

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### **1.1 ANTECEDENTES.-**

Los materiales aglomerantes comprenden la variedad de productos cerámicos que pueden mezclarse con agua u otro líquido para formar una pasta. La pasta es un material que es plástico temporalmente, se puede colarse y puede tener o no agregados incluidos en ella, más tarde se endurece o fragua en una masa compacta.

La mezcla de la pasta de cemento y agregado fino no solamente debe llenar los vacíos que hay en el agregado grueso sino recubrir totalmente sus partículas.

El Hormigón es el material de construcción más importante en que se emplea el cemento portland. Los cementos portland se elaboran con la incorporación de una mezcla de materiales calcáreos y arcillosos, que le dan la capacidad de unir fragmentos sólidos para formar un material resistente y durable.

El Hormigón es una mezcla de cemento portland o aglomerante, agregado fino, agregado grueso, aire y agua.

Los agregados ocupan alrededor del 75 % del volumen total de una mezcla típica de hormigón, razón más que suficiente como para tener cuidado con la calidad de los mismos.

El término agregados comprende las gravas naturales, las arenas y la piedra triturada utilizadas para preparar morteros y Hormigones.

El cemento está compuesto por dos materias primas principales, materiales calizos y materiales arcillosos, que se dosifica con todo cuidado para obtener las cantidades deseadas de cal, sílice, óxido de aluminio y óxido de hierro.

La materia prima durante su calcinación, sufre reacciones químicas y forma nódulos duros, del tamaño de una nuez, de un nuevo material llamado clinker, que después de descargarlo del horno y enfriarlo se tritura mezclado con retardante (yeso) en pequeñas cantidades para controlar la velocidad de fraguado en el momento que se hidrate el cemento, siendo este polvo fino el cemento portland.

Hace 20 años atrás las carreteras de nuestro País no eran Asfaltadas, lo que genero la necesidad de la Conservación y Mantenimiento de las Carreteras Vecinales y Fundamentales, para realizar el Mantenimiento en esa época existía una institución Estatal que se dedicaba a esta actividad, Llamada S.N.C. (Servicio Nacional de Caminos), esta entidad se encargaba de realizar el Mantenimiento de las Carreteras del País, esta institución fue la que empezó la exploración del subsuelo principalmente para detectar espesores de material y Yacimientos, como también para determinar las características Físico-Mecánicas de los distintos horizontes del subsuelo a distintas profundidades, estas exploraciones fueron las que lograron el allasco de estas Canteras, para realizar la extracción o Explotación de estas Canteras de material se lo hacía con Maquinaria pesada (con tractor horuga), en principio este material se lo utilizaba para el ripiado de Carreteras por su dureza y resistencia al desgaste, y como estas Canteras estaban en el derecho de vía era fácil su traslado al lugar de trabajo, en cuanto a los hormigones Ciclópeos en ese entonces no se hacían Muros de Hormigón Ciclópeo para proteger los taludes de las Carreteras se hacían muros denominados secos que eran muros de piedra colocada una sobre otra formando una pared luego a esos mismos muros se les agrego mortero entre medio de las juntas, a estos muros se los denominaba muros de mampostería de piedra, por este motivo no se utilizaban mucho los materiales de ríos y quebradas para la confección de hormigones, hace

aproximadamente unos 10 años se comenzó a construir muros de hormigón ciclópeo, lo que origino que se exploten todos los ríos, quebradas y cualquier curso de agua que tenga agregados de canto rodado para la confección de hormigones, de un tiempo a esta parte en el tramo Entre Ríos – Villamontes se incrementaron las obras civiles por lo que la demanda de materiales es mayor y la restricciones de éstos es también mayor por varios motivos un problema es el difícil acceso a éstos y si hay no existe en gran cantidad debido a que se encuentran contaminados con materia orgánica y otros elementos contaminantes, y para finalizar los agregados no se encuentran cerca de los lugares de trabajo sino a distancias muy largas por lo que el transporte de éstos hace que sea un gasto adicional para las empresas constructoras.

Por esta razón es que se ha optado por realizar este estudio para demostrar que estos materiales si se pueden utilizar para la confección de hormigones en este tramo y en otros que se tengan el mismo tipo de Canteras de material y con las mismas características.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN.-**

Debido a la escases de agregados de canto rodado de rio y quebradas y la difícil obtención de los mismos en este tramo, se ha visto la necesidad de realizar el estudio de otros materiales (agregados) para la producción de hormigones y de esta manera utilizar otros agregados que no sean cantos rodados utilizando las canteras que se encuentren en los sectores cercanos.

Con este estudio se pretende obtener datos reales y confiables que nos permitan utilizar estos materiales para la elaboración de hormigones dando uso a estos yacimientos de áridos y con esto reducir el costo del transporte y por ende del agregado debido a que éstos se encuentran cerca del lugar de construcción.

Estudiando estos materiales podremos conocer más a fondo sus características de resistencia y durabilidad, y compararlos con los materiales de canto rodado y así demostrar que éstos también se pueden utilizar para la elaboración de hormigones.

### **1.3 SITUACIÓN PROBLÉMICA.-**

#### **1.3.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.-**

- Dado el creciente incremento de las obras civiles en este tramo y por ende la sobre explotación de los áridos de los ríos y de cualquier curso de agua que tenga áridos de canto rodado, y por la difícil obtención de los mismos debido a que en este tramo de estudio si bien los agregados existen en ríos y quebradas pero no en gran cantidad, otro problema es la distancia donde están ubicados estos ríos y quebradas que contienen estos agregados para la utilización en hormigones, por ejemplo hay distancias desde 40 a 60 Km. Aproximadamente lo que hace muy elevado el costo de transporte y por ende del agregado y para finalizar tenemos el problema Social debido a que los vecinos de las laderas de los ríos y quebradas prohíben la extracción de estos agregados poniéndole un precio al mismo encareciendo más el costo del agregado y por consiguiente de la obra.

### **1.3.2 OBJETO DEL ESTUDIO.-**

Estudiar estos agregados alternativos es demostrar mediante ensayos de laboratorio y prácticas que los dos bancos de agregados pueden ser utilizados para la elaboración de Hormigones Ciclópeos porque en distintos sectores del tramo afloran estos estratos de material por lo que es la meta demostrar que los dos materiales sirven, y que sean una alternativa más para tomar en cuenta al momento de ejecutar cualquier obra en este Tramo de estudio.

### **1.4 OBJETIVOS.-**

#### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL.-**

Analizar materiales alternativos (agregados) para la elaboración de hormigones para el tramo “Entre Ríos – Villamontes”, a partir de ensayos de caracterización generales de los hormigones y agregados para ser utilizados en la elaboración de hormigones.

#### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.-**

- Realizar un análisis de estudios anteriores sobre agregados para hormigones y también la bibliografía existente sobre las características de los agregados para hormigones, estudiar las propiedades y características de los agregados para hormigones, y analizar los métodos de dosificación de hormigones más usuales en nuestro país.
- Caracterizar los materiales de las Canteras del Zapallar y Campo Hediondo extraendo muestras de los mismos y realizando los ensayos correspondientes, dosificar hormigones a diferentes resistencias de compresión utilizando como agregados los provenientes de las Canteras de Zapallar y Campo Hediondo.

- Realizar un análisis de los resultados obtenidos en la investigación del uso de agregados de las ripieras Zapallar y Campo hediondo en la elaboración de hormigones de distintas calidades, para establecer las conclusiones y recomendaciones resultantes del estudio.

### **1.5 ALCANCE.-**

- El alcance del presente estudio a realizar tiene como finalidad de dar bases para posteriores estudios referidos a agregados alternativos para la realización de hormigones, como también demostrar que esta alternativa es viable desde todo punto de vista.
- También se pretende alcanzar con este estudio, el demostrar que estos agregados alternativos de Canteras son aptos para la elaboración de hormigones y con esto poder tener una alternativa de solución para la falta de agregados en este tramo.
- Este estudio pretenderá proporcionar datos sobre el estado de estas Canteras su ubicación sus características Físicas y Mecánicas, como también las ventajas de utilizar estos agregados.

#### **1.5.1 ALCANCE POR CAPÍTULOS.-**

- En el primer capítulo se realizará una introducción del tema abordado como también se hará una justificación del estudio a realizar, realizando la identificación del problema, planteando también los objetivos a los que queremos llegar y dando una pauta de la meta que nos hemos planteado con el mencionado estudio.
- El alcance del segundo capítulo es dar una información teórica resumida sobre las características de los hormigones como también las características de los materiales que conforman estos hormigones y así tener una visión clara adonde queremos llegar con el presente estudio.

- En el tercer capítulo tiene la finalidad de proporcionar una información teórica sobre los Áridos para Hormigones, dando a conocer los métodos de exploración del subsuelo y formas de extracción de los Áridos como así también sus especificaciones y los respectivos ensayos que se les realizan.
- El cuarto capítulo es más importante porque en este capítulo se reflejan todas las metas del estudio, es donde se realizan los ensayos de los agregados que estamos estudiando y se analizan los diferentes resultados de los ensayo y con esto demostrar que si los materiales alternativos son aptos para la elaboración de hormigones.
- En el quinto capítulo se dan las conclusiones a las que hemos llegado con el estudio, conociendo ya los resultados de los ensayos ejecutados y también se dan las recomendaciones basadas en las conclusiones del estudio para poder tomar en cuenta para futuros estudios.

La elaboración de este estudio estará sobre las bases y normas y ensayos adoptados por la A.A.S.H.T.O. (American Association State Highway and Transportation Officials) y la A.S.T.M. (American Society for Testing Materials), con una complementación del Código Boliviano del Hormigón y la fábrica de cemento El Puente

**CAPÍTULO II**

**CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS  
HORMIGONES**

## CAPÍTULO II

### CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LOS HORMIGONES

#### **2.1 CONCEPTOS BÁSICOS.-**

El hormigón es el material resultante de unir áridos con la pasta que se obtiene al añadir agua a un conglomerante. El conglomerante puede ser cualquiera, pero cuando nos referimos a hormigón, generalmente es un cemento artificial, y entre estos últimos, el más importante y habitual es el cemento Portland.

La principal característica estructural del hormigón es resistir muy bien los esfuerzos de compresión. Sin embargo, tanto su resistencia a tracción como al esfuerzo cortante son relativamente bajas, por lo cual se debe utilizar en situaciones donde las solicitaciones por tracción o cortante sean muy bajas.

Para superar este inconveniente, se "arma" el hormigón introduciendo barras de acero, conocido como hormigón armado, o concreto reforzado, permitiendo soportar los esfuerzos cortantes y de tracción con las barras de acero. Es usual, además, disponer barras de acero reforzando zonas o elementos fundamentalmente comprimidos, como es el caso de los pilares. Los intentos de compensar las deficiencias del hormigón a tracción y cortante originaron el desarrollo de una nueva técnica constructiva a principios del siglo XX, la del hormigón armado.

Posteriormente se investigó la conveniencia de introducir tensiones en el acero de manera deliberada y previa al fraguado del hormigón de la pieza estructural, desarrollándose las técnicas del hormigón pretensado y el hormigón pos tensado.

Así, introduciendo antes del fraguado alambres de alta resistencia tensados en el hormigón, este queda comprimido al fraguar, con lo cual las tracciones que surgirían para resistir las acciones externas, se convierten en descompresiones de las partes previamente comprimidas, resultando muy ventajoso en muchos casos. Para el pretensado se utilizan aceros de muy alto límite elástico, dado que el fenómeno denominado fluencia lenta anularía las ventajas del pretensado.

Los aditivos permiten obtener hormigones de alta resistencia; la inclusión de monómeros y adiciones para hormigón aportan múltiples mejoras en las propiedades del hormigón.

Cuando se proyecta un elemento de hormigón armado se establecen las dimensiones, el tipo de hormigón, la cantidad, calidad, aditivos, adiciones y disposición del acero que hay que aportar en función los esfuerzos que deberá resistir cada elemento.

Un diseño racional, la adecuada dosificación, mezcla, colocación, consolidación, acabado y curado, hacen del hormigón un material idóneo para ser utilizado en construcción, por ser resistente, durable, incombustible, casi impermeable, y requerir escaso mantenimiento. Como puede ser moldeado fácilmente en amplia variedad de formas y adquirir variadas texturas y colores, se utiliza en multitud de aplicaciones.

### **2.1.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DEL HORMIGÓN.-**

Las principales características físicas del hormigón, en valores aproximados, son:

- Densidad: en torno a  $2.350 \text{ kg/m}^3$
- Resistencia a compresión: de  $150$  a  $500 \text{ kg/cm}^2$  ( $15$  a  $50 \text{ MPa}$ ) para el hormigón ordinario. Existen hormigones especiales de alta resistencia que alcanzan hasta  $2.000 \text{ kg/cm}^2$  ( $200 \text{ MPa}$ ).
- Resistencia a tracción: proporcionalmente baja, es del orden de un décimo de la resistencia a compresión y, generalmente, poco significativa en el cálculo global.
- Tiempo de fraguado: dos horas, aproximadamente, variando en función de la temperatura y la humedad del ambiente exterior.
- Tiempo de endurecimiento: progresivo, dependiendo de la temperatura, humedad y otros parámetros.
- De  $24$  a  $48$  horas, adquiere la mitad de la resistencia máxima; en una semana  $3/4$  partes, y en  $4$  semanas prácticamente la resistencia total de cálculo.
- Dado que el hormigón se dilata y contrae en magnitudes semejantes al acero, pues tienen parecido coeficiente de dilatación térmico, resulta muy útil su uso simultáneo

en obras de construcción; además, el hormigón protege al acero de la oxidación al recubrirlo.

## **2.2 COMPOSICIÓN DE LOS HORMIGONES.-**

La composición elegida para la preparación de las mezclas destinadas a la construcción de estructuras o elementos estructurales deberá estudiarse previamente, con el fin de asegurarse de que es capaz de proporcionar hormigones cuyas características mecánicas y de durabilidad satisfagan las exigencias del proyecto. Estos estudios se realizarán teniendo en cuenta, en todo lo posible, las condiciones de la obra real (diámetros, características superficiales y distribución de armaduras; modo de compactación, dimensiones de las piezas, etc.).

La homogeneidad y compacidad de los hormigones utilizados, así como los recubrimientos y protección previstos para las armaduras, serán los necesarios para garantizar la durabilidad de la obra, teniendo en cuenta sus condiciones de explotación y el ambiente al cual se prevé estará expuesto. Los hormigones que vayan a ser utilizados en obras expuestas a ambientes muy agresivos deberán ser objeto de estudios especiales. Es preciso señalar que las condiciones de durabilidad, sobre todo en el caso de riesgo eminente de agresividad de la atmósfera, requieren a veces utilizar hormigones cuyas composiciones pueden ser superabundantes con respecto a las exigidas por razones resistentes.

Entre los componentes más importantes del hormigón están:

### **2.2.1 CEMENTO.-**

#### **2.2.1.1 Clasificación**

Los conglomerados hidráulicos más importantes son los cementos, que de una manera general pueden clasificarse en cementos Portland y cementos especiales. Se denomina categoría de un cemento al valor de la resistencia de compresión, de un mortero normalizado hecho con el cemento en cuestión a la edad de 28 días. En general, el valor nominal de la categoría figura en la designación de los cementos. La

resistencia de los cementos no debe confundirse entre la del hormigón y el fabricado, esta última en general inferior a la del cemento. Los cementos por lo general se fabrican en seis tipos o clases, cuyas propiedades se han normalizado sobre la base de la especificación ASTM de Normas para el cemento Portland (C150). Los tipos se distinguen según los requisitos tanto químicos como físicos. De acuerdo a norma existen los siguientes tipos de cemento:

- **Tipo I:** cemento para usos generales, es el que más se emplea para fines estructurales cuando no se requieren las propiedades especiales especificadas para los otros tipos de cemento.
- **Tipo II:** cemento modificado para usos generales y se emplea cuando se prevé una exposición moderada al ataque por los sulfatos o cuando se requiere un moderado calor de hidratación. Estas características se logran al imponer limitaciones en el contenido de **Silicato tricálcico y aluminio tricálcico** del cemento. El cemento tipo II adquiere resistencia con más lentitud que el tipo I, pero al final alcanza la misma resistencia.
- **Tipo III:** cemento de alta resistencia inicial, recomendable cuando se necesita una resistencia temprana en una situación particular de construcción. El hormigón hecho con el cemento tipo III desarrolla una resistencia de siete días igual a la desarrollada en 28 días para hormigones hechos con cementos tipo I o tipo II. Esta alta resistencia inicial se logra al aumentar el contenido de **silicato tricálcico y aluminio tricálcico** en el cemento y al molerlo más fino. Las especificaciones no exigen un mínimo de finura, pero se advierte un límite práctico cuando las partículas son tan pequeñas, que una cantidad muy pequeña de humedad pre hidratada el cemento durante el almacenamiento y manejo. Dado que el cemento tipo III tiene gran desprendimiento de calor, no se debe usar en colados masivos. Con un 15% de **aluminio tricálcico** presenta una mala resistencia a los sulfatos. El contenido de **aluminio tricálcico** puede

limitarse al 8% para obtener una resistencia moderada a los sulfatos o a 5% cuando se requiere alta resistencia.

- **Tipo IV:** cemento de bajo calor de hidratación. Se ha desarrollado para usarse en hormigón masivo. Si se utiliza cemento tipo I en colados masivos que no pueden perder calor por radiación, el cemento libera suficiente calor durante la hidratación aumentando la temperatura del hormigón. Esto causa un aumento relativamente grande de las dimensiones mientras el hormigón está todavía en estado plástico, posteriormente su enfriamiento diferencial después de endurecer ocasiona que se produzcan grietas por contracción. El bajo calor de hidratación del cemento tipo IV se logra limitando los compuestos de **silicato tricálcico y aluminio tricálcico**. Dado que estos compuestos también aportan la resistencia inicial de la mezcla de cemento, al limitarlos se tiene una mezcla que gana resistencia con lentitud.
- **Tipo V:** cemento resistente a los sulfatos, se especifica cuando hay exposición intensa a los sulfatos. Las aplicaciones típicas comprenden las estructuras expuestas al agua del mar. La resistencia al sulfato del cemento tipo V se logra minimizando el contenido de **aluminio tricálcico**, pues este compuesto es el más susceptible al ataque por los sulfatos.
- **Cementos retenedores de aire:** cemento que está disponible para la producción de hormigón expuesto a heladas severas. Estos cementos están disponibles en los tipos I, II, y III, pero no en los tipos IV y V. Cuando se ha agregado al cemento en fábrica un agente inclusor de aire, se designan tipo IA, IIA o IIIA.

### 2.2.1.2 Cemento Portland

Los cementos Portland se obtienen por molturación de su clinker y de la cantidad adecuada de regulador de fraguado que es normalmente, piedra de yeso natural. La materia prima se dosifica con todo cuidado para obtener las cantidades deseadas de cal, sílice, óxido de aluminio y óxido de hierro.

Después de triturada, para facilitar la calcinación, la materia prima se pasa a un largo horno rotatorio, que se mantiene a una temperatura de alrededor de 1480 °C. La materia prima, durante su calcinación, sufre reacciones químicas y forma nódulos duros, del tamaño de una nuez, de un nuevo material llamado clinker. El clinker después descargarlo del horno y enfriarlo, se tritura para formar un color fino, el polvo fino resultante es el cemento Portland



**Fotografía 2.1.**

### **Cemento Portland**

En 1824 Joseph Aspdin, un albañil inglés, recibió una patente para cemento conocido hoy como Cemento Portland. Este descubrimiento destacable ha abierto la puerta a la creación del Hormigón moderno.

Entre los diversos materiales usados en la fabricación del cemento están:

Caliza	Mármol	Conchas marinas
Arcilla	Pizarra	Bauxita
Sílice	Arena	Mineral de hierro

Durante el proceso un gran número de componentes escapa en forma de gas y la cantidad de materia prima es grande en comparación con el producto final.

Los cuatro principales componentes del cemento hecho de las materias primas arribas indicadas son:

- 1.- Silicato tricalcico
- 2.- Silicato di cálcico
- 3.- Aluminato tricalcico
- 4.- Aluminoferrita tetra cálcica

El aluminato tricalcico reacciona muy rápido con el agua ocasionando en el cemento el primer aumento de temperatura de fraguado. Esto contribuye a una rápida resistencia inicial.

El silicato tricalcico es un compuesto de mayor resistencia y entrega su mayor contribución a la resistencia dentro de los primeros siete días.

El silicato dicálcico fragua muy lentamente y contribuye a la resistencia a mayores tiempos, después de los primeros siete días.

La aluminio ferrita tetracalcica reacciona muy rápidamente con agua pero es dudoso si contribuye mucho en la resistencia en el hormigón.

Yeso (sulfato cálcico) está entremezclado con el cemento y una de sus funciones es retardar o frenar el fraguado de las fases de ferrita y alúmina.

### **2.2.1.3 "Sello IBNORCA" de Calidad Cemento El Puente".-**



**Fotografía 2.2**  
**Fábrica de Cemento El Puente**

Luego de una ardua labor en el cumplimiento de requisitos y normas que exige el Instituto Boliviano de Normalización de la Calidad, Cemento El Puente de Tarija obtuvo con éxito el SELLO IBNORCA de calidad. Esta certificación permite garantizar la calidad permanente de este producto y a su vez promueve un proceso continuo de auto evaluación que genera seguridad y garantía para los clientes y usuarios finales del mismo. En otras palabras, con esta certificación los consumidores pueden sentirse seguros de que Cemento El Puente es un producto con garantía de calidad, respaldado en el cumplimiento permanente de la Norma Boliviana (NB 011) referido al cemento, sus definiciones,

### **2.2.1.4 Clasificación y Especificaciones.-**

Es así, que el lunes 18 de octubre de 2004 después de varios meses de arduo Trabajo, se obtuvo la certificación con SELLO IBNORCA DE CALIDAD para el CEMENTO PORTLAND "EL PUENTE" (IF-30), conforme a Norma Boliviana (NB 011).

Cemento El Puente lanza al mercado sus nuevos productos Especial y Alta Resistencia, como una respuesta al crecimiento de la construcción en el sur del país

Después de un proceso de mejoramiento integral en su sistema de molienda, Cemento el Puente, una marca de la Sociedad Boliviana de Cemento, SOBOCE S.A. realiza el lanzamiento oficial de sus nuevos productos denominados El Puente Especial y El Puente Alta Resistencia, para satisfacer las necesidades de nuestro departamento y toda la región sur del país.

Desde el año 2005, la planta de Cemento El Puente inició un importante proceso de inversión y actualización tecnológica, que culminó en la instalación de una nueva línea de molienda de cemento, de última generación. Esta inversión, ha permitido que Cemento El Puente mejore la calidad actual de molienda de cemento, duplique la capacidad de producción en planta y pueda lanzar al mercado sus dos nuevos productos: Cemento El Puente Especial, Tipo IP-30 y Cemento El Puente Alta Resistencia, Tipo IP-40.

El lanzamiento de estos dos nuevos productos de Cemento El Puente responde al propósito de satisfacer la creciente demanda de este producto en los mercados de Tarija, Potosí y el sur del país en general.

El Puente ESPECIAL y El Puente ALTA RESISTENCIA están producidos con los más altos estándares de calidad y cuentan con el respaldo y la garantía de SOBOCE; empresa boliviana líder con más de 80 años de experiencia en la fabricación de cemento.

#### **2.2.1.4.1 Cemento El Puente Especial (Tipo IP-30).-**

Es un cemento de uso y aplicación general, especialmente recomendado para elementos estructurales en general como zapatas, columnas, vigas, losas, pisos, muros, aceras y dinteles, obras sanitarias, cimientos, hormigones de todo tipo y otras aplicaciones muy diversas. Este nuevo producto, pensado para las necesidades de la población en general, puede ser trabajado más fácilmente, es más impermeable, tiene mayor resistencia contra agregados agresivos y ataques químicos y genera menor calor de hidratación.

#### **2.2.1.4.2 Cemento El Puente Alta Resistencia (Tipo IP-40).-**

Un cemento recomendado para aplicaciones que requieran elevados valores de resistencias iniciales y finales como ser pretensados, pos tensados, pavimento rígido y hormigón proyectado. Este producto, estará orientado a satisfacer necesidades en el ámbito de obras de infraestructura, tanto en el sector privado como el sector público.

Los cementos ESPECIAL y ALTA RESISTENCIA, sobrepasan holgadamente las especificaciones de resistencia de la Norma Boliviana NB-011 y cuentan con el sello de calidad del Instituto Boliviano de Normalización y Calidad (IBNORCA).

Igualmente, ambos productos tienen la Certificación Integrada de la Sociedad Boliviana de Cemento, SOBOCE S.A. compuesta por la ISO 9001, a la calidad de procesos y satisfacción de sus clientes, ISO 14001, al cuidado y protección del medio ambiente y OHSAS 18001 a la seguridad y salud ocupacional de sus colaboradores. Los nuevos cementos Especial y Alta Resistencia se comercializarán a partir del miércoles 29 de Noviembre, en todas las agencias y distribuidores autorizados de cemento El Puente. Cemento El Puente Especial será comercializado en la ciudad de Tarija al mismo precio de su antecesor El Puente IF-30.

#### **2.2.1.5 Plantas de “SOBOCE”:**

Actualmente existen las siguientes:

##### **2.2.1.5.a Planta Emisa en Oruro:**

Se encuentra ubicada a una distancia de 3,5 kilómetros de la ciudad de Oruro, sobre la carretera Oruro – Cochabamba, esta planta produce cementos del tipo I-30, IP-30 y IP-40.

##### **2.2.1.5.b Planta Warnes en Santa Cruz:**

A una distancia de 25 kilómetros de la ciudad de Santa Cruz, en carretera al Norte de esta ciudad, en la localidad de Warnes. Produce actualmente el cemento de tipo IP-40

NB-011/95 “Warnes especial” (esta planta utiliza clínquer traído desde la planta de Viacha).

#### **2.2.1.5.c Planta El Puente en Tarija:**

A 110 kilómetros de la ciudad de Tarija, en un punto cercano a Potosí y Chuquisaca. Produce el cemento I-30 NB – 011/95 “El Puente”.

#### **2.2.1.5.d Planta Fancesa en Sucre:**

Esta se encuentra a 3 kilómetros de Chuquisaca, produce los cementos I-40 “Pionero”, I-30 “Cemento Azul”, IP-40 “Súper”, IP-30 “Líder”.

#### **2.2.1.5.e Plante San Roque en La Paz:**

Esta a la altura del kilómetro 12 de la carretera El Alto - Copacabana, sobre el río del mismo nombre. Esta planta obtiene áridos.

#### **2.2.1.5.f Planta de Viacha en La Paz:**

La localidad de Viacha se encuentra a 35 kilómetros de la ciudad de La Paz, ella produce los siguientes tipos de cemento: Cemento I-30 NB-011/95 “Viacha”, Cemento IP-40 NB-011/95 “Viacha - Especial” y Cemento IP-30 NB-011/95 “Viacha -Estándar”.

El cemento es un material polvoriento, por lo generalmente de color gris a gris verdoso, que tiene materia les cristalinos artificiales (silicatos y aluminatos de calcio) que reaccionan con el agua y dan lugar a otros compuestos capaces de impartir, a la mezcla endurecida, un carácter que la asemeja bastante a la roca.

Las materias primas fundamentales son las rocas calizas (que contienen CaO) y arcillas (provenientes de los óxidos de sílice y aluminio). Se las tritura, se las mezclan de manera homogénea y después se introducen en el horno para su clínquerización entre las temperaturas de 1400 a 1500 0C.

La homogenización consiste en mezclar los distintos materiales, de tal forma que se obtenga los componentes necesarios en las proporciones deseadas. La homogenización que realiza las fabricas SOBOCE es por un proceso de vía seca en hornos pequeños, los cuales son provistos de un dispositivo que genera una corriente de aire que entra por debajo mientras se introduce en la materia prima por la parte superior.

El horno consiste en un gran cilindro de acero recubierto interiormente por ladrillos refractarios. En la planta de Viacha se dispone de 3 hornos, el Allis Chalmer con una longitud de 44.7 m y un diámetro de 2.74 m, el F.L.S con una longitud de 45 m y un diámetro de 3.75 m y el F.L.S-2 con una longitud de 64 m y un diámetro de 4.15m. El horno Allis Chalmer produce 210 toneladas/día, el F.L.S. produce 500 toneladas/día, y finalmente el F.L.S-2 1000 toneladas/día.

Los hornos deben tener una inclinación entre 3 y 5 % respecto a la horizontal y la rotación de su eje está entre 60 y 200 revoluciones por hora. La parte inferior de los hornos contienen la fuente de calor, quemadores que funcionan, en Viacha, a gas.

La materia prima dentro del horno es homogeneizada y clinkerizada. Este ciclo dura 1 hora y media. El horno pasa de la temperatura de 600 a 1200 °C temperaturas entre las cuales se realizan la descomposición de las arcillas y así la calcinación comienza, (producción del aluminato tricálcico C3A, y del ferro aluminato tetracálcico C4AF).

A una temperatura entre 1350 y 1550 °C se realiza la clinquerización (formación del silicato tricálcico C3S). Para finalizar esta etapa, se enfría bruscamente para realizar una cristalización apropiada del clínquer.

Una vez que el clínquer es estable a temperatura ambiente, este es pulverizado y mezclado con yeso para controlar la rapidez de la reacción entre el agua y el C3A durante la utilización en terreno del Cemento. La temperatura de la molienda debe controlarse, ya que esta por si misma provoca el aumento de la temperatura no deseado. En esta etapa también se pueden introducir diferentes materiales, por ejemplo puzolanas, que modifican las características del Cemento.

En Viacha se cuenta con un molino Allis Chalmer con una capacidad de 10 toneladas/hora, el molino F.L.S. con una capacidad de 38 toneladas/hora y el F.L.S. – 2 de 37 toneladas/hora.

Existen los siguientes tipos de cemento que la planta de Viacha produce según la norma boliviana:

#### **2.2.1.5.g Cemento "Viacha" Tipo Portland I-30 (NB-011/95).-**

Un cemento hidráulico producido mediante la pulverización del clínquer, compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente una o más de las formas de sulfato de calcio, como una adición durante la molienda. Cemento Portland tipo I, normal es el cemento Portland destinado a obras de concreto en general, cuando en las mismas no se especifique la utilización de otro tipo.

#### **2.2.1.5.h Cemento "Viacha - Estándar" Tipo IP-30 Resistencia Normal (NB - 011/95).-**

Este es un cemento de uso estructural en general, pero con importantes propiedades adicionales que enriquecen su aplicación. Entre las propiedades que confiere a los morteros y hormigones podemos citar: un óptimo tiempo de fraguado<sup>1</sup>, menor calor de hidratación<sup>2</sup>, mayor trabajabilidad, mayor impermeabilidad, mayor resistencia a los ataques químicos, mayor resistencia a ciclos hielo-deshielo y mojado-secado, que perjudican al hormigón. Por lo anterior podemos decir que su uso está indicado para:

- Elementos estructurales en general (zapatas, columnas, vigas, losas, muros, etc.)
- Cimentaciones en todo terreno.
- Hormigones masivos armados o sin armar.
- Obras donde se requiere mayor impermeabilidad.
- Obras en contacto con aguas y suelos con presencia de sulfatos.
- Obras sanitarias.
- Depósitos, tanques, silos, etc.

### 2.2.1.5.i Cemento "Viacha - Especial" Tipo IP-40 Alta Resistencia (NB -011/95).-

Se recomienda en obras que requieran altos valores de resistencia iniciales y finales como ser:

- Elementos prefabricados (pretensados, pre moldeados, postensados).
- Puentes.
- Pavimento Rígido.
- Edificios.
- Hormigón Proyectado.
- Elementos estructurales que requieran una rápida puesta en servicio.

Según la Norma Boliviana del Cemento NB-011, existen dos denominaciones para la clasificación de los cementos, (ver tabla 2.1) éstas son: Cemento Portland y Cemento Puzolánico, los Cementos Portland a su vez se dividen en tres tipos: Cemento Portland Tipo I, Cemento Portland con adición de puzolana Tipo IP y Cemento Portland con adición de filler calizo Tipo IF.

La Norma Boliviana distingue y clasifica a los cementos de acuerdo a sus resistencias (ver tabla 2.1)

**Tabla 2.1**  
**Clasificación de los Cementos segun NB 470**

<b>CLASIFICACIÓN Y COMPOSICIÓN DEL CEMENTO</b>				
<b>CATEGORIA RESISTENCIA</b>	<b>RESISTENCIA A LA COMPRESION (MPa) (NB 470)</b>			
		<b>Minima a 3 días</b>	<b>Minima a 7 días</b>	<b>Minima a 28 días</b>
Alta	40	17	25	40
Media	30	–	17	30
Corriente	25	–	15	25

## **2.2.2. Los Áridos.-**

### **2.2.2.1 Agregado Grueso**

Los agregados tanto gruesos como finos constituyen en conjunto cerca del 75% del volumen de la mezcla de hormigón, por lo que su calidad influye grandemente en sus características, principalmente de trabajabilidad, resistencia, durabilidad y economía.

El agregado grueso corresponde la fracción cuyas partículas son mayores de 4.76mm (malla N° 4); tiene un tamaño máximo hasta de 63.5 mm (malla 2½”) en hormigones vibrados. Es importante, para prevenir la segregación de tamaños en su manipulación, previamente a la elaboración del hormigón, fraccionar el agregado grueso en dos porciones como mínimo, separadas por la malla de 19 mm (¾”) cuando el tamaño máximo es de 38.1 mm malla (1½”) o por la malla de 25.4 mm (1”) cuando el tamaño máximo sea de 50.8 mm (2”) o de 63.5 mm malla (2½”).

Los agregados deben tener como principales características el ser duros, sanos, resistentes al intemperismo e inertes a la reacción química con los álcalis del cemento. Los agregados con partículas blandas, disgregables o laminares son inconvenientes y deben por lo tanto evitarse en la construcción de pavimentos.

Con objeto de obtener hormigones de alta calidad, facilitar su construcción, evitar riesgos de segregación y lograr un mejor acabado superficial, el tamaño máximo recomendado para el hormigón es de 5 cm; no debe ser mayor que la cuarta parte del espesor de la capa en que se pretende utilizar. Debe también mencionarse que, a mayor tamaño máximo, se requiere menor cantidad de pasta de cemento para alcanzar la resistencia requerida, debiendo vigilarse que la granulometría de los agregados sea la adecuada.

La forma de la partícula es importante tanto en los agregados finos como en los gruesos. Cuando existan partículas planas y alargadas o de forma angulosa, se requerirá mayor porcentaje de material fino y mayor contenido de cemento para producir un hormigón trabajable, que cuando el agregado es redondeado o de forma

relativamente equidimensional, como suele ser el caso de los agregados naturales. El agregado producto de trituración de roca o de fragmentos puede reunir características muy satisfactorias cuando la forma de sus partículas no se aparta apreciablemente de la forma cúbica. A este respecto, debe mencionarse la influencia que ejerce la naturaleza del material y el tipo de trituradora en la forma resultante de las partículas. Las trituradoras giratorias o de cono con placas de rompimiento curvo suelen producir el menor porcentaje de partículas alargadas y laminares. Para los tamaños menores de agregado, las trituradoras de rodillo corrugado producen los mejores resultados. Algunas rocas se rompen predominantemente en forma de laja con alto porcentaje de partículas planas y alargadas, independientemente del tipo de trituradora utilizada; estos materiales no deben emplearse en la elaboración de mezclas para pavimentos de hormigón o concreto a menos que al experiencia local indique lo contrario, la granulometría del agregado grueso para un tamaño máximo dado puede variar considerablemente sin afectar apreciablemente el contenido del cemento, siempre y cuando el contenido de arena se mantenga próximo al óptimo para lograr una buena trabajabilidad; sin embargo, la curva granulométrica deberá quedar en todo momento dentro de los límites especificados, salvo que se cuente con experiencia local de un buen comportamiento de mezclas efectuadas con curvas granulométricas fuera de dichos límites.

#### **2.2.2.1.1 Composición.-**

El agregado grueso estará formado por roca o grava triturada obtenida de las fuentes previamente seleccionadas y analizadas en laboratorio, para certificar su calidad. El tamaño mínimo será de 4,8 mm. El agregado grueso debe ser duro, resistente, limpio y sin recubrimiento de materiales extraños o de polvo, los cuales, en caso de presentarse, deberán ser eliminados mediante un procedimiento adecuado, como por ejemplo el lavado.

La forma de las partículas más pequeñas del agregado grueso de roca o grava triturada deberá ser generalmente cúbica y deberá estar razonablemente libre de partículas delgadas, planas o alargadas en todos los tamaños.

### 2.2.2.1.2 Calidad.-

En general, el agregado grueso deberá estar de acuerdo con la norma ASTM C 33 (El uso de la norma está sujeto de acuerdo al país en el cual se aplique la misma ya que las especificaciones de cada una de estas varían de acuerdo con la región o país). Los porcentajes de sustancias dañinas en cada fracción del agregado grueso, en el momento de la descarga en la planta de concreto, no deberán superar los siguientes límites.

**Tabla 2.2**

**Limites de Sustancias dañinas según Enciclopedia Wikipedia Arquitectura e Ingeniería**

SUSTANCIA	NORMA	LÍMITE MÁXIMO (%)
Material que pasa por el tamiz No. 200	(ASTM C 117)	Máx. 0.5
Materiales ligeros	(ASTM C 123)	Máx. 1
Otras sustancias dañinas	-	Máx. 1
Pérdida por intemperismo	(ASTM C 88, método Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Máx. 12
Pérdida por abrasión la máquina de Los Ángeles	ASTM C 131 y C 535	Máx. 40

### 2.2.2.1.3 Granulometría.-

El agregado grueso debe estar bien gradado entre los límites fino y grueso y debe llegar a la planta de concreto separado en tamaños normales cuyas granulometrías se indican a continuación:

Tabla 2.3

## Granulometrías segun Enciclopedia Wikipedia Arquitectura e Ingeniería

Tamiz U.S. Standard	Dimensión de la malla (mm)		Porcentaje en peso que pasa por los tamices individuales	
-	-	19 mm	38 mm	51 mm
2"	50	-	100	100
1½"	38	-	95-100	95-100
1"	25	100	-	35-70
¾"	19	90-100	35-70	-
½"	13	-	-	10-30
⅜"	10	20-55	10-30	-
N° 4	4.8	0-10	0-5	0-5
N° 8	2.4	0-5	-	-

## 2.2.2.1.4 Tamaño.-

A menos que específicamente se indique lo contrario, el tamaño máximo del agregado que deberá usarse en las diferentes partes de la obra será:

Tabla 2.4

Tamaños Máximo de los Agregados según Enciclopedia Wiquipedia  
Arquitectura e Ingeniería

TAMAÑO MÁXIMO	USO GENERAL
51 mm (2")	Estructuras de concreto en masa: muros, losas y pilares de más de 1 m de espesor.
38 mm (1½")	Muros, losas, vigas, pilares, etc., de 30 cm a 1 m de espesor.
19 mm (¾")	Muros delgados, losas, alcantarillas, etc., de menos de 30 cm de espesor.

## 2.2.2.2. Agregado Fino.-

Constituye cerca del 50 por ciento del volumen total del agregados, y esta compuesto por partículas menores de 4.76 mm (malla No.4). El contenido de agregado fino tiene

influencia sobre la dosificación, aspereza de la mezcla, propensión al sagrado y costo, entre los aspectos más importantes, siendo fundamental controlar su granulometría y modulo de finura, contenido de sustancias perjudiciales, resistencia al intemperismo y contenido de materiales que reaccionen perjudicialmente con los álcalis del cemento, entre otros.

Las arenas naturales son por lo general de partículas redondeadas; en cambio, las arenas producto de trituración resultan ser mas angulosas. Sin embargo, si la forma de estas últimas no se aparta apreciablemente del modelo cúbico y no llegan a producirse porcentajes apreciables de partículas planas y puntiagudas, se pueden lograr hormigones satisfactorios, con contenidos de cemento ligeramente mayores que con arenas naturales.

La granulometría o distribución de las partículas de los agregados es importante debido a su efecto en el costo, trabajabilidad, segregación, densidad, contracción y durabilidad del hormigón. Cuando los agregados disponen de una sucesión gradual de tamaños, es decir, no existen excesos ni deficiencias de determinados tamaños, se obtienen los mejores resultados. Las arenas muy finas dan resistencias muy bajas y las muy gruesas producen mezclas ásperas poco trabajables, por lo que ambas deben evitarse en lo posible. La trabajabilidad de una mezcla es particularmente sensible a la cantidad de material que pasa las mallas 50 y 100. una deficiencia en estos tamaños pueden conducir a una excesiva concentración de agua o sangrado indeseable y suele recomendarse vigilar que no menos de 15 a 18 por ciento de agregado fino pase por la malla No.50,y de 3 a 5 por ciento por la malla No. 100,para producir superficies de buena apariencia y mezclas de compactación favorable, debiendo vigilarse que se obtenga un modulo de finura comprendido entre 2.2 y 3.1.sin embargo, se hace hincapié en que la experiencia local debe ser tomada en cuenta.

Por otra parte, investigaciones recientes relativas a las condiciones adecuadas de micro textura han demostrado que es muy importante la dureza de las partículas con tamaños entre 0.1 y 1 mm, por lo que se recomienda la presencia de 30 por ciento de partículas sílices, cumpliendo con la especificación ASTM D 3042.19

La arena o árido fino es el material que resulta de la desintegración natural de las rocas o se obtiene de la trituración de las mismas, y cuyo tamaño es inferior a los 5mm.

Para su uso se clasifican las arenas por su tamaño. A tal fin se les hace pasar por unos tamices que van reteniendo los granos más gruesos y dejan pasar los más finos.

- Arena fina: es la que sus granos pasan por un tamiz de mallas de 1mm de diámetro y son retenidos por otros de 0.25 mm.
- Arena media: es aquella cuyos granos pasan por un tamiz de 2.5 mm de diámetro y son retenidos por otros de 1 mm.
- Arena gruesa: es la que sus granos pasan por un tamiz de 5mm de diámetro y son retenidos por otro de 2.5 mm.

Las arenas de granos gruesos dan, por lo general, morteros más resistentes que las finas, si bien tienen el inconveniente de necesitar mucha pasta de conglomerante para rellenar sus huecos y ser adherentes. En contra partida, el mortero sea plástico, resultando éste muy poroso y poco adherente.

El amasado de los morteros se realiza removiendo y agitando los componentes de la mezcla las veces necesarias para conseguir su uniformidad. Esta operación se llama batir la mezcla.

Preferentemente, el amasado se efectúa en amasadoras o hormigoneras, batiendo la mezcla con un mínimo de un minuto.

El amasado a mano debe hacerse sobre una plataforma impermeable y limpia, realizándose como mínimo tres batidos.

El conglomerante en polvo se mezcla en seco con la arena, añadiendo después el agua.

El tiempo de utilización, en el mortero de cemento debe utilizarse sólo dentro de las

dos horas inmediatas a su amasado. Durante este tiempo puede agregarse agua, si es necesario, para compensar la pérdida de agua de amasado. Pasado el plazo de dos horas, el mortero sobrante debe desecharse, sin intentar volver a hacerlo utilizable.

El mortero de cal puede usarse durante un tiempo ilimitado siempre que se conserve en las debidas condiciones.

Con el yeso se forma un mortero simple amasándolo tan sólo con agua y, a veces, con algo de arena. La cantidad de agua de amasado varía con la clase de trabajo a que se destine el mortero

Como cantidades aproximadas de yeso y agua para confeccionar 1m<sup>3</sup> de mortero de consistencia normal, se suelen considerar las siguientes:

- Mortero de yeso negro: 850 Kg de yeso y 600l de agua.
- Mortero de yeso blanco: 810 Kg de yeso y 650l de agua.

El amasado se hace vertiendo el yeso sobre el agua depositada en una artesa, batiendo la mezcla rápidamente y procurando que no se formen grumos ni burbujas.

El agregado fino consistirá en arena natural o artificial, formada por partículas duras y durables, con menos de 1% de arcilla, carbón o materia orgánica.

La graduación del agregado fino estará comprendida dentro de los siguientes límites:

**Tabla 2.5**

**Gradación para el Agregado fino (ASTM T-11 y T-27)**

<b>TAMIZ</b>	<b>% EN PESO QUE PASA LOS TAMICES</b>
3/8"	100
Nº 4	95 - 100
Nº 8	-
Nº 16	45 - 80
Nº 30	-
Nº 50	10 - 30
Nº 100	2 - 10
Nº 200	2 - 4

Previa autorización del Ing. A cargo de la obra, podrán reducirse los porcentajes del material que pasa los cedazos número 50 y 100 a 5 y 0 respectivamente, o podrá

mezclarse arena con material fino libre de materia orgánica, en el caso que no contenga suficiente material que pase por esos cedazos. El módulo de finura del agregado fino estará comprendido entre 2 y 3.

### **2.2.3. AGUA PARA MEZCLAS DE HORMIGÓN.-**

Dentro de los procesos de mezclado y curado, el agua reviste vital importancia para obtener las mejores propiedades en el hormigón. De aquí la necesidad de ampliar algunos aspectos que ya han sido estudiados anteriormente.

En primer lugar, se presentan las generalidades sobre las diferentes formas como el agua participa en el hormigón. Luego, separadamente para el agua de mezclado y el agua de curado se analiza detalladamente su función y las características que deben tener para que no alteren las propiedades del hormigón, especialmente su resistencia, el tiempo de fraguado; además se formulan unas cuantas consideraciones sobre el agua de lavado de los agregados.

Por último, se resumen algunos valores que se recomiendan como máximos para que las sustancias dañinas presentes en el agua no lleguen a afectar el hormigón y se recomiendan los ensayos que se deben efectuar para verificar la resistencia, el tiempo de fraguado y el contenido de sustancias en el agua.

El agua es el elemento por medio del cual el cemento desarrolla sus propiedades aglutinantes ya que en presencia de ella experimenta reacciones químicas dándole las características de fraguar y endurecer.

El agua se usa en la elaboración del hormigón para propósitos diferentes: como agua de mezclado, como agua de curado y como agua de lavado de los agregados. El agua de mezclado forma aproximadamente el 15% del volumen total del hormigón de donde, un 5% sirve para hidratar el cemento y el 10% restante lubrica al hormigón y luego se evapora durante el proceso de Fraguado. El agua de curado se utiliza después de que el hormigón ha fraguado y tiene como función la de seguir hidratando el cemento. El agua de lavado de los agregados no participa activamente en la mezcla de hormigones pero es importante en el procesamiento de los agregados.

En términos generales, el agua a utilizar tanto en el mezclado como en el curado del hormigón debe ser potable y cuando se trata de utilizar aguas cuyo comportamiento es desconocido se hace imprescindible su ensayo y comparación con agua de reconocidas buenas características para producir hormigón.

**Figura 2.1**

Uso del agua para la elaboración de Hormigones



### **2.2.3.1 Características del Agua.-**

#### **2.2.3.1.1 Agua de Mezclado.-**

El agua de mezclado es aquella que se le agrega al cemento para formar la pasta. Tiene como funciones hidratar el cemento y proporcionar una fluidez a la mezcla tal que, con una lubricación adecuada de los agregados, se obtenga la manejabilidad del hormigón deseada cuando este se encuentre en estado fresco.

A medida que el cemento se hidrata, la mezcla plástica va pasando al estado líquido durante el proceso de fraguado. La temperatura del hormigón se eleva como consecuencia de las reacciones químicas que se efectúan entre el cemento y parte del agua, incrementando así la evaporación del resto de esta. De acuerdo con esto, el agua de mezclado se puede considerar bajo dos formas: Agua de hidratación o no evaporable y agua evaporable.

La fluidez de la pasta depende de la cantidad de agua de mezclado. Si se aumenta esta cantidad sin modificar el contenido de cemento, la parte de agua de hidratación del cemento permanece constante, incrementándose así la parte de agua evaporable; cierta porción de esta queda atrapada en el interior del hormigón y al producirse la evaporación se forma una serie de conductos capilares que se llena de aire, generando un concreto endurecido poroso, menos resistente y más permeable. Por esto la dosificación del agua de mezclado se debe hacer con un control muy estricto.

En general, se puede decir que cualquier agua natural que se apta para el consumo humano y no tenga sabor u olor fuertes puede ser usadas para la elaboración del hormigón, sin que esto implique que el agua adecuada para la elaboración del hormigón sea potable (como un agua con contenido de azúcares).

Las impurezas que puede haber disueltas en el agua o presentes en forma de suspensiones, tales como azúcar, ácidos, sales, materia vegetal, aceites, sulfato, etc., pueden interferir con la hidratación del cemento retrasando así el tiempo de fraguado y reduciendo la resistencia del hormigón. Como estos efectos varían de manera acentuada con la marca y tipo de cemento usado así como la riqueza de la mezcla (cantidad de cemento), es conveniente conocer las cantidades de impurezas presentes en el agua.

Se ha comprobado mediante ensayos de laboratorio que el agua que contiene más de 2000 partes por millón (1 parte por millón = 1 ppm = mg/l) de sólidos disueltos se debe ensayar para probar su efecto en la resistencia y en el tiempo de fraguado. Se presenta un resumen de cómo ciertas impurezas afectan la calidad del hormigón.

Los carbonatos y bicarbonatos de sodio y de potasio tienen efectos variables en los tiempos de fraguado de los cementos. Es así como el carbonato de sodio puede causar un fraguado muy rápido, mientras que los bicarbonatos pueden acelerar o retardar el fraguado. Estas sales, en grandes concentraciones pueden alterar la resistencia del hormigón y por esto, cuando la suma de sales disueltas excede las 1000 ppm se deben

hacer ensayos para verificar su efecto en los tiempos de fraguado y en la resistencia a la compresión.

La presencia de una gran cantidad de cloruros en el agua de mezclado puede causar corrosión en el acero de refuerzo y en los cables de tensiónamiento de estructuras pretensadas. Generalmente se encuentran altos contenidos de cloruro de sodio en aguas como también altos contenidos de sólidos disueltos, de los cuales se pueden aceptar concentraciones hasta 20000 ppm cuando se va a utilizar el hormigón para estructuras con un bajo potencial de estar expuesta a reacciones corrosivas y generalmente en condiciones secas durante su vida útil; en estructuras de hormigón pretensado dicha concentración no debe ser superior de 500 ppm; para estructuras con elementos de aluminio y galvanizados, embebidas y/o expuestas a la humedad, la concentración no debe ser superior a 1000 ppm.

La presencia de sulfatos en el agua de mezclado tienen los mismos efectos que la de cloruros y su uso se restringe a concentraciones inferiores a las 10000 ppm para el caso del sulfato de sodio.

En el caso de otras sales comunes, el carbonato de calcio y magnesio, que no son muy solubles en el agua, y por tanto no se encuentran en altas concentraciones, pero que son dañinas al hormigón no deben superar las 400 ppm.

Se pueden permitir altas concentraciones de sulfatos de magnesio así como de cloruros de magnesio sin que se presente efectos perjudiciales en la resistencia, aceptándose hasta 40000 ppm de cloruro de magnesio y hasta 25000 ppm de cloruro de calcio.

Las sales de hierro generalmente no producen efectos nocivos al hormigón y por lo tanto se permitan concentraciones hasta de 40000 ppm; estas sales se encuentran en grandes cantidades en las aguas ácidas, aunque en las aguas naturales su contenido pocas veces pasa de 20 ó 30 ppm.

Las sales inorgánicas como las de magnesio, estaño, zinc, cobre y plomo, presentes en el agua de mezclado, pueden causar apreciable disminución en la resistencia y un retardo considerable en el tiempo de fraguado recomendándose concentraciones inferiores a 500 ppm.

En el caso de que se tengan aguas acidas, su aceptación o rechazo está basado en el grado de alcalinidad o acidez, que se mide por medio del PH (el valor del PH del agua neutral es de 7.0; valores por encima de 7.0 indican alcalinidad y aquellos por debajo de 7.0, acidez). Aguas que contiene ácidos inorgánicos como ácido sulfúrico y clorhídrico, en concentraciones menores de 10000 ppm, no producen efectos adversos a la resistencia del hormigón. Las aguas con un PH menor de 3.0 deben evitarse por su alto grado de acidez, considerándose buenos para la producción de hormigones aquellos cuyo PH está entre 6.0 y 8.0.

Las aguas alcalinas como el hidróxido de sodio, en concentraciones mayores que 10000 ppm pueden afectar la resistencia y el tiempo de fraguado del hormigón, mientras que el hidróxido de potasio no tiene mayores efectos sobre la resistencia de algunos cementos cuando las concentraciones están por debajo de 18000 ppm.

Cuando se trata de aguas con contenidos de azúcar, el efecto que ésta puede traer al hormigón depende de la cantidad de partículas que se encuentran presentes. Cantidades entre 0.03 y 0.15 % por peso de cemento (ppc), retardan el fraguado y, dependiendo del tipo de cemento, pueden reducir la resistencia a los 7 días mientras que a los 28 pueden mejorar, una cantidad de 0.02 % ppc, induce un fraguado rápido y una fuerte reducción de resistencia a los 28 días de edad. Cuando la cantidad excede de 0.5 % ppc, se reduce la resistencia del hormigón y por tanto se deben hacer los ensayos de tiempo de fraguado y resistencia.

Un problema muy frecuente es el de encontrar partículas de limo y arcillas suspendidas en el agua. Estas se pueden permitir siempre y cuando no sobrepasen de las 2000 ppm; por encima de este valor, puede no verse afectada la resistencia se pueden presentar perturbaciones de otras propiedades.

Otra fuente de contaminación para el agua de mezclado la constituyen los aceites (petróleo, aceites animales, vegetales, etc.). Cuando el petróleo no está mezclado con otro tipo de aceite, puede tener menos efectos sobre el desarrollo de la resistencia que otros aceites. Sin embargo, cuando la concentración de petróleo supera el 2% ppc puede reducir en más del 20% la resistencia del hormigón.

Gran parte de las aguas contaminadas con desechos industriales tiene un contenido total de sólidos menor que 4000 ppm. Cuando dicha agua es usada para el mezclado del hormigón, la reducción en la resistencia a la compresión generalmente no es mayor de aproximadamente el 10%.

Por otro lado, una muestra típica de agua sanitaria puede contener cerca de 400 ppm de materia orgánica. Después de un adecuado tratamiento la concentración se puede reducir de cerca de 20 ppm o menos, cantidad tan insignificante que su efecto nocivo sobre la resistencia del hormigón desaparece prácticamente en su totalidad.

#### **2.2.3.1.2 Agua de Curado.-**

En el proceso de hidratación la partícula de cemento no se hidrata totalmente sino que, a medida que entra en contacto con el agua, se va formando una película superficial quedando en el interior una porción sin reaccionar y por tanto inerte. Para este núcleo reaccione es necesario lograr un abastecimiento adicional de agua durante las etapas tempranas de endurecimiento después del proceso de fraguado y lograr así que el cemento desarrolle todo su potencial aglutinante. A dicho suministro de agua se denomina proceso de curado del hormigón, y a la que se utiliza para tal fin, agua de curado.

Los requerimientos para el agua de curado son menos exigentes que aquellos usualmente utilizados para el agua de mezclado, principalmente porque el agua de curado está en contacto con el hormigón por un periodo de tiempo relativamente corto. Tal agua puede contener más materia inorgánica y orgánica, anhídrido sulfúrico, ácido, cloruro, etc., que un agua aceptable para el mezclado. Por lo

general, el agua que se considera buena para el mezclado también lo es para el curado, pero se debe tener cuidado con aquellas aguas que fluyen lentamente sobre el hormigón y se evaporan rápidamente y que además, contienen materia orgánica o ferrosa porque pueden causar manchas en la superficie del hormigón.

#### **2.2.3.1.3 Agua de Lavado de los Agregados.-**

El agua para el lavado de los agregados no debe contener materiales en cantidades suficientes para formar películas o recubrimientos sobre la superficie de las partículas de agregado que afecten las propiedades del hormigón. La concentración de impurezas en el agua puede causar recubrimientos destructivos que en algunos casos pueden ser mucho más perjudiciales que aquellos causados por impurezas en el agua de mezclado; como no existen límites recomendados se recurre a pruebas comparativas para juzgar los efectos potencialmente dañinos.

El problema que genera este tipo de agua luego de su utilización es el de su disposición final puesto que podría causar serios problemas como cualquier otro tipo de agua negra. Por esto se debe someter a algún tipo de tratamiento antes de colocarla dentro de cualquier sistema de alcantarillado, lagos, ríos, etc. Una solución a este problema puede ser el de reducir las cantidades de sólidos y otras impurezas hasta alcanzar un aceptable nivel de sedimentación por métodos químicos o reciclaje del agua.

#### **2.2.3.2 Calidad del Agua.-**

En la Tabla 2.7 se presenta un resumen de los valores máximos recomendados de concentraciones de impurezas en el agua de mezclado.

Cuando se presente duda acerca del agua para la producción de hormigones se deben efectuar pruebas para verificar tanto el tiempo de fraguado como la resistencia. El primero se determina de acuerdo al procedimiento de la Norma (ASTM), por medio del cual se mide el tiempo de fraguado con la aguja de Vicat y establece que se debe presentar no más temprano de 1 hora ni más tarde de 1.5 horas. En cuanto a las

resistencias se debe evaluar siguiendo el procedimiento de la Norma donde se especifica fabricar cubos de mortero de 50.8 mm de arista con arena de gradación normalizada, someterlos a curado y ensayarlos a las edades de 3.7 y 28 días; estos resultados se comparan con cubos fabricados en las mismas condiciones pero con agua destilada y se establece que la mínima resistencia con respecto a la muestra de comparación debe ser del 90%.

También se acostumbra efectuar ensayos directamente sobre el agua para saber si es o no apta para la fabricación de hormigones. Algunos ensayos normalmente especificados son los que se indican en la Tabla 2.6.

**Tabla 2.6**  
**Valores máximos de Impurezas según Manual “SOBOCE”**

<b>VALORES MÁXIMOS RECOMENDADOS DE CONCENTRACIONES DE IMPUREZAS EN EL AGUA DE MEZCLADO PARA HORMIGÓN</b>	
<b>TIPO DE IMPUREZA</b>	<b>VALOR MÁXIMO RECOMENDADO</b>
Carbonato y Bicarbonato de Sodio y Potasio	1000 ppm
Cloruros	-
Estructuras con bajo potencial de corrosión y condiciones secas	20000 ppm
Hormigón Pretensado	500 ppm
Estructuras con elementos Galvanizados y de Aluminio	1000 ppm
Sulfato de Sodio	10000 ppm
Carbonato de Calcio y Magnesio	400 ppm
Cloruro de Magnesio	40000 ppm
Cloruro de Calcio	30000 ppm
Sales de Hierro	40000 ppm
Sulfato de Magnesio	25000 ppm
Sales de Magnesio, Estaño, Zinc, Cobre y Plomo	500 ppm
Sulfito de Sodio	100 ppm
Agua de Mar	-
Para Hormigón no Reforzado	35000 ppm
Para Hormigón Pretensado o Reforzado	No se Recomienda
PH	6,0 a 8,0
Ácidos Inorgánicos (Acido Sulfúrico)	10000 ppm
Hidróxido de Sodio (por peso de Cemento)	0,50%
Hidróxido de Potasio (por peso de Cemento)	1,20%
Aguas Sanitarias	20 ppm
Azúcar	500 ppm
Partículas en suspensión	2000 ppm
Aceite Mineral (por peso de Cemento)	2%
Agua con algas	No se Recomienda

Tabla 2.7

## Ensayos para el Agua de Mezclado según Norma (ASTM)

ENSAYOS NORMALMENTE ESPECIFICADOS PARA ANÁLISIS DEL AGUA DE MEZCLADO PARA HORMIGÓN	
TIPO DE IMPUREZA	NORMA ASTM
Calcio y Magnesio	D 511
Cloruros	D 512
Sulfatos	D 516
PH	D 1293
Acidez y Alcalinidad	D 1067
Partículas y materia disuelta en el agua	D 1888
Definición de términos relativos al agua	D 1129

**2.2.3.2.1 Características físico-químicas.-**

Refiriéndose a las características físico-químicas del agua para concreto, no parece haber consenso general en cuanto a las limitaciones que deben imponerse a las sustancias e impurezas cuya presencia es relativamente frecuente, como puede ser el caso de algunas sales inorgánicas (cloruros, sulfatos), sólidos en suspensión, materia orgánica, dióxido de carbono disuelto, etc. Sin embargo, en lo que sí parece haber acuerdo es que no debe tolerarse la presencia de sustancias que son francamente dañinas, como grasas, aceites, azúcares y ácidos, por ejemplo. La presencia de alguna de estas sustancias, que por lo demás no es común, debe tomarse como un síntoma de contaminación que requiere eliminarse antes de considerar la posibilidad de emplear el agua.

Cuando el agua de uso previsto es potable, cabe suponer en principio que sus características físico-químicas son adecuadas para hacer concreto, excepto por la

posibilidad de que contenga alguna sustancia saborizante, lo cual puede detectarse fácilmente al probarla. Así, por ejemplo, el USBR (15) considera que si el agua es clara, y no tiene sabor dulce, amargo o salobre, puede ser usada como agua de mezclado o de curado para concreto, sin necesidad de mayores pruebas.

### **2.3 PROPIEDADES FUNDAMENTALES DE LOS HORMIGONES.-**

Una vez estudiados los diferentes materiales que componen el hormigón se pueden analizar propiedades de la mezcla tanto en estado fresco como en estado endurecido.

En lo que se refiere al hormigón fresco, se consideran los parámetros más importantes a dicho estado como son la trabajabilidad, la segregación y la exudación.

Como paso intermedio entre los dos estados, se estudia el proceso de fraguado mediante el cual el hormigón pasa del fresco al endurecido.

En cuanto al hormigón en estado endurecido se explica lo concerniente a la resistencia y sus diferentes tipos. Asimismo, se analizan los puntos principales que atañen a la durabilidad tales como la permeabilidad, resistencia a la intemperización, a los agregados reactivos, al ataque de ácidos, a la abrasión y al ataque al fuego

En el sentido general de la palabra, un buen hormigón es aquel que resulta satisfactorio en sus dos estados: fresco y endurecido.

Las condiciones relativas al estado fresco residen en que el grado de humedad de mezcla sea el adecuado para que el hormigón pueda ser transportado, se pueda compactar por medios apropiados en el mínimo posible de energía, y además tenga cohesión suficiente, según el método de colocación utilizado, para que no se produzcan segregación o exudación.

Un buen hormigón en estado endurecido debe tener una resistencia a la compresión satisfactoria y una durabilidad adecuada. Por lo común, la resistencia es el factor más importante, pero esta característica va encaminada no solo a soportar un esfuerzo a la compresión prescrito, sino también a garantizar otras propiedades en el hormigón que están directamente relacionadas con una alta resistencia. Por otro lado, es necesario

que el hormigón sea durable, esto es, que resista, sin sufrir deterioro con el tiempo, las condiciones para las cuales se ha proyectado. La durabilidad depende del medio al que está expuesto el hormigón con solicitaciones que pueden ser físicas, químicas o mecánicas; pueden ser originadas por condiciones agresivas como ambientes salinos, ciclos de humedecimiento y secado, ciclos de hielo y deshielo, temperaturas externas, abrasión, ataque de sulfatos, acción electrolítica, y ataque por líquidos y gases de origen natural o industrial.

El agente interno más importante para facilitar este ataque es, sin lugar a dudas, la permeabilidad, aunque en algunos casos se presenta la reacción agregado-alkali, o también, los cambios de volumen debidos a diferencias entre las propiedades térmicas del agregado y de la pasta de cemento. La permeabilidad determina en gran medida la vulnerabilidad del hormigón ante los agentes externos, y de allí que para que un hormigón sea durable deberá tener la menor permeabilidad posible.

Actualmente, el interés por las propiedades del hormigón se ha incrementado, pues la tendencia moderna es la de estipular requisitos de propiedades particulares del hormigón, en lugar de limitarse a indicar la cantidad de los materiales componentes. Por lo tanto, el conocimiento de las propiedades del hormigón hace posible la selección de mezcla más apropiada y más económica.

### **2.3.1 PROPIEDADES DEL HORMIGÓN FRESCO.-**

#### **2.3.1.1 Trabajabilidad o manejabilidad.-**

La manejabilidad se define como el grado de facilidad o dificultad con que el hormigón puede ser mezclado, manejado, transportado, colocado y terminado sin que pierda su homogeneidad. De aquí se puede notar que la trabajabilidad puede ser considerada como una combinación de varias propiedades en las que la compactabilidad, movilidad, cohesividad, consistencia y plasticidad, son quizás las más importantes. Cada uno de estos factores se define como sigue:

- La compactabilidad se refiere a la facilidad con la que el aire atrapado en la mezcla puede ser expulsado.

- La movilidad es la facilidad con la que el hormigón puede fluir alrededor del acero de refuerzo, dentro de las formales, etc.
- La cohesividad es la resistencia de una mezcla de hormigón a la segregación y/o exudación
- La consistencia, se refiere al estado de fluidez, o sea, al grado de humedad de la mezcla, o dicho en otras palabras, que tan seca o fluida es una mezcla de hormigón.
- La plasticidad es propiedad del hormigón que le permite ser fácilmente moldeado, y que a la vez cambiar de forma lentamente si se saca del molde en estado fresco.

De cualquier modo, las mezclas húmedas son más trabajables que las mezclas secas.

El grado de trabajabilidad apropiado de una mezcla de hormigón está gobernado por el tamaño y forma de la estructura proyectada, por la disposición, tamaño y cantidad del acero de refuerzo, y por los métodos de colocación y compactación. Un elemento muy reforzado requiere de mayor grado de manejabilidad que uno con poco refuerzo.

#### **2.3.1.1.1. Factores de que Depende la manejabilidad.-**

Existen gran cantidad de factores que influyen en la trabajabilidad siendo los más importantes los siguientes:

- a. Gradación de los agregados.
- b. Forma y textura superficial de los agregados.
- c. Contenido de aire.
- d. Contenido de aditivos.
- e. Fluidez de la pasta.
- f. Cantidades relativas de pasta y agregados.

- g. Relación arena-agregado total.
- h. Algunos factores externos.

Los cuatros primeros fueron estudiados en los respectivos capítulos a continuación se hace referencia a los otros factores.

#### **e. fluidez de la pasta.-**

En cuanto a la fluidez de la pasta, se puede anotar que la plasticidad de una mezcla depende en gran parte de las cantidades relativas de agua y cemento. En efecto, una pasta con bastante cemento y poca agua es muy rígida y en conjunto con los agregados se convierte en una mezcla prácticamente inmanejable debido a que no se produce la suficiente lubricación entre las partículas. Por el contrario, si se tiene un contenido bajo de cemento mientras que el del agua es alto, se puede llegar a tener una pasta tan fluida que los granos de agregado quedan “nadando” produciéndose así segregación y exudación en el hormigón.

En consecuencia, la pasta en estado fresco debe ser una suspensión y no una solución de cemento en agua, y mientras más diluida, el espacio entre las partículas de cemento es mayor, formándose pastas con estructuras cada vez más pobres independientemente del estado de hidratación del cemento. Esto implica que en mezclas plásticas, la resistencia del cemento varía en forma inversa a la relación A/C agua / cemento, lo cual es una manera de expresar el grado de dilución de la pasta.

#### **f. Cantidades relativas de pasta y agregados.-**

La manejabilidad del hormigón también se ve afectada por la relación existente entre la cantidad de pasta y el área de los agregados que ésta debe lubricar y pegar. Este factor se conoce como relación pasta/agregados.

Para valores altos de esta relación, los agregados se pueden mover con facilidad dentro de la masa de hormigón. Por el contrario, si la cantidad de pasta se reduce hasta el punto en que no es suficiente para llenar los espacios vacíos para que los agregados puedan “flotar”, la mezcla se vuelve áspera y poco trabajable.

### **g. Relación arena- agregado total.-**

Otro factor que afecta la trabajabilidad es la cantidad de arena con respecto a la masa total de agregados. En lo referente a las recomendaciones granulométricas, las mezclas que contienen un bajo contenido de arena son difíciles de mezclar, transportar, colocar, consolidar y terminar, y además presentan la tendencia de producir segregación y exudación.

De otra parte, cuando se tiene un elevado porcentaje de arena es necesario aumentar la cantidad de agua o pasta para que la muestra sea trabajable. Cuando se incrementa el agua se disminuye la resistencia y la durabilidad, mientras que cuando se aumenta la pasta se obtienen mezclas más costosas. En estos casos, la mezcla tiene poca cohesividad presentándose también tendencia a la segregación o exudación.

Para la elaboración de mezclas con una cantidad dada de pasta, el porcentaje de arena requerido es menor si la arena es fina y mayor si es gruesa, para obtener una manejabilidad determinada.

### **h. Factores externos.-**

El grado de manejabilidad algunas ocasiones también está influenciado por factores externos tales como el método de mezclado, el sistema de transporte que puede ser por carretilla, bandas transportadoras, bombeado, por tubería, etc. , el tipo de colocación, el método de compactación utilizado ( si es manual, con vibradores de alta o baja frecuencia, con vibradores de encofrado, etc.); el tipo de textura de acabado deseado (lisa, rugosa, etc.), las condiciones del clima que imperan en el sitio de producción y colocación del hormigón y, el tiempo transcurrido entre el mezclado y la colocación del hormigón.

#### **2.3.1.1.2. Medición de la Trabajabilidad.-**

La trabajabilidad de una mezcla solo puede ser determinada mediante la observación de cómo se acomoda en las diferentes partes de la estructura y como responde ala compactación sin que pierda su homogeneidad. Por éste motivo, hasta la fecha no se

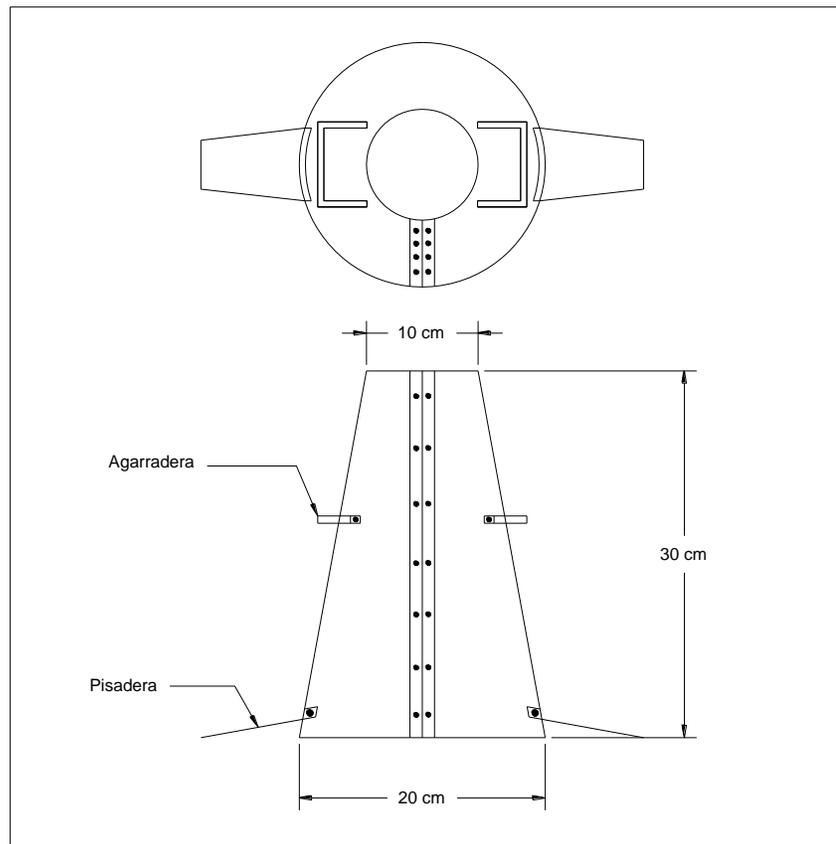
conoce ningún método que mida directamente esta propiedad; sin embargo, se han desarrollado algunos ensayos que permiten hacer una correlación entre la manejabilidad con alguna otra característica del hormigón en estado fresco. El ensayo más conveniente utilizado es el de “asentamiento” o “slump” el cual mide con bastante aproximación la consistencia o grado de humedad de una mezcla.

Para llevar a cabo el ensayo de asentamiento se utiliza un molde metálico con la forma y dimensiones mostradas en la (figura 2.2) el cual se denomina “Cono de Abrams” debido a que fue propuesto por dicho investigador. El procedimiento a seguir consiste en lo siguiente.

### **Fotografía 2.3**



**Ensayo de asentamiento por el método del “Cono de Abrams”**

**Figura2.2**

### **Dimensiones del Cono utilizado para el ensayo de asentamiento**

Se coloca el molde sobre una superficie horizontal, plana y no absorbente, presionando con los pies las agarraderas para que no se salga el hormigón por la parte inferior del molde. En seguida, se llena el cono en tres capas cada una de aproximadamente igual volumen, apisonándose cada capa con 25 golpes dados con una varilla de 16mm. de diámetro, 60 cm de longitud y con uno de sus extremos redondeado. La introducción de la varilla se debe hacer en diferentes sitios de la superficie y hasta una profundidad tal que penetre ligeramente en la capa inferior con el objeto de que la compactación se distribuya uniformemente sobre la sección transversal.

Al termino de la tercera capa, se enrasa la superficie, bien sea con la varilla o con un palustre. Se retira la mezcla que haya caído al suelo en la zona adyacente a la base del molde y se retira el cono levantándolo cuidadosamente en dirección vertical, sin

movimientos laterales o de torsión y sin tocar la mezcla con el molde cuando éste se ha separado del hormigón.

Una vez retirado el molde, la muestra sufre un asentamiento (y de aquí el nombre del ensayo) el cual se mide inmediatamente como la diferencia entre la altura del molde y la altura medida sobre el centro de la base superior del espécimen.

Si se produce un desprendimiento pronunciado del concreto hacia un lado de la muestra, se debe repetir el ensayo sobre otra muestra diferente. Si el desprendimiento persiste, como puede suceder con muestras ásperas, es un indicio de que a la mezcla le falta cohesión adecuada, y por lo tanto, el ensayo de asentamiento no es aplicable en éste caso. De ahí que ésta prueba se aplique sólo a mezclas plásticas y trabajables con valores de asentamiento entre 0 y 20 cm.

El ensayo de asentamiento también es muy usado en el campo para verificar las variaciones en los materiales que se utilizan para producir hormigón. Así por ejemplo, una alteración en el contenido de humedad de los agregados o un cambio en la granulometría, se puede detectar mediante un incremento o una disminución en el asentamiento.

### **2.3.1.2. Segregación del Hormigón.-**

La segregación de una mezcla de hormigón se define como la separación de sus constituyentes por falta de cohesividad, de manera que su distribución deja de ser uniforme.

Las Principales causas de segregación en el hormigón son la diferencia en tamaño de las partículas, la densidad de los constituyentes de la mezcla y una mala gradación de los agregados. Asimismo, pueden influir otros factores como un mal mezclado, un adecuado sistema de transporte, una colocación deficiente y un exceso de vibración en la compactación.

La segregación se puede presentar en dos formas. La primera ocurre cuando se usan mezclas pobres y demasiado secas, de tal manera que las partículas gruesas tienden a

separarse, bien sea por que se desplazan a lo largo de una pendiente o por que se asientan más que las partículas finas. El segundo tipo ocurre particularmente en mezclas húmedas, y se manifiesta por la separación de una parte de pasta de los agregados.

A continuación se dan algunos consejos prácticos para disminuir el riesgo de segregación.

- Dosificar en forma adecuada los materiales.
- Revisar el aspecto de la mezcla cuando se prueban los diseños.
- Transportar la menor distancia posible el Hormigón hasta la posición final.
- No arrojar el Hormigón desde una altura considerable (alturas mayores que 1m.).
- No transportar el Hormigón por conductos con cambios bruscos de dirección.
- No descargar el Hormigón contra un obstáculo.
- No dejar fluir el Hormigón a lo largo del encofrado.
- No esparcir un montón de Hormigón con el vibrador.
- No exceder el tiempo de vibración del hormigón.
- No utilizar agregado grueso cuya densidad difiera apreciablemente del agregado fino.

### **2.3.1.3. Exudación o Sangrado del Hormigón.-**

La exudación se considera como una forma de segregación en la que una parte del agua de mezclado tiende a elevarse a la superficie de una mezcla de hormigón recién colocada. Esto es debido a que los constituyentes sólidos de la mezcla no pueden retener toda el agua cuando se asienta durante el fraguado.

La exudación de la mezcla trae consecuencias. Nocivas. Por un lado, la parte superior de una porción de hormigón se vuelve demasiado húmeda lo que conlleva a estructuras porosas, débiles y poco durables. Por otra parte, si la evaporación de agua en la superficie del hormigón es más rápida que la velocidad de la exudación, se producen grietas plásticas de contracción.

Otro problema que se crea con la elevación del agua es que puede quedar atrapada debajo de las partículas gruesas de agregado del acero de refuerzo, lo que genera zonas de baja adherencia y por lo tanto una eventual disminución en la resistencia. Adicionalmente, el agua deja atrás de sí conductos particulares que incrementan la permeabilidad de la masa del hormigón.

El fenómeno del sangrado se puede controlar con la utilización de un cemento con mayor finura de molido o con uno que contenga un alto contenido de álcalis de  $C_3A$ . También se puede disminuir con el incremento de partículas finas de agregado en especial aquellas cuyo diámetro sea menor  $74\mu$  (tamiz N°100), o con la utilización en las mezclas de incluso res de aire, puzolanas y polvo de aluminio.

### **2.3.2. PROCESO DE FRAGUADO Y ENDURECIMIENTO.-**

En general, el hormigón fresco debe permanecer lo suficientemente plástico durante un tiempo, por lo menos media hora y preferiblemente una hora, para que pueda ser manejado y consolidado convenientemente. Después de este tiempo, y dejada la mezcla en reposo, comienza el proceso de endurecimiento normal hasta que se dice que “ha fraguado”. Sin embargo, bajo condiciones normales y pasadas varias horas del primer mezclado, el hormigón que a endurecido considerablemente puede ser replastificado y consolidado por vibración o remezclado. De aquí que es conveniente definir el punto en el cual el hormigón fragua o pasa de estado plástico a estado endurecido.

Se ha encontrado que el tiempo de fraguado del cemento se puede utilizar como un índice del tiempo del fraguado del hormigón, correlacionándose razonablemente con el del mortero. Como en el caso del cemento, el tiempo de fraguado del hormigón es

necesariamente un valor arbitrario tomado en algún punto del proceso gradual de endurecimiento y definido en términos de un método de prueba y un aparato particular.

Se han propuesto varios métodos entre los que se incluyen medidas de resistencia eléctrica, consistencia, velocidad de onda, característica de exudación, color de hidratación, cambios de volumen, resistencia de adherencia, tiempo límite de replastificación por vibración, y resistencia a la penetración.

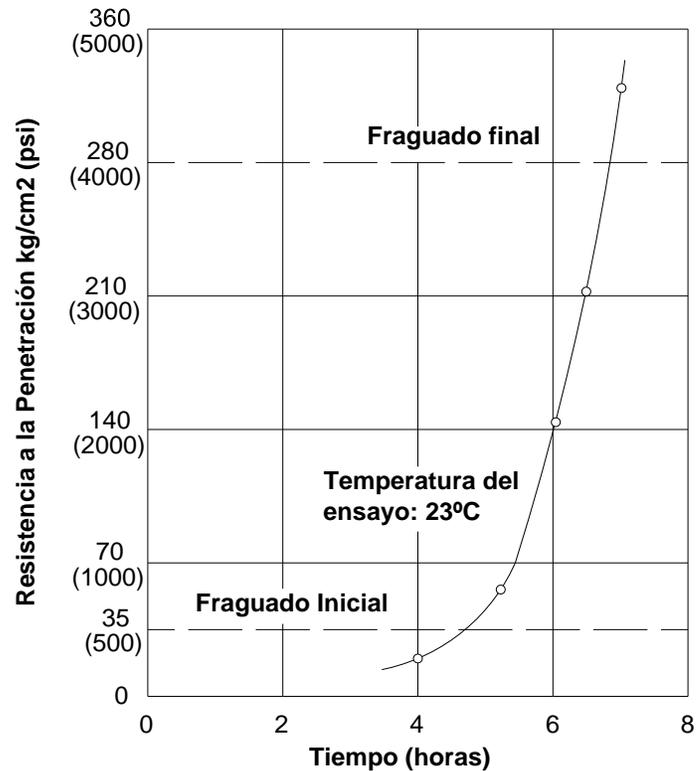
De los anteriores métodos, la Norma Americana ASTM C 403 adoptó el de la resistencia a la penetración. Esta prueba es similar a la efectuada con la aguja de Vicat, y consiste en tomar una muestra de mortero procedente del tamizado a través de la malla de 4,76 mm. (Nº4) de una porción de hormigón fresco.

Se somete a penetración durante un periodo de horas a una profundidad de 25 mm con agujas de punta plana cuyas áreas varían entre 16 y 645 mm<sup>2</sup>. Con la fuerza de penetración, el área de la aguja y el tiempo en el que se hace la medición, se dibuja una curva similar a la mostrada en la figura 2.3.

Figura 2.3

## Ejemplo de la determinación del tiempo de fraguado del Hormigón

(Tecnología y Propiedades Mecánicas del Hormigón)



De dicha curva, se toma como tiempo de fraguado aquel cuya resistencia a la penetración es de 35 Kg/cm<sup>2</sup> (500 psi.) y como tiempo de fraguado final aquel que alcanza un valor de 280 Kg/cm<sup>2</sup> (4000 psi.) estos puntos, arbitrariamente escogidos, son de mucha ayuda en estudios comparativos de varios factores y en la especificación de límites en la tasa de endurecimiento del hormigón en construcción. La penetración límite de 35 Kg/cm<sup>2</sup> corresponde a la “vibración límite” después de la cual el hormigón no puede replastificarse por vibración, mientras que el valor 280 Kg/cm<sup>2</sup> corresponde a la resistencia a la compresión de un mortero de aproximadamente 7.0 Kg/cm<sup>2</sup> (1.0 psi). Unas veces que se obtiene el fraguado final, al igual que sucede con el cemento, se dice que comienza el endurecimiento del hormigón.

### **2.3.3. PROPIEDADES DEL HORMIGÓN ENDURECIDO.-**

#### **2.3.3.1 Resistencia.-**

Por lo común, la resistencia física es la más importante del hormigón, por que en forma directa influye en las demás características de significado práctico. En general, los hormigones más resistentes son más densos, menos permeables, y más resistentes al intemperismo y ciertos agentes destructivos. De otro lado, los hormigones resistentes usualmente exhiben mayor contracción por fraguado y menor intensidad, por lo tanto son más propensos al agrietamiento.

La resistencia del hormigón es una habilidad para resistir esfuerzos y de allí que se puede considerar de cuatro maneras: Compresión, tracción, flexión, y corte. El hormigón presenta una alta resistencia a los esfuerzos de compresión y muy poca a los de tracción, razón por la cual la resistencia a la compresión simple es la propiedad mas importante y a partir de ella se estudian a las demás.

##### **2.3.3.1.1. Relación Agua/ Cemento.-**

Un factor que se ha venido mencionando y que tiene gran influencia en la mayor parte de las propiedades del hormigón y en especial en la resistencia, es la relación agua/cemento.

Cuando se estudio lo referente al agua de mezclado en un capitulo anterior se anoto que esta hace parte aproximadamente del 15% del volumen total del hormigón, del cual el 5% hidrata al cemento y el 10% restante es agua evaporable. Este último se utiliza para proporcionar fluidez a la mezcla y lograr una masa plástica; al evaporarse deja en su lugar poros de aire.

El coeficiente entre el peso del agua de mezclado (a) y el peso del cemento empleado (c) es lo que se conoce como relación agua/cemento (r), o sea:

$$\mathbf{r = \frac{a}{c}} \quad \mathbf{(2.1)}$$

Entre mayor es el contenido de agua de mezclado, mayor es la cantidad de agua que no se combina con el cemento, y por consiguiente, al disiparse la parte de agua evaporable la pasta será más porosa y la resistencia del hormigón se disminuye.

Esta propiedad fue demostrada por Duff Abrams en el año de 1918, señalando que para un hormigón perfectamente compactado, empleando materiales con las mismas características y condiciones de ensayo, la resistencia, a una edad dada, es inversamente proporcional a la relación agua/cemento. Dicha ley la expreso matemáticamente en forma logarítmica de la siguiente manera.

$$R = \frac{A}{B} * r \quad (2.2)$$

De donde, R es la resistencia, r la relación agua/cemento y A y B son coeficientes numéricos que dependen de la calidad de los materiales, edad del hormigón, sistema de curado, condiciones de ensayo, etc.

#### **2.3.3.1.2 Naturaleza de la Resistencia del Hormigón.-**

Las propiedades y la resistencia de cualquier sistema heterogéneo dependen de las características físicas y químicas de sus componentes y de las interacciones entre ellos mismos. Por su naturaleza, el hormigón es una masa endurecida y heterogénea cuya resistencia depende únicamente de los siguientes factores:

- La resistencia de la pasta endurecida.
- La resistencia propia de las partículas del agregado y
- La adherencia entre la pasta y los agregados.

En cuanto a la resistencia de la pasta hidratada, es bien sabido que el cemento al contacto con el agua se hidrata y forma una masa semicristalina discontinua llamada “gel”, que con el transcurso del tiempo adquiere resistencia la cual será mayor a medida que se incrementa el grado de hidratación.

En lo que se refiere al segundo factor, los agregados tienen propiedades bien definidas e independientes del tiempo dentro de las cuales se destaca la resistencia de los granos. Al estar incrustados los agregados en una matriz (pasta de cemento) formando una masa endurecida, parte de la resistencia mecánica que soporta esta masa es aportada por las partículas de agregado.

El tercer factor se debe a que durante el proceso de fraguado y endurecimiento de la pasta de cemento, se genera una trabazón entre los agregados y la pasta debido a la superficie de adherencia que se genera. La interacción entre los dos elementos, además de variar con el tiempo, algunas veces lo hace también con la composición mineral que los materiales en contacto en cuya interacción se presentan fenómenos tanto físicos como químicos. La zona de contacto, llamada interface “agregad-matriz”, es la fase más importante del hormigón que establece el enlace crítico y normalmente se constituye en el elemento más débil de la masa endurecida.

#### **2.3.3.1.3. Factores que Inciden en la Resistencia.-**

En general, el factor más importante en la resistencia de un hormigón totalmente compactado es la relación agua/cemento. Sin embargo, para una mezcla trabajable, bien dosificada y en condiciones estándar de mezclado, curado y métodos de prueba, además de la influencia de la relación agua/cemento, intervienen otros elementos como la granulometría, textura superficial, forma, resistencia, rigidez y tamaño máximo del agregado; el tiempo y calidad del cemento; así como de la calidad del agua y el tipo y cantidad de los aditivos.

La resistencia del hormigón también depende de la temperatura, del fraguado, de la edad, y muchos otros factores. A continuación se analizan algunos de los más importantes.

### **a. Tipo y cantidad de Cemento**

El tipo y cantidad de cemento utilizado tiene gran influencia en la resistencia final conseguida por el hormigón debido a que el cemento es el material químicamente “activo” en la mezcla.

Los diferentes tipos de cemento así como sus características serán estudiadas en los capítulos posteriores, sin embargo, es preciso anotar que distintas marcas y aun el mismo tipo, no se deben intercambiar sin antes hacer un riguroso análisis del efecto que dicho cambio puede tener sobre la resistencia.

Lo más importante en lo que respecta al cemento es su cantidad en la mezcla y generalmente se cumple que a mayor contenido de este se consiguen mayores resistencias. Dicha afirmación tiene su límite ya que se ha demostrado que para mezclar con una baja relación agua/ cemento y con un contenido de cemento muy alto (superior a  $470 \text{ kg/m}^3$ ), en la resistencia surge una disminución, en especial cuando se utiliza agregado de gran tamaño. Este comportamiento se debe a los esfuerzos inducidos por la contracción, que al ser obstruida por las partículas de agregado, causa agrietamiento de la pasta o una pérdida de adherencia entre el cemento y el agregado.

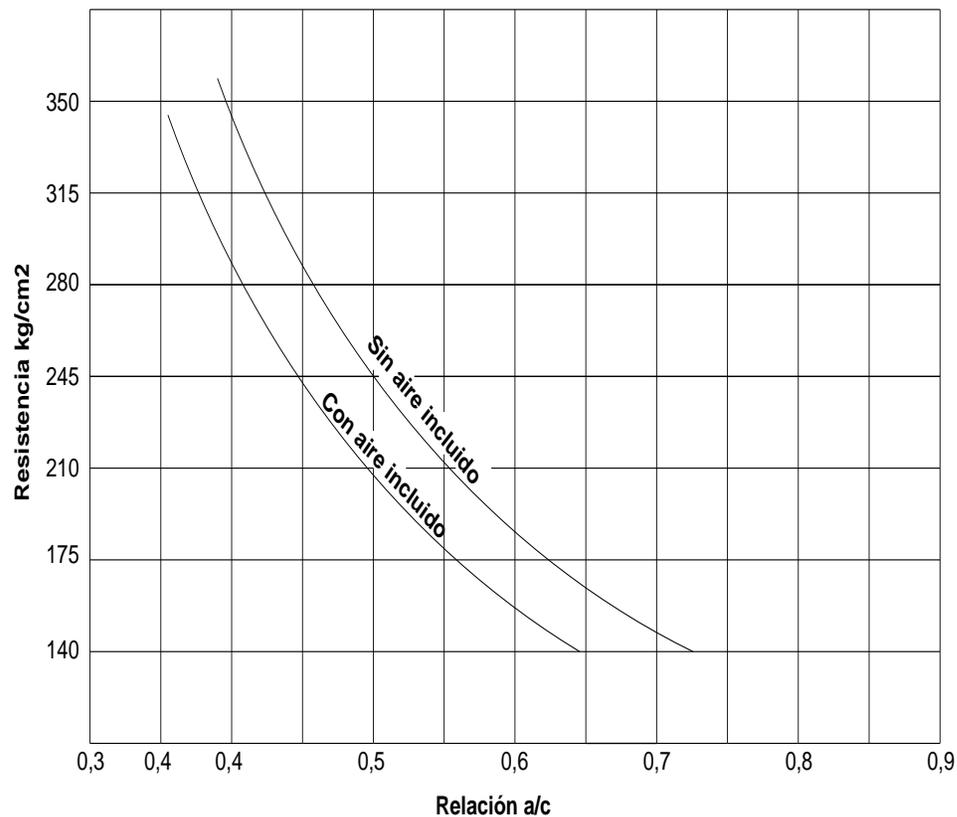
### **b. Relación agua/cemento**

Si se representa gráficamente la resistencia a la compresión Vs. la relación agua/cemento, se aprecia que toma forma aproximadamente hiperbólica (ver fig. 2.8). Esto es válido para hormigón elaborado con materiales de características determinadas y a una edad dada.

Figura 2.4

### Representación gráfica de la resistencia Vs. relación agua/cemento

(Tecnología y Propiedades Mecánicas del Hormigón)



Se puede observar que cuando menor es la relación agua/cemento, mayor es la resistencia; sin embargo al emplear relaciones agua/cemento muy bajas la mezcla se vuelve más seca y difícil de compactar quedando porosa, al punto que la resistencia comienza a decrecer. Obviamente, cuando la compactación se hace con vibrador, se pueden utilizar relaciones agua/cemento menores que las empleadas con compactación manual.

En la práctica, muchas veces se utiliza materiales con características distintas a las previstas en el diseño de la mezcla, lo conduce a resistencias distintas con la misma relación agua/cemento. Por esta razón se hace indispensable efectuar ensayos con los materiales que realmente van a ser utilizados en una obra específica, simular las

condiciones a que estará expuesto el hormigón, y desarrollar graficas para determinar la relación real entre la resistencia y la relación agua/cemento.

### **c. Características de los agregados**

A continuación se presenta la manera como las características de los agregados inciden en la resistencia del hormigón.

En general se puede decir que para una misma relación agua/cemento, las partículas de agregado con textura rugosa o de forma angular forman hormigones más resistentes que otros redondeados o lisos debido a que hay mayor trabazón entre los granos gruesos y el mortero; sin embargo, para igual contenido de cemento, los primeros exigen mayor cantidad de agua para lograr una determinada manejabilidad y por ello el efecto neto sobre la resistencia no varía en forma apreciable.

Una masa de agregados cuya granulometría sea continúa, permite elaborar mezclas de alta compacidad, mucho más densa y por lo tanto se consiguen mayores resistencias.

La resistencia y rigidez propia de los granos de agregado también influyen en la resistencia del hormigón. Esto se debe a que un agregado muy poroso (por ejemplo la piedra pómez) y baja densidad, tiene menor resistencia que uno de alta resistencia y muy denso.

### **d. Influencia del tamaño máximo**

En general, la diferencia en tamaño máximo de un mismo tipo de agregado bien gradado, tienen dos efectos opuestos en la resistencia a la compresión del hormigón. En primer lugar, para una consistencia dada y para igual contenido de cemento, la utilización de tamaños máximos mayores requiere menos agua de mezclado que los agregados de tamaño máximo menores. Por otro lado, mezclas con la misma consistencia e igual relación agua/cemento, presentan resistencias más bajas cuando se utilizan agregados de tamaño máximo mayor.

En particular, se ha logrado demostrar que para hormigones de alta resistencia, mientras mayor sea la resistencia requerida, menor deberá ser el tamaño máximo para que la eficiencia sea máxima. Asimismo, para hormigones de baja resistencia, mientras mayor sea el tamaño máximo, mayor será la eficiencia.

Sin embargo para hormigones de resistencia intermedia, existe un rango amplio en los tamaños máximos que se pueden usar para una misma resistencia, esencialmente con igual contenido de cemento. Únicamente se requiere de mayor cantidad de cemento si se utilizan agregados de tamaños máximos más pequeños.

#### **e. Agua**

El efecto del agua en la resistencia del hormigón fue discutida en el capítulo anterior y se la vera mas a profundidad en el capítulo siguiente.

#### **f. Influencia del fraguado del hormigón**

Las condiciones de tiempo y temperatura durante el proceso de fraguado es orto de los factores que afectan la resistencia del hormigón.

Tal como se estudio en el numeral 2.3.2, el tiempo de fraguado inicial y final se consigue cuando la resistencia a la penetración a 2.5 cm de profundidad de unas de las agujas es de 35 y 280 Kg/cm<sup>2</sup> respectivamente (500 y 4000 psi.) sin embargo, la temperatura ambiente a la que está expuesta la mezcla puede afectar en forma adversa el tiempo de fraguado del hormigón. En climas fríos, el proceso de hidratación del cemento es más lento debido a que el medio ambiente le “roba” parte del calor de hidratación con el subsecuente retardo del tiempo de fraguado y, por lo tanto, la adquisición de resistencia se demora.

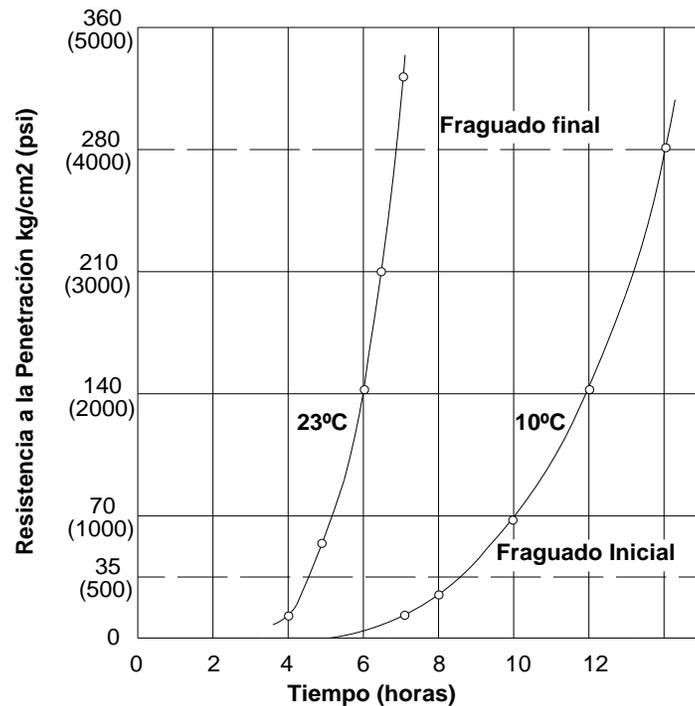
Por el contrario, cuando la temperatura se eleva, se aumenta la resistencia a muy temprana edad, pero se disminuye aproximadamente después de los 7 días. La razón es que una rápida hidratación inicial de los granos de cemento es superficial y parece formar una pasta con una estructura física más pobre y posiblemente más porosa. En

la figura 2.5, se muestra un ejemplo del efecto de la temperatura sobre el tiempo de fraguado del hormigón.

**Figura 2.5**

**Influencia de la temperatura sobre el tiempo de fraguado del Hormigón**

**(Tecnología y Propiedades Mecánicas del Hormigón)**



**g. Curado del concreto**

Luego del proceso de fraguado del hormigón es necesario mantener el hormigón tan saturado de agua como sea posible con el fin de terminar de hidratar al cemento y conseguir así su máxima eficiencia.

Por esta razón, la resistencia del hormigón depende en gran medida de la atención que se le preste a éste factor.

Otro factor importante en el curado es su temperatura, debido a que un aumento durante este proceso acelera las reacciones químicas de la hidratación lo cual afecta

en forma benéfica la resistencia a edades tempranas del hormigón, pero con consecuencias adversas en la resistencia posterior.

#### **h. Influencia de la edad del hormigón**

Inmediatamente que se presenta el fraguado del hormigón comienza el proceso de adquisición de resistencia con el transcurso del tiempo.

En la práctica, normalmente se especifica que el hormigón alcanza la máxima resistencia a la compresión a la edad de 28 días. La explicación es porque después de dicho tiempo el aumento de resistencia es muy poco.

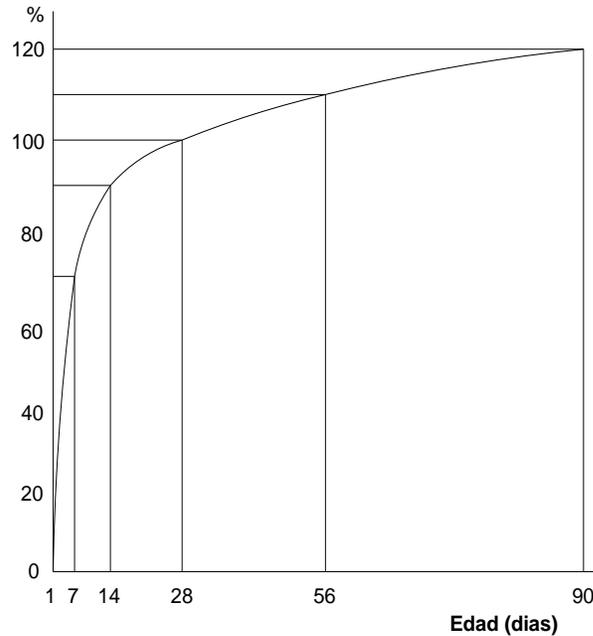
Si se toma como base la resistencia máxima a la compresión a los 28 días, el aumento promedio de la resistencia con el tiempo es aproximadamente la que se indica en la tabla 2.8 cuyos valores se representan gráficamente en la figura 2.6, para el caso de los hormigones preparados con cemento Portland.

**Tabla 2.8**

#### **Porcentaje de Resistencia en función del tiempo**

**(Tecnología y Propiedades Mecánicas del Hormigón)**

<b>INCREMENTO APROXIMADO PROMEDIO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN CON EL TIEMPO</b>	
<b>EDAD (DÍAS)</b>	<b>% RESISTENCIA CON RESPECTO A LA DE 28 DÍAS</b>
1	12
3	40
7	70
14	90
28	100
56	110
90	120
180	125



**Figura 2.6**

La resistencia a las edades de 7 y 28 días se pueden relacionar mediante la fórmula 2.3, teniendo en cuenta que es una relación aproximada ya que a edades tempranas influyen totalmente las propiedades del cemento, la relación agua/cemento, la temperatura, la humedad, los aditivos, etc.

$$\boxed{\text{Resist. 28 días} = a + b * \text{Resist. 7 días en Kg/cm}^2} \quad (2.3)$$

Siendo a y b constantes que dependen de los factores anteriormente mencionados.

#### **2.3.3.1.4. Medida de la resistencia.-**

##### **a. Resistencia a la compresión ( $f'c$ )**

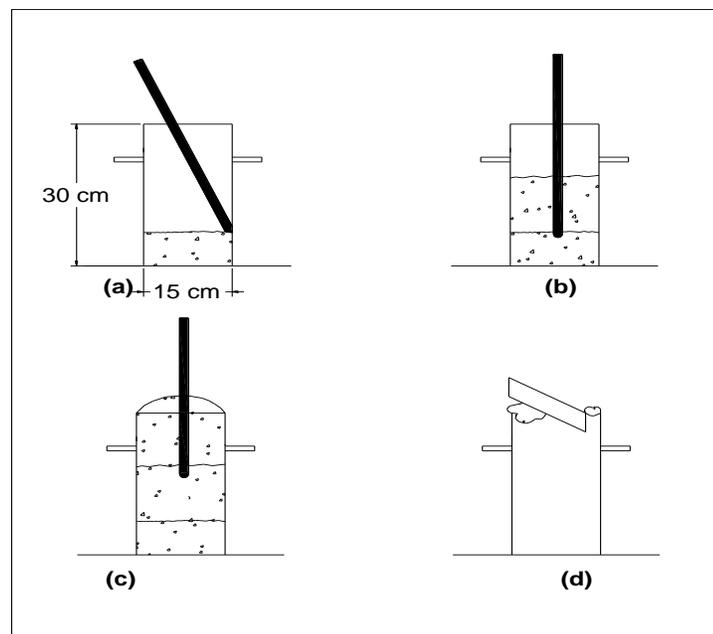
En términos generales, la gran mayoría de estructuras de hormigón son diseñadas bajo la suposición de que el hormigón resiste únicamente esfuerzos de compresión; por consiguiente, para propósitos de diseño estructural, la resistencia a la compresión es el criterio de calidad, y de allí que los esfuerzos de trabajo estén prescritos por los códigos en términos de porcentajes de la resistencia a la compresión.

La medida de la resistencia a la compresión se efectúa por medio de pruebas estandarizadas.

Las probetas consisten en cilindros de hormigón de 15 cm de diámetro y 30 cm de alto (ver fig. 2.7.a). La elaboración se lleva a cabo llenando un molde metálico en 3 capas de igual altura con la muestra en estado fresco. Cada capa se apisona con 25 golpes aplicados en diferentes sitios de la superficie del hormigón proporcionados con una varilla de 16 mm de diámetro y aproximadamente 60 cm de longitud. La capa de fondo se debe compactar con toda su profundidad mientras que en la superior e intermedia, la varilla debe penetrar ligeramente la capa adyacente (figura 2.7.a, b, c.). Una vez terminado la compactación, se completa el molde con más mezcla y se alisa la superficie con un palustre o cualquier otro instrumento adecuado (fig. 2.7.d).

**Figura 2.7**

**Proceso de Varillado para la Elaboración de Probetas**



Elaborados los especímenes, se les golpea en las paredes con un martillo de caucho con el fin de eliminar la mayor cantidad de burbujas de aire que ha quedado atrapado dentro de la masa de hormigón.

Los cilindros deben quedar en reposo en un sitio cubierto. Pasar aproximadamente 24 horas se les quita el molde y se somete a curado (cuando se tratan de muestras de laboratorio, sumergiéndolos en tanques de agua o en una cámara de curado a 23 °C hasta el día que vayan a ser ensayadas; cuando se trata de testigos de obra, se deben dejar al lado de la estructura fundida, a las mismas condiciones de exposición).

La resistencia a la compresión se mide con una prensa, que aplica carga sobre la superficie superior del cilindro a una velocidad especificada mientras ocurre la falla. La operación tarda entre 2 y 3 minutos y la carga a la que falla la probeta queda registrada en un tablero anexo a la maquina; este valor se divide por el área de la sección transversal del cilindro obteniéndose así el esfuerzo de rotura del hormigón.

Por lo común el resultado se expresa en  $\text{kg/cm}^2$  o en  $\text{lbs/pul}^2$  (psi.) los valores de resistencia obtenidos generalmente varían en un rango comprendido entre 140 y 420  $\text{kg/cm}^2$  (2000 y 6000 psi) dependiendo del valor al cual fue diseñada la mezcla. El valor comúnmente estipulado para obras de hormigón en general es de 210  $\text{kg/cm}^2$  (3000psi).

La medida de la resistencia a la compresión del hormigón no solo se puede medir por medio de cilindros sino que existen otro tipo de pruebas en las que se utilizan muestras cúbicas o prismáticas.

La influencia de la forma y las dimensiones de los especímenes en los resultados de las pruebas a compresión es muy relativo. Como se menciona anteriormente, el método más utilizado es el de cilindro aunque, diversas razones pueden hacer que los ensayos se realicen sobre muestras cúbicas, prismáticas o cilíndricas pero de dimensiones diferentes a las típicas de 15 x 30 cm.

Si se elaboran probetas de diferente geometría (cilíndricas, cúbicas, prismáticas, etc.) con la misma mezcla y se someten a ensayo de compresión, los resultados son diferentes. Sin embargo, la diferencia obtenida se puede relacionar por medio de coeficientes de correlación entre la resistencia del cilindro y la muestra a comparar, tal como se indica en la ecuación 2.4

$$R_c = K * R \quad (2.4)$$

De donde  $R_c$  = Resistencia del cilindro

R = Resistencia del espécimen a comparar

K = Coeficiente de correlación

El valor del coeficiente de correlación (K), depende de muchos factores por lo que se recomienda determinarlo mediante ensayos comparativos. En la tabla 2.9 se muestran algunos valores aproximados para probetas de diferente geometría, mientras que cuando se trata de cilindros de dimensiones diferentes a la de 15 x 30 cm. la norma ASTM C 42 recomienda los factores mostrados en la tabla 2.10, los cuales están en función de la relación altura (h) y del diámetro (D), o esbeltez.

### **b. Resistencia a la tensión ( $f_{ct}$ )**

Por su naturaleza, el hormigón es muy débil a esfuerzos de tensión o tracción y por lo tanto esta propiedad generalmente no se tiene en cuenta en el diseño de estructuras normales. La tracción tiene que ver con el agrietamiento del hormigón a causa de la contracción inducida por el fraguado o por los cambios de la temperatura, ya que estos factores generan esfuerzos internos de tracción

Tabla 2.9

## Valores aproximados de “K”

(Tecnología y Propiedades Mecánicas del Hormigón)

<b>VALORES APROXIMADOS DE K PARA PROBETAS DE DIFERENTE GEOMETRIA</b>		
<b>GEOMETRIA DEL ESPECIMEN</b>	<b>DIMENCIONES (CM)</b>	<b>VALOR DE K</b>
Cilíndrica	15 x 30	1,00
Cúbica	15 x 15 x 15	0,80
Prismática	15 x 15 x 45	1,05
Prismática	20 x 20 x 60	1,05

Tabla 2.10

Factores de Corrección según Norma (ASTM C 42)

<b>FACTORES DE CORRECCIÓN RECOMENDADOS POR LA NORMA ASTM C 42</b>	
<b>ESBELTEZ H/D</b>	<b>FACTOR DE CORRECCIÓN</b>
2,00	1,00
1,75	0,99
1,50	0,97
1,25	0,94
1,00	0,91

Como la resistencia a la tensión es difícil de medir por medio de ensayos directos debido a la dificultad de montar las muestras y las dudas que existen sobre los esfuerzos secundarios inducidos por los implementos que sujetan las muestras, en Brasil se desarrollo un método denominado tensión indirecta.

## **2.4 TIPOS DE HORMIGONES.-**

Entre los tipos de Hormigones conocidos tenemos los siguientes:

### **a) Hormigón Ordinario**

También se suele referir a él denominándolo simplemente hormigón. Es el material obtenido al mezclar cemento Portland, agua y áridos de varios tamaños, superiores e inferiores a 5 mm, es decir, con grava y arena.

### **b) Hormigón en Masa**

Es el hormigón que no contiene en su interior armaduras de acero. Este hormigón solo es apto para resistir esfuerzos de compresión.

### **c) Hormigón Armado**

Es el hormigón que en su interior tiene armadura de acero, debidamente calculadas y situadas. Este hormigón es apto para resistir esfuerzos de compresión y tracción. Los esfuerzos de tracción los resisten las armaduras de acero. Es el hormigón más habitual.

### **d) Hormigón pretensado.-**

Es el hormigón que tiene en su interior una armadura de acero especial sometida a tracción. Puede ser pre-tensado si la armadura se ha tensado antes de colocar el hormigón fresco o post-tensado si la armadura se tensa cuando el hormigón ha adquirido su resistencia.

**e) Mortero**

Es una mezcla de cemento, agua y arena (árido fino), es decir, un hormigón normal sin árido grueso.

**f) Hormigón Ciclópeo**

Es el hormigón que tiene embebidos en su interior grandes piedras de dimensión no inferior a 30 cm.

**g) Hormigón sin Finos**

Es aquel que solo tiene árido grueso, es decir, no tiene arena (árido menor de 5mm).

**h) Hormigón Aireado o Celular**

Se obtiene incorporando a la mezcla aire u otros gases derivados de reacciones químicas, resultando un hormigón de baja densidad.

**i) Hormigón de Alta Densidad**

Fabricados con áridos de densidades superiores a los habituales (normalmente barita, magnetita, hematina...) El hormigón pesado se utiliza para blindar estructuras y proteger frente a la radiación.

**2.5 DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES.-****2.5.1 Criterios básicos.-**

El estudio de las proporciones en que deben combinarse los materiales que componen el hormigón es generalmente un paso previo a la comprobación experimental. Ningún método teórico o empírico resulta hoy suficientemente preciso, dentro de la necesaria sencillez, para sustituir a una comprobación experimental con los materiales disponibles. Es muy difícil establecer modelos que tengan en cuenta no solo la granulometría de los áridos sino su forma y textura. No solo la categoría del cemento sino sus posibles oscilaciones y su propia granulometría que incluye en la docilidad. Nada digamos de la consideración de los aditivos.

Que sean o no reductores de agua, tendrán efectos secundarios que influyen en las Propiedades fundamentales del hormigón: DOCILIDAD Y RESISTENCIA.

Sin embargo, consideramos fundamental la determinación previa de una dosificación “aproximada” del hormigón que permita acometer la comprobación Experimental con razonables posibilidades de éxito.

La comprobación experimental se basa en los procedimientos de ensayo Experimentales normalizados y puede realizarse laboratorio. Son los ENSAYOS PREVIOS de la Instrucción EH-91 o EP-93. Con los materiales (cemento, áridos,...).previamente seleccionados, preparados y clasificados.

De acuerdo con dichas normativas los ensayos se realizan sobre cuatro amasadas la prueba. Consideramos que pueden tantearse así dos dosificaciones diferentes, modificando ligeramente el contenido de cemento o de aditivo.

Por ejemplo, y repitiendo cada una de ellas para tener en cuenta la dispersión Experimental. En resistencias y condiciones normales. Esta dispersión no debe superar la correspondiente a un coeficiente de variación del 5%, que supone un recorrido relativo del 13% entre dos amasadas teóricamente iguales.

Si se tiene experiencia de empleo de estos materiales la experimentación puede basarse en los ENSAYOS CARACTERÍSTICOS. También definidos en la instrucción correspondiente. Aunque su objetivo principal no es estudiar posibles variables a la dosificación propuesta. Puede ser recomendable aprovechar su realización para comprobar un par de dosificaciones ligeramente diferentes.

En lo que sigue. Se analizan los criterios usuales para el estudio teórico de dosificaciones de hormigón.

### **2.5.2 Datos de Entrada.-**

La determinación de una dosificación para hormigones debe hacerse partiendo de unos datos iniciales establecidos en base el proyecto y condiciones de ejecución

(reales o previas) de la obra. Como datos necesarios podemos indicar. Por orden de trascendencia. Los siguientes:

1. Resistencia característica especificada. (\*)
2. Sistema de puesta en obra o consistencia del hormigón.
3. Características de los Materiales:

\_Cemento: categoría. Que define teóricamente su consistencia.

\_Áridos: granulometría. Peso específico y procedencia o forma.

### 2.5.2.1 Resistencia.-

Dada la resistencia especificada.  $f_{ck}$ , y la (calidad) de las condiciones de ejecución. Existen distintas aproximaciones que permiten establecer la RESISTENCIA MEDIA a conseguir por nuestro hormigón. No emplearemos aquí la aproximación dada por De la peña, sino la que da la Instrucción EH-91 a título orientativo.

CONDICIONES DE EJECUCIÓN	RESISTENCIA MEDIA (Kp/cm.)
Medias	$1.50 f_{ck} + 20$
Buenas	$1.35 f_{ck} + 15$
Muy buenas	$1.20 f_{ck} + 10$

### 2.5.2.2 Consistencia.-

La consistencia del hormigón se define según su asiento Cono de Abrams determinado siguiendo la norma UNE 83.313 y clasificando el hormigón en los grupos siguientes:

**Tabla 2.11****(Tecnología y Propiedades Mecánicas del Hormigón)**

<b>CONSISTENCIA</b>	<b>ASIEN TO DE CONO (CM)</b>	<b>TOLERANCIA SEGÚN EH-91 (CM)</b>
SECA	0 - 2	+1
PLASTICA	3 - 5	±1
BLANDA	6 - 9	±2
FLUIDA	10 - 15	±3
LIQUIDA	16 - (30)	±4

La consistencia de los hormigones armados de aplicación generales la “Blanda” la consistencia líquida se reserva para elementos especiales (algunos tipos de pilote).

Los hormigones muy secos deben caracterizarse por el ensayo de consistencia “VABE” (UNE 83.314), la correspondencia entre ambos ensayos pueden estimarse mediante la tabla siguiente:

Tabla 2.12

## Relación entre el asiento de Cono y la consistencia “VEBE”

(Tecnología y Propiedades Mecánicas del Hormigón)

CLASES DE CONSISTENCIA	ASIENTO DE CONO UNE 83.313, cm	CONSISTENCIA VEBE UNE 83.314. segundos
Seca (o muy seca)	0-1*	>30 >30 30-21 20-11
Seca o Plástica	1-2 3-4	10-5
Plástica o Blanda	5 6-9	>4
Fluida	10-15	*
Líquida	> 16	*

NOTA (\*). Ensayo no adecuado al grado de consistencia.

## 2.5.2.3 Áridos.-

Debe disponerse de los áridos a emplear, determinado:

\_Análisis granulométrico y definición de:

\_Tamaño máximo absoluto (D).

\_Tamaño máximo al 15 o 25% ( $D_{15}$  o  $D_{25}$ ).

\_Granulometría completa, al menos, de la arena.

\_Peso específico de las fracciones de árido

\_Absorción de agua de las fracciones de árido.

\_Clasificación en:

\_árido rodado

\_árido de machaqueo

Esta última clasificación no es clara en ocasiones, dado el escaso porcentaje de cara de fractura, la forma de los granos o el empleo de arenas de río con gravas de machaqueo. En estos casos, debe prevalecer el criterio del diseñador, considerándose válida la interpolación, como recomienda A.M. NEVILLE (1981) siguiendo la Road Note n°.4 (1950).

#### **2.5.2.4 Otros Datos de Partida.-**

Otros requerimientos pueden ser establecidos y estudiados en cada caso particular como: resistencia a corta edad o en condiciones especiales, procedimiento en obra. Condiciones de deformabilidad. Etc.

#### **2.5.2.5 Dosificación de Agua.-**

La dosificación de agua depende, fundamentalmente, de los factores siguientes:

- Consistencia.
- Tamaño máximo del árido ( $D_{25}$ ).
- Procedencia: rodado o machaqueo.

La tabla siguiente es la recomendación de De la Peña. Expresada en litros de agua por m<sup>3</sup> de hormigón fresco, para áridos que no modifican del estado de equilibrio (saturados-superficie seca).

Tabla 2.13

(Tecnología y Propiedades Mecánicas del Hormigón)

CONSISTENCIA	D25 (mm)					
	RODADO			MACHAQUEO		
	80	40	20	80	40	23
Seca ( 0 - 2 cm)	135	155	175	156	175	195
Plástica ( 3 - 5 cm)	150	170	190	170	190	210
Blanda ( 6 - 9 cm)	165	185	205	185	205	225
Fluida ( 10 - 15 cm)	180	200	220	200	220	240
Líquida ( 16 - 30 cm)	195	215	235	215	235	255

Es importante recordar lo siguiente:

Al pasar de un escalón de consistencia al inmediato, debe aumentarse 20 l/m<sup>3</sup> la dosificación de agua.

Disminuir a la mitad el tamaño máximo del árido ( $D_{25}$ ). Debe aumentarse en 20 l/m<sup>3</sup>. La dosificación de agua. Para mantener la consistencia. Emplear árido de machaqueo. En lugar de rodado de análoga granulometría. Debe aumentarse en 20 l/m<sup>3</sup>. la dosificación de agua. Para mantener la consistencia. La concentración ( $Z = C/A$ ) y la cantidad de agua (A) deducida la dosificación de cemento

## 2.6 PROPORCIONES DE LA MEZCLA DE ÁRIDOS.-

Dos son propiedades que se buscan al establecer la proporción de los distintos áridos en función de su granulometría: compactación y trabajabilidad. Veamos cómo pueden conseguirse.

### 2.6.1 Granulometría.-

Se define en base a los volúmenes reales de material que están comprendidos entre dos tamaños consecutivos de tamices de abertura de malla normalizada.

En las series normalizadas se definen aberturas de malla dobles de las anteriores: en la serie UNE 7050:

80; 40; 20; 10; 5; 2,5; 1,2; 0,6; 0,32; 0,16; 0,08 mm

De este modo, las diferencias de tamaño son constantes en escala logarítmica.

La serie UNE especifica tamices de malla cuadrada. Otras norma (DIN 1025) especifican aberturas circulares (**Relacion** =  $\sqrt{2}$ ).

Las curvas granulométricas se expresan poniendo en abscisas las aberturas en escala logarítmica y en ordenadas los porcentajes ACUMULADOS que pasan por cada tamiz de la serie. Así:

**Tabla 2.14**

**(Tecnología y Propiedades Mecánicas del Hormigón)**

<b>ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (EN PESO)</b>			
<b>Tamiz</b>	<b>% Retenido</b>	<b>% Ret. Acum.</b>	<b>Y= % pasa acumulado</b>
2d = D	0	0	100
d	0	0	100
d2	a1 + a2	(a1 + a2)	100 - (a1 + a2)
d4	a3	a1 + a2 + a3	100 - (a1 + ..... + a4)
d8.....	a4	a1 + .... + a4	
0,16 mm			—
0,08 mm (N° 200)			Finos

### 2.6.2 Curva Granulométrica de referencia.-

Según Fuller se obtiene una buena compacidad y docilidad ajustándose a la curva denominada Parábola de GESSNER:

$$Y = 100 * \sqrt{\frac{d}{D}} \quad (2.5)$$

$Y$  = porcentaje acumulado que PASA por el tamiz de abertura ( $d$ ).

$D$  = tamaño máximo.

$d$  = abertura de tamiz.

Dado un valor de  $D$  está determinada la (granulometría de referencia).

Como se indica en la tabla siguiente:

**Tabla 2.15**

<b>d</b>	<b>D</b>	<b>D/2</b>	<b>D/4</b>	<b>D/8</b>	<b>D/16</b>	<b>D/32</b>	<b>D/64</b>
<b>y</b>	100	70,7	50	35,4	25	17,7	12,5

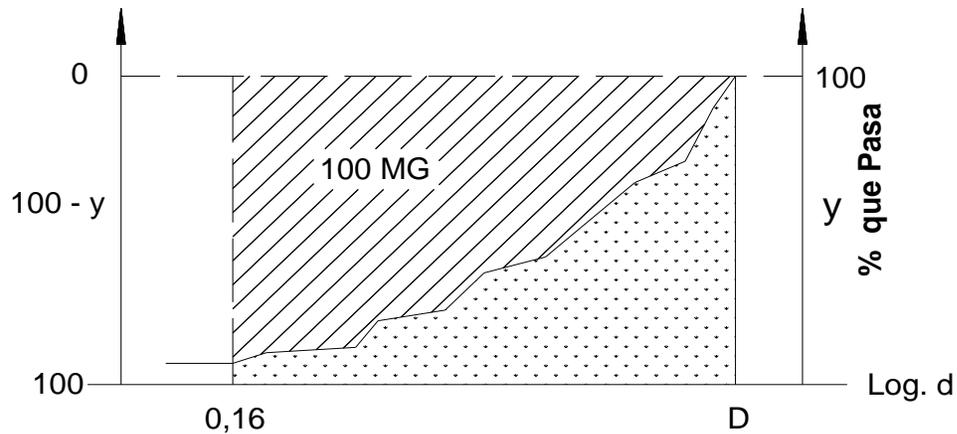
Esta expresión es adecuada para áridos redondeados y una fracción de finos (Cemento) de 300 kg por m<sup>3</sup> de hormigón. Se corrige para otras dosificaciones de cemento (véase también el método de Bollomey que considera al cemento como una fracción de árido).

Los áridos pueden componerse de manera que la granulometría resultante se ajuste a la curva de referencia.

### **2.6.3 Módulo Granulométrico.-**

En realidad no es preciso un ajuste perfecto de la composición granulométrica del árido a la curva de referencia. Basta con que las áreas estén (compensadas por encima y por debajo de ella. Para operar con este criterio se define el modulo granulométrico de una fracción del árido o de la mezcla. Es la suma de los porcentajes retenidos acumulados hasta el último que se considera. Que es el de 0.16 mm dividida por 100.

Lo anterior se entiende al pensar que el Modulo Granulométrico represente el área encerrada entre los ejes de coordenadas y la curva granulométrica (rayada en la figura 2.8).

**Figura 2.8****Módulo Granulométrico**

$$100 \cdot MG = \sum d (\% \text{ Retenidos acumulados}); d = 0.16 \text{ mm}$$

$$100 \cdot MG = a_1 + (a_1 + a_2) + (a_1 + a_2 + a_3) + \dots$$

Las curvas granulométricas. Del árido compuesto. En que faltan tamaños intermedios se llaman DISCONTINUAS. Producen hormigones compactos si verifican las leyes del modulo granulométrico expuesta la ductilidad de estos hormigones es, sin embargo, menor que en los de granulométrica CONTINUA.

**2.6.4 Método de La Peña.-**

El método de De la Peña consiste en ajustar, para el tamaño máximo de la mezcla y el modulo granulométrico de la arena. Las proporciones de acuerdo con unos ábacos de referencia. Cuando hay más de los áridos el ajuste se hace igual para cada mezcla parcial, empezando por:

Arena + Mezcla de gravas hasta la más gruesa ( $D_n$ )

que nos da la proporción real de arena y siguiendo por:

Arena + Mezcla de gravas hasta la siguiente ( $D_{n-1} < D_n$ ), etc.

Arena + Grava más fina ( $D_1 < D_2$ )

De cuyo ajuste binario se deducen unas proporciones FISTICIAS, que representan la mezcla de la arena con el árido en cuestión. Las proporciones reales deben respetar

estas proporciones binarias, lo que nos permite determinarlas, conocida la dosificación real de la arena.

Es decir, se obtienen, en primer lugar, los valores  $t_{a1} \dots t_{ai} \dots t_{an}$ , que son los porcentajes ficticios de arena mezclada con las distintas porciones de árido, de acuerdo con sus tamaños máximos:  $D_1 < D_2 < \dots < D_n$ . El porcentaje real de la arena es, como se ha dicho:  $t_a = t_{an}$ .

Los porcentajes reales ( $t_i$ ) de los áridos restantes, se deducen de los porcentajes ficticios ( $t_{ai}$ ) mediante las relaciones siguientes:

$$\text{Árido 1} \dots \text{proporción ficticia} = 100 - t_{a1}$$

$$\text{Arena} \dots \text{proporción ficticia} = t_{a1}$$

$$\text{Proporción real} = t_{an}$$

Se obtiene así:

$$\boxed{\text{Árido 1}_\text{proporción real} = t_1 = t_{a1} (100 - t_{a1})} \quad (2.6)$$

Análogamente, con el siguiente tamaño de grava ( $D_2$ ), se tiene:

**Tabla 2.16**

**(Tecnología y Propiedades Mecánicas del Hormigón)**

FRACCION GRANULOMETRICA	PROPORCIONES	
	FICTICIA	REAL
Árido <sub>1</sub> + Árido <sub>2</sub>	100 - t <sub>a2</sub>	t <sub>1</sub> + t <sub>2</sub>
Arena.....	t <sub>a2</sub>	t <sub>an</sub>

Deduciendo de forma inmediata la proporción real:

$$t_2 + t_1 = \frac{t_{an}}{t_{a2}} * (100 - t_{a2}) \quad (2.7)$$

Análogamente, para un árido genérico (D1), obtendríamos la proporción de la mezcla binaria de toda la grava inferior a D1 con la arena, deduciendo:

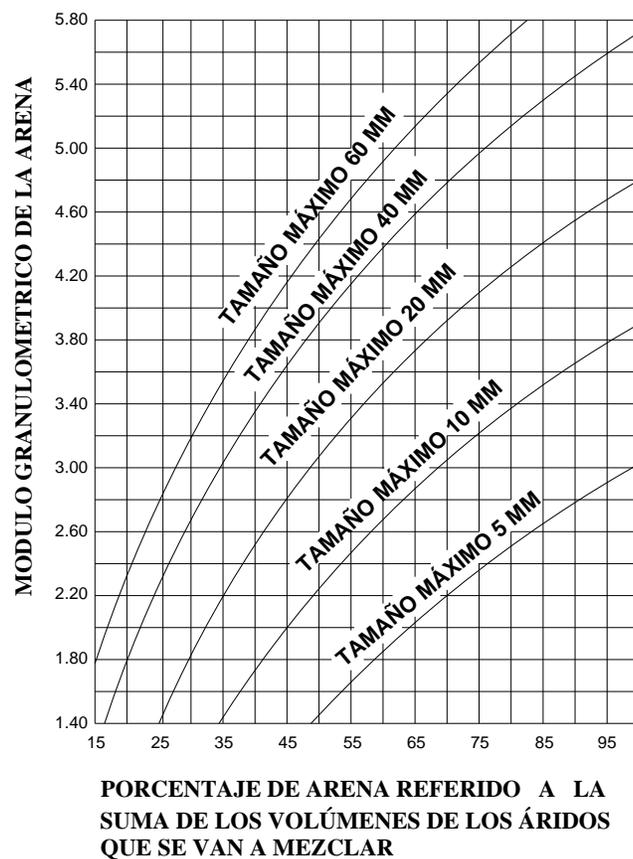
$$t_i + t_{i-1} + \dots + t_1 = \frac{t_{an}}{t_{ai}} (100 - t_{ai}) \quad (2.8)$$

De estos porcentajes en volumen real se obtienen las dosificaciones en peso teniendo en cuenta el volumen total calculado anteriormente y los pesos específicos de las fracciones. La figura 2.9 incluye las curvas de referencia indicadas

**Figura 2.9**

**Ábaco para la mezcla de áridos (método de De la Peña)**

**(Tecnología y Propiedades Mecánicas del Hormigón)**



### 2.6.5 Método de Fuller.-

Para ajustar exactamente el modulo granulométrico de la mezcla total y de las mezclas parciales a los valores «ideales» dados por la parábola de Fuller podemos seguir un proceso análogo al de la Peña, aunque algo más complicado.

En efecto, sean unos áridos cuyas granulometrías vienen determinadas por los datos siguientes:

**Tabla 2.17**

**(Tecnología y Propiedades Mecánicas del Hormigón)**

ÁRIDO	TAMAÑO MÁXIMO	MÓDULO GRANULOMÉTRICO (REAL)	M.G. DE FULLER (IDEAL)
Arena	$D_a$	$m_a$	—
Grava 1	$D_1$	$m_1$	$M_1$
Grava 2	$D_2$	$m_2$	$M_2$
Grava 3	$D_3$	$m_3$	$M_3$
Etc....	.....	.....	.....
Grava n	$D_n$	$m_n$	$M_n$

Para cada tamaño máximo. Fuller obtiene su modulo granulométrico «ideal», que llamaremos  $M_1, M_2, \dots, M_n$ . Queremos determinar las proporciones de la mezcla que hemos designado  $t_a, t_1, t_2, \dots, t_n$  necesarias para que la granulometría resultante se ajuste a dichos valores ideales.

El criterio expuesto conduce al siguiente sistema de ecuaciones:

$$\boxed{M_1 (t_a - t_1) = m_a t_a + m_1 t_1} \quad (2.9)$$

$$\boxed{M_2 (t_a - t_1) = m_a t_a + m_1 t_1 + m_2 t_2} \quad (2.10)$$

---


$$\boxed{M_n (t_a - t_1 + \dots + t_n) = m_a t_a + m_1 t_1 + \dots + m_n t_n} \quad (2.11)$$

Además se cuenta con la ecuación:

$$\boxed{t_a + t_1 + \dots + t_n = 100} \quad (2.12)$$

En el caso particular de la mezcla de una arena y dos gravas, la solución del siguiente sistema de ecuaciones es la siguiente:

$$t_2 = \frac{M_2 - M_1}{m_2 - M_1} * 100 \quad (2.13)$$

$$t_1 = \frac{M_1 - m_0}{m_1 - m_0} * (100 - t_2) \quad (2.14)$$

$$t_3 = 100 - t_1 - t_2 \quad (2.15)$$

Los valores de  $M_i$  solo dependen, como venimos repitiendo, del tamaño máximo del árido de que se trate ( $D_i$ ); de la aplicación de la ecuación de Fuller se deducen los siguientes valores:

**Tabla 2.18**

**(Tecnología y Propiedades Mecánicas del Hormigón)**

<b><math>D_i</math> (mm)</b>	80	40	20	10	5
<b><math>M_i</math></b>	6,7	5,74	4,8	3,89	3,02

Modulo Granulométrico Ideal según Fuller (véase 2.6.3.5)

## 2.7 FRAGUADO Y ENDURECIMIENTO DEL HORMIGÓN.-

### 2.7.1 Conceptos Básicos.-

A temperatura ambiente normal, próxima a 20 °C, el hormigón de cemento Pórtland fragua entre 4 y 20 horas después de su amasado (\*). A partir de entonces desarrolla sus capacidades mecánicas hasta edades superiores a 28 días. En algunas ocasiones

pueden encontrarse “regresiones de la resistencia” (producidas o no por anomalías de tipo físicos-químico) a partir de edades elevadas.

El endurecimiento se atribuye a la hidratación de los compuestos hidráulicos aportados por el conglomerante. Para que se produzca dicha hidratación es necesario disponer de una mezcla íntima de cemento y un 25 % de su peso en agua. Aproximadamente. El agua de amasado suele ser el doble de la necesaria para el fraguado y endurecimiento. La necesitamos para hacer el hormigón trabajable y asegurar la anterior intimidad de la mezcla. Así, para una relación Agua/cemento de 0,50, solo consumirá la mitad del agua aportada.

El proceso es exotérmico, pero requiere unas condiciones de temperatura adecuadas. Entre 5°C y 80°C, aproximadamente, el endurecimiento tiene lugar a velocidad creciente con la temperatura.

Las diversas operaciones que se realizan para el control en obra de las condiciones de humedad y temperatura se dosifican bajo el epígrafe de curado del hormigón.

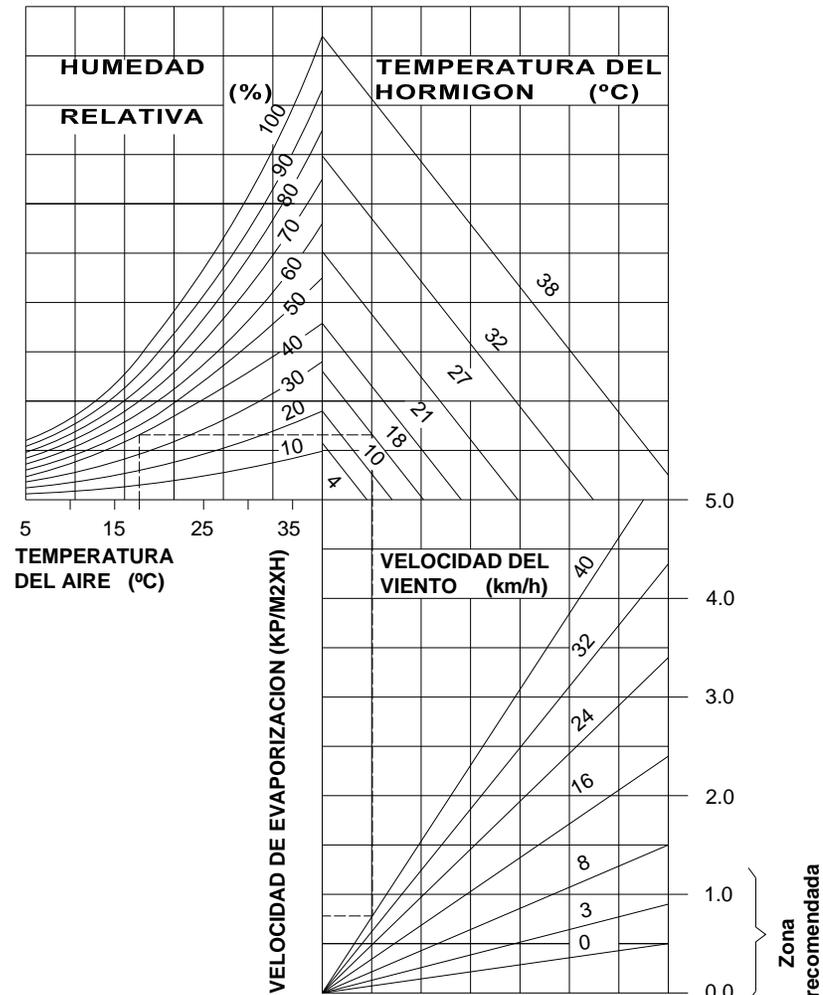
No entraremos en descripciones detalladas de los procedimientos de curado, que se discuten en posteriores subtítulos, solamente que es necesario evitar la pérdida por evaporación del agua del amasado o bien restituirla a velocidad adecuada controlar las condiciones de temperatura. Evitando simultáneamente los daños por heladas o gradientes térmicos excesivos.

En la figura 2.10 se indica el límite habitual de evaporación de agua para que no se produzcan fisura por retracción plástica (1 Kg./m<sup>2</sup>/hora). Haciéndolo depender de la temperatura del hormigón y de la velocidad del viento.

La fisuración por retracción plástica tiene lugar cuando la velocidad de evaporación supera a la velocidad de migración de agua hacia la superficie o exudación.

Figura 2.10

Velocidad de evaporación del agua a través de la superficie del hormigón, según ACI



1. Entrar con la temperatura del aire.
2. Desplazarse verticalmente hasta la humedad relativa que corresponda
3. Desplazarse hacia la derecha hasta la temperatura del hormigón.
4. Bajar para definir la velocidad del viento.
5. Ver a la izquierda la velocidad de evaporación.

Existe otro tipo de «fisuración plástica» del hormigón que se produce en las primeras horas de edad por consolidación y/o segregación independientemente de las condiciones de curado. Suele designarse fisuración por «asentamiento plástico».

Solemos distinguir entre fraguado y endurecimiento. Este último proceso comienza cuando el hormigón ha adquirido una resistencia apreciable (30 a 40 kp/cm<sup>2</sup> en probetas moldeadas), a partir de un plazo de unas 4 a 20 horas desde el amasado.

Las condiciones ambientales. Especialmente la temperatura. Tienen influencia decisiva en el fraguado del hormigón. Determinado de la forma indicada en ASTM C-403.

### **2.7.2. Temperatura del Hormigón Fresco.-**

Como veremos en los apartados siguientes, el control de la temperatura del hormigón fresco es la primera de las medidas a adoptar para el hormigonado en climas extremos.

La temperatura del hormigón recién amasado depende de la de los materiales componentes y, principalmente, de la del agua. Desde ese momento hasta el vertido. Se va aproximando a la temperatura ambiente.

Puesto que generalmente hormigonamos durante el día y utilizamos partidas de cemento de molienda bastante reciente y, en consecuencia, a temperatura relativamente elevada, es frecuente encontrar en invierno temperaturas del hormigón fresco apreciablemente más elevadas que la del ambiente. En verano, ocurre lo contrario aunque en menor cuantía.

Datos análogos y también del control de la evolución de las temperaturas durante todo el proceso de fraguado y endurecimiento son tomados regularmente en grandes obras de hormigón.

### **2.7.3. Tratamiento Térmico del Hormigón Colocado en Obra.-**

Para garantizar la adecuada temperatura del hormigón durante el primer endurecimiento (véase 2.7.1.) podrán emplearse protecciones con materiales aislantes durante el plazo necesario.

Al finalizar la protección debe comprobarse que el gradiente térmico a que quedan sometidos los elementos hormigonados es inferior. Durante las 24 horas siguientes, a los valores de la tabla siguiente.

**Tabla 2.19**  
**Gradiente al Finalizar La Protección**

**(Tecnología y Propiedades Mecánicas del Hormigón)**

<b>MÍNIMO ESPESOR DE LA SECCIÓN</b>			
<30 cm	30 - 90 cm	90 - 180 cm	> 180 cm
25 °C / hora	20 °C / hora	15 °C / hora	10 °C / hora

El cumplimiento de la regla anterior puede obligar a una retirada gradual de la protección. Dicha protección debe ser estanca al aire y al agua al fin de que no sufran daños locales las zonas de hormigón más expuestas. Si la temperatura del hormigón es inferior a 10°C, generalmente no será necesario aporte de humedad para el curado.

En casos extremos solo pueden hormigonarse en recintos con calefacción, adoptado las medidas siguientes:

1. ° se estudiarán convenientemente las condiciones higrométricas para evitar la desecación superficial del hormigón, producida por un brusco descenso de la humedad relativa del aire al calentarlo. En general será necesario añadir agua superficialmente para el curado. Este tratamiento finalizará 12 horas antes del fin de la protección.

2. ° Debe comprobarse que se respetan las limitaciones relativas al gradiente térmico máximo al finalizar la protección.

En caso de curado con vapor de agua se seguirán prescripciones análogas. Evitando sobre pasar temperaturas del orden de 80°C. En cualquier caso el ciclo térmico

definitivo debe establecerse tras las oportunas comprobaciones experimentales con el hormigón de la obra.

#### **2.7.4. Hormigonado en Tiempo Caluroso.-**

##### **2.7.4.1 Precauciones Necesarias.-**

Deberán tomarse precauciones especiales si la temperatura ambiente es superior a 40°C. en muchos casos. Será conveniente suspender el hormigonado en tal situación. Se tendrá en cuenta que las condiciones de hormigonado más desfavorables se producen por soleamiento directo y, especialmente, viento fuerte. Deben extremarse los cuidados para el curado del hormigón, evitando se alcancen las velocidades límite de evaporación a que se alude en 2.7.1 y los gradientes térmicos indeseables que se definen en 2.7.3.

Se detectara una reducción de la trabajabilidad del hormigón, debiendo limitarse el tiempo máximo de transporte desde el amasado, de acuerdo con las especificaciones. Por debajo de una hora y media.

Debe controlarse la temperatura máxima del hormigón fresco de modo que sea, en el momento del vertido, inferior a 40°C. En muchas ocasiones el cumplimiento de las recomendaciones relativas al gradiente térmico máximo aconseja reducir notablemente este límite. Así, las recomendaciones del Model Code 1990 del CEB (MC-90), establecen una temperatura máxima de 30°C en lugar de los 40°C aquí indicados. Debe tenerse en cuenta el límite impuesto a la temperatura máxima del cemento (70°C) en la Instrucción EH-91.

La edición de agua inmediatamente antes del vertido podrá realizarse tras comprobar esta posibilidad mediante ensayos de información oportunos y sin rebasar nunca el Asiento de cono específico. Este “reacondicionamiento” del hormigón se designa por el término inglés RETEMPERING.

#### **2.7.4.2 Hormigonado con Tratamiento Térmico de los Componentes.-**

Al objeto de hormigonar en tiempo caluroso podrá procederse al enfriamiento del agua de amasado, a la adición de hielo al hormigón fresco e incluso al enfriamiento de los áridos. En cualquier caso, debe evitarse el calentamiento de los áridos por soleamiento, siendo a veces eficaz tratarlos mediante riego por aspersión, lo que reduce su temperatura por evaporación y los satura evitando que, posteriormente, absorban agua del hormigón fresco.

Si la temperatura del hormigón fresco es inferior en más de 15°C a la del ambiente, deberá controlarse el gradiente térmico a lo largo del curado. En cualquier caso, deben limitarse los esfuerzos térmicos en los elementos hormigonados.

A tal fin, y ante la previsión de hormigonado en tiempo caluroso. Debe establecerse un sistema de control térmico del hormigón.

Los límites máximos para el gradiente térmico se han expuesto en apartados anteriores.

### **2.8. CURADO DEL HORMIGÓN.-**

#### **2.8.1 Importancia del Curado del Hormigón.-**

Entendemos por curado del hormigón el conjunto de tratamientos tendentes a conservarlo en unas condiciones de humedad y temperatura determinadas, durante el plazo necesario para asegurar un adecuado endurecimiento que permita alcanzar las cualidades necesarias de:

- Resistencia.
- Durabilidad.
- Impermeabilidad.
- Estabilidad de volumen.

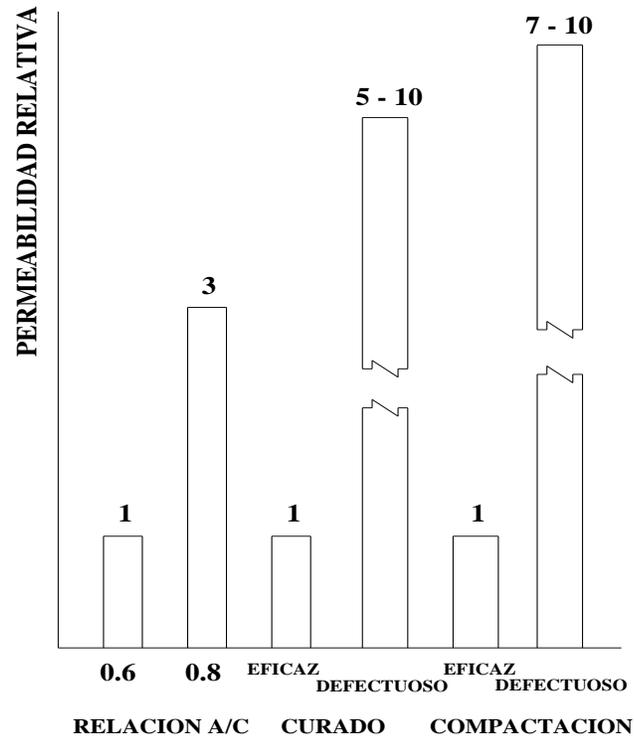
Generalmente, en climas templados, este tratamiento se limita a mantener una humedad elevada del hormigón en los primeros días después del vertido y compactación.

El hormigón fresco tiene sus poros llenos de agua. Durante el fraguado y endurecimiento el agua va formando el gel de cemento al hidratarse este. Si disminuye la cantidad de agua, disminuye, muy deprisa. La velocidad de hidratación. Si los poros no llegan a colmatarse, por hidratación incompleta del cemento, quedara un hormigón muy poroso (figuras 2.11 a, b y c) y de resistencia reducida. Pero, en realidad, no es necesaria toda el agua intersticial para conseguir un grado de hidratación suficiente, ni se produce, en la práctica, la hidratación completa del cemento (hemos podido comprobar que muestras de la fracción fina de hormigones viejos, previamente molidas, producen al reamasarse un conglomerante hidráulico, que fragua y endurece hasta obtener una resistencia apreciable). Así, los procedimientos de curado pueden tratar: (a) de sustituir el agua perdida por evaporación. o (b) de impedir que esta evaporación se produzca.

En las figuras citadas puede observarse que la eficacia del curado tiene casi tanta importancia como la de la compactación a efectos de la impermeabilidad y durabilidad del hormigón, frente a la penetración y ataque del agua, oxígeno. Cloruros o sulfatos. Es especialmente importante la permeabilidad de la capa superficial de recubrimiento de las armaduras. Que las protege de la corrosión.

**Figura 2.11.a**  
**Influencia del curado en la permeabilidad del agua, según la relación**  
**agua/cemento y el grado de compactación**

(Tecnología y Propiedades Mecánicas del Hormigón)



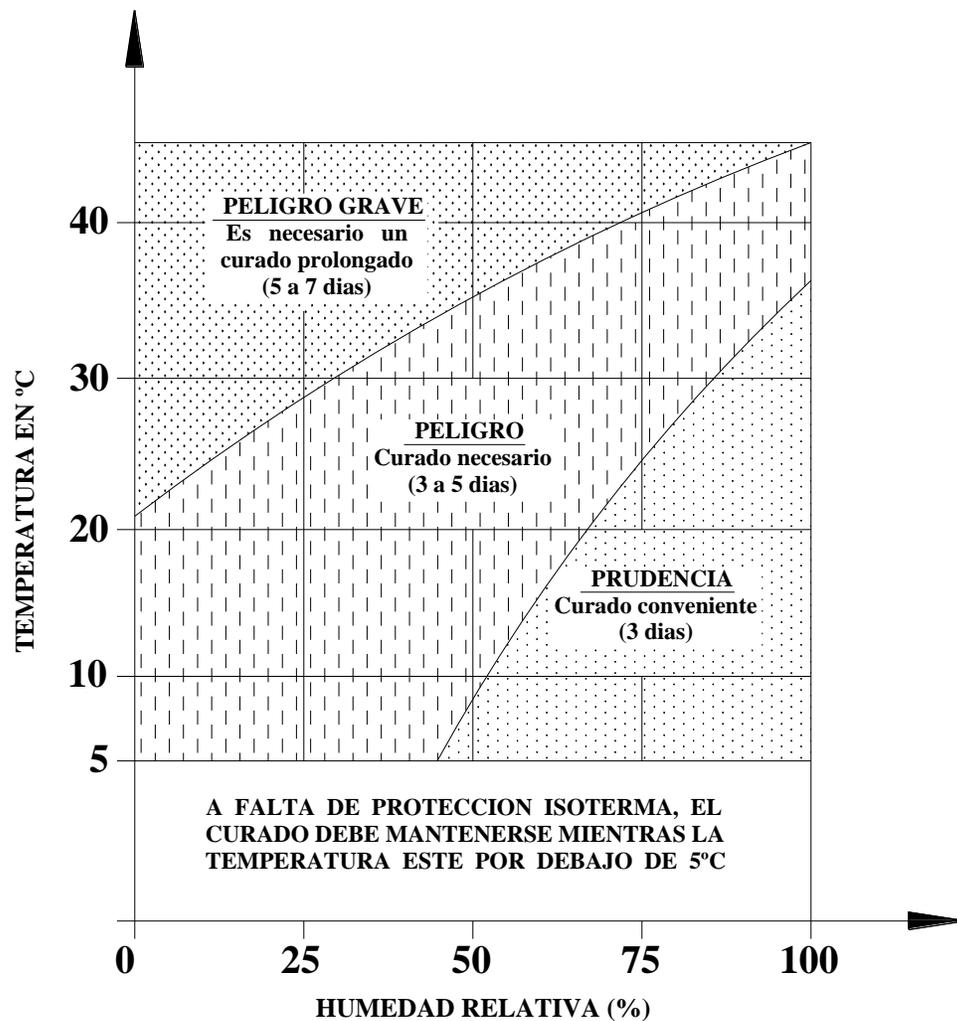
Influencia del curado en la permeabilidad al oxígeno de hormigones con distintos contenidos de clínquer (tras el plazo de curado húmedo que se indica, el hormigón se mantiene durante 28 días a 20 °C y 50% HR)

Como hemos indicado, también interviene la temperatura. La velocidad de hidratación se duplica cada 10°C aproximadamente y se detiene entre 0°C y -10°C. así los riesgos de un mal curado dependen fundamentalmente de las condiciones ambientales de temperatura y humedad (figura 2.11.c debida a BOMBLED y tomada de CALABERA,1988).

Figura 2.11.c

Los datos del gráfico corresponden al aire en calma, si hay viento deben aplicarse las recomendaciones de la zona inmediatamente superior.

(Tecnología y Propiedades Mecánicas del Hormigón)

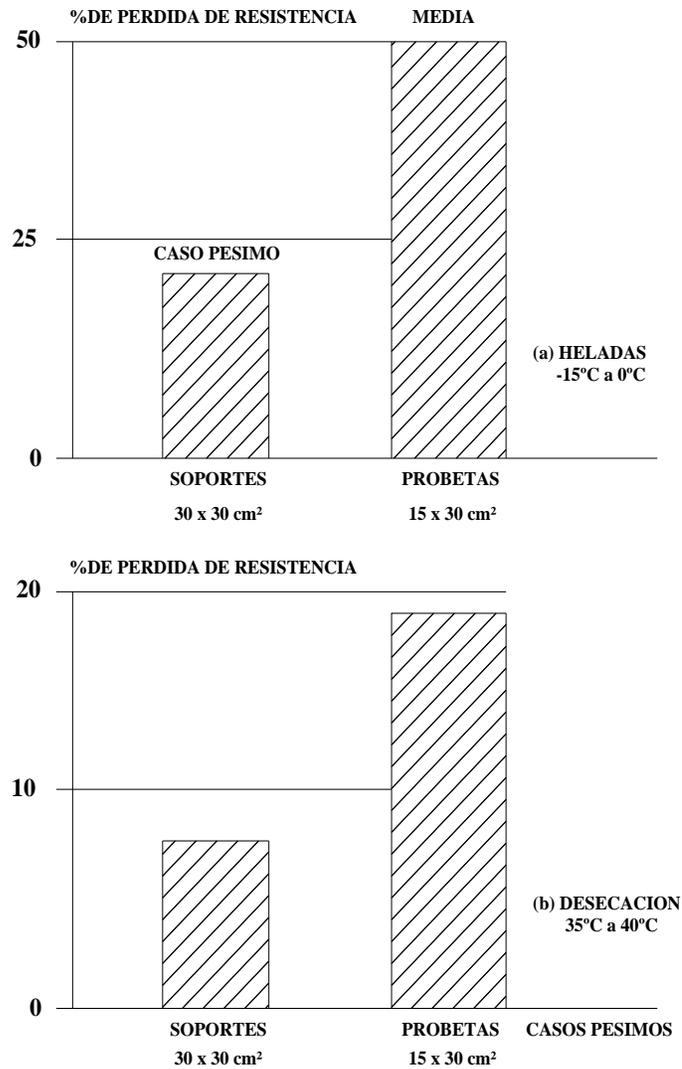


Además, las heladas durante el periodo comprendido entre el principio y el final del fraguado producen, por la expansión de los cristales de hielo formados, microfisuras, con daños irreversibles en el hormigón. INTEMAC ha investigado la influencia de las temperaturas extremas, entre  $-15$  y  $40^{\circ}\text{C}$  en pilares y probetas moldeadas, con resultados que se resumen en la figura 2.12 y dependen del tipo de adiciones del

cemento. Puede observarse que la influencia en probetas pequeñas es desfavorable, por lo que su ensayo representa un muy buen sistema de alarma.

**Figura 2.12**

**(Tecnología y Propiedades Mecánicas del Hormigón)**



## 2.8.2 Tipos de Curado.-

### 2.8.2.1 Curado en Condiciones Extremas.-

Denominamos curado en condiciones extremas al necesario con temperaturas del hormigón inferiores a 5°C o superiores a 30°C. Se trata por tanto de dos casos: curado en tiempo frío o curado en tiempo caluroso.

### 2.8.2.1.1 Curado en Tiempo Frío.-

Pueden producirse dos tipos de daño: una helada prematura que impida el normal desarrollo del proceso de endurecimiento o un retraso en dicho proceso que de lugar a resistencia excesivamente bajas en el momento del desencofrado o descimbrado.

La Tabla 2.20 nos da la duración mínima del periodo de protección en ambos casos, según el nivel de carga requerido al finalizar dicho periodo o el grado de exposición al medio ambiente. Así, con cemento Portland normal, se evitara la «congelación» del hormigón por helada prematura si el periodo de protección dura de 2 a 3 días, en que se mantiene la temperatura mínima de la Tabla 2.21. La duración del periodo de protección para alcanzar una resistencia adecuada se da, aproximadamente, en la misma Tabla 2.20.

**Tabla 2.20**  
**Protección del Hormigón en tiempo Frío**  
**Según ACI 306R-78**

SITUACIÓN DE SERVICIO	PERIODO DE PROTECCIÓN RECOMENDADO, DÍAS (Temperatura según tabla 2.23)			
	Para el daño por helada (*)		Para la resistencia adecuada	
	(1)	(2)	(1)	(2)
1. Sin carga ni exposición	2	1	2	1
2. Sin carga, con exposición	3	2	3	2
3. Carga parcial, con exposición	3	2	6	4
4. Carga completa	3	2	–	–

Otra forma de considerar la helada inicial es teniendo en cuenta la edad del hormigón en el momento de su aparición y la duración de dicha helada inicial. Cuanto más tarde en producirse, menor será el daño causado. Así pueden suponerse los datos aproximados de la Tabla 2.21. Si la duración de la helada es mayor de 4 horas sus efectos no son más graves.

**Tabla 2.21**  
**Temperatura recomendación del hormigón Según ACI 306 R-78**

TEMPERATURA DEL AIRE °C	TEMPERATURA MINIMA DEL HORMIGÓN SU MENOR DIMENSIÓN (cm)							
	<30		30-90		90-180		>180	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
-1	18		13		10		7	
-1 a -18	18	13	16	10	13	7	10	5
Inferior a -18	21		18		16		13	
Gradiente máximo en 24 horas al final de la protección	28		22		17		11	

**Tabla 2.22**  
**Incremento de volumen del hormigón ( $\Delta V$ )  
por una helada iniciada durante el fraguado**

EDAD DEL HORMIGÓN AL COMIENZO DE LA HELADA (horas)	$\Delta V$ EN % SEGÚN LA DURACIÓN DE LA HELADA	
	2 horas	$\geq 4$ horas
4	1,5	3
8	1,0	2
16	0,5	1
36	0,15	0,3

Por otro lado, 2.23. Proporciona datos para la determinación del espesor de encofrados aislantes según su naturaleza. La protección del encofrado permite mantener una temperatura del hormigón adecuada (no inferior a 10 °C), aprovechando el calor de hidratación del cemento (\*). Así, con elementos de 30 cm de espesor y dosificación de cemento (Portland normal) de 300 kg por m<sup>3</sup> de hormigón, precisamos un aislamiento  $R \geq 0,70$  m<sup>2</sup> K/W para garantizar la protección durante 3 días de un ambiente con -8 °C. La Tabla 2.23 nos sirve para definir el encofrado

aislante necesario. En el ejemplo anterior, resultaría adecuado un encofrado constituido por:

- Dos tableros de contrachapado de 5 mm de espesor.....  $R = 0,087$
- 15 mm de relleno de poliuretano expandido.....  $R = 0,657$

Finalmente debe prestarse atención a la posible aparición de tensiones de origen térmico producidas por un enfriamiento rápido al finalizar el periodo de protección. Si volvemos a la Tabla 2.20, podemos obtener valores máximos del gradiente térmico en las 24 horas siguientes a la retirada del encofrado aislante. En el ejemplo propuesto, el salto térmico hasta la temperatura ambiente es de  $10 + 8 = 18\text{ °C}$  y el gradiente máximo de la tabla 2.20 de  $22\text{ °C}$  por día; en consecuencia el enfriamiento debe producirse al menos en  $(18/22) \cdot 24 = 20$  horas.

**Tabla 2.23**  
**Aislamiento térmico de los encofrados para mantener**  
**el hormigón de losas y muros a 10°C**  
**Según ACI 306 R-78: Hormigonado en tiempo frío**

ESPESOR (cm)	CONTENIDO DE CEMENTO (kg/m <sup>3</sup> )	TEMPERATURA AMBIENTE MÍNIMA ADMISIBLE PARA R (m <sup>2</sup> °K/W) SEGÚN LA DURACION DEL PERIODO DE PROTECCIÓN REQUERIDO							
		R = 0,35		R = 0,70		R = 1,06		R = 1,41	
		3 días	7 días	3 días	7 días	3 días	7 días	3 días	7 días
15	180	8	9	5	8	2	6	0	4
	240	7	8	3	7	0	4	-3	2
	300	6	8	2	6	-2	3	-7	1
	360	5	8	0	5	-5	2	-10	-2
30	180	5	7	-1	4	-6	0	-12	-4
	240	3	6	-4	2	-11	-3	-18	-8
	300	1	6	-8	-1	-16	-7	-24	-13
	360	-1	4	-11	-2	-22	-10	-32	-18
48	180	2	5	-6	-1	-13	-6	-21	-12
	240	-1	4	-11	-4	-21	-12	-31	-19
	300	-4	2	-16	-7	-29	-17	-42	-26
	360	-6	1	-22	-11	-37	-22	-53	-34
61	180	-1	3	-10	-4	-19	-12	-29	-19
	240	-4	1	-17	-8	-29	-19	-42	-29
	300	-8	-1	-23	-14	-39	-27	-56	-39
	360	-12	-3	-31	-18	-51	-33	*	-48
91	180	-3	0	-13	-11	-26	-22	-38	-33
	240	-7	-4	-23	-18	-38	-31	-53	-47
	300	-11	-8	-31	-26	-51	-43	*	-62
	360	-16	-11	-38	-31	*	-54	*	*
120	180	-3	-3	-16	-16	-27	-27	-38	-38
	240	-8	-8	-23	-23	-39	-39	*	*
	300	-12	-12	-32	-32	*	-51	*	*
	360	-16	-16	-40	-40	*	*	*	*
150	180	-3	-3	-16	-16	-27	-27	-38	-38
	240	-8	-8	-23	-23	-39	-39	*	*
	300	-12	-12	-32	-32	*	*	*	*
	360	-16	-16	-40	-40	*	*	*	*

- Velocidad del viento < 24 km/h.
- Temperatura del hormigón fresco, en el momento del vertido = 10 °C
- Aislamiento térmico de 20 mm de madera contrachapada = 0,176 m<sup>2</sup> K/W que se suman al aislante adicional.
- Para Cemento tipo II aumentar R un 30%.
- En esquinas y bordes triplicar el espesor del aislamiento.
- Se indica (\*) cuando la temperatura mínima es «-51 °C»

**Tabla 2.24**  
**Capacidad de aislamiento térmico para distintos materiales de encofrado**

(Tecnología y Propiedades Mecánicas del Hormigón)

TIPO DE PROTECCIÓN	MATERIAL AISLANTE	RESISTENCIA TÉRMICA R m <sup>2</sup> °k /w para 10 mm de espesor
A TABLEROS Y LOSAS	Poliuretano expandido (R-11 exp.)	0,438
	Ídem. Extruido (R-12 exp.)	0,437
	Ídem. Extruido simple	0,277
	Fibra de vidrio, adhesivo orgánico	0,277
	Poliestireno expandido, lecho moldeado	0,247
	fibra mineral conglomerada con resina	0,239
	Tablero de fibra mineral, fieltro húmedo	0,204
	Vidrio celular	0,182
	Tablero de papel laminado	0,139
	tablero de partículas (baja densidad)	0,128
Contrachapado	0,087	
B MANTAS	Manta de fibra mineral, con fibras obtenidas de roca, escoria o vidrio	0,224
C RELLENOS SUELTOS	Fibra de madera, maderas blandas	0,231
	Fibra mineral de roca, escoria o vidrio	0,173
	Perlita expandida	0,187
	Vermiculita exfoliada	0,152
	Serrín	0,154

### 2.8.2.1.2 Curado en Tiempo Caluroso.-

De acuerdo con la Instrucción Española «si la temperatura ambiente es superior a los 40 °C o hay un viento excesivo se suspenderá el hormigonado, salvo que, previa autorización expresa del Director de Obra, se adopten medidas especiales, tales como enfriar el agua, amasar con hielo picado, enfriar los áridos, etc.». Estos tratamientos modifican la temperatura del hormigón fresco y se han estudiado en el apartado anterior 2.7.

De acuerdo con ACI 305 R «Hot Weather Concreting», el «tiempo caluroso» se define como una combinación de temperatura ambiente elevada, baja humedad relativa del aire y velocidad del viento, que pueden alterar las propiedades del hormigón. En 2.7.1 se estudio la interdependencia entre estos factores y la aparición de fisuras de «Retracción plástica». De forma aproximada, el ACI establece la siguiente relación entre condiciones limite de temperatura máxima del hormigón y humedad relativa mínima, de modo que la evaporación sea inferior 1,0 kg/m<sup>2</sup>/hora (en el supuesto de que la velocidad del viento es de 16 km/hora y que la diferencia de temperatura entre el hormigón y el ambiente es inferior a 6 °C).

**Tabla 2.25**  
**Humedad relativa mínima durante el curado**

HUMEDAD RELATIVA DEL AMBIENTE (%)	Elevada		Media			Baja	
	90	80	70	60	50	40	30
TEMPERATURA MÁXIMA DEL HORMIGÓN (°C)	41	38	32	35	29	27	24

En lo que sigue tratamos el tema con mayor profundidad, con especial referencia a los procedimientos del American Concrete Institute. También recogemos las recomendaciones del CEB, para llegar a una conclusión previa: la especificación de la Instrucción debería reducirse a 30 – 35 °C, en condiciones medias, y referirse a la temperatura del hormigón fresco, en lugar de a la temperatura ambiente.

El Código Modelo del CEB, en su apéndice sobre tecnología establece lo siguiente en relación con el hormigonado a temperaturas elevadas:

- Debe asegurarse que la temperatura del hormigón fresco, en el momento del vertido, es inferior a 30 – 35 °C en estructuras normales e inferior a 15 °C para grandes masas de hormigón.
- Debe controlarse la diferencia entre la temperatura del hormigón fresco y la del ambiente.
- En los casos en que sean de tener fisuraciones de origen térmico debidas al calor de hidratación se limitara la diferencia de temperatura entre el centro de la masa y la superficie a 20 °C.
- El curado debe prolongarse sin interrupción durante 7 días como mínimo. Para estructuras planas, como losas o pavimentos, es más práctico y fiable el empleo de membranas o «curing-compounds» aplicados inmediatamente después del hormigonado.

Propone, además, medidas de corrección tales como la reducción de la temperatura de los componentes por protección contra el soleamiento, regado de los áridos gruesos, rociado con agua de los equipos de hormigonado (cubas, carretillas, encofrados, tolvas, etc.) y programación adecuada del hormigonado para conseguir reducir el tiempo de hormigonado y realizarlo en las horas de menos calor.

## **2.9 RECOMENDACIONES GENERALES DE CURADO.-**

Para elementos en climas templados y sin tratamientos especiales de curado, se han establecido las siguientes reglas sobre la duración del tratamiento. Estudiamos inicialmente las de EH-91, que son más conservadoras que las deducidas en la figura 2.18.c del apartado anterior.

### **2.9.1 SEGÚN LA INSTRUCCIÓN EH-91.-**

El objetivo del tratamiento de curado es “mantener” la humedad del hormigón durante el fraguado y endurecimiento. El agua empleada debe satisfacer las prescripciones del artículo (agua de amasado). Cuando no existe una adecuada experiencia debe verificarse lo siguiente:

No acidez, pH  $\geq 5$ . Según UNE - 7234

Sustancias disueltas	$\leq 15$ g/l según UNE - 7130
Sulfatos, SO <sub>4</sub> (*)	$\leq 1$ g/l según UNE - 7131
Cloruros, Cl-(**)	$\leq 6$ g/l según UNE - 7178
Hidratos de carbono (materia orgánica, azúcar, etc.)	= según UNE - 7132
Sustancias orgánicas solubles en éter	$\leq 15$ g/l según UNE - 7235

Por término medio el curado se prolongará durante 7 días, plazo que se modificara de acuerdo con lo siguiente:

- a) En general el proceso de curado se prolongará hasta que el hormigón haya alcanzado el 70% de la resistencia de proyecto (lo que equivale a unos 7 días a 20°C con cementos normales de clase 35).
- b) En el caso de hormigones en ambiente agresivo (aguas salinas, alcalinas o sulfatadas) debe aumentarse el plazo un 50% (hasta 10 días en caso normales).
- c) El mismo incremento de plazo es aplicable cuando:
  - Se utilizan cementos de endurecimiento lento.
  - El ambiente es seco y caluroso.

Consideramos que esto último es muy discutible, pues en tiempo seco y caluroso debe aumentarse la intensidad del curado pudiendo, incluso, reducirse su duración.

- d) Si se cura por inmersión en agua, el plazo de inmersión puede oscilar entre 3 y 7 días aproximadamente.

### **2.9.2 SEGÚN ACI 308.-**

El procedimiento de curado que se adopte debe proporcionar la cobertura continua y completa con agua exenta de materias agresivas. En caso de hormigones vistos debe cuidarse especialmente que el agua no produzca manchas en la superficie del hormigón. Se tendrá cuenta que el uso de agua de curado muy fría, o el enfriamiento debido a una evaporación rápida, pueden producir choques térmicos o gradientes térmicos excesivos. Los procedimientos de mantenimiento del grado de humedad necesario se clasifican en dos grupos:

- (1) Riesgo frecuente o continuo con agua o inmersión en agua, en vapor, pulverización, tapado con arena, serrín o arpilleras humedecidas continuamente.
- (2) Prevención de una pérdida excesiva de agua por aplicación de papel impermeable (ASTM C-171), laminas de plástico (espesor mínimo 0,10 mm según ASTM C-1/1) o productos inógenos de curado ASTM C-309).

Al comienzo del tratamiento debe ser suficientemente rápido como para evitar la aparición de fisuras de retracción plástica. Las condiciones ambientales precisas para evitar la fisuración plástica se han discutido en el capítulo 2 (véase el apartado 2.7.1).

El curado se juzga eficaz, por definición, si el contenido de humedad y la temperatura se mantienen de tal forma que las propiedades del hormigón alcanzan los niveles de resistencia requeridos y que no se producen fisuración (por retracción plásticas, hidráulica o térmica), formación de polvo superficial, descantillado superficial o fisuración superficial en forma de piel de cocodrilo. Estos daños se atribuyen generalmente en un secado superficial excesivo.

El curado se considera aceptable si resulta equivalente al conseguido por humectación constante durante los plazos siguientes:

- 14 días con cemento ASTM tipo II (equivalente al I SR/MR –de bajo contenido en aluminato – del RC-88).
- 7 días con cemento ASTM tipo I (equivalente al tipo I del RC-88).
- 3 días con cemento ASTM tipo III y temperatura superior a 10°C (cemento equivalente al tipo I-A del RC-88).

ACI-308 da también reglas específicas para la duración del curado según el tipo de elemento constructivo. Así:

- a) Pavimentos y soleras sobre el terreno

- 7 días a temperatura superior a 5°C, o al menos el plazo necesario para alcanzar el 70% de la resistencia especificada a compresión o flexión.
  - Se adoptaran medidas de protección especiales con temperaturas medias diarias iguales o inferiores a 5°C.
- b) Estructuras: muros, pilares, losas y vigas, cimentaciones de volumen reducido y revestimiento de túneles.
- 7 días a temperatura ambiente media diaria superior a 5°C, o al menos, hasta que se alcance una resistencia del 70% de la especificada.
  - Adopción de medidas de protección cuando dicha temperatura es igual o inferior a 5°C.
  - Incremento de plazo, incluso hasta 28 días, en elementos especiales, como pilares de hormigón de alta resistencia (superior a 420 Kp/cm<sup>2</sup>, según ACI 308).
- b) macizos de hormigón: estribos, pilas, diques, grandes cimentaciones y presas
- 14 días para hormigones en masa que no contengan puzolanas.
  - 21 días cuando el hormigón en masa contiene puzolanas.
  - 7 días en elementos fuertemente armados.
- d) Elementos prefabricados
- Existe gran variedad de procedimiento con distintas limitaciones de plazos, pudiendo darse las siguientes reglas generales aproximadas.
- 12 horas a 3 días para temperaturas de curado de 52 a 85°C.
  - 5 a 36 horas para en autoclave.
- f) elementos construidos con encofrado vertical deslizante: chimeneas, silos, núcleos de ascensores, etc.

El curado se realiza, generalmente, por mixtos constituidos por las siguientes fases o etapas:

- Protección, contra la desecación del propio encofrado deslizante.
- Protección, al nivel del andamio de acabado, mediante faldones húmedos o un sistema de pulverización de agua.

- Utilización de un producto filmógeno de curado o curado mediante riego en superficies de hormigón visto, que podrían alterarse por el uso no uniforme del producto filmógeno.

En ciertas condiciones pueden ser suficientes las dos primeras etapas.

g) Hormigón proyectado (gunitada)

- 7 días de curado húmedo.
- como alternativa y solamente en la capa de acabado pueden utilizarse productos filmógeno de curado que han de aplicarse con dosificaciones superiores a las normales, dada la rugosidad de la superficie gunitada (ACI 506 recomienda 0,40 litros por m<sup>2</sup>).

h) Hormigón refractario fabricado con cemento aluminoso

- 24 horas desde el amasado.

i) Pintura de cemento y enlucidos o enfoscados de pasta de cemento

- Entre las distintas capas.
- 2-3 días después de la capa de acabado.

Puede realizarse por pulverización (2-3 veces al día) o por protección mediante cerramiento del área de trabajo, dependiendo de la humedad ambiental. Se evitara que se produzca escurrimiento de agua por la superficie.

j) Hormigones aislantes con densidad igual o inferior a 800 kg/m<sup>3</sup>

- 3 días, evitando la acumulación de agua.

**CAPÍTULO III**  
**ÁRIDOS DE CANTERA PARA**  
**HORMIGONES**

### CAPÍTULO III

## ÁRIDOS DE CANTERA PARA HORMIGONES

### **3.1. Historia.-**

La mina más antigua que se tiene constancia arqueológica es la "**Cueva del Pico**", en Suazilandia. En este lugar, que de acuerdo con los experimentos realizados con la radiación del carbono 14 tiene una edad de 43.000 años, los hombres del paleolítico excavaban buscando hematita, un mineral que contiene hierro, con el que probablemente producían pigmentos de color ocre.

### **Fotografía 3.1**



**Cerro de Pasco es un centro minero de Perú.**

En varias regiones de Europa central, como en la República Checa. En varias regiones de Europa central, como en la República Checa, Eslovaquia y Hungría se han encontrado excavaciones de una antigüedad similar donde los Neandertales buscaban piedras sílex para fabricar armas y herramientas.

Otra excavación minera fue la mina de turquesas en la que trabajaban los antiguos egipcios en Uadi Maghara, en la península del Sinaí. También se extraían turquesas en la América precolombina. En variadas locaciones a lo largo del continente se ha podido establecer que desde el Distrito Minero de Cerillos, en Nuevo México, donde se extrajo, usando herramientas de piedra, una masa de roca de 60 m de profundidad

y 90 m de ancho; el vertedero de la mina cubre una superficie de 81.000 m<sup>2</sup>, hasta en el sur del continente Americano; en los actuales territorios de Bolivia, Chile, Colombia, Ecuador, y Perú; en donde se tiene noticia que se explotaban yacimientos de minerales como el oro, cobre, hierro y petróleo en emanaciones naturales o en cuevas con sus menas, en donde los aborígenes extraían estos minerales a veces a cielo abierto, antes de que esta técnica se hiciera popular.

### **Fotografía 3.2**



#### **Mina de carbón a cielo abierto en Garzweiler, Alemania. Panorámica en alta resolución.**

En 1892 se dispuso que a través de la ley de minas se otorgara la oportunidad a los extranjeros de ser los propietarios de todo tipo de yacimiento mineral. La única obligación que tenían era la de pagar impuestos. La principal empresa minera es la NR y familia, se encuentra en Colombia.

Tipos de minería: Pequeña, mediana y gran minera:

- La pequeña minería invierte capitales relativamente pequeños, está orientada a la explotación de canteras o a la extracción de minerales metálicos y extrae menos de 350 toneladas de material al día.
- La mediana minería se limita básicamente a la extracción de minerales y extrae entre 351 y 5000 toneladas de minerales cada día.

- La gran minería se dedica a la extracción a gran escala, sus montos de inversión son elevados y extraen, procesan y exportan minerales. Extraen más de 5000 toneladas de material al día.

### 3.1.1 Tipos de minas.-

Los principales tipos de minas a cielo abierto son:

#### 3.1.1.1 Canteras.-

Las canteras son minas a cielo abierto, generalmente de pequeño tamaño, que explotan materiales que no requieren una concentración posterior, sino, como mucho, una trituración o clasificación por tamaños. Los materiales obtenidos en canteras son los áridos, las rocas industriales y las rocas ornamentales.

El esquema típico de explotación es mediante bancos y bermas.

#### 3.1.1.2 Cortas.-

**Fotografía 3.3**



**Corta Atalaya, en Minas de Rio tinto (España).**

Las **Cortas** son explotaciones tridimensionales de yacimientos que evolucionan en profundidad, generalmente de sustancias metálicas, aunque también existen cortas de carbón.

La morfología típica de una corta es similar a un cono invertido.

El arranque del mineral y del estéril, sobremanera en las minas metálicas, se realiza generalmente mediante perforación y voladura. La carga se suele efectuar con palas cargadoras y el transporte mediante volquetes. En el caso de las cortas de carbón, el arranque del mismo se realiza mediante palas excavadores o retropalas.

La dimensión final de la corta (su profundidad) viene dada por lo que se conoce como ratio: La proporción entre el estéril que hay que excavar con respecto al mineral que se va a explotar. Al aumentar la profundidad de la corta, el ratio aumenta, de manera que los costos de excavación del estéril aumentan, y por tanto los costos crecen.

### **3.2. Explotación a Cielo Abierto de Materiales de Construcción.-**

#### **3.2.1. Que es una Cantera.-**

##### **3.2.1.1. Definición.-**

Es el conjunto de labores que se llevan a cabo con la finalidad de explotar el material útil. En este caso hablamos de recuperar las rocas duras para clasificarlas y transformarlas en. Arena, ripio, molones, material de base y sub base, etc.

##### **3.2.1.2. Como se Explota una Cantera.-**

Aprovechando de la pendiente, el depósito de material pétreo, se divide en capas horizontales, con la finalidad de explotar varias capas (Bancos) simultáneamente. De esta manera, la cantera va adquiriendo la forma escalonada.

**Fotografía 3.4**

**Forma de Explotación Escalonada (Texto del Ing Jorge Barragán G.)**



Figura 3.1

## Elementos de una Cantera

(Texto del Ing. Jorge Barragán)

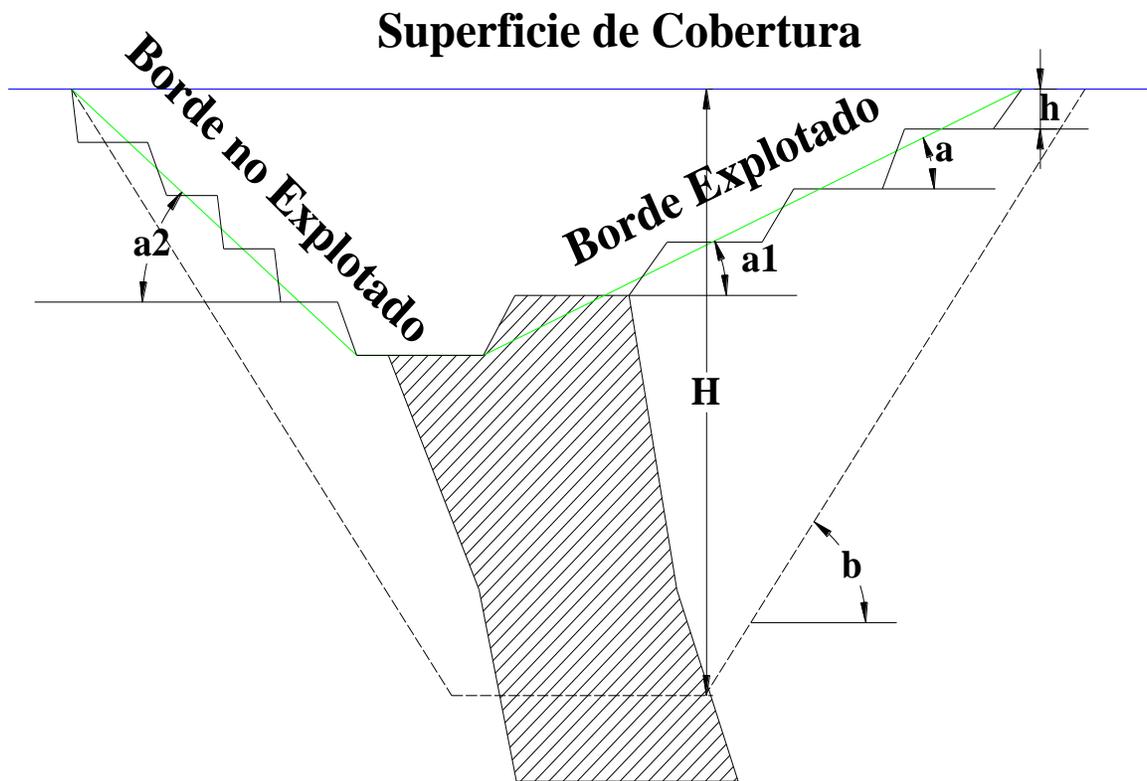
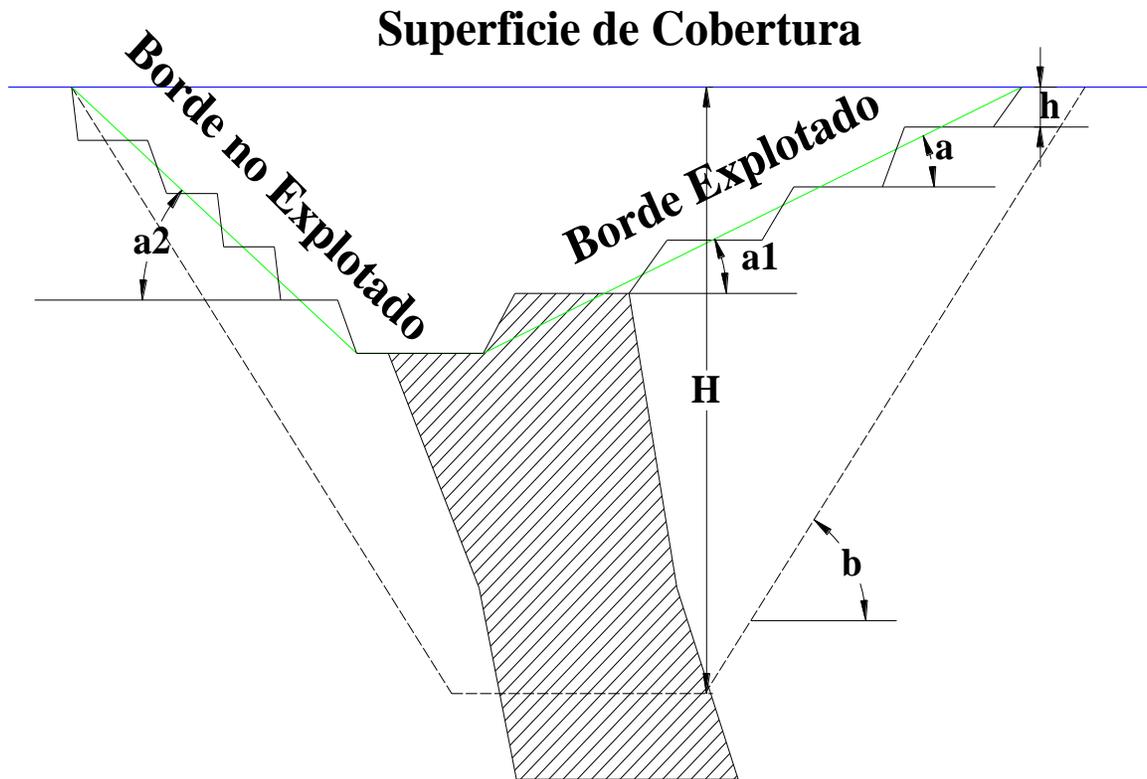


Figura 3.2

## Elementos de una Cantera

(Texto del Ing. Jorge Barragán)

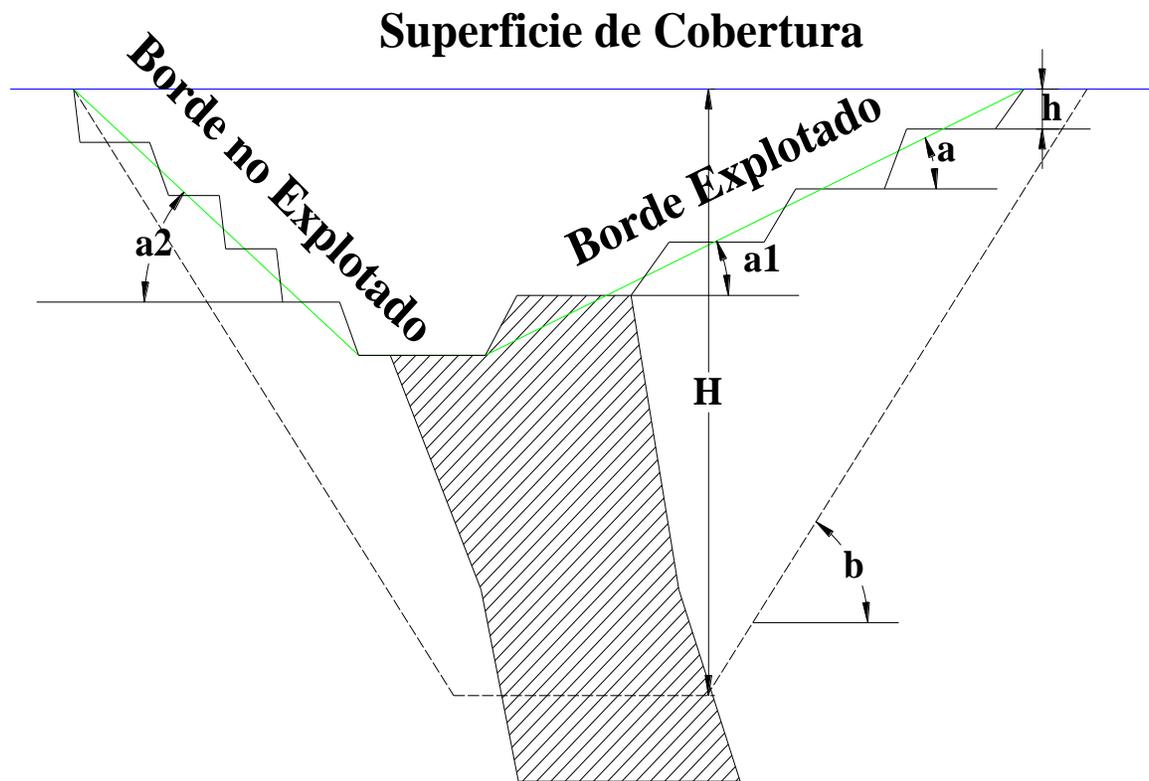
**Altura de la Cantera (H):**

Es la distancia vertical comprendida entre la superficie de cobertura y el fondo de la misma.

Figura 3.3

## Elementos de una Cantera

(Texto del Ing. Jorge Barragán)

**Borde Explotado (a):**

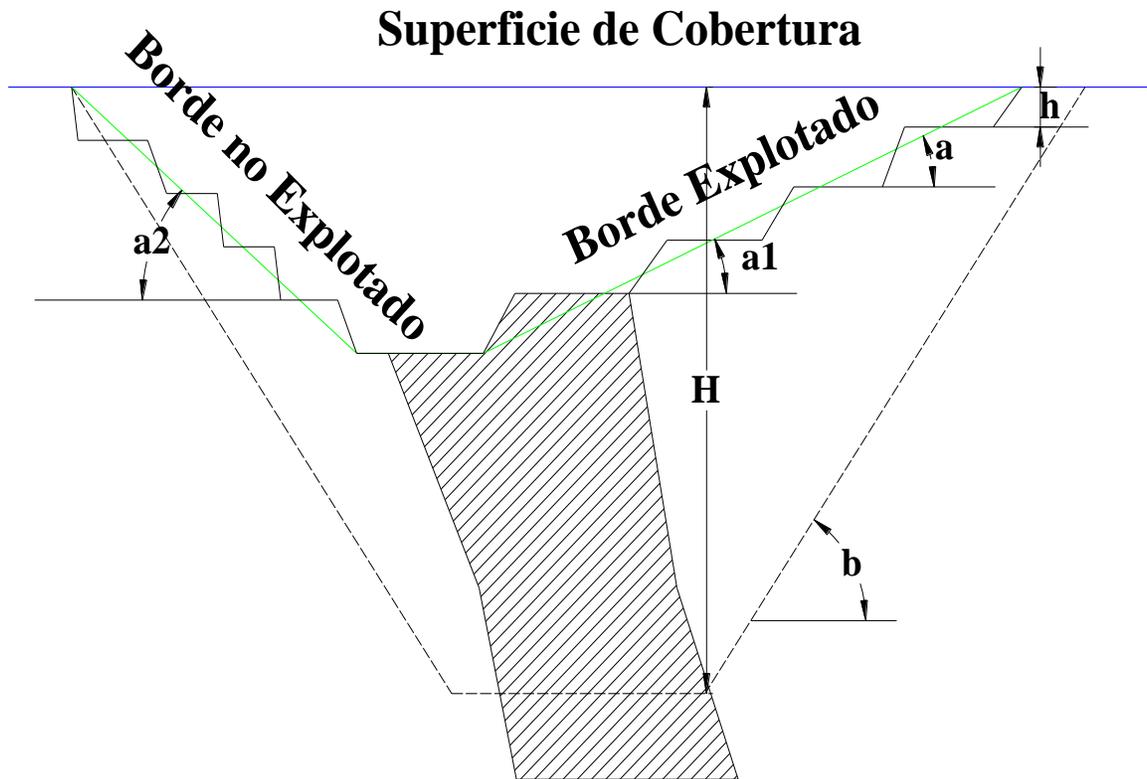
Ángulo de pendiente del terreno que queda después de la extracción o arranque del material.

Debe mantener la armonía con la Naturaleza.

Figura 3.4

## Elementos de una Cantera

(Texto del Ing. Jorge Barragán)

**Ángulo de Extinción de una Cantera (b):**

Ángulo formado por la línea de borde de extinción respecto al plano horizontal. Toma en cuenta la profundidad máxima de la Cantera.

Figura 3.5

## Elementos de un Banco

(Texto del Ing. Jorge Barragán)

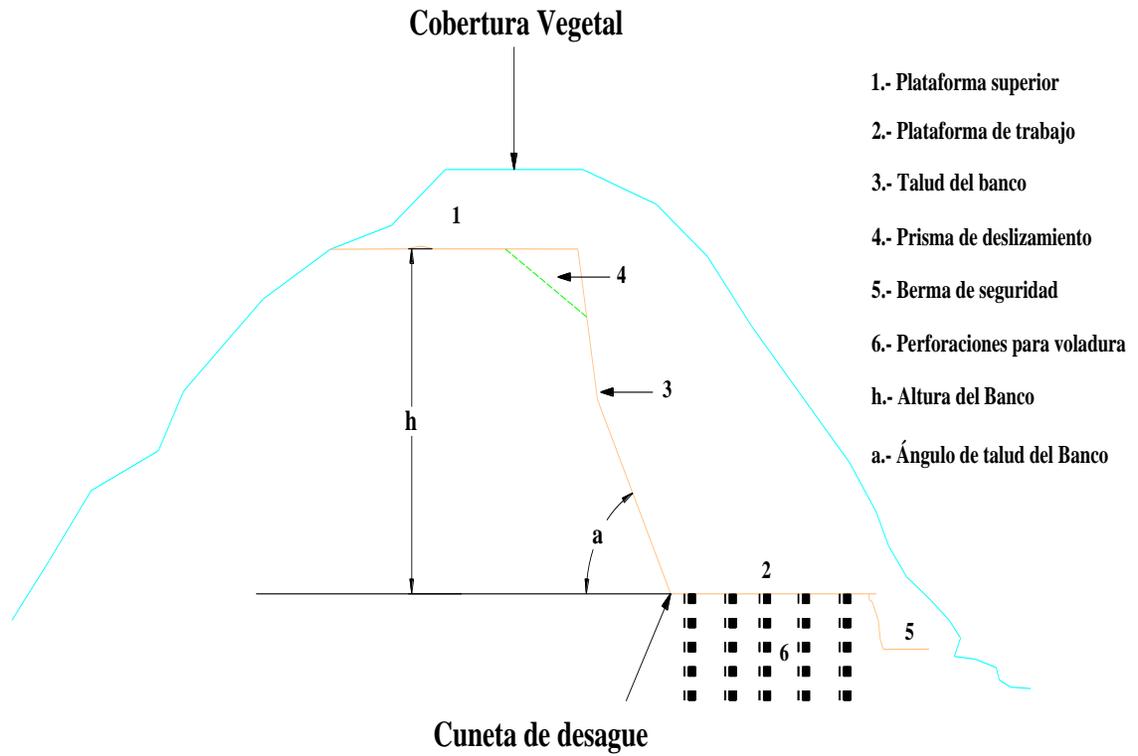
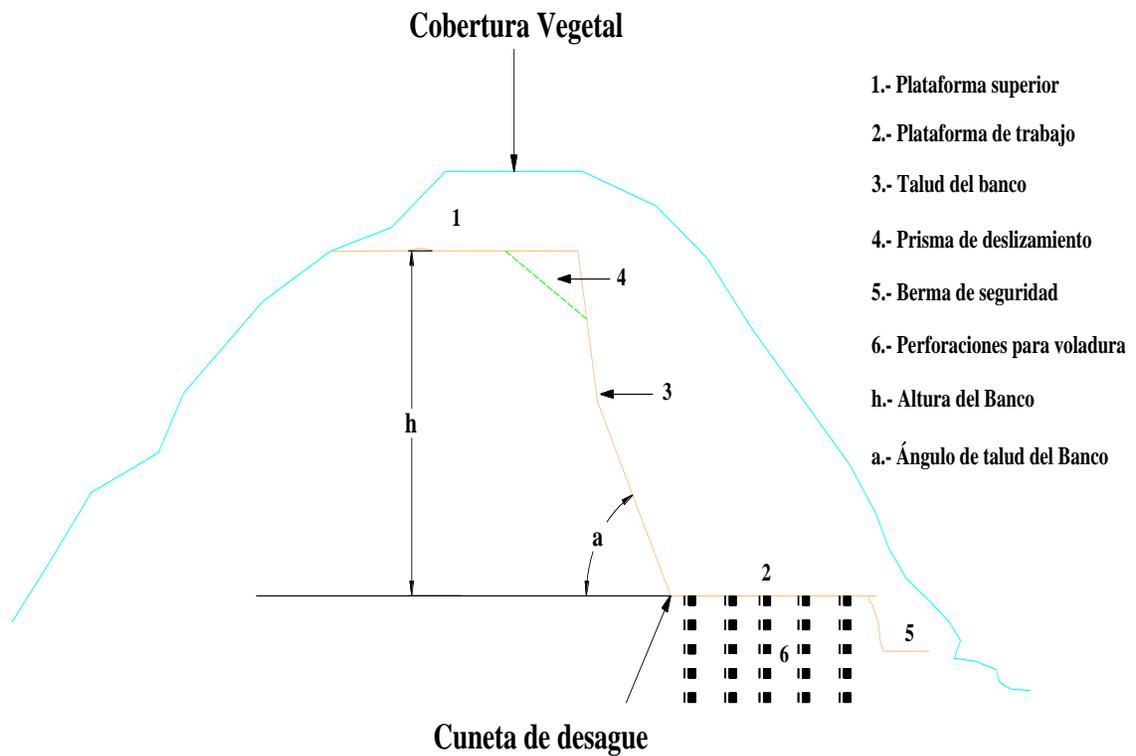


Figura 3.6

## Elementos de un Banco

(Texto del Ing. Jorge Barragán)

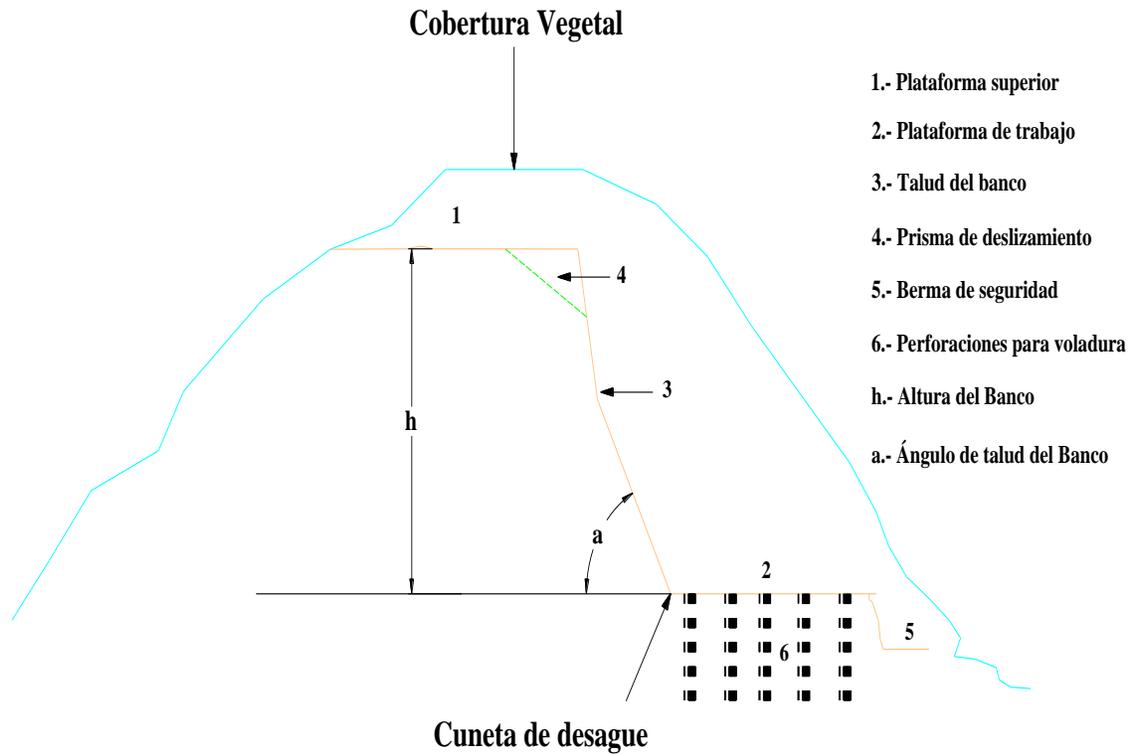
**Plataforma de trabajo (1-2):**

Se denomina así a la superficie horizontal limitada por la altura del Banco.

Figura 3.7

## Elementos de un Banco

(Texto del Ing. Jorge Barragán)

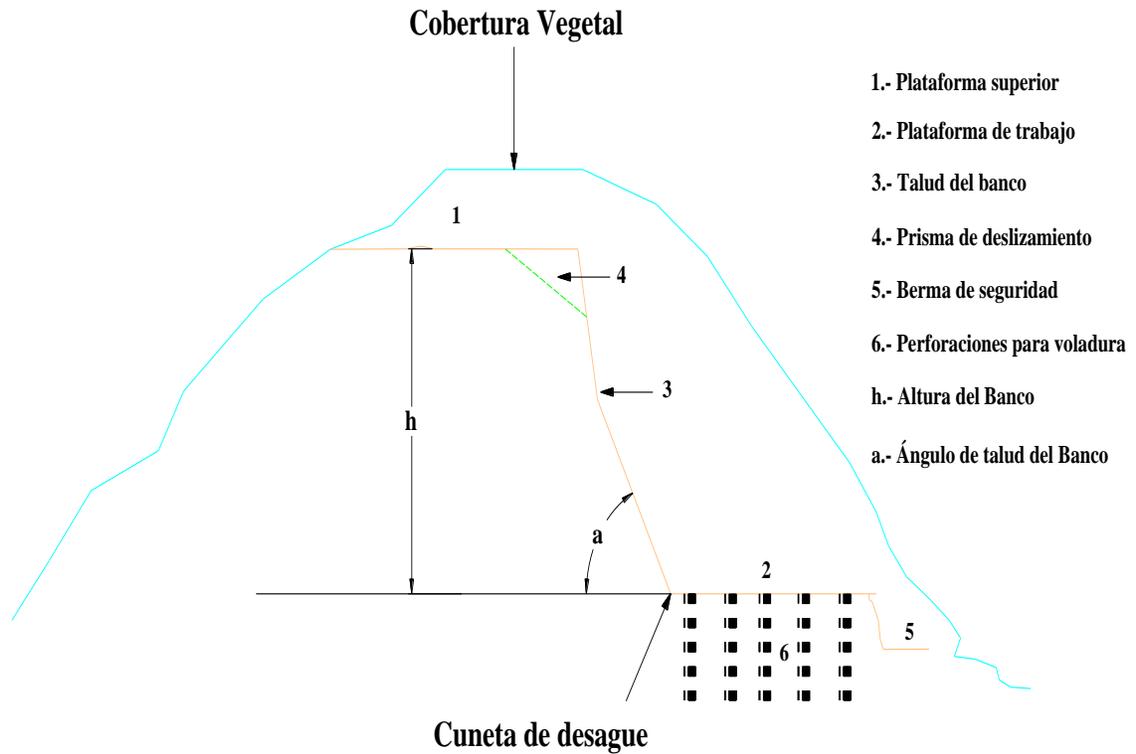
**Talud de Banco (3):**

Se denomina así a la superficie inclinada del Banco delimitada por un lado con el espacio explotado y por el otro por la planta superior e inferior.

Figura 3.8

## Elementos de un Banco

(Texto del Ing. Jorge Barragán)

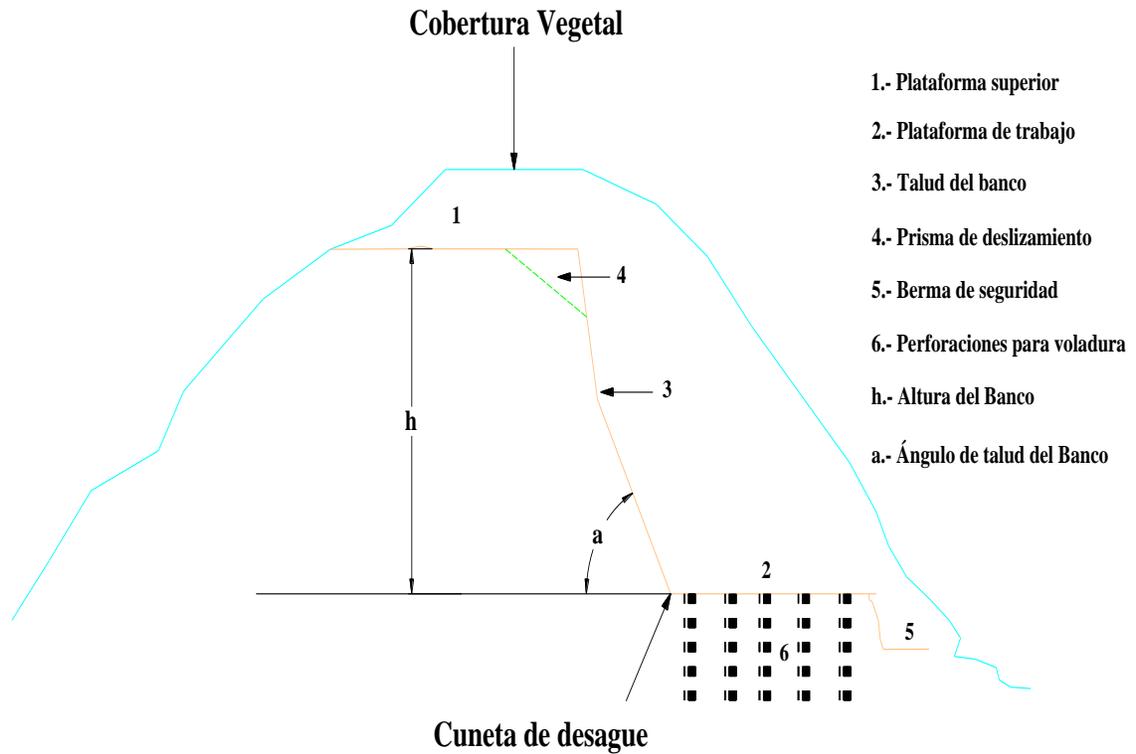
**Ángulo de talud del Banco (a):**

Es el ángulo que forma el talud del Banco con el plano horizontal.

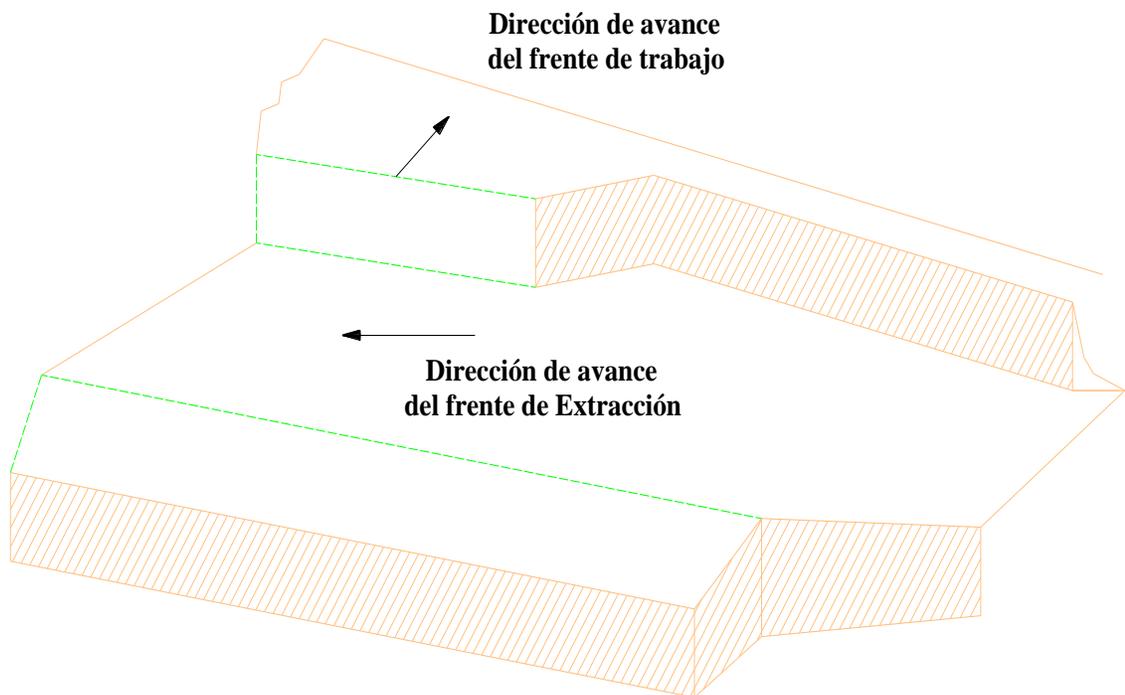
Figura 3.9

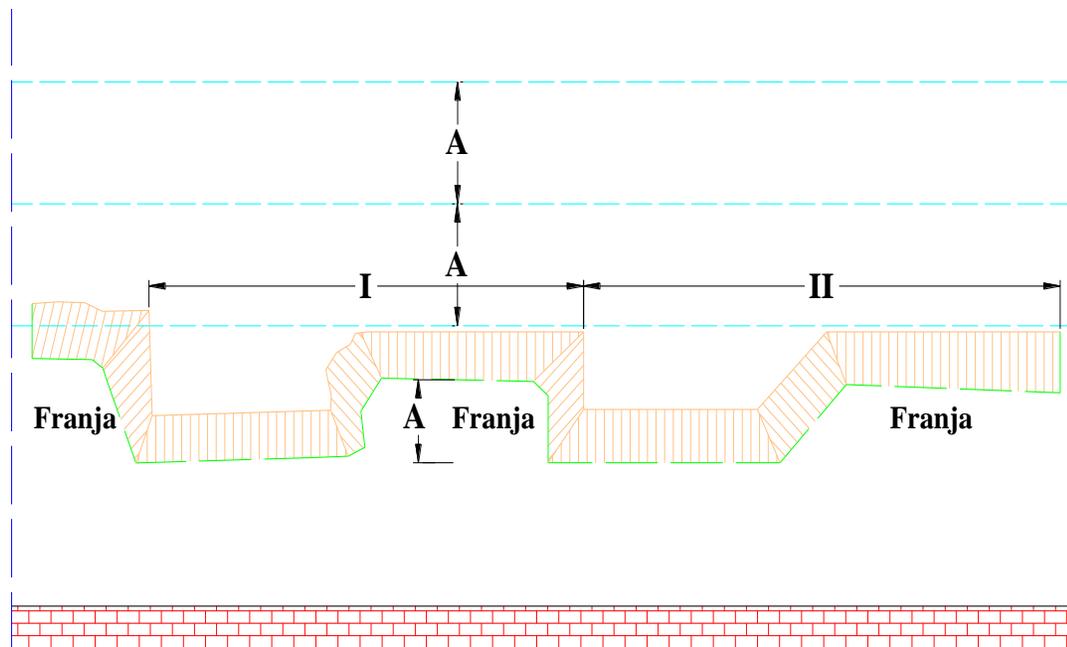
## Elementos de un Banco

(Texto del Ing. Jorge Barragán)

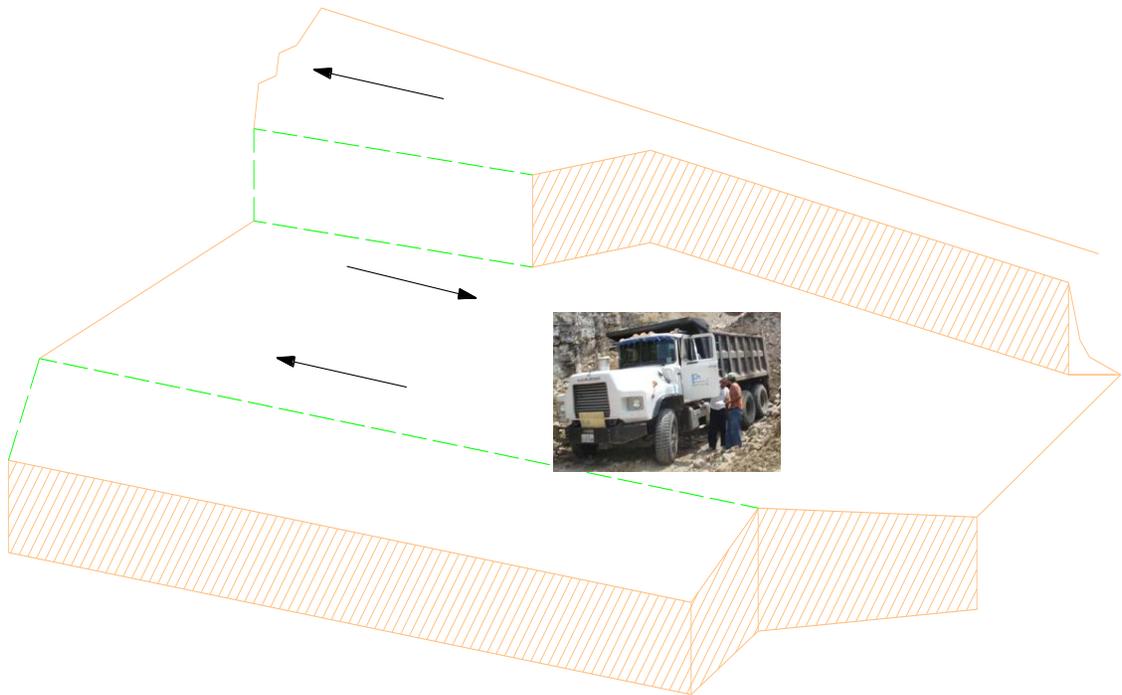
**Altura del Banco (h):**

Es la distancia vertical comprendida entre la plataforma superior e inferior.

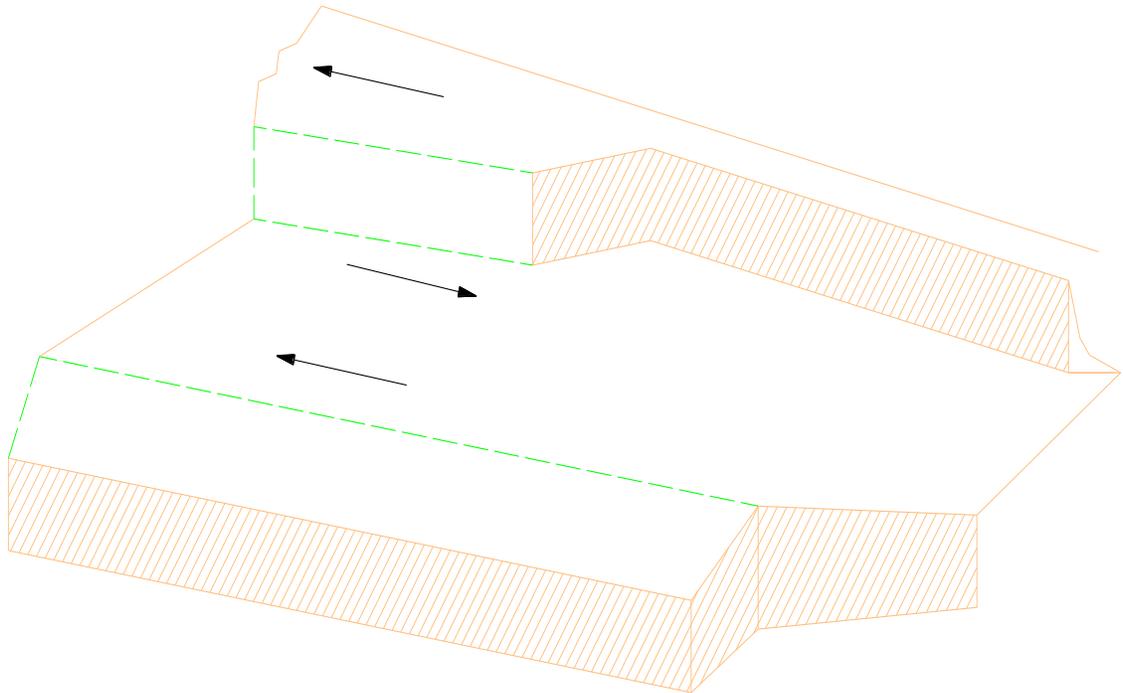
**Figura 3.10****Dirección de avance del frente de trabajo****(Texto del Ing. Jorge Barragán)**

**Figura 3.11****Franja de Explotación****(Texto del Ing. Jorge Barragán)****Franja de Explotación:**

Se denomina a la parte del Banco a cuyo ancho, se explota sin cambiar de posición el transporte.

**Figura 3.12****Borde de Transporte****(Texto del Ing. Jorge Barragán)****Borde de transporte:**

Sirve para disponer en ellos vías de transporte, sus dimensiones varían en dependencia del tipo de transporte rodante y el número de vías.

**Figura 3.13****Borde de seguridad****(Texto del Ing. Jorge Barragán)****Borde de seguridad:**

Cumple con la misión de prevenir accidentes, deteniéndose en ellas los trozos de roca que se desprenden del talud del banco.

El ancho de esta explanada nunca es inferior a  $1/3$  de la distancia vertical entre ellas.

**Figura 3.14**

**Otros elementos del Banco**

(Texto del Ing. Jorge Barragán)

**1.- Plataforma de trabajo:**

Se conoce con este nombre a la plataforma del banco en donde se encuentra la maquinaria de extracción y transporte

**2.- Arista inferior y superior:**

Línea de corte de talud con las plantas inferior y superior respectivamente

**3.- Berma de Seguridad.**

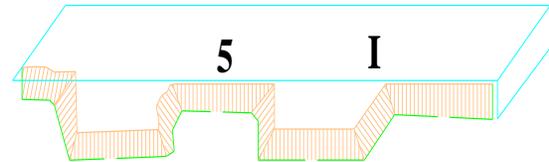
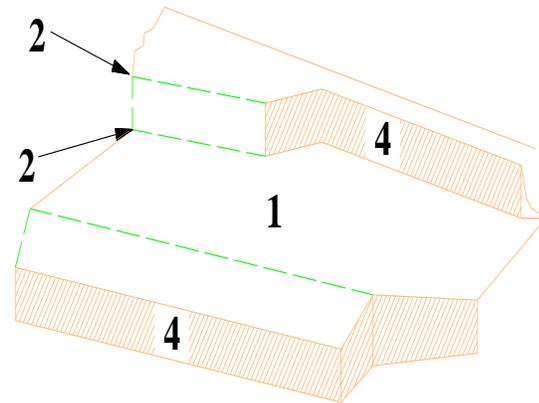
La planta no muy amplia que se deja el borde en receso de la cantera a fin de dar estabilidad y no permitir el desprendimiento de fragmentos de roca

**4.- Frente del Banco:**

Superficie del Banco donde se realizan los trabajos mineros y que se encuentran en movimiento

**5.- Zona de Trabajo:**

Conjunto de Bancos que se encuentran simultáneamente en Explotación



### 3.2.1.3 Fases de la Explotación de una Mina a Cielo Abierto.-

- |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| 1. Destape            | 5. Comercialización   |
| 2. Arranque           | 6. Transporte Externo |
| 3. Transporte Interno | 7. Almacenamiento     |
| 4. Clasificación      | 8. Escombreras        |

#### 3.2.1.3.1 Destape.-

Es la actividad que permite retirar todo el material de sobrecarga y dejar el material útil listo para que sea arrancado por cualquiera de los medios, sea por perforación o voladura (Rocas duras), o mediante retroexcavadora, buldózer con ripper (Rocas suaves). Esta operación da la oportunidad de conservar el suelo fértil y las especies nativas, semillas, estacas, etc., para reforestar y para la recuperación del espacio explotado

#### Fotografía 3.5

(Texto Ing. Jorge Barragán G.)

**Es importante por lo tanto mantener un vivero o un jardín ecológico donde se almacenen todas las especies típicas del lugar para su posterior reforestación.**



El destape se efectuará excavando trincheras de acceso (camino en la cantera). Los parámetros básicos de una trinchera son:

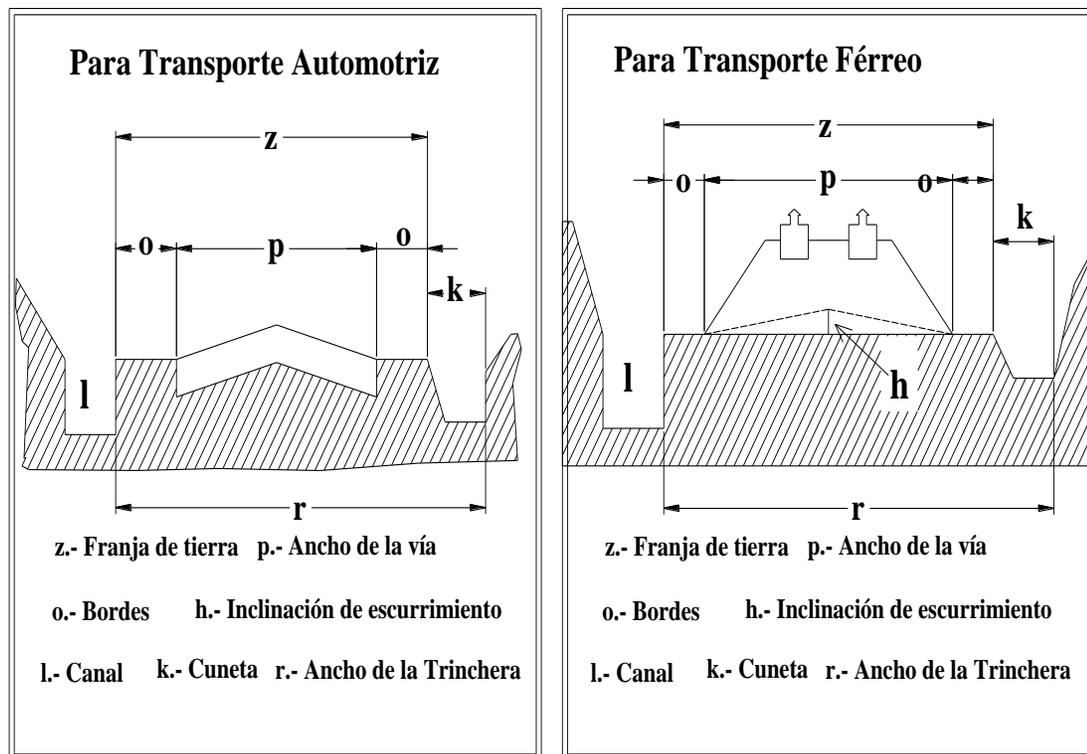
- Largo
- Anchura de fondo
- Pendiente
- Ángulo de talud,
- Equipo de excavación

Y depende del objeto para el que se construya la trinchera.

Figura 3.15

## Diseño de una Trinchera

(Texto del Ing. Jorge Barragán)



**a. Trinchera.-**

Es una labor minera abierta, que tiene una sección trapezoidal y gran longitud.

**b. Trinchera Principal.-**

Es la labor inclinada que sirve para el destape del campo de la cantera y que permite la vinculación de la superficie con los bancos de trabajo y,

**c. Trinchera de Corte.-**

Es la labor horizontal que se emplea para la creación del frente de trabajo en el banco.

**Fotografía 3.6**

**Corte abierto en forma de trinchera (Texto Ing. Jorge Barragán G.)**



**Fotografía 3.7**

**Corte de acceso y Frente de Extracción (Texto Ing. Jorge Barragán G.)**

**3.2.1.3.2 Extracción o Arranque.-****Fotografía 3.8**

**Máquina de perforación para realizar voladura con explosivos  
(Texto Ing. Jorge Barragán G.)**



**a. Malla de disparo.-**

Consiste en caso de rocas duras, proceder a la perforación de Bancos descendentes con la ayuda de máquinas de perforación y proceder a la voladura con el uso de explosivos.

**Fotografía 3.9****Malla de disparo para rocas duras**

(Texto Ing. Jorge Barragán G.)



### Fotografía 3.10

**Realización de la Voladura (Texto Ing. Jorge Barragán G.)**



Como efecto de la voladura, se obtiene material fragmentado en pedazos que se los puede cargar y transportar en volquetes hasta la fase de trituración.

### Fotografía 3.11

**Resultado de la Voladura (Texto Ing. Jorge Barragán G.)**



**b. Extracción en rocas suaves.-**

En el caso de rocas suaves, la extracción se realiza de manera directa, para lo cual se utiliza excavadores que disgregan la roca para que luego sea cargado hasta los volquetes.

**Fotografía 3.12****Extracción con Retroexcavadora (Texto Ing. Jorge Barragán G.)****3.2.1.3.3 Transporte Interno.-**

El material heterogéneo dispuesto en la plataforma de trabajo, con la ayuda de la retroexcavadora, es alimentado a los camiones, los cuales llevan hasta la zaranda, que se encuentra ubicada fuera o dentro del área de la concesión, para su respectiva clasificación.

**Fotografía 3.13**

**Carguio del material a los volquetes (Texto Ing. Jorge Barragán G.)**

**Fotografía 3.14**

**Carguio del material a los volquetes (Texto Ing. Jorge Barragán G.)**



#### **3.2.1.3.4 Clasificación.-**

El material que ha sido quebrado mediante voladura puede ser alimentado a una trituradora de mandíbulas o cónica, desde donde se obtendrán los diferentes productos, como ripio, arena, chispa, etc., para la comercialización.

#### **Fotografía 3.15**

**Máquina Clasificadora (Texto Ing. Jorge Barragán G.)**



### Fotografía 3.16

#### Máquina Trituradora de rocas (Texto Ing. Jorge Barragán G.)



### 3.3. Áridos Para Hormigones.-

La naturaleza de los áridos y su preparación serán tales que permitan garantizar la adecuada resistencia y durabilidad del hormigón, así como las restantes características que se exijan a éste en el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

Como áridos para la fabricación de hormigones pueden emplearse arenas y gravas existentes en yacimientos naturales, rocas machacadas o escorias siderúrgicas apropiadas, así como otros productos cuyo empleo se encuentre sancionado por la práctica o resulte aconsejable como consecuencia de estudios realizados en laboratorio.

Cuando no se tengan antecedentes sobre la naturaleza de los áridos disponibles, o se vayan a emplear para otras aplicaciones distintas de las ya sancionadas por la

práctica, se realizarán ensayos de identificación mediante análisis mineralógicos, petrográficos, físicos o químicos, según convenga a cada caso.

En el caso de utilizar escorias siderúrgicas como árido, se comprobará previamente que son estables, es decir, que no contienen silicatos inestables ni compuestos ferrosos.

En el presente estudio se pretende verificar la posibilidad de utilizar agregados de canteras naturales denominadas ripieras donde el estrato está combinado entre partículas de arena y grava.

Se entiende por «arena», o «árido fino», el árido o fracción del mismo que pasa por un tamiz de 5 mm de luz de malla (tamiz 5 UNE 7.050); por «grava» o «árido grueso», el que resulta retenido por dicho tamiz, y por «árido total» (o simplemente «árido» cuando no hay lugar a confusiones), aquél que, de por sí o por mezcla, posee las proporciones de arena y grava adecuadas para fabricar el hormigón necesario en el caso particular que se considere.

Los áridos deberán llegar a obra manteniendo las características granulométricas de cada una de sus fracciones.

Los áridos no deben ser activos frente al cemento, ni deben descomponerse por los agentes exteriores a que estarán sometidos en obra. Por tanto, no deben emplearse áridos tales como los procedentes de rocas blandas, friables, porosas, etc., ni los que contengan nódulos de yeso, compuestos ferrosos, sulfuros oxidables, etc.

Entre los ensayos que se pueden realizar con los áridos, hay algunos de interés general; por ejemplo, el utilizado para determinar el contenido en materia orgánica, ya que ésta es siempre perjudicial para el fraguado y endurecimiento del hormigón.

En otros ensayos, el resultado es verdaderamente interesante sólo en un cierto número de casos, ya que su finalidad consiste en dar un índice de comportamiento del material en circunstancias que, a pesar de ser relativamente frecuentes, no son comunes a todas las obras. Esto ocurre con la determinación de la pérdida de peso en solución de sulfato sódico o magnésico, cuyo principal objeto es conocer la resistencia, frente a la helada, del árido empleado en el hormigón.

Los sulfuros oxidables (por ejemplo, pirrotina, marcasita y algunas formas de pirita), aun en pequeña cantidad, resultan muy peligrosos para el hormigón, pues por oxidación y posterior hidratación se transforman en ácido sulfúrico y óxido de hierro hidratado, con gran aumento de volumen.

Ciertos tipos de rocas de naturaleza silíceas (por ejemplo, ópalo, dactilas, etc.), así como otras que contienen sustancias carbonatadas magnesianas (por ejemplo, dolomitas), pueden provocar fenómenos fuertemente expansivos en el hormigón en ciertas condiciones higrotérmicas y en presencia de los álcalis provenientes de los componentes del hormigón (reacción árido-álcali). Otros tipos de reacciones nocivas pueden presentarse entre el hidróxido cálcico liberado durante la hidratación del cemento y áridos que provienen de ciertas rocas magmáticas o metamórficas, en función de su naturaleza y estado de alteración. Por ello, cuando no exista experiencia de uso, se prescribe la realización de ensayos de identificación en un laboratorio especializado.

### **3.3.1 Exploración del Subsuelo.-**

En el S.N.C. se realizaban exploraciones del subsuelo, principalmente para detectar espesores de materiales o depósitos en deslizamientos, yacimientos etc., como también para determinar las características Físico – Mecánicas de los distintos horizontes del subsuelo a profundidades variables.

#### **3.3.1.1 Métodos de Exploración**

En la exploración del subsuelo, se utilizan varios métodos como ser por:

- a) **Penetro metros.-** De estos existen de 2 clases, unos son dinámicos y otros son estáticos.
- b) **Taladros.-** Existen de varias clases y diámetros unos manuales y otros de motor.
- c) **Métodos Geofísicos.-** Son bastantes útiles para determinar espesores como para ubicar niveles freáticos. Son métodos que no permiten extraer muestras de suelos y los más utilizados son los de Resistividad eléctrica y los de Refracción Sísmica.

- d) **Excavación de Pozos.-** Sirven para una mejor visualización del subsuelo, como para obtener muestras inalterables, pero no son muy aconsejables para profundidades mayores de 5 metros por problemas de entibamiento como para drenar aguas subterráneas.
- e) **Sondeos.-** Son los que más se utilizan en la exploración del subsuelo y se realizan por métodos de percusión cuando el suelo se halla constituido por materiales granulares o finos y también por métodos a rotación con diamantina cuando el subsuelo es roca o se presenta piedra bolón. Este método permite extraer muestras de diferentes niveles, sean estas alteradas o inalteradas.

### 3.3.2. Tamaño del Árido.-

Se denomina tamaño máximo de un árido la mínima abertura de tamiz UNE 7.050 por el que pase más del 90% en peso, cuando además pase el total por el tamiz de abertura doble. Se denomina tamaño mínimo de un árido, la máxima abertura de tamiz UNE 7.050 por el que pase menos del 10 % en peso.

El tamaño máximo de un árido grueso será menor que las dimensiones siguientes:

- a) 0,8 de la distancia horizontal libre entre armaduras que no formen grupo, o entre un borde de la pieza y una armadura que forme un ángulo mayor de 45° con la dirección de hormigonado.
- b) 1,30 de la distancia entre un borde de la pieza y una armadura que forme un ángulo no mayor de 45° con la dirección de hormigonado.
- c) 0,25 de la dimensión mínima de la pieza, excepto en los casos siguientes:
- 0,33 de la anchura libre de los nervios de los forjados y otros elementos de pequeño espesor que se justifique.
  - 0,5 del espesor mínimo de la losa superior de los forjados.

Las piezas de ejecución muy cuidada (caso de prefabricación en taller) y aquellos elementos en los que el efecto pared del encofrado sea reducido (forjados que se

encofran por una sola cara) constituyen dos ejemplos en los que el límite c) puede elevarse al tercio.

Cuando el hormigón deba pasar por entre varias capas de armaduras, convendrá emplear un tamaño de árido más pequeño que el que corresponde a los límites a) o b) si fuese determinante.

### **3.3.3. Prescripciones y Ensayos.-**

Además de lo indicado en 3.3 los áridos deberán cumplir las condiciones que a continuación se indican.

#### Comentarios

La presencia de compuestos de azufre detectados mediante el. Ensayo cualitativo indicado en la UNE 7.245, pone de manifiesto la inestabilidad potencial del árido y, por consiguiente, el peligro de su empleo para la fabricación de hormigón al poder afectar a su durabilidad.

Obtención de buenas resistencias y, en todo caso, exige una dosis excesiva de cemento. Por esta razón, es decir, para evitar la presencia de áridos laminares y aciculares en una proporción excesiva, se limita inferiormente el coeficiente de forma de la grava. El valor límite establecido no es muy exigente, por lo que sólo aquellos áridos que tienen gran cantidad de granos de forma inadecuada tendrán un coeficiente inferior a 0,15 y obligarán, por tanto, a recurrir a los ensayos previos que para este caso se prescriban. Tales ensayos consisten en la fabricación de probetas de hormigón, con objeto de comprobar si es o no admisible la dosis de cemento que esos áridos necesitan para que el hormigón correspondiente alcance las cualidades exigidas.

### 3.3.4. Condiciones Físico-Químicas.-

La cantidad de sustancias perjudiciales que pueden presentar los áridos no excederá de los límites siguientes:

**Tabla 3.1**

**Enciclopedia Wikipedia Arquitectura e Ingeniería**

	CANTIDAD MÁXIMA EN % DEL PESO DE LA MUESTRA	
	ÁRIDO FINO	ÁRIDO GRUESO
Terrones de Arcilla.....	1,00	0,25
Determinado con arreglo al método de ensayo indicado en la UNE 7.133 partículas blandas.....	--	5,00
Determinadas con arreglo al método de ensayo indicado en la UNE 7.134	0,50	1,00
Material retenido por el tamiz 0,063 UNE 7.050 y que flota en un líquido de peso específico 2.....		
Determinado con arreglo al método de ensayo indicado en la UNE 7.244	0,40	0,40
Compuestos de azufre expresados en $\text{SO}_3^-$ y referidos al árido seco.....		

No se utilizarán aquellos áridos finos que presenten una proporción de materia orgánica tal que, ensayados con arreglo al método de ensayo indicado en la UNE 7.082, produzcan un color más oscuro que el de la sustancia patrón.

No obstante lo anterior aquellas arenas procedentes del machaqueo de rocas calizas, entendiéndose como tal aquellas rocas sedimentarias carbonáticas que contienen al menos un 50% de calcita, que no cumplan la especificación del equivalente de arena, podrán ser aceptadas como válidas siempre que el valor de azul de metileno (UNE 83.130/87) sea igual o inferior a 0,60 gramos de azul por cada 100 gramos de finos, para obras en ambientes I y II, o bien igual o inferior a 0,30 gramos de azul por cada 100 gramos de finos, para obras en ambiente III o que hayan de soportar ciclos de hielo-deshielo.

Los áridos no presentarán reactividad potencial con los álcalis del cemento. Realizado el análisis químico de la concentración de  $\text{SiO}_2$  y determinada la reducción de alcalinidad  $R$ , de acuerdo con el método de ensayo indicado en la UNE 7.137, el árido será considerado como potencialmente reactivo si:

-Para  $R \geq 70$ , la concentración de  $\text{SiO}_2$  resulta  $> R$

-Para  $R < 70$ , la concentración de  $\text{SiO}_2$  resulta  $> 35 + 0,5 R$

#### Comentarios

La presencia de compuestos de azufre detectados mediante el ensayo cualitativo indicado en la UNE 7.245 pone de manifiesto la inestabilidad potencial del árido y, por consiguiente, el peligro de su empleo para la fabricación de hormigón al poder afectar a su durabilidad.

Respecto a los ensayos prescritos véanse las ideas generales expuestas anteriormente en apartados anteriores.

Como es sabido, la presencia de finos arcillosos en la arena puede afectar negativamente tanto a la resistencia del hormigón como a su durabilidad, lo que se pretende evitar con las limitaciones incluidas en el articulado (equivalente de arena y azul de metileno).

### 3.3.5. Condiciones Físico-Mecánicas

Se cumplirán las siguientes limitaciones:

Friabilidad de la arena (FA).....	$\leq 40$
Determinada con arreglo al método de ensayo in- dicado en la UNE 83.115 (ensayo micro-Deval)	
Resistencia al desgaste de la grava.....	$\leq 40$
Determinada con arreglo al método de ensayo in- dicado en la UNE 83.116 (ensayo de los Ángeles)	
Absorción de agua por los áridos.....	$\leq 5 \%$

La pérdida de peso máxima experimentada por los áridos al ser sometidos a cinco ciclos de tratamiento con soluciones de sulfato sódico o sulfato magnésico (método de ensayo UNE 7.136) no será superior a la que se indica en el Tabla 3.2.

Tabla 3.2

Enciclopedia Wikipedia Arquitectura e Ingeniería

ÁRIDOS	PÉRDIDA DE PESO	
	CON SULFATO SÓDICO	CON SULFATO MAGNÉSICO
Finos	10%	15%
Gruesos	12%	18%

Este ensayo sólo se realizará cuando así lo indique el Pliego de Prescripciones Técnicas Particulares.

### 3.3.6. Granulometría y Coeficiente de forma.-

Para el árido grueso los finos que pasan por el tamiz 0,080 UNE 7.050 no excederán del 1% del peso total de la muestra, pudiendo admitirse hasta un 2% si se trata de árido procedente del machaqueo de rocas calizas.

Para el árido fino, la cantidad de finos que pasan por el tamiz 0,080 UNE 7.050, expresada en porcentaje del peso total de la muestra, no excederá del 6% con carácter general. En arenas procedentes del machaqueo de rocas calizas este límite, en función de las condiciones de ambiente, puede elevarse a:

15% para obras en ambiente I y II

10% para obras en ambiente III o que hayan de soportar ciclos de hielo-deshielo.

El coeficiente de forma del árido grueso, determinado con arreglo al método de ensayo indicado en la UNE 7.238, no debe ser inferior a 0,15. En caso contrario, el empleo de ese árido vendrá supeditado a la realización de ensayos previos en laboratorio. Se entiende por coeficiente de forma a de un árido el obtenido a partir de un conjunto de n granos representativos de dicho árido, mediante la expresión:

$$MF = \frac{V_1 + V_2 + \dots + V_n}{\frac{\pi}{6} + (d_1^3 + d_2^3 + \dots + d_n^3)} \quad (3.1)$$

En la que:

$\alpha$  = coeficiente de forma;

$V_i$  = volumen de cada grano;

$d_i$  = la mayor dimensión de cada grano, es decir, la distancia entre los dos planos paralelos y tangentes a ese grano que estén más alejados entre sí de entre todos los que sea posible trazar.

El empleo de áridos gruesos con formas inadecuadas dificulta extraordinariamente la obtención de buenas resistencias y, en todo caso, exige una dosis excesiva de cemento. Por esta razón, es decir, para evitar la presencia de áridos laminares y aciculares en una proporción excesiva, se limita inferiormente el coeficiente de forma de la grava. El valor límite establecido no es muy exigente, por lo que sólo aquellos áridos que tienen gran cantidad de granos de forma inadecuada tendrán un coeficiente inferior a 0,15 y obligarán, por tanto, a recurrir a los ensayos previos que para este caso se prescriban. Tales ensayos consisten en la fabricación de probetas de hormigón, con objeto de comprobar si es o no admisible la dosis de cemento que esos áridos necesitan para que el hormigón correspondiente alcance las cualidades exigidas.

### **3.3.7. Almacenamiento.-**

Los áridos deberán almacenarse de tal forma que queden protegidos de una posible contaminación por el ambiente y, especialmente, por el terreno, no debiendo mezclarse de forma incontrolada las distintas fracciones granulométricas.

Deberán también adaptarse las necesarias precauciones para eliminar en lo posible la segregación, tanto durante el almacenamiento como durante el transporte.

Con el fin de evitar el empleo de áridos excesivamente calientes durante el verano o saturados de humedad en invierno o en época de lluvia, se recomienda almacenarlos bajo techado, en recintos convenientemente protegidos y aislados. En caso contrario,

deberán adaptarse las precauciones oportunas para evitar los perjuicios que la elevada temperatura, o excesiva humedad, pudieran ocasionar.

### **3.4 Estudio y Metodología Para la Extracción de Áridos.-**

Actualmente no se utiliza una tecnología adecuada para la explotación mesurada de las cuencas hidrológicas para el aprovechamiento de los agregados, esto ocasiona desbordes y afecta al medio ambiente. Por este motivo, este estudio contribuye con insumos para comprender el fenómeno y clasificar los agregados de las diferentes cuencas del departamento, con el propósito de asesorar en la buena explotación de los materiales que constituyen el yacimiento.

#### **3.4.1 Objetivos.-**

El presente proyecto pretende valorar la calidad de los agregados extraídos de los yacimientos de este río, mediante una adecuada clasificación basada en las normas internacionales ASTM y la AASHTO.

#### **3.4.2 Metodología en campo.-**

Se procedió a la extracción de muestras para el estudio en el “río Palqui” (Al sur de Cochabamba) de manera de extraer muestras representativas de material de canto rodado de este río:

Para realizar el trabajo de extracción y recolección de muestras, se utilizó el siguiente equipo de seguridad:

- Cascos
- Guantes de cuero y de algodón engomado
- Fue puesto a disposición un botiquín de primeros auxilios

Las herramientas de trabajo que se utilizaron fueron:

- Palas

- Picotas
- Carretillas
- Fluxómetros de 5m
- Canastillo o Balde metálico
- Romana de hasta 50 Kg
- Alambre de amarre
- Tablero para las anotaciones
- Lona de 3 X 3 metros
- Bolsas para toma de muestras
- Listones para cuarteo

#### **3.4.2.1 Excavación.-**

Se excavaron los pozos (calicatas a cielo abierto) de 1.60 m largo X 0.80 ancho X 1.50 m de profundidad, haciendo un volumen total de 1.92 metros cúbicos, del cual se extrajo material para ser debidamente cuarteado, clasificado, pesado, y embolsado para su estudio en laboratorio.

Las herramientas que se utilizaron para excavar la calicata fueron 2 palas y una picota por grupo.

### Fotografía 3.17

#### Selección de los materiales que conforman el Yacimiento



Para tener una mayor descripción de los materiales que conforman el yacimiento, se vio por conveniente seleccionarlos de acuerdo a la siguiente clasificación manual, para cuantificar el volumen existente dentro del área de estudio:

- Bolones 20-40 cm.
- Piedra 10-20 cm.
- Piedra Manzana 5-10 cm.
- Grava y arena menores a 5 cm.

#### 3.4.2.2 Cuarteo.-

Se procedió al cuarteo, que consiste en el proceso de reducir una muestra representativa, en una cantidad necesaria para realizar un determinado ensayo, esto

quiere decir que se divide la muestra en dos o más partes, hasta llegar al tamaño o cantidad requerida.

Para realizar el cuarteo se utilizaron 2 listones de madera en forma de cruz y por encima una lona para dividir el material acopiado en cuatro partes, de las cuales se escogieron dos diagonales y se descartó las otras dos, para guardarlas en tres bolsas de 60 Kg. cada una, y trasladarlas al laboratorio.

### **Fotografía 3.18**

#### **Cuarteo del material**



La medida de los agregados en peso:

Este procedimiento se realizó varias veces, con el material extraído del pozo, para determinar la cantidad de materiales que tiene el pozo tomando en cuenta todos los a tamaños seleccionados.

### Fotografía 3.19

#### Proceso de pesado del Material



#### 3.4.3 Metodología en Laboratorio.-

Las muestras obtenidas fueron procesadas en el laboratorio de acuerdo a normas vigentes de la ASTM y se determinaron los siguientes ensayos:

**Tabla 3.3**

#### Enciclopedia Wikipedia Arquitectura e Ingeniería

ENSAYO	DESIGNACION
Gradación de los Agregados (fino y grueso)	ASTM - C - 136
Peso Específico y absorción de los Agregados	ASTM - C - 127 - 128
Desgaste del Agregado grueso - Maquina de los Ángeles	ASTM - C - 131
Solubilidad de los Agregados	ASTM - C - 188

#### 3.4.3.1 Gradación de los agregados.-

##### 3.4.3.1.1 Objetivo.-

El objetivo de este ensayo es encontrar la distribución granulométrica por medio de los tamices con aberturas cuadradas.

### **3.4.3.1.2 Equipo.-**

1. Juego de tamices
2. Horno de temperatura constante ( $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ )
3. Balanza con aproximación de 0,1 gr.
4. Brocha
5. Vibrador mecánico de tamices

### **3.4.3.2 Peso Específico y Absorción de los Agregados.-**

#### **3.4.3.2.1 Objetivo.-**

Este método de ensayo tuvo por objeto la determinación de los pesos específicos en la condición de saturado superficialmente seco, de los agregados grueso y fino, además del porcentaje de absorción (después de 24 horas sumergido en agua a la temperatura ambiente).

#### **3.4.3.2.2 Equipo de Agregado Grueso.-**

Para el análisis del agregado grueso fueron utilizados:

- Una balanza con capacidad de 5 Kg. y sensible a 0.5 gr.
- Un cesto de alambre malla No. 4 de aproximadamente 20 cm. de diámetro y 20 cm. de altura.
- Un recipiente adecuado para sumergir el cesto de alambre en agua y un dispositivo adecuado para suspender el cesto de alambre del centro del platillo de la balanza.

#### **3.4.3.2.3 Equipo de Agregado fino.-**

Para el análisis de agregado fino fueron utilizados:

- Una balanza con capacidad de 1 Kg. y sensible a 0,1 g.
- Un frasco volumétrico de 500 ml. de capacidad a  $20^{\circ}\text{C}$ .

- Un molde cónico de metal de 1" de diámetro en la parte superior, 3 \_ de diámetro en la base, y 2 7/8" de altura.
- Un apisonador de metal con un peso de 340 g (12 onzas) y base circular plana de 1" de diámetro.

### **3.4.3.3 Desgaste del agregado grueso – Máquina de los Ángeles.-**

Se procedió al desgaste del agregado grueso en la Máquina de los Ángeles, cuyo objetivo, equipo y procedimiento se describen a continuación:

#### **3.4.3.3.1 Objetivo.-**

El índice de desgaste de un árido está relacionado con su resistencia a la abrasión por medio mecánicos y también con la capacidad resistente de los hormigones con él fabricados, cobra particular importancia en áridos empleados en hormigones de pavimentos. El método consiste en analizar granulométricamente un árido grueso, preparar una muestra de ensayo que se somete a abrasión en la máquina de Los Ángeles y expresar la pérdida de material o desgaste como el porcentaje de pérdida de masa de muestra con respecto a su masa inicial.

#### **3.4.3.3.2 Equipo.-**

- Máquina de desgaste "Los Ángeles", que consiste de un cilindro o tambor hueco de acero, cerrado en ambos extremos. Este cilindro tiene las siguientes dimensiones interiores:  $711 \pm 5$  mm. de diámetro y  $508 \pm 5$  mm. de largo. El tambor debe ser montado en forma adecuada y acoplado a un motor de 1 HP de potencia aproximadamente, en forma tal que el número de revoluciones del tambor sea de 30 a 33 revoluciones por minuto.
- Un juego de tamices de abertura cuadrada de la serie Standard Americana, de los siguientes tamaños: 1 \_", 1", \_", \_", 3/8", \_" y No 4, 8, 12.
- Horno de temperatura constante a  $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

- Balanza de 10 Kg. de capacidad aproximadamente y sensibilidad de 1 gr.

### Fotografía 3.20

#### Máquina de los Ángeles



## **CAPÍTULO IV**

# **APLICACIÓN PRÁCTICA**

## CAPÍTULO IV

### APLICACIÓN PRÁCTICA

#### **4.1 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.-**

La ubicación de los Yacimientos o Canteras de las cuales se extraerán los materiales para realizar el estudio, estas Canteras están ubicadas:

La primer Cantera en estudio se encuentra ubicada a 24 Km. De la localidad de Entre Ríos provincia O´connor, exactamente se encuentra ubicada en la comunidad de Zapallar entrando a la derecha del camino Fundamental tramo (Entre Ríos – Palos Blancos), exactamente a 2.6 Km.

La segunda Cantera se encuentra ubicada a 69.4 Km. de distancia de la localidad de Entre Ríos y a 6 Km. De la población de palos Blancos, el yacimiento se encuentra al lado derecho de la carretera Fundamental Tramo (Entre Ríos – Palos Blancos)

#### **4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS YACIMIENTOS O CANTERAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO**

Estos Yacimientos o Cantera fueron descubiertos hace mucho tiempo por el **SERVICIO NACIONAL DE CAMINOS**, estos materiales fueron explotados y utilizados para realizar el mantenimiento de caminos tanto fundamentales como vecinales, estas Canteras fueron explotadas por el método de Sondeo, este método es el que más se utilizaba en ese entonces y se lo realizaba con maquinaria pesada y consiste en realizar sondeos al subsuelo descartando toda la materia orgánica y realizando la extracción del material que se utilizaba para el mantenimiento de caminos este material extraído se lo acopiaba mediante camellones. Este método permite extraer muestras de diferentes niveles, sean estas alteradas o inalteradas, estas canteras fueron utilizadas porque se encuentran cerca del lugar de trabajo y es fácil su extracción, en estos lugares es difícil encontrar materiales de buena calidad ya que los

ríos, quebradas y cualquier curso de agua que tenga buen material se encuentran alejados del sector de trabajo y hace que se eleven los costo de transporte, y por consiguiente se aumenta el costo de las obras que se pretendan realizar en este tramo, por lo que estos materiales son una buena alternativa para utilizarlos en la construcción de estas obras civiles.

A continuación se muestran la forma de explotación en una Cantera de Tarija sector la Cumbre de sama se muestra como se acopia el material el carguío y la forma de puesta en obra y el material colocado en plataforma, este trabajo se lo realiza para el Mantenimiento de Caminos, la actividad se llama (Recubrimiento localizado con Ripio) .

#### **Fotografía 4.1**

##### **Acopio de material con un Tractor oruga D6-R cantera de Sama**



**Fotografía 4.2**

**Acopio de material con un Tractor Oruga D6-R lugar Cantera de Sama**

**Fotografía 4.3**

**Material Acopiado en la Cantera de Sama para su posterior carguío**



**Fotografía 4.4****Carguío del material a la Volqueta para su transporte al lugar de descarguio****Fotografía 4.5****Descarguio del material en plataforma para su posterior extendido**

### Fotografía 4.6

#### Extendido del material con equipo pesado (Motoniveladora 120-H)



### 4.3 ESTUDIO VISUAL DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL MATERIAL DE LAS CANTERAS.-

De acuerdo a lo que se pudo observar en la inspección que se realizó de las canteras en cuanto a sus características, se observó que este material se encuentra cubierto en sus estado natural por materia orgánica, por esa razón al momento de realizar el acopio del material se debe tener mucho cuidado de no mezclar la materia orgánica con el material granular se le debe recomendar al operador del equipo de acopio que descarte por lo menos unos 40 cm de espesor para luego proceder a acopiar el material que utilizaremos, visualmente se observa que el material tiene sobre tamaños por ser un material que no está clasificado y por ser de cantera, pero que también tiene mucho material intermedio y que es un material duro resistente también como se puede observar en las Figuras (4.1, 4.2, 4.3 y 4.4), es importante mencionar que el material de el sector de “Campo Hediondo” tiene menor cantidad de sobre tamaños, tiene una mejor gradación y se nota más resistente al tacto que el material del sector de “Zapallar”, pero los dos materiales se pueden utilizar en la elaboración de hormigones. También se pudo observar que el acceso a estas ripieras está en buen

estado por lo que será más fácil el transporte de estos materiales al sector de trabajo en este tramo.

**Fotografía 4.7**

**Muestreo de la Cantera de Zapallar para Ensayar**



**Fotografía 4.8**

**Muestreo de la Cantera de Zapallar para Ensayar**



**Fotografía 4.9**

**Muestreo de la Cantera de Campo Hediondo para Ensayar**



**Fotografía 4.10**

**Muestreo de la Cantera de Campo Hediondo para Ensayar**



#### **4.4 DIAGNÓSTICO DE LAS ZONAS ESTUDIADAS.-**

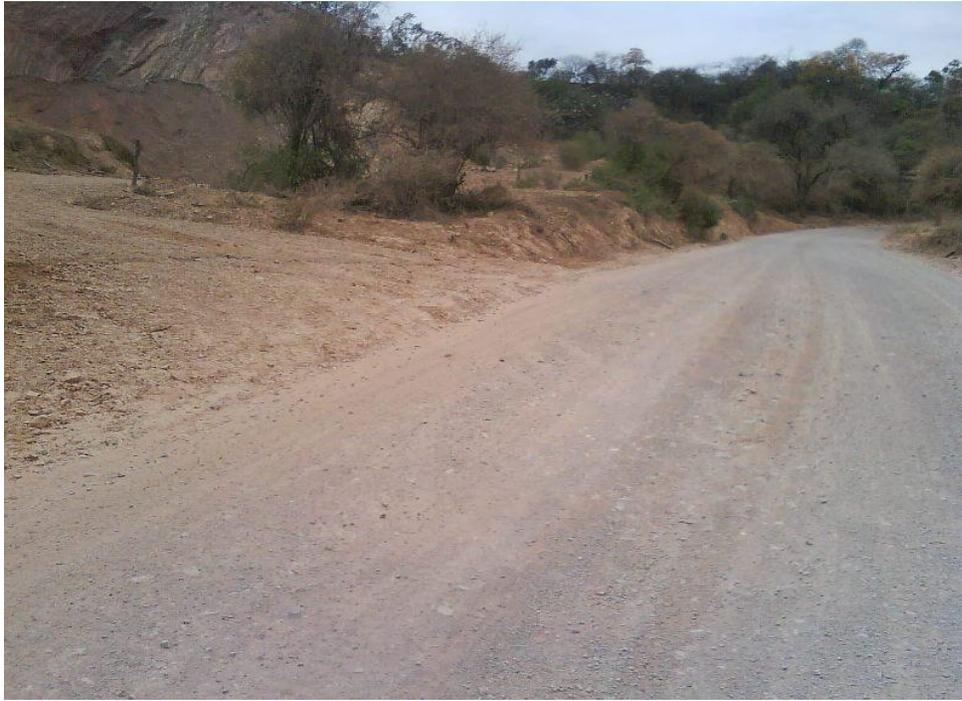
De acuerdo a lo estudiado en los apartados anteriores y lo observado en la visita que se realizó a las distintas ripieras de estudio se puede indicar que la extracción y la utilización de estos materiales para la confección de hormigones sería una buena alternativa ya que se encuentran cerca del lugar de trabajo y su acceso es libre a estas ripieras, los caminos de acceso a las ripieras están en buen estado como se muestra en la figura 4.5 y la figura 4.6 y mediante este estudio se demostrará que en realidad los materiales de estas ripieras son de buena calidad, también se respaldará con ensayos de laboratorio que estos materiales tienen propiedades físicas y químicas adecuadas para la elaboración de hormigones. Se observó también que estas canteras o ripieras son grandes por lo que estos materiales se podrían utilizar por muchos años y que el acopio de los mismos es fácil como se muestra en la figura 4.5 y figura 4.6

#### **Fotografía 4.11**

#### **Volqueta saliendo de la Cantera Zapallar**



**Fotografía 4.12**  
**Acceso a la Cantera de Campo Hediondo**



**Fotografía 4.13**  
**Vista completa del Banco de material de Zapallar**



**Fotografía 4.14**

### Vista completa del banco de material de Campo Hediondo



#### **4.5 VALORACIÓN DEL ESTADO DE LAS CANTERAS.-**

El estado de las Canteras de estudio se puede decir que está al 80%, con relación al material que contienen estas Canteras, teniendo en cuenta que estas Canteras son grandes venas que cruzan toda la provincia Gran Chaco y O'Connor de punta a punta y teniendo en cuenta también que el "SERVICIO NACIONAL DE CAMINOS", explotó hace muchos años estas Canteras sacando grandes cantidades de material para el mantenimiento de caminos y hasta hoy en día las empresas que trabajan en este tramo siguen utilizando estos materiales para el mantenimiento de caminos, entonces se puede decir que estas Ripieras tienen una vida útil de muchos años más.

#### **4.6 ESTUDIO DE LOS AGREGADOS PARA HORMIGONES.-**

##### **4.6.1 Grava.-**

La Grava utilizada en el ensayo realizado con cemento El Puente procede de dos Ripieras del Sector "Zapallar" y del sector "Campo Hediondo".

#### 4.6.1.1 Granulometría.-

La distribución de los distintos tamaños de los granos que componen la grava tiene una importancia decisiva en las características del hormigón, por lo que este método de ensayo abarcará el procedimiento para la determinación de los tamaños de las partículas de agregado empleando tamices de abertura cuadradas siendo también aplicable el empleo de cribas de laboratorio de aberturas circulares.

Primeramente se toma una porción del material grueso por medio de cuarteo previo, de acuerdo a la tabla 6.1.c (anexos) donde se indica las cantidades aproximadas para el análisis granulométrico, el cual se somete a un tamizado, que consiste en hacer pasar el agregado por un conjunto de tamices, de acuerdo al siguiente orden: 4", 3½", 3", 2½", 2", 1½", 1", ¾", ½", ⅜", N°4.

**Fotografía 4.15**  
**Serie de Tamices y Balanza**



Este tamizado se lo realiza en un vibrador mecánico para tamices, el peso retenido en cada tamiz se pesa separadamente y se anota en la casilla correspondiente, posteriormente se va acumulando los pesos retenidos tamiz por tamiz y se obtiene el porcentaje de pesos retenidos acumulados en cada tamiz entre el peso total seco y multiplicado por cien.

Finalmente se obtiene el porcentaje que pasa en peso, restando de cien los porcentajes obtenidos en la casilla de pesos retenidos acumulados.

El modulo de fineza del agregado grueso se obtiene por medio de la relación:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ret}(3+1\frac{1}{2}"+\frac{3}{4}"+\frac{3}{8}"+N^{\circ}4+500)}{100} \quad (4.1)$$

Para verificar si cumple con los requisitos necesarios en las exigencias de gradación, se grafica la curva cumpliendo la exigencia de gradación en agregados gruesos, ver tabla 8.1.d (anexos).

#### 4.6.1.2 Peso Específico.-

Este ensayo tiene por objeto la determinación del peso específico bruto, sobre la base de la muestra saturada con superficie seca (Gbs) y basándose en la muestra secada al horno (Gb) y el peso específico aparente (G), además el porcentaje de absorción del agregado grueso.

El peso específico bruto basándose en la muestra saturada con superficie seca (Gbs) es el valor que generalmente se aplica en la dosificación de hormigones.

Primeramente se obtiene una muestra aproximada de 5 Kg. Separando por cuarteo y queda retenido sobre el tamiz de  $\frac{3}{8}$ ".

La muestra se sumerge en agua durante un periodo de 24 horas, sacándose del agua posteriormente se seca las partículas con toalla hasta que el agua desaparezca de sus superficies y se obtiene el peso de la muestra saturada con superficie seca (a).

La muestra posteriormente obtenida se introduce al cesto de alambre y se determina su peso sumergido en agua (b).

Con el peso del cesto sumergido en agua (c), determinado previamente, se obtiene el peso de la muestra s.s.s. sumergida en agua (d) restando el peso de la muestra s.s.s. +

cesto, el valor del peso del cesto, ambos pesos sumergidos en agua ( $d = b - c$ ). El volumen de las partículas incluyendo sus poros, se obtienen restando del valor de la muestra s.s.s., el valor de la misma muestra pero sumergida en agua ( $V_s + V_p = a - d$ ), lo que significa que el volumen de agua desplazada por la muestra.

La muestra humedecida en el proceso del ensayo se introduce al horno y se seca a una temperatura de 100°C a 110°C, se enfría y se obtiene el peso seco ( $P_s$ ).

El peso específico bruto basándose en la muestra saturada con superficie seca, se la obtiene de la siguiente relación:

$$G_{bs} = \frac{a}{V_s + V_p} \quad (4.2)$$

El peso específico bruto basándose en la muestra seca, se obtiene:

$$G_b = \frac{P_s}{V_s + V_p} \quad (4.3)$$

El peso específico aparente, se basa en la relación:

$$G_b = \frac{P_s}{V_s} \quad \boxed{o} \quad G_b = \frac{G_{bs} * 100}{100 - \% Abs (G_{bs} - 1)} \quad (4.4)$$

Donde:

$a$  = Peso de la muestra saturada con superficie seca.

$P_s$  = Peso de la muestra seca.

$V_s + V_p$  = volumen de las partículas incluyendo sus poros.

$V_s$  = Volumen de las partículas sólidas.

Se debe determinar la temperatura del agua en la ejecución del ensayo, para una posible corrección por temperatura de los pesos específicos de acuerdo a factores dados.

#### 4.6.1.3 Peso Unitario.-

Este ensayo tiene como objetivo describir como se puede obtener el peso unitario de la grava y de las mezclas de agregados a la temperatura ambiente y se realiza para determinar la diferencia del volumen del material en banco y el de acopio.

Este peso unitario puede ser:

- Suelto para grava.
- Compactado o asentado para grava.

Los moldes deben ser calibrados con exactitud, determinando el peso del agua a 16.7 °C requerido para llenarlos.

El volumen de cada molde se determina dividiendo el peso del agua requerido para llenar el respectivo molde por el peso unitario del agua a la misma temperatura. Se usa una muestra representativa de la grava a la humedad ambiente. Por ningún motivo se debe secar la muestra al horno.

Para la determinación del peso unitario compactado se llena el molde hasta una tercera parte de su capacidad, nivelándose el agregado con las manos. Luego por medio de una varilla se apisona uniformemente esta capa 25 veces. No se debe golpear el fondo del molde. Se repite el procedimiento anterior dos veces hasta llenar el molde. Las partículas de la superficie se deben enrasar con la varilla teniendo como guía el borde del molde. Se pesa el molde junto con el agregado.

El peso neto del agregado o de la mezcla dentro del molde se obtiene restando del peso del molde más la muestra compactada.

El peso por unidad de volumen de la muestra se obtiene multiplicando su peso neto por el inverso del volumen del molde o mediante la fórmula:

$$\text{Peso Unitario Agregado Compactado} = \frac{\text{Peso Agregado}}{\text{Volumen de Recipiente}} \quad (4.5)$$

Para la determinación del peso unitario suelto se llena el recipiente con la grava, desde una altura que no debe variar evitando de esta manera que el material llegue a compactarse. Se realizarán dos veces cada prueba para obtener un promedio.

Después del llenado del recipiente se enrasa e inmediatamente se procederá al pesado para efectuar posteriormente los cálculos necesarios.

Las fórmulas a usarse son las siguientes:

$$\text{Volumen calibrado} = \text{Peso recipiente lleno} - \text{Peso de la tara} \quad (4.6)$$

$$\text{Peso Unitario Agregado Suelto} = \frac{\text{Peso Agregado}}{\text{Volumen recipiente}} \quad (4.7)$$

#### 4.6.1.4 Desgaste de los Ángeles.-

El método del desgaste del agregado grueso por medio de la máquina de los Ángeles, es para determinar el porcentaje de desgaste de la piedra y grava triturada y agregado grueso natural (grava no triturada).

La máquina de desgaste de los Ángeles que consiste de un cilindro p tambor hueco de acero, cerrado en ambos extremos. Este cilindro tiene las siguientes dimensiones interiores; 70 cm. (28”) de diámetro y 50 cm. (20”) de largo.

El tambor además tiene una puerta lateral pequeña por donde se introduce la muestra y además es acoplado a un motor de 1 HP. De potencia aproximadamente, en forma tal que el número de revoluciones del tambor sea de 30 a 33 por minuto.

El juego de tamices de abertura cuadrada de la serie estándar debe ser de los siguientes tamaños; 3”, 2½”, 2”, 1½”, ¾”, ⅜” y números 4, 8 y 12. El horno debe ser de temperatura constante de 105 °C, la balanza de 5 Kg. De capacidad y sensible de 0.1 gr.

La carga de desgaste que debe llevar la máquina de los Ángeles consistirá de bolas o esferas de acero de 1⅞” de diámetro y cuyo peso puede variar entre 390 y 445 gr.

El número de bolas de acero que se usara depende de la gradación de la muestra de ensayo, ver tabla 6.1.e (anexos).

La muestra de ensayo consistirá de agregado limpio que ha sido secado en un horno a 105 °C hasta peso constante y tendrá una de las gradaciones que indica la tabla 6.1.f (anexos). La gradación que se usa será la que más se aproxima a la del agregado bajo ensayo.

La muestra de ensayo y la carga se colocan en la máquina de desgaste de los Ángeles y se pondrá en funcionamiento la maquina.

Para las gradaciones A, B y C la maquina se hace girar durante 500 revoluciones, para las gradaciones E, F y G se hace girar durante 1000 revoluciones.

Al final del ensayo el material será descargado de la maquina y se hará una separación preliminar en un tamiz más grueso que el N°12; la porción más fina se tamizará luego sobre el tamiz N°12.

El material que queda retenido en el tamiz N°12 deberá lavarse, secarse hasta peso constante en un horno a 105 °C y pesarse con una aproximación al gramo.

La diferencia entre el peso original (P) y el peso final (Pf) de la muestra de ensayo será expresado como un porcentaje del peso original de la muestra de ensayo,

Este valor será consignado como porcentaje de desgaste.

$$\text{Porcentaje de desgaste} = \frac{P - P_f}{P} * 100 \quad (4.8)$$

Tabla 4.1

**Pesos específicos y unitarios resultantes del ensayo del material de Zapallar**

<b>PESO ESPECÍFICO Y UNITARIOS DE LA GRAVA DE ZAPALLAR</b>	
Peso específico Seco	2.64
Peso específico S.S.S.	2.67
Peso específico Neto	2.73
Porcentaje de absorción	1.35
Peso Unitario Suelto	1.48
Peso Unitario Asentado	1.66

Tabla 4.2

**Pesos específicos y unitarios resultantes del ensayo del material de Campo Hediondo**

<b>PESO ESPECÍFICO Y UNITARIOS DE LA GRAVA DE CAMPO HEDIONDO</b>	
Peso específico Seco	2.64
Peso específico S.S.S.	2.67
Peso específico Neto	2.72
Porcentaje de absorción	1.09
Peso Unitario Suelto	1.55
Peso Unitario Asentado	1.73

#### **4.6.2 Arena.-**

La arena utilizada en el ensayo realizado con cemento El Puente de tipo IP – 30 procede del sector el “Zapallar” arena que se encuentra en una quebrada del mismo sector.

#### 4.6.2.1 Granulometría – Tamiz N° 200.-

El método de ensayo para conocer la granulometría es el procedimiento que se sigue para la determinación de los tamaños de las partículas de agregado empleando tamices de aberturas cuadradas siendo también aplicable el empleo de cribas de laboratorio de aberturas circulares.

Primeramente dos porciones de material fino de 500 gr. Cada una, obteniéndose la humedad higroscópica de una de ellas y al lavado respectivo de la otra porción sobre el tamiz N° 200, secándose al horno hasta peso constante a una temperatura que no exceda los 105 °C.

La muestra secada se somete a un tamizado, de acuerdo a la secuencia de tamices de malla cuadrada que sigue el siguiente orden: N°4, N°8, N°16, N°30, N°50, N°100 y N°200.

Este tamizado se lo realiza en un vibrador mecánico para tamices el peso retenido en cada tamiz se pesa separadamente y se anota en la casilla correspondiente, posteriormente se va acumulando los pesos retenidos tamiz por tamiz y se obtiene el porcentaje de pesos retenidos acumulados en cada tamiz entre el peso total seco y multiplicado por cien.

Finalmente se obtiene el porcentaje que pasa en peso, restando de cien los porcentajes obtenidos en la casilla de pesos retenidos acumulados.

El modulo de fineza del agregado grueso se obtiene por medio de la relación:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ ret}(\frac{3}{8}'' + N^{\circ}4 + N^{\circ}8 + N^{\circ}16 + N^{\circ}30 + N^{\circ}40 + N^{\circ}50 + N^{\circ}100)}{100} \quad (4.9)$$

De acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos de análisis mecánico del agregado fino, de los valores obtenidos en el casillero de porcentajes que pasan en peso, se dibuja la curva granulométrica, obteniéndose la representación grafica.

Para verificar si cumple con los requisitos necesarios en las exigencias de gradación, se grafica la curva cumpliendo la exigencia de gradación para el agregado fino (AASTHO T – 11 y T – 27), ver tabla 6.1.g (anexos).

El siguiente método de ensayo es del T-200, que describe el procedimiento para determinar la cantidad total del material fino en el tamiz N° 200 en el agregado.

La muestra se obtiene húmeda con el fin de evitar la segregación de las partículas. La cantidad de material debe ser tal que después de secado en el horno su peso está de acuerdo con la cantidad que aparece en la tabla 6.1.h.(anexos).

La muestra de ensayo se seca hasta peso constante a una temperatura constante que no exceda los 110 °C y se pesa con una aproximación de 0.02 %. Después de secar y pesar la muestra de ensayo se colocara en un recipiente y se agregan la cantidad de agua necesaria para cubrir el material. El contenido del recipiente se agita vigorosamente y el agua de lavado se vaciara inmediatamente sobre la serie de tamices (N°16 y N° 200) arregladas de modo que el tamiz N°16 se encuentra en la parte superior.

La agitación deberá ser lo suficientemente vigorosa para obtener una completa separación de las partículas gruesas de aquellas que son más finas que el tamiz N° 200 y traer el material fino en suspensión de modo que sea removido por decantación de las partículas gruesas de la muestra.

La operación se repite hasta que el agua de lavado se vea clara. Todo el material retenido en los dos tamices se devuelve a la muestra lavada.

El agregado lavado se secara hasta peso constante a una temperatura que no exceda los 105 °C y se pesara con una aproximación de 0.02%.

El porcentaje de material más fino que pasa el tamiz N°200 se determina por medio de la siguiente fórmula:

$$\% \text{de material que pasa el tamiz N}^{\circ} 200 = \frac{\text{Peso original} - \text{Peso seco después de lavar}}{\text{Peso original}} \quad (4.10)$$

#### 4.6.2.2 Peso Específico.-

La humedad de la arena tiene gran importancia en la dosificación de los hormigones, sobre todo cuando se dosifica en volumen, por ello es necesario tener en cuenta.

Este ensayo tiene por objeto la determinación del peso específico bruto, sobre la base de la muestra saturada con superficie seca (G<sub>s</sub>) y basándose en la muestra secada al horno (G<sub>b</sub>) y el peso específico aparente (G), además el porcentaje de absorción del agregado fino.

El peso específico bruto basándose en la muestra saturada con superficie seca (G<sub>s</sub>) es el valor que generalmente se aplica en la dosificación de hormigones.

Primeramente se obtiene una muestra aproximada de 1Kg. La muestra se sumerge en agua por un periodo de 24 horas, se saca del agua y se determina su humedad, hasta que alcance su condición de saturado con superficie seca (de acuerdo a ensayo AASTHO T - 84) y se obtiene un peso determinado de muestra en la condición mencionada (b), dependiendo de la capacidad del picnómetro a utilizar.

El peso del picnómetro + agua (a) a la temperatura de ensayo, es conocido por su curva de calibración. Sumando los pesos anteriormente obtenidos, se tendría el valor real del peso acumulado (d = a + b). Debido a que el material al introducirse al agua desplaza una cantidad de ella, el peso del picnómetro + muestra + agua (c), tendrá un valor menor al valor de (d).

El volumen de las partículas incluyendo sus poros, se obtiene al restar del valor real de pesos acumulados (d), el valor del peso del picnómetro + muestra + agua (c), que significa el volumen desplazado por la muestra introducida en el picnómetro (V<sub>sp</sub> = d - c).

La muestra húmeda en el proceso del ensayo se introduce al horno y se seca a una temperatura de 100 °C a 110 °C, se enfría y se obtiene el peso seco (P<sub>s</sub>).

El peso específico bruto basándose en la muestra saturada con superficie seca, se la obtiene de la siguiente relación:

$$\mathbf{Gbs} = \frac{\mathbf{b}}{\mathbf{Vs} + \mathbf{Vp}} \quad (4.11)$$

El peso específico bruto basándose en la muestra seca, se obtiene de la siguiente relación:

$$\mathbf{Gb} = \frac{\mathbf{Ps}}{\mathbf{Vs} + \mathbf{Vp}} \quad (4.12)$$

El peso específico aparente, se basa en la siguiente relación:

$$\mathbf{Gb} = \frac{\mathbf{Ps}}{\mathbf{Vs}} \quad (4.13)$$

El porcentaje de la absorción, viene dada por la siguiente relación:

$$\% \mathbf{abs} = \frac{\mathbf{b} + \mathbf{Ps}}{\mathbf{Ps}} * \mathbf{100} \quad (4.14)$$

Donde:

$\mathbf{b}$  = Peso de la muestra saturada con superficie seca.

$\mathbf{Ps}$  = Peso de la muestra seca

$\mathbf{Vs} + \mathbf{Vp}$  = Volumen de las partículas incluyendo sus poros.

$\mathbf{Vs}$  = Volumen de las partículas solidas.

Se debe determinar la temperatura del agua en la ejecución del ensayo, para una posible corrección por temperatura de los pesos específicos de acuerdo a factores dados.

**Tabla 4.3****Pesos específicos y unitarios resultantes del ensayo de la Arena de Zapallar**

<b>PESO ESPECÍFICO Y UNITARIOS DE LA ARENA</b>	
Peso específico Seco	2,60
Peso específico S.S.S.	2,62
Peso específico Neto	2,66
Porcentaje de absorción	0,87
Peso Unitario Suelto	1,55
Peso Unitario Asentado	1,68

**4.6.2.3 Método de Dosificación.-**

La dosificación de mezclas de hormigón es la determinación de la combinación más económica y practica de los agregados disponibles, cemento y agua, que producirá una mezcla trabajable con un endurecimiento adecuado.

Al dosificar un hormigón debe tenerse en cuenta tres factores fundamentales; la resistencia, la consistencia y el tamaño máximo del árido, que son los datos a partir de los cuales hay que determinar las cantidades necesarias de agua, cemento y áridos disponibles para obtener el hormigón deseado al más bajo coste posible.

El procedimiento más práctico es determinar la mezcla y hacer correcciones necesarias en obra.

La dosificación de la mezcla de prueba puede complementarse efectivamente con ensayos de laboratorio de los materiales relacionados con el hormigón.

El método de dosificación utilizado es el método AASTHO.

En los tipos de hormigones a usarse en los ensayos (tipo “B”, “C”, “D” y “E” el tamaño máximo de grava usada es entre 1” y 1 ½” obteniéndose resistencias a los 28 días de 180 kg/cm<sup>2</sup>, 150 kg/cm<sup>2</sup>, 130 kg/cm<sup>2</sup> y 110 kg/cm<sup>2</sup> utilizando una cantidad de cemento para cada hormigón de 300 kg/m<sup>3</sup>, 250 kg/m<sup>3</sup> y 230 kg/m<sup>3</sup>, con una relación agua/cemento para cada hormigón de 0.55, 0.6, 0.7 y 0.75 aconsejado por la norma y sus correspondientes revenimientos de (5 a 10 cm), (5 a 8 cm) y (5 a 8 cm) recomendado por la norma), que se requiere dosificar se procederá a las determinaciones mínimas de laboratorio que permitirán el proporcionamiento eficiente de las mezclas de prueba como la granulometría, peso específico, peso unitario, absorción y humedad de los agregados.

Con los datos obtenidos en laboratorio que son: peso específico de la arena, la humedad de la arena, peso específico de la grava, la relación agua/cemento, el tamaño máximo de los agregados y cantidad de aditivo se procede a la dosificación que se explica a continuación:

$$\text{Contenido de Cemento} = \frac{\text{Agua neta}}{\text{Relacion A/C}}$$

$$\text{Volumen Absoluto} = \text{Agua} + \frac{\text{Contenido de Cemento}}{\text{Peso Especifico del Cemento}}$$

$$\text{Volumen absoluto de Agregado total (A)} = 1000 - \text{Vol. Absoluto}$$

$$\text{Volumen absoluto de la Arena (B)} = \% \text{ Arena} * A$$

$$\text{Volumen absoluto de la Grava (C)} = \% \text{ de Grava} * A$$

$$\text{Arena} = B * \text{Peso Especifico de la Arena}$$

$$\text{Grava} = C * \text{Peso Especifico de la Grava}$$

#### **Proporciones de la mezcla:**

$$\text{Contenido de Agua en Molde} = \text{Agua neta} * \text{Volumen del Molde}$$

$$\text{Contenido de Cemento en Molde} = \text{Contenido de Cemento} * \text{Volumen del Molde}$$

$$\text{Contenido de Arena en Molde} = \text{Proporción de la mezcla de arena} * \text{Volumen del Molde}$$

$$\text{Contenido de Grava en Molde} = \text{Proporción de la mezcla de Grava} * \text{Volumen del Molde}$$

En las anteriores cuatro formulas hay que tener cuidado ya que ocurren perdidas de material en aproximadamente 10% a 15% y generalmente se deberá calcular teniendo en cuenta esta perdida.

#### **4.6.2.3.1 Dosificación.-**

De acuerdo a los resultados de los ensayos de laboratorio, se procedió a la dosificación de los hormigones de acuerdo a diseño estándar.

Para realizar el ensayo se utilizaron moldes de 15 cm de diámetro y 30 cm de alto, por lo cual la dosificación se realiza para 1m<sup>3</sup> de hormigón y para 12 moldes 6 del material de Zapallar y 6 del material de Campo Hediondo de acuerdo a la capacidad de la hormigonera.

Tomamos 12 moldes en la preparación de las probetas para cada mezcla en la hormigonera, para obtener una muestra más homogénea posible de hormigón y que no presente mucha diferencia con relación de una mezcla a otra en la preparación de los diferentes hormigones y en preparación de las probetas de ensayo.

La dosificación resultante después de varios tanteos como a continuación se detalla:

Tabla 4.4

<b>DOSIFICACIÓN PARA UNA RESISTENCIA DE 180 kg/cm<sup>2</sup> DEL MATERIAL DE ZAPALLAR</b>	
<b>DATOS</b>	<b>DOSIFICACIÓN</b>
<p>A/C = 0.55</p> <p>Cant. Cemento = 300 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Peso específico del Cemento = 3.14</p> <p>Tam. Máximo = 1 ½"</p> <p>Peso específico de la Arena = 2.66</p> <p>Peso específico de la Grava = 2.73</p> <p>Absorción de la Arena = 0.87</p> <p>Absorción de la Grava = 1.35</p> <p>Revenimiento = 5 a 10 cm</p>	<p>Agua (12 moldes) = 17.3 lt.</p> <p>Cemento (12 moldes) = 31.4 kg.</p> <p>Arena (12 moldes) = 82 kg.</p> <p>Grava (18 moldes) = 126.5 kg.</p> <p>Agua (m<sup>3</sup>) = 165 lt.</p> <p>Cemento (m<sup>3</sup>) = 300 kg.</p> <p>Arena (m<sup>3</sup>) = 787 kg.</p> <p>Grava (m<sup>3</sup>) = 1209 kg.</p>
<b>Revenimiento = 7 cm</b>	

Tabla 4.5

<b>DOSIFICACIÓN PARA UNA RESISTENCIA DE 180 kg/cm<sup>2</sup> DEL MATERIAL DE CAMPO HEDIONDO</b>	
<b>DATOS</b>	<b>DOSIFICACIÓN</b>
<p>A/C = 0.55</p> <p>Cant. Cemento = 300 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Peso específico del Cemento = 3.14</p> <p>Tam. Máximo = 1 ½"</p> <p>Peso específico de la Arena = 2.66</p> <p>Peso específico de la Grava = 2.72</p> <p>Absorción de la Arena = 0.87</p> <p>Absorción de la Grava = 1.09</p> <p>Revenimiento = 5 a 10 cm</p>	<p>Agua (18 moldes) = 17.3 lt.</p> <p>Cemento (18 moldes) = 31.4 kg.</p> <p>Arena (18 moldes) = 82 kg.</p> <p>Grava (18 moldes) = 126 kg.</p> <p>Agua (m<sup>3</sup>) = 165 lt.</p> <p>Cemento (m<sup>3</sup>) = 300 kg.</p> <p>Arena (m<sup>3</sup>) = 787 kg.</p> <p>Grava (m<sup>3</sup>) = 1205 kg.</p>
<b>Revenimiento = 7 cm</b>	

Tabla 4.6

<b>DOSIFICACIÓN PARA UNA RESISTENCIA DE 150 kg/cm<sup>2</sup> DEL MATERIAL DE ZAPALLAR</b>	
<b>DATOS</b>	<b>DOSIFICACIÓN</b>
<p>A/C = 0.60</p> <p>Cant. Cemento = 250 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Peso específico del Cemento = 3.14</p> <p>Tam. Máximo = 1 ½"</p> <p>Peso específico de la Arena = 2.66</p> <p>Peso específico de la Grava = 2.73</p> <p>Absorción de la Arena = 0.87</p> <p>Absorción de la Grava = 1.35</p> <p>Revenimiento = 5 a 8 cm</p>	<p>Agua (18 moldes) = 16lt.</p> <p>Cemento (18 moldes) = 26 kg.</p> <p>Arena (18 moldes) = 86 kg.</p> <p>Grava (18 moldes) = 132 kg.</p> <p>Agua (m<sup>3</sup>) = 150 lt.</p> <p>Cemento (m<sup>3</sup>) = 250 kg.</p> <p>Arena (m<sup>3</sup>) = 819 kg.</p> <p>Grava (m<sup>3</sup>) = 1261 kg.</p>
<b>Revenimiento = 6.8 cm</b>	

Tabla 4.7

<b>DOSIFICACIÓN PARA UNA RESISTENCIA DE 150 kg/cm<sup>2</sup> DEL MATERIAL DE CAMPO HEDIONDO</b>	
<b>DATOS</b>	<b>DOSIFICACIÓN</b>
<p>A/C = 0.60</p> <p>Cant. Cemento = 250 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Peso específico del Cemento = 3.14</p> <p>Tam. Máximo = 1 ½"</p> <p>Peso específico de la Arena = 2.66</p> <p>Peso específico de la Grava = 2.72</p> <p>Absorción de la Arena = 0.87</p> <p>Absorción de la Grava = 1.09</p> <p>Revenimiento = 5 a 8 cm</p>	<p>Agua (18 moldes) = 16lt.</p> <p>Cemento (18 moldes) = 26 kg.</p> <p>Arena (18 moldes) = 86 kg.</p> <p>Grava (18 moldes) = 131 kg.</p> <p>Agua (m<sup>3</sup>) = 150 lt.</p> <p>Cemento (m<sup>3</sup>) = 250 kg.</p> <p>Arena (m<sup>3</sup>) = 819 kg.</p> <p>Grava (m<sup>3</sup>) = 1257 kg.</p>
<b>Revenimiento = 6.8 cm</b>	

Tabla 4.8

<b>DOSIFICACIÓN PARA UNA RESISTENCIA DE 130 kg/cm<sup>2</sup> DEL MATERIAL DE ZAPALLAR</b>	
<b>DATOS</b>	<b>DOSIFICACIÓN</b>
<p>A/C = 0.70</p> <p>Cant. Cemento = 230 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Peso específico del Cemento = 3.14</p> <p>Tam. Máximo = 1 ½"</p> <p>Peso específico de la Arena = 2.66</p> <p>Peso específico de la Grava = 2.73</p> <p>Absorción de la Arena = 0.87</p> <p>Absorción de la Grava = 1.35</p> <p>Revenimiento = 5 a 8 cm</p>	<p>Agua (18 moldes) = 17 lt.</p> <p>Cemento (18 moldes) = 24 kg.</p> <p>Arena (18 moldes) = 85 kg.</p> <p>Grava (18 moldes) = 131 kg.</p> <p>Agua (m<sup>3</sup>) = 161 lt.</p> <p>Cemento (m<sup>3</sup>) = 230 kg.</p> <p>Arena (m<sup>3</sup>) = 815 kg.</p> <p>Grava (m<sup>3</sup>) = 1255 kg.</p>
<b>Revenimiento = 6.5 cm</b>	

Tabla 4.9

<b>DOSIFICACIÓN PARA UNA RESISTENCIA DE 130 kg/cm<sup>2</sup> DEL MATERIAL DE CAMPO HEDIONDO</b>	
<b>DATOS</b>	<b>DOSIFICACIÓN</b>
<p>A/C = 0.60</p> <p>Cant. Cemento = 250 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Peso específico del Cemento = 3.14</p> <p>Tam. Máximo = 1 ½"</p> <p>Peso específico de la Arena = 2.66</p> <p>Peso específico de la Grava = 2.72</p> <p>Absorción de la Arena = 0.87</p> <p>Absorción de la Grava = 1.09</p> <p>Revenimiento = 5 a 8 cm</p>	<p>Agua (18 moldes) = 17 lt.</p> <p>Cemento (18 moldes) = 24 kg.</p> <p>Arena (18 moldes) = 85 kg.</p> <p>Grava (18 moldes) = 130.5 kg.</p> <p>Agua (m<sup>3</sup>) = 161 lt.</p> <p>Cemento (m<sup>3</sup>) = 230 kg.</p> <p>Arena (m<sup>3</sup>) = 815 kg.</p> <p>Grava (m<sup>3</sup>) = 1250 kg.</p>
<b>Revenimiento = 6.5 cm</b>	

Tabla 4.10

<b>DOSIFICACIÓN PARA UNA RESISTENCIA DE 110 kg/cm<sup>2</sup> DEL MATERIAL DE ZAPALLAR</b>	
<b>DATOS</b>	<b>DOSIFICACIÓN</b>
<p>A/C = 0.70</p> <p>Cant. Cemento = 230 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Peso específico del Cemento = 3.14</p> <p>Tam. Máximo = 1 ½"</p> <p>Peso específico de la Arena = 2.66</p> <p>Peso específico de la Grava = 2.73</p> <p>Absorción de la Arena = 0.87</p> <p>Absorción de la Grava = 1.35</p> <p>Revenimiento = 5 a 8 cm</p>	<p>Agua (18 moldes) = 16 lt.</p> <p>Cemento (18 moldes) = 21 kg.</p> <p>Arena (18 moldes) = 87 kg.</p> <p>Grava (18 moldes) = 135 kg.</p> <p>Agua (m<sup>3</sup>) = 150 lt.</p> <p>Cemento (m<sup>3</sup>) = 200 kg.</p> <p>Arena (m<sup>3</sup>) = 835 kg.</p> <p>Grava (m<sup>3</sup>) = 1289 kg.</p>
<b>Revenimiento = 6.5 cm</b>	

Tabla 4.11

<b>DOSIFICACIÓN PARA UNA RESISTENCIA DE 110 kg/cm<sup>2</sup> DEL MATERIAL DE CAMPO HEDIONDO</b>	
<b>DATOS</b>	<b>DOSIFICACIÓN</b>
<p>A/C = 0.60</p> <p>Cant. Cemento = 250 kg/m<sup>3</sup></p> <p>Peso específico del Cemento = 3.14</p> <p>Tam. Máximo = 1 ½"</p> <p>Peso específico de la Arena = 2.66</p> <p>Peso específico de la Grava = 2.72</p> <p>Absorción de la Arena = 0.87</p> <p>Absorción de la Grava = 1.09</p> <p>Revenimiento = 5 a 8 cm</p>	<p>Agua (18 moldes) = 16 lt.</p> <p>Cemento (18 moldes) = 21 kg.</p> <p>Arena (18 moldes) = 87 kg.</p> <p>Grava (18 moldes) = 134 kg.</p> <p>Agua (m<sup>3</sup>) = 150 lt.</p> <p>Cemento (m<sup>3</sup>) = 200 kg.</p> <p>Arena (m<sup>3</sup>) = 835 kg.</p> <p>Grava (m<sup>3</sup>) = 1284 kg.</p>
<b>Revenimiento = 6.5 cm</b>	

#### **4.6.2.4 Extracción y ensayo de Probetas.-**

En esta parte se describe la manera de preparar las muestras de laboratorio para los ensayos de compresión, teniendo un control rígido tanto en el proceso de elaboración como las cantidades de material usado.

Se utiliza en este procedimiento para apisonar el hormigón en los moldes una varilla rectilínea de 5/8" de diámetro y 60 cm de longitud.

Los moldes son de diámetro "a" y altura "2a", en nuestro caso es 15 cm de diámetro y 30 cm de alto, estos moldes deben ser rígidos y no absorbentes.

Se debe tener un recipiente de metal para preparar las diferentes muestras, una balanza para pesar todos los materiales necesarios y una hormigonera de capacidad suficiente para preparar una muestra de 12 probetas de hormigón.

Se debe preservar de la humedad al cemento y antes de usarse se debe hacer pasar por el tamiz N° 16 y desechar el material retenido en este tamiz.

Los materiales después de pesados se mezclan a mano o nuestro caso en una hormigonera tomando en cuenta que se pierde un 10% de material por diversos factores.

A la hormigonera se echa la mitad del agua calculada, se mezcla el agregado fino con el cemento, luego se agrega el agregado grueso y después se echa el resto del agua y se mezclan estos materiales completamente.

La consistencia se debe medir inmediatamente después de que se termine de preparar la mezcla basándose en el ensayo de asentamiento.

**Fotografía 4.16**

**Ensayo de asentamiento cono de Abran del material de Zapallar**



**Fotografía 4.17**

**Ensayo de asentamiento cono de Abrans del material de Campo Hediondo**



Se debe preparar por lo menos tres especímenes para cada variable que se quiera determinar, en nuestro caso preparamos tres especímenes.

La superficie de los moldes y de la base metálica que entran en contacto con la muestra que fraguara, debe ser untado con aceite mineral o cualquier otra sustancia apropiada que no ataque el cemento, con el objeto de evitar la adherencia del hormigón.

El material se coloca dentro del molde en tres capas, cada una de las cuales deben tener cuatro pulgadas de espesor, cada capa se apisona con 25 golpes de la varilla repartidos uniformemente. La superficie de la última capa se empareja con el palustre y se cubre el molde para evitar la evaporación.

Es importante en la preparación de los especímenes cilíndricos que las bases queden paralelas, generalmente dichas bases pueden ser emparejadas con una capa delgada de pasta de cemento, entre dos y cuatro horas después de tener el hormigón en el molde.

#### **Fotografía 4.18**

##### **Especímenes en el molde agregados de Campo Hediondo**



**Fotografía 4.19****Especímenes en el cuarto Húmedo en el proceso de curado****Fotografía 4.20****Especímenes en el cuarto Húmedo en el proceso de curado**

Después de tener los cilindros en el cuarto húmedo las respectivas horas y días para cumplir nuestro objetivo, se procede a la determinación de la resistencia a compresión del hormigón.

**Fotografía 4.21****Máquina para realizar el ensayo de rotura****Fotografía 4.22****Máquina para realizar el ensayo de rotura**

Se coloca el cilindro en la máquina y se centra con relación a la placa superior, teniendo en cuenta de poner antes una capa mínima de mortero de azufre (capping) en

la parte superior de la cara superior de la probeta para no tener problemas si se presentan los siguientes casos:

- Si las caras de las probetas no son paralelas.
- Una de las caras presenta imperfecciones o irregularidades en su superficie.
- Si una de las caras presenta agregado grueso expuesto.

Se pone la placa superior en contacto con el espécimen. Se aplica la carga a una rata de aumento constante y uniforme más o menos de 20 a 50 libras por pulgada cuadrada por segundo. Se aumenta la carga hasta que el espécimen falle, se debe anotar esta carga máxima aplicada.

La resistencia a la compresión se obtiene dividiendo la carga máxima aplicada por el área del cilindro, calculada con el diámetro obtenido antes de aplicar la carga.

#### **4.6.2.5 Descripción y características de los agregados a utilizar.-**

Los áridos que utilizamos deben estar desprovistos de polvo o materia orgánica que supone un incremento de finos en el hormigón, y por tanto mayor cantidad de agua de amasado, menor resistencia y mayor riesgo de fisuras en las primeras edades.

Los áridos se oponen a la retracción, tanto más o cuanto más resistentes son. En general, la retracción disminuye a medida que aumenta el tamaño máximo del árido.

Las características de los agregados utilizados en los ensayos de laboratorio después de realizadas las pruebas para cada uno de ellos.

## **4.7 ENSAYOS.-**

### **4.7.1 Granulometría.-**

Los ensayos de caracterización de materiales fueron realizados en laboratorios de SOBOCE cuyos resultados son los siguientes:

#### **4.7.2 Desgaste de Los Ángeles.-**

Los ensayos de Desgaste de los Ángeles de los materiales estudiados fueron realizados en el laboratorio de SEDECA cuyos resultados son los siguientes:

#### **4.7.3 Ensayo de Compresión.-**

Los ensayos de rotura de probetas a compresión con los materiales de estudio se realizaron en laboratorios del “**Consortio Santa Ana (Riego Calderas)**” cuyos resultados son los siguientes:

## 4.8 ANÁLISIS DE RESULTADOS.-

### 4.8.1 Resultado de los Ensayos.-

A continuación en las siguientes tablas se expresa los resultados obtenidos en los diferentes ensayos:

**Tabla 4.12**  
**Datos de Roturas de probetas**

<b>Hormigón Tipo B (180 Kg/cm) Zapallar</b>	
<b>Edad</b>	<b>Resistencia (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
3	90,80
	90,97
	91,20
7	126,70
	126,41
	126,87
14	156,19
	155,56
	155,85
21	156,14
	155,79
	155,85
28	180,16
	181,12
	180,81

**TABLA 4.13**  
**Datos de Roturas de probetas**

<b>Hormigón Tipo C (150 Kg/cm) Zapallar</b>	
<b>EDAD</b>	<b>RESISTENCIA (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
3	75,90
	76,13
	76,19
7	105,63
	105,52
	105,69
14	130,45
	130,22
	129,87
21	130,68
	130,45
	129,87
28	150,63
	151,02
	151,01

**TABLA 4.14**  
**Datos de Roturas de probetas**

<b>Hormigón Tipo D (130 Kg/cm) Zapallar</b>	
<b>Edad</b>	<b>Resistencia (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
3	65,80
	66,26
	66,50
7	91,32
	91,78
	91,89
14	113,13
	113,25
	112,96
21	124,10
	123,87
	123,99
28	131,05
	131,08
	131,21

**TABLA 4.15**  
**Datos de Roturas de probetas**

<b>Hormigón Tipo E (110 Kg/cm) Zapallar</b>	
<b>Edad</b>	<b>Resistencia (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
3	55,87
	55,99
	55,70
7	77,92
	78,04
	78,16
14	95,82
	95,41
	95,64
21	95,82
	95,53
	95,24
28	110,59
	111,60
	110,92

**TABLA 4.16**  
**Datos de Roturas de probetas**

<b>Hormigón Tipo B (180 Kg/cm) Campo Hediondo</b>	
<b>Edad</b>	<b>Resistencia (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
3	91,60
	91,78
	91,32
7	126,99
	127,16
	126,87
14	155,85
	156,19
	156,14
21	155,85
	156,31
	156,43
28	181,30
	181,62
	181,03

**TABLA 4.17**  
**Datos de Roturas de probetas**

<b>Hormigón Tipo C (150 Kg/cm) Campo Hediondo</b>	
<b>Edad</b>	<b>Resistencia (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
3	76,25
	76,08
	76,42
7	105,92
	105,75
	105,34
14	130,74
	130,91
	131,32
21	130,34
	129,87
	130,45
28	150,98
	151,11
	151,95

**TABLA 4.18**  
**Datos de Roturas de probetas**

<b>Hormigón Tipo D (130 Kg/cm) Campo Hediondo</b>	
<b>Edad</b>	<b>Resistencia (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
3	66,26
	66,38
	66,55
7	91,20
	91,55
	91,72
14	113,31
	113,42
	113,02
21	124,10
	123,70
	123,93
28	131,47
	130,83
	131,37

**TABLA 4.19**  
**Datos de Roturas de probetas**

<b>Hormigón Tipo E (110 Kg/cm) Campo Hediondo</b>	
<b>Edad</b>	<b>Resistencia (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
3	55,99
	56,16
	56,28
7	77,92
	78,21
	78,04
14	95,24
	95,70
	95,53
21	95,93
	95,24
	95,53
28	111,17
	111,62
	110,77

**Nota:** Se hace notar que los ensayos de rotura de probetas solo fueron de 3, 7, y 14 días por lo que los datos de resistencia a los 21 y 28 días fueron proyectados y sus correspondientes factores de corrección se muestran en el apartado 4.8.3

#### 4.8.2 Control de Resistencia del Hormigón y Curvas Edad – Resistencia.-

La resistencia a compresión simple es la característica más importante de un hormigón, que se determina mediante el ensayo de probetas, según métodos operatorios normalizados.

Los valores de ensayo que proporcionan las distintas probetas son más o menos dispersos, en forma variable, según el cuidado y rigor con que se confeccione el hormigón y esta circunstancia debe tenerse en cuenta al tratar de definir un cierto hormigón por su resistencia.

El problema se plantea de la siguiente forma; si dados “n” resultados obtenidos al ensayar a compresión simple “n” probetas cilíndricas de un mismo hormigón, determinar un valor que sea representativo de la serie y por consiguiente del propio hormigón.

Tradicionalmente se ha seguido el criterio de adoptar, para dicho valor, la media aritmética  $f_{cm}$  (resistencia media del hormigón a compresión) de los “n” valores de roturas. Pero este valor no refleja la verdadera calidad del hormigón en obra, al no tener en cuenta la dispersión de la serie.

Si tenemos dos hormigones con la misma resistencia media, no cabe duda que es más fiable que aquel que presenta menor dispersión, por consiguiente el coeficiente de seguridad que se adopte para el cálculo debe ser mayor para el hormigón más disperso, con lo que se llega a concluir, que al adoptar la resistencia media como base de los cálculos conduce a coeficientes de seguridad variables según la calidad de ejecución.

Para eliminar este inconveniente y conseguir que se trabaje con un coeficiente de seguridad único, homogéneo en todos los casos, se ha adoptado el concepto de resistencia característica del hormigón que es una media estadística que tiene en cuenta no solo el valor de la media aritmética  $f_{cm}$  de las roturas de las diversas

probetas, sino también la desviación típica relativa o coeficiente de variación de la serie de valores.

Se define como resistencia característica del hormigón  $f_{ck}$ , del hormigón aquel valor que presenta un grado de confianza de 95%, es decir que existe una probabilidad de 0.95 de que se presenten valores individuales de resistencia de probetas más alto que  $f_{ck}$ .

De acuerdo con esta definición y admitiendo la hipótesis de distribución estadística normal, la resistencia característica viene dada por la expresión siguiente:

$$f_{ck} = f_{cm}(1 - 1.64 * \delta) \quad (4.15)$$

Donde  $f_{cm}$  es la resistencia media y  $\delta$  el coeficiente de variación de la población de resistencias. Para calcular la resistencia media y el valor de  $\delta$  se tienen las siguientes fórmulas:

$$f_{cm} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_{ci} \quad (4.16) \quad \delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \frac{f_{ci} - f_{cm}}{f_{cm}} \right)^2} \quad (4.17)$$

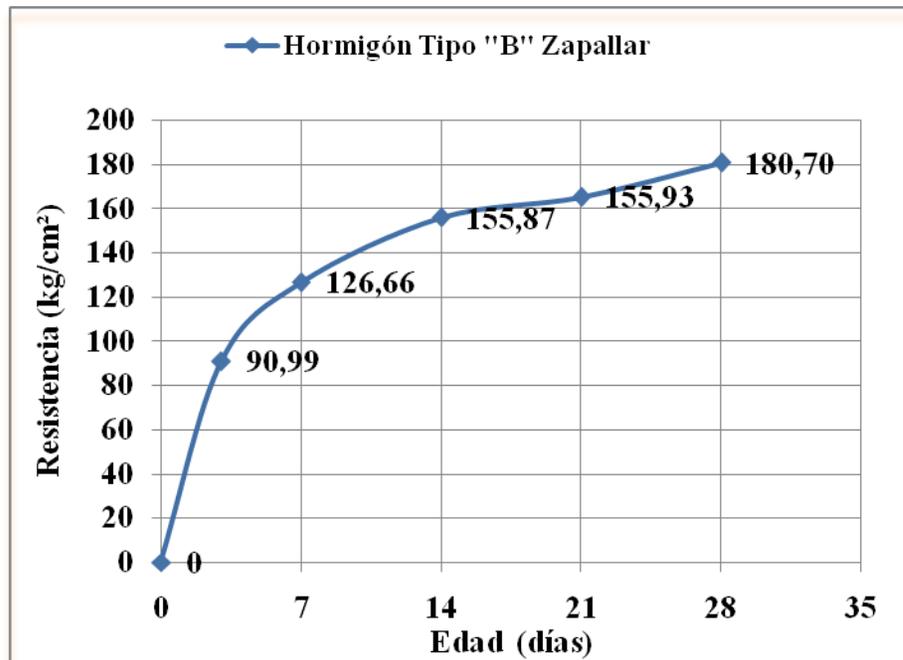
El valor del coeficiente de variación  $\delta$  depende de las condiciones de ejecución en obra. Un coeficiente de variación superior al 25% es inadmisibles en los trabajos de hormigón armado y una obra puede considerarse como muy bien ejecutada cuando dicho valor es inferior al 15%.

A continuación se resume los resultados y respectivas curvas edad – resistencia.

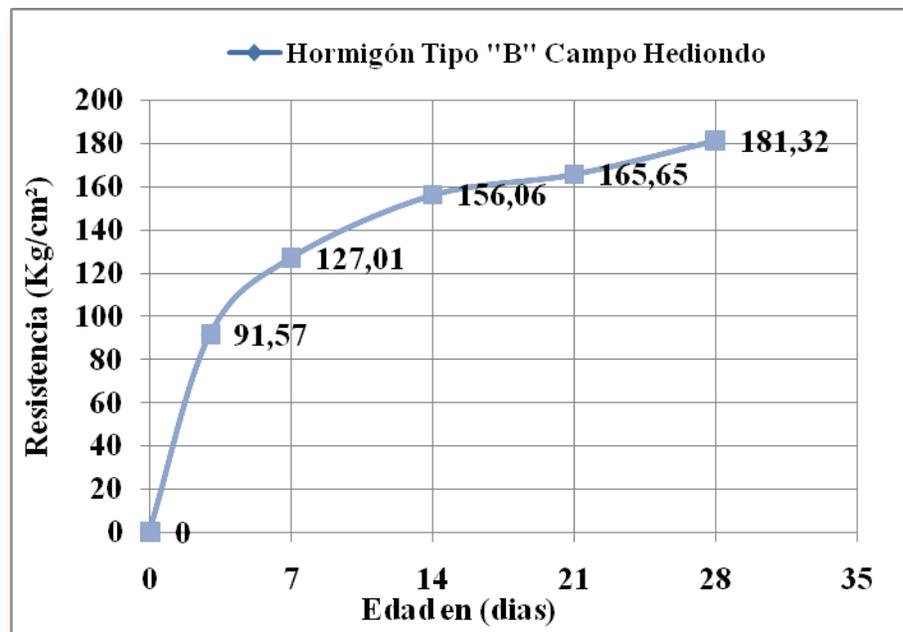
**Tabla 4.20**  
**Hormigón Tipo B (180 kg/cm<sup>2</sup>)**

Hormigón de Zapallar					Hormigón de Campo Hediondo				
Edad	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) <i>f<sub>cm</sub></i>	$\delta$ (%)	<i>f<sub>ck</sub></i>	Edad	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) <i>f<sub>cm</sub></i>	$\delta$ (%)	<i>f<sub>ck</sub></i>
<b>3 días</b>	90,80	90,99	0,18	90,72	<b>3 días</b>	91,60	91,57	0,21	91,25
	90,97					91,78			
	91,20					91,32			
<b>7 días</b>	126,70	126,66	0,15	126,35	<b>7 días</b>	126,99	127,01	0,09	126,81
	126,41					127,16			
	126,87					126,87			
<b>14 días</b>	156,19	155,87	0,17	155,44	<b>14 días</b>	155,85	156,06	0,10	155,81
	155,56					156,19			
	155,85					156,14			
<b>21 días</b>	165,65	165,31	0,16	164,85	<b>21 días</b>	165,29	165,65	0,16	165,22
	164,98					165,78			
	165,29					165,90			
<b>28 días</b>	180,16	180,70	0,22	180,03	<b>28 días</b>	181,30	181,32	0,13	180,92
	181,12					181,62			
	180,81					181,03			

**Figura 4.1**  
**Curva Edad vs. Resistencia**



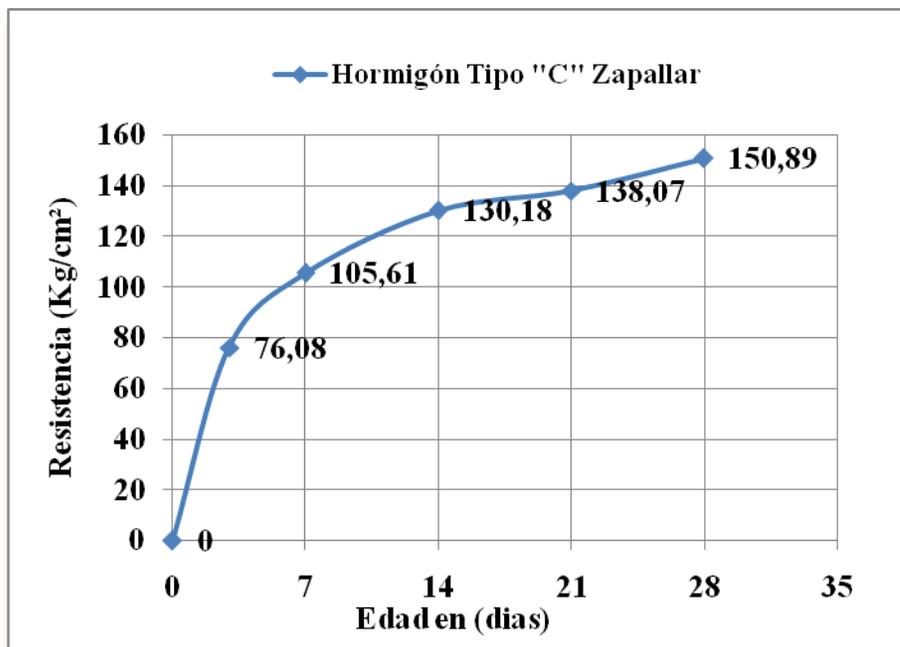
**Figura 4.2**  
**Curva Edad vs. Resistencia**



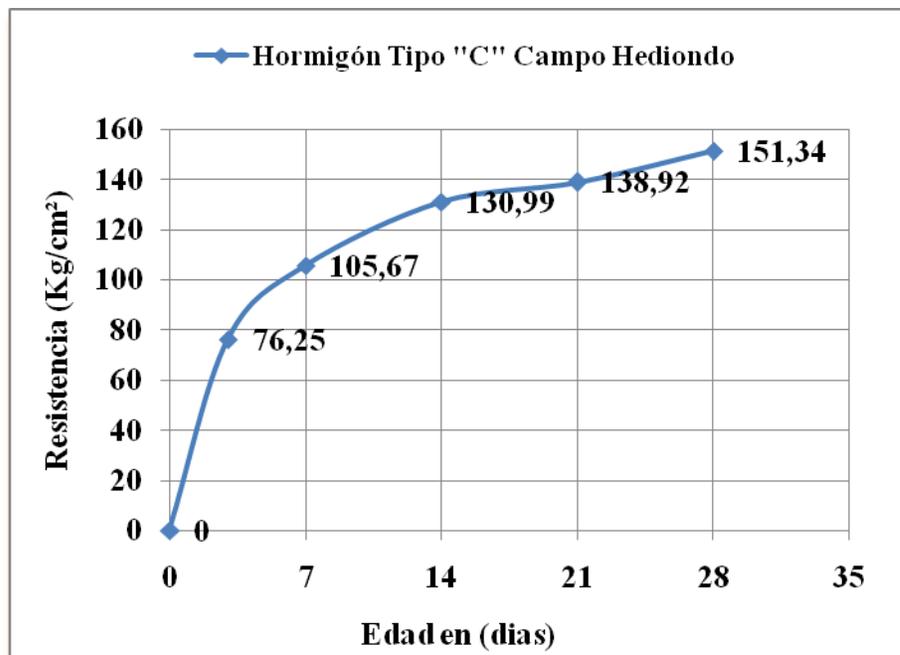
**TABLA 4.21**  
**Hormigón Tipo C (150 kg/cm<sup>2</sup>)**

Hormigón de Zapallar					Hormigón de Campo Hediondo					
Edad	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) <i>f<sub>cm</sub></i>	$\delta$ (%)	<i>f<sub>ck</sub></i>	Edad	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) <i>f<sub>cm</sub></i>	$\delta$ (%)	<i>f<sub>ck</sub></i>	
<b>3 días</b>	75,90	76,08	0,16	75,87	<b>3 días</b>	76,25	76,25	0,19	76,02	
	76,13					76,08				76,42
	76,19					76,42				
<b>7 días</b>	105,63	105,61	0,07	105,49	<b>7 días</b>	105,92	105,67	0,23	105,27	
	105,52					105,75				
	105,69					105,34				
<b>14 días</b>	130,45	130,18	0,18	129,79	<b>14 días</b>	130,74	130,99	0,18	130,59	
	130,22					130,91				
	129,87					131,32				
<b>21 días</b>	138,35	138,07	0,18	137,65	<b>21 días</b>	138,66	138,92	0,19	138,5	
	138,11					138,84				
	137,74					139,27				
<b>28 días</b>	150,63	150,89	0,12	150,59	<b>28 días</b>	150,98	151,34	0,285	150,64	
	151,02					151,11				
	151,01					151,95				

**Figura 4.3**  
**Curva Edad vs. Resistencia**



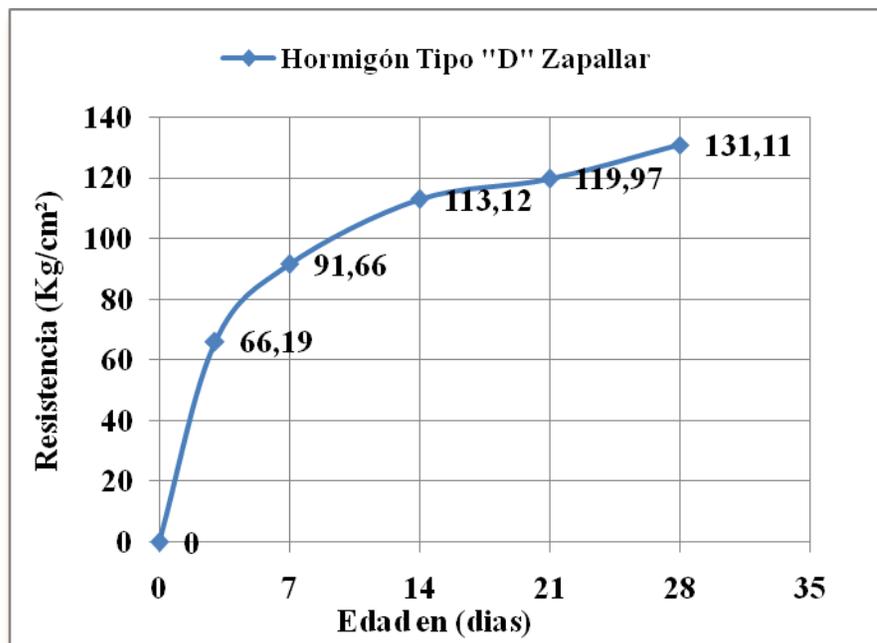
**Figura 4.4**  
**Curva Edad vs. Resistencia**



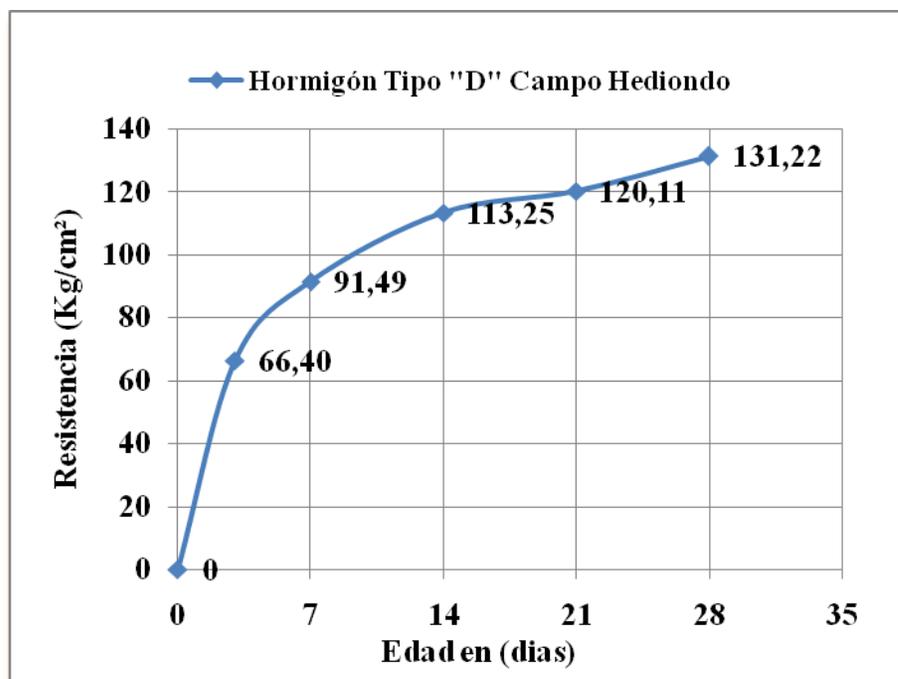
**TABLA 4.22**  
**Hormigón Tipo D (130 kg/cm<sup>2</sup>)**

Hormigón de Zapallar					Hormigón de Campo Hediondo				
Edad	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) <i>f<sub>cm</sub></i>	$\delta$ (%)	<i>f<sub>ck</sub></i>	Edad	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) <i>f<sub>cm</sub></i>	$\delta$ (%)	<i>f<sub>ck</sub></i>
<b>3 días</b>	65,80	66,19	0,44	65,72	<b>3 días</b>	66,26	66,40	0,18	66,20
	66,26					66,38			
	66,50					66,55			
<b>7 días</b>	91,32	91,66	0,27	91,25	<b>7 días</b>	91,20	91,49	0,24	91,13
	91,78					91,55			
	91,89					91,72			
<b>14 días</b>	113,13	113,12	0,105	112,92	<b>14 días</b>	113,31	113,25	0,15	112,97
	113,25					113,42			
	112,96					113,02			
<b>21 días</b>	119,99	119,97	0,1	119,76	<b>21 días</b>	120,17	120,11	0,15	119,81
	120,11					120,29			
	119,80					119,86			
<b>28 días</b>	131,05	131,11	0,054	131	<b>28 días</b>	131,47	131,22	0,21	130,76
	131,08					130,83			
	131,21					131,37			

**Figura 4.5**  
**Curva Edad vs. Resistencia**



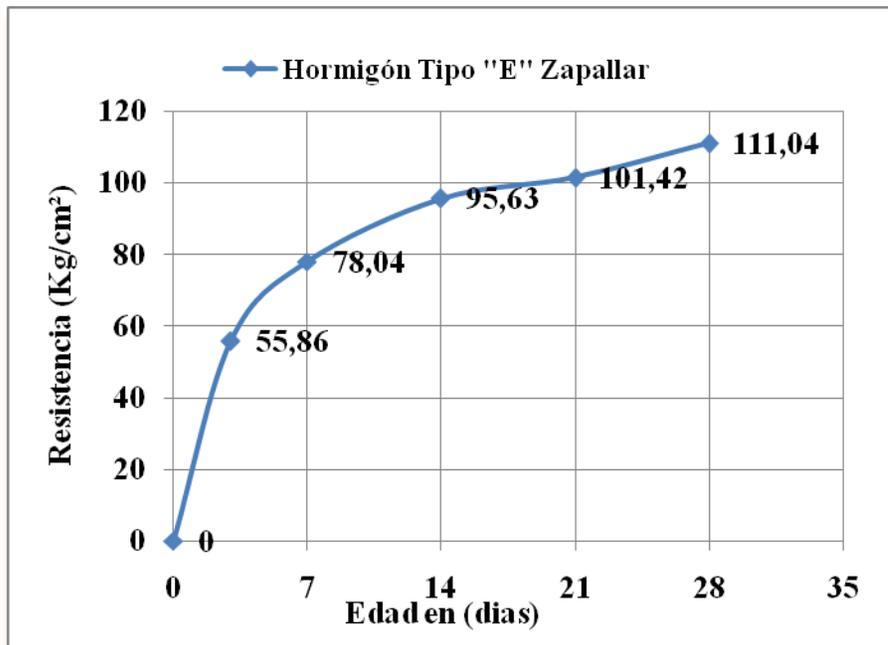
**Figura 4.6**  
**Curva Edad vs. Resistencia**



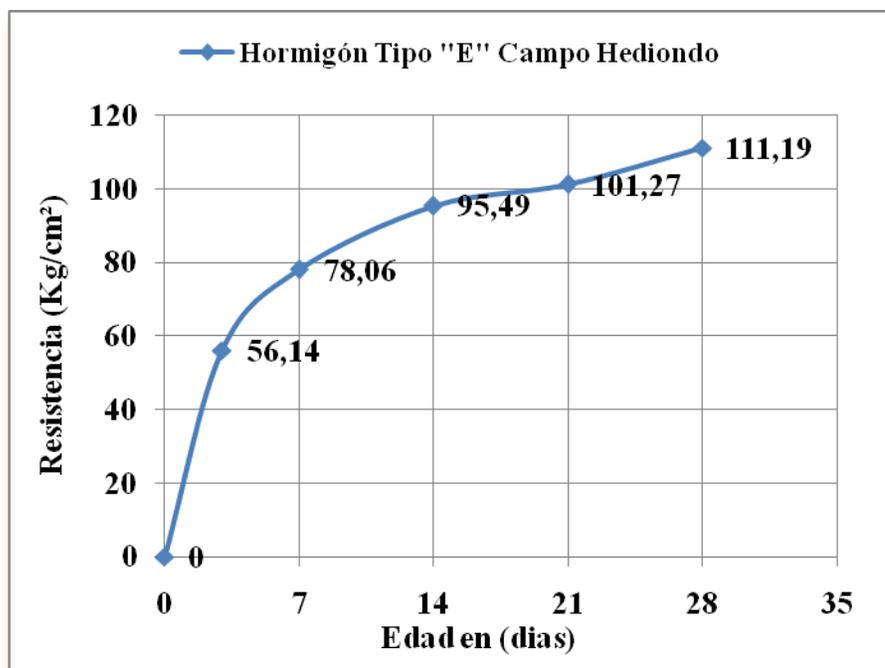
**TABLA 4.23**  
**Hormigón Tipo E (110 kg/cm<sup>2</sup>)**

Hormigón de Zapallar					Hormigón de Campo Hediondo				
Edad	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) <i>f<sub>cm</sub></i>	$\delta$ (%)	<i>f<sub>ck</sub></i>	Edad	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio (Kg/cm <sup>2</sup> ) <i>f<sub>cm</sub></i>	$\delta$ (%)	<i>f<sub>ck</sub></i>
<b>3 días</b>	55,87	55,86	0,21	55,66	<b>3 días</b>	55,99	56,14	0,21	55,95
	55,99					56,16			
	55,70					56,28			
<b>7 días</b>	77,92	78,04	0,12	77,89	<b>7 días</b>	77,92	78,06	0,15	77,86
	78,04					78,21			
	78,16					78,04			
<b>14 días</b>	95,82	95,63	0,17	95,35	<b>14 días</b>	95,24	95,49	0,20	95,18
	95,41					95,70			
	95,64					95,53			
<b>21 días</b>	101,62	101,42	0,17	101,13	<b>21 días</b>	101,01	101,27	0,2	100,94
	101,19					101,50			
	101,44					101,31			
<b>28 días</b>	110,59	111,04	0,38	110,35	<b>28 días</b>	111,17	111,19	0,31	110,61
	111,60					111,62			
	110,93					110,77			

**Figura 4.7**  
**Curva Edad vs. Resistencia**



**Figura 4.8**  
**Curva Edad vs. Resistencia**



### 4.8.3 Procedimiento de Proyección a los 28 días.-

El procedimiento de proyección a los 28 días se calcula a continuación mediante las siguientes ecuaciones:

$$F = \frac{3.69 + T^{(2/3)}}{1.4 \times T^{(2/3)}} \quad (4.18) \quad R_{28} = F \times R_r \quad (4.19)$$

Donde:

$R_r$  = Resistencia cilíndrica obtenida en laboratorio en la rotura antes de los 28 días.

$T$  = Número de días menor a 28 días.

$R_{28}$  = Resistencia cilíndrica a la rotura probable a los 28 días.

$F$  = Factor para tiempo mayor a 28 días.

A continuación se muestran una tabla de factores para tiempos menores a 28 días.

**Tabla 4.24**

#### Factores de proyección

<b>T en días</b>	<b>F</b>
1	3,35
3	1,98
7	1,43
14	1,16
21	1,06
28	1

### 4.8.4 Evaluación de los Resultados Arrojadados por los Ensayos de Rotura y las Curvas Edad vs. Resistencia.-

- El primer análisis que se puede realizar y observar a primera vista a través de las curvas edad – resistencia es que si se tiene un mejor control en la dosificación y en el curado de las probetas se pueden obtener altas resistencia a edades tempranas, lo que quiere decir que si hubiéramos controlado mejor en nuestro

caso el proceso de dosificación y curado nos hubiera dado altas resistencias en nuestros hormigones.

- Se pudo ver también que en los ensayos de rotura de 3, 7 y 14 días los valores de resistencia no se disparan uno del otro, lo que nos indica que las resistencias aumentaban en forma equilibrada, esto quiere decir que estos materiales se comportaron bien en el proceso de mezclado y que formando una pasta compacta y resistente.
- Para finalizar podemos mencionar que de acuerdo a los resultados arrojados por los ensayos de resistencia se puede garantizar que estos materiales sí son aptos para la elaboración de hormigones.

# **CAPÍTULO V**

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES.-

De acuerdo al cuadro comparativo de datos y resultados y las especificaciones de estos dos yacimientos, se concluye que:

- El presente proyecto de investigación, será una herramienta útil para el Tramo Entre Ríos – Villamontes relacionada con la construcción, ya que dará una información precisa de las características de los yacimientos de agregados que existen en esta región, y así, con un mejor criterio de selección, utilizar estos materiales para las obras civiles de este Tramo.
- Los agregados del yacimiento del lugar de Campo Hediondo son de mejor calidad, de acuerdo a la descripción macroscópica y ensayos realizados en laboratorio, con relación a la del yacimiento de Zapallar, considerando la gradación uniforme del agregado grueso.
- Los agregados del yacimiento de Campo Hediondo dentro su producción, deben considerar un lavado mayor de finos, para eliminar la suciedad y entrar a la tolerancia máxima especificada por la ASTM.
- Entre estos dos yacimientos se considera de mejor calidad el de Campo Hediondo para la utilización de los agregados en hormigones estructurales.
- Los agregados gruesos (grava) de Zapallar, se recomienda utilizarlos en trabajos albañilería y de hormigones pobres, y las arenas finas en el filler de la mezcla asfáltica (concreto asfáltico) para pavimento flexible.
- A partir de los ensayos de caracterización de los materiales de las canteras de Zapallar y Campo Hediondo se concluye que en cuanto a sus características granulométricas Zapallar entra en especificaciones pero Campo Hediondo en el Tamiz · 200 tiene exceso de finos.
- En lo que se refiere a la dureza de los agregados basados en los resultados del ensayo en la Maquina de los Ángeles se concluye que ambos están dentro es

decir menor al 40% de desgaste, Zapallar con 29,22% y Campo Hediondo con 25,62%.

- Con referencia a la dosificación el uso de agregados alternativos no implicó utilizar alguna modificación en la metodología, al contrario se utilizó los mismos métodos tradicionales para los cuales se determinaron las proporciones en función a las características particulares de los agregados de Zapallar y Campo Hediondo.
  
- A partir de los resultados de las roturas de probetas de prueba en hormigones de 110 Kg/cm<sup>2</sup>, 130 Kg/cm<sup>2</sup>, 150 Kg/cm<sup>2</sup> y 180 Kg/cm<sup>2</sup>, nos muestran que los resultados proyectados a 28 días dan resistencias satisfactorias por lo que concluimos que ambos materiales de Zapallar y Campo Hediondo pueden ser utilizados para la elaboración de este tipo de hormigones.
  
- Como conclusión final a manera de corolario podemos concluir que es necesario estudiar la posibilidad de canteras alternativas a los ríos y quebradas para evitar la sobreexplotación de éstas, pudiendo conseguirse los mismos resultados con otros materiales de yacimientos alternativos.

## **5.2 RECOMENDACIONES.-**

Después de todo el estudio realizado, las recomendaciones a las que se pueden llegar son resumidas a continuación:

- Vale destacar que los resultados obtenidos benefician a las empresas constructoras, así como a las empresas explotadoras de material.
- Al mismo tiempo que es una información para los estudiantes de ingeniería civil, quienes podrán aplicar sus conocimientos de aula, en el área de la investigación y la práctica de campo.

- El tiempo de fraguado depende de varios factores tales como la temperatura, tipo y cantidad de cemento, cantidad de agua etc.
- De acuerdo a la caracterización de los agregados de Campo Hediondo y de Zapallar y basados en su dureza los dos entran en especificación por lo tanto son recomendables para la confección de Hormigones.
- La temperatura ambiente debe ser entre 18 °C y 24 °C en el sitio de realización de los Hormigones, para tener un fraguado y endurecimiento normal y así no se produzcan fisuras por retracción plástica.
- Las dosificaciones de prueba de mezclas de hormigones debe ser complementada con ensayos de laboratorio de los materiales relacionados con el hormigón.
- El contenido de arcilla máximo permitidos en la grava deben ser de 0.25% como máximo.
- La duración del mezclado del hormigón debe ser aproximadamente la necesaria para conseguir una mezcla íntima y homogénea de los distintos componentes, debiendo resultar el agregado bien cubierto de la pasta de cemento.
- Para el hormigón resulte compacto debe emplearse el medio de consolidación más adecuado a su consistencia, de manera que se eliminen los huecos y se obtenga un completo cerrado de la masa, sin que llegue a producirse la segregación.
- Se recomienda que el tiempo que transcurra desde el amasado hasta la compactación en obra sea el menor posible, ya que con el transcurso del tiempo la trabajabilidad del mismo va disminuyendo y por consiguiente pierde resistencia.