en la tabla 2.1.

criba tamaño nominal (mm)	porcentajes retenidos acumulados en peso												
	G100	G90	G75	G63	G50	G38	G25	G19	G12.5	G9.5	G4.5	M2.36	M1.18
90-40	0	0 a 10	-	75 a 40	-	85 a 100	-	95 a 100	-	-	-	-	-
64-40	-	-	0	0 a 10	30 a 65	85 a 100	-	95 a 100	-	-	-	-	-
50-5	-	-	-	0	0 a 5	-	30 a 65	-	70 a 90	-	95 a 100	-	-
40-5	-	-	-	-	0	0 a 5	-	30 a 65	-	70 a 90	95 a 100	-	-
25-5	-	-	-	-	-	0	0 a 5	-	40 a 75	-	90 a 100	95 a 100	-
20-5	-	-	-	-	-	-	0	0 a 10	-	45 a 80	90 a 100	95 a 100	-
13-5	-	-	-	-	-	-	-	0	0 a 10	30 a 60	85 a 100	95 a 100	-
10-2.5	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0 a 15	70 a 90	90 a 100	95 a 100
50-25	-	-	-	0	0 a 10	30 a 65	85 a 100	-	95 a 100	-	-	-	-
40-20	-	-	-	-	0	0 a 10	45 a 80	85 a 100	-	95 a 100	-	-	-

Tabla 2.1. Límites granulométricos del agregado grueso.

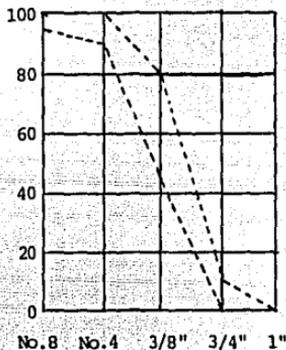
De la tabla 2.1. tomaremos los límites granulométricos correspondientes al renglón cuyo tamaño nominal es el de 20-5 mm, y --



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

que gráficamente se puede representar como sigue:

% retenido
acumulado



criba	peso re- tenido	% parci- al ret.	% rete. acumul.
1"	0.0	0.0	0.0
3/4"			0-10
3/8"			45-80
No. 4			90-100
No. 8			95-100
sumas			///////

Figura 2.1. Representación gráfica para agregado grueso de 3/4"

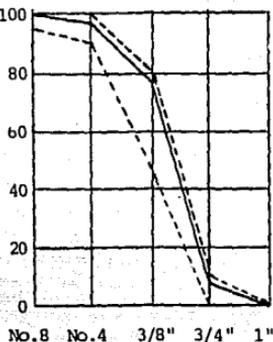
Determinados los límites granulométricos para la grava que se empleará, podemos determinar las características granulométricas del material. Sin embargo, tanto el agregado grueso de concreto reciclado como el de referencia, se forzarán a que se encuentren dentro de los límites granulométricos, debido, principalmente, a que se trata de un estudio de laboratorio, por lo tanto, el factor granulométrico no se manejará como una variable y se tomará como una constante independiente, es decir, los porcentajes predeterminados que se emplearán, en relación a este inciso, serán empleados en todas las mezclas o revolturas que se efectúen en capítulos posteriores.

Con la aclaración anterior, a continuación se presentan las características granulométricas del agregado grueso, tanto para el reciclado como para el de referencia:



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

% retenido
acumulado



criba	peso re- tenido	% parci- al ret.	% rete. acumul.
1"	0.00	0.0	0.0
3/4"	1.26	7.0	7.0
3/8"	12.78	71.0	78.0
No.4	3.42	19.0	97.0
No.8	0.54	3.0	100.0
sumas	18.00	100.0	//////

peso de la muestra 18.0 kgs.

Figura 2.2. Características granulométricas del agregado grueso reci clado y del de referencia.

II.1.2. Absorción.

El valor de la absorción de la grava^{3,4,16} se determinó — con una muestra de peso mayor de un kilogramo la que se puso a saturar en agua durante 24 hrs. Al término de las cuales se les secó el agua superficial con un trozo de franela hasta que la grava presenta ra un aspecto opaco. En tales condiciones se pesó la muestra para — después secarla en el horno. La muestra ya seca y fría se pesó nueva mente para conocer la diferencia en peso (agua de absorción) que se reporta como porcentaje del peso seco.

El porcentaje de absorción se calcula como sigue:

$$\% \text{ absorción} = \frac{b - a}{a} \times 100$$

a = peso de la muestra en el aire secada en el horno.

b = peso de la muestra en el aire, saturada y superficialmente seca.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

entonces, el porcentaje de absorción del agregado grueso de concreto reciclado es:

$$\% \text{ absorción} = \frac{1\ 352.6 - 1\ 226.1}{1\ 226.1} \times 100 = 10.32 \%$$

y para el agregado de referencia,

$$\% \text{ absorción} = \frac{1\ 329.7 - 1\ 271.6}{1\ 271.6} \times 100 = 4.57 \%$$

Como se puede apreciar, el agregado de concreto reciclado reporta un mayor porcentaje de agua de absorción en comparación con el agregado de referencia, esta gran diferencia es debida, principalmente, a la presencia de la pasta de cemento que se encuentra adherida a las partículas de grava, trayendo como resultado el elevado porcentaje de absorción¹⁷.

II.1.3. Densidad.

La densidad³ de la grava se determinó con el peso de una muestra saturada y superficialmente seca y con el volumen de agua que ella desaloja; para medir este volumen se utilizó una probeta graduada de un litro de capacidad en la que se depositó agua suficiente para que la muestra de grava por ensayar quedara totalmente sumergida.

Al introducir la grava en la probeta se tuvo cuidado de no dejarla caer bruscamente con el objeto de evitar que saltara el agua hacia afuera y afectar a la prueba de error. Así mismo, se tuvo cuidado de incluir los diferentes tamaños de la grava por emplear.

La densidad (relativa) está dada por:

$$\text{densidad} = \frac{P_{\text{sss}}}{N_2 - N_1}$$

P_{sss} = peso en el aire de la muestra saturada y superficialmente seca.

N_1 = lectura inicial del nivel de la superficie del agua

N_2 = lectura final (con la muestra en la probeta) del nivel



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

vel de la superficie del agua.

entonces, para la grava de concreto reciclado tenemos:

$$\text{densidad} = \frac{0.402}{0.785 - 0.600} = 2.17$$

y para la grava de referencia

$$\text{densidad} = \frac{0.360}{0.752 - 0.600} = 2.37$$

Como se puede observar, la grava de concreto reciclado reporta una densidad más baja en relación a la de la grava de referencia, debido a la gran cantidad de diminutas burbujas o vacíos que se localizan en la pasta de cemento, pudiendo clasificar a la primera - como agragado para concreto ligero⁴.

II.1.4. Peso volumétrico.

El peso volumétrico³ de la grava se obtuvo llenando de grava y enrasando el recipiente de madera de 8.242 lts. de capacidad; - procediendo a obtener su peso. El peso neto de la grava contenida entre el volumen del recipiente nos reporta el peso volumétrico.

El peso volumétrico está dado por:

$$P.V. = \frac{P_t - P_r}{V_r}$$

P_t = peso total (muestra más recipiente).

P_r = peso del recipiente.

V_r = volumen del recipiente.

entonces, para la grava de concreto reciclado tenemos:
primer ensaye

$$P.V. = \frac{11.140 - 2.276}{8.242} = 1.076 \text{ kg/dm}^3$$

segundo ensaye,

$$P.V. = \frac{11.180 - 2.276}{8.242} = 1.080 \text{ kg/dm}^3$$



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

$$P.V. \text{ promedio} = \frac{1.076 + 1.080}{2} = 1.078 \text{ kg/dm}^3$$

para la grava de referencia:
primer ensaye,

$$P.V. = \frac{12.868 - 2.262}{8.242} = 1.287 \text{ kg/dm}^3$$

segundo ensaye,

$$P.V. = \frac{12.919 - 2.262}{8.242} = 1.293 \text{ kg/dm}^3$$

$$P.V. \text{ promedio} = \frac{1.287 + 1.293}{2} = 1.290 \text{ kg/dm}^3$$

Como se observa, el agregado de concreto reciclado reporta un peso volumétrico más bajo que el del agregado de referencia, debido a la gran cantidad de pequeños vacíos que se encuentran en la pasta de cemento.

Adicionalmente, se obtuvo la humedad para el agregado de concreto reciclado y para el agregado de referencia, tomando en cuenta que ésta varía y que no es constante en cualquier momento.

En las figuras 2.3 y 2.4. se encuentran condensados los -- conceptos obtenidos para las gravas (de concreto reciclado y de referencia).

II.2. Arena.

La arena que se empleó para los estudios necesarios de este capítulo (arena de concreto reciclado), se obtuvo de la fracción del agregado de concreto reciclado con tamaños menores de la criba G4.75 y mayores de M0.150 (menores de 4.75 mm y mayores de 150 micras) según lo indicado en la Norma Oficial Mexicana NOM-C-111-1982.

Al igual que en el inciso II.1., simultáneamente se analizarán las propiedades físicas de la arena de concreto reciclado y de la arena de referencia.

II.2.1. Granulometría.

ESTUDIOS FISICOS DE LAS GRAVAS

PROCEDENCIA: de concreto reciclado	FECHA: 14/I/87
LOCALIZACION:	ESTUDIO No. 1
BANCO:	MUESTRA No.
UTILIZACION: fabricaci3n de concretos	IDENT. LAB.

P E S O V O L U M E T R I C O				
PESO MATERIAL + RECIPIENTE	11.140	Kg.	11.180	Kg.
PESO DEL RECIPIENTE (TARA)	2.276	Kg.	2.276	Kg.
PESO DEL MATERIAL (P)	8.864	Kg.	8.904	Kg.
VOL. DEL RECIPIENTE (V)	8.242	Lit.	8.242	Lit.
PESO VOLUMETRICO	1.076		1.080	
PESO VOL. PROMEDIO	1.078	Kg/M ³		

D E N S I D A D			
1. PESO DE LA MUESTRA SATURADA	0.402	Kg.	D E N S I D A D
2. VOLUMEN DEL AGUA DESALOJADA	0.185	Lit.	
3. DENSIDAD (1/2)			

A B S O R C I O N			
1. PESO DE LA MUESTRA SATURADA	1 352.6	gr.	A B S O R C I O N
2. PESO DE LA MUESTRA SECA	1 226.1	gr.	
3. DIFERENCIA (PESO DEL AGUA) 1-2	126.5		
4. PORCENTAJE DE ABSORCION (3/2) X 100			

H U M E D A D			
1. PESO MUESTRA ORIGINAL	417.8	gr.	H U M E D A D
2. PESO MUESTRA SECA	400.5	gr.	
3. DIFERENCIA (PESO DEL AGUA) 1-2	17.3	gr.	
4. PORCENTAJE DE HUMEDAD (3/2)			

OBSERVACIONES: la grava presenta en su totalidad aristas vivas

L.R.G.
O P E R A D O R

L.R.G.
C A L C U L O

L.R.G.
R E V I S O

ESTUDIOS FISICOS DE LAS GRAVAS

PROCEDENCIA: <u>de banco</u>	FECHA: <u>15/I/87</u>
LOCALIZACION:	ESTUDIO No. <u>2</u>
BANCO:	MUESTRA No.
UTILIZACION: <u>fabricación de concretos</u>	IDENT. LAB.

P E S O V O L U M E T R I C O		
PESO MATERIAL + RECIPIENTE	12.868 Kg.	12.919 Kg.
PESO DEL RECIPIENTE (TARA)	2.262 Kg.	2.262 Kg.
PESO DEL MATERIAL (P)	10.606 Kg.	10.657 Kg.
VOL. DEL RECIPIENTE (V)	8.242 Lit.	8.242 Lit.
PESO VOLUMETRICO	1.287	1.293
PESO VOL. PROMEDIO	1.290	Kg/M ³ ←

D E N S I D A D		
1. PESO DE LA MUESTRA SATURADA	0.360 Kg.	D E N S I D A D
2. VOLUMEN DEL AGUA DESALOJADA	0.152 Lit.	<u>2.37</u>
3. DENSIDAD (1/2)		

A B S O R C I O N		
1. PESO DE LA MUESTRA SATURADA	1.329.7 gr.	A B S O R C I O N
2. PESO DE LA MUESTRA SECA	1.271.6 gr.	<u>4.57</u> %
3. DIFERENCIA (PESO DEL AGUA) 1-2	58.1	
4. PORCENTAJE DE ABSORCION (3/2) X 100		

H U M E D A D		
1. PESO MUESTRA ORIGINAL	443.7 gr.	H U M E D A D
2. PESO MUESTRA SECA	443.0 gr.	<u>0.16</u> %
3. DIFERENCIA (PESO DEL AGUA) 1-2	0.7 gr.	
4. PORCENTAJE DE HUMEDAD (3/2)		

OBSERVACIONES: agregado mixto.

L. R. G.
O P E R A D O R

L. R. G.
C A L C U L O

L. R. G.
R E V I S O

Figura 2.4.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Para determinar la granulometría de la arena es necesario, como en el caso de la grava, separarla en fracciones empleando un juego de mallas estándar y que de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-C-111-1982, establece los límites granulométricos para el agregado fino, como se puede ver en la tabla 2.2.

criba NOM	% retenido acumulado
G 9.5	0
G 4.75	0 - 5
G 2.36	0 - 20
M 1.18	15 - 50
M 0.600	40 - 75
M 0.300	70 - 90
M 0.150	90 - 98
charola	100

Tabla 2.2. Límites granulométricos del agregado fino.

Los resultados de esta determinación se resumen en el dato de módulo de finura de la arena (M.F.), que es igual a la suma de los porcentajes acumulados en cada una de las mallas, dividida entre cien.

De acuerdo con su módulo de finura⁴, las arenas pueden clasificarse como sigue:

módulo de finura	clasificación
menor de 2.0	muy fina
2.0 - 2.3	fina
2.3 - 2.6	medio fina
2.6 - 2.9	media
2.9 - 3.2	medio gruesa
3.2 - 3.5	gruesa
mayores de 3.5	muy gruesa

Tabla 2.3. Clasificación de la arena según su módulo de finura.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

Con lo anterior, las arenas para concretos deben cumplir - los siguientes requisitos:

- localizarse dentro de los límites indicados en la tabla 2.2.
- su M.F. no debe ser menor de 2.3 ni mayor de 3.1
- El retenido parcial en cualquier criba no debe ser mayor del 45 %.

De acuerdo con los datos de la tabla 2.2., los límites granulométricos pueden ser representados gráficamente de la manera siguiente:

mallá	peso retenido	% parcial retenido	% retenido acumulado
(G 9.500) 3/8"	0	0	0
(G 4.750) No.4			0 - 5
(G 2.360) No.8			0 - 20
(M 1.180) No.16			15 - 50
(M 0.600) No.30			40 - 75
(M 0.300) No.50			70 - 90
(M 0.150) No.100			90 - 98
charola			100
sumas			
módulo de finura =			

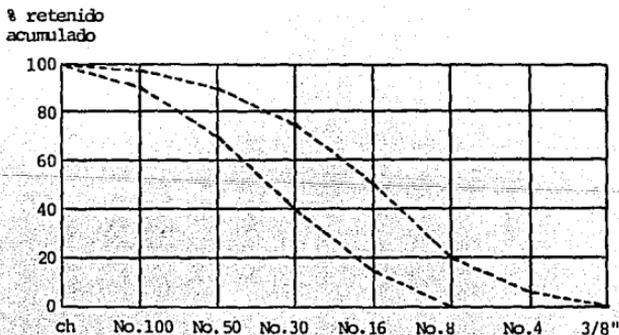


Figura 2.5. Representación gráfica para agregado fino.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

De la misma manera que en la grava, la granulometría de la arena se manejará como una constante independiente y los porcentajes predeterminados serán empleados en todas las mezclas o revueltas que se efectúen en capítulos posteriores. En la figura 2.6. se presentan las características granulométricas del agregado fino, tanto para el reciclado como para el de referencia.

mallá	peso retenido	% parcial retenido	% retenido acumulado
(G 9.500) 3/8"	0.0	0.0	0.0
(G 4.750) No.4	10.0	2.0	2.0
(G 2.360) No.8	70.0	14.0	16.0
(M 1.180) No.16	115.0	23.0	39.0
(M 0.600) No.30	105.0	21.0	60.0
(M 0.300) No.50	105.0	21.0	81.0
(M 0.150) No.100	55.0	11.0	92.0
charola	40.0	8.0	100.0
sumas	500.0	100.0	290.0
módulo de finura (M.F.) = 2.9			

% retenido
acumulado

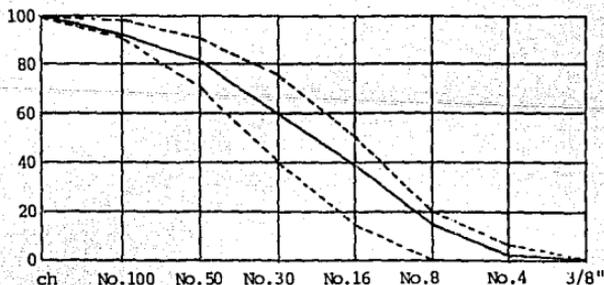


Figura 2.6. Características granulométricas del agregado fino reciclado y del de referencia. Según la tabla 2.3., la arena que se empleará, de acuerdo a los porcentajes predetermi



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

nados, se puede clasificar como media. Los pesos en la -
tabla están dados en gramos.

II.2.2. Absorción.

Para obtener el valor de la absorción del agregado fino³,
16, se requiere que la arena se encuentre en estado saturado y super-
ficialmente seco, para conseguirlo, se coloca un poco más de un kilo
gramo de este material a saturar en agua durante un lapso de 24 hrs.
y al término de éstas se la retira la mayor cantidad de agua posi-
ble, cuidando de no arrastrar el material muy fino.

A continuación el material se empieza a secar lentamente -
en una parrilla o alguna otra fuente calorífica que proporcione tem-
peraturas menores de 110°C, sin dejar de remover la arena hasta que
desaparezca toda el agua libre, y después se continúa el secado bajo
la acción del sol y del aire hasta que cuando la arena deje de for-
mar grumos al apuñarse con una mano. Este comportamiento nos indica
que el material se encuentra muy próximo al estado que se trata de -
conseguir y por lo tanto, deben realizarse las pruebas con el molde
de lámina como se especifica en la Norma Oficial Mexicana DGN-C-165-
1977. Este molde se llena con arena y se apisona apoyando 25 veces,
sin altura de caída, el pisón complemento del cono. El molde se en-
rasa con arena y se retira cuidadosamente hacia arriba; si la arena
conserva la forma del molde indicará que aún existe humedad superfi-
cial que proporciona una cohesión aparente. Las pruebas deben conti-
nuarse hasta el momento en que el material se abata tratando de to-
mar su ángulo de reposo natural.

Una vez conseguido el estado saturado y superficialmente -
seco, inmediatamente se toma una muestra con peso exacto de 500 gr.
la que se pone a secar totalmente a una temperatura menor de 110°C,
después se enfría y se vuelve a pesar. La diferencia entre ambos pe-
sos reporta el agua de absorción, la que se indica como porcentaje -
del peso seco.

El porcentaje de absorción se calcula con:



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

$$\% \text{ absorción} = \frac{a - b}{b} \times 100$$

a = peso de la muestra saturada y superficialmente seca.

b = peso de la muestra secada en el horno.

luego, para la arena de concreto reciclado tenemos:

$$\% \text{ absorción} = \frac{500.0 - 420.7}{420.7} \times 100 = 18.85 \%$$

y para el agregado fino de referencia:

$$\% \text{ absorción} = \frac{500.0 - 459.0}{459.0} \times 100 = 8.93 \%$$

Como se observa, el agregado fino de concreto reciclado — acusa un mayor porcentaje de agua de absorción en relación a la del agregado de referencia, debido a la presencia de partículas de pasta de cemento.

II.2.3. Densidad.

Para determinar la densidad de la arena³ se emplea el frasco Lechatellier o Chapman, en el que se deposita agua hasta la marca de 0.0 c.c. A continuación se toman 50 grs. de arena saturada y superficialmente seca, que se deposita en el frasco sin dejar de agitar suavemente para desalojar las burbujas de aire. Se deja reposar el frasco hasta que hayan subido y desaparecido las burbujas para — permitir hacer una nueva lectura. El peso del material entre el volumen de agua que desaloja nos reporta la densidad, es obvio que en estas condiciones no se expulsa totalmente el aire, por lo que la densidad obtenida es relativa.

La densidad está dada por:

$$\text{densidad} = \frac{P_{\text{sss}}}{V_d}$$

P_{sss} = peso de la muestra saturada y superficialmente seca

V_d = volumen de agua que desaloja la muestra

para la arena de concreto reciclado tenemos:



UNIVERSIDAD NACIONAL y para la arena de referencia:
AVENIDA DE
MEXICO

$$\text{densidad} = \frac{50.0}{23.7} = 2.11$$

$$\text{densidad} = \frac{50.0}{22.0} = 2.27$$

La arena de concreto reciclado reporta una densidad más baja en comparación con la arena de referencia, debido a la presencia de partículas de pasta de cemento.

II.2.4. Peso volumétrico.

El peso volumétrico³ de la arena se determina con la ayuda de un depósito cúbico que no sea deformable cuya capacidad es de --- 3.728 lts. Este depósito se llena de arena con un cucharón, sin dejar caer el material de una altura no mayor de dos pulgadas sobre el borde superior del recipiente, después de lo cual se enrasa para ser pesado.

El peso volumétrico de la arena está dado por:

$$P.V. = \frac{P_t - P_r}{V_r}$$

P_t = peso total (muestra más recipiente).

P_r = peso del recipiente.

V_r = volumen del recipiente.

para la arena de concreto reciclado tenemos:
primer ensaye,

$$P.V. = \frac{4.268 - 0.160}{3.728} = 1.102 \text{ kg/dm}^3$$

segundo ensaye,

$$P.V. = \frac{4.241 - 0.160}{3.728} = 1.095 \text{ kg/dm}^3$$

$$P.V. \text{ promedio} = \frac{1.102 + 1.095}{2} = 1.098 \text{ kg/dm}^3$$

y para la arena de referencia:



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

primer ensaye,

$$P.V. = \frac{5.325 - 0.160}{3.728} = 1.385 \text{ kg/dm}^3$$

segundo ensaye,

$$P.V. = \frac{5.358 - 0.160}{3.728} = 1.394 \text{ kg/dm}^3$$

$$P.V. \text{ promedio} = \frac{1.385 + 1.394}{2} = 1.389 \text{ kg/dm}^3$$

Como se observa, el agregado fino de concreto reciclado reporta un peso volumétrico más bajo que el del agregado fino de referencia.

II.2.5. Pérdida por lavado.

El objetivo de esta prueba^{3,4}, es conocer la cantidad de limo o arcilla que contiene la arena y que puede influir en el aumento de contracciones del concreto y por ende disminuir su resistencia.

Se toma una muestra de arena, previamente secada en el horno, con un peso de 300 a 600 grs. la cual se deposita en la malla No. 200 y se empieza a lavar hasta que el agua corriente, después de pasar por la arena y la malla, salga clara. La arena lavada se vuelve a secar en el horno con temperaturas menores de 110°C. Una vez que se ha secado la arena se vuelve a pesar y la diferencia con el peso original nos da el peso de la arcilla o polvo contenido en la arena y se expresa como porcentaje del peso original, luego entonces, tenemos:

$$\text{pérdida por lavado} = \frac{P_s - P_l}{P_s} \times 100$$

P_s = peso de la muestra original secada en el horno.

P_l = peso de la muestra lavada y secada en el horno.

para la arena de concreto reciclado tenemos:

$$\text{pérdida por lavado} = \frac{400.0 - 390.2}{400.0} \times 100 = 2.45 \%$$

para la arena de referencia:



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

$$\text{pérdida por lavado} = \frac{400.0 - 339.7}{400.0} \times 100 = 15.07 \%$$

La arena de referencia reporta un alto contenido de finos, no así la arena de concreto reciclado y de acuerdo a las especificaciones, las arena aceptadas deben tener una pérdida por lavado menor del 5.0 %, sin embargo, en casos especiales se han aceptado arenas con un contenido de finos hasta de un 15.0 % o más cuando su origen es inorgánico.

II.2.6. Colorimetría.

La prueba de colorimetría³ proporciona un índice del contenido de materia orgánica en la arena y que puede ser superior o inferior al denominado "color normal".

La prueba colorimétrica, según la Norma Oficial Mexicana - NOM-C-88-1978, se efectúa en un frasco transparente de vidrio o de plástico graduado cada 10 ml y con una capacidad de 220 ml. en el que se alojan 130 ml. de arena por ensayar. Se añade solución de hidróxido de sodio al 3.0 % hasta la marca de 220 ml., nivel que con adiciones de solución debe conservarse después de agitar vigorosamente el frasco. Se le deja reposar durante 24 hrs., al término de las cuales el color de la solución en el frasco se debe comparar con el vidrio de "color normal" o con los colores de la norma ASTM-C-40-73. Si el color del líquido que está sobre el agregado es más oscuro que el color normalizado No.3, el agregado en cuestión puede considerarse que contiene compuestos orgánicos en cantidades perjudiciales para los morteros y concretos (superiores a 500 p.p.m. de ácido tánico) y para su aprobación deben hacerse otro tipo de pruebas.

En la prueba colorimétrica para el agregado de concreto reciclado, el color de la solución arriba del agregado resulto ser más claro que el No.1 de los colores de la Norma ASTM-C-40-73, por lo que dicho agregado cumple satisfactoriamente con lo establecido en dicha norma.

Para el agregado de referencia, el color que presentó la solución arriba del agregado fue cristalina, es decir, no contiene -



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

materia orgánica; quedando de manifiesto que el alto contenido de finos que reportó este agregado no es de origen orgánico por lo que el agregado puede ser empleado satisfactoriamente.

Adicionalmente, se obtuvo la humedad para el agregado fino reciclado y para el agregado fino de referencia.

Los conceptos obtenidos para las arenas se encuentran condensados en las figuras 2.7. y 2.8.

Cabe destacar que todos los estudios, pruebas y ensayos — correspondientes a este capítulo, y en los dos siguientes (capítulos III y IV), fueron realizados en las instalaciones del laboratorio de resistencia de materiales de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales, Acatlán.

ESTUDIOS FISICOS DE LA ARENA

PROCEDENCIA: arena de concreto reciclado	FECHA: 15/7/87
LOCALIZACION:	ESTUDIO No. 1
BANCO:	MUESTRA No.
UTILIZACION: fabricaci3n de concretos	IDENT. LAB.

PESO VOLUMETRICO			
SECUENCIA			
PESO MATERIAL + RECIPIENTE	4.268	Kg	4.241 Kg
PESO DEL RECIPIENTE (TARA)	0.160	Kg	0.160 Kg
PESO DEL MATERIAL (P)	4.180	Kg	4.081 Kg
VOL. DEL RECIPIENTE (V)	3.728	Lts	3.728 Lts
PESO VOLUMETRICO \bar{P}	1.102		1.095
PESO VOL. PROMEDIO		1.098	Kg/M3

DENSIDAD			
1. PESO DE LA MUESTRA SATURADA	0.050	Kg.	DENSIDAD ρ
2. VOLUMEN DEL AGUA DESALOJADA	0.0237	Lts.	
3. DENSIDAD (1/2)			

ABSORCION			
1. PESO DE LA MUESTRA SATURADA	500.00	gr.	ABSORCION α
2. PESO DE LA MUESTRA SECA	420.70	gr.	
3. DIFERENCIA (PESO DEL AGUA) 1-2	79.30		
4. PORCENTAJE DE ABSORCION (3/2) X 100			

PERDIDA POR LAVADO			
1. PESO MUESTRA SECA (original)	400.00	gr.	% DE FINOS β
2. PESO MUESTRA LAVADA SECA	390.20	gr.	
3. DIFERENCIA EN PESO 1-2	9.80	gr.	
4. PORCENTAJE DE FINOS (3/1) X 100			

HUMEDAD			
1. PESO MUESTRA ORIGINAL	252.90	gr.	HUMEDAD γ
2. PESO MUESTRA SECA	239.40	gr.	
3. DIFERENCIA (PESO DEL AGUA) 1-2	13.50	gr.	
4. PORCENTAJE DE HUMEDAD (3/2)			

COLORIMETRIA	
COLOR:	más claro que el número 1 de los colores de la norma ASTM-C-40-73.

OBSERVACIONES:

L.R.G.
OPERADOR

L.R.G.
CALCULO

L.R.G.
REVISO

ESTUDIOS FISICOS DE LA ARENA

PROCEDECIA: arena café de mina	FECHA: 15/I/87
LOCALIZACION:	ESTUDIO No. 2
BANCO:	MUESTRA No.
UTILIZACION: fabricación de concretos	IDENT. LAB.

PESO VOLUMETRICO			
SECUENCIA			
PESO MATERIAL + RECIPIENTE	5.325	Kg	5.358 Kg
PESO DEL RECIPIENTE (TARA)	0.160	Kg	0.160 Kg
PESO DEL MATERIAL (P)	5.165	Kg	5.198 Kg
VOL. DEL RECIPIENTE (V)	3.728	lts	3.728 Lts
PESO VOLUMETRICO	1.385		1.394
PESO VOL. PROMEDIO		1.389	Kg/M3

DENSIDAD			
1. PESO DE LA MUESTRA SATURADA	0.050	Kg.	DENSIDAD 2.27
2. VOLUMEN DEL AGUA DESALOJADA	0.022	Lts.	
3. DENSIDAD (1/2)			

ABSORCION			
1. PESO DE LA MUESTRA SATURADA	500.00	gr.	ABSORCION 8.91 %
2. PESO DE LA MUESTRA SECA	459.00	gr.	
3. DIFERENCIA (PESO DEL AGUA) 1-2	41.00		
4. PORCENTAJE DE ABSORCION (3/2) X 100			

PERDIDA POR LAVADO			
1. PESO MUESTRA SECA (original)	400.00	gr.	% DE FINOS 15.07 %
2. PESO MUESTRA LAVADA SECA	339.70	gr.	
3. DIFERENCIA EN PESO 1-2	60.30	gr.	
4. PORCENTAJE DE FINOS (3/1) X 100			

HUMEDAD			
1. PESO MUESTRA ORIGINAL	286.40	gr.	HUMEDAD 7.11 %
2. PESO MUESTRA SECA	267.40	gr.	
3. DIFERENCIA (PESO DEL AGUA) 1-2	19.00	gr.	
4. PORCENTAJE DE HUMEDAD (3/2)			

COLORIMETRIA	
COLOR:	transparente

OBSERVACIONES: material con alto contenido de finos, los cuales no son de origen orgánico.

L.R.G.
OPERADOR

L.R.G.
CALCULO

L.R.G.
REVISO

Figura 2.8.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

CAPITULO III.

Proporcionamientos para concretos.

III.1. Alcance y objetivo.

Se propondrán cuatro métodos diferentes para el proporcionamiento de un concreto, eligiendo alguno de éstos como base para efectuar el cálculo de las proporciones base de los concretos con resistencia de proyecto de 150, 200 y 250 kg/cm². El método elegido se describirá en forma detallada por medio de un ejemplo.

III.2. Proporcionamiento del concreto.

El diseño de una mezcla de concreto consiste en determinar la cantidad mínima de materiales (cemento, agregados, agua y, en algunos casos, algún aditivo) que deben emplearse para constituir un volumen unitario de concreto fresco, cuya calidad satisfaga los requisitos especificados para un elemento estructural dado.

Se han establecido relaciones fundamentales que proporcionan guías aproximadas a las combinaciones óptimas, pero las proporciones finales deben establecerse por medio de pruebas directas y ajustes en la obra.

Métodos para el proporcionamiento del concreto.

1) Proporción base por cantidad de cemento^{2,3,4}.

En este primer método, basado en la experiencia, se fija la cantidad aproximada de cemento requerida para fabricar un metro cúbico de concreto. Y con dicha cantidad se efectúa un concreto de prueba en el que se hacen los ajustes necesarios para alcanzar las características deseadas.

Para calcular la proporción base, por medio de este método, se requiere conocer lo siguiente: el peso específico del cemento, de la arena y de la grava; la relación agua-cemento en peso; la relación grava-arena en peso y los porcentajes en que entra cada —



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

fracción de la clasificación por tamaños de las gravas.

Quando no se tiene el dato preciso del peso específico del cemento podrá emplearse un valor de 3.15 sin que se cometa un error de consideración².

El peso específico de los agregados, así como el porcentaje de absorción y humedad, se determinan mediante pruebas de laboratorio.

La relación agua/cemento será necesario determinarla de acuerdo a la resistencia que se trate de obtener. La tabla 3.1. podrá emplearse para tal efecto.

Será necesario realizar varias mezclas de prueba para que con ensayos de laboratorio se compruebe que se tiene la resistencia deseada. Es obvio suponer que los valores indicados en la tabla 3.1. no son definitivos para todas las marcas y tipos de cementos, es decir, son valores aproximados que se han obtenido a lo largo de varios estudios e investigaciones, luego, será necesario realizar los estudios precisamente con la marca y tipo de cemento que se vaya a emplear.

La relación grava/arena es muy importante que sea lo más alta posible, es decir, que la mezcla de concreto tenga el menor contenido de arena (de un treinta a un cuarenta por ciento). Entre menos arena se tenga, menor consumo de cemento; el concreto presentará menos contracciones por cambios volumétricos por efectos de cambios de temperatura o de secado y mojado. Se tendrá un concreto de no muy fácil colocación, sin embargo, deberá optarse por el contenido de arena más bajo posible.

Es necesario tener una idea aproximada de la cantidad de cemento que se requiere para fabricar un metro cúbico de concreto; empíricamente se puede partir de que se empleará un kilo de cemento por cada kilo por centímetro cuadrado de resistencia más cincuenta kilogramos, lo que seguramente será insuficiente, pero en los ajustes de la mezcla inicial de prueba, se encontrará que no se tiene el



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

revenimiento deseado y será necesario hacer adiciones de agua y cemento de acuerdo a la relación fijada, lo que aumentará el consumo de cemento por metro cúbico, que finalmente se calculará con las adiciones efectuadas.

relación a/c (en peso)	resistencia probable a la compresión a los 28 días	
	concreto sin aire incluido	concreto con aire incluido
0.36	420	340
0.45	350	280
0.53	280	225
0.62	225	180
0.71	175	140
0.80	140	110

Tabla 3.1. Resistencia a la compresión del concreto para varias relaciones agua/cemento (a/c), en kg/cm².

2) Proporción base por medio de vacíos³.

Este segundo método se basa en la determinación del volumen de los huecos intergranulares producidos por una mezcla de grava y arena con peso volumétrico máximo por metro cúbico, el volumen intergranular determinado, será el volumen correspondiente al cemento y agua (lechada).

Este método es una variante del método anterior pero con la diferencia que en éste se utiliza la relación grava/arena óptima.

Con la relación o proporción grava/arena obtenida con el peso volumétrico máximo, se determina la densidad media de los agregados:

$$\text{densidad media (D.M.)} = \frac{d_a (\% a) + d_g (\% g)}{100}$$

en donde:

d_a = densidad de la arena

d_g = densidad de la grava

$\% a$ = porcentaje de arena



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MÉXICO

% g = porcentaje de grava

con esta densidad media y el peso volumétrico máximo se obtiene el volumen absoluto de agregados por metro cúbico:

$$\text{vol. abs. agregados/m}^3 = \frac{\text{peso volumétrico máximo}}{\text{densidad media}}$$

la diferencia entre el volumen de un metro cúbico y el volumen absoluto de agregados, nos reporta el volumen de vacíos, es decir, la cantidad de lechada que debe emplearse por metro cúbico.

El volumen de cemento se determina con la expresión siguiente:

$$\text{vol. cemento} = \frac{\text{vol. lechada}}{1 + (a/c) dc}$$

en donde:

a/c = relación agua cemento

dc = densidad del cemento

Con el volumen y densidad del cemento, el peso volumétrico de los agregados y las relaciones grava/arena y agua/cemento, se llega a obtener el peso de los materiales por metro cúbico:

$$\text{peso cemento/m}^3 = \text{vol. cemento} (dc)$$

$$\text{peso arena /m}^3 = \text{P.V.M.} (\% a)$$

$$\text{peso grava /m}^3 = \text{P.V.M.} (\% g)$$

$$\text{agua /m}^3 = \text{peso del cemento} (a/c)$$

Finalmente, para obtener la proporción base se dividen los pesos de los materiales entre el peso del cemento.

3) Proporción base por medio de gráficas³.

Los métodos para proporcionamientos para concretos que requieren el uso de gráficas, tablas y nomogramas, pueden ser meramente aproximados y pueden acusar un consumo más elevado de cemento. Si lo se recomienda hacer uso de ellos para los casos en que el volumen de concreto por utilizar sea pequeño o cuando no se disponga de elementos para hacer una determinación directa de la relación grava/are



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

na, que es el punto inicial de los procedimientos de diseño de las mezclas de concreto.

Para diseñar una mezcla de concreto por medio de este método, primeramente se obtiene la relación grava/arena en volumen absoluto (g'/a'), en función de la forma de la grava, tamaño máximo de la misma y del módulo de finura de la arena. Las gráficas 3.1. y 3.2. se pueden emplear para determinar la relación g'/a' .

Con el valor determinado de la relación grava/arena y de acuerdo a la forma y tamaño máximo del agregado se emplea la gráfica 3.3. para conocer la cantidad de agua que se requiere por metro cúbico de concreto (A).

El nomograma de la gráfica 3.4. nos da a conocer el volumen absoluto de la mezcla de los agregados fino y grueso ($a' + g'$), así mismo, el consumo de cemento en kilogramos por metro cúbico (C); a la gráfica se entra con los valores de la relación agua/cemento (A/C) y la cantidad de litros de agua (A). Uniendo estos valores con una línea recta y prolongandola hacia la derecha, ésta cortará los ejes respectivos de los valores que se buscan ($a' + g'$ y C).

Con el valor de la relación grava/arena (g'/a') y el volumen absoluto de la mezcla de los agregados ($a' + g'$), se establece un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas, cuya solución nos proporciona los volúmenes, por separado, de la arena (a') y de la grava (g');

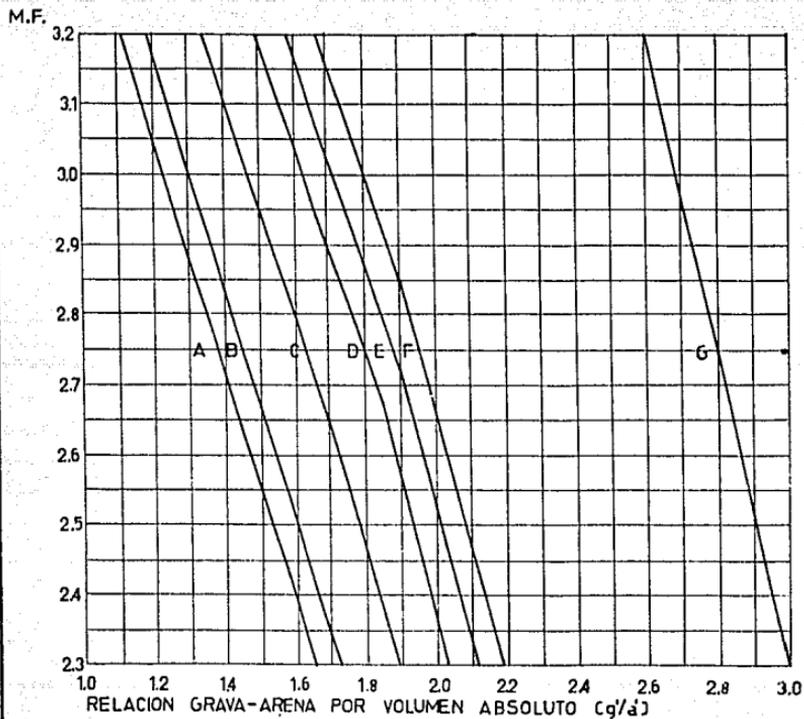
$$a' = \frac{a' + g'}{1 + g'/a'}$$

$$g' = \frac{(a' + g')(g'/a')}{1 + g'/a'}$$

El peso de los materiales, grava y arena, por cada kilo de cemento, se obtiene multiplicando su volumen por su densidad respectiva:

$$\text{peso arena (a)} = a' (d_a)$$

$$\text{peso grava (g)} = g' (d_g)$$

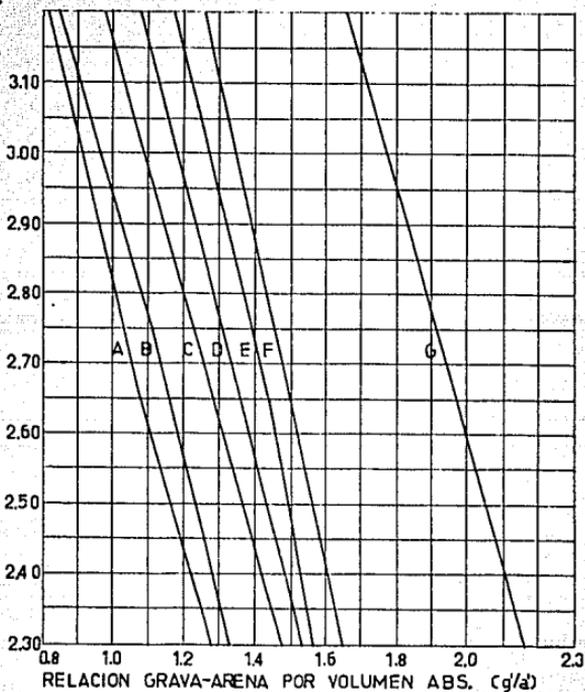


- A = l.m. del agregado = 19 mm = 3/4"
- B = l.m. del agregado = 25 mm = 1"
- C = l.m. del agregado = 38 mm = 1 1/2"
- D = l.m. del agregado = 51 mm = 2"
- E = l.m. del agregado = 63 mm = 2 1/2"
- F = l.m. del agregado = 76 mm = 3"
- G = l.m. del agregado = 152 mm = 6"

Relación grava-arena para agregados redondeados, en función del módulo de finura de la arena y del tamaño máximo de la grava (l.m.).

Gráfico 3.1.

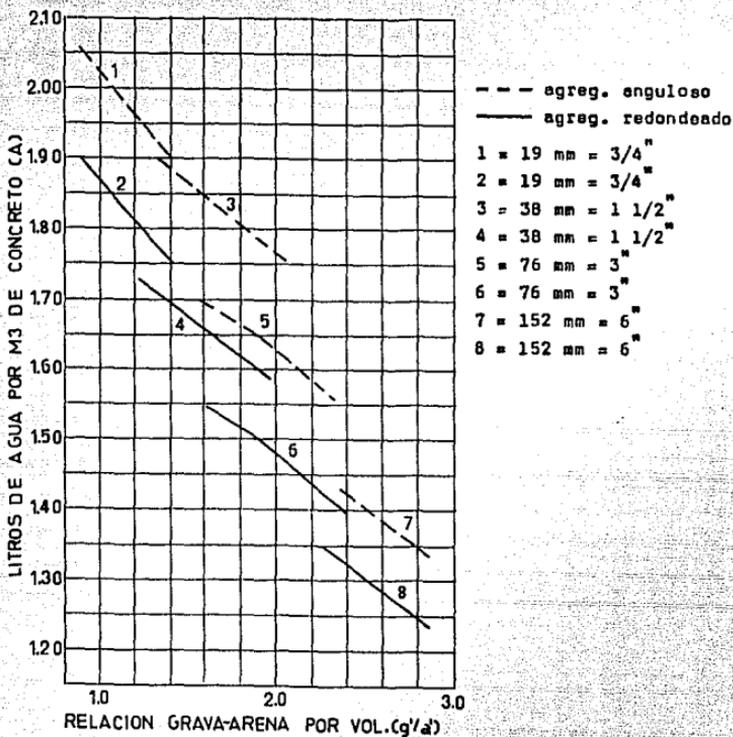
M.F.



- A = I.M. del agregado = 19 mm = 3/4 "
B = I.M. del agregado = 25 mm = 1 "
C = I.M. del agregado = 38 mm = 1 1/2 "
D = I.M. del agregado = 51 mm = 2 "
E = I.M. del agregado = 63 mm = 2 1/2 "
F = I.M. del agregado = 76 mm = 3 "
G = I.M. del agregado = 152 mm = 6 "

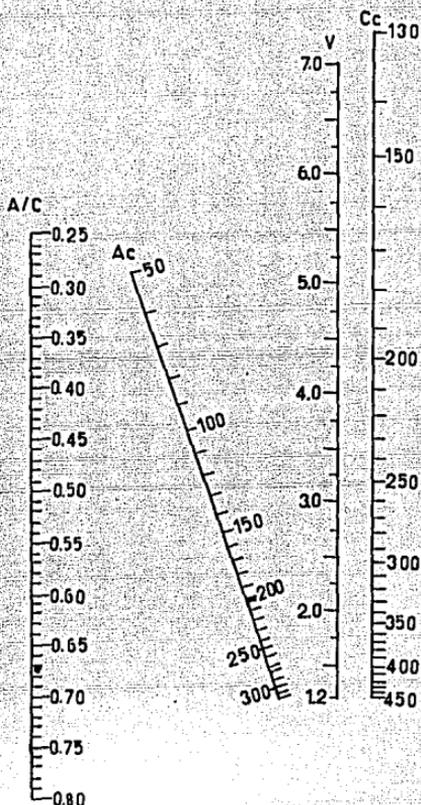
Relación grava-arena para agregados de forma angular en función del módulo de finura de la arena y del tamaño máximo de la grava (I.M.).

Gráfica 3.2.



Cantidad de agua para un metro cúbico de concreto de acuerdo con la relación grava-arena y con el tamaño máximo de la grava.

Gráfica 3.3.



A/C = relación agua/cemento en peso (A/C).

Ac = cantidad de agua (A) en lts/M³.

V = volumen absoluto del agregado total (a' + g') en litros/kilogramo de cemento.

Cc = consumo de cemento (C) en Kg/M³

Consumo de cemento (Kg/M³ de concreto) en función de la relación agua/cemento y de la cantidad de agua por M³ de concreto.

Gráfica 3.4.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

cuyos valores integran la proporción buscada.

4) Proporcionamiento del concreto con tablas y fórmulas³.

Para diseñar una mezcla de concreto por medio de este método, se requieren los datos siguientes: módulo de finura de la arena, tamaño máximo del agregado grueso, porcentaje de absorción y humedad de los agregados, densidad de los materiales y el peso volumétrico - de los mismos.

Para obtener la relación agua/cemento (a/c), se emplea la fórmula de Abrams:

$$f'c = \frac{985}{B^x}$$

en donde:

$f'c$ = resistencia deseada del concreto a la compresión a los 28 días de edad.

x = relación agua/cemento en peso.

B = constante que depende de la calidad del tipo de cemento que se use. Valores medios de B son los siguientes:

tipo I (normal)	$B = 17$
tipo II (modificado)	$B = 10$
tipo III (alta resist. rápida)	$B = 7$

De acuerdo al tamaño máximo del agregado grueso, en la tabla 3.2., se puede obtener el volumen de la arena en por ciento del total de agregados, además, la cantidad de agua por metro cúbico de concreto, valores que deben corregirse de acuerdo a lo indicado en el recuadro inferior de la misma tabla, por diferencia con las condiciones especificadas en la parte superior de la misma.

Con los valores de la relación agua/cemento ($x = a/c$) y la cantidad de agua por metro cúbico (a , de la tabla 3.2.), podemos conocer la cantidad de cemento por metro cúbico de concreto:

$$c = (x) (a)$$

en donde:



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

c = cantidad de cemento en kg/m³
x = valor de la relación agua/cemento (a/c)
a = cantidad de agua en kg/m³

Los volúmenes absolutos de los materiales (cemento, arena, grava y agua) se obtienen con la siguiente expresión:

$$\text{volumen absoluto} = \frac{\text{peso del material}}{\text{densidad del material}}$$

y la suma de los volúmenes respectivos deberá ser igual a 1 000 lts.

Para conocer el peso de los agregados se utiliza la expresión anterior, despejando de ésta al peso:

$$\text{peso del material} = \text{vol. abs. del mat.} \times \text{densidad del mat.}$$

dividiendo los pesos de los agregados, separadamente, entre el peso del cemento (c), se obtiene la proporción base en peso:

$$\begin{array}{ccc} \text{cemento} & \text{arena} & \text{grava} \\ 1.00 & : \frac{\text{peso arena}}{c} & : \frac{\text{peso grava}}{c} \end{array}$$

con la relación agua/cemento (a/c) obtenida anteriormente.

La proporción anterior se debe corregir por efecto de la absorción y la humedad en los agregados, es decir, debe tomarse en cuenta la humedad de los materiales pétreos en el momento de elaborar el concreto, y como previamente se determinó el valor de la absorción de los agregados, se deberán realizar las correcciones correspondientes. La corrección puede ser positiva o negativa; ya sea que la absorción sea mayor que la humedad o viceversa. Corregidos los pesos de los agregados, se vuelven a dividir entre el peso del cemento, reportando de esta manera la nueva proporción.

El método elegido para el proporcionamiento del concreto es el denominado "método por cantidad de cemento". Este método se eligió, en relación a los otros tres, por lo siguiente:

- El método No. 2), por medio de vacíos, implica un alto porcentaje o contenido de agregado fino, con lo que el concreto pre

PROPORCIONAMIENTO DE CONCRETO CON TABLAS Y FORMULAS.

CONDICIONES ; Para A/C = 0.57, revenimiento de 3" y M.F. = 2.75

l.M. del agregado (pulg.)	AGREGADO REDONDEADO	AGREGADO ANGULOSO		
	arena en % del total de agregados en volumen abs.	agua peso neto en kg/M3	arena en % del total de agregados en volumen abs.	agua peso neto en kg/M3
1/2	51	199	56	213
3/4	46	184	51	195
1	41	178	46	193
1 1/2	37	166	42	181
2	34	157	39	172
3	31	148	36	163
6	26	130	31	145

CORRECCIONES PARA OTRAS CONDICIONES

C O N C E P T O S	ARENA (%)	AGUA (en kg/M3)
Por cada 0.05 de aumento o disminución de A/C, respectivamente (partiendo de 0.57)	±1.0	0.0
Por cada 0.10 de aumento o disminución del módulo de finura (partiendo de 2.75)	±0.5	0.0
Por cada pulgada de aumento o disminución del revenimiento (partiendo de 3")	0.0	±3.0
Para arena triturada	3.0	8.9
Para concreto menos trabajable o más seco	-3.0	-4.7

Tabla 3.2.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

sentará mayores cambios volumétricos por efecto de mojado y -secado y un mayor agrietamiento en su acabado, además, este -método no toma en consideración el porcentaje de aire atrapado en la masa de concreto que es inherente a éste.

- Los métodos Nos. 3) y 4), por medio de tablas y gráficas, y -como anteriormente se mencionó, pueden ser aproximados y os- -tentar un consumo más elevado de cemento, siendo éste el ma-terial de mayor costo en la elaboración del concreto; por lo que el uso de estos métodos se ve un tanto restringido, y só- -lo se recomiendan en los casos en que se tengan volúmenes pe-queños de concreto.
- El método elegido, usualmente es el más empleado en la prácti- -ca corriente.

Por las razones anteriores, y elegido el método, detallare- -mos a éste por medio de un ejemplo.

Antes de iniciar el ejemplo, se hace la deducción de la -- fórmula que se empleará para calcular el peso de la arena por metro cúbico. La notación que se empleará es la siguiente:

Va = volumen de la arena
Vg = volumen de la grava
Vl = volumen de lechada
Vag = volumen de grava y arena
Da = densidad de la arena
Dg = densidad de la grava
Pa = peso de la arena
Pg/Pa = relación grava/arena

así, la densidad de la arena es:

$$Da = \frac{Pa}{Va} \dots \dots \dots (1)$$

y la densidad de la grava:

$$Dg = \frac{Pg}{Vg} \dots \dots \dots (2)$$



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

y el volumen de un metro cúbico de concreto es igual a:

$$V_t = V_{ag} + V_l \quad \therefore \quad V_{ag} = V_t - V_l$$

el volumen de los agregados es igual a:

$$V_{ag} = V_a + V_g \quad \dots \quad (3)$$

despejando V_a y V_g de (1) y (2) y sustituyendo en (3) tenemos:

$$V_{ag} = \frac{P_a}{D_a} + \frac{P_g}{D_g} = \frac{(P_a)(D_g) + (P_g)(D_a)}{(D_a)(D_g)}$$

multiplicando por el denominador:

$$V_{ag} (D_a \cdot D_g) = P_a \cdot D_g + P_g \cdot D_a \quad \dots \quad (4)$$

y con:

$$R = \frac{P_g}{P_a} \quad \therefore \quad P_g = R \cdot P_a$$

sustituyendo en (4) y resolviendo, tenemos:

$$V_{ag} (D_a \cdot D_g) = P_a \cdot D_g + R \cdot P_a \cdot D_a$$

$$V_{ag} (D_a \cdot D_g) = P_a (D_g + R \cdot D_a)$$

despejando P_a :

$$P_a = \frac{V_{ag} \cdot D_a \cdot D_g}{D_g + R \cdot D_a} \quad \dots \quad (5)$$

siendo la ecuación (5) la que se utilizará para calcular el peso de la arena.

Cuando se produce concreto se presenta un aspecto que es necesario tomar en cuenta, esto es; que al realizar el mezclado de los materiales del concreto, éstos atrapan aire que quedan dentro de la mezcla en forma de burbujas de diferentes diámetros. El volumen de aire atrapado varía de acuerdo con el tamaño máximo del agregado y que de acuerdo con estudios efectuados, se aceptan los valores indicados en la tabla 3.3.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

tamaño máximo del agregado	cantidad aproximada de aire atrapado en por ciento
9.5 mm (3/8")	3.0
12.7 mm (1/2")	2.5
19.0 mm (3/4")	2.0
25.4 mm (1")	1.5
38.0 mm (1 1/2")	1.0
50.3 mm (2")	0.5
76.0 mm (3")	0.3
152.0 mm (6")	0.2

Tabla 3.3. Cantidad de aire atrapado de acuerdo al tamaño máximo del agregado.

Para el ejemplo que se va a estudiar se tiene: se requiere un concreto con una resistencia de 250 kg/cm^2 , se usará cemento normal tipo I, tamaño máximo del agregado $1 \frac{1}{2}$ " (38 mm), revestimiento de 7 cm, no se empleará inductor de aire.

De acuerdo a los datos del ejemplo y al procedimiento descrito, iniciaremos los cálculos con los valores siguientes:

- cantidad de cemento por emplear (empírico) $250 + 50 = 300 \text{ kg}$
- relación agua/cemento (tabla 3.1.) 0.53
- relación grava/arena (65/35) 1.86
- densidad del cemento (aproximada) 3.15
- densidad de la arena (según laboratorio) 2.33
- densidad de la grava (según laboratorio) 2.36
- porcentaje de aire atrapado (tabla 3.3.) 1.00 %

Para el cálculo de la proporción base es necesario determinar el volumen de cemento por metro cúbico de acuerdo a su densidad; el volumen de agua por metro cúbico de acuerdo a la relación agua/cemento y el volumen de aire atrapado por metro cúbico. Estos volúmenes se suman y se restan del volumen de un metro cúbico (1 000 lts); con la diferencia, los valores de las densidades y la relación grava/arena, se emplea la ecuación (5) para obtener el peso de la arena por metro cúbico de concreto, y con el valor de la relación grava/a-



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

arena se obtiene el peso de la grava por metro cúbico, es decir;

$$\begin{aligned} \text{vol. de cemento por metro cúbico} &= 300 \div 3.15 = 95.24 \text{ lts.} \\ \text{vol. de agua por metro cúbico} &= 300 \times 0.53 = 159.00 \text{ lts.} \\ \text{vol. de aire atrapado por M3} &= 1\ 000 \times 0.01 = 10.00 \text{ lts.} \\ &\text{s u m a} \quad \underline{264.24 \text{ lts.}} \end{aligned}$$

$$\text{vol. de agregados por M3} \quad 1\ 000 - 264.24 = 735.76 \text{ lts.}$$

por lo que el peso de la arena es:

$$P_a = \frac{(735.76)(2.33)(2.36)}{2.36 + (1.86 \times 2.33)} = 604.41 \text{ kg.}$$

y el peso de la grava:

$$P_g = (1.86)(604.41) = 1\ 124.20 \text{ kg}$$

para saber si los valores obtenidos son correctos, se hace una comprobación sumando los volúmenes absolutos; el valor de la suma deberá ser igual a 1 000 lts. más o menos un litro:

$$\begin{aligned} \text{volumen de cemento} &\dots\dots\dots 300 \div 3.15 = 95.24 \text{ lts.} \\ \text{volumen de agua} &\dots\dots\dots 300 \times 0.53 = 159.00 \text{ lts} \\ \text{volumen de aire} &\dots\dots\dots 1\ 000 \times 0.01 = 10.00 \text{ lts.} \\ \text{volumen de arena} &\dots\dots\dots 604.41 \div 2.33 = 259.40 \text{ lts.} \\ \text{volumen de grava} &\dots\dots\dots 1\ 124.20 \div 2.36 = \underline{476.36 \text{ lts.}} \\ \text{volumen total} &\dots\dots\dots 1\ 000.00 \text{ lts.} \end{aligned}$$

El siguiente paso consiste en calcular la proporción base en peso o sea expresarla tomando como unidad un kilogramo de cemento, para lo cual se dividen el peso de la arena y el de la grava entre el peso del cemento:

$$604.41 \div 300 = 2.01$$

$$1\ 124.20 \div 300 = 3.75$$

pero como la grava estará dividida en: grava 1 (G1) 40 % y grava 2 - (G2) 60 %, entonces:

$$G1 = (3.75)(0.40) = 1.50$$

$$G2 = (3.75)(0.60) = 2.25$$

luego, la proporción base en peso es:



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

cemento arena grava 1 grava 2 agua
 1.00 : 2.01 : 1.50 : 2.25 : 0.53

con esta proporción se hace una mezcla de prueba, considerando la humedad y absorción que sustentan los agregados, con el objeto de sostener la relación agua/cemento.

El tamaño de la mezcla de prueba depende del número de cilindros que se deseen colar más un 20 % como desperdicio. Así, si se desean colar seis cilindros de dimensiones estándar (15 cms. de diámetro por 30 cms. de altura), se tiene:

$$\text{vol. de la mezcla de prueba} = \frac{\pi 0.15^2}{4} (0.30) (6) (1.20) = 0.038 \text{ M}^3$$

La cantidad de cemento y los demás componentes, de acuerdo con la proporción base, para obtener un volumen de 0.038 M³, se calcula con una proporción geométrica como sigue:

$$\frac{300 \text{ kg}}{1 \text{ M}^3} = \frac{x}{0.038 \text{ M}^3} \quad \therefore \quad x = \frac{(300 \text{ kg})(0.038 \text{ M}^3)}{1 \text{ M}^3} = 11.45 \text{ kg}$$

como lo más probable es que esta mezcla no dé el revenimiento deseado, se prepararán adiciones de cemento y agua de acuerdo a la relación agua/cemento de 0.53, como se observa en la tabla 3.4.

CEMENTO grs.	AGUA mls.
100	53
200	106
300	159
400	212
500	265
1 000	530

Tabla 3.4. adiciones de agua y cemento para una relación agua/cemento de 0.53.

entonces, los pesos de los materiales, las correcciones por humedad y absorción, así como las adiciones, quedan como sigue:



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

proporción base	peso por revoltura	humedad		absorción		pesos corregidos
		%	kgs	%	kgs	
cemen. 1.00	11.450					11.450
arena 2.01	23.014	4.39	+1.010	6.30	-1.450	22.574
G1 1.50	17.175	1.81	+0.311	5.00	-0.859	16.627
G2 2.25	25.762	1.25	+0.322	5.42	-1.396	24.688
agua 0.53	6.068		-1.643		+3.705	8.130
	83.469	← sumas iguales →				83.469

ADICIONES

cemento grs.	agua mls.	revenimiento cms.
200	106	4.0
400	212	7.5

Con las adiciones de cemento y agua que se añadieron a la mezcla de prueba, la proporción base inicial se ve un tanto afectada, por lo que es necesario calcular la proporción base final y por ende el consumo de materiales por metro cúbico, por lo que se procede de la siguiente manera:

peso de materiales kgs.	proporción base corregida	densidad	volumen lts.
cemento 12.050	1.00	÷ 3.15	0.317
arena 23.014	1.91	÷ 2.33	0.820
grava 1 17.175	1.42	÷ 2.36	0.602
grava 2 25.762	2.14	÷ 2.36	0.907
agua 6.386	0.53	÷ 1.00	0.530

suma 3.176

con el volumen de 3.176 lts. se procede a calcular el volumen de cemento por metro cúbico:

$$\frac{1 \text{ kg. de cemento}}{3.176 \text{ lts. de concreto}} = \frac{x \text{ kg. de cemento}}{990 \text{ lts. de concreto}}$$



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MÉXICO

$$\text{x kg. de cemento/M}^3 = \frac{(1 \text{ kg. de cemento}) (990 \text{ lts. de concreto})}{3.176 \text{ lts. de concreto}}$$

peso de cemento por metro cúbico = 311.71 kg/M³

para comprobar se hace un cálculo con la proporción base final y si el volumen resulta de 990 lts. más 10 lts. de aire atrapado, las cantidades de materiales por metro cúbico son correctas:

	proporción base final	pesos por M ³	densidades	volumenes lts.
cemento	1.00	311.71	÷ 3.15	98.96
arena	1.91	595.37	÷ 2.33	255.52
grava 1	1.42	442.63	÷ 2.36	187.55
grava 2	2.14	667.06	÷ 2.36	282.65
agua	0.53	165.21	÷ 1.00	165.21
		s u m a		989.89

se tiene un error de 0.110 lts. que no es de mucha importancia, por lo que la proporción base final es aceptable.

Existen formas pre-elaboradas en las que se pueden condensar todos los datos de éste procedimiento, como la que se muestra en la figura 3.1. la que contiene todos los datos y cálculos de este ejemplo.

III.2.1. Cálculo de la proporción base para un concreto con resistencia a la compresión axial de 150 kg/cm².

De acuerdo con el método elegido para el cálculo de la proporción base para un concreto, por cantidad de cemento, y que en lo consecutivo será el método que se emplee, se realizarán los cálculos necesarios para la elaboración de un concreto con resistencia a la compresión axial de 150 kg/cm².

Antes de iniciar los cálculos, cabe mencionar que se determinó la curva que muestra la variación que existe entre la relación agua/cemento y la resistencia a la compresión axial. Se elaboraron 5 mezclas (conforme al procedimiento del método elegido) con diferen-

DISEÑO DE MEZCLAS BASICAS

FECHA <u>7/X/85</u>	DISEÑO No. <u>1</u>	PROCEDENCIA DEL AGREGADO <u>triturado y de mina</u>
MARCA Y TIPO DE CEMENTO <u>tolteca, normal tipo I</u>		
RELACION AGUA/CEMENTO <u>0.53</u>	T.M.A. <u>1 1/2"</u>	RELACION GRAVA/ARENA <u>1.86</u>
% GRAVA: 1: <u>26</u> 2: <u>39</u> 3: <u>-</u>	% ARENA <u>35</u>	
DENSIDAD: GRAVA 1: <u>2.36</u> 2: <u>2.36</u> 3: <u>-</u>	ARENA <u>2.33</u>	
MODULO DE FINURA DE LA ARENA <u>-</u>	REVENIMIENTO DE PROJ. <u>7.0</u>	CM.
RESISTENCIA DE PROYECTO <u>250</u>	KG/CM ² -ADITIVOS: <u>ninguno</u>	
CONSUMO DE CEMENTO <u>311.71</u>	KG/M ³ : ARENA <u>595.37</u>	KG/M ³ : GRAVA <u>1 109.69</u> KG/M ³

CALCULO DE MATERIALES

CEMENTO	$300 \div 3.15 = 95.24$ lbs.	1000 - $264.24 = 735.76$ lbs.
AGUA	$300 \times 0.53 = 159.00$ lbs.	$P_m = (735.76)(2.33) - 604.41$ $2.36 + [(1.86)(2.33)]$
AIRE	$1000 \times 0.01 = 10.00$ lbs.	$P_g = 1.86 \times 604.41 = 124.20$ kg
ARENA	$604.41 \div 2.33 = 259.40$ lbs.	$g_1 = 124.20 \times 0.40 = 449.68$ kg
GRAVA	$124.20 \div 2.36 = 476.36$ lbs.	$g_2 = 124.20 \times 0.60 = 674.52$ kg
	SUMA = <u>1000.00</u> lbs.	$g_3 = - \times - = -$ kg
PROPORCION BASE EN PESO <u>1.00 2.01 1.50 2.25 0.53</u>		

CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION

MATERIAL	PESO POR REVOLUTURA	HUMEDAD		ABSORCION		CORRECCION	PESOS CORREGIDOS
		%	KG	%	KG		
CEMENTO	11.450						11.450
ARENA	23.014	4.39	+1.010	6.30	-1.450	-0.440	22.574
G1	17.175	1.81	+0.311	5.00	-0.859	-0.548	16.627
G2	25.762	1.25	+0.322	5.42	-1.396	-1.074	24.688
G3			+		-		
AGUA	6.068		-1.643		+3.705	-2.062	8.130
TOTAL	83.469	← SUMAS IGUALES →					83.469

ADICIONES

REVENIMIENTO INICIAL	3.0	CM
REVENIMIENTO FINAL	7.5	CM
ADICION DE CEMENTO	0.600	KG
ADICION DE AGUA	0.318	LTS

ASPECTOS

ASPECTO DEL CONCRETO	bueno
MANEJABILIDAD	regular
SANGRADO	no hubo
ACABADO	bueno

PROPORCION BASICA CORREGIDA

1.00	1.91	1.42	2.14	0.53
IDENTIFICACION DE TESTIGOS				
CILINDRO No.	EDAD, DIAS	RESISTENCIA KG/CM ²	PROMEDIO	
50	7			
51	7			
52	14			
53	14			
54	28			
55	28			

OBSERVACIONES

OPERADOR

CALCULO

REVISO

Figura 3.1.



tes relaciones agua/cemento; 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 y 0.9 . De cada mezcla (con volumen de 19 lts. cada una) se obtuvieron tres cilindros - moldeados de concreto de dimensiones estándar (15 cm de diámetro por 30 cm. de altura), los cuales se ensayaron a una edad de 28 días, tiempo en el que normalmente el concreto adquiere la resistencia deseada. La elaboración, curado y cabeceo de los especímenes de concreto se efectuó como lo indican las Normas Oficiales Mexicanas: DGN-C- 109-1977 (cabeceo de especímenes cilíndricos de concreto) y DGN-C- 159-1977 (elaboración y curado en el laboratorio de especímenes de concreto). En la elaboración de las mezclas se utilizaron los agregados naturales que intervendrán en las mezclas en donde se requieran, así mismo, con la misma marca y tipo de cemento².

La figura 3.2. muestra los puntos que definen la curva relación agua/cemento-resistencia a la compresión. Cada punto es el promedio aritmético de los tres especímenes de cada mezcla.

En esta curva, de cinco puntos, se puede obtener la relación agua/cemento para cualquier nivel de resistencia dentro de los límites de la misma y de acuerdo a las condiciones, propiedades y características de los materiales empleados es este estudio.

Los datos y cálculos de cada una de las cinco mezclas se localizan en las figuras 3.3., 3.4., 3.5., 3.6. y 3.7. y el registro de resultados (que contiene los datos de cada uno de los cilindros - tales como; diámetro, altura, peso, fecha de elaboración, carga aplicada, área, etc.) de los ensayos de los cilindros de prueba se encuentran en el anexo A.

Para el cálculo de la proporción base para este inciso, se partirá de acuerdo a los siguientes datos:

- cantidad de cemento por emplear (empírico). $150 + 50 = 200$ kg
- tamaño máximo del agregado (grava natural). 3/4" (19 mm)
- relación agua/cemento (figura 3.2). 0.69
- relación grava/arena (propuesta; 65/35) 1.86
- densidad del cemento (aproximada) 3.15
- densidad de la arena (figura 2.8.). 2.27

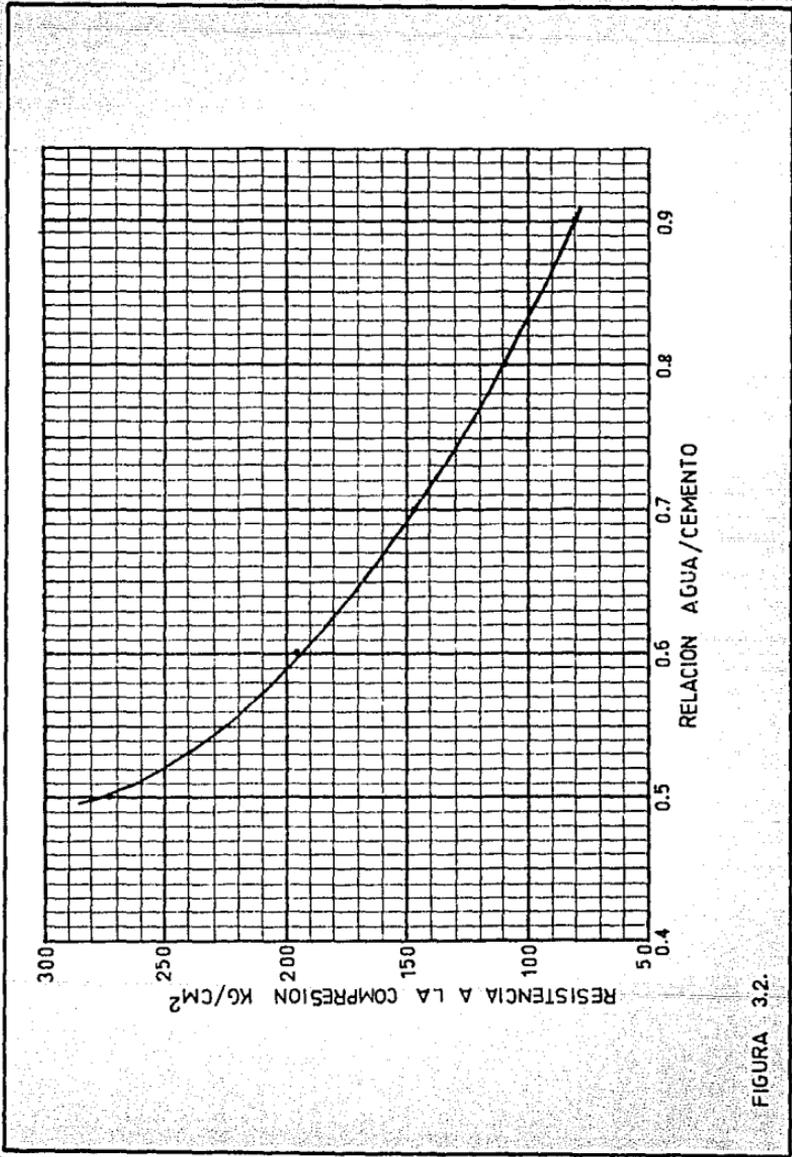


FIGURA 3.2.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

- densidad de la grava (figura 2.4.)	2.37
- humedad de la arena (figura 2.8.)	7.11 %
- humedad de la grava (figura 2.4.)	0.16 %
- absorción de la arena (figura 2.8.)	8.93 %
- absorción de la grava (figura 2.4.)	4.57 %
- porcentaje de aire atrapado (tabla 3.3.)	2.00 %
- revenimiento de proyecto (propuesto)	10.00 cm.

todos estos datos, cálculos, correcciones, adiciones, etc. se encuentran condensados en la figura 3.8.

Este cálculo se tomará como referencia para las mezclas correspondientes al concreto con resistencia a la compresión de 150 kg/cm^2 y que corresponderá al grupo denominado A. El registro de resultados de los cilindros de prueba se localizan en el anexo A, cuya identificación de este bloque es: 1GA150 a 4GA150.

III.2.2. Cálculo de la proporción base para un concreto con resistencia a la compresión axial de 200 kg/cm^2 .

Para el cálculo de la proporción base para este concreto, se partirá de acuerdo a los siguientes datos:

- cantidad de cemento por emplear (empírico). $200 + 50 = 250 \text{ kg}$	
- tamaño máximo del agregado (grava natural)	$3/4''$ (19 mm)
- relación agua/cemento (figura 3.2.)	0.59
- relación grava/arena (propuesta, 65/35)	1.86
- densidad del cemento (aproximada)	3.15
- densidad de la arena (figura 2.8.)	2.27
- densidad de la grava (figura 2.4.)	2.37
- humedad de la arena (figura 2.8.)	7.11 %
- humedad de la grava (figura 2.4.)	0.16 %
- absorción de la arena (figura 2.8.)	8.93 %
- absorción de la grava (figura 2.4.)	4.57 %
- porcentaje de aire atrapado (tabla 3.3.)	2.00 %
- revenimiento de proyecto (propuesto)	10.00 cm.

todos estos datos, correcciones, cálculos, adiciones, etc., se en-

DISEÑO DE MEZCLAS BASICAS

FECHA <u>4/III/87</u>	DISEÑO No. <u>1</u>	PROCEDENCIA DEL AGREGADO <u>natural</u>
MARCA Y TIPO DE CEMENTO <u>Cruz azul, portland tipo II modificado.</u>		
RELACION AGUA/CEMENTO <u>0.90</u>	T.M.A. <u>3/4" (19 mm)</u>	RELACION GRAVA/ARENA <u>1.86</u>
% GRAVA: 1 ^a <u>14.0</u> , 2 ^a <u>51.0</u> , 3 ^a <u>-</u> , 4 ^a <u>-</u>	% ARENA <u>35.0</u>	
DENSIDAD: GRAVA 1 <u>2.37</u> , 2 <u>-</u> , 3 <u>-</u> , 4 <u>-</u>	ARENA <u>2.27</u>	
MODULO DE FINURA DE LA ARENA <u>2.90</u>	REVENIMIENTO DE PRODY. <u>10.0 ± 2.5</u> CM.	
RESISTENCIA DE PROYECTO <u>120</u> KG/CM ²	ADITIVOS: <u>ninguno</u>	
CONSUMO DE CEMENTO <u>170.00</u> KG/M ³	ARENA <u>630.87</u> KG/M ³	GRAVA <u>1 173.42</u> KG/M ³

CALCULO DE MATERIALES

CEMENTO	$170.00 \div 3.15 = 53.97$ lbs.	1 000-	$226.97 = 773.03$ lbs.
AGUA	$170.00 \times 0.90 = 153.00$ lbs.	$P_a = (773.03)(2.27)(2.37) = 630.87$ kg	$2.37 + [(1.86)(2.27)]$
AIRE	$1 000.00 \times 0.02 = 20.00$ lbs.	$P_g = 630.87 \times 1.86 = 1 173.42$ kg	
ARENA	$630.87 \div 2.27 = 277.92$ lbs.	$G_1 = 630.87 \times 1.86 = 1 173.42$ kg	
GRAVA	$1 173.42 \div 2.37 = 495.11$ lbs.	$G_2 = - \times - = -$ kg	
	$G_3 = - \times - = -$ kg		
	SUMA = <u>1 000.00</u> lbs.		
	PROPORCION BASE EN PESO <u>1.00</u>	<u>3.71</u>	<u>6.90</u> <u>0.90</u>

CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION

MATERIAL	PESO POR REVOLUTURA	HUMEDAD		ABSORCION		CORRECCION	PESOS CORREGIDOS
		%	KG	%	KG		
CEMENTO	3.24						3.24
ARENA	12.02	0.06	+0.01	8.93	-1.07	-1.06	10.96
G1	22.36	0.16	+0.04	4.57	-1.02	-0.98	21.38
G2			+				
G3			+				
AGUA	2.92		-0.05		+2.09	+2.04	4.96
TOTAL	40.54						40.54

← SUMAS IGUALES →

ADICIONES	
REVENIMIENTO INICIAL (caído)	10.5 CM
REVENIMIENTO FINAL	10.5 CM
ADICION DE CEMENTO	-- KG
ADICION DE AGUA	-- LTS
ASPECTOS	
ASPECTO DEL CONCRETO	áspero
MANEJABILIDAD	regular
SANGRADO	poco
ACABADO	bueno

PROPORCION BASICA CORREGIDA			
		1.00	3.71
		6.90	0.90
IDENTIFICACION DE TESTIGOS			
CILINDRO No.	EDAD, DIAS	RESISTENCIA KG/CM ²	PROMEDIO
1RAC=0.9	28	76.58	80.18
2RAC=0.9	28	82.39	
3RAC=0.9	28	81.56	

OBSERVACIONES diseño para gráfica q/c-resistencia a la compresión.

OPERADOR

CALCULO

REVISO

Figura 3.3.

DISEÑO DE MEZCLAS BASICAS

FECHA <u>9/III/87</u>	DISEÑO No. <u>2</u>	PROCEDENCIA DEL AGREGADO <u>natural</u>
MARCA Y TIPO DE CEMENTO <u>Cruz azul, portland tipo II modificado</u>		
RELACION AGUA/CEMENTO <u>0.80</u>	T.M. <u>3/4" (19mm)</u>	RELACION GRAVA/ARENA <u>1.86</u>
% GRAVA: 1 ^a <u>14.0</u> 1 ^b <u>51.0</u> 2 ^a <u>-</u> 3 ^a <u>-</u>	% ARENA <u>35.0</u>	
DENSIDAD: GRAVA 1 <u>2.37</u> 2 <u>-</u> 3 <u>-</u>	ARENA <u>2.27</u>	
MODULO DE FINURA DE LA ARENA <u>2.90</u>	REVENIMIENTO DE PROY. <u>10.0 ± 2.5</u> CM.	
RESISTENCIA DE PROYECTO <u>140</u>	KG/CM ² . ADITIVOS: <u>ninguno</u>	
CONSUMO DE CEMENTO <u>190.00</u>	KG/M ³ . ARENA <u>626.50</u>	KG/M ³ . GRAVA <u>1165.29</u> KG/M ³

CALCULO DE MATERIALES

CEMENTO	$190.00 \div 1.15 = 60.32$ lbs.	1000 -	232.32	= 767.68 lbs.
AGUA	$190.00 \times 0.80 = 152.00$ lbs.	P _a	$= (767.68) (2.27) (2.37) + [(1.86) (2.27)]$	= 626.50 kg
AIRE	$1000.00 \times 0.02 = 20.00$ lbs.	P _g	$= 626.50 \times 1.86$	= 1165.29 kg
ARENA	$626.50 \div 2.27 = 275.99$ lbs.	G ₁	$= 626.50 \times 1.86$	= 1165.29 kg
GRAVA	$1165.29 \div 2.37 = 491.68$ lbs.	G ₂	$= - \times - = -$	KG
	SUMA = <u>999.99</u> lbs.	G ₃	$= - \times - = -$	KG
PROPORCION BASE EN PESO <u>1.00 3.30 6.13 0.80</u>				

CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION

MATERIAL	PESO POR REVOLUTURA	HUMEDAD		ABSORCION		CORRECCION	PESOS CORREGIDOS
		%	KG	%	KG		
CEMENTO	3.62						3.62
ARENA	11.95	0.06	+0.01	8.93	-1.07	- 1.06	10.89
G1	22.19	0.16	+0.03	4.57	-1.01	- 0.98	21.21
G2			+		-		
G3			+		-		
AGUA	2.90		-0.04		+2.08	+ 2.04	4.94
TOTAL	40.66	← SUMAS IGUALES →					40.66

ADICIONES

REVENIMIENTO INICIAL (caído)	9.5	CM
REVENIMIENTO FINAL	9.5	CM
ADICION DE CEMENTO	-	KG
ADICION DE AGUA	-	LTS

ASPECTOS

ASPECTO DEL CONCRETO	aspero
MANEJABILIDAD	regular
SANGRADO	poco
ACABADO	bueno

PROPORCION BASICA CORREGIDA

1.00	3.30	6.11	0.80
IDENTIFICACION DE TESTIGOS			
CLINORO No.	EDAD, DIAS	RESISTENCIA KG/CM ²	PROMEDIO
4RAC=0.8	28	105.12	109.31
5RAC=0.8	28	111.87	
6RAC=0.8	28	110.93	

OBSERVACIONES diseño para gráfica a/c-resistencia a la compresión.

OPERADOR

CALCULO

REVISO

Figura 3.4.

DISEÑO DE MEZCLAS BASICAS

FECHA	9/III/87	DISEÑO No.	3	PROCEDECIA DEL AGREGADO	natural
MARCA Y TIPO DE CEMENTO	Cruz azul, portland tipo II modificado				
RELACION AGUA/CEMENTO	0.70	T.M.AJ/4"	(19mm)	RELACION GRAVA/ARENA	1.86
% GRAVA 1; 10	14.0	10	51.0	2	3
DENSIDAD: GRAVA 1	2.37	2	-	3	-
MODULO DE FINURA DE LA ARENA	2.90	REVENIMIENTO DE PROJ.	10.0 ± 2.5	CM.	
RESISTENCIA DE PROYECTO	175	KG/CM ²	ADITIVOS:	ninguno	
CONSUMO DE: CEMENTO	225.00	KG/M ³	ARENA	612.95	KG/M ³
			GRAVA	1 140.09	KG/M ³

CALCULO DE MATERIALES

CEMENTO	$225.00 \div 3.15 = 71.43$ lbs.	1 000-	$248.93 = 751.07$ lbs.
AGUA	$225.00 \times 0.70 = 157.50$ lbs.	$P_a = (751.07) (2.27) (2.37) = 612.95$ kg	
AIRE	$1 000.00 \times 0.02 = 20.00$ lbs.	$P_g = 612.95 \times 1.86 = 140.09$ g	
ARENA	$612.95 \div 2.27 = 270.02$ lbs.	$G_1 = 612.95 \times 1.86 = 140.09$ g	
GRAVA	$1 140.09 \div 2.37 = 481.05$ lbs.	$G_2 = - \times - = -$ Kg	
	$SUMA = 1 000.00$ lbs.	$G_3 = - \times - = -$ Kg	
PROPORCION BASE EN PESO	1.00	2.72	5.07 0.70

CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION

MATERIAL	PESO POR REVOLUTURA	HUMEDAD		ABSORCION		CORRECCION	PESOS CORREGIDOS
		%	KG	%	KG		
CEMENTO	4.29						4.29
ARENA	11.67	0.06	+ 0.01	8.93	- 1.04	- 1.03	10.64
G1	21.75	0.16	+ 0.03	4.57	- 0.99	- 0.96	20.79
G2			+		-		
G3			+		-		
AGUA	3.00		- 0.04		+ 2.03	+ 1.99	4.99
TOTAL	40.71	←----- SUMAS IGUALES -----→					40.71

ADICIONES

REVENIMIENTO INICIAL (caído)	12.0	CM
REVENIMIENTO FINAL	12.0	CM
ADICION DE CEMENTO	-	KG
ADICION DE AGUA	-	LTS
ASPECTOS		
ASPECTO DEL CONCRETO	áspero	
MANEJABILIDAD	regular	
SANGRADO	poor	
ACABADO	bueno	

PROPORCION BASICA CORREGIDA

1.00 2.72 5.07 0.70			
IDENTIFICACION DE TESTIGOS			
CONJUNTO No.	EDAD, DIAS	RESISTENCIA KG/CM ²	PROMEDIO
TRAC=0.7	28	145.51	147.06
BRAC=0.7	28	144.38	
GRAC=0.7	28	151.29	

OBSERVACIONES diseño para gráfica a/c-resistencia a la compresión

OPERADOR

CALCULO

REVISO

Figura 3.5.

DISEÑO DE MEZCLAS BASICAS

FECHA <u>3/III/87</u>	DISEÑO No. <u>4</u>	PROCEDENCIA DEL AGREGADO <u>natural</u>
MARCA Y TIPO DE CEMENTO <u>Cruz azul portland tipo II modificado</u>		
RELACION AGUA/CEMENTO <u>0.60</u>	T.M.A. <u>3/4" (19mm)</u>	RELACION GRAVA/ARENA <u>1.86</u>
% GRAVA: 1; 1a <u>11.0</u> 1b <u>51.0</u> 2 <u>-</u> 3 <u>-</u>	ARENA <u>35.0</u>	
DENSIDAD: GRAVA 1 <u>2.37</u> 2 <u>-</u> 3 <u>-</u>	ARENA <u>2.27</u>	
MODULO DE FIMURA DE LA ARENA <u>2.90</u>	REVENIMIENTO DE PROJ. <u>10.0 ± 2.5</u>	CM.
RESISTENCIA DE PROYECTO <u>225</u>	KG/CM ² : ADITIVOS: <u>ninguno</u>	
CONSUMO DE CEMENTO <u>275.00</u>	KG/M ³ : ARENA <u>593.88</u>	KG/M ³ : GRAVA <u>1 104.62</u>

CALCULO DE MATERIALES

CEMENTO	$275.00 \div 3.15 = 87.30$	lbs.	1 000-	$272.30 = 272.70$	lbs.
AGUA	$275.00 \times 0.60 = 165.00$	lbs.	$P_a = (272.70) (2.27) (2.37) = 593.88$	kg	
AIRE	$1 000.00 \times 0.02 = 20.00$	lbs.	$P_g = 593.88 \times 1.86 = 1 104.62$	g	
ARENA	$593.88 \div 2.27 = 261.62$	lbs.	$G_1 = 593.88 \times 1.86 = 1 104.62$	g	
GRAVA	$1 104.62 \div 2.37 = 466.08$	lbs.	$G_2 = - \times - = -$	kg	
	$466.08 \times 2.37 = 1 104.62$	kg	$G_3 = - \times - = -$	kg	
	SUMA = 1 000.00	lbs.			
	PROPORCION BASE EN PESO	1.00	2.16	4.02	0.60

CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION

MATERIAL	PESO POR REVOLUTURA	HUMEDAD		ABSORCION		CORRECCION	PESOS CORREGIDOS
		%	KG	%	KG		
CEMENTO	5.25						5.25
ARENA	11.34	0.36	+0.01	8.93	-1.01	-1.00	10.34
G1	21.10	0.16	+0.03	4.57	-0.96	-0.93	20.17
G2			+				
G3			+				
AGUA	3.15		-0.04		+1.97	+1.93	5.08
TOTAL	40.84	← SUMAS IGUALES →					40.84

ADICIONES

REVENIMIENTO INICIAL	12.0	CM
REVENIMIENTO FINAL	12.0	CM
ADICION DE CEMENTO	-	KG
ADICION DE AGUA	-	LTS

ASPECTOS

ASPECTO DEL CONCRETO	áspero
MANEJABILIDAD	regular
SANGRADO	poco
ACABADO	bueno

PROPORCION BASICA CORREGIDA

1.00 2.16 4.02 0.60

IDENTIFICACION DE TESTIGOS

CILINDRO No.	EDAD, DIAS	RESISTENCIA KG/CM ²	PROMEDIO
10R/C=0.6	28	198.77	195.96
11R/C=0.6	28	191.58	
12R/C=0.6	28	197.52	

OBSERVACIONES diseño para gráfica a/c-resistencia a la compresión

OPERADOR

CALCULO

REVISO

Figura 3.6.

DISEÑO DE MEZCLAS BASICAS

FECHA <u>2/III/87</u> DISEÑO No. <u>5</u> PROCEDENCIA DEL AGREGADO <u>natural</u>
MARCA Y TIPO DE CEMENTO <u>Cruz azul, portland tipo II modificado</u>
RELACION AGUA/CEMENTO <u>0.50</u> T.M.A. <u>3/4" (19mm)</u> RELACION GRAVA/ARENA <u>1.86</u>
% GRAVA: 1: 1a <u>14.0 lb</u> 51.0 z <u>0.3</u> - <u>35.0</u> % ARENA
DENSIDAD: GRAVA 1 <u>2.37</u> 2 <u>-</u> 3 <u>-</u> ARENA <u>2.27</u>
MODULO DE FINURA DE LA ARENA <u>2.90</u> REVENIMIENTO DE PROJ. <u>10.0 ± 2.5</u> CM.
RESISTENCIA DE PROYECTO <u>250</u> KG/CM ² ADITIVOS: <u>ninguno</u>
CONSUMO DE CEMENTO <u>313.50</u> KG/M ³ ARENA <u>589.93</u> KG/M ³ GRAVA <u>100.38</u> KG/M ³

CALCULO DE MATERIALES

CEMENTO	$300.00 \div 3.15 = 95.24$ lbs.	1000-	$265.24 = 734.76$ lbs.
AGUA	$300.00 \times 0.50 = 150.00$ lbs.	$P_a = (734.76) (2.27) (2.37) = 599.64$	kg
AIRE	$1000.00 \times 0.02 = 20.0$ lbs.	$P_g = 599.64 \times 1.86 = 1115.33$	kg
ARENA	$599.64 \div 2.27 = 264.16$ lbs.	$G_1 = 599.64 \times 1.86 = 1115.33$	kg
GRAVA	$1115.33 \div 2.37 = 470.60$ lbs.	$G_2 = - \times - = -$	kg
	$G_3 = - \times - = -$		kg
	SUMA = <u>1000.00</u> lbs.		
	PROPORCIÓN BASE EN PESO	<u>1.00</u>	<u>2.00</u> <u>3.72</u> <u>0.50</u>

CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION

MATERIAL	PESO POR REVOLUTURA	HUMEDAD		ABSORCION		CORRECCION	PESOS CORREGIDOS
		%	KG	%	KG		
CEMENTO	5.72						5.72
ARENA	11.44	0.06	+ 0.01	8.93	- 1.02	- 1.01	10.43
G1	21.28	0.16	+ 0.03	4.57	- 0.97	- 0.94	20.34
G2			+		-		
G3			+		-		
AGUA	2.86		- 0.04		+ 1.99	+ 1.95	4.81
TOTAL	41.30	← SUMAS IGUALES →					41.30

ADICIONES

REVENIMIENTO INICIAL	7.5	CM
REVENIMIENTO FINAL	11.0	CM
ADICION DE CEMENTO	0.350	KG
ADICION DE AGUA	0.175	LTS
ASPECTOS		
ASPECTO DEL CONCRETO	bueno	
MANEJABILIDAD	buena	
SANGRADO	no hubo	
ACABADO	bueno	

PROPORCION BASICA CORREGIDA

<u>1.00</u>	<u>1.88</u>	<u>3.51</u>	<u>0.50</u>
IDENTIFICACION DE TESTIGOS			
CILINDRO No.	EDAD, DIAS	RESISTENCIA KG/CM ²	PROMEDIO
13RAC=0.5	28	278.10	273.18
14RAC=0.5	28	269.48	
15RAC=0.5	28	271.96	

OBSERVACIONES diseño para gráfica a/c-resistencia a la compresión.

OPERADOR

CALCULO

REVISO

Figura 3.7.

DISEÑO DE MEZCLAS BASICAS

FECHA <u>3/VI/87</u>	DISEÑO No. <u>6</u>	PROCEDECENCIA DEL AGREGADO <u>natural</u>
MARCA Y TIPO DE CEMENTO <u>Cruz azul, portland tipo II modificado.</u>		
RELACION AGUA/CEMENTO <u>0.69</u>	T.M.A. <u>3/4" (19mm)</u>	RELACION GRAVA/ARENA <u>1.86</u>
% GRAVA: 1 <u>14.0</u> 2 <u>51.0</u> 3 <u>-</u> 4 <u>-</u> 5 <u>-</u>	% ARENA <u>35.0</u>	
DENSIDAD: GRAVA 1 <u>2.37</u> 2 <u>-</u> 3 <u>-</u> 4 <u>-</u> 5 <u>-</u>	ARENA <u>2.27</u>	
MODULO DE FINURA DE LA ARENA <u>2.90</u>	REVENIMIENTO DE PROJ. <u>10.0 ± 2.5</u>	CM.
RESISTENCIA DE PROYECTO <u>150</u>	KG/CM ² . ADITIVOS: <u>ninguno</u>	
CONSUMO DE CEMENTO <u>275.90</u>	KG/M ³ : ARENA <u>573.87</u>	KG/M ³ : GRAVA <u>1 064.98</u>

CALCULO DE MATERIALES

CEMENTO	$200.00 \div 3.15 = 63.49$ lbs.	1 000-	$221.49 = 778.51$ lbs.
AGUA	$200.00 \times 0.69 = 138.00$ lbs.	$P_0 = (778.51) (2.27) (2.37) = 635.34$ kg	$2.37 + [(1.86) (2.27)]$
AIRE	$1 000.00 \times 0.02 = 20.00$ lbs.	$P_0 = 635.34 \times 1.86 = 1 181.73$ kg	
ARENA	$635.34 \div 2.27 = 279.89$ lbs.	$O_1 = 635.34 \times 1.86 = 1 181.73$ kg	
GRAVA	$1 181.73 \div 2.37 = 498.62$ lbs.	$O_2 = - \times - = -$ Kg	
	SUMA = <u>999.99</u> lbs.	$O_3 = - \times - = -$ Kg	
PROPORCION BASE EN PESO <u>1.00</u> <u>3.18</u> <u>5.91</u> <u>0.69</u>			

CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION

MATERIAL	PESO POR REVOLUTURA	HUMEDAD		ABSORCION		CORRECCION	PESOS CORREGIDOS
		%	KG	%	KG		
CEMENTO	5.09						5.09
ARENA	16.19	7.11	+ 1.15	8.93	- 1.45	- 0.30	15.89
O1	30.08	0.16	+ 0.05	4.57	- 1.37	- 1.32	28.76
O2			+		-		
O3			+		-		
AGUA	3.51		- 1.20		+ 2.82	+ 1.62	5.13
TOTAL	54.87	← SUMAS IGUALES →					54.87

ADICIONES

REVENIMIENTO INICIAL	0.0	CM
REVENIMIENTO FINAL	11.00	CM
ADICION DE CEMENTO	2.70	KG
ADICION DE AGUA	1.863	LTS

ASPECTOS

ASPECTO DEL CONCRETO	buena
MANEJABILIDAD	buena
SANGRADO	no hubo
ACABADO	buena

PROPORCION BASICA CORREGIDA

<u>1.00</u> <u>2.08</u> <u>1.86</u> <u>0.69</u>			
IDENTIFICACION DE TESTIGOS			
CILINDRO No.	EDAD, DIAS	RESISTENCIA KG/CM ²	PROMEDIO
1CA150	7	185.95	263.55
2CA150	14	218.78	
3CA150	28	268.65	
4CA150	28	258.46	

OBSERVACIONES diseño para mezcla de referencia correspondiente al grupo A. Se emplearon agregados naturales (finos y gruesos).

OPERADOR

CALCULO

REVISO

Figura 3.8.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

cuentran condensados en la figura 3.9.

Este cálculo se tomará como referencia para las mezclas correspondientes al concreto con resistencia a la compresión axial de 200 kg/cm^2 y que corresponderá al grupo denominado B. El registro de resultados de los cilindros de prueba se localiza en el anexo A, cuya identificación de este bloque es : 1GB200 a 4GB200.

III.2.3. Cálculo de la proporción base para un concreto con resistencia a la compresión axial de 250 kg/cm^2 .

Para el cálculo de la proporción base para este concreto, se partirá de acuerdo a los siguientes datos generales:

- cantidad de cemento por emplear (empírico). $250 + 50 = 300 \text{ kg}$	
- tamaño máximo del agregado (grava natural).	$3/4" (19\text{mm})$
- relación agua/cemento (figura 3.2.)	0.52
- relación grava/arena (propuesta, 65/35)	1.86
- densidad del cemento (aproximada)	3.15
- densidad de la arena (figura 2.8.)	2.27
- densidad de la grava (figura 2.4.)	2.37
- humedad de la arena (figura 2.8.)	7.11 %
- humedad de la grava (figura 2.4.)	0.16 %
- absorción de la arena (figura 2.8.)	8.93 %
- absorción de la grava (figura 2.4.)	4.57 %
- porcentaje de aire atrapado (tabla 3.3.)	2.00 %
- revenimiento de proyecto (propuesto)	10.00 cm

todos estos datos, cálculos, correcciones, adiciones, etc. se encuentran condensados en la figura 3.10.

Este cálculo se tomará como referencia para las mezclas correspondientes al concreto con resistencia a la compresión axial de 250 kg/cm^2 y que corresponderá al grupo denominado C. El registro de resultados de los cilindros de prueba se localiza en el anexo A, cuya identificación de este bloque es: 1GC250 a 4GC250.

DISEÑO DE MEZCLAS BÁSICAS

FECHA <u>22/V/87</u>	DISEÑO No. <u>10</u>	PROCEDENCIA DEL AGREGADO <u>natural</u>
MARCA Y TIPO DE CEMENTO	<u>Cruz azul, portland tipo II modificado.</u>	
RELACION AGUA/CEMENTO <u>0.59</u>	T.M.A. <u>3/4" (19mm)</u>	RELACION GRAVA/ARENA <u>1.86</u>
% GRAVA I: <u>14.0</u>	% ARENA <u>35.0</u>	
DENSIDAD: GRAVA I <u>2.37</u>		
MODULO DE FINURA DE LA ARENA <u>2.90</u>	REVENIMIENTO DE PROJ. <u>10.0 ± 2.5</u>	CM.
RESISTENCIA DE PROYECTO <u>200</u>	KG/CM2-ADITIVOS: <u>ninguno</u>	
CONSUMO DE: CEMENTO <u>306.29</u>	KG/M3-ARENA <u>572.80</u>	KG/M3-GRAVA <u>1065.88</u>

CALCULO DE MATERIALES

CEMENTO	$250.00 \div 3.15 = 79.37$ lbs.	1000 = $246.87 = 753.13$ lbs.
AGUA	$250.00 \times 0.59 = 147.50$ lbs.	$P_0 = (753.13)(2.27)(2.37) = 614.63$ kg
AIRE	$1000.00 \times 0.02 = 20.00$ lbs.	$P_0 = 614.63 \times 1.86 = 143.2$ kg
ARENA	$614.63 \div 2.27 = 270.76$ lbs.	$G_1 = 614.63 \times 1.86 = 143.2$ kg
GRAVA	$143.21 \div 2.37 = 482.37$ lbs.	$G_2 = - \times - = -$ Kg
	SUMA = <u>1000.00</u> lbs.	$G_3 = - \times - = -$ Kg
	PROPORCION BASE EN PESO <u>1.00</u>	<u>2.46</u> <u>4.57</u> <u>0.59</u>

CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION

MATERIAL	PESO POR REVOLVUTA	HUMEDAD		ABSORCION		CORRECCION	PESOS CORREGIDOS
		%	KG	%	KG		
CEMENTO	6.36						6.36
ARENA	15.65	7.11	+ 1.11	8.93	- 1.40	- 0.29	15.36
G1	29.07	0.16	+ 0.05	4.57	- 1.33	- 1.28	27.79
G2			+		-		
G3			+		-		
AGUA	3.75		- 1.16		+ 2.73	+ 1.57	5.32
TOTAL	54.83	← SUMAS IGUALES →					54.83

ADICIONES

REVENIMIENTO INICIAL	2.0	CM
REVENIMIENTO FINAL	7.5	CM
ADICION DE CEMENTO	2.000	KG
ADICION DE AGUA	1.180	LTS
ASPECTOS		
ASPECTO DEL CONCRETO	bueno	
MANEJABILIDAD	buena	
SANGRADO	no hubo	
ACABADO	bueno	

PROPORCION BASICA CORREGIDA

1.00 1.87 4.48 0.59			
IDENTIFICACION DE TESTIGOS			
CILINDRO No.	EDAD, DIAS	RESISTENCIA KG/CM2	PROMEDIO
1CB200	7	215.69	271.01
2CB200	14	245.23	
3CB200	28	269.75	
4CB200	28	272.27	

OBSERVACIONES diseño y mezcla de referencia correspondiente al grupo B. se emplearon agregados naturales (finos y gruesos).

OPERADOR

CALCULO

REVISO

Figura 3.9.

DISEÑO DE MEZCLAS BASICAS

FECHA <u>20/V/87</u>	DISEÑO No. <u>14</u>	PROCEDENCIA DEL AGREGADO <u>natural</u>
MARCA Y TIPO DE CEMENTO <u>Cruz azul, portland tipo II modificado</u>		
RELACION AGUA/CEMENTO <u>0.52</u>	T.M.A. <u>3/4" (19mm)</u>	RELACION GRAVA/ARENA <u>1.86</u>
% GRAVA: 1 ^a <u>14.0</u> 2 ^a <u>51.0</u> 3 ^a <u>-</u> 4 ^a <u>-</u>	% ARENA <u>35</u>	
DENSIDAD: GRAVA 1 <u>2.37</u> 2 <u>-</u> 3 <u>-</u>	ARENA <u>2.27</u>	
MODULO DE FINURA DE LA ARENA <u>2.90</u>	REVENIMIENTO DE PROY. <u>10.0 ± 2.5</u>	CM.
RESISTENCIA DE PROYECTO <u>250</u>	KG/CM ² . ADITIVOS: <u>ninguno</u>	
CONSUMO DE CEMENTO <u>379.67</u>	KG/M ³ : ARENA <u>539.14</u>	KG/M ³ : GRAVA <u>1 006.14</u>

CALCULO DE MATERIALES

CEMENTO	$300.00 \div 3.15 = 95.24$ lbs.	1 000 = 271.24 = 728.76 lbs.
AGUA	$300.00 \times 0.52 = 156.00$ lbs.	$P_0 = (728.76) (2.27) (2.37) = 594.74$ kg
AIRE	$1 000.00 \times 0.02 = 20.00$ lbs.	$2.37 + [(1.86) (2.27)]$
ARENA	$594.74 \div 2.27 = 262.00$ lbs.	$P_0 = 594.74 \times 1.86 = 1 066.22$ kg
GRAVA	$1 066.22 \div 2.37 = 466.76$ lbs.	$Q_1 = 594.74 \times 1.86 = 1 066.22$ kg
	SUMA = 1 000.00 lbs.	$Q_2 = - \times - = -$ kg
		$Q_3 = - \times - = -$ kg
PROPORCION BASE EN PESO <u>1.00</u> <u>1.98</u> <u>3.69</u> <u>0.52</u>		

CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION

MATERIAL	PESO POR REVOLVUTA	HUMEDAD		ABSORCION		CORRECCION	PESOS CORREGIDOS
		%	KG	%	KG		
CEMENTO	7.64						7.64
ARENA	15.13	7.11	+ 1.08	8.93	- 1.35	- 0.27	14.86
G1	28.19	0.16	+ 0.05	4.57	- 1.29	- 1.24	26.95
G2			+		-		
G3			+		-		
AGUA	3.97		- 1.13		+ 2.64	+ 1.51	5.48
TOTAL	54.93	← SUMAS IGUALES →					54.93

ADICIONES

REVENIMIENTO INICIAL	2.5	CM
REVENIMIENTO FINAL	10.0	CM
ADICION DE CEMENTO	3.000	KG
ADICION DE AGUA	1.560	LTS

ASPECTOS

ASPECTO DEL CONCRETO	bueno
MANEJABILIDAD	regular
SANGRADO	no hubo
ACABADO	bueno

PROPORCION BASICA CORREGIDA

1.00 1.42 2.65 0.52				
IDENTIFICACION DE TESTIGOS				
CLINDRO	No.	EDAD, DIAS	RESISTENCIA KG/CM ²	PROMEDIO
1C	250	7	243.73	
2C	250	14	289.29	
3C	250	28	322.01	
4C	250	28	321.68	321.84

OBSERVACIONES diseño y mezcla de referencia correspondiente al grupo C. Se emplearon agregados naturales (finos y gruesos).

OPERADOR

CALCULO

REVISO

Figura 3.10.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

CAPITULO IV.

Elaboración de mezclas de concreto con agregados de concreto reciclado y agregados naturales.

IV.1. Alcance y objetivo.

Se realizaron nueve revolturas o mezclas de concreto con un volumen de 25.5 lts. cada una para cubrir las resistencias bajas, medias y altas; 150, 200 y 250 kg/cm^2 , respectivamente, conforme a lo establecido en las figuras 3.8., 3.9. y 3.10. Para cada nivel de resistencia se elaborarán tres juegos de mezclas diferentes utilizando agregados de concreto reciclado (arena y/o grava) y agregados naturales (arena y/o grava) alternativamente. Cada mezcla constará de cuatro especímenes cilíndricos de concreto de dimensiones estándar; el primero será ensayado a la edad de siete días; el segundo a catorce días y los dos restantes a veintiocho días, esto, con el objeto de observar el comportamiento o evolución del concreto con el tiempo para más tarde elaborar las gráficas necesarias que se expondrán en el capítulo V.

IV.2. Concreto con resistencia a la compresión axial de 150 kg/cm^2 .

De acuerdo al cálculo de la figura 3.8., se elaboraron tres mezclas diferentes (1A, 2A y 3A) como se indica en los incisos IV.2.1., IV.2.2. y IV.2.3. Cabe mencionar que se tomó en consideración, en el cálculo de la figura anterior, las densidades, humedades y absorciones de los agregados (finos y gruesos, naturales y reciclados) empleados en cada inciso. Sin embargo, tal consideración no afecta al cálculo general, es decir, se conservó la misma relación agua/cemento en cada caso, por lo que la cantidad inicial de cemento fue la misma para cada mezcla y solamente se modificó la cantidad de agua por mezcla, con el objeto de sostener la relación agua/cemento como se puede observar en el recuadro asignado a las correcciones por humedad y absorción de las figuras 4.1., 4.2. y 4.3.

IV.2.1. Mezcla elaborada con agregado fino reciclado y agregado grueso



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

so natural.

Para elaborar la mezcla (1A) perteneciente a este inciso, se tomó como base el cálculo de la figura 3.8. con los siguientes datos generales:

- cantidad de cemento por emplear (empírico). 150 + 50 = 200 kg	
- tamaño máximo del agregado (grava natural). 3/4" (19 mm)	
- relación agua/cemento (figura 3.2.)	0.69
- relación grava/arena (propuesta, 65/35)	1.86
- densidad del cemento (aproximada)	3.15
- densidad de la arena (figura 2.7.)	2.11
- densidad de la grava (figura 2.4.)	2.37
- humedad de la arena (figura 2.7.)	5.64 %
- humedad de la grava (figura 2.4.)	0.16 %
- absorción de la arena (figura 2.7.)	18.85 %
- absorción de la grava (figura 2.4.)	4.57 %
- porcentaje de aire atrapado (tabla 3.3.)	2.00 %
- revenimiento de proyecto (propuesto)	10.0 cm

estos datos, además de los cálculos, correcciones, adiciones, etc. - se encuentran condensados en la figura 4.1.

El registro, datos y resultados de cada uno de los cilindros de prueba correspondientes a esta mezcla se localizan en el anexo B, cuya identificación de este juego de cuatro cilindros es: - 5GA150 a 8GA150.

IV.2.2. Mezcla elaborada con agregado fino natural y agregado grueso reciclado.

Para la elaboración de esta mezcla (2A) y según el cálculo de la figura 3.8., se partió con los siguientes datos generales:

- cantidad de cemento por emplear (empírico). 150 + 50 = 200 kg	
- tamaño máximo del agregado (grava reciclada). 3/4" (19 mm)	
- relación agua/cemento (figura 3.2.)	0.69
- relación grava/arena (propuesta, 65/35)	1.86
- densidad del cemento (aproximada)	3.15

DISEÑO DE MEZCLAS BASICAS

FECHA <u>3/VI/87</u>	DISEÑO No. <u>7</u>	PROCEDENCIA DEL AGREGADO <u>natural y reciclado</u>
MARCA Y TIPO DE CEMENTO <u>Cruz azul, portland tipo II modificado</u>		
RELACION AGUA/CEMENTO <u>0.69</u>	T.M.A. <u>3/4" (19mm)</u>	RELACION GRAVA/ARENA <u>1.86</u>
% GRAVA: 1: <u>14.0</u> 2: <u>51.0</u> 3: <u>-</u> 4: <u>-</u> 5: <u>-</u>	% ARENA <u>35.0</u>	
DENSIDAD: GRAVA 1: <u>2.37</u> 2: <u>-</u> 3: <u>-</u> 4: <u>-</u> 5: <u>-</u>	ARENA <u>2.11</u>	
MODULO DE FIMURA DE LA ARENA <u>2.90</u>	REVENIMIENTO DE PROJ. <u>10.0 ± 2.5</u> CM.	
RESISTENCIA DE PROYECTO <u>150</u>	KG/CM ² ADITIVOS: <u>ninguno</u>	
CONSUMO DE CEMENTO <u>200.08</u>	KG/M ³ ARENA <u>618.24</u>	KG/M ³ GRAVA <u>1150.45</u>

CALCULO DE MATERIALES

CEMENTO	$200.00 \div 3.15 = 63.49$ lbs.	1000-	$221.49 = 778.51$ lbs.
AGUA	$200.00 \times 0.69 = 138.00$ lbs.	$P_a = \frac{(778.51)(2.11)(2.37)}{2.37 + [(1.86)(2.11)]}$	$= 618.48$ kg
AIRE	$1000.00 \times 0.02 = 20.00$ lbs.	$P_g = 618.48 \times 1.86 = 1150.37$ kg	
ARENA	$618.48 \div 2.11 = 293.12$ lbs.	$G_1 = 618.48 \times 1.86 = 1150.37$ kg	
GRAVA	$1150.37 \div 2.37 = 485.39$ lbs.	$G_2 = - \times - = -$ kg	
	$G_3 = - \times - = -$ kg		
	SUMA = <u>1000.00</u> lbs.		
	PROPORCION BASE EN PESO	<u>1.00</u>	<u>3.09</u> <u>5.75</u> <u>0.69</u>

CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION

MATERIAL	PESO POR REVOLVUTA	HUMEDAD		ABSORCION		CORRECCION	PESOS CORREGIDOS
		%	KG	%	KG		
CEMENTO	5.09						5.09
ARENA	15.73	5.64	+ 0.89	18.85	- 2.97	- 2.08	13.65
G1	29.27	0.16	+ 0.05	4.57	- 1.34	- 1.29	27.98
G2			+		-		
G3			+		-		
AGUA	3.51		- 0.94		+ 4.31	+ 3.37	6.88
TOTAL	53.60	← SUMAS IGUALES →					53.60

ADICIONES

REVENIMIENTO INICIAL (cafdo)	12.00	CM
REVENIMIENTO FINAL	12.00	CM
ADICION DE CEMENTO	-	KG
ADICION DE AGUA	-	LTS
ASPECTOS		
ASPECTO DEL CONCRETO	regular	
MANEJABILIDAD	regular	
SANGRADO	poco	
ACABADO	bueno	

PROPORCION BASICA CORREGIDA

1.00	3.09	5.75	0.69
IDENTIFICACION DE TESTIGOS			
CILINDRO No.	EDAD, DIAS	RESISTENCIA KG/CM ²	PROMEDIO
5GA150	7	60.61	102.15
6GA150	14	73.56	
7GA150	28	102.36	
8GA150	28	101.95	

OBSERVACIONES mezcla 1A combinada, se empleo agregado fino reciclado y agregado grueso natural.

OPERADOR .

CALCULO

REVISO



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

- densidad de la arena (figura 2.8.)	2.27
- densidad de la grava (figura 2.3.)	2.17
- humedad de la arena (figura 2.8.)	7.11 %
- humedad de la grava (figura 2.3.)	4.32 %
- absorción de la arena (figura 2.8.)	8.93 %
- absorción de la grava (figura 2.3.)	10.32 %
- porcentaje de aire atrapado (tabla 3.3.)	2.00 %
- revenimiento de proyecto (propuesto)	10.00 cm

estos datos, cálculos, correcciones, adiciones, etc. se encuentran condensados en la figura 4.2.

El registro, datos y resultados de cada una de los cilindros de prueba correspondientes a esta mezcla se localizan en el anexo B, cuya identificación de este juego de cuatro cilindros es: 9GA150 a 12GA150.

IV.2.3. Mezcla elaborada con agregado fino y grueso reciclado.

Para la elaboración de esta mezcla (3A) y según el cálculo de la figura 3.8., se partió con los siguientes datos generales:

- cantidad de cemento por emplear (empírico). $150 + 50 = 200$ kg	
- tamaño máximo del agregado (grava reciclada)	3/4" (19 mm)
- relación agua/cemento (figura 3.2.)	0.69
- relación grava/arena (propuesta, 65/35)	1.86
- densidad del cemento (aproximada)	3.15
- densidad de la arena (figura 2.7.)	2.11
- densidad de la grava (figura 2.3.)	2.17
- humedad de la arena (figura 2.7.)	5.64 %
- humedad de la grava (figura 2.3.)	4.32 %
- absorción de la arena (figura 2.7.)	18.85 %
- absorción de la grava (figura 2.3.)	10.32 %
- porcentaje de aire atrapado (tabla 3.3.)	2.00 %
- revenimiento de proyecto (propuesto)	10.00 cm

estos datos, cálculos, correcciones, adiciones, etc. se encuentran condensados en la figura 4.3.

DISEÑO DE MEZCLAS BASICAS

FECHA	29/V/87	DISEÑO No.	8	PROCEDENCIA DEL AGREGADO	natural y reciclado
MARCA Y TIPO DE CEMENTO	Cruz azul, portland tipo II modificado				
RELACION AGUA/CEMENTO	0.69	T.M.A	3/4" (19mm)	RELACION GRAVA/ARENA	1.86
% GRAVA 1, 2, 3	14.0	51.0	35.0	% ARENA	35.0
DENSIDAD: GRAVA 1	2.17	2	3	ARENA	2.27
MODULO DE FINURA DE LA ARENA	2.90	REVENIMIENTO DE PROJ.		10.0 ± 2.5	CM.
RESISTENCIA DE PROYECTO	150	KG/CM ² . ADITIVOS:		ninguno	
CONSUMO DE CEMENTO	297.20	KG/M ³ . ARENA	531.31	KG/M ³ . GRAVA	990.83

CALCULO DE MATERIALES

CEMENTO	200.00 ÷ 3.15 = 63.49	lts.	1000 -	221.49	= 778.51	lts.
AGUA	200.00 x 0.69 = 138.00	lts.	P _a =	(778.51) (2.27) (2.17)	= 599.93	kg
AIRE	1000.00 x 0.02 = 20.00	lts.		2.17 + [(1.86) (2.27)]		
ARENA	599.93 ÷ 2.27 = 264.29	lts.	P _g =	599.93 x 1.86 = 1115.87	kg	
GRAVA	1115.87 ÷ 2.17 = 514.23	lts.	g ₁ =	599.93 x 1.86 = 1115.87	kg	
			g ₂ =	- x - = -	kg	
			g ₃ =	- x - = -	kg	
	SUMA = 1000.01	lts.				
	PROPORCION BASE EN PESO	1.00	3.00	5.58	0.69	

CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION

MATERIAL	PESO POR REVOLUTURA	HUMEDAD		ABSORCION		CORRECCION	PESOS CORREGIDOS
		%	KG	%	KG		
CEMENTO	5.09						5.09
ARENA	15.27	7.11	+ 1.09	8.93	- 1.36	- 0.27	15.00
G1	28.40	4.32	+ 1.23	10.32	- 2.93	- 1.70	26.70
G2			+		-		
G3			+		-		
AGUA	3.51		- 2.32		+ 4.29	+ 1.97	5.48
TOTAL	52.27	← SUMAS IGUALES →					52.27

ADICIONES

REVENIMIENTO INICIAL	0.0	CM
REVENIMIENTO FINAL	9.5	CM
ADICION DE CEMENTO	3.150	KG
ADICION DE AGUA	2.176	LTS

ASPECTOS

ASPECTO DEL CONCRETO	bueno
MANEJABILIDAD	bueno
SANGRADO	no hubo
ACABADO	bueno

PROPORCION BASICA CORREGIDA

1.00	1.85	3.45	0.69
IDENTIFICACION DE TESTIGOS			
CILINDRO No.	EDAD, DIAS	RESISTENCIA KG/CM ²	PROMEDIO
9GA150	7	154.53	
10GA150	14	178.71	
11GA150	28	214.12	
12GA150	28	211.91	213.01

OBSERVACIONES mezcla 2A combinada, se empleo agregado fino natural y agregado grueso reciclado

OPERADOR

CALCULO

REVISO

Figura 4.2.

DISEÑO DE MEZCLAS BASICAS

FECHA <u>29V/87</u>	DISEÑO No. <u>9</u>	PROCEDENCIA DEL AGREGADO <u>reciclado</u>
Cruz azul, portland tipo II modificado		
MARCA Y TIPO DE CEMENTO	<u>0.69</u>	T.M.A. <u>3/4" (19mm)</u>
RELACION AGUA/CEMENTO	<u>14.0</u>	RELACION GRAVA/ARENA <u>1.86</u>
% GRAVA: 1, 1a <u>51.0</u>	2 <u>-</u>	3 <u>-</u>
% ARENA <u>35.0</u>		
DENSIDAD: GRAVA 1 <u>2.17</u>	2 <u>-</u>	3 <u>-</u>
ARENA <u>2.11</u>		
MODULO DE FINURA DE LA ARENA <u>2.90</u>	REVENIMIENTO DE PROY. <u>10.0 ± 2.5</u>	CM.
RESISTENCIA DE PROYECTO <u>150</u>	KG/CM ² . ADITIVOS: <u>ninguno</u>	
CONSUMO DE CEMENTO <u>230.01</u>	KG/M ³ . ARENA <u>561.23</u>	KG/M ³ . GRAVA <u>1046.56</u>

CALCULO DE MATERIALES

CEMENTO	$200.00 \div 3.15 = 63.49$	lts.	1000-	$221.49 = 778.51$	lts.
AGUA	$200.00 \times 0.69 = 138.00$	lts.	Pa	$= (778.51) (2.11) (2.17) = 584.87$	kg
AIRE	$1000.00 \times 0.02 = 20.00$	lts.	Pg	$= 584.87 \times 1.86 = 1087.86$	kg
ARENA	$584.87 \div 2.11 = 277.19$	lts.	G1	$= 584.87 \times 1.86 = 1087.86$	kg
GRAVA	$1087.86 \div 2.17 = 501.32$	lts.	G2	$= - \times - = -$	kg
			G3	$= - \times - = -$	kg
SUMA = <u>1000.00</u>		lts.			
PROPORCION BASE EN PESO <u>1.00 2.92 5.44 0.69</u>					

CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION

MATERIAL	PESO POR REVOLUTURA	HUMEDAD		ABSORCION		CORRECCION	PESOS CORREGIDOS
		%	KG	%	KG		
CEMENTO	5.09						5.09
ARENA	14.86	5.64	+ 0.84	18.85	- 2.80	- 1.96	12.90
G1	27.69	4.32	+ 1.20	10.32	- 2.86	- 1.66	26.03
G2			+		-		
G3			+		-		
AGUA	3.51		- 2.04		+ 5.66	+ 3.62	7.13
TOTAL	51.15	← SUMAS IGUALES →					51.15

ADICIONES

REVENIMIENTO INICIAL	<u>2.0</u>	CM
REVENIMIENTO FINAL	<u>8.0</u>	CM
ADICION DE CEMENTO	<u>1.000</u>	KG
ADICION DE AGUA	<u>0.690</u>	LTS

ASPECTOS

ASPECTO DEL CONCRETO	<u>bueno</u>
MANEJABILIDAD	<u>regular</u>
SANGRADO	<u>poco</u>
ACABADO	<u>bueno</u>

PROPORCION BASICA CORREGIDA

<u>1.00</u>	<u>2.44</u>	<u>4.55</u>	<u>0.69</u>
IDENTIFICACION DE TESTIGOS			
CILINDRO No.	EDAD, DIAS	RESISTENCIA KG/CM ²	PROMEDIO
13CA150	7	105.12	160.44
14CA150	14	125.65	
15CA150	28	159.26	
16CA150	28	161.63	

OBSERVACIONES mezcla 3A de material reciclado, se emplearon agregados finos y gruesos reciclados.

OPERADOR

CALCULO

REVISO

Figura 4.3.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

El registro, datos y resultados de cada uno de los cilindros de prueba correspondientes a esta mezcla se localizan en el anexo B cuya identificación de este juego de cuatro cilindros es: 13GA150 a 16GA150.

IV.3. Concreto con resistencia a la compresión axial de 200 kg/cm².

De acuerdo al cálculo de la figura 3.9., se elaboraron tres mezclas diferentes (1B, 2B y 3B) como se advierte en los incisos IV.3.1., IV.3.2. y IV.3.3. De manera similar que en IV.2., se tomó en consideración las densidades, humedades y absorciones de los agregados naturales y reciclados con la aclaración respectiva a tales puntos.

IV.3.1. Mezcla elaborada con agregado fino reciclado y agregado grueso natural.

Para elaborar la mezcla (1B) perteneciente a este inciso, se tomó como base el cálculo de la figura 3.9. con los siguientes datos generales:

- cantidad de cemento por emplear (empírico).	200 + 50 = 250 kg
- tamaño máximo del agregado (grava natural).	3/4" (19 mm)
- relación agua/cemento (figura 3.2.)	0.59
- relación grava/arena (propuesta, 65/35)	1.86
- densidad del cemento (aproximada)	3.15
- densidad de la arena (figura 2.7.)	2.11
- densidad de la grava (figura 2.4.)	2.37
- humedad de la arena (figura 2.7.)	5.64 %
- humedad de la grava (figura 2.4.)	0.16 %
- absorción de la arena (figura 2.7.)	18.85 %
- absorción de la grava (figura 2.4.)	4.57 %
- porcentaje de aire atrapado (tabla 3.3.)	2.00 %
- revenimiento de proyecto (propuesto)	10.00 cm

estos datos, además de los cálculos, correcciones, adiciones, etc. - se encuentran condensados en la figura 4.4.

El registro, datos y resultados de cada uno de los cilin-

DISEÑO DE MEZCLAS BASICAS

FECHA <u>22/V/87</u>	DISEÑO No. <u>11</u>	PROCEDENCIA DEL AGREGADO <u>natural y reciclado</u>
MARCA Y TIPO DE CEMENTO <u>Cruz azul, portland tipo II modificado</u>		
RELACION AGUA/CEMENTO <u>0.59</u>	T.M.A. 3/4" (19mm)	RELACION GRAVA/ARENA <u>1.86</u>
% ORAVA 1: 10 <u>14.0</u>	51.0. 2 <u>—</u>	% ARENA <u>35.0</u>
DENSIDAD: GRAVA 1 <u>2.37</u>	2 <u>—</u>	3 <u>—</u> ARENA <u>2.11</u>
MODULO DE FINURA DE LA ARENA <u>2.90</u>	REVENIMIENTO DE PROJ. <u>10.0 ± 2.5</u>	CM.
RESISTENCIA DE PROYECTO <u>200</u>	KG/CM ² . ADITIVOS: <u>ninguno</u>	
CONSUMO DE CEMENTO <u>250.14</u>	KG/M ³ . ARENA <u>597.83</u>	KG/M ³ . GRAVA <u>113.12</u> KG/M ³

CALCULO DE MATERIALES

CEMENTO	$250.00 \div 3.15 = 79.37$ lts.	1000-	$246.87 = 753.13$ m.
AGUA	$250.00 \times 0.59 = 147.50$ lts.	P _a	$= 753.13 (2.11) (2.37) = 598.32$ kg
			$2.37 + [(1.86)(2.11)]$
AIRE	$1000.00 \times 0.02 = 20.00$ lts.	P _g	$= 598.32 \times 1.86 = 1112.88$ kg
ARENA	$598.32 \div 2.11 = 283.56$ lts.	G ₁	$= 598.32 \times 1.86 = 1112.88$ kg
GRAVA	$1112.88 \div 2.37 = 469.57$ lts.	G ₂	$= - \times - = -$ kg
		G ₃	$= - \times - = -$ kg
	SUMA = <u>1000.00</u> lts.		
	PROPORCION BASE EN PESO <u>1.00</u>	<u>2.39</u>	<u>4.45</u> <u>0.59</u>

CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION

MATERIAL	PESO POR REVOLUTURA	HUMEDAD		ABSORCION		CORRECCION	PESOS CORREGIDOS	
		%	KG	%	KG			
CEMENTO	6.36						6.36	
ARENA	15.20	5.64	+ 0.86	18.85	- 2.87	- 2.01	13.19	
G1	28.30	0.16	+ 0.05	4.57	- 1.29	- 1.24	27.06	
G2			+		-			
G3			+		-			
AGUA	3.75		- 0.91		+ 4.16	+ 3.25	7.00	
TOTAL	53.61						53.61	
		SUMAS IGUALES						

ADICIONES

REVENIMIENTO INICIAL (caído)	12.5	CM
REVENIMIENTO FINAL	12.5	CM
ADICION DE CEMENTO	-	KG
ADICION DE AGUA	-	LTS
ASPECTOS		
ASPECTO DEL CONCRETO	bueno	
MANEJABILIDAD	regular	
SANGRADO	bajo	
ACABADO	bueno	

PROPORCION BASICA CORREGIDA

1.00 2.39 4.45 0.59			
IDENTIFICACION DE TESTIGOS			
CRIMRO No.	EDAD, DIAS	RESISTENCIA KG/CM ²	PROMEDIO
5CB200	7	96.27	
6CB200	14	118.03	
7CB200	28	141.63	139.70
8CB200	28	137.77	

OBSERVACIONES mezcla 1B combinada, se empleo agregado fino reciclado y agregado grueso natural

OPERADOR

CALCULO

REVISO

Figura 4.4.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

dros de prueba correspondientes a esta mezcla se localizan en el anexo B, cuya identificación de este juego de cuatro cilindros es: -- 5GB200 a 8GB200.

IV.3.2. Mezcla elaborada con agregado fino natural y agregado grueso reciclado.

Para la elaboración de esta mezcla (2B) y según el cálculo de la figura 3.9., se partió con los siguientes datos generales:

- cantidad de cemento por emplear (empírico). 200 + 50 = 250 kg	
- tamaño máximo del agregado (grava reciclada). . . 3/4" (19 mm)	
- relación agua/cemento (figura 3.2.)	0.59
- relación grava/arena (propuesta, 65/35)	1.86
- densidad del cemento (aproximada)	3.15
- densidad de la arena (figura 2.8.)	2.27
- densidad de la grava (figura 2.3.)	2.17
- humedad de la arena (figura 2.8.)	7.11 %
- humedad de la grava (figura 2.3.)	4.32 %
- absorción de la arena (figura 2.8.)	8.93 %
- absorción de la grava (figura 2.3.)	10.32 %
- porcentaje de aire atrapado (tabla 3.3.)	2.00 %
- revenimiento de proyecto (propuesto)	10.00 cm

estos datos, cálculos, correcciones, adiciones, etc. se encuentran condensados en la figura 4.5.

El registro, datos y resultados de cada uno de los cilindros de prueba correspondientes a esta mezcla se localizan en el anexo B, cuya identificación de este juego de cuatro cilindros es: -- 9GB200 a 12GB200.

IV.3.3. Mezcla elaborada con agregado fino y grueso reciclado.

Para la elaboración de esta mezcla (3B) y según el cálculo de la figura 3.9., se partió con los siguientes datos generales:

- cantidad de cemento por emplear (empírico). 200 + 50 = 250 kg
- tamaño máximo del agregado (grava reciclada). . . 3/4" (19 mm)

DISEÑO DE MEZCLAS BASICAS

FECHA	27/V/87	DISEÑO No.	12	PROCEDENCIA DEL AGREGADO	natural y reciclado
MARCA Y TIPO DE CEMENTO	Cruz azul, portland tipo II modificado				
RELACION AGUA/CEMENTO	0.59	T.M.A.	3/4" (19mm)	RELACION GRAVA/ARENA	1.86
% GRAVA: 1, 1a	14.0	1b	51.0	2	3
				% ARENA	35.0
DENSIDAD: GRAVA 1	2.17	2	-	3	-
				ARENA	2.27
MODULO DE FINURA DE LA ARENA	2.90	REVENIMIENTO DE PROV.	10.0	+ 2.5	CM.
RESISTENCIA DE PROYECTO	200	KG/CM ²	ADITIVOS:	ninguno	
CONSUMO DE CEMENTO	355.82	KG/M ³	ARENA	505.26	KG/M ³
			GRAVA	942.92	KG/M ³

CALCULO DE MATERIALES

CEMENTO	250.00 ÷	3.15 =	79.37	lts.	1000 -	246.87	=	753.13	lts.
AGUA	250.00 x	0.59 =	147.50	lts.	P _a =	(753.13) (2.27) (2.17) =	580.37	kg	
AIRE	1 000.00 x	0.02 =	20.00	lts.	P _g =	580.37 x	1.86 =	079.48	kg
ARENA	580.37 ÷	2.27 =	255.67	lts.	O ₁ =	580.37 x	1.86 =	079.48	kg
GRAVA	1 079.49 ÷	2.17 =	497.46	lts.	O ₂ =	- x	- =	-	kg
					O ₃ =	- x	- =	-	kg
			SUMA =	1 000.00	lts.				
			PROPORCION BASE EN PESO	1.00	2.32	4.32	0.59		

CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION

MATERIAL	PESO POR REVOLUTURA	HUMEDAD		ABSORCION		CORRECCION	PESOS CORREGIDOS
		%	KG	%	KG		
CEMENTO	6.36						6.36
ARENA	14.76	7.11	+ 1.05	8.93	- 1.32	- 0.27	14.49
G1	27.48	4.32	+ 1.19	10.32	- 2.84	- 1.65	25.83
G2			+		-		
G3			+		-		
AGUA	3.75		- 2.24		+ 4.16	+ 1.92	5.67
TOTAL	52.35						52.35
					SUMAS IGUALES		

ADICIONES

REVENIMIENTO INICIAL	0.0	CM
REVENIMIENTO FINAL	10.5	CM
ADICION DE CEMENTO	4.000	KG
ADICION DE AGUA	2.360	LTS

ASPECTOS

ASPECTO DEL CONCRETO	bueno
MANEJABILIDAD	bueno
SANGRADO	no hubo
ACABADO	bueno

PROPORCION BASICA CORREGIDA

1.00	1.42	2.65	0.59	
IDENTIFICACION DE TESTIGOS				
CLINDRO No.	EDAD, DIAS	RESISTENCIA KG/CM ²	PROMEDIO	
9GB200	7	198.01		
10GB200	14	248.62		
11GB200	28	277.19		
12Cb200	28	278.85		278.02

OBSERVACIONES mezcla 2B combinada, se empleo agregado fino natural y agregado grueso reciclado

OPERADOR

CALCULO

REVISO

Figura 4.5.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

- relación agua/cemento (figura 3.2.)	0.59
- relación grava/arena (propuesta, 65/35)	1.86
- densidad del cemento (aproximada)	3.15
- densidad de la arena (figura 2.7.)	2.11
- densidad de la grava (figura 2.3.)	2.17
- humedad de la arena (figura 2.7.)	5.64 %
- humedad de la grava (figura 2.3.)	4.32 %
- absorción de la arena (figura 2.7.)	18.85 %
- absorción de la grava (figura 2.3.)	10.32 %
- porcentaje de aire atrapado (tabla 3.3.)	2.00 %
- revenimiento de proyecto (propuesto)	10.00 cm

estos datos, cálculos correcciones, adiciones, etc. se encuentran -- condensados en la figura 4.6.

El registro, datos y resultados de cada uno de los cilindros de prueba correspondientes a esta mezcla se localizan en el anexo B, cuya identificación de este juego de cuatro cilindros es: -- 13GB200 a 16GB200.

IV.4. Concreto con resistencia a la compresión axial de 250 kg/cm².

De acuerdo al cálculo de la figura 3.10., se elaboraron -- tres mezclas diferentes (1C, 2C y 3C) como se advierte en los incisos IV.4.1., IV.4.2. y IV.4.3. De manera similar que en IV.2., se tomó en consideración las densidades, humedades y absorciones de los -- agregados naturales y reciclados con la aclaración respectiva a -- los puntos.

IV.4.1. Mezcla elaborada con agregado fino reciclado y agregado grueso natural.

Para elaborar la mezcla (1C) perteneciente a este inciso -- se tomó como base el cálculo de la figura 3.10. con los siguientes -- datos generales:

- cantidad de cemento por emplear (empírico). 250 + 50 = 300 kg	
- tamaño máximo del agregado (grava natural).	3/4" (19 mm)
- relación agua/cemento (figura 3.2.)	0.52

DISEÑO DE MEZCLAS BASICAS

FECHA	27/V/87	DISEÑO No.	13	PROCEDECIA DEL AGREGADO	reciclado
MARCA Y TIPO DE CEMENTO	Cruz azul, portland tipo II modificado				
RELACION AGUA/CEMENTO	0.59	Y.M.A.	3/4" (19mm)	RELACION GRAVA/ARENA	1.86
% GRAVA I; II	14.0	%	51.0	% ARENA	35.0
DENSIDAD: GRAVA I	2.17	g/cm ³		ARENA	2.11
MODULO DE FINURA DE LA ARENA	2.90		REVENIMIENTO DE PROJ.	10.0 ± 2.5	CM.
RESISTENCIA DE PROYECTO	200	KG/CM ²	ADITIVOS:	ninguno	
CONSUMO DE CEMENTO	267.91	KG/M ³	ARENA	551.89	KG/M ³
			GRAVA	1 031.45	KG/M ³

CALCULO DE MATERIALES

CEMENTO	250.00 ÷ 3.15 = 79.37 lbs.	1 000 = 246.87 = 753.13 lbs.
AGUA	250.00 x 0.59 = 147.50 lbs.	P _a = (753.13) (2.11) (2.17) = 565.81 kg
AIRE	1 000.00 x 0.02 = 20.00 lbs.	P _g = 565.81 x 1.86 = 052.44 g
ARENA	565.81 ÷ 2.11 = 268.16 lbs.	G ₁ = 565.81 x 1.86 = 052.44 kg
GRAVA	1 052.41 ÷ 2.17 = 484.98 lbs.	G ₂ = - x - = - Kg
	SUMA = 1 000.01 lbs.	G ₃ = - x - = - Kg
PROPORCION BASE EN PESO 1.00 2.26 4.21 0.59		

CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION

MATERIAL	PESO POR REVOLUTURA	HUMEDAD		ABSORCION		CORRECCION	PESOS CORREGIDOS
		%	KG	%	KG		
CEMENTO	6.36						6.36
ARENA	14.37	5.64	+ 0.81	18.85	- 2.71	- 1.90	12.47
G1	26.78	4.32	+ 1.16	10.32	- 2.76	- 1.60	25.18
G2			+		-		
G3			+		-		
AGUA	3.75		- 1.97		+ 5.47	+ 3.50	7.25
TOTAL	51.26	← SUMAS IGUALES →					51.26

ADICIONES

REVENIMIENTO INICIAL	3.5	CM
REVENIMIENTO FINAL	7.5	CM
ADICION DE CEMENTO	0.600	KG
ADICION DE AGUA	0.354	LTS

ASPECTOS

ASPECTO DEL CONCRETO	bueno
MANEJABILIDAD	regular
SANGRADO	no hubo
ACABADO	bueno

PROPORCION BASICA CORREGIDA

1.00	2.06	3.85	0.59
IDENTIFICACION DE TESTIGOS			
CILINDRO No.	EDAD, DIAS	RESISTENCIA KG/CM ²	PROMEDIO
13CB200	7	104.98	165.67
14GB200	14	141.08	
15GB200	28	165.46	
16GB200	28	165.88	

OBSERVACIONES mezcla 3B de material reciclado, se emplearon agregados finos y gruesos reciclados

OPERADOR

CALCULO

REVISO

Figura 4.6.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

- relación grava/arena (propuesta, 65/35)	1.86
- densidad del cemento (aproximada)	3.15
- densidad de la arena (figura 2.7.)	2.11
- densidad de la grava (figura 2.4.)	2.37
- humedad de la arena (figura 2.7.)	5.64 %
- humedad de la grava (figura 2.4.)	0.16 %
- absorción de la arena (figura 2.7.)	18.85 %
- absorción de la grava (figura 2.4.)	4.57 %
- porcentaje de aire atrapado (tabla 3.3.)	2.00 %
- revenimiento de proyecto (propuesto)	10.00 cm

estos datos, además de los cálculos, correcciones, adiciones, etc. - se encuentran condensados en la figura 4.7.

El registro, datos y resultados de cada uno de los cilindros de prueba correspondientes a esta mezcla se encuentran consignados en el anexo B, cuya identificación de este juego de cuatro cilindros es: 5GC250 a 8GC250.

IV.4.2. Mezcla elaborada con agregado fino natural y agregado grueso reciclado.

Para la elaboración de esta mezcla (2C) y según el cálculo de la figura 3.10., se partió con los siguientes datos generales:

- cantidad de cemento por emplear (empírico). 250 + 50 = 300 kg	
- tamaño máximo del agregado (grava reciclada). . . 3/4" (19 mm)	
- relación agua/cemento (figura 3.2.)	0.52
- relación grava/arena (propuesta, 65/35)	1.86
- densidad del cemento (aproximada)	3.15
- densidad de la arena (figura 2.8.)	2.27
- densidad de la grava (figura 2.3.)	2.17
- humedad de la arena (figura 2.8.)	7.11 %
- humedad de la grava (figura 2.3.)	4.32 %
- absorción de la arena (figura 2.8.)	8.93 %
- absorción de la grava (figura 2.3.)	10.32 %
- porcentaje de aire atrapado (tabla 3.3.)	2.00 %

DISEÑO DE MEZCLAS BASICAS

FECHA	20/V/87 DISEÑO No. 15		PROCEDENCIA DEL AGREGADO	natural y reciclado	
MARCA Y TIPO DE CEMENTO	Cruz azul, portland tipo II modificado				
RELACION AGUA/CEMENTO	0.52	T.M.A. 3/4" (19mm)	RELACION GRAVA/ARENA	1.86	
% ORAVA II; 1a	14.0 lb	51.0 lb	2	3	% ARENA 35.0
DENSIDAD: GRAVA 1	2.37	2	3	ARENA	2.11
MODULO DE FINURA DE LA ARENA	2.90	REVENIMIENTO DE PROJ:	10.0 ± 2.5 CM.		
RESISTENCIA DE PROYECTO	250	KG/CM2-ADITIVOS:	ninguno		
CONSUMO DE CEMENTO	299.98	KG/M3-ARENA	578.96	KG/M3-GRAVA	1 076.92

CALCULO DE MATERIALES

CEMENTO	$300.00 \div 3.15 = 95.24$ lbs.	1 000-	$271.24 = 728.76$ lbs.
AGUA	$300.00 \times 0.52 = 156.00$ lbs.	$P_4 = 728.76 (2.11) (2.37) = 578.96$ kg	$2.37 + [(1.86) (2.11)]$
AIRE	$1 000.00 \times 0.02 = 20.00$ lbs.	$P_0 = 578.96 \times 1.86 = 1 076.87$ kg	
ARENA	$578.96 \div 2.11 = 274.39$ lbs.	$G_1 = 578.96 \times 1.86 = 1 076.87$ kg	
GRAVA	$1 076.87 \div 2.37 = 454.37$ lbs.	$G_2 = - \times - = -$ kg	
	SUMA = 1 000.00 lbs.	$G_3 = - \times - = -$ kg	
PROPORCION BASE EN PESO	1.00	1.93	3.59 0.52

CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION

MATERIAL	PESO POR REVOLUTURA	HUMEDAD		ABSORCION		CORRECCION	PESOS CORREGIDOS
		%	KG	%	KG		
CEMENTO	7.64						7.64
ARENA	14.75	5.64	+ 0.83	18.85	- 2.78	- 1.95	12.80
G1	27.43	0.16	+ 0.04	4.57	- 1.25	- 1.21	26.22
G2			+		-		
G3			+		-		
AGUA	3.97		- 0.87		+ 4.03	+ 3.16	7.13
TOTAL	53.79	SUMAS IGUALES					53.79

ADICIONES

REVENIMIENTO INICIAL	10.5	CM
REVENIMIENTO FINAL	10.5	CM
ADICION DE CEMENTO	-	KG
ADICION DE AGUA	-	LTS
ASPECTOS		
ASPECTO DEL CONCRETO	bueno	
MANEJABILIDAD	buena	
SANGRADO	poco	
ACABADO	bueno	

PROPORCION BASICA CORREGIDA

L.00	1.93	3.59	0.52
IDENTIFICACION DE TESTIGOS			
CILINDRO No.	EDAD, DIAS	RESISTENCIA KG/CM2	PROMEDIO
50C250	7	127.30	175.94
60C250	14	163.77	
70C250	28	177.60	
80C250	28	174.28	

OBSERVACIONES: mezcla 1C combinada, se empleo agregado fino reciclado y agregado grueso natural

OPERADOR

CALCULO

REVISO

Figura 4.7.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

- revenimiento de proyecto (propuesto) 10.00 cm

estos datos, cálculos, correcciones, adiciones, etc. se encuentran condensados en la figura 4.8.

El registro, datos y resultados de cada uno de los cilindros de prueba correspondientes a esta mezcla se localizan en el anexo B, cuya identificación de este juego de cuatro cilindros es: 9CC250 a 12CC250.

IV.4.3. Mezcla elaborada con agregado fino y grueso reciclado.

Para la elaboración de esta mezcla (3C) y según el cálculo de la figura 3.10., se partió con los siguientes datos generales:

- cantidad de cemento por emplear (empírico)	250 + 50 = 300 kg
- tamaño máximo del agregado (grava reciclada)	3/4" (19 mm)
- relación agua/cemento (figura 3.2.)	0.52
- relación grava/arena (propuesta, 65/35)	1.86
- densidad del cemento (aproximada)	3.15
- densidad de la arena (figura 2.7.)	2.11
- densidad de la grava (figura 2.3.)	2.17
- humedad de la arena (figura 2.7.)	5.64 %
- humedad de la grava (figura 2.3.)	4.32 %
- absorción de la arena (figura 2.7.)	18.85 %
- absorción de la grava (figura 2.3.)	10.32 %
- porcentaje de aire atrapado (tabla 3.3.)	2.00 %
- revenimiento de proyecto (propuesto)	10.00 cm

estos datos, cálculos, correcciones, adiciones, etc. se encuentran condensados en la figura 4.9.

El registro, datos y resultados de cada uno de los cilindros de prueba correspondientes a esta mezcla se encuentran consignados en el anexo B, y cuya identificación de este juego de cuatro cilindros es: 13CC250 a 16CC250.

DISEÑO DE MEZCLAS BASICAS

FECHA <u>14/V/87</u> DISEÑO No. <u>16</u> PROCEDENCIA DEL AGREGADO <u>natural y reciclado</u>
MARCA Y TIPO DE CEMENTO <u>Cruz azul, portland tipo II modificado</u>
RELACION AGUA/CEMENTO <u>0.52</u> T.M.A. <u>3/4" (19mm)</u> RELACION GRAVA/ARENA <u>1.86</u>
% GRAVA: 1 ^a <u>14.0</u> 2 ^a <u>51.0</u> 3 ^a <u>-</u> 4 ^a <u>-</u> 5 ^a <u>-</u> % ARENA <u>35.0</u>
DENSIDAD: GRAVA 1 <u>2.17</u> 2 <u>-</u> 3 <u>-</u> 4 <u>-</u> 5 <u>-</u> ARENA <u>2.27</u>
MODULO DE FINURA DE LA ARENA <u>2.90</u> REVENIMIENTO DE PROJ. <u>10.0 ± 2.5</u> CM.
RESISTENCIA DE PROYECTO <u>250</u> KG/CM ² ADITIVOS: <u>ninguno</u>
CONSUMO DE CEMENTO <u>429.06</u> KG/M ³ ARENA <u>179.43</u> KG/M ³ GRAVA <u>899.37</u> KG/M ³

CALCULO DE MATERIALES

CEMENTO	$300.00 \div 3.15 = 95.24$ lbs.	1000-	271.24	=	728.76 lbs.
AGUA	$300.00 \times 0.52 = 156.00$ lbs.	P _a	$= (728.76) (2.27) (2.17) = 561.59$ kg		
AIRE	$1000.00 \times 0.02 = 20.00$ lbs.	P _g	$= 561.59 \times 1.86 = 1044.56$ kg		
ARENA	$561.59 \div 2.27 = 247.40$ lbs.	G ₁	$= 561.59 \times 1.86 = 1044.56$ kg		
GRAVA	$1044.56 \div 2.17 = 481.36$ lbs.	G ₂	$= - \times - = -$ kg		
	SUMA = 1000.00 lbs.	G ₃	$= - \times - = -$ kg		
	PROPORCION BASE EN PESO		<u>1.00</u> <u>1.87</u> <u>3.48</u> <u>0.52</u>		

CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION

MATERIAL	PESO POR REVOLUTURA	HUMEDAD		ABSORCION		CORRECCION	PESOS CORREGIDOS
		%	KG	%	KG		
CEMENTO	7.64						7.64
ARENA	14.29	7.11	+ 1.02	8.93	- 1.28	- 0.26	14.03
G ₁	26.59	4.32	+ 1.15	10.32	- 2.74	- 1.59	25.00
G ₂			+		-		
G ₃			+		-		
AGUA	3.97		- 2.17		+ 4.02	+ 1.85	5.82
TOTAL	52.49						52.49
				SUMAS IGUALES			

ADICIONES

REVENIMIENTO INICIAL	0.0	CM
REVENIMIENTO FINAL	12.5	CM
ADICION DE CEMENTO	5.116	KG
ADICION DE AGUA	2.660	LTS

ASPECTOS

ASPECTO DEL CONCRETO	bueno
MANEJABILIDAD	buena
SANGRADO	no hubo
ACABADO	bueno

PROPORCION BASICA CORREGIDA

	<u>1.00</u>	<u>1.12</u>	<u>2.08</u>	<u>0.52</u>
IDENTIFICACION DE TESTIGOS				
CLIMORO No.	EDAD, DIAS	RESISTENCIA KG/CM ²	PROMEDIO	
90C250	7	215.47		
100C250	14	253.07		
110C250	28	288.81		
120C250	28	293.79		291.30

OBSERVACIONES mezcla 2C combinada, se empleo agregado fino natural y agregado grueso reciclado.

OPERADOR

CALCULO

REVISO

Figura 4.8.

DISEÑO DE MEZCLAS BASICAS

FECHA <u>14/V/87</u>	DISEÑO No. <u>17</u>	PROCEDENCIA DEL AGREGADO <u>reciclado</u>
MARCA Y TIPO DE CEMENTO <u>Cruz azul, portland tipo II modificado</u>		
RELACION AGUA/CEMENTO <u>0.52</u>	T.M.A. <u>3/4" (19mm)</u>	RELACION GRAVA/ARENA <u>1.86</u>
% GRAVA: 1 = <u>14.0</u> 2 = <u>51.0</u> 3 = <u>-</u> 4 = <u>-</u>	% ARENA <u>35.0</u>	
DENSIDAD: GRAVA 1 = <u>2.17</u> 2 = <u>-</u> 3 = <u>-</u> 4 = <u>-</u>	ARENA <u>2.11</u>	
MODULO DE FINURA DE LA ARENA <u>2.90</u>	REVENIMIENTO DE PROY. <u>10.0 ± 2.5</u>	CM.
RESISTENCIA DE PROYECTO <u>250</u>	KG/CM ² ADITIVOS: <u>ninguno</u>	
CONSUMO DE CEMENTO <u>328.53</u>	KG/M ³ ARENA <u>528.93</u>	KG/M ³ GRAVA <u>985.59</u>

CALCULO DE MATERIALES

CEMENTO	$300.00 \div 3.15 = 95.24$ lbs.	1000-	$271.24 = 728.76$ lbs.
AGUA	$300.00 \times 0.52 = 156.00$ lbs.	$P_a = (728.76) (2.11) (2.17) = 547.50$	kg
AIRE	$1000.00 \times 0.02 = 20.00$ lbs.	$P_g = 547.50 \times 1.86 = 1018.35$	kg
ARENA	$547.50 \div 2.11 = 259.48$ lbs.	$G_1 = 547.50 \times 1.86 = 1018.35$	kg
GRAVA	$1018.35 \div 2.17 = 469.29$ lbs.	$G_2 = - \times - = -$	kg
	SUMA = <u>1000.01</u> lbs.	$G_3 = - \times - = -$	kg
PROPORCION BASE EN PESO <u>1.00 1.82 3.39 0.52</u>			

CORRECCION POR HUMEDAD Y ABSORCION

MATERIAL	PESO POR REVOLUTURA	HUMEDAD		ABSORCION		CORRECCION	PESOS CORREGIDOS
		%	KG	%	KG		
CEMENTO	7.64						7.64
ARENA	13.90	5.64	+ 0.78	18.85	- 2.62	- 1.84	12.06
G1	25.90	4.32	+ 1.19	10.32	- 2.67	- 1.48	24.42
G2			+		-		
G3			+		-		
AGUA	3.97		- 1.97		+ 5.29	+ 3.32	7.29
TOTAL	51.41	← SUMAS IGUALES →					51.41

ADICIONES

REVENIMIENTO INICIAL	4.5	CM
REVENIMIENTO FINAL	7.5	CM
ADICION DE CEMENTO	1.000	KG
ADICION DE AGUA	0.520	LTS

ASPECTOS

ASPECTO DEL CONCRETO	bueno
MANEJABILIDAD	bueno
SANGRADO	no hubo
ACABADO	bueno

PROPORCION BASICA CORREGIDA

1.00 1.61 3.00 0.52			
IDENTIFICACION DE TESTIGOS			
CLINDRO No.	EDAD, DIAS	RESISTENCIA KG/CM ²	PROMEDIO
13C250	7	128.95	
14C250	14	167.64	
15C250	28	190.03	186.77
16C250	28	183.51	

OBSERVACIONES mezcla 3C de material reciclado, se emplearon agregados finos y gruesos reciclados

OPERADOR

CALCULO

REVISO

Figura 4.9.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

CAPITULO V.

Análisis de resultados.

V.1. Concreto con resistencia a la compresión axial de 150 kg/cm².

Para esta resistencia se ensayaron 16 cilindros de concreto pertenecientes al grupo A; cuatro de los cuales corresponden a la mezcla de referencia (diseño No. 6, fig. 3.8.); cuatro a la mezcla 1A, combinada (diseño No.7, fig. 4.1.); cuatro a la mezcla 2A, combinada (diseño No.8, fig.4.2.) y cuatro a la mezcla 3A de material reciclado únicamente (diseño No.9, fig. 4.3.). En los anexos A y B se localizan los datos y resultados de cada uno de los cilindros de este grupo.

Con los datos y resultados de los concretos obtenidos con las mezclas anteriormente anotadas, se elaboró la gráfica que muestra la relación edad-resistencia a la compresión (figura 5.1.) y la gráfica que muestra la resistencia obtenida con determinado consumo de cemento por metro cúbico de concreto (figura 5.5., grupo A). De las mencionadas gráficas se desprende lo siguiente:

- Concreto elaborado con agregado fino reciclado y agregado grueso natural (mezcla 1A).

Este concreto presentó la resistencia más baja de su grupo y no logró la resistencia de proyecto a los 28 días de edad, -- así mismo, ostentó el menor consumo de cemento de los concretos de este grupo, como se puede observar en la tabla comparativa - 5.1.

La diferencia de resistencia, a los 28 días de edad, entre la resistencia de este concreto y la más alta obtenida (referencia) para este grupo es de 161.40 kg/cm²; y la diferencia entre la menor siguiente (2A) es de 110.86 kg/cm² y por último, la diferencia entre la menor siguiente (3A) es de 58.29 kg/cm². Cabe observar que el intervalo de separación (aumento de resistencia), independientemente del consumo de cemento, pero con la --



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

misma relación $a/c = 0.69$, para el concreto de la mezcla 1A y los demás concretos, es aproximadamente:

primer caso; concretos 1A y 3A, un tercio de la mayor diferencia obtenida:

$$\frac{161.40}{3} = 53.80 \text{ kg/cm}^2$$

valor que es un tanto aproximado al real de —
58.29 kg/cm^2 .

segundo caso; concretos 1A y 2A, dos tercios de la mayor diferencia obtenida:

$$\frac{2 \times 161.40}{3} = 107.60 \text{ kg/cm}^2$$

cuyo valor es bastante aproximado al real de —
110.86 kg/cm^2 , y por último,

tercer caso; concreto 1A y referencia, tres tercios de la mayor diferencia obtenida, es decir:

$$1 \times 161.40 = 161.40 \text{ kg/cm}^2$$

— Concreto elaborado con agregado fino natural y agregado grueso reciclado (mezcla 2A).

La resistencia obtenida con este concreto fue superior a la de proyecto a los 28 días de edad, logrando a ésta última, aproximadamente a los siete días, esto con un contenido de cemento de 287.20 kg/m^3 de concreto, este concreto presentó el mayor consumo de cemento de su grupo, como se aprecia en la tabla 5.1.

La diferencia de resistencia a los 28 días de edad, entre la resistencia de este concreto y la más alta obtenida (referencia) es de 50.54 kg/cm^2 ; y la diferencia entre la más baja (1A) es de 110.86 kg/cm^2 y por último, la diferencia entre la superior siguiente a la anterior es de 52.57 kg/cm^2 , es decir, el intervalo de separación (aumento o disminución de re-



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MÉXICO

sistencia), independientemente del consumo de cemento y con la misma relación $a/c = 0.69$, entre el concreto de la mezcla 2A y los demás concretos es de aproximadamente:

primer caso; concretos 2A y referencia, un medio de la mayor diferencia obtenida:

$$\frac{110.86}{2} = 55.43 \text{ kg/cm}^2$$

valor un tanto semejante al real de 50.54 kg/cm^2 .

segundo caso; concretos 2A y 3A, un medio de la mayor diferencia obtenida:

$$\frac{110.86}{2} = 55.43 \text{ kg/cm}^2$$

valor muy aproximado al real de 52.57 kg/cm^2

tercer caso; concretos 2A y 1A, dos medios de la mayor diferencia obtenida, es decir:

$$1 \times 110.86 = 110.86 \text{ kg/cm}^2$$

El valor del renglo manejado en este punto es bastante similar al obtenido en el análisis anterior:

$$53.80 \approx 55.43 \text{ kg/cm}^2$$

- Concreto preparado con agregados finos y gruesos reciclados (mezcla 3A).

La resistencia alcanzada con este concreto fue ligeramente superior a la de proyecto, a 28 días de edad, logrando a la anterior aproximadamente a los 24 días y con un contenido de cemento de 230.01 kg/m^3 de concreto (ver tabla 5.1.).

La diferencia de resistencia a los 28 días de edad, entre la resistencia de este concreto y la más alta obtenida (referencia) es de 103.11 kg/cm^2 ; y la diferencia entre la más baja (1A) es de 58.29 kg/cm^2 , y por último, la diferencia entre la -



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

superior siguiente (2A) a la anterior, es de 52.57 kg/cm^2 . En la misma forma que en los análisis anteriores, el intervalo de separación (aumento o decremento de resistencia), independientemente del consumo de cemento pero con la misma relación a/c = 0.69, entre el concreto de la mezcla 3A y los demás concretos es de aproximadamente:

primer caso; concreto 3A y 1A, un medio de la mayor diferencia obtenida:

$$\frac{103.11}{2} = 51.56 \text{ kg/cm}^2$$

cuyo valor se ve un tanto alejado del real de 58.29 kg/cm^2

segundo caso; concretos 3A y 2A, un medio de la mayor diferencia obtenida:

$$\frac{103.11}{2} = 51.56 \text{ kg/cm}^2$$

valor que presenta bastante aproximación con el real de 52.57 kg/cm^2

tercer caso; concretos 3A y referencia, dos medios de la mayor diferencia obtenida, es decir:

$$1 \times 103.11 = 103.11 \text{ kg/cm}^2$$

El valor del rango manejado en este punto es semejante al obtenido en los análisis anteriores:

$$53.80 \approx 55.43 \approx 51.56 \text{ kg/cm}^2$$

De acuerdo a lo anterior, se puede generalizar lo siguiente:

- 1.- Que el concreto elaborado con agregado fino reciclado y agregado grueso natural, reportó la resistencia más baja de su grupo (102.15 kg/cm^2 a 28 días de edad), no logrando la resistencia de proyecto. De acuerdo al consumo de cemento, por cada 1.96 kg. de éste, se obtiene un kilogramo por centímetro cuadrado de resis-



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

- tencia a 28 días de edad con una relación $a/c = 0.69$.
- 2.- Que el concreto preparado con agregado fino natural y agregado grueso reciclado, reporta una resistencia superior a la de proyecto (213.01 kg/cm^2 a 28 días de edad) logrando a ésta última - aproximadamente a una edad de siete días. De acuerdo al consumo de cemento por metro cúbico de concreto, por cada 1.34 kg de éste se obtiene una resistencia de un kilogramo por centímetro cuadrado a 28 días con una relación $a/c = 0.69$.
 - 3.- Que el concreto preparado con agregados finos y gruesos reciclados, reporta una resistencia un poco mayor a la de proyecto (160.44 kg/cm^2 a una edad de 28 días) logrando a ésta última a una edad de aproximadamente 24 días. De acuerdo al consumo de cemento, por cada 1.43 kg. de éste se obtiene un kilogramo por centímetro cuadrado de resistencia a 28 días con una relación $a/c = 0.69$.
 - 4.- Que en los concretos en donde interviene el agregado fino reciclado se observa una disminución significativa de resistencia, - tomando en consideración al consumo de cemento por metro cúbico de concreto.
 - 5.- Que el empleo de agregado grueso reciclado con agregado fino natural es aceptable, siempre y cuando el consumo de cemento sea - un poco mayor que al empleado en concretos preparados con agregados naturales, conservando la misma relación a/c .
 - 6.- Que la diferencia de resistencia a los 28 días de edad entre los concretos de este grupo, es en cierta forma uniforme, como se - vio en el rango de valores obtenidos en los análisis de cada uno de los concretos, conservando la relación agua/cemento (a/c) especificada para este grupo.

V.2. Concreto con resistencia a la compresión axial de 200 kg/cm^2 .

Como en V.1., se ensayaron 16 cilindros de concreto pertenecientes al grupo B; cuatro de los cuales corresponden a la mezcla



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Grupo A.

Resistencia de proyecto = 150 kg/cm^2 .

Relación a/c = 0.69.

Descripción de la Mezcla	Resistencia a la compresión kg/cm^2			Consumo de cemento kg/m^3
	7 días	14 días	28 días	
referencia ag. fino y grueso natural.	185.97	218.78	263.55	275.90
1A, combinada, ag. fino reciclado y - ag. grueso natural	60.61	76.30	102.15	200.08
2A, combinada, ag. fino natural y ag. grueso reciclado	154.53	178.71	213.01	287.20
3A, ag. fino y grueso reciclado	105.12	125.65	160.44	230.01

Tabla 5.1. Resumen de las resistencias de los concretos del grupo A y consumos de cemento por metro cúbico de concreto.

de referencia (diseño No. 10, fig. 3.9.); cuatro a la mezcla 1B, combinada (diseño No. 11, fig. 4.4.); cuatro a la mezcla 2B, combinada (diseño No. 12, fig. 4.5.) y cuatro a la mezcla 3B de material reciclado únicamente (diseño No. 13, fig. 4.6.). En los anexos A y B los datos y resultados de cada uno de los cilindros de este grupo.

Con los datos y resultados de los concretos obtenidos con las mezclas anteriormente descritas, se elaboró la gráfica que muestra la relación edad-resistencia a la compresión (figura 5.2.) y la gráfica que muestra la resistencia obtenida con determinado consumo de cemento por metro cúbico de concreto (fig. 5.5., grupo B). De estas gráficas se desprende lo siguiente:

- Concreto elaborado con agregado fino reciclado y agregado grueso natural (mezcla 1B).

De igual forma que en el concreto 1A, este concreto, 1B,



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

observó la resistencia a la compresión más baja de su grupo, no logrando a la de proyecto a los 28 días de edad; su consumo de cemento fue el más bajo de su grupo, como se aprecia en la tabla comparativa 5.2. Luego, el concreto preparado con los materiales indicados en 1A y 1B, conservan características similares, o sea, no logran la resistencia de proyecto con el mínimo consumo de cemento por metro cúbico de concreto, respectivamente, no obstante que las relaciones a/c difieren; de una relación a/c = 0.69 a una de 0.59, el incremento de resistencia es de 37.55 kg/cm^2 , que es el 36.8 % más de la resistencia del concreto 1A.

La diferencia de resistencia a los 28 días de edad, entre los concretos 1B y su referencia es de 131.31 kg/cm^2 , es decir, 30.09 kg/cm^2 menos que en los concretos 1A y su referencia (1B se aproxima a su referencia).

La diferencia de resistencia entre el concreto 1B y 2B es 138.32 kg/cm^2 , es decir, 27.46 kg/cm^2 más que en los concretos 1A y 2A (2B se aleja de 1B).

Finalmente, la diferencia entre los concretos 1B y 3B es de 25.97 kg/cm^2 , es decir, 32.32 kg/cm^2 menos que en los concretos 1A y 3A (1B se aproxima a 3B).

- Concreto preparado con agregado fino natural y agregado grueso reciclado (mezcla 2B).

La resistencia obtenida con este concreto a los 28 días de edad, fue superior a la de proyecto y a la del concreto de referencia, logrando a la primera, aproximadamente a los siete días de edad, de manera similar que en el concreto 2A, sin embargo, la adquisición de resistencia a edades tempranas fue menor que la obtenida con el concreto de referencia; y el punto de intersección de resistencias fue de 240 kg/cm^2 a los trece días de edad, esto con un consumo de cemento de 355.82 kg/m^3 de concreto y con una relación a/c = 0.59 (tabla 5.2.). Las diferencias



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

anteriores pueden ser el reflejo del alto contenido de cemento en 2B, sin embargo, esta observación no es válida a edades tempranas, como se vio anteriormente.

Al disminuir la relación a/c (de 0.69 a 0.59) y elevando el consumo de cemento, se obtuvo un incremento de resistencia de 65.01 kg/cm^2 , es decir, un 30.5 % más de la resistencia obtenida con el concreto de la mezcla 2A.

La diferencia de resistencia a los 28 días de edad, entre los concretos 2B y su referencia es de 7.01 kg/cm^2 por encima del segundo (2B rebasa a su referencia).

La diferencia de resistencia entre 2B y 1B es de 138.32 kg/cm^2 , es decir, 27.46 kg/cm^2 más que en los concretos 2A y 1A (2B se aleja de 1B).

La diferencia entre 2B y 3B es de 112.35 kg/cm^2 , o sea, 59.58 kg/cm^2 más que en los concretos 2A y 3A (2B se aleja de 3B).

- Concreto preparado con agregados finos y gruesos reciclados (mezcla 3B).

Este concreto no logró alcanzar la resistencia de proyecto y solamente aumentó a ésta en una fracción pequeña (5.24 kg/cm^2) en relación al concreto de la mezcla 3A, no obstante que se aumentó el consumo de cemento y se redujo la relación a/c (tabla 5.2. y fig. 5.5.), es decir, este concreto (3B) no experimentó un aumento apreciable de resistencia y se mantuvo casi estático en la misma resistencia de 3A.

La diferencia entre el concreto 3B y su referencia es de 105.34 kg/cm^2 , o sea, 2.43 kg/cm^2 más que en los concretos 3A y su referencia (referencia se aleja de 3B).

La diferencia entre 3B y 1B es de 25.97 kg/cm^2 , es decir, 32.32 kg/cm^2 menos que en 3A y 1A (1B se aproxima a 3B).

La diferencia entre 3B y 2B es de 112.35 kg/cm^2 , o sea, --



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

59.78 kg/cm^2 más que en los concretos 3A y 2A (2B se aleja de 3B).

Del análisis efectuado a los concretos del grupo B podemos inferir lo siguiente:

- 1.- Que el concreto elaborado con agregado fino reciclado y agregado grueso natural, al igual que en el punto 1 de las generalidades del inciso V.1., no logra alcanzar la resistencia de proyecto — aún y cuando se eleva el consumo de cemento y se reduce la relación a/c, sin embargo, se aprecia un incremento en su resistencia de 37.55 kg/cm^2 más que en 1A. Así mismo, reportó la resistencia más baja de su grupo a los 28 días de edad (139.70 kg/cm^2). De acuerdo al consumo de cemento, por cada 1.79 kg. de éste, se obtiene un kilogramo por centímetro cuadrado de resistencia a 28 días, con una relación a/c = 0.59.
- 2.- Que el concreto preparado con agregado fino natural y grueso reciclado, obtiene una resistencia superior a la de proyecto y a la de su referencia, de acuerdo a la relación a/c manejada para este grupo, pero con un consumo de cemento elevado. La resistencia de proyecto se logró a los siete días; la intersección de resistencias entre 2B y su referencia, aproximadamente se logró a los trece días; las resistencias adquiridas por el concreto 2B a edades tempranas es inferior a las obtenidas con el de su referencia, no así, a edades medias en adelante. Por cada 1.28 kg. de cemento se obtiene una resistencia de un kilogramo por centímetro cuadrado a 28 días con una relación a/c = 0.59.
- 3.- Que el concreto preparado con agregados finos y gruesos reciclados no logró elevar su resistencia en forma apreciable en relación al concreto 3A, aún y cuando se elevó el consumo de cemento y se redujo la relación a/c, como se puede constatar en las figuras 5.1. y 5.2. (concretos 3A y 3B). por cada 1.62 kg. de cemento se obtiene un kilogramo por centímetro cuadrado de resistencia a 28 días con una relación a/c = 0.59.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

- 4.- De la misma forma que en el punto 4 de las generalidades del inciso V.1., se observa que el empleo de agregado fino reciclado conduce a la obtención de resistencias bajas, considerando que se aumenta el consumo de cemento y se disminuye la relación a/c.
- 5.- Que elevando el consumo de cemento, reduciendo la relación a/c y empleando agregado fino natural con agregado grueso reciclado, se obtienen resistencias de bastante aceptación pudiendo ser equiparables a las obtenidas con los concretos preparados con agregados naturales.

Descripción de la mezcla	Resistencia a la compresión kg/cm^2			Consumo de cemento kg/m^3
	Grupo B			
	7 días	14 días	28 días	
referencia ag. fino y grueso natural.	215.69	245.23	271.01	306.29
1B, combinada, ag. fino reciclado y ag. grueso natural	96.27	118.03	139.70	250.14
2B, combinada, ag. fino natural y ag. grueso reciclado.	198.01	248.62	278.02	355.82
3B, ag. fino y grueso reciclado.	104.95	141.08	165.67	267.91

Tabla 5.2. Resumen de las resistencias de los concretos del grupo B y consumos de cemento por metro cúbico de concreto.

V.3. Concreto con resistencia a la compresión axial de 250 kg/cm^2 .

Para este grupo, C, se ensayaron 16 cilindros de concreto; cuatro de los cuales corresponden a la mezcla de referencia (diseño No. 14, fig. 3.10.); cuatro a la mezcla 1C, combinada (diseño No. 15 fig. 4.7.); cuatro a la mezcla 2C, combinada (diseño No. 16, fig. —



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

4.8.) y cuatro a la mezcla 3C de material reciclado únicamente (diseño No. 17, fig. 4.9). En los anexos A y B se localizan los datos y resultados de cada uno de los cilindros de este grupo.

Con los datos y resultados de los concretos de este grupo, se elaboró la gráfica que muestra la relación edad-resistencia a la compresión (figura 5.3.) y la gráfica que muestra la resistencia obtenida con determinado consumo de cemento por metro cúbico de concreto (figura 5.5., grupo C). Del análisis de estas gráficas se puede decir lo siguiente:

- Concreto elaborado con agregado fino reciclado y agregado grueso natural (mezcla 1C).

Se confirma lo discutido en los puntos concernientes a los concretos de las mezclas 1A y 1B. El concreto 1C, una vez más - presentó la resistencia más baja de su grupo a los 28 días, así mismo, no logró la resistencia de proyecto. El consumo de cemento fue el más bajo de su grupo (tabla 5.3.), pero el mínimo especificado para su resistencia; por lo tanto, los concretos preparados con los materiales indicados en 1A, 1B y 1C no logran la resistencia de proyecto, tomando en consideración que se han utilizado diferentes relaciones agua/cemento y por ende aumentos progresivos de cemento por metro cúbico de concreto. De una relación a/c = 0.59 (1B) a una de 0.52 (1C), se obtuvo un incremento de resistencia de 36.24 kg/cm^2 , que viene siendo un 25.94 % más de la resistencia del concreto 1B.

La diferencia de resistencia a los 28 días de edad, entre los concretos 1C y su referencia es de 145.90 kg/cm^2 , es decir, 14.59 kg/cm^2 más que en los concretos 1B y su referencia (1C se aleja de su referencia).

La diferencia de resistencia entre 1C y 2C es de 115.36 kg/cm^2 , o sea, 22.96 kg/cm^2 menos que en los concretos 1B y 2B (2C se aproxima a 1C).

Finalmente, la diferencia entre 1C y 3C es de 10.83



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

kg/cm^2 , o sea, 15.14 kg/cm^2 menos que en 1B y 3B (1C se aproxima a 3C).

- Concreto preparado con agregado fino natural y agregado grueso reciclado (mezcla 2C).

De nuevo, este tipo de concreto registró a los 28 días de edad, una resistencia superior a la de proyecto, sin embargo, no sucedió lo descrito en los puntos V.1. y V.2. en relación a los concretos de las series 2A y 2B, es decir, y apesar de que se aumentó el consumo de cemento y se redujo la relación a/c (tabla 5.3.), este concreto no logró un incremento de resistencia sustancial y solamente obtuvo un incremento de ésta de apenas 13.28 kg/cm^2 en relación a 3B.

La resistencia de proyecto se alcanzó aproximadamente a los 14 días, lo que no sucedió en los concretos 2A y 2B, lo que indica que a medida que disminuye la relación a/c, después de un valor crítico, la resistencia comienza a decrecer. Al disminuir la relación a/c, de 0.59 a 0.52, y elevando el consumo de cemento, se obtuvo un incremento de resistencia, como ya se dijo, de 13.28 kg/cm^2 , o sea, un 4.8 % más de la resistencia obtenida en el concreto 2B; aumenta la resistencia pero pobremente.

La diferencia de resistencia a los 28 días de edad, entre los concretos 2C y su referencia es de 30.54 kg/cm^2 , o sea, 23.53 kg/cm^2 menos que en los concretos 2B y su referencia (2C disminuye y retorna por debajo de su referencia).

La diferencia entre 2C y 1C es de 115.36 kg/cm^2 , es decir, 22.96 kg/cm^2 menos que en 2B y 1B (2C tiende a retornar a 1C).

La diferencia entre 2C y 3C es de 104.53 kg/cm^2 , es decir, 7.82 kg/cm^2 menos que en los concretos 2B y 3B (2C tiende a retornar a 3C).

- Concreto preparado con agregados finos y gruesos reciclados --- (mezcla 3C).



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Como era de esperarse, el concreto de este punto no logró la resistencia de proyecto, y solamente experimentó un aumento de resistencia, en relación al concreto 3B, de 21.10 kg/cm^2 , — con los consevidos aumentos y disminuciones de cemento y de la relación a/c, respectivamente (tabla 5.3.).

La diferencia de resistencia entre los concretos 3C y su referencia es de 135.07 kg/cm^2 , o sea, 29.73 kg/cm^2 más que en los concretos 3B y su referencia (referencia se aleja de 3C).

La diferencia entre 3C y 1C es de 10.83 kg/cm^2 , o sea, — 15.14 kg/cm^2 menos que en 3B y 1B (1C se aproxima a 3C).

La diferencia entre 3C y 2C es de 104.53 kg/cm^2 , o sea, — 7.82 kg/cm^2 menos que en 3B y 2B (3C se aproxima a 2C).

Del análisis efectuado a los concretos de este grupo (C), podemos inferir lo siguiente:

- 1.- Se confirma que el concreto preparado con agregado fino reciclado y agregado grueso natural no ogra la resistencia de proyecto, considerando que se aumentó el consumo de cemento y se disminuyó la relación a/c, sin embargo, se aprecia un incremento de resistencia, en relación a 1B, de no muy poca importancia ($36.24 \text{ --- kg/cm}^2$), así mismo, reportó la resistencia más baja de su grupo a los 28 días de edad, con el mínimo consumo de cemento especificado para la resistencia de proyecto. De acuerdo al consumo de cemento por metro cúbico de concreto, por cada 1.70 kg de éste, se obtiene un kilogramo por centímetro cuadrado de resistencia a los 28 días de edad, con una relación a/c = 0.52.
- 2.- Que el concreto preparado con agregado fino natural y agregado grueso reciclado, de nuevo obtuvo una resistencia superior a la de proyecto, pero se observa que el incremento de resistencia a 28 días, es en cierta forma de poca importancia, comparado con la resistencia de 2B (291.30 y 278.02 kg/cm^2 , respectivamente), es decir, el intervalo de incremento de resistencia es de tan sólo de 13.28 kg/cm^2 , considerando que para este concreto (2C) —



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

se aumentó el contenido de cemento y se redujo la relación a/c. Por otro lado, la resistencia de proyecto se alcanzó a los 14 días, aproximadamente (el incremento de resistencia a edades tempranas se torna lento). Por cada 1.47 kg. de cemento se obtiene un kilogramo por centímetro cuadrado de resistencia a 28 días, con una relación a/c = 0.52.

- 3.- Se confirma que el concreto preparado con agregados finos y gruesos reciclados no logran elevar su resistencia en forma apreciable, aún y cuando se eleva el consumo de cemento y se reduce la relación a/c. Por cada 1.76 kg. de cemento se obtiene un kilogramo por centímetro cuadrado de resistencia a los 28 días, con una a/c = 0.52
- 4.- Se confirma que el empleo de agregado fino reciclado en la producción de concretos, conduce a la obtención de resistencias bajas, no importando ni el consumo de cemento ni la relación a/c.
- 5.- Que de acuerdo a la relación a/c manejada en este grupo (C) y empleando agregado fino natural con agregado grueso reciclado, el comportamiento del concreto así elaborado, se ve un tanto mejorado en comparación con los concretos 2A y 2B.

Adicionalmente, con los datos obtenidos a los 28 días de edad de los concretos de los grupos A, B y C, se elaboró la gráfica relación a/c-resistencia a la compresión (figura 5.4.), con el objeto de verificar y comparar la relación anterior para cada tipo de concreto, según los materiales pétreos empleados en cada caso.

De acuerdo a los análisis realizados a cada uno de los concretos de las tres series de mezclas, A, B y C, se concluye lo siguiente:

- i.- El concreto preparado con agregado fino reciclado y agregado grueso natural, reporta resistencias demasiado bajas para cualquier relación a/c y cualquier consumo de cemento por metro cúbico de concreto. Sin embargo, se observa que a medida que se reduce la relación a/c, este tipo de concreto logra -



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

un aumento relativo de resistencia, como se puede apreciar - en la tabla comparativa 5.4. y figuras 5.1., 5.2., 5.3. y - 5.4. Otros autores¹⁷ han obtenido resultados similares, en consecuencia el uso de este tipo de concreto es no satisfactorio. Cabe mencionar que en la referencia No. 17, recomiendan que cuando se utiliza agregado fino reciclado en la elaboración de concretos, se substituya la porción de material que pasa la malla No. 100, en igual cantidad de material natural.

- ii.- Con el concreto elaborado con agregado fino natural y agregado grueso reciclado, se obtienen resistencias aceptables para cualquier relación a/c, en comparación con las obtenidas con los concretos elaborados con agregados naturales, siempre y cuando se incremente, en un porcentaje pequeño, el consumo de cemento por metro cúbico de concreto, proporcionando a éste último por el laboratorio, de acuerdo a los estudios y compensaciones que se realicen.
- iii.- El concreto elaborado únicamente con agregados pétreos reciclados, pueden tener su mayor aplicación en concretos de baja resistencia, como se advierte en las figuras 5.1., 5.2., 5.3. y 5.4. y tabla 5.4., es decir, con las relaciones a/c - manejadas en este estudio (0.69, 0.59 y 0.52) se notó que el concreto mantuvo un nivel de resistencia casi constante, advirtiéndose incrementos ligeros de resistencia a medida que se disminuía la relación a/c, presentando en todos los casos resistencias mayores a 150 kg/cm^2 , de ahí el uso que se recomienda, sin embargo, y de acuerdo a la referencia No. 17, la resistencia de este concreto puede ser mejorada, a reserva - de estudios posteriores que demuestren tal aseveración.
- iv.- Es posible el empleo de agregados pétreos de concreto reciclado en la elaboración de concretos nuevos, considerando - las observaciones a lo largo de este estudio.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

Descripción de la mezcla	Resistencia a la compresión kg/cm^2			Consumo de cemento kg/m^3
	7 días	14 días	28 días	
referencia ag. fi- no y grueso natu- ral	243.73	289.29	321.84	379.67
1C, combinada, ag. fino reciclado y ag. grueso natural	127.30	163.77	175.94	299.98
2C, combinada, ag. fino natural y ag. grueso reciclado	215.47	253.07	291.30	428.06
3C, ag. fino y --- grueso reciclado	128.95	167.64	186.77	328.53

Tabla 5.3. Resumen de las resistencias de los concretos del grupo C
y consumos de cemento por metro cúbico de concreto.

Descripción de la mezcla	Relación a/c	1 kg/cm^2 de resistencia a los 28 días, por cada: (kgs. de cemento)
1A, combinada, ag. fino reciclado y ag. grueso natural	0.69	1.96
1B, combinada, ag. fino reciclado y ag. grueso natural	0.59	1.34
1C, combinada, ag. fino reciclado y ag. grueso natural	0.52	1.43

Continúa...

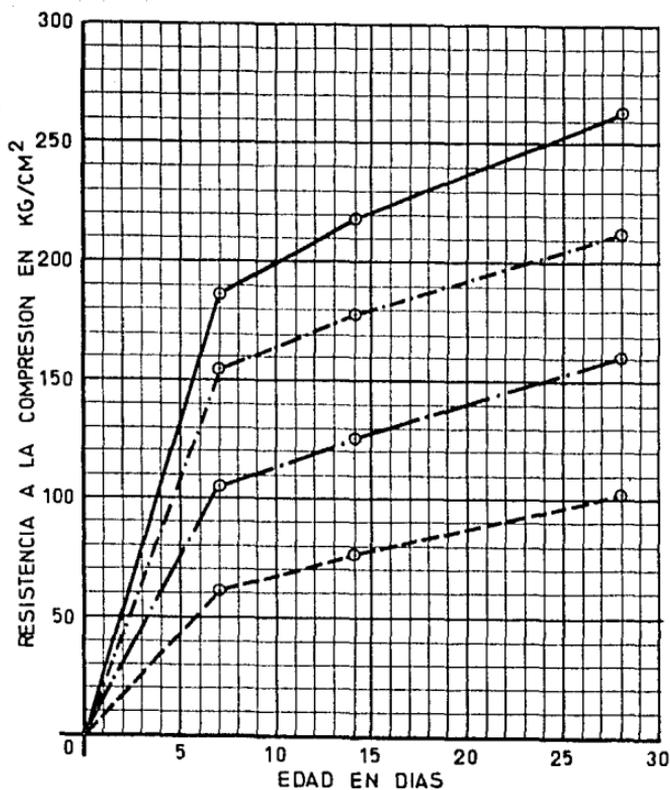


continuación.

UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

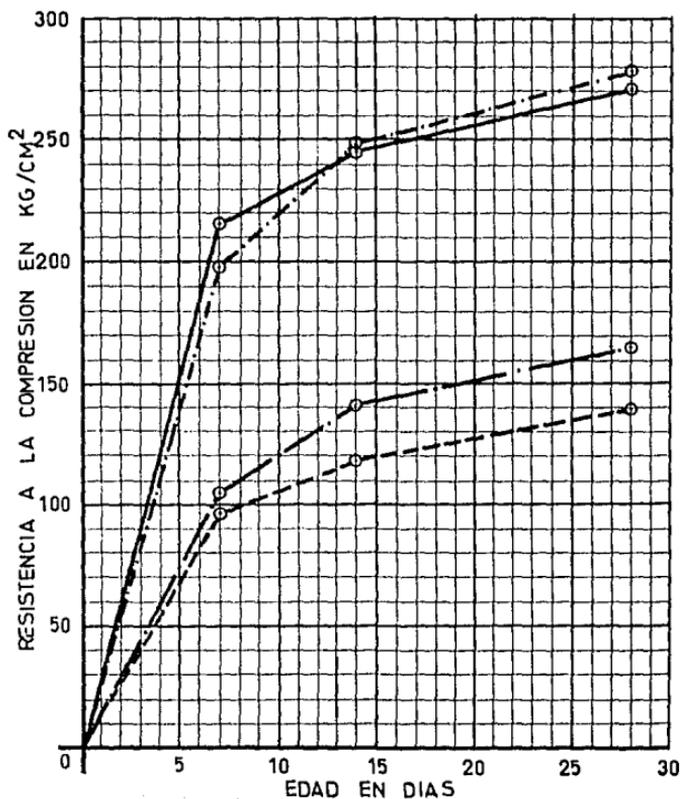
Descripción de la mezcla	Relación a/c	1 kg/cm ² de resistencia a los 28 días, por cada: (kgs. de cemento)
2A, combinada, ag. fino natural y ag. grueso reciclado	0.69	1.97
2B, combinada, ag. fino natural y ag. grueso reciclado	0.59	1.28
2C, combinada, ag. fino natural y ag. grueso reciclado	0.52	1.62
3A, ag. fino y grueso reciclado	0.69	1.70
3B, ag. fino y grueso reciclado	0.59	1.47
3C, ag. fino y grueso reciclado	0.52	1.76

Tabla 5.4. Tabla comparativa de todas las mezclas de los grupos A, B y C, de acuerdo a las relaciones a/c y la cantidad de cemento para lograr 1 kg/cm² de resistencia.



- AG. FINO Y GRUESO NATURAL.
 - - - - - AG. FINO RECICLADO Y AG. GRUESO NATURAL.
 - · - · - AG. FINO NATURAL Y AG. GRUESO RECICLADO.
 - · - - - AG. FINO Y GRUESO RECICLADO.
 RELACION A/C = 0.69

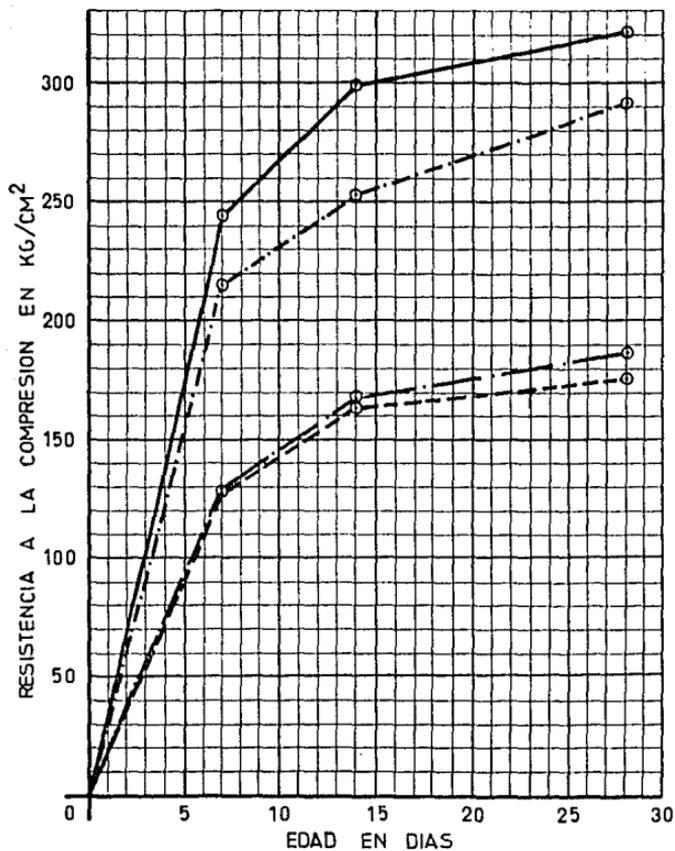
FIG 5.1. RELACION ENTRE LA EDAD VS. LA RESISTENCIA A LA COMPRESION PARA MEZCLAS DEL GRUPO A (150 KG/CM²).



- AG. FINO Y GRUESO NATURAL.
- AG. FINO RECICLADO Y AG. GRUESO NATURAL.
- . - . - . AG. FINO NATURAL Y AG. GRUESO RECICLADO.
- . — . — . AG. FINO Y GRUESO RECICLADO.

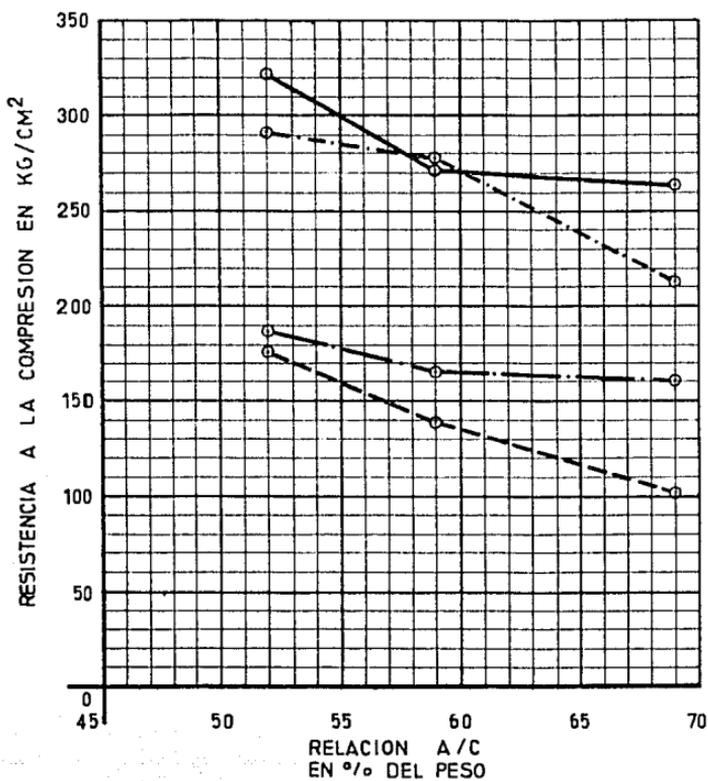
RELACION A/C = 0.59

FIG 5.2. RELACION ENTRE LA EDAD VS. LA RESISTENCIA A LA COMPRESION PARA MEZCLAS DEL GRUPO B [200 KG/CM²]



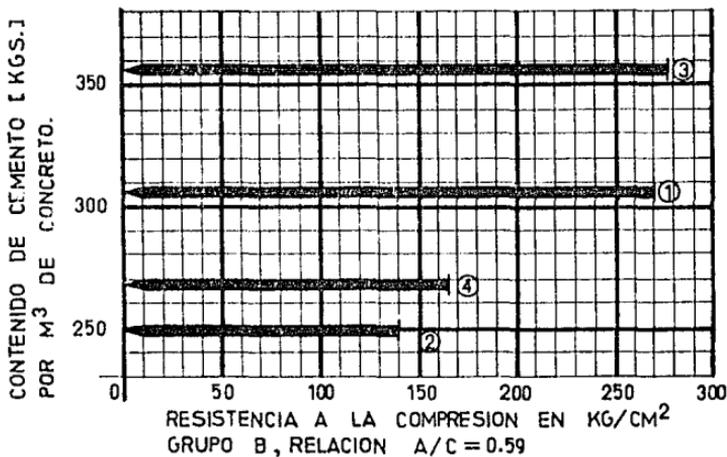
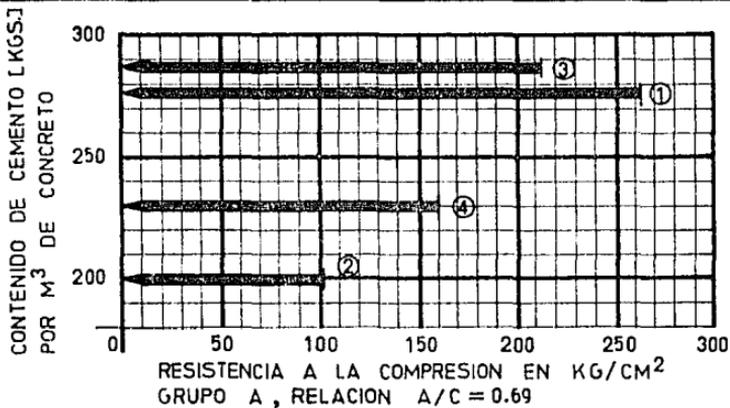
- AG. FINO Y GRUESO NATURAL.
 - - - - - AG. FINO RECICLADO Y AG. GRUESO NATURAL.
 - · - · - AG. FINO NATURAL Y AG. GRUESO RECICLADO.
 - - - - - AG. FINO Y GRUESO RECICLADO.
 RELACION A/C = 0.52

FIG. 5.3. RELACION ENTRE LA EDAD VS. LA RESISTENCIA A LA COMPRESION PARA MEZCLAS DEL GRUPO C [250 KG/CM²]



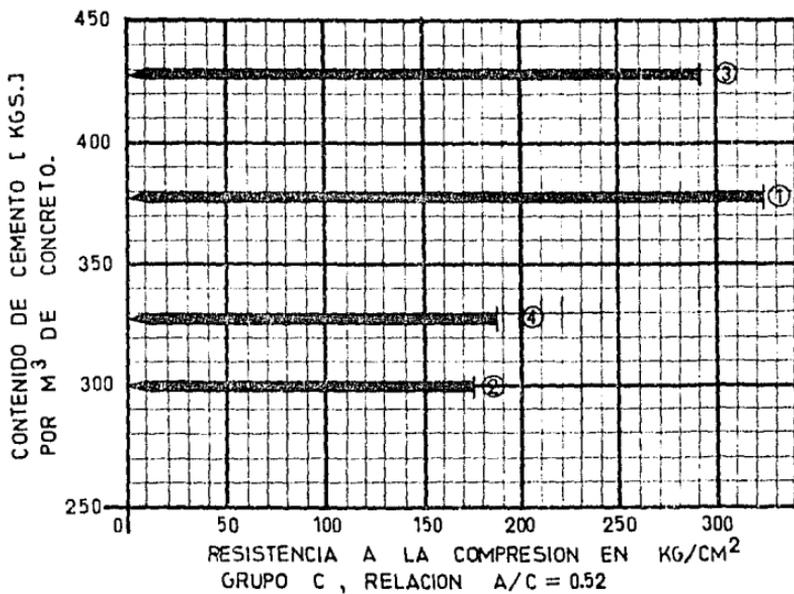
- AG. FINO Y GRUESO NATURAL
- AG. FINO REICLADO Y AG. GRUESO NATURAL
- · - · - AG. FINO NATURAL Y AG. GRUESO REICLADO
- AG. FINO Y GRUESO REICLADO

FIG. 5.4. RELACION ENTRE LA RELACION A/C Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESION PARA LAS MEZCLAS DE LOS GRUPOS A, B Y C



- ① AG. FINO Y GRUESO NATURAL
- ② AG. FINO RECICLADO Y AG. GRUESO NATURAL
- ③ AG. FINO NATURAL Y AG. GRUESO RECICLADO
- ④ AG. FINO Y GRUESO RECICLADO

FIG. 5.5. RESISTENCIA ADQUIRIDA POR CANTIDAD DE CEMENTO
 POR M³ DE CONCRETO. [CONTINUA]



- ① AG. FINO Y GRUESO NATURAL
- ② AG. FINO RECICLADO Y AG. GRUESO NATURAL
- ③ AG. FINO NATURAL Y AG. GRUESO RECICLADO
- ④ AG. FINO Y GRUESO RECICLADO

CONTINUACION FIG. 5.5.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

CAPITULO VI.

Evaluación, tecnología y posibilidades económicas del reciclado del concreto *

VI.1. Evaluación de las cantidades de escombros de concreto.

Un requisito indispensable para una justificación económica del reciclado del escombros de concreto, es la presencia de éstos en cantidades suficientemente elevadas para que una planta de reciclado de tamaño considerable, funcione u opere en forma óptima.

Las cantidades de escombros de concreto deben ser evaluadas en forma local, debido, principalmente, a que el mercado para los agregados se debe manejar a nivel local y no a nivel nacional, ya que en el segundo caso, el costo de los agregados sería tan elevado que resultaría antieconómica la adquisición de éstos, suponiendo la existencia de un potencial de escombros de concreto que garantice el suministro de agregados.

Las cantidades de escombros de concreto generadas anualmente en una área urbana y en promedio es de: 0.210 toneladas por persona, entonces, en áreas urbanas que posean una población con más de medio millón de habitantes, la cantidad generada anualmente de escombros de concreto es de varios cientos de miles de toneladas, lo que hace económicamente atractivo el reciclado de escombros de concreto.

Un caso muy especial e importante, es el caso de un desastre natural, como por ejemplo un terremoto, en el que se pueden generar varios millones de toneladas de escombros en un lapso relativamente pequeño, y que en general, estos escombros terminan en los tiraderos, incrementando la contaminación de los lugares en donde son depositados, sin embargo, tal situación puede revertirse al reciclar los escombros de concreto, reduciendo a un mínimo la contaminación producida por los escombros de demolición.

* Tomado de la referencia No. 1.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

VI.2. Tecnología del reciclado del concreto.

Hasta 1980, en los Estados Unidos de Norte América, existen catorce plantas de reciclado de concreto que vienen funcionando de manera eficiente, en todas estas plantas se recicla únicamente escombros de concreto no contaminado, proveniente, principalmente, de la demolición de pavimentos rígidos. Al parecer, en México no se cuenta con alguna planta que recicle escombros de concreto hidráulico.

Las operaciones necesarias para el reciclado de escombros de concreto generalmente se realizan mediante una planta portátil, alimentada por un cargador frontal, que comprende un triturador de quijada, y en algunas ocasiones un triturador secundario de cono, una criba vibratoria y/o una banda transportadora. Por lo general las varillas de refuerzo se quitan manualmente, y en algunos casos mediante un electroimán.

Actualmente han aparecido varias patentes de equipo para el reciclado de escombros de concreto y se han introducido en el mercado nuevas líneas de equipos. Las recientes investigaciones al respecto han demostrado que existe, también, tecnología disponible para la eliminación de contaminantes del concreto; por lo tanto, es posible construir plantas para el reciclado del concreto que acepten escombros de concreto no contaminado y escombros que si lo esten. Estas plantas serían de una capacidad relativamente grande con el objeto de obtener buenos rendimientos.

De acuerdo a lo indicado en la referencia No. 1, se propone el diseño de cuatro plantas de reciclado de escombros de concreto, que comprenden sistemas de selección de escombros no contaminados. Las capacidades de estas plantas son: 110-275, 275-410, 410-545 y 545-680 toneladas por hora. Luego, cada una de estas plantas puede procesar anualmente varios cientos de miles de toneladas de escombros de concreto, pudiendo satisfacer cualquiera de estas, la cantidad de escombros de concreto generada en áreas urbanas con más de medio millón de habitantes.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

Se ha estimado que es económicamente atractivo combinar — una planta de reciclado de concreto con el terraplenado sanitario de un terreno (TST). En tal caso, los camiones que traen el escombros a la planta pueden llevar, en viaje de regreso, al agregado. Los ahorros adicionales por concepto de transporte se derivan del hecho de que los contaminantes no tienen que ser llevados a tiraderos distantes, sino que son depositados en el TST.

Se ha establecido el uso de unidades portátiles para todas las plantas, con el fin de que éstas puedan ser trasladadas cerca de un nuevo TST, cuando el anterior ya está lleno.

En la figura 6.1. se presenta un esquema general de los pasos a seguir en la construcción de una planta de reciclado de concreto que acepte, tanto escombros contaminados como no contaminados, y en la figura 6.2. se presenta el esquema de una planta de reciclado con capacidad de 110-275 t/h. El primer paso en la secuencia del proceso comprende la limpieza preliminar, después la trituración primaria, la separación magnética y manual de elementos ferrosos, la selección de impurezas ligeras y, finalmente, la trituración secundaria.

VI.2.1. Limpieza preliminar y reducción de tamaño.

El escombros que se traslada al sistema de reciclado está compuesto en su mayor parte por trozos de concreto con incrustaciones de varilla de refuerzo o malla. Además, contiene cantidades considerables de tabique, y cantidades menores de yeso, madera, vidrio, plástico, etc.

En la etapa de limpieza preliminar se emplean uno o más tractores para mover los fragmentos grandes de escombros.

Es necesario reducir el tamaño de los trozos de concreto que son demasiado grandes para que puedan ser introducidos en el sistema de reciclado; esto se logra con el auxilio de uno o más martillos hidráulicos montados en retroexcavadoras (sin cucharón).

La mayoría de los sistemas existentes no aceptan varillas

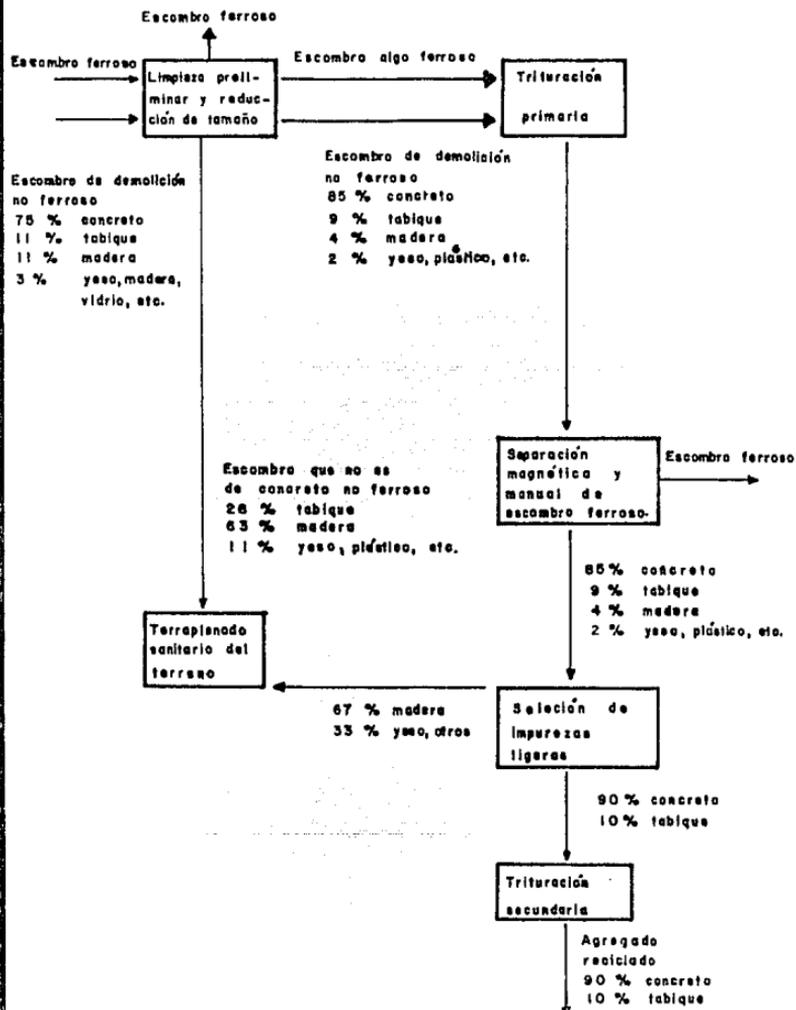


FIG. 6.1. Balance de materiales para una planta de agregado de concreto reciclado.

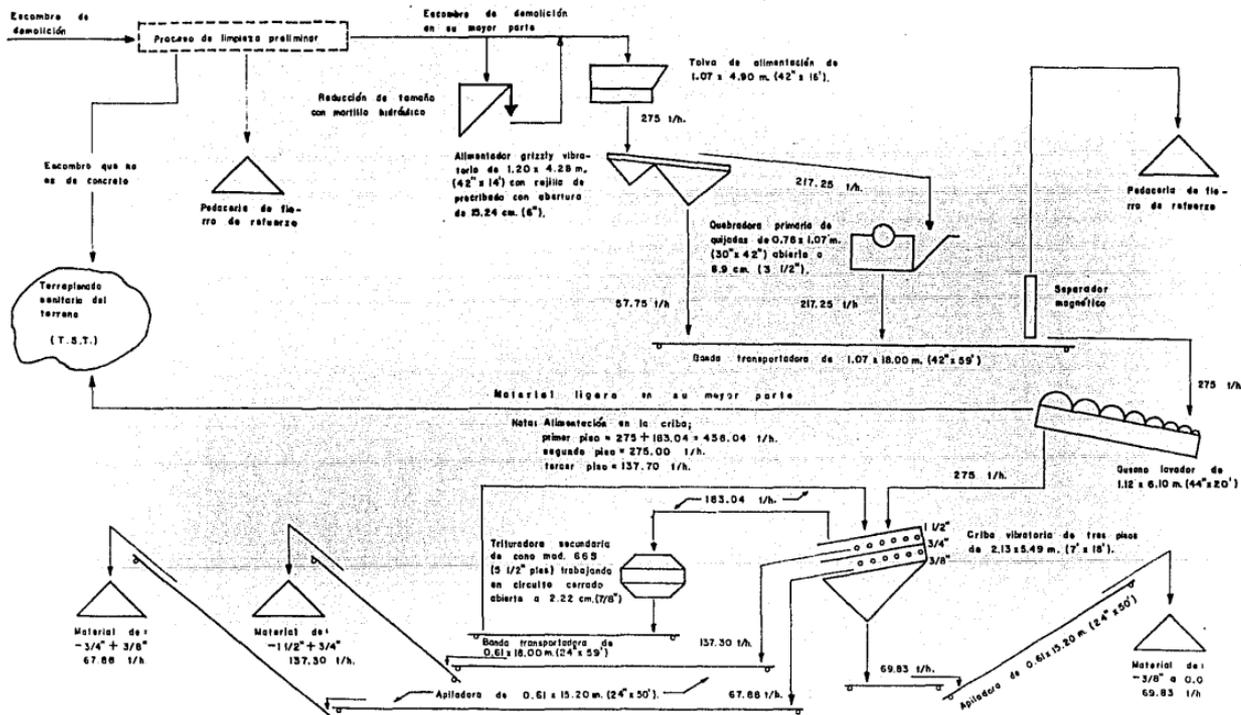


FIG. 6.2 Diagrama de flujo de la planta de reciclado de concreto con capacidad de 110 - 275 tons/h.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

de refuerzo de más de 60 cms. de longitud; las que son más largas deben ser cortadas previamente.

VI.2.2. Triturado primario.

Después de las operaciones de limpieza preliminar y de reducción de tamaño, se deposita el escombros dentro de una tolva, de la cual pasa a una criba que lo separa en dos categorías; escombros mayores de 15.24 cm. (6") de diámetro y que necesitan triturado primario y escombros menores de 15.24 cm. (6") de diámetro, que no lo necesitan.

El equipo de alimentación usado en las cuatro plantas comprende cargadores frontales. Además, en las dos mayores, se incluye una grúa de arrastre con cucharones, como auxilio en la operación de alimentación. Después del equipo mencionado siguen un alimentador y una tolva que vibran y regulan así el flujo del escombros hacia la criba. En los diseños de las tres plantas mayores, esta última pieza del equipo es una placa perforada que selecciona las varillas de fierro que no se encuentran fijadas a la masa de concreto, antes de alimentar al triturador de quijadas.

En el anexo C, se localiza la selección y cálculo del equipo de alimentación, trituración (primaria y secundaria) y cribado, para la planta de reciclado de concreto con capacidad de 110-275 tons/hr.

En el triturador de quijada, las varillas de fierro son separadas físicamente del concreto y descargadas a lo largo, a través de la abertura de descarga del triturador, en la banda transportadora situada debajo del triturador. Si la separación entre la abertura de descarga y la banda transportadora no es lo suficientemente grande, es factible que las varillas largas queden atoradas y obstruyan la abertura. Con los sistemas portátiles comunes no es posible lograr separaciones adecuadas por debajo de la abertura de descarga; por esta razón se utiliza una banda transportadora provista de un ajuste de resorte que puede mover la banda hacia abajo cuando alguna



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

varilla larga obstruye la abertura de descarga.

VI.2.3. Separación manual y magnética de fragmentos ferrosos.

Después de separar las varillas de refuerzo de los fragmentos de concreto mediante el triturador de quijada, se les selecciona manualmente cuando son lo suficientemente largas, o mediante un separador magnético superior y una polea instalados al final de una larga y ancha banda transportadora que hace las veces de "mesa de selección". Justamente esta es la banda transportadora con dispositivo de resorte que se localiza inmediatamente después del triturador de quijada.

Para evitar el paro total del sistema en caso de mal funcionamiento ocasionado por las varillas de fierro, en el diseño de las tres plantas mayores se incluye una pileta de compensación que se utiliza como relevo, para que las operaciones secundarias (triturado secundario, lavado y cribado) puedan operar independientemente de las operaciones primarias (alimentación, trituración primaria y selección magnética). El sistema de pila de compensación consiste en una zanja en el piso, provista de alimentador y banda transportadora.

VI.2.4. Selección de impurezas ligeras.

Esta comprende principalmente yeso, en la forma generalmente usada en la construcción, trozos de madera y de plástico, entre otros. Para seleccionar estos materiales puede adoptarse alguno de los muchos procedimientos utilizados en la industria del procesamiento de agregados, siendo uno de éstos, el empleo de un escurridor helicoidal que separa y selecciona simultáneamente las impurezas ligeras y escurre al agregado lavado, para que este último pueda pasar directamente al triturador secundario.

VI.2.5. Trituración secundaria.

Después del escurridor helicoidal, se encuentra una criba que hace pasar el agregado mayor de 3.8 cm. (1 ½") de diámetro al triturador de cono para reducir aún más su tamaño. Este último es



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

del tipo de cabeza corta y opera en circuito cerrado.

VI.3. Posibilidad económica del reciclado del concreto.

En este inciso se hará una consideración de los atractivos económicos de las cuatro plantas de reciclado de concreto que se expusieron en las líneas anteriores.

VI.3.1. Inversión inicial en las plantas de reciclado.

La inversión inicial requerida para una planta de reciclado, es la suma del costo de adquisición y el costo de instalación -- del equipo. En la tabla 6.2., línea 1.1., aparece el costo total de adquisición del equipo para las cuatro plantas diseñadas, en tanto que en la tabla 6.1. aparece un análisis de la derivación de estos costos para la planta con capacidad de 110-275 t/h. Se estima que el costo de instalación del equipo es del 15 % de su costo de adquisición, incluyendo los gastos de ingeniería y erección (tabla 6.2., -- línea 1.2.).

La inversión inicial para el TST, es la suma de los costos de adquisición del terreno, de excavación, de recubrimiento, de ingeniería y de instalaciones (tabla 6.2., parte II).

Se supondrá que el TST estará situado a unos treinta kilómetros del centro de la ciudad, donde el costo del terreno se estima en \$ 8 000.00 el metro cuadrado y que la extensión del terreno es suficiente para recibir el escombros que no es de concreto durante la vida útil de la planta adyacente. Con base en los datos de la figura 6.1., se ha calculado el tonelaje del escombros que no es de concreto que puede tirarse en un TST. Para convertir a éste en volumen, se -- considerará un terraplén de 0.71 t/m³. Después se determinará el volumen del escombros tirado, procediendo a calcular el área requerida, considerando que el terreno sea un rectángulo, con una área cuadrada de piso igual a la requerida y con una profundidad constante de --- 30.5 metros.

Se ha considerado que el terreno requerido sea un valle, - (por ejemplo, una vieja cantera) y que solamente 6.1 de los 30.5 m.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

de profundidad requerida tendrán que excavar a un costo de -----
\$ 1 180.00 por metro cúbico.

Para evitar problemas de permeabilidad se recubrirá la totalidad de la superficie interior del rectángulo que será rellenada con una capa de 5.1 cm. de asfalto y 15.2 cm. de arena, con un costo por el recubrimiento de \$ 11 500.00 por metro cúbico.

Además, se considerarán los costos de ingeniería (estudios y mediciones iniciales), así como costos de vías de acceso, bardas, etc. Se ha estimado que el valor de cada uno de estos es de -----
\$ 11'500 000.00 para todos los TST.

VI.3.2. Estimación del costo de producción para las plantas de reciclado.

El costo de producción del agregado de concreto reciclado es la suma de los costos de producción de la planta de reciclado y - del TST. El costo de producción de la planta de reciclado es la suma de los siguientes conceptos: costo de depreciación del equipo, amortización de costos de instalación, mantenimiento y reparaciones, combustibles y lubricantes, gastos generales e intereses y seguros. En la tabla 6.2., parte III, aparecen estos costos para las cuatro plantas diseñadas. La depreciación directa y los cargos de amortización están basados en un cálculo de 15 000 horas de vida del equipo, en tanto que el mantenimiento y las reparaciones se han considerado como el 75 % de los cargos de depreciación. Los gastos generales se han calculado en 0.5 % de la inversión inicial total. Para obtener el -- costo horario, la cifra mencionada se ha dividido entre el número -- real de horas que la planta esta en operación durante cada año. I--- gualmente, los pagos de intereses (15 % del capital requerido) y seguros (2 % del capital) son gastos anuales, y el gasto real por hora depende del número de horas que la planta opere durante el año. El - costo de mano de obra, también se calcula por hora, sobre la base de que existe un mercado de trabajo bastante flexible y, de éste modo, los ingenieros y trabajadores pueden ser contratados por sólo una -- parte del año, siempre que las condiciones del mercado no exijan que



la planta opere tiempo completo. Los costos de mano de obra que aparecen en la tabla 6.2. están basados en los salarios y requisitos que aparecen en la tabla 6.3., en tanto que los costos de combustibles y lubricantes se han derivado de los requisitos del equipo.

Para obtener los costos específicos de producción que aparecen en la tabla 6.2., se ha considerado que las cuatro diferentes plantas producen 429 000, 670 350, 876 875 y 1'040 400 toneladas anuales de agregado reciclado, respectivamente. Con estas producciones anuales específicas, se produciría un rendimiento del 90 % sobre la inversión. También se obtienen ahorros en el TST por tonelada de escombros almacenados. En las cifras que aparecen en la figura 6.3., no se incluyen los costos por rentas de escritorios, ni los costos de depreciación, ni los impuestos prediales.

Se ha estimado el costo de arrendamiento de una escritura en seis millones quinientos mil pesos por mes y se necesita una por cada 365 toneladas de terraplén por día de operación.

Todas las partidas de inversión inicial (parte II de la tabla 6.2.), con excepción del terreno, son depreciables y se les ha considerado una depreciación directa. En los gastos adicionales se incluye un 7.5 % de impuesto anual sobre el valor del terreno y de las instalaciones.

VI.3.3. Ingresos y egresos de los sistemas de reciclado.

En las cuatro plantas de reciclado, el ingreso se genera de tres fuentes:

- a) venta del agregado reciclado. Se considera que el 100 % del agregado procesado se venderá a \$ 5 739.00 por tonelada.
- b) venta de pedacera de fierro de refuerzo a \$ 588.65 por tonelada de escombros procesados.
- c) cargos por acarreo, generados por el siguiente sistema: \$ 11 297.00 por tonelada de acarreo de escombros que no es de concreto; el acarreo del escombros de concreto es gratis. Los gastos anuales del sistema de reciclado-TST son los siguientes:



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

Tabla 6.1. Equipo para una planta de reciclado con capacidad de 110-275 t/h.

No.	Concepto :	cant.	P.U. \$ x 10 ⁸	importe* \$ x 10 ⁸
1.	Tolva de alimentación de 1.07 x 4.9 m. (42" x 16').	1	1.5706882	1.5706882
2.	Alimentador grizzly vibratorio de 1.2- x 4.28 m. (42" x 14') con rejilla de -- prescribado con abertura de 15.24 cm. - (6").	1	0.5474086	0.5474086
3.	Quebradora primaria de quijadas de --- 0.76 x 1.07 m. (30" x 42") abierta a - 8.89 cm. (3 1/2").	1	2.126782	2.126782
4.	Banda transportadora con ajuste de re- sorte de 1.07 x 18.00 m. (42" x 59').	1	0.3141376	0.3141376
5.	Separador magnético.	1	0.1806291	0.1806291
6.	Gusano lavador de doble tornillo de -- 1.12 x 6.10 m. (44" x 20'), alimenta- ción máxima de 16.0 cm.	1	0.5858666	0.5858666
7.	Criba vibratoria de tres pisos de 2.13 x 5.49 m. (7' x 18') aberturas de 1 1/4" y 3/8".	1	0.8952922	0.8952922
8.	Triturador secundario de cono mod. 66S (5 1/2" pies).	1	2.418122	2.418122
9.	Banda transportadora recirculante de - 0.61 x 18.00 m (24" x 59').	1	0.195	0.195
10.	Apilador radial de 0.61 x 15.2 m. (24" x 50').	3	0.115	0.345
11.	Unidad de potencia de 500 KW.	1	1.092525	1.092525
12.	Bomba y tubería de 15.2 cm. de ϕ , (6")	1	0.0471206	0.0471206
13.	Cargador frontal de 1.72 m ³ de 125 HP.	2	2.0437501	4.0875002
14.	Tractor de 105 HP, con hoja topadora.	1	1.704339	1.704339
15.	Retroexcavadora con martillo hidráulico.	1	0.8695912	0.8695912
Total			\$	1.6982334 x 10 ⁹

* Precios vigentes para el mes de Agosto de 1987, el costo no incluye el impuesto al valor agregado.

Nota: los equipos Nos. 1 a 12 necesitan instalación.

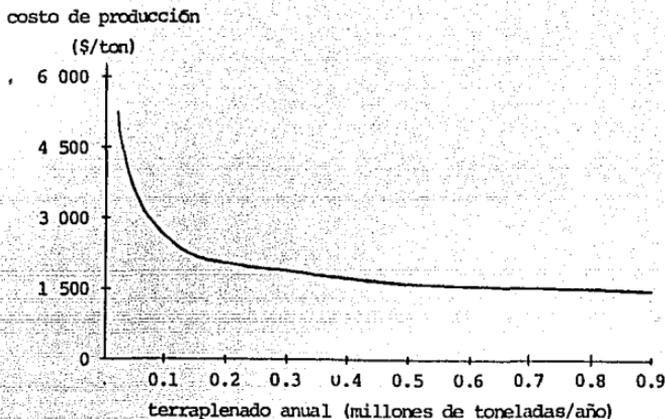


Figura 6.3. Costo de producción del TST, según referencia No. 1.

- 1) costo de producción de la planta de reciclado (línea --- 3.10., tabla 6.2.).
- 2) costo de operación del TST (línea 4.5., tabla 6.2.).

La diferencia entre las sumas totales de los ingresos y egresos, constituye el ingreso de operación. Sobre éste último se impone un cargo del 21 % por lo que el ingreso neto es del 79 % del ingreso total de operación (línea 5.8., tabla 6.2.).

VI.3.4. Ventajas de invertir en los sistemas de reciclado.

El egreso de efectivo en cualquier año, comprende la inversión de capital, si la hubo, el costo de producción de la planta de reciclado, excluyendo depreciación y amortización de gastos de instalación, y el costo total de producción del TST, incluyendo impuesto predial y renta del equipo, pero excluyendo los costos de depreciación.

Todo el egreso de efectivo tiene lugar al comienzo de la operación y es igual a la suma total de las inversiones en la planta

Tabla 6.2. Estudio económico de las plantas de reciclado instaladas junto a un sitio de un TST.

P A R T I D A	CAPACIDAD DE LA PLANTA (TON/HR)			
	100-275	275-410	410-575	575-680
I.- Inversión inicial en las plantas de reciclado.				
1.1. costo de adquisición del equipo.	1.6982334 x 10 ⁹	2.5973987 x 10 ⁹	3.4923503 x 10 ⁹	4.1602528 x 10 ⁹
1.2. costo de instalación (15 % del costo del equipo que requiere instalación).	1.5481356 x 10 ⁸	2.412153 x 10 ⁸	3.0358865 x 10 ⁸	3.703284 x 10 ⁸
1.3. inversión inicial total (1.1. + 1.2.).	1.853047 x 10 ⁹	2.838614 x 10 ⁹	3.795939 x 10 ⁹	4.5305812 x 10 ⁹
II.- Inversión inicial en el TST.				
2.1. área del TST en metros cuadrados	29 260	52 250	73 170	94 050
2.2. costo de adquisición del terreno (\$ 8 000.00 m ²).	2.3408 x 10 ⁸	4.18 x 10 ⁸	5.8536 x 10 ⁸	7.524 x 10 ⁸
2.3. costo de excavación de 6.1 m. lineales a 1 180.00 \$/m3	2.1061348 x 10 ⁸	3.760955 x 10 ⁸	5.2667766 x 10 ⁸	6.769719 x 10 ⁸
2.4. costo de recubrimiento a 11 500.00 \$/m3	1.205775 x 10 ⁸	1.894855 x 10 ⁸	2.504125 x 10 ⁸	3.099825 x 10 ⁸
2.5. costo de ingeniería e instalaciones (\$ 11'500 000.00 c/u).	2.3 x 10 ⁷	2.3 x 10 ⁷	2.3 x 10 ⁷	2.3 x 10 ⁷
2.6. inversión inicial total (2.2. + 2.3. + 2.4. + 2.5.).	5.8827098 x 10 ⁸	1.006581 x 10 ⁹	1.3854502 x 10 ⁹	1.7623544 x 10 ⁹
III.- Costo de producción de la planta de reciclado.				
3.1. costo de depreciación del equipo adquirido (línea 1.1. por más de 15 000 hrs.).	113 216	173 160	232 823	277 350
3.2. amortización de costos de instalación (línea 1.2. por más de 15 000 hrs.).	10 321	16 081	20 239	24 689
3.3. costo de mantenimiento y reparaciones (75 % de 3.1., \$/hr.).	84 912	129 870	174 617	208 012
3.4. costo de mano de obra, \$/hr. (según tabla 6.3.).	9 964	13 177	15 427	19 927
3.5. costo de combustibles y lubricantes, \$/hr.	99 714	174 702	210 868	227 136
3.6. gastos indirectos, \$/año (0.5 % de la línea 1.3.).	9.265235 x 10 ⁶	1.419307 x 10 ⁷	1.8979695 x 10 ⁷	2.2652906 x 10 ⁷
Producción de la planta (toneladas/año).	429 000	670 350	876 875	1'040 400
Horas de operación por año (al 100 % de su capacidad para producir el rendimiento especificado).	1 560	1 635	1 525	1 530
Las cifras que aparecen a continuación y en el resto de la tabla son concordantes con la producción anual estimada				
3.7. gastos indirectos (3.6. sobre número de días de operación \$/hr.).	5 939	8 681	12 446	14 806
3.8. intereses (15 %) y seguros (2 %), \$/hr.	185 064	270 066	389 311	462 250
3.9. costo de producción total (3.1.+3.2. +3.3.+3.4.+3.5.+3.7.+3.8.).	509 130	785 737	1.055731 x 10 ⁶	1.23417 x 10 ⁶
3.10. costo de producción total (3.9. por el número de horas de operación por año) \$/año.	7.942428 x 10 ⁸	1.28468 x 10 ⁹	1.6099898 x 10 ⁹	1.8882801 x 10 ⁹
3.11. costo de amortización y depreciación (3.1. + 3.2. por número de horas de operación por año) \$/año.	1.9271772 x 10 ⁸	3.0940904 x 10 ⁸	3.8591955 x 10 ⁸	4.6211967 x 10 ⁸
3.12. costo de producción total (3.10. sobre la producción de la planta) \$/ton.	1 851.38	1 916.43	1 836.05	1 814.96

Continuación de la tabla 6.2.

P A R T I D A	CAPACIDAD DE LA PLANTA (TON/HR)			
	100-275	275-410	410-575	575-680
IV.- Costo de operación del TST.				
4.1. costo de producción (según la figura 6.3.) \$/año	2.0366775 x 10 ⁸	2.5791845 x 10 ⁸	3.025213 x 10 ⁸	3.363093 x 10 ⁸
4.2. costo de arrendamiento de escrepas (una por cada 365 toneladas de relleno por día de operación, a 6 ¹ 500 000.00 \$/mes) \$/año.	5.85 x 10 ⁷	9.1 x 10 ⁷	1.17 x 10 ⁸	1.43 x 10 ⁸
4.3. costo de depreciación (depreciación directa de líneas 2.3., 2.4. y 2.5. durante la vida de la planta) \$/año.	3.6835862 x 10 ⁷	6.4155329 x 10 ⁷	8.1342504 x 10 ⁷	1.0301535 x 10 ⁸
4.4. impuesto predial (7.5 % sobre el valor del terreno y las instalaciones) \$/año.	1.84185 x 10 ⁷	3.22125 x 10 ⁷	4.47645 x 10 ⁷	5.72925 x 10 ⁷
4.5. costo de operación del TST (suma de 4.1. a 4.4.) \$/año.	3.1742211 x 10 ⁸	4.4528628 x 10 ⁸	5.456283 x 10 ⁸	6.3961717 x 10 ⁸
V.- Ingresos y egresos anuales.				
5.1. ingresos por la venta de agregado reciclado (producción anual vendida a 5 739.00 \$/ton.) \$/año.	2.462031 x 10 ⁹	3.8471387 x 10 ⁹	5.0323856 x 10 ⁹	5.9708556 x 10 ⁹
5.2. ingresos por venta de pedacera de hierro de refuerzo (588.65 \$/ton. de escombro de concreto procesado) \$/año.	2.5253085 x 10 ⁸	3.9460153 x 10 ⁸	5.1617247 x 10 ⁸	6.1243146 x 10 ⁸
5.3. ingresos por cargos de acarreo (11 297.00 \$/ton. de escombro que no es de concreto) \$/año.	7.2696195 x 10 ⁸	1.1359472 x 10 ⁹	1.4859057 x 10 ⁹	1.7630098 x 10 ⁹
5.4. ingresos de operación (suma de líneas 5.1. a 5.3.) \$/año	3.4415238 x 10 ⁹	5.3776874 x 10 ⁹	7.0344638 x 10 ⁹	8.3462969 x 10 ⁹
5.5. gastos de operación (suma de líneas 3.10. y 4.5.) \$/año	1.1116649 x 10 ⁹	1.7299663 x 10 ⁹	2.1556181 x 10 ⁹	2.5278973 x 10 ⁹
5.6. ingresos de operación (línea 5.4. - 5.5.) \$/año	2.3298589 x 10 ⁹	3.6477211 x 10 ⁹	4.8788457 x 10 ⁹	5.8183996 x 10 ⁹
5.7. impuesto sobre la renta (21 % de ingreso de operación) \$/año	4.8927037 x 10 ⁸	7.6602143 x 10 ⁸	1.0245576 x 10 ⁹	1.2218639 x 10 ⁹
5.8. ingreso neto, \$/año.	1.8405885 x 10 ⁹	2.8816997 x 10 ⁹	3.8542881 x 10 ⁹	4.5965357 x 10 ⁹



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

de reciclado y en el TST.

El ingreso de efectivo en cualquier año, incluye la venta de capital, si la hay, rendimiento de operación y una cobertura de impuesto del 21 % de la depreciación total. Al término de la operación se considerará que el área del TST, después de haber sido llenado totalmente con el material de desecho y tratado apropiadamente, puede venderse a un precio que refleja un 6 % anual de plusvalía del terreno. La diferencia entre el precio de adquisición del terreno -- (\$ 8 000.00 m²) y el precio de venta, está sujeto a un impuesto del 30 % sobre las ganancias del capital; por lo tanto, el ingreso neto por la venta del terreno al final de las operaciones es igual al --- 70 % de la utilidad total más el precio original de adquisición del terreno.

En otras palabras, si una planta con capacidad de 110-275 t/h., a de producir una ganancia del 90 % sobre la inversión, esta planta debe procesar y vender no menos de 429 000 tons. de agregado reciclado por año. La producción requerida aumenta conforme aumenta la capacidad de la planta. Como observación puede decirse que se necesita una área urbana de al menos 2'100 000, 3'200 000, 4'200 000 y 5'000 000 de habitantes para sostener las operaciones de las plantas de reciclado de 110-275, 275-410, 410-575 y 575-680 t/h.

VI.3.5. Comparación del agregado reciclado con el agregado natural.

En los incisos anteriores se ha supuesto que el agregado de concreto reciclado podrá venderse en un 100 % de su producción. Para que esto sea cierto, el agregado de concreto reciclado debe competir, frente al agregado natural, de una manera contundente.

Una comparación justa entre los dos tipos de agregados, se ría la comparación de dos elementos de concreto fabricados en igualdad de circunstancias; uno preparado con agregado reciclado y otro con agregado natural.

Para compensar el decremento de resistencia (véase capítulo anterior), el elemento de concreto preparado con agregado reciclado



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

Tabla 6.3. Costo y requerimiento de mano de obra para las plantas de reciclado.

descripción del trabajador	salario \$/h	requerimiento de mano de obra, en número de trabajadores			
		capacidad de la planta, en ton/hr			
		110-275	275-410	410-575	575-680
obrero	481.87	2	4	4	4
operador de cargador.	2 250.00	1	1	1	1
operador de grúa	2 250.00	-	-	1	1
operador de tractor	2 250.00	1	1	1	2
operador de retroexcavadora	2 250.00	1	2	2	2
operador de trituradora	2 250.00	1	1	1	2

do debe tener un contenido de cemento mayor (de acuerdo a las características del agregado, resistencia deseada, etc), y para compensar el costo adicional del cemento, el agregado de concreto reciclado debe venderse a menor precio que el agregado natural para que sea posible tener un concreto de costo y comportamiento similar. En otras palabras, cuando no existe ventaja en el transporte en alguno de los agregados, a una persona no perjudicada le daría lo mismo utilizar agregado natural o agregado reciclado.

Sin embargo, existen buenas razones por las que una persona rechazaría el empleo del agregado de concreto reciclado; primero, la experiencia con este producto es muy limitada; segundo, no existen ayudas de diseño para el agregado de concreto reciclado, similares a las que existen para el agregado natural (por ejemplo, tablas de propiedades físicas, químicas, mecánicas, etc.). Por estas razones, el agregado de concreto reciclado se venderá mejor en los casos en que tenga a su favor una ventaja de costo; y esto puede ocurrir en los casos en que se logren buenas economías, de manera que el agregado de concreto reciclado pueda venderse al menor costo posible,



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

o bien, en los casos en que el transporte del agregado reciclado sea más económico.

Cuando el costo del agregado de concreto reciclado tiende a disminuir de un costo calculado, es económicamente más atractivo - que el agregado natural, aunque este último esté disponible localmente. En los casos en que no haya agregado natural disponible, como puede suceder, existe una ventaja de transportación a favor del agregado reciclado, aún y cuando se venda al costo calculado.

Resumiendo, el agregado de concreto reciclado tendrá gran demanda en: a) áreas en donde no haya agregado natural disponible; - b) áreas donde el agregado natural, aunque este disponible, no es suficiente para atender la demanda y c) áreas donde las cantidades de escombros de concreto, generadas anualmente, sean lo suficientemente elevadas para permitir buenas economías y, por lo tanto, el agregado de concreto reciclado pueda venderse al menor costo posible.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

CONCLUSIONES .

- 1) De acuerdo a las propiedades físicas obtenidas en los agregados - de concreto reciclado, tenemos:

Grava:

- a) El agregado de concreto reciclado reporta un mayor porcentaje de absorción en comparación con el agregado de referencia (10.32 % y 4.57 %, respectivamente).
- b) Su densidad es menor a la del agregado de referencia - (2.17 y 2.37, respectivamente).
- c) El agregado reciclado reporta un peso volumétrico menor al peso volumétrico del agregado de referencia --- (1.078 t/m³ y 1.290 t/m³, respectivamente).

Arena:

- a) La arena de concreto reciclado reporta un porcentaje - mayor de absorción en comparación con la arena de referencia (18.85 % y 8.93 %, respectivamente).
 - b) La arena de concreto reciclado presenta una densidad - menor que la de la arena natural o de referencia (2.11 y 2.27, respectivamente).
 - c) La arena de concreto reciclado reporta un peso volumétrico menor que el peso volumétrico de la arena natural (1.098 t/m³ y 1.389 t/m³, respectivamente).
 - d) En cuanto a la pérdida por lavado y colorimetría, la - arena de concreto reciclado cumple satisfactoriamente con lo establecido en las normas correspondientes --- (2.45 % < 5.0 %; más claro que el color número 1 de -- los colores de la norma ASIM-C-40-73, respectivamente).
- 2) En cuanto al empleo de los agregados de concreto reciclado en la fabricación de concretos, se obtuvo lo siguiente:
- a) Se observó que al utilizar arena de concreto reciclado y grava natural o de referencia, se obtuvieron resistencias dema-



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ciado bajas, tanto para los concretos de resistencias bajas, medias y altas (150, 200 y 250 kg/cm^2). El porcentaje de adquisición de resistencia a los 28 días de edad fue de ——— aproximadamente un 70 % para todos los casos y de acuerdo a la resistencia de proyecto.

- b) Cuando se emplea arena natural y grava de concreto reciclado, se observó que a medida que disminuye la relación agua/cemento (mayor resistencia), la resistencia se ve un tanto afectada, sin embargo, se pudo apreciar que al emplear los materiales mencionados en este punto, se obtuvieron los mejores resultados en relación a todas las mezclas de concreto realizadas en este estudio.

Por lo anterior, para las resistencias bajas y medias (150 y 200 kg/cm^2), se puede decir que el concreto elaborado con arena natural y agregado grueso reciclado es equiparable o similar al concreto elaborado con agregados naturales bajo las mismas circunstancias de fabricación, no así para las resistencias altas (250 kg/cm^2), sin embargo, para alcanzar a ésta última, se tendría que efectuar un ajuste en el contenido de cemento.

- c) Al utilizar agregado fino y grueso reciclado se observó que a medida que aumenta la relación agua/cemento (menor resistencia), se alcanza la resistencia de proyecto, es decir, para las resistencias bajas (150 kg/cm^2), este tipo de concreto es equiparable al elaborado con agregados naturales, no así para las resistencias medias y altas (200 y 250 kg/cm^2).
- d) La arena de concreto reciclado se debe emplear solamente con agregado grueso de concreto reciclado y para resistencias bajas (150 kg/cm^2).

- 3) La tecnología actual en la industria de los agregados, puede eliminar considerablemente los contaminantes presentes en los escombros de concreto (yeso, tabique, vidrio, madera, etc.), y producir un agregado con características de limpieza y forma aceptable.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

- 4) Que al reciclar los escombros de concreto se reduciría, en gran medida, la contaminación que estos producen. Así mismo, el potencial de agregados naturales no se sobreexplotaría.
- 5) El reciclado de escombros de concreto en una planta comercial es atractiva, económicamente, siempre y cuando que en el área en donde se establezca se generen, al menos, 429 000 tons. de escombros de concreto. Esta cantidad puede producirse en una locación que cuente con aproximadamente dos millones cien mil habitantes. Conforme aumenta el tonelaje de producción, aumenta el atractivo de invertir en una planta de reciclado.
- 6) Los reintegros económicos potenciales obtenidos en las operaciones de reciclado, son lo suficientemente significativos para permitir a los interesados en producir agregados de concreto reciclado, reducir el costo y competir con los productores de agregados naturales, sin dejar de obtener ahorros importantes.
- 7) Al parecer y fuera del presente trabajo, en México no se han realizado estudios referentes al agregado de concreto reciclado, por tal motivo, se le desconocen las propiedades físicas, químicas, mecánicas, etc, y aún al mismo agregado. Debido a lo anterior, el agregado de concreto reciclado se vería sujeto a objeción en su uso, por parte de las personas que requieren o emplean agregados, es decir, la experiencia con este tipo de agregado es totalmente nula, por lo que el potencial latente de agregado de concreto reciclado que pudiese generarse se desperdiciaría.

Como se observa, es de importancia que se realicen estudios profundos, por parte de dependencias gubernamentales, al agregado de concreto reciclado, y que estos sean normalizados para su uso.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

A N E X O A .

Registro y resultados de los ensayos de los cilindros de prueba de
las proporciones base de los concretos con resistencia de:
150, 200 y 250 kg/cm^2 .

REGISTRO Y RESULTADOS DE LOS CILINDROS DE PRUEBA.

identificación del cilindro	fecha de colado	edad de ruptura días	fecha de ruptura	peso kg.	diámetro cms. (*)	área cm. 2	altura cms. (*)	volumen x10 ⁻³ m ³	peso volu- métrico ^{SSS} kg/m ³	carga aplicada kgs.	resistencia obtenida kg/cm ²	resistencia de proyecto kg/cm ²	% de resistencia adquirida
1RAC = 0.90	4/III/87	28	1/IV/87	12.069	15.23	182.17	30.50	5.55634	2 172.11	13 950	76.58	120	63.82
2RAC = 0.90	"	"	"	12.021	15.20	181.46	30.47	5.52902	2 174.16	14 950	82.39	"	68.66
3RAC = 0.90	"	"	"	12.017	15.20	181.46	30.47	5.52903	2 173.44	14 800	81.56	"	67.97
4RAC = 0.80	9/III/87	"	6/IV/87	11.990	15.27	183.13	30.47	5.58007	2 148.72	19 250	105.12	140	75.09
5RAC = 0.80	"	"	"	11.923	15.20	181.46	30.40	5.51633	2 161.40	20 300	111.87	"	79.91
6RAC = 0.80	"	"	"	11.953	15.17	180.74	30.57	5.52530	2 163.32	20 050	110.93	"	79.24
7RAC = 0.70	"	"	"	12.034	15.17	180.74	30.50	5.51265	2 182.98	26 300	145.51	175	83.15
8RAC = 0.70	"	"	"	12.029	15.20	181.46	30.50	5.53448	2 173.46	26 200	144.38	"	82.50
9RAC = 0.70	"	"	"	11.880	15.13	179.79	30.50	5.48362	2 166.45	27 200	151.29	"	86.45
10RAC = 0.60	3/III/87	"	31/III/87	12.177	15.27	183.13	30.50	5.58546	2 180.12	36 400	198.77	225	88.34
11RAC = 0.60	"	"	"	12.144	15.23	182.17	30.53	5.56165	2 183.52	34 900	191.58	"	85.15
12RAC = 0.60	"	"	"	12.131	15.17	180.74	30.50	5.51257	2 200.61	35 700	197.57	"	87.79
13RAC = 0.50	2/III/87	"	30/III/87	12.289	15.13	179.79	30.67	5.51415	2 228.63	50 000	278.10	250	111.24
14RAC = 0.50	"	"	"	12.229	15.20	181.46	30.60	5.55267	2 292.36	48 900	269.48	"	107.79
15RAC = 0.50	"	"	"	12.293	15.30	183.83	30.57	5.62029	2 187.25	50 000	271.96	"	108.78
1GA150	3/VI/87	7	10/VI/87	11.937	15.10	179.08	30.53	5.46721	2 183.34	33 300	185.95	150	123.97
2GA150	"	14	17/VI/87	12.040	15.20	181.46	30.57	5.54723	2 170.45	33 700	218.78	"	145.85
3GA150	"	28	1/VII/87	12.056	15.13	179.79	30.50	5.48362	2 198.56	48 300	256.65	"	179.10
4GA150	"	"	"	12.072	15.20	181.46	30.60	5.53453	2 181.21	46 900	258.46	"	172.31
1GB200	22/V/87	7	29/V/87	12.044	15.27	183.13	30.53	5.59065	2 154.20	39 500	215.09	200	107.84
2GB200	"	14	5/VI/87	11.885	15.20	181.46	30.43	5.52182	2 152.37	44 500	245.23	"	122.61
3GB200	"	28	19/VI/87	12.085	15.27	184.13	30.57	5.59820	2 158.70	49 400	269.75	"	134.87
4GB200	"	"	"	11.988	15.23	182.17	30.53	5.56165	2 155.47	49 600	272.27	"	136.13
1GC250	20/V/87	7	27/V/87	12.122	15.23	182.17	30.52	5.56165	2 179.57	44 400	243.73	250	97.49
2GC250	"	14	3/VI/87	12.047	15.07	178.37	30.50	5.44028	2 214.41	51 600	289.29	"	115.72
3GC250	"	28	17/VI/87	12.072	15.17	180.74	30.57	5.52522	2 184.89	58 200	322.01	"	128.80
4GC250	"	"	"	12.067	15.23	182.17	30.43	5.54343	2 176.91	58 600	321.68	"	128.67

(*) promedio de tres (3) lecturas diferentes.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

A N E X O B .

Registro y resultados de los ensayos de los cilindros de prueba de las mezclas elaboradas con agregados de concreto reciclado y agregados naturales.

REGISTRO Y RESULTADOS DE LOS CILINDROS DE PRUEBA.

identificación del cilindro	fecha de colado	edad de ruptura días	fecha de ruptura	peso kg.	diámetro cms. (*)	área cms ²	altura cms. (*)	volumen x10 ⁻³ m ³	peso métrico g/cm ³	volumen g/cm ³	carga aplicada kgs.	resistencia obtenida kg/cm ²	resistencia de proyecto kg/cm ²	% de resistencia adquirida
5GA150	3/VI/87	7	10/VI/87	11.357	15.27	183.13	30.47	5.57997	2 035.32	11 100	60.61	150	40.41	
6GA150	"	14	17/VI/87	11.428	15.23	182.17	30.50	5.55618	2 056.81	13 900	76.30	"	50.87	
7GA150	"	28	1/VI/87	11.436	15.17	180.74	30.57	5.52522	2 069.78	18 500	102.36	"	68.24	
8GA150	"	"	"	11.384	15.20	181.46	30.47	5.52908	2 058.93	18 500	101.95	"	67.97	
9GA150	29/V/87	7	5/VI/87	11.619	15.27	183.13	30.43	5.57264	2 085.01	28 300	154.53	"	103.02	
10GA150	"	14	12/VI/87	11.828	15.17	180.74	30.50	5.51257	2 145.64	32 300	178.71	"	119.14	
11GA150	"	28	26/VI/87	11.767	15.17	180.74	30.57	5.52522	2 129.69	38 700	214.12	"	142.75	
12GA150	"	"	"	11.780	15.17	180.74	30.60	5.53064	2 129.95	38 300	211.91	"	141.27	
13GA150	"	7	5/VI/87	11.381	15.17	180.74	30.50	5.51257	2 064.55	19 000	105.12	"	70.08	
14GA150	"	14	12/VI/87	11.414	15.20	181.46	30.53	5.53997	2 060.30	22 800	125.65	"	83.77	
15GA150	"	28	26/VI/87	11.392	15.20	181.46	30.43	5.52182	2 063.09	28 900	159.26	"	106.17	
16GA150	"	"	"	11.494	15.27	183.13	30.57	5.59828	2 053.13	29 600	161.63	"	107.75	
5GB200	22/V/87	7	29/V/87	12.051	15.17	180.74	30.43	5.49991	2 191.13	17 400	96.27	200	48.13	
6GB200	"	14	5/VI/87	11.547	15.30	183.85	30.40	5.58904	2 066.01	21 700	118.03	"	59.01	
7GB200	"	28	19/VI/87	11.592	15.20	181.46	30.53	5.53997	2 092.43	25 700	141.63	"	70.81	
8GB200	"	"	"	11.691	15.17	180.74	30.50	5.51257	2 120.79	24 900	137.77	"	68.88	
9GB200	27/V/87	7	3/VI/87	11.800	15.13	179.79	30.43	5.47100	2 156.27	35 600	198.01	"	99.00	
10GB200	"	14	10/VI/87	11.756	15.13	179.79	30.50	5.48359	2 143.85	44 700	248.62	"	124.31	
11GB200	"	28	24/VI/87	11.743	15.17	180.74	30.53	5.51799	2 128.13	50 100	277.19	"	138.59	
12GB200	"	"	"	11.789	15.20	181.46	30.53	5.53997	2 127.99	50 600	278.85	"	139.42	
13GB200	"	7	3/VI/87	11.277	15.10	179.08	30.47	5.45656	2 066.69	18 800	104.98	"	52.49	
14GB200	"	14	10/VI/87	11.355	15.20	181.46	30.47	5.51908	2 053.69	25 600	141.08	"	70.54	
15GB200	"	28	24/VI/87	11.462	15.27	183.13	30.53	5.59095	2 050.10	30 300	165.46	"	82.73	
16GB200	"	"	"	11.435	15.20	181.46	30.40	5.51638	2 072.98	30 100	165.88	"	82.94	
5CC250	20/V/87	7	27/V/87	11.738	15.20	181.46	30.47	5.52908	2 122.96	23 100	127.30	250	50.92	
6CC250	"	14	5/VI/87	11.795	15.17	180.74	30.43	5.49991	2 144.96	29 600	163.77	"	65.51	
7CC250	"	28	17/VI/87	11.768	15.17	180.74	30.53	5.51799	2 132.66	32 100	177.60	"	71.04	
8CC250	"	"	"	11.672	15.17	180.74	30.43	5.51799	2 115.26	31 500	174.28	"	69.71	
9CC250	14/V/87	7	21/V/87	11.723	15.20	181.46	30.60	5.55263	2 111.25	39 100	215.47	"	86.19	
10CC250	"	14	28/V/87	11.740	15.13	179.79	30.50	5.48359	2 140.93	45 500	253.07	"	101.23	
11CC250	"	28	11/VI/87	11.642	15.17	180.74	30.53	5.51799	2 109.83	52 200	288.81	"	115.52	

(*) promedio de tres (3) lecturas diferentes.

REGISTRO Y RESULTADOS DE LOS CILINDROS DE PRUEBA.

identificación del cilindro	fecha de colado	edad de ruptura días	fecha de ruptura	peso kg.	diámetro cms. (*)	área cms ²	altura cms. (*)	volumen x10 ⁻³ m ³	peso volu- métrico kq/m ³	carca aplicada kgs.	resistencia obtenida kq/cm ²	resistencia de proyecto kq/cm ²	% de resistencia adquirida
12CC250	14/V/87	28	11/VI/87	11.762	15.17	180.74	30.57	5.52522	2 128.78	53 100	293.79	250	117.52
13CC250	"	7	21/V/87	11.519	15.20	181.46	30.53	5.53992	2 079.27	23 400	128.95	"	51.58
14CC250	"	14	28/V/87	11.570	15.17	180.74	30.53	5.51799	2 096.78	30 300	167.64	"	67.06
15CC250	"	28	11/VI/87	11.665	15.27	183.13	30.60	5.60377	2 081.63	34 400	190.03	"	76.01
16CC250	"	"	"	11.540	15.20	181.46	30.60	5.55267	2 078.28	33 300	183.51	"	73.40

(*) promedio de tres (3) lecturas diferentes.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

A N E X O C .

Selección y cálculo del equipo de alimentación, trituración (primaria y secundaria) y cribado, para la planta de reciclado con capacidad de 110-275 tons/hr.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

Selección y cálculo del equipo de alimentación, triturado (primario y secundario) y cribado, para la planta de reciclado con capacidad de 110-275 tons./hr.

- El material por triturar son fragmentos de concreto de dureza blanda a media.
- La producción requerida es de 275 t/h.
- Los tamaños de los productos requeridos son:
 - 1 1/2" + 3/4"
 - 3/4" + 3/8"
 - 3/8" a 0
- El tamaño máximo de los fragmentos de concreto es de 28".
- El proceso de trituración debe constar de dos etapas:
 - Etapa primaria de reducción; los fragmentos de concreto deben reducirse a un tamaño máximo de 6" por medio de una quebradora primaria. Debido a que resulta difícil establecer o conocer los porcentajes de cada uno de los tamaños de los fragmentos de desecho de concreto de entre - 28" a 0, para alimentar al sistema de trituración, tentativamente se usarán los porcentajes que arrojan una gráfica de tipo lineal, como la que se muestra en la gráfica A.
 - Etapa secundaria de reducción; el producto de la trituración primaria se reducirá a un tamaño menor de 1 1/2".

De acuerdo a los datos anteriores, se selecciona la quebradora primaria, y utilizando las tablas de capacidades de las quebradoras de quijadas, se observa que una quebradora de quijada con boca de admisión de 30" x 42" admite sin dificultad los fragmentos de concreto de 28", así mismo, tiene una capacidad de entre 140 y 220 t/h a una abertura de salida de 3 1/2" (tabla 1).

Con la quebradora primaria elegida, se selecciona el alimentador de acuerdo con el ancho de boca de la quebradora. De la tabla 2, se selecciona el alimentador que se ajuste a las características de la quebradora primaria; el alimentador elegido es el de ----



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

42" x 14' (alimentador grizzly vibratorio con sección de rejilla de 6").

A continuación, y utilizando la curva granulométrica respectiva (tabla 3), se aprecia que la quebradora de quijada de 30" x 42", con una abertura de salida de 3 ½" proporciona material con un tamaño máximo de 6" anotando para el balance granulométrico los porcentajes producidos de los tamaños de entre -6" a +1 ½", -1 ½" a +1 ¼", -1 ¼" a +1", -1" a + 3/4", -3/4" a + 1/2", -1/2" a + 3/8", -3/8" a + 1/4", -1/4" a + 1/8" y -1/8" a 0, como se observa en la tabla de registro (tabla 4).

La fracción comprendida entre el material de -6" a +1 ½" requiere trituración secundaria para reducirla a material menor de 1 ½". Utilizando la tabla 5 de producción, se selecciona la trituradora secundaria de cono modelo 66 S (5 ½" pies), la cual abierta a -7/8" en la salida, tritura las 183.04 t/h. de material de -6" a +1 ½".

Utilizando la curva granulométrica respectiva (tabla 6), se anotan en la tabla 4 los porcentajes y toneladas por hora de los materiales producidos. Con estos datos se obtiene el resumen final de los productos.

Seleccionado el equipo de trituración, tanto primario como secundario, se calcula la criba vibratoria que será empleada y que en este caso será de tres pisos (1 ½", 3/4" y 3/8", respectivamente) de acuerdo a los tonelajes de los diferentes tamaños. Con la ayuda de la fórmula y las tablas de factores (tabla 7), se procede al cálculo del área necesaria para la criba, como se aprecia en la tabla 8.

* Cálculo de la malla de 1 ½".

sobre tamaño = 183.04 t/h.

alimentación = 275.00 + 183.04 = 458.04 t/h.

- factor A = para piedra triturada = 2.68 t/h por pie cuadrado de malla de 1 ½".



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

- factor B = para un sobretamaño de: $\frac{183.04}{458.04} \times 100 = 39.96 \%$
entonces B = 0.95
- factor C = porcentaje de eficiencia de cribado deseado = 94 %
entonces C = 1.00
- factor D = porcentaje de material inferior a 3/4" = $\frac{137.70}{458.04} \times 100 = 30.07 \%$, entonces D = 0.80
- factor E = para cribado por vía húmeda = 1.10
- factor F = para el primer piso = 1.00

sustituyendo los valores en la fórmula:

$$A = \frac{\text{alimentación} - \text{sobretamaño}}{A \times B \times C \times D \times E \times F} \dots (1)$$

$$A_{1 \frac{1}{4}"} = \frac{458.04 - 183.04}{2.68 \times 0.95 \times 1.00 \times 0.80 \times 1.10 \times 1.00} = \frac{275.00}{2.24} = 122.77 \text{ pies cuadrados.}$$

* Cálculo de la malla de 3/4".

sobretamaño = 137.30 t/h.

alimentación = 275.00 t/h.

- factor A = para piedra triturada = 1.80 t/h por pie cuadrado de malla de 3/4".
- factor B = para un sobretamaño de: $\frac{137.30}{275.00} \times 100 = 49.93 \%$
entonces B = 0.90
- factor C = porcentaje de eficiencia deseado de cribado = 94 %
entonces C = 1.00
- factor D = porcentaje de material inferior a 3/8" = $\frac{69.83}{275.00} \times 100 = 25.39 \%$, entonces D = 0.75
- factor E = para cribado por vía húmeda = 1.20
- factor F = para el segundo piso = 0.90



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

sustituyendo los valores en la fórmula (1):

$$A_{3/4} = \frac{275.00 - 137.30}{1.80 \times 0.90 \times 1.00 \times 0.75 \times 1.20 \times 0.90} = \frac{137.70}{1.31} =$$

104.81 pies cuadrados.

* Cálculo de la malla de 3/8".

sobretamaño = 67.88 t/h.

alimentación = 275.00 - 137.30 = 137.70 t/h.

- factor A = para piedra triturada = 1.19 t/h por pie cuadrado de malla de 3/8"

- factor B = para un sobretamaño de: $\frac{67.88}{137.70} \times 100 = 49.30 \%$
entonces B = 0.90

- factor C = porcentaje de eficiencia de cribado deseado = 94 %
entonces C = 1.00

- factor D = porcentaje de material inferior a 1/8" = $\frac{26.20}{137.70} \times 100 = 19.03 \%$, entonces D = 0.69

- factor E = para cribado por vía húmeda = 1.50

- factor F = para el tercer piso = 0.75

sustituyendo los valores en la fórmula (1):

$$A_{3/8} = \frac{137.70 - 67.88}{1.19 \times 0.90 \times 1.00 \times 0.69 \times 1.50 \times 0.75} = \frac{69.83}{0.83} =$$

84.12 pies cuadrados.

De acuerdo al cálculo del área de cada una de las mallas, el tamaño de la criba será de: 7' x 18', y cuya área es de 126 pies cuadrados, área que satisface a la requerida por la malla de 1 1/4", - siendo ésta la que requirió la mayor área en relación a las otras dos mallas.

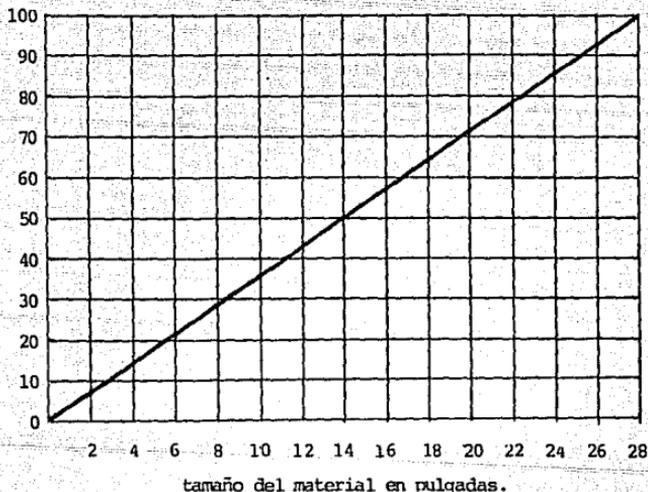
Con todos los datos y resultados obtenidos, se elaborará -



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

el diagrama de flujo del proceso, haciendo trabajar a la trituradora primaria de quijada de 30" x 42" y a la trituradora secundaria de cono modelo 66S (5 1/2" pies), ésta última en circuito cerrado para obtener el control del tamaño máximo del producto final, como se aprecia en la figura 1.

porcentaje
del material
(%)



Gráfica A. Porcentajes de los diferentes tamaños de los desechos de concreto para alimentar al sistema de trituración con capacidad de 110-275 t/h.

ESPECIFICACIONES DE LAS QUEBRADORAS DE QUIJADAS

Compacto

S. A. C. V.

Tamaño	10x16	10x21	10x30	12x38	15x24	15x38	20x36	25x60	30x42	36x66	44x68	50x60
Peso solo en Kg.	2267	2563	4495	5312	4167	8626	32976	18124	24176	24504	52794	73618
Peso para operación en Kg.	2361	2724	4589	5575	4791	8789	12530	18560	24857	37954	50929	76776
Peso Valerías en m ³	3.26	3.68	4.81	5.24	4.67	10.19	14.16	16.28	25.49	31.15	45.38	59.47
Potencia requerida, en HP	10-15	15-20	15-21	40-60	30-40	50-60	75-100	100-125	125-150	150-200	150-200	250-300
Potencia de motor Diésel X ancho en HP	876 x 216	838 x 210	855 x 267	855 x 267	855 x 267	8219 x 3118	12719 x 751	1377 x 3755	526 x 1375	876 x 450	8279 x 1375	1381 x 432
RPM	350	350	320	320	320	285	285	260	255	235	220	220

CAPACIDADES DE LAS QUEBRADORAS DE QUIJADAS

Tamaño	10x16	10x21	10x30	12x38	15x24	15x38	20x36	25x60	30x42	36x66	44x68	50x60		
Capacidad en toneladas de salida de:														
1"	4.6	5.7												
2"	8.8	11.0	15.90	18.27										
3"	13.1	16.5	23.35	27.35	27.35									
4"	16.50	19.26	27.13	31.34	30.49	28.77	45.81							
5"	19.25	23.11	32.50	38.95	37.55	37.86	58.105							
6"			38.75	45.62	47.100	50.125	110.180							
7"					76.114	80.185	125.278	140.296						
8"						90.185	140.225	160.560	200.560					
9"							115.200	170.270	190.345	190.340	200.450	420.425		
10"								140.240	160.240	220.240	240.240	440.240		
11"									165.215	175.215	200.260	250.260		
12"										200.240	220.240	260.240		
13"											240.240	280.240		
14"												300.240		
15"													320.240	
16"														340.240
17"														360.240
18"														380.240
19"														400.240
20"														420.240
21"														440.240
22"														460.240
23"														480.240
24"														500.240
25"														520.240
26"														540.240
27"														560.240
28"														580.240
29"														600.240
30"														620.240
31"														640.240
32"														660.240
33"														680.240
34"														700.240
35"														720.240
36"														740.240
37"														760.240
38"														780.240
39"														800.240
40"														820.240
41"														840.240
42"														860.240
43"														880.240
44"														900.240
45"														920.240
46"														940.240
47"														960.240
48"														980.240
49"														1000.240
50"														1020.240
51"														1040.240
52"														1060.240
53"														1080.240
54"														1100.240
55"														1120.240
56"														1140.240
57"														1160.240
58"														1180.240
59"														1200.240
60"														1220.240
61"														1240.240
62"														1260.240
63"														1280.240
64"														1300.240
65"														1320.240
66"														1340.240
67"														1360.240
68"														1380.240
69"														1400.240
70"														1420.240
71"														1440.240
72"														1460.240
73"														1480.240
74"														1500.240
75"														1520.240
76"														1540.240
77"														1560.240
78"														1580.240
79"														1600.240
80"														1620.240
81"														1640.240
82"														1660.240
83"														1680.240
84"														1700.240
85"														1720.240
86"														1740.240
87"														1760.240
88"														1780.240
89"														1800.240
90"														1820.240
91"														1840.240
92"														1860.240
93"														1880.240
94"														1900.240
95"														1920.240
96"														1940.240
97"														1960.240
98"														1980.240
99"														2000.240
100"														2020.240

NOTA*

- La potencia requerida varía según el tamaño del producto elaborado por la quebradora y según la dureza de la roca o mineral procesado.
- Las capacidades están dadas en toneladas cortas, 907 kg., considerando materiales que pesan 1,500 kg. por metro cúbico.
- Donde no se especifique capacidad para una abertura dada, significa que la quebradora no puede operarse económicamente con dicha abertura de salida.

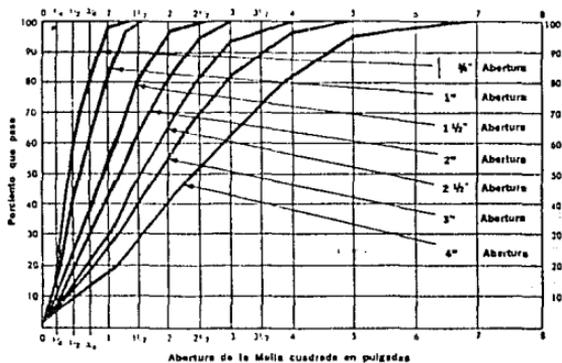
Tabla 1.1. Especificaciones y capacidades de las quebradoras de quijadas.

ESPECIFICACIONES Y CAPACIDADES DE LOS ALIMENTADORES GRIZZLY Y VIBRATORIOS																				
ANCHO ESTÁNDAR LONGITUD ESTÁNDAR	36" de ancho			42" de ancho			48" de ancho					50" de ancho				72" de ancho				
	12'	14'	18'	12'	14'	18'	12'	14'	18'	18'	20'	18'	18'	20'	22'	18'	18'	20'	22'	
Alimentador																				
Vibratorio - Peso total lb	6215	6910	8145	8800	7380	8780	7245	7765	9310	19000	20400	19650	21350	22600	24300	22450	24750	24350	25850	
Alimentador Grizzly vibratorio con sección de rejilla de 2" - zona - total lb	6525	7005	8310	7080	7825	8550	7840	8015	8825	18350	20750	20200	21800	22010	24750	22900	24550	24750	26300	
Alimentador Grizzly vibratorio con Sección de rejilla de 8" - Peso total lb	--	--	8800	--	--	9270	--	--	11420	--	--	21800	23200	--	--	23550	--	--	--	
Alimentador Grizzly vibratorio con Sección de rejilla de 8" - Peso total lb	--	--	--	--	--	--	--	--	--	18000	21650	--	22650	24700	--	--	25250	27000	--	
Alimentador Grizzly vibratorio con Sección de rejilla de 10" - Peso total lb	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	25300	--	--	--	28000	
Estaciones fuera de la zona de carga - ancho	2'-6"	2'-6"	2'-6"	2'-0"	2'-0"	2'-0"	2'-6"	2'-6"	2'-6"	2'-6"	2'-6"	2'-6"	2'-6"	2'-6"	2'-6"	10'-5"	10'-5"	10'-5"	10'-5"	
Dentro de la zona - ancho	13'-6"	12'-6"	13'-6"	14'-0"	14'-0"	14'-0"	14'-5"	14'-6"	14'-6"	14'-6"	14'-6"	15'-6"	15'-6"	15'-6"	15'-6"	16'-5"	18'-5"	16'-5"	16'-5"	
Estos, fuera de la zona de carga - peso	8950	10200	11250	9050	10350	11400	10950	12850	13500	14750	15850	12850	14450	14050	16850	13100	14700	16400	17200	
Dentro de la zona - peso	12650	15250	16350	14000	15400	16500	18800	20400	22250	26000	28750	24850	28400	28650	30550	28500	28850	30750	31100	
Water electrico - W.P.	15	15	20	15	20	20	20	20	25	30	30	30	30	40	40	40	40	40	50	
Rango de capacidades en ton. por hora	325- 925	325- 875	325- 975	400- 1150	400- 1150	400- 1150	450- 1325	450- 1325	450- 1325	450- 1325	450- 1325	515- 1700	515- 1700	515- 1700	515- 1700	700- 2050	700- 2050	700- 2050	700- 2050	

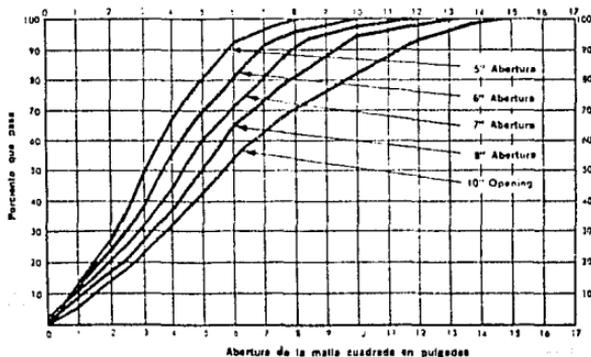
Tabla 2. TABLA DE CAPACIDADES Y CARACTERISTICAS PRINCIPALES DE LOS ALIMENTADORES VIBRATORIOS

Tabla 3. Análisis granulométrico del producto de las quebradoras de quijadas.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL PRODUCTO DE LAS QUEBRADORAS DE QUIJADAS, PARA ABERTURAS DE SALIDA DESDE 3/4" HASTA 4"



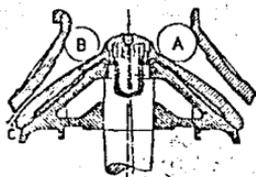
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL PRODUCTO DE LAS QUEBRADORAS DE QUIJADAS, PARA ABERTURAS DE SALIDA DESDE 5" HASTA 10"



Tamaños de los materiales	Alimentación a la planta: 275.00 T.P.H.	Trituración primaria 217.25 T.P.H., abierta a 7/8".	Resumen 275.00 T.P.H.		Trituración secundaria, 183.04 T.P.H., abierta a 7/8"		Productos finales -1 1/2" a +3/4" -3/4" a +3/8" -3/8" a 0 275.00 T.P.H.		
-28" a + 6"	79.00	217.25							
- 6" a +1 1/2"	16.00	44.00	64.00	139.04	66.56	183.04			
-1 1/2" a +1 1/4"	0.90	2.48	8.00	17.38	7.22	19.86	9.0	16.47	
-1 1/4" a + 1"	0.80	2.20	5.00	10.86	4.75	13.06	18.00	32.95	
- 1" a +3/4"	0.60	1.65	6.00	13.04	5.34	14.69	22.00	40.27	49.93 137.30
-3/4" a + 1/2"	1.20	3.30	8.00	17.38	7.52	20.68	17.00	31.12	
- 1/2" a +3/8"	0.40	1.10	1.00	2.17	1.19	3.27	7.00	12.81	24.68 67.88
-3/8" a + 1/4"	0.35	0.96	3.00	6.52	2.72	7.48	7.00	12.81	
- 1/4" a +1/8"	0.25	0.69	2.00	4.35	1.83	5.04	10.00	18.30	
-1/8" a 0	0.50	1.38	3.00	6.52	2.87	7.90	10.00	18.30	25.39 69.83
SUMAS	100.00	275.00	100.00	217.25	100.00	275.00	100.00	183.04	100.00 275.00

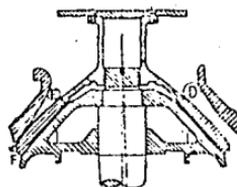
Tabla 4. Balance granulométrico de los materiales producidos por la planta de reciclado con capacidad de 110-275 t/h.

CAPACIDADES DE PRODUCCION



Trituradora Secundaria
Tipo "S"

Los diagramas y tablas muestran los lados abiertos y cerrados en la alimentación y el cerrado en la descarga de los materiales



Trituradora Terciaria
Tipo "FC"

TIPO "S"

Tamaño de la Trituradora y Clave	Tipo de Tazón	Abertura de Admisión		Abertura de Descarga mínima recomendada	Capacidades en toneladas cortas por hora, a la abertura de descarga "C" indicada, para materiales que pesen 1,500 kg./m ³													
		Lado Abierto "A"	Lado Cerrado "B"		1/4"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"			
24 S (2 pies) Yachi	Grueso Mediano	3 1/4" 2 1/2"	2 3/4" 1 7/8"	3/8" 1/4"	17	22	27	32	37	42	47	53						
245 S (2 pies) Yak	Grueso	4 5/8"	4 1/8"	1/2"			27	32	37	42	47	53						
36 S (3 pies) Yaud	Extra Grueso Grueso Mediano	7 1/8" 5" 4 1/2"	6 1/4" 4" 3 3/4"	3/4" 1/2" 3/8"	36	41	56	71	77	83	89	105	110					
367 S (3 pies) Yam	Grueso	7 3/4"	6 3/4"	3/4"					71	77	83	89	105	110				
48 S (4 pies) Yaupon	Extra Grueso Grueso Mediano	8 1/2" 7 1/2" 5 7/8"	7 1/2" 6 1/2" 4 3/4"	3/4" 3/4" 1/2"	85	110	135	155	170	185	200	215	230					
489 S (4 pies) Yawi	Grueso	10"	9"	1"						170	185	200	215	230				
66 S (5 1/2" pies) Yarn	Grueso Mediano	11" 9"	10" 8"	1" 3/4"						200	235	275	320	365	410	455		
6614 S (5 1/2" pies) Yap	Grueso	15"	14"	1 1/2"										365	410	455		

TIPO "FC"

Tamaño de la Trituradora y Clave	Tipo de Tazón	Abertura de Admisión		Abertura de Descarga mínima recomendada	Capacidades en toneladas cortas por hora, a la abertura de descarga "F" indicada, para materiales que pesen 1500 kg/m ³													
		Lado Abierto "D"	Lado Cerrado "E"		1/8"	3/16"	1/4"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"						
24 FC 2 pies Yearning	Grueso Mediano Fino	2 1/2" 1 3/4" 1 5/16"	1 7/8" 1 1/8" 1/2"	1/4" 3/16" 1/8"	6	8	10	14	20	25	30							
36 FC 3 pies Yuga	Grueso Mediano Fino	3" 2" 1 3/4"	2" 1 1/8" 3/4"	5/16" 1/4" 3/16"	22	32	42	52	62	72	80							
48 FC 4 pies Yule	Grueso Mediano Fino	4 1/4" 3" 2 1/4"	3" 1 7/8" 1"	3/8" 5/16" 1/4"				55	80	105	130	155	180					
66 FC 5 1/2" pies Yuman	Grueso Mediano Fino	5 3/4" 4 1/2" 3"	4" 2 1/2" 1 1/8"	1/2" 3/8" 1/8"	95	140	180	215	250	280								

NOTA:

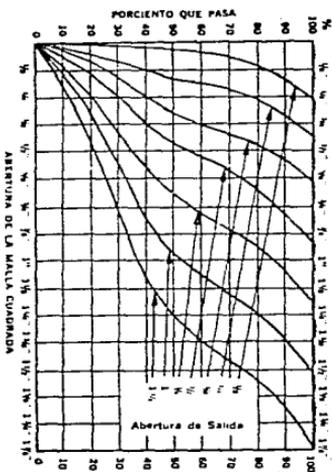
Las capacidades indicadas son promedio, ni máximas ni mínimas, estando basadas en la trituración de roca o mineral limpio y seco de 1500 kg./m³, de peso volumétrico y 2.6 de gravedad específica.

Para aberturas menores que las mínimas mostradas, consulte a la fábrica.

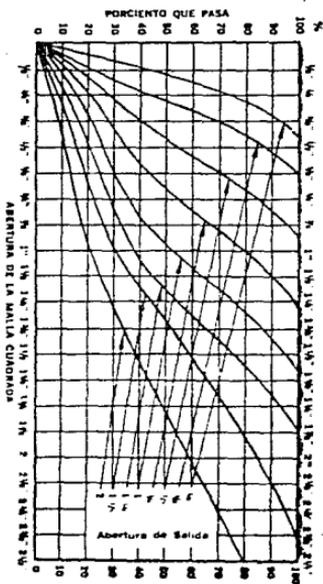
Tabla 5. Capacidades de producción de las trituradoras secundarias de cono.

CURVAS GRANULOMETRICAS DEL PRODUCTO TRITURADO

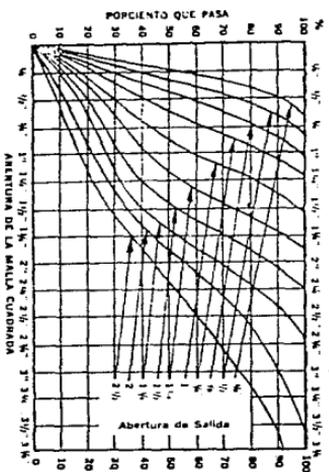
Trituradoras Mod. 24, "S" y "FC"



Trituradoras Mod. 36, "S" y "FC"



Trituradoras Mod. 48, "S" y "FC"



Trituradoras Mod. 66, "S" y "FC"

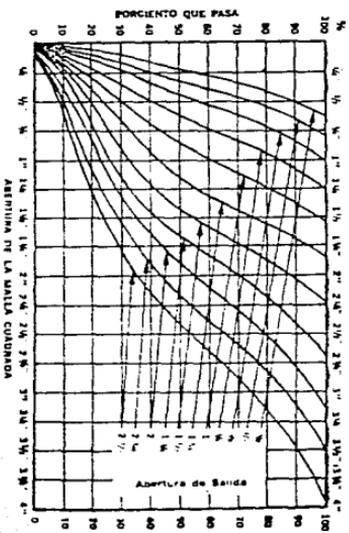


Tabla 6. Curvas granulométricas del producto triturado por las trituradoras secundarias de cono.

Tabla 7. Tablas de factores para el cálculo de cribas.

CAPACIDAD DE LAS CRIBAS VIBRATORIAS

Factor "A": Capacidad específica en toneladas cortas por hora que pasan a través de un pie cuadrado de malla, basadas en una eficiencia del 95%, con un sobretamaño en el material al menos del 25%

Ciudad de la Malla Cuadrada	.0118"	.0184"	.0232"	.0308"	.040"	.065"	.093"	1/8"	.131"	.185"	1/4"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	1"	1 1/4"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"	
Almendra de Malla	48	26	28	30	14	10	8	6	4														
Arena	.144	.183	.228	.282	.36	.45	.57	.69	.73	.90													
Polve de Roca	.120	.152	.188	.235	.30	.378	.475	.58	.595	.73													
Polve de Carbon	.081	.115	.142	.178	.228	.284	.36	.43	.45	.57													
Grava de Río											1.08	1.40	1.68	1.74	2.16	2.36	2.56	2.90	3.20	3.70	4.05	4.20	4.10
Piedra Triturada											.88	1.19	1.40	1.69	1.86	1.96	2.19	2.40	2.68	3.10	3.39	3.60	3.60
Carbon											.68	.88	1.04	1.21	1.38	1.48	1.60	1.83	2.00	2.31	2.53	2.69	2.91

Usar solo en Cribas de 1 piso

Factor "B": Es función del porcentaje de sobretamaño contenido en la alimentación a la Criba.

Porcentaje de Sobretamaño	Factor "B"	Porcentaje de Sobretamaño	Factor "B"
10%	1.05	85%	.84
20%	1.01	90%	.83
30%	.98	92%	.80
40%	.95	94%	.74
50%	.90	95%	.70
60%	.86	98%	.60
70%	.80	100%	.60
80%	.70		

CAPACIDAD DE LAS CRIBAS VIBRATORIAS

Eficiencia Deseada	60%	70%	75%	80%	85%	90%	92%	94%	95%	96%	Factor "C"
Factor "C"	2.10	1.70	1.55	1.40	1.25	1.10	1.05	1.00	.95	.90	Factor "C": Una separación perfecta o eficiencia del 100% no es económica. En la práctica del cribado de agregados, se acepta una eficiencia del 94%

Cantidad en la Alimentación menor de la mitad de la malla de cribas	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%	Factor "D"
Factor "D"	.55	.70	.80	1.00	1.20	1.40	1.60	1.80	2.20	3.00	Este factor es necesario considerarlo cuidadosamente cuando se está cribando un material con alto contenido de arena o roca fina. Por ejemplo, si se está cribando a 1/2", considerar el porcentaje menor a 1/4" en la alimentación.

CRIBADO POR VÍA HUMEDA

Tamaño de la Abertura de la malla (Pulgadas o número de la malla)	20	14	10	8	1/8"	6	4	1/2"	5/10"	3/8"	1/2"	3/4"	1"	o más
Factor "E"	1.10	1.50	2.00	2.25	2.50	2.50	2.50	2.25	2.00	1.50	1.50	1.20	1.10	

El cribado por vía húmeda (atajo) de la malla # 20, no es económico. Si se criba por vía seca, se utilizará un factor "E" igual a 1. Un cribado por vía húmeda significa el utilizar de 5 a 10 galones por minuto de agua por cada pie cuadrado de malla de material por hora por hora, o sea que por cada 50 yardas cúbicas por hora de material, se necesitarán de 250 a 500 galones por minuto de agua.

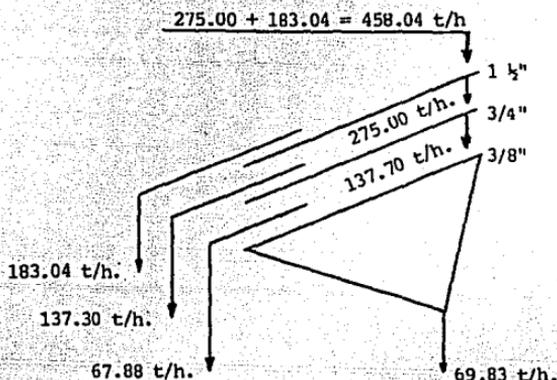
Piso	Superior	Intermedio	Terreno
Factor "F"	1.00	.70	.75

Para una criba de un piso, se usará un factor "F" igual a 1. Para una criba de dos o tres pisos, el factor "F" se usará en proporción inversa al número de pisos. Ejemplo: si se usará el factor "F" de .75 para un piso, se usará el factor "F" de .50 para dos pisos y .35 para tres pisos.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Tabla 8. Cálculo de áreas para las mallas de la criba.



Primer piso: 1 1/2" cuadrada de abertura.

$$\text{Area} = \frac{458.04 \text{ T.P.H.} - 183.04 \text{ T.P.H.}}{2.68 \times 0.95 \times 1.00 \times 0.80 \times 1.10 \times 1.00} = \frac{275.00 \text{ T.P.H.}}{2.24}$$

A x B x C x D x E x F

$$= 122.77 \text{ pies cuadrados.}$$

$$B = \frac{\text{sobretamaño}}{\text{alimentación}} = \frac{183.04}{458.04} = 39.96 \%, \text{ entonces } B = 0.95$$

$$D = \frac{\text{un medio de } 1 \frac{1}{2}''}{\text{alimentación}} = \frac{137.70}{458.04} = 30.06 \%, \text{ entonces } D = 0.80$$

Segundo piso: 3/4" cuadrada de abertura.

$$\text{Area} = \frac{275.00 \text{ T.P.H.} - 137.30 \text{ T.P.H.}}{1.80 \times 0.90 \times 1.00 \times 0.75 \times 1.20 \times 0.90} = \frac{137.70 \text{ T.P.H.}}{1.31}$$

$$= 104.81 \text{ pies cuadrados.}$$

$$B = \frac{\text{sobretamaño}}{\text{alimentación}} = \frac{137.30}{275.00} = 49.93 \%, \text{ entonces } B = 0.90$$

$$D = \frac{\text{un medio de } 3/4''}{\text{alimentación}} = \frac{69.83}{275.00} = 25.39 \%, \text{ entonces } D = 0.75$$

Tercer piso: 3/8" cuadrada de abertura.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

$$\text{Area} = \frac{137.70 \text{ T.P.H.} - 67.88 \text{ T.P.H.}}{1.19 \times 0.90 \times 1.00 \times 0.69 \times 1.50 \times 0.75} = \frac{69.83 \text{ T.P.H.}}{0.83} =$$

$$= 84.12 \text{ pies cuadrados.}$$

$$B = \frac{\text{sobretamaño}}{\text{alimentación}} = \frac{67.88}{137.70} = 49.30 \%, \text{ entonces } B = 0.90$$

$$D = \frac{\text{un medio de } 3/8''}{\text{alimentación}} = \frac{26.20}{137.70} = 19.03 \%, \text{ entonces } D = 0.69$$



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

B I B L I O G R A F I A .

1. Revista IMCYC, No. 122, Concreto reciclado como un nuevo agregado, pags. 27 a 44, Frondistou - Yannas, México, 1981.
2. Cálculo de la proporción base para un concreto, U.N.A.M., centro de educación continua, Ing. Adolfo Portal Portal, México, 1972.
3. Apuntes para personal de campo, Secretaría de Recursos Hidráulicos, México.
4. Manual de concreto, partes 1 y 2, Secretaría de Recursos Hidráulicos, México, 1970.
5. Control de calidad del concreto, publicaciones IMCYC, México, — 1974.
6. Práctica recomendable para la evaluación de los resultados de las pruebas de resistencia del concreto, publicaciones IMCYC, México, 1978.
7. Cartilla del concreto, publicaciones IMCYC, México, 1975.
8. El concreto en la obra, tomo I, publicaciones IMCYC, México, — 1982.
9. Agregados para concreto, publicaciones IMCYC, México, 1983.
10. Curado del concreto, publicaciones IMCYC, México, 1983.
11. Instructivo para concreto, Secretaría de Recursos Hidráulicos.
12. Manual para muestreo de concreto, AMIC - ANALISEC, México.
13. El concreto premezclado y sus ventajas, AMIC, México.
14. Concreto premezclado, Normas Oficiales de Calidad D.G.N., AMIC, - México.
15. Concreto premezclado, Normas Oficiales Complementarias I, N.O.M., AMIC, México.
16. Concreto premezclado, Normas Oficiales Complementarias II, — N.O.M., AMIC, México.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

17. III Simposio internacional sobre la tecnología del concreto, — usos del concreto reciclado, V. Mohan Malhorta, Instituto de — Ingeniería Civil, U.A.N.L., Monterrey, Nuevo León, México, 1977.
18. NQM-C-1-1980, Industria de la Construcción.- Cemento Portland.
19. NQM-C-2-1982, Industria de la Construcción.- Cemento Portland — Puzolana.
20. NQM-C-81-1981, Industria de la Construcción.- Aditivos para concreto.- curado.- compuestos líquidos que forman membrana.
21. NQM-C-111-1982, Industria de la Construcción.- Concreto.- agregados.- especificaciones.