

## **Evaluación del hormigón de cemento portland**

MARÍA MERCEDES JIMENEZ MENOZCAL  
CARLOS OLMEDO MORA CABRERA  
JULIO VARGAS JIMÉNEZ  
FRANCISCO JAVIER CORDOVA RIZO



**Evaluación del  
hormigón de  
cemento portland**

**Primera edición**

Evaluación del  
hormigón de  
cemento portland

Autores

MERCEDES JIMENEZ  
CARLOS MORA  
JULIO VARGAS  
JAVIER CORDOVA

Primera edición  
Agosto 2017



Libro sometido a revisión de pares académicos.

Edición  
Diagramación  
Diseño  
Publicación

**Maquetación.**

Grupo Compás

Cámara Ecuatoriana del Libro - ISBN-E: 978-9942-760-68-5

Guayaquil - Ecuador

## Índice.

Introducción .....	5
Situación y delimitación .....	7
Justificación .....	8
Antecedentes .....	9
Pavimento .....	12
Comportamiento del Pavimento .....	12
Indicadores de Comportamiento .....	13
Tipos de pavimento .....	13
Pavimento flexible .....	13
Pavimento rígido .....	14
Funciones de las capas de un pavimento rígido .....	16
Contaminación salina. ....	28
Calidad del hormigón. ....	29
Efecto del hormigón endurecido.....	32
Procedimiento en campo.....	34
Muestreo .....	35
Densidad relativa o masa específica.....	35
Perdida por lavado. ....	37
Módulo de finura.....	38
Sustancias perjudiciales del hormigón. ....	41
<i>Partículas en suspensión.</i> .....	41
PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN.....	48
Propiedades del hormigón en estado endurecido.....	51
Procedimiento. ....	54
Análisis de los resultados .....	61
Interpretación de resultados resistencia a compresión .....	61
Conclusiones .....	66
Recomendaciones.....	68
Bibliografía .....	71

## Introducción

Los pavimentos de hormigón, también denominados como Pavimentos Rígidos, utilizan una capa de hormigón, simple o armado, como superficie de rodado para la circulación vehicular, la que se localiza apoyada directamente sobre una base granular.

Debido a que el hormigón muestra deformaciones de acortamiento durante su manipulación, las que se producen a partir de su endurecimiento inicial, debe ser dimensionado en secciones de un largo máximo para establecer lo que se designa como una “losa de hormigón”, y que da lugar a las designadas juntas del pavimento, dimensionamiento que le permiten controlar estas deformaciones y sus tensiones asociadas por alabeo y cargas.

El efecto de estas deformaciones es generalmente el levantamiento de los bordes en las juntas, lo que produce lo que se denomina “alabeo de la losa”, y que tiene como consecuencia una disminución de las zonas de apoyo sobre la base. Debido al peso de la zona levantada, este alabeo le induce tensiones de tracción al hormigón, las cuales aumentan más al ser dicha zona cargada por el tránsito, lo cual constituye el principal criterio que busca controlar el diseño del pavimento de hormigón.

Debido a que la rigidez del hormigón es mucho mayor que la rigidez del material de apoyo de la base granular que la soporta, la capacidad de carga está principalmente

determinada por la capacidad de la losa a deformarse y soportar estas deformaciones repetitivas al paso de los vehículos, efecto que le genera tensiones durante su uso, y que la llevan a fallar principalmente por fatiga (acciones repetitivas de carga del tránsito).

La losa tiene un gran efecto repartidor de cargas, las cuales provienen de su peso propio y de las cargas que sobre ella circulan, por lo que la presión de contacto entre la losa y la base es sólo una pequeña fracción de la carga superficial, efecto que se denomina usualmente como “acción de viga” de los pavimentos rígidos y que le permiten no exigir tanta capacidad a la base de apoyo, en comparación a los pavimentos flexibles.

El diseño estructural de un pavimento de hormigón está condicionado por una serie de factores que determinan la capacidad que deberá tener el pavimento en cuanto a resistencia del hormigón, y espesor de la losa. Dentro de ellos se encuentran los siguientes:

- Tránsito solicitante, expresada en Ejes Equivalentes (EE).
- Longitud y ancho de la losa.
- Diseño y tipo de juntas (forma y espaciamiento).
- Características climáticas y de drenaje.
- Módulo de reacción de la subrasante K.
- Propiedades del hormigón.
- Tipo de confinamiento.
- Expectativas de construcción y mantención.

## Situación y delimitación

Este trabajo aborda lo relacionado a los efectos del contenido de alta salinidad de la arena de mar utilizada para la realización del concreto de hormigón de cemento Portland, a la resistencia del hormigón, en los esfuerzos de compresión y a flexión, para conocer esta afectación se procede a efectuar las pruebas de rotura de los cilindros de la mezcla realizada a los 7, 14, 21 y 28 días, luego de efectuado estos ensayos en los días correspondientes, estableceremos el posible grado de afectación que ocasionaría la arena con alta salinidad en la resistencia del hormigón. Las fuentes y los materiales empleados en la mezcla son los siguientes:

AGREGADOS	FUENTE DE MATERIAL
Agregado Grueso (piedra)	Huayco
Agregado Fino (arena)	Rio Chimbo
Agregado Fino (arena)	Balneario Mar Bravo

Los pavimentos rígidos son estructuras formadas por dos capas asentadas a partir de la subrasante o terreno de fundación, su comportamiento estructural permite soportar las cargas generadas por el tráfico vehicular a través de la losa de hormigón de cemento portland. La mezcla utilizada para elaborar la losa de rodadura de este pavimento, es elaborada a partir del cemento portland, que actúa como aglomerante, agregados (piedra, arena), agua y de ser requerido un aditivo.

La losa de los pavimentos rígidos, tienen juntas longitudinales y transversales, en estas juntas para que se produzca la transferencia de cargas van ubicadas barras de acero, si la mezcla utilizada para la losa de hormigón tiene alta salinidad, va a producir deterioro por oxidación de los elementos de acero y su efecto puede incidir en el comportamiento estructural del pavimento rígido, el problema a tratarse en este trabajo es determinar la magnitud de esta incidencia, en la respuesta al esfuerzo de compresión y flexión que son sometidos en las diversas pruebas que he realizado en este documento.

La utilización de este tipo de arena, generalmente se da en sectores que están cerca de la playa, por descuidos técnicos o aspecto económico, situación que se evidencio en los daños de las losas de los pavimentos rígidos luego del terremoto de abril del 2016.

Este trabajo nos va a permitir conocer la incidencia que va a ocasionar en el comportamiento físico, mecánico del hormigón para losa de pavimento rígido la presencia de arena con alta salinidad.

### **Justificación**

Los hormigones para las obras de ingeniería civil deben ser elaborados acorde a las especificaciones técnicas y materiales adecuados para lograr la resistencia necesaria estimada en el diseño, el empleo de materiales que no cumplen los parámetros establecidos oportunamente, como la arena de mar, la cual contiene alto porcentaje de cloruro



químico que afecta la estructura (columna, losa, cimentación) así como también la resistencia, lo que finalmente puede ocasionar que una inversión se arruine, por lo que es importante mediante este estudio establecer esta afectación en las propiedades del hormigón.

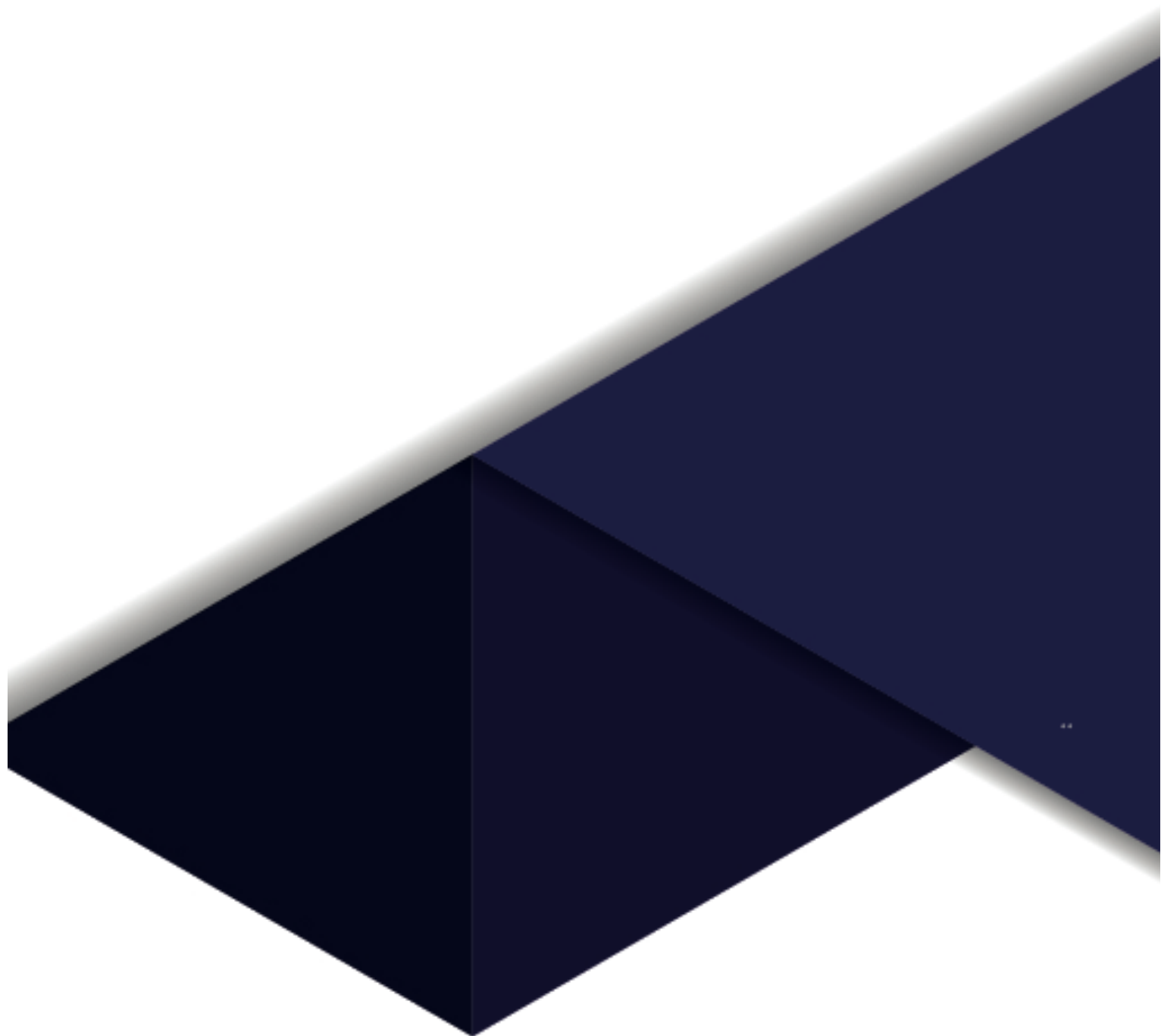
Este trabajo, busca establecer la incidencia de la arena de alto contenido de salinidad en el comportamiento del hormigón de cemento portland para losa de pavimento rígido, con diferentes resistencias, para determinar esta variedad de resistencias.

Para lograr estos resultados, se procede a fabricar mezclas de hormigón de cemento portland con varias resistencias;  $f'c = 280, 320, 350 \text{ kg/cm}^2$  utilizando arena de río (Río Chimbo) y arena de la Costa Ecuatoriana (Mar Bravo), Realizar ensayos geomecánicos de los agregados piedra y arenas, elaborar ensayo a la resistencia a la compresión y flexión utilizando las normas correspondientes a dichos ensayos.

### **Antecedentes**

El terremoto de magnitud 7.8, acaecido el 16 de abril del 2016, a una profundidad de 20 km en las costas de la Provincia de Manabí, el cual dejó cientos de víctimas, ante el colapso de edificaciones, principalmente en sus elementos de hormigón, lo que se supone que se originaron por la falta de control de calidad, normas de construcción obsoletas, que no se ajustaban a las necesidades de una zona altamente sísmica como lo es la costa ecuatoriana, lo que permitía construcciones, que según estudios técnicos de las

estructuras colapsadas, determinaron que la mayoría de ellas tenían como aspecto común el uso de materiales no adecuados para la elaboración del hormigones de cemento portland uno de ellos la arena.



## **Pavimento**

Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el período para el cual fue diseñada la estructura del pavimento (Montero, 2002).

### **Comportamiento del Pavimento**

El comportamiento de un pavimento puede definirse como la capacidad estructural o funcional a lo largo de su periodo de diseño. El público usuario le asigna valores relativos de acuerdo a su calidad de rodadura, seguridad, aspecto y conveniencia.

La capacidad funcional comprende:

- Calidad aceptable de rodadura.
- Adecuada fricción superficial
- Geometría apropiada para seguridad.
- Aspecto estético

La capacidad estructural del pavimento implica soportar las cargas impuestas por el tránsito y las condiciones ambientales.

### **Indicadores de Comportamiento**

Hay características del pavimento que pueden medirse cuantitativamente y correlaciones con las consideraciones subjetivas de los usuarios. Estas características se llaman indicaciones de comportamiento y son:

- Fallas visibles
- Capacidad estructural
- fricción superficial
- Rugosidad

### **Tipos de pavimento**

“En nuestro medio los pavimentos se clasifican en: pavimentos flexibles, pavimentos semi-rígidos o semi-flexibles, pavimentos rígidos y pavimentos articulados” (Montero, 2002).

### **Pavimento flexible**

“Este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y la subbase. No obstante, puede prescindirse de cualquiera de estas capas dependiendo de las necesidades particulares de cada obra” (Montero, 2002).

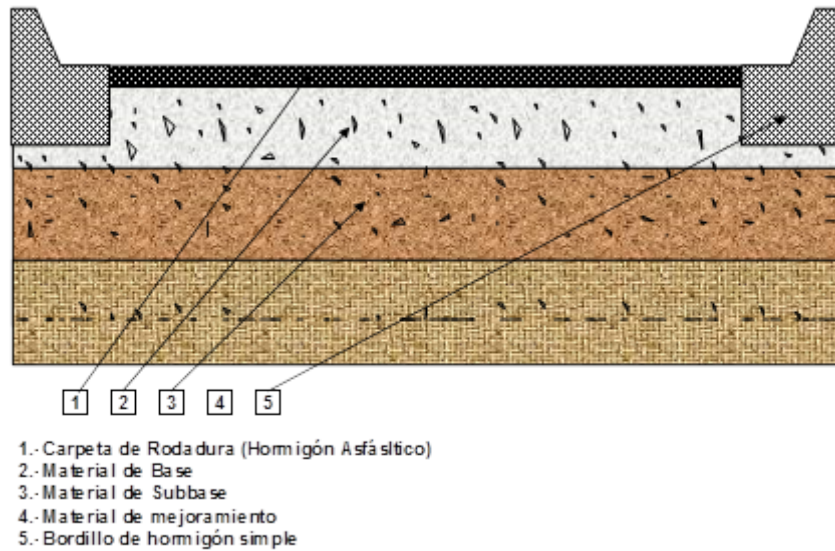


Figura N°1.- Sección Típica del Pavimento Flexible/Fuente Propia.

### **Pavimento rígido**

“Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina subbase del pavimento rígido” (Montero, 2002).

Los pavimentos rígidos o de concreto con cemento Portland tienen varias ventajas como son: mayor duración que los de asfalto, la superficie no se deforma ni con calor ni con el frenado de vehículos, mejoran la visión nocturna, requiere menor estructura de soporte, requieren un mantenimiento mínimo y tiene una mayor vida útil.

Los agregados para pavimentos rígidos o de concreto con cemento Portland, tienen propiedades que afectan el costo y las características de una mezcla de concreto. El hecho de

que los agregados cumplan los requisitos de calidad, los hace aptos para el desarrollo de resistencias altas a compresión en los concretos, por relacionado la resistencia intrínseca de los agregados adquiere mayor relevancia y sus requisitos se vuelven más estrictos, no sólo en resistencia sino también en los aspectos de adherencia con la pasta de cemento.

En los pavimentos rígidos o de concreto con cemento Portland se requieren agregados que posean una resistencia para evitar el desgaste, la degradación o la disminución causada por la abrasión. Durante la vida útil la acción del tráfico puede desgastar y deteriorar las superficies si el agregado no es lo suficientemente resistente.

Las propiedades físicas y mecánicas de los agregados, tienen una influencia directa en la resistencia del concreto tanto en su etapa de fraguado, de resistencia y de durabilidad. Los materiales adecuados para la construcción de pavimentos, dependen en gran parte, de sus propiedades que los hacen mantenerse estables y soportar las cargas a que son sometidos.

Por tal motivo el estudio de estas propiedades, permite distinguir los materiales más satisfactorios de los que no lo son.

Dentro del presente proyecto de investigación se analizará, estudiará y evaluará la influencia del uso de agregado fino con alto contenido de salinidad. Con los resultados finales obtenidos de todos los ensayos de laboratorio, se contará con una suficiente información que

pueda describir el real comportamiento que presentan los hormigones con alto contenido de salinidad.

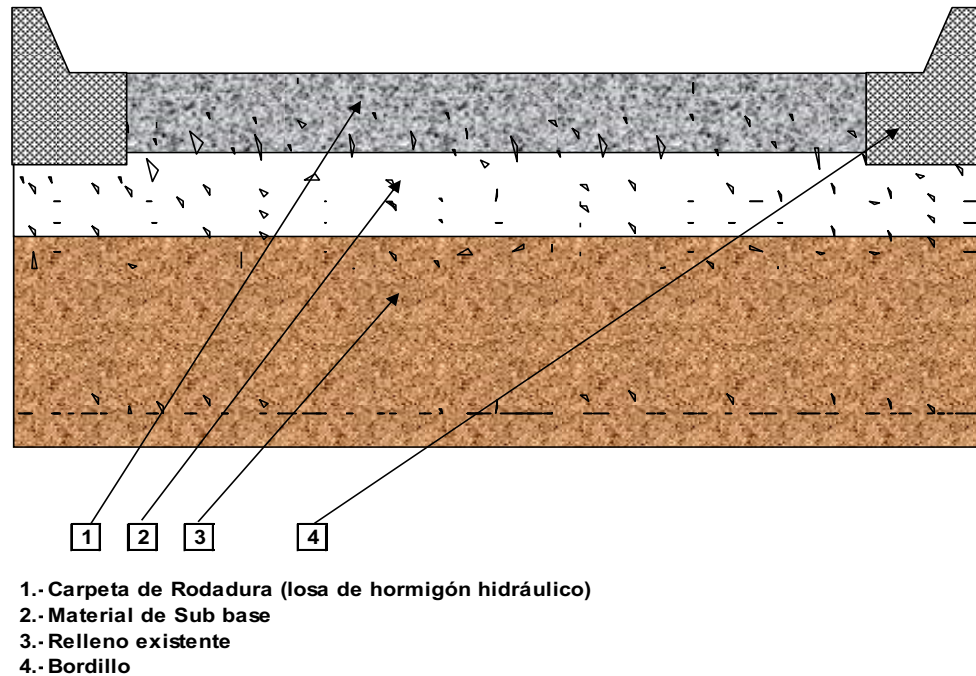


Figura N°2.- Sección Típica del Pavimento Rígido/Fuente Propia

## **Funciones de las capas de un pavimento rígido**

### **La subbase**

La función más importante es impedir la acción del bombeo en las juntas, grietas y extremos del pavimento. Se entiende por bombeo a la fluencia de material fino con agua fuera de la estructura del pavimento, debido a la infiltración de agua por las juntas de las losas. El agua que penetra a través de las juntas licúa el suelo fino de la subrasante facilitando así su evacuación a la superficie bajo la presión



ejercida por las cargas circulantes a través de las losas(Montero, 2002).

- Servir como capa de transición y suministrar un apoyo uniforme, estable y permanente del pavimento.
- Facilitar los trabajos de pavimentación.
- Mejorar el drenaje y reducir por tanto al mínimo la acumulación de agua bajo el pavimento.
- Ayudar a controlar los cambios volumétricos de la subrasante y disminuir al mínimo la acción superficial de tales cambios volumétricos sobre el pavimento.
- Mejorar en parte la capacidad de soporte del suelo de la subrasante.

### **Losa de pavimento**

“Las funciones de la losa en el pavimento rígido son las mismas de la carpeta en el flexible, más la función estructural de soportar y transmitir en nivel adecuado los esfuerzos que le apliquen” (Montero, 2002).

### **Requerimientos mínimos para la construcción de pavimentos rígidos:**

- Requisitos de los Materiales.
- Dosificación.
- Equipos Necesarios.
- Procedimiento Constructivo.
- Juntas de Concreto.
- Sellos de Juntas.

- Prevención y Corrección de Defectos.

## **CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONES DE LOS COMPONENTES PARA LOSA DE PAVIMENTO CON CEMENTO PORTLAND.**

### **Cemento.**

En termino generales, el concreto u hormigón puede definirse como la mezcla de un material aglutinante (cemento portland hidráulico), un material de relleno (agregado o áridos), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forma un todo compacto (piedra artificial) y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión (Sánchez de Guzmán, 2000).

Tiene propiedades tanto adhesivas como cohesivas, que dan capacidad de aglutinar los agregados o áridos para conformar el concreto. Estas propiedades dependen de su composición química, el grado de hidratación, la finura de las partículas, la velocidad de fraguado, el calor de hidratación y la resistencia mecánica que es capaz de desarrollar (Sánchez de Guzmán, 2000).

### **Agua.**

La razón de que los cementos sean hidráulicos es que estos tienen propiedad de fraguar y endurecer con el agua, en virtud de que experimentan una reacción química con ella, de tal manera que el agua como material dentro del concreto es

el elemento que hidrata las partículas de cemento y hace que estas desarrollen sus propiedades aglutinantes.

Al mezclarse el agua con el cemento se produce la pasta, la cual puede ser más o menos diluida, según la cantidad de agua que se agregue. Al endurecer la pasta, como consecuencia del fraguado, parte del agua queda fija (agua de hidratación) en la estructura rígida de la pasta y el resto queda como agua evaporable. (Sánchez de Guzmán, 2000, p.22).

### **Aire.**

Cuando el concreto se encuentra en proceso de mezclado, es normal que quede aire incluido dentro de la masa (aire naturalmente atrapado), el cual posteriormente es liberado por los procesos de compactación a que es sometido el concreto una vez ha sido colocado. Sin embargo, con la compactación no es perfecto, quedo siempre un aire residual dentro de la masa endurecida. (Sánchez de Guzmán, 2000, p.23).

### **Pasta de cemento.**

Cuando la mezcla se encuentra en estado plástico la pasta actúa como lubricante de los agregados, comunicando fluidez a la mezcla, lo cual permite que la colocación y consolidación del concreto sean adecuadas, ya que un alto grado de confinamiento conduce a una mayor resistencia.

Cuando la mezcla se encuentra en estado sólido, la pasta de cemento cierra los espacios que hay entre las partículas al aglutinarse, reduciendo la permeabilidad del concreto y evitando el desplazamiento de agua dentro de la masa endurecida, lo cual es crítico en estructuras hidráulicas o en concreto que estén expuestos a la acción de aguas agresivas que eventualmente puede degradar la estructura de la masa haciéndole perder resistencia.

Adicionalmente, la pasta fraguada y endurecida en unión de los agregados contribuye a suministrar la resistencia mecánica características a la compresión, lo cual depende la llamada interface agregado-pasta, o agregado matriz (Sánchez de Guzmán, 2000, p.23).

### **AGREGADOS.**

La razón principal de la utilización de los agregados dentro de una mezcla de hormigón, es que estos actúan como material de relleno, haciendo más económica la mezcla.

Los agregados, en combinación con la pasta fraguada proporcionan parte de la resistencia mecánica característica a la compresión, debido a que, como se mencionó anteriormente, estos tienen una resistencia propia que aportar al concreto como masa endurecida.

Cuando la mezcla de concreto pasa del estado plástico al estado endurecido durante el proceso de fraguado, los agregados controlan los cambios volumétricos de la pasta,

evitando que se generen agrietamientos por retracción plástica que puedan afectar la resistencia del concreto (Sánchez de Guzmán, 2000, p.23).

A los agregados se los puede especificar como una recolección de partículas de distintos tamaños que se pueden encontrar en el ambiente o como resultado s la trituración de rocas.

En los hormigones estructurales, los agregados pueden llegar a ocupar del 60% al 75% del volumen del concreto y su ves intervienen directamente en las características del hormigón en su estado fresco y endurecido pues de sus propiedades físicas y mecánicas depende las propiedades de los componentes de la mezcla.

Los agregados para hormigón se pueden clasificar en:

**Agregado Fino.** - es el árido en nuestro medio se denomina “arena”, cuyas partículas pasan en su totalidad por el tamiz # 4(de 4.75mm) y son retenidas en el tamiz # 200(de 75  $\mu$ m)

**Agregado Grueso.** - es el material pétreo denominado localmente como “piedra” y que es retenido predominantemente por el tamiz # 4(de 4.75 mm).

**Fragmentos de Roca.** - son los agregados con tamaño mayor a 3” (de 75 mm), que se usan tradicionalmente para la preparación de hormigón ciclópeo.

**Agregado Ligero.** - se conoce así a los áridos finos o gruesos que por su baja densidad y resistencia limitada a la compresión son efectivamente utilizados en la fabricación de los denominados hormigones ligeros.

### **Funciones de los agregados.**

La razón principal de la utilización de los agregados dentro de una mezcla de hormigón, es que estos actúan como material de relleno, haciendo más económica la mezcla.

Los agregados, en combinación con la pasta fraguada proporcionan parte de la resistencia mecánica característica a la compresión, debido a que, como se mencionó anteriormente, estos tienen una resistencia propia que aportar al concreto como masa endurecida.

Cuando la mezcla de concreto pasa del estado plástico al estado endurecido durante el proceso de fraguado, los agregados controlan los cambios volumétricos de la pasta, evitando que se generen agrietamientos por retracción plástica que puedan afectar la resistencia del concreto. (Sánchez de Guzmán, 2000, p.23).

## **PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS.**

### **Agregado Fino.**

- **Granulometría.**

Siendo la granulometría la distribución de los tamaños de las partículas, esta debe cumplir con los límites de la norma (ASTM C-33)<sup>11</sup> indicada a continuación:

Tamaño de la malla	Porcentaje que pasa en peso
9.52 mm (3/8")	100
4.75 mm (No.4)	95 a 100
2.36 mm (No.8)	80 a 100
1.18 mm (No.16)	50 a 85
0.60 mm (No.30)	25 a 60
0.30 mm (No.50)	10 a 30
0.15 mm (No.100)	2 a 10

Ilustración 3 Tamaño de Tamices ASTM C-33

Fuente:(ASTM C-33., 2016)

### **Módulo de Finura.**

El módulo de finura (MF) es un parámetro que da una idea del grosor o finura del agregado y se lo obtiene mediante la norma ASTM C – 125.

- **Densidad Relativa.**

La densidad relativa (denominada gravedad específica) de un árido es la relación entre su masa y la masa de agua con igual volumen absoluto. Generalmente los agregados de origen natural tienen densidades relativas entre 2.4 y 2.9. Este ensayo se lo realiza de acuerdo a la norma NTE INEN 856.

### **Contenido de Humedad.**

Los agregados pueden llegar a presentar cierto grado de humedad lo cual está relacionado con la porosidad de las partículas. Adicionalmente las partículas de árido pueden

pasar por cuatro estados, los cuales se describen a continuación:

A- Seco al horno (OD): se consigue mediante un secado al horno a 110 C hasta que el agregado tenga un peso constante (por lo general 12 horas).

B- Seco al aire (AD): se logra mediante la exposición de las partículas al aire libre.

C- Saturada superficie seca (S.S.S): es un estado límite en donde todas las partículas presentan sus poros completamente llenos de agua, pero superficialmente se encuentran secos. Este estado se logra únicamente en el laboratorio.

D- Saturado superficie húmeda: todos los agregados están llenos de agua y adicionalmente hay presencia de agua libre en su superficie.

- Peso Volumétrico.

Debe realizarse basándose en la norma NTE INEN 858, para determinar de esta manera el peso volumétrico del agregado en condición compactada o suelta y así calcular los vacíos entre áridos.

Agregado Grueso.

- Granulometría.



Es recomendable que el agregado grueso en conjunto tenga una determinada continuidad de tamaños de sus partículas, además se dice que el tamaño máximo del árido influye en el aspecto económico en la preparación del concreto, pues se necesita más agua y cemento para agregados con partículas pequeñas que para tamaños mayores.

El árido que voy hacer la ejecución de mis mezclas es una piedra caliza ya que contiene cal y tiene un mejor comportamiento con el cemento de portland.

Conforme a las especificaciones de la norma ASTM E-11 la serie de tamices necesarios para la determinación del análisis granulométrico del árido grueso son: 2", 1/2", 1", 3/4", 1/2", 3/8", #4.

- Densidad Relativa.

Se realiza de acuerdo a la norma ASTM C 127-80, NTE INEN 857. Mediante la aplicación de este ensayo es posible determinar la densidad promedio de una muestra de agregado grueso (descartando el volumen de vacíos entre partículas).

- Resistencia al desgaste.

En los agregados gruesos una de las características físicas cuyo análisis es indispensable pues influye en la durabilidad y adecuada resistencia del concreto es la Resistencia a la Abrasión o Desgaste de los Áridos.

Sustancias perjudiciales.

Los elementos contaminados de los agregados actúan sobre el concreto reduciendo su resistencia, modificando la durabilidad y dañando su apariencia externa.

En otros casos, alteran el proceso de mezclado, incrementando la exigencia de agua o retrasando en el proceso de fraguado. De acuerdo al tipo de acción podemos clasificar los contaminantes como de carácter físico químico.

Los físicos actúan sea en el exterior del agregado, como es el caso de los finos y de las partículas adheridas o de manera externa, como los elementos con exceso de poros o partículas de diferentes e expansión térmica.

Los factores químicos se distinguen según actúen directamente sobre el cemento, como las impurezas orgánicas; o independientes de aglomerante, como los materiales solubles.

La mayoría de los agregados presentan algún grado de contaminación, pero la norma determina el porcentaje máximo admisible. Los elementos perjudiciales que generalmente se encuentra en los agregados son; los muy finos, que exigen exceso de agua, los recubrimientos que afectan la adherencia; las partículas débiles, inestable o impurezas, que actúan sobre la hidratación.

Los excesos, en la mayoría de los casos, pueden eliminarse fácilmente, mediante proceso de lavado, como sucede en los materiales finos ligeros. (La contaminación de los agregados) La cantidad de sustancias perjudiciales en el árido fino no debe exceder los límites que se especifica en la tabla.

Tabla 2. Límites para las sustancias perjudiciales en el árido fino para hormigón.

<b>SUSTANCIAS PERJUDICIAL</b>	<b>% MÁXIMO EN MASA</b>
<b>Material más fino que el tamiz INEN 75 um</b>	
a) Para hormigón sometido a abrasión	3
b) Para cualquier otro hormigón	5
Terrones de arcilla y partículas desmenuzables	3
<b>Partículas livianas (carbón y lignito)</b>	
a) Cuando la apariencia superficial del hormigón es de importancia	0.5
b) Para cualquier otro hormigón	1.0
<b>Cloruros como CL</b>	
a) Para hormigón simple	1
b) Para hormigón armado	0.4
c) Para hormigón pre esforzado	0.1
<b>Sulfatos como SO<sub>4</sub></b>	0.6
Partículas en suspensión después de 1 h de sedimentación	3

Fuente: (INEN 872, 2016)

Elaboración: Jiménez Menoscal Mercedes

### **Contaminación salina.**

Cuando el agregado, especialmente la arena, procede de depósito marino o de playas o lugares cercanos al mar, puede contener sal, que posteriormente puede causar manchas (eflorescencias) en el concreto o eventualmente corrosión en el acero de refuerzo, al absorber humedad del aire. Sin embargo, no está totalmente probado que la salinidad ejerza un efecto dañino y comprometa la estabilidad de una estructura. (Sánchez de Guzmán, 2000, p.101)

### **PH.**

Es un indicador de la cantidad de  $[H^+]$  en la disolución que se forma al poner una determinada cantidad de agua destilada en contacto con una cantidad de suelo. Por tanto, el pH se utiliza como indicador de la concentración de los iones hidrogeno en el suelo.

### **Conductividad eléctrica.**

La conductividad de una disolución va a depender de la concentración de sales, ya que se produce por el transporte de electrones entre los electrodos realizados por los portadores de carga presentes (iones), por lo que, al aumentar la concentración, aumentara la conductividad.

## **Calidad del hormigón.**

El primer período del control de calidad aborda con los componentes del hormigón: agregados grueso y fino, agua, cemento y eventualmente aditivos. Una vez que se puede asegurar que los componentes que se emplean son los apropiados, se debe asegurar que las proporciones que intervienen en la mezcla sean las que corresponden a la dosificación elegida, cualquiera sea el método empleado para dosificar y la forma de medición. Evidentemente, es preferible la medición de los mismos en peso porque se obtiene una menor variación.

En algunos casos, como cuando se emplean aditivos o se pretende un hormigón de buena calidad, la medición en peso de todos los componentes es necesaria.

Sostenidas las proporciones de la mezcla, se debe verificar que el hormigón esté correctamente mezclado, que sea homogéneo y que presente características adecuadas en estado fresco.

Conviene entonces evaluar estas características, para lo cual se consideran algunas de sus propiedades, es decir, se emplean procedimientos prácticos que permiten asignar un número a esa propiedad. De esa manera se evitan los juicios subjetivos en la calificación del hormigón fresco.

El hormigón fresco debe colocarse y compactarse adecuadamente. Una vez que el hormigón está colocado y terminado, asegurándonos que no haya ondulaciones excesivas y que posea una correcta textura, se inicia la etapa de curado. Este proceso tecnológico consiste en darle al hormigón las condiciones de humedad apropiadas para posibilitar la evolución de resistencia. Es claro que el componente que evoluciona es el cemento, el que, al reaccionar con el agua, hace que la mezcla fragüe (se transforme en un sólido) y luego endurezca paulatinamente hasta alcanzar la resistencia deseada.

Este proceso es paulatino; se acelera con altas temperaturas y se retarda con temperaturas bajas, por lo que se debe tener en cuenta este factor. Además, un correcto curado permite evitar la aparición de fisuras no deseadas (Jimenez, 2001).

#### Efectos del hormigón fresco.

Se designa como hormigón fresco al hormigón que al presentar plasticidad tiene el dominio de moldearse. El hormigón fresco tiene una vida adquirida entre el momento en que culmina el proceso de mezclado manual o mecánica y aquel en que inicia el fraguado del cemento, siendo este periodo de tiempo variable dependiendo del tipo de cemento utilizado, de la cantidad de agua, de la temperatura ambiental, de la incorporación de aditivos, etc.

### Revenimiento.

El concreto recién mezclado debe ser plástico o semifluido y capaz de ser moldeado. El revenimiento se utiliza como medida de la consistencia del concreto. El concreto debe ser fabricado para tener siempre una trabajabilidad, consistencia y plasticidad adecuadas a los parámetros solicitados. La trabajabilidad es una medida de lo fácil o difícil que resulta colocar, consolidar y darle acabado al concreto; la consistencia es la facultad del concreto fresco para fluir; la plasticidad determina la facilidad de moldear al concreto.

### Temperatura del concreto.

La temperatura es uno de los factores más importantes que influyen en la calidad, tiempo de fraguado y resistencia del concreto; sin el control de la temperatura del concreto, adivinar su comportamiento es muy difícil, si no imposible.

Un concreto con una temperatura inicial alta, probablemente tendrá una resistencia superior a lo normal a edades tempranas y más bajas de lo normal a edades tardías. La calidad final del concreto probablemente se verá también disminuida. Por el contrario, el concreto colado y curado a temperatura bajas desarrollará su resistencia a una tasa más lenta pero finalmente tendrá una resistencia más alta y será de mayor calidad.

## **Efecto del hormigón endurecido.**

El concreto presenta un proceso de endurecimiento continuo que lo transforma de un material plástico a uno sólido, debido a que pasa por una fase físico-química compleja. En esta etapa las propiedades del concreto se desarrollan con el tiempo, dependiendo de las características y dosificaciones de los diferentes componentes, adicionalmente de las condiciones medio ambientales a las que estará expuesto a lo largo de su vida útil.

### a) Permeabilidad.

El hormigón es un material permeable, es decir que, al estar sometido exteriormente a presión de agua, se genera escurrimiento a través de su superficie. El parámetro que más influye es la relación agua/cemento, pues al disminuir esta disminuye la permeabilidad del concreto.

### b) Resistencia a la Compresión.

El hormigón convencional es una materia que resiste las sollicitaciones de compresión, tensión y flexión: siendo la resistencia a compresión la más elevada de todas, cifrando resultados diez veces más en comparación a la de tensión.

- Resistencia característica. - valor de la resistencia a la compresión del hormigón simple, si se ensayan varias muestras en el laboratorio, el 95% de las probetas tienen resistencias mayores o iguales.



- Resistencia media. - media aritmética entre las resistencias a compresión obtenidas de varias muestras de hormigón.

c) Resistencia a la flexión.

La resistencia a la flexión es para estructuras de concreto simple, tales como pavimentos, en donde adicionalmente aparecen esfuerzos de tracción ocasionados por la flexión de las placas, al paso de los vehículos.

**Resistencia a la ruptura:** Debido a que los pavimentos de concreto trabajan principalmente a flexión es recomendable que su especificación de resistencia sea acorde con ello, por eso el diseño considera la resistencia del concreto trabajando a flexión, que se le conoce como resistencia a la flexión por tensión ( $S'c$ ) ó Modulo de Ruptura (MR) normalmente especificada a los 28 días. Los valores recomendados para el módulo de ruptura varían desde 41 Kg/cm<sup>2</sup> (583 psi) hasta los 50 Kg/cm<sup>2</sup> (711 psi) a los 28 días dependiendo del uso que vayan a tener (Centeno, 2010).

A continuación, se presenta el módulo de ruptura recomendado según el tipo de pavimento:

Tipo de Pavimento	Modulo de Ruptura (MR) Recomendado	
	Kg/cm <sup>2</sup>	psi
Autopista	48.0	682.7
Carreteras	48.0	682.7
Zonas Industriales	45.0	640.1
Urbanas Principales	45.0	640.1
Urbanas Secundarias	42.0	597.4

Figura N°3.- Pavimento

Rígido/oswaldodavidpavimentosrigidos.blogspot.com

### Procedimiento en campo

La metodología realizada fue experimental, se enfocó en la medición directa de las propiedades físicas y mecánicas de los agregados y del concreto en estado fresco y endurecido, en un periodo a corto y mediano plazo utilizados en la construcción de pavimentos rígidos, en muestras de cilindros y vigas; realizando las pruebas de los agregados en el laboratorio de mecánica de suelos y resistencia de material BORLETI S.A. que cuenta con los equipos calibrados para las pruebas de compresión y flexión.

El procedimiento utilizado en la realización de esta basado en las normas nacionales Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO); y las normas Internacionales: American Society for Testing and Materials (ASTM), American Institute (ACI) y Portland Cement Association (PCA).

## **Muestreo**

Como primer paso se ejecutó la toma de muestras de agregados tanto grueso y fino material homogéneo.

Material grueso fue escogido de la cantera Huayco ya que es piedra caliza y se adhiere mejor con el cemento y que contienen cal.

Material fino fue de dos partes:

Arena del río Chimbo es la arena más convencional en el mercado de la construcción por sus características geomecánicas.

Arena del Balneario Mar Bravo por su alto contenido de salinidad, ya que se encuentran los diques de sal o también conocidos como pozo o minas de sal también está ubicada la planta de Ecuasal.

### **Densidad relativa o masa específica.**

Es una de las propiedades físicas más importante de los agregados que debemos tomar en cuenta para establecer si los materiales son apropiados para utilizar en una mezcla de concreto.

Son determinados en agregados gruesos (ASTM C127) y agregados finos (ASTM 128). La norma ASTM la define como la densidad relativa o masa específica es utilizada para calcular el volumen absoluto ocupado por el agregado en la mezcla de concreto y puede ser calculado para agregados en condición saturados superficialmente secos o secos.

Los trabajos con concreto, el termino masa especifica se refiere a la densidad relativa o masa especifica de la partícula individual y no a la masa de agregado como un entero. La densidad relativa o masa especifica de un agregado es la relación de su peso respecto al peso de un volumen absoluto igual de agua (agua desalojada por inmersión) se usa cálculos para el acuerdo de mezclas.

### **Absorción.**

Aumento en la masa de un agregado seco, cuando es sumergido en agua durante 24 horas a temperatura ambiente; este incremento de masa es debido al agua que se introduce en los poros del material y no incluye el agua adherida a la superficie de las partículas. Se expresa como por ciento de masa seca y es el índice de la porosidad del material.



Ilustración 1 Ensayo de Absorción

Fuente: Jiménez Menoscal Mercedes

### **Perdida por lavado.**

Los materiales más finos, que pasan por la malla No. #200 (0.075 mm), especialmente el limo y la arcilla, pueden estar concurrentes en forma de polvo o bien obtienen formar un recubrimiento de las partículas de los agregados; formando recubrimientos muy delgados de limo y arcilla, que pueden afectar la adherencia entre estos la pasta de cemento.

La mayoría de las especificaciones limitan la cantidad permisible de limos y arcillas en los agregados. El contenido del polvo de arcilla, hace la mezcla menos plástica.

## Módulo de finura.

El método de ACI indica que el módulo de finura se utiliza a menudo como un índice de la fineza de un agregado que cuando más alto es el módulo de finura, más grueso será el agregado fino, afectando también la cantidad de agregado grueso en la proporción de mezclas. "Su módulo de finura no debe ser menor de 2.3 ni mayor a 3.1" (INEN 872 - Instituto Ecuatoriano de Normalización, 1983). Sumando los porcentajes retenidos acumulados en los tamices estándar y dividiendo la suma entre 100.

Los tamices que se utilizan para determinar el módulo de finura son los siguientes: N° 100 (0.15 mm), NO. 50 (0.30 mm), NO. 30 (0.60 mm), NO. 16 (1.18mm), No. 8 (2.36 mm), NO. 4 (4.75 mm), NO. 3/8" (9.52 mm). Algunos valores de MF límites son:

<b>ARENA</b>	<b>MODULO DE FINURA (MF)</b>
GRUESA	2.0 a 3.5
FINA	1.5 a 2.5
MUY FINA	0.5 a 1.5

Fuente: (Jiménez Menoscal Mercedes, 2016)  
Elaboración: Jiménez Menoscal Mercedes

## Granulometría.

Una vez que el material representativo obtenido en campo totalmente seco, se utiliza una serie de tamices con diferentes diámetros que son ensamblados en una columna. En la parte superior, donde se encuentra el tamiz de mayor

diámetro, se agrega el material y la columna de tamices se somete a vibración y movimientos rotatorios intensos en una maquina especial. Luego de algunos minutos, se retiran los tamices los tamices y se desarticulan, tomando por parado los pesos de material retenido en cada uno de ellos y que, en su suma, deben corresponder al peso total del material que inicialmente se colocó en la columna de tamices.



Ilustración 2 Máquina para Ensayo de Granulometría

Fuente: Jiménez Menoscal Mercedes

Peso volumétrico seco suelto y compactado.

El peso del agregado que se requiere para llenar un recipiente con un volumen unitario conocido. Puede ser seco suelto en el cual las partículas se adaptan por si mismas (grava y arena) o seco compactado donde a través de varillado se busca los espacios entre las partículas.

La determinación de la masa volumétrica compactada. Ajustable a agregados que tengan un tamaño máximo nominal de 40 mm o menor. El recipiente se llena hasta la tercera parte de su volumen y la superficie se aplana con los dedos. El material se compacta con la varilla dándole 25 penetraciones, distribuida uniformemente sobre la superficie, con una fuerza tal que no triture las partículas del agregado. A continuación, se agrega material hasta dos terceras partes de su volumen y nuevamente se compacta con 25 penetraciones. El recipiente se llena totalmente hasta que el material sobrepasa el borde superior, y se vuelve a compactar con 25 penetraciones. El enrase se trata de agregado fino, se hace con el enrasador o regla metálica, mediante operaciones de corte horizontal. Cuando se trata del agregado grueso, se hace visualmente, quitando y poniendo partículas, de tal manera que los salientes sobre la superficie del borde compensen las depresiones por debajo de él.

Se determina la masa total del recipiente con el material. Se calcula la masa neta del material en el recipiente. La masa volumétrica del agregado, se obtiene multiplicando la masa neta del agregado en kilogramos (kg), por el factor determinado en la sección "Calibración del recipiente".

La masa volumétrica suelta aplicable a los agregados que tengan un tamaño máximo nominal de 100mm o menor. El recipiente se llene hasta que el material sobrepase el borde



sin derramarse, por medio de una pala o cucharón, dejando caer agregados de una altura no mayor de 500 mm sobre el borde del recipiente distribuyéndolo uniformemente, para evitar la segregación. El enrase se hace de la misma manera forma que se indicó en “Compactación con varilla o con impactos”.

Se calcula la masa neta del agregado en kg, contenida en el recipiente. La masa volumétrica del agregado se obtiene multiplicando la masa neta del agregado en kilogramos (kg), por el factor determinado en la calibración del recipiente. La masa volumétrica obtenida en kilogramos por metro cúbico ( $\text{kg/m}^3$ ), determinada por estos métodos de prueba, es para agregados secos.

El peso volumétrico es utilizado en la estimación de cantidades del material y en el proporcionamiento de mezclas, depende principalmente de los agregados pétreos que empleen. Están afectados por varios factores como la humedad, densidad en masa, textura y forma de la partícula.

### **Sustancias perjudiciales del hormigón.**

#### ***Partículas en suspensión.***

Colocar la muestra de ensayo en la probeta y luego añadir agua hasta llenar las tres cuartas partes de Su capacidad.

Taponar la probeta, agitarla fuertemente varias veces, y dejarla en reposo para que se produzca la sedimentación de las partículas del árido.

Una hora después de haber agitado la probeta, leer la altura de la capa de partículas sedimentadas en la escala de la probeta graduada. (NTE, 1976)

### ***Determinación de cloruros.***

Dependiendo del contenido de cloruros, transferir, mediante una pipeta, a un vaso de precipitación, una alícuota de 10, 20, 50 o hasta 100 cm<sup>3</sup> de la solución preparada.

Diluir la solución hasta 150 cm<sup>3</sup> con agua destilada y luego añadir 1 cm<sup>3</sup> de ácido nítrico diluido 1:1

Añadir gota a gota de solución de nitrato de plata, agitando el contenido hasta que deje de producirse el precipitado de cloruro de plata

Al finalizar la operación anterior, calentar el contenido hasta una temperatura cercana al punto de ebullición, agitándolo para facilitar la coagulación del precipitado. Todas estas operaciones deben efectuarse con muy poca luz

Tapar el vaso de precipitación con un vidrio de reloj y colocarlo en un lugar oscuro por un lapso de una a dos horas. Después de este período, filtrar la solución a través de un Gooch tarado, previamente preparado con asbesto seco.

Lavar dos o tres veces por decantación la parte del precipitado de cloruro de plata que queda en el vaso, con solución de ácido nítrico aproximadamente 0,01 N y luego filtrar a través del mismo Gooch.

Una vez transferido totalmente el precipitado al Gooch, lavar éste, primero con solución de ácido nítrico aproximadamente 0,01 N y luego dos veces con agua destilada, para eliminar el ácido nítrico

Secar el Gooch con el precipitado en el horno a una temperatura de  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$  hasta masa constante, la misma que debe determinarse en la balanza analítica (865, 1976)

### ***Determinación de sulfatos.***

Transferir a un vaso de precipitación una alícuota de la solución preparada y acidificarla con ácido clorhídrico concentrado.

Añadir luego 5 cm<sup>3</sup> de la solución de cloruro de amonio y calentar el contenido hasta ebullición.

Si la solución se enturbia, filtrarla y luego lavar el filtro cuatro o cinco veces con agua destilada.

Calentar el líquido filtrado hasta ebullición y añadir luego la solución de cloruro de bario gota a gota, agitando fuertemente el contenido a fin de precipitar el sulfato de bario. Agitar luego el contenido por 10 minutos más y dejar que se sedimente el precipitado.

Una vez sedimentado, filtrar el líquido a través del papel Whatman 42 o equivalente y lavarlo con agua caliente cuatro o cinco veces hasta eliminar totalmente los cloruros.

Colocar el papel con el precipitado en un crisol de porcelana previamente tratado, incinerar el conjunto hasta obtener masa constante, la misma que debe determinarse en la balanza analítica cloruros. (865, 1976)

### **Dosificación del hormigón según el método de la densidad máxima**

Para el diseño de hormigón mediante el método seleccionado es necesario contar con los siguientes datos:

- Resistencia a la compresión ( $f'c$ )
- Asentamiento requerido
- Densidad real del cemento (DRC)
- Densidad real de la arena (DRA)
- Densidad real de la piedra (DRP)
- Porcentaje óptimo de arena (POA)
- Porcentaje óptimo de piedra (POP)
- Densidad óptima de la mezcla de agregados (DOMAg)

**Procedimiento.**

- a.) Densidad real del agregado (DRAg).

$$DRAg = \frac{DRA \times POA}{100} + \frac{DRR \times POR}{100}$$

- b.) Porcentaje óptimo de vacíos (%OV).

- c.) Cantidad de Pasta (CP).

La cantidad de pasta que depende del asentamiento requerido, y se determinará de acuerdo a la siguiente tabla

Tabla 5. Cantidad de pasta para distintos asentamientos

<b>ASENTAMIENTO</b>	<b>CANTIDAD DE PASTA (%)</b>
0 – 3	$\%OV + 2\% + 3\%(\%OV)$
3 – 6	$\%OV + 2\% + 6\%(\%OV)$
6 – 9	$\%OV + 2\% + 8\%(\%OV)$
9 – 12	$\%OV + 2\% + 11\%(\%OV)$
12 – 15	$\%OV + 2\% + 13\% (\%OV)$

Fuente: (Modulo elasticidad hormigón, 2011)

Elaboración: Jiménez Menoscal Mercedes

**d.) Relación agua/cemento (W/C).**

La relación W/C es determinada conforme a la resistencia a la compresión esperada del hormigón a los 28 días, según la siguiente tabla:

Tabla 6. Cantidad de pasta para distintos asentamientos

RESISTENCIA PROBABLE A LOS 28 DIAS (kg/cm <sup>2</sup> )	RELACION AGUA/CEMENTO
450	0,37
420	0,40
400	0,42
350	0,47
320	0,51
300	0,52
280	0,53
250	0,56
240	0,57
210	0,58
180	0,62
150	0,70

Fuente: (Modulo de elasticidad del hormigón, 2011)

Elaboración: Jiménez Menoscal Mercedes

e.) **Cantidad de cemento (C).**

$$C = \frac{CP}{\frac{W}{C} + \frac{1}{DRC}}$$

f.) **Cantidad de agua (W).**

$$W = \frac{W}{C} \times C$$

g.) **Cantidad de arena (A).**

$$A = (1000 - CP) \times \frac{DRA \times POA}{100}$$

h.) **Cantidad de piedra (P).**

$$P = (1000 - CP) \times \frac{DRP \times POP}{100}$$

i.) **Dosificación al peso.**

Cumplido con el procedimiento anteriormente detallado se pueden adquirir los componentes de material para la dosificación, considerando que los agregados pétreos tienen que estar en condición de saturado seca (SSS).

- *Calculo de los factores de material para un metro cubico de hormigón.*

- *Calculo de la cantidad del material para un saco de cemento*

$$f_w, f_a, f_p = \frac{\text{cantidad de material mezclado } (W, A, P) \text{ por } 1.00m^3}{\text{masa de cemento } (C)}$$

$$W, A, P (1 \text{ saco}) = \frac{f_w, f_a, f_p \times 50.00 \text{ kg}}{1.00}$$

Una vez determinados las cantidades del material, como siguiente paso es la corrección por humedad de la dosificación pues es probable que los agregados al momento de realizar las mezclas no se encuentren en las condiciones SSS.

#### *Corrección a la dosificación.*

Se determina el contenido de humedad de los agregados un día antes de realizar las mezclas, siguiendo las bases establecidas en la norma NTE INEN 856 – 857.

Una vez obtenido los porcentajes de humedad los porcentajes de humedad del material fino y grueso se proceden a realizar las correcciones por humedad de los diseños de mezclas, utilizando las siguientes expresiones:

### **PROPIEDADES MECÁNICAS DEL HORMIGÓN.**

$$Arenas = masa (arenas) \times \frac{100 = \%humedad (arenas)}{100 = \% absorción (arenas)}$$

$$Piedras = masa (piedras) \times \frac{100 = \%humedad (piedras)}{100 = \% absorción (piedras)}$$

#### **a.) Docilidad.**

La docilidad o también comúnmente conocida como trabajabilidad es una característica que califica la manipulación o movilidad de la mezcla de hormigón en el proceso de su preparación. Para comprobar la docilidad en la presente investigación se efectuará el ensayo de



asentamiento mediante el cono de Abrams especificado en la norma NTE INEN 1578 – ASTM C143, para asentamiento de 7 a 12 cm.

Ilustración 7 Ensayo de Asentamiento mediante el cono de Abrams



Fuente: Jiménez Menoscal Mercedes

#### **b.) Consistencia.**

Para determinar el valor que cuantifique la consistencia del hormigón la norma NTE INEN 1578 que establece los indicadores para el ensayo de asentamiento con el cono de Abrams, manifiesta que es necesario seguir los siguientes pasos:

- Colocar el cono sobre una bandeja o placa rígida (ambos limpios y humedecidos con agua).
- Llenar el cono en tres capas, compactando cada una de ellas con una varilla metálica de 16 mm de punta redonda, dando 25 golpes por capa.

- Enrasar la superficie retirando el exceso de hormigón.
- Sacar el molde con cuidado en dirección vertical. Esta operación debe realizarse en  $5 \pm 2$  segundos sin mover el hormigón en ningún momento.
- El asentamiento se mide como indica la figura # 10. Si la superficie del cono es irregular, el asentamiento se determina midiendo la diferente de altura del molde y la del punto medio de la parte superior de la muestra del ensayo.

Ilustración 8.- Procedimiento de medición de la consistencia



Fuente: (Control calidad para el concreto, 2016)

### c.) Homogeneidad.

La homogeneidad es la característica que demuestra la distribución de los componentes del hormigón dentro de su masa. La mezcla de un buen hormigón debe ser homogénea, para lo cual el proceso de mezclada tiene que ser mejor posible, asegurando amasado.

La homogeneidad puede ser afectada en el caso de hormigones reforzados con fibras, debido a las siguientes causas.

- Segregación de los componentes: el riesgo de segregación aumenta si se incrementa el tamaño máximo de árido, se adopta una granulometría discontinua o se dispone un volumen insuficiente de pasta de cemento.
- Exudación: esta se produce cuando el volumen de agua empleada en el amasado es superior que la cantidad de cemento y los áridos.

### **Propiedades del hormigón en estado endurecido.**

a.) Resistencia a la compresión del hormigón.

La resistencia a la compresión ( $f'c$ ) es considerada como la propiedad mecánica más relevante que desarrolla el hormigón endurecido y se determina, según la norma NTE INEN 1573, aplicando una carga axial de compresión a cilindros moldeados a una velocidad establecida hasta que ocurra la falla total o parcial del espécimen como lo observados en la figura # 20, una vez concluido con el ensayo se procede a aplicar la siguiente expresión para conseguir así la resistencia característica:

$$f'c = \frac{Pmax}{\frac{\pi \times D^2}{4}}$$

Dónde:

$Pmax$  = carga máxima registrada en el ensayo

$D$  = diámetro de la sección transversal del espécimen

$f'c$  = resistencia a la compresión del hormigón

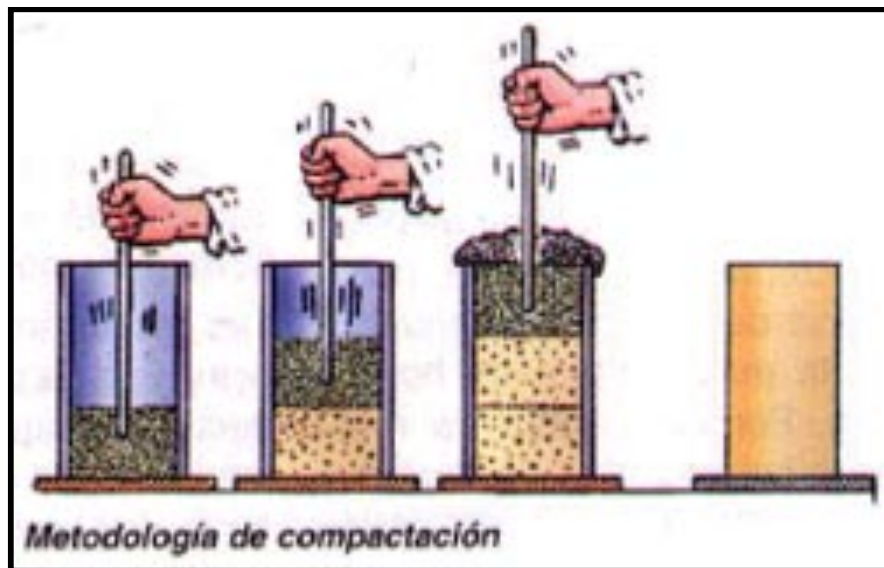
Ilustración 9 Compresión de Cilindros de Hormigón.



Fuente: Jiménez Menoscal Mercedes

Las probetas cilíndricas que se utilizan para el ensayo deberán cumplir con una altura (H) de 300mm y un diámetro (D) de 150 mm que según la norma NTE INEN 1576, para la toma de muestras es necesario contar con moldes metálicos, que no permitan con una permitan el desalojo del hormigón ni la pérdida de agua, los mismos que deben ser llenados en tres capas, cada capa compactada con una varilla de punta redondeada con una longitud de 400 a 600 mm y diámetro e 16 mm, con un número de 25 golpes, además se deberá golpear de 10 a 15 veces a los lados del molde cilíndrico por cada capa, con un martillo de goma, estos golpes tienen como único propósito cerrar cualquier agujero debajo por la varilla y eliminar cualquier burbuja grande de aire que hubiere sido atrapada.

Ilustración 10 Toma de muestras cilíndricas de hormigón



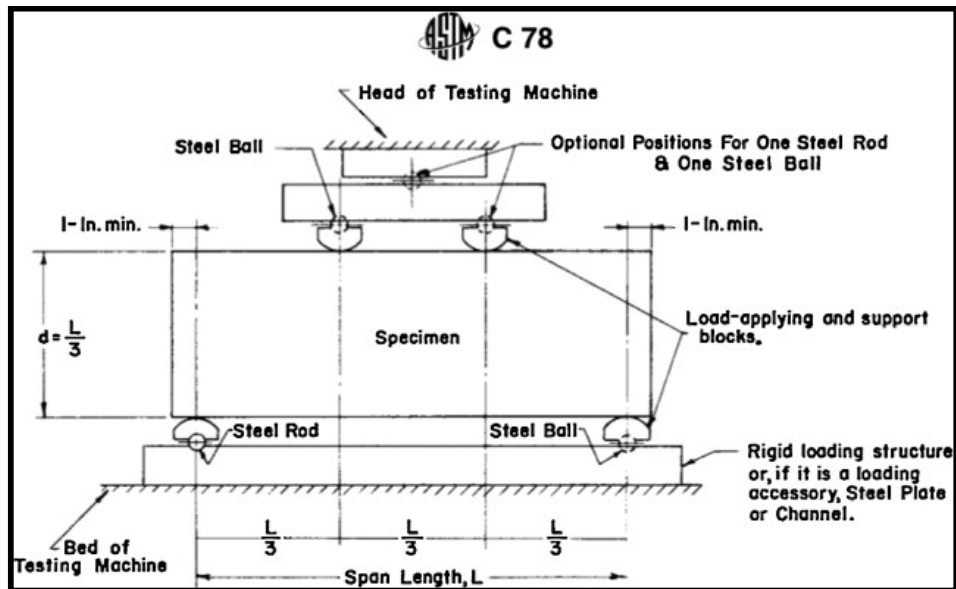
Fuente: (Probetas cilíndricas de hormigón, 2016)

Una vez transcurrido 24 horas de haber tomado las muestras, como siguiente paso es el desmolde y posteriormente a ello acondicionar el cilindro para su mantenimiento (curado del concreto según la norma NTE INEN 2528).

**b.) Resistencia a la flexión del hormigón con cargas en los tercios de la luz.**

A muestra prismática que se utilizara para el ensayo tendrán una sección transversal de 150 mm por 150 mm y una longitud de al menos 500 mm. Los lados del espécimen deben formar ángulo recto con la parte superior e inferior, además todas las superficies deben ser lisas y libres de concavidades, agujeros o marcas de identificación inscritas según la ASTM C42.

Ilustración 11 Esquema para determinar la resistencia a flexión del concreto



Fuente: (ASTM – C 78, 2016)

### Procedimiento.

Girar el espécimen a ensayar sobre uno de sus lados con respecto a su posición como fue moldeado y centrado en los bloques de soporte. Posteriormente coloque los bloques de aplicación una carga entre 3% y 6% de la carga última estimada.

Si no se obtiene un contacto completo entre la probeta y el bloque de aplicación de carga, es necesario pulir las superficies o rellenarlas con láminas de cuero para eliminar cualquier vacío o separación mayor a 0,1 mm (0,004”). El pulido de las superficies debe ser mínimo de tal manera que no cambien las características físicas de la probeta.

Si la fractura inicia en la superficie de tensión, dentro del tercio medio de la longitud entre apoyo, la resistencia a flexión se determina con el módulo de ruptura y se calcula con la siguiente expresión:

Dónde:

$M_r$  = Modulo de ruptura (kg/cm<sup>2</sup>)

$P$  = Carga máxima aplicada (kg)

$L$  = Longitud entre apoyo (cm)

$b$  = Ancho promedio del espécimen (cm)

$h$  = Altura promedio de espécimen (cm)

Si la fractura ocurre en la sección de tensión fuera del tercio medio de la luz o longitud de separación entre apoyos por no más 5%, calcular el módulo de ruptura como sigue:

Donde

$A$  = Distancia promedio entre la línea de fractura y el soporte más cercano medido en la superficie de tensión.

Ilustración 12 Ensayo a la flexión



Fuente: Jiménez Menoscal Mercedes



**Ensayos ejecutados en los agregados.-** Los ensayos ejecutados se detallan a continuación:

Tabla 7. Ensayos realizados:

<b>ENSAYOS</b>	<b>AGREGADO GRUESO</b>	<b>AGREGADO FINO</b>
Análisis granulométrico	X	X
Peso volumétrico suelto	X	X
Peso volumétrico varillado	X	
Capacidad de absorción	X	X
Densidad superficialmente seca	X	X
Ensayo Químicos		X

Fuente: *(Jiménez Menoscal Mercedes, 2016)*  
Elaboración: Jiménez Menoscal Mercedes

<b>PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS</b>				
<b>AGREGADOS</b>	<b>PIEDRA</b>	<b>ARENA DE RIO</b>	<b>ARENA DE MAR</b>	<b>ESPECIFICACIONES</b>
TAMANO MAXIMO	3/4"	---	---	---
PASANTE TAMIZ N° 200 (%)	---	2.52	0.62	<b>0 - 3</b>
MODULO DE FINURA (%)	---	2.69	<b>2.04</b>	<b>2.3 - 3.1</b>
PESO VOLUMETRICO COMPACTADO (Kg/m	1537	---	---	---
PESO VOLUMETRICO SUELTO (Kg/m3)	1399	1511	1754	---
GRAVEDAD ESPECIFICA (DSSS) (Kg/m3)	2.652	2.618	2.857	<b>≥ 2.5</b>
ABSORCION (%)	1.09	1.36	0.81	---
<b>PROPIEDADES QUIMICAS DE LOS AGREGADOS</b>				
REACCION ACIDA O ALCALI (ph) (%)	---	6.56	6.92	---
CONDUCTIBILIDAD ELECTRICA (CE) (umhos	---	267	<b>1219</b>	---
SALES DISUELTAS TOTALES (STD) (%)	---	0.12	2.58	---
SULFATO(SO4) (%)	---	0.05	<b>0.76</b>	<b>0 - 0.60</b>
CLORURO (CO3) (%)	---	0.04	<b>2.1</b>	<b>1</b>
MATERIAL ORGANICA (MO) (%)	---	0.44	0.30	<b>1</b>

**Resultados de ensayos ejecutados.-** Tabla 1. Resumen de resultados – Propiedades Físicas y Químicas

Fuente: (Jiménez Menoscal Mercedes, 2016)

Elaboración: Fuente: Jiménez Menoscal Mercedes

Tabla 2. Dosificación por volumen y peso  $f'c = 280, 320$  y  $350 \text{ kg/cm}^2$

<b>DOSIFICACION DE LA MEZCLA EN PESO</b>					
AGREGADO	RELACION	CEMENTO	AGUA	PIEDRA	ARENA
RESISTENCIA	A/C	(KG)	(LTS)	(KG)	(KG)
$f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	0.48	450	214	992	653
$f_c = 320 \text{ kg/cm}^2$	0.43	475	204	995	655
$f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$	0.41	500	207	977	643

<b>DOSIFICACION DE LA MEZCLA EN PESO (Saco de 50 Kg)</b>				
AGREGADO	CEMENTO	AGUA	PIEDRA	ARENA
RESISTENCIA	(KG)	(LTS)	(KG)	(KG)
$f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	50	23.76	110.29	72.58
$f_c = 320 \text{ kg/cm}^2$	50	21.44	104.81	68.98
$f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$	50	20.73	97.70	64.30

Fuente: (Jiménez Menoscal Mercedes, 2016)

Elaboración: Fuente: Jiménez Menoscal Mercedes

Tabla 3. Resistencia a la Compresión y Flexión

RESISTENCIA A LA COMPRESION								
DIAS RESISTENCIA	7		14		21		28	
	ARENA RIO	ARENA MAR	ARENA RIO	ARENA MAR	ARENA RIO	ARENA MAR	ARENA RIO	ARENA MAR
$f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	200	228	249	262	266	283	281	307
$f_c = 320 \text{ kg/cm}^2$	224	258	286	312	306	341	330	380
$f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$	250	285	299	337	339	366	353	399

RESISTENCIA A LA FLEXION - MODULO DE ROTURA								
DIAS RESISTENCIA	7		14		21		28	
	ARENA RIO	ARENA MAR	ARENA RIO	ARENA MAR	ARENA RIO	ARENA MAR	ARENA RIO	ARENA MAR
$f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$	27.98	8.78	37.13	12.84	39.9	20.81	41.62	23.27
$f_c = 320 \text{ kg/cm}^2$	30.68	9.44	37.85	17.93	41.62	19.71	44.89	25.12
$f_c = 350 \text{ kg/cm}^2$	31.79	11.09	40.29	19.70	44.25	23.97	46.74	26.98

Fuente: (Jiménez Menoscal Mercedes, 2016)

Elaboración: Fuente: Jiménez Menoscal Mercedes

## **Análisis de los resultados**

El enfoque del presente estudio es de tipo cuantitativo y cualitativo debido a que se fundamenta en el análisis de datos que se obtuvieron a partir de ensayos de los diversos materiales para determinar el comportamiento del hormigón con arena de alto contenido de salinidad y su influencia en las propiedades mecánicas, considerando imperativo determinar las características de los agregados tanto grueso como fino para conseguir resultados confiables en base a una correcta preparación del hormigón conforme imponen las normas establecidas.

Para el progreso de este capítulo fue obligatorio realizar los ensayos de laboratorio para el agregado grueso, agregado fino, así como del cemento más manejado en nuestro medio, cemento Holcim tipo GU; todo con el objetivo de conocer las características físicas y mecánicas de los materiales apropiados para la elaboración del hormigón.

### **Interpretación de resultados resistencia a compresión**

Finalizados los ensayos de resistencia a compresión en las muestras cilíndricas de hormigón de  $f'c = 280, 320$  y  $350 \text{ kg/cm}^2$  con diferentes arenas, se visualizó que las resistencias utilizadas con arena de mar tienen de un 7 a 15 por ciento más del porcentaje comprado con la arena de río, estos valores que se encuentran en las ilustraciones 13, 14 y 15.

El motivo de que las resistencias con arena de mar sean un poco más altas que las resistencias con arena de río, es que las arenas de mar son más limpias (pasante Tamiz N° 200) que la arena de río.

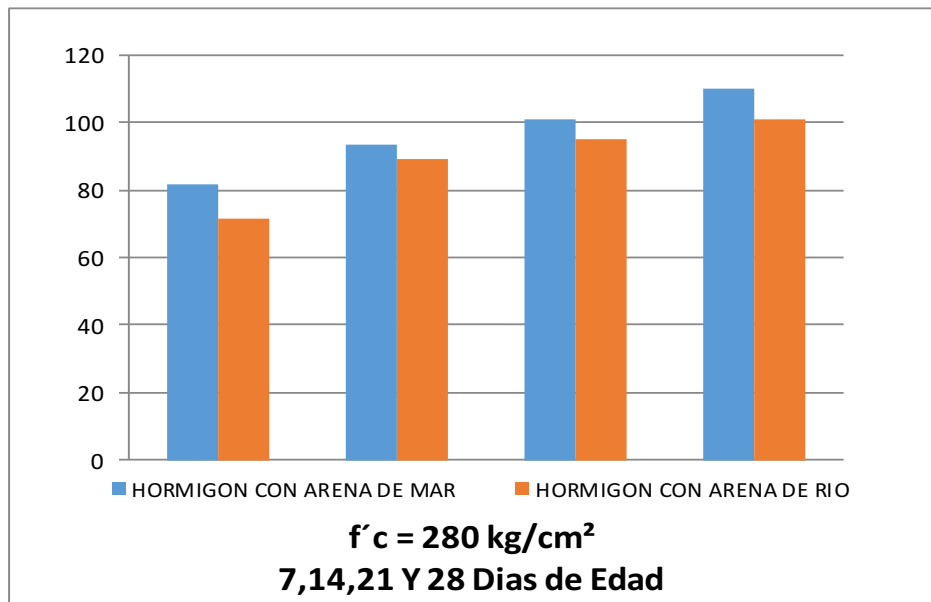


Ilustración 3 Resistencia a la Compresión f'c = 280 kg/cm<sup>2</sup>

Fuente: (Jiménez Menoscal Mercedes, 2016)

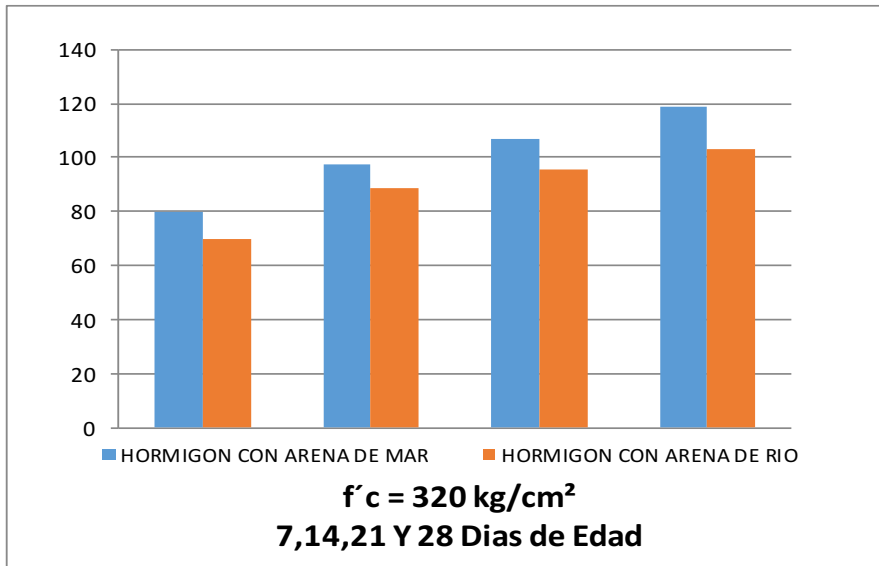


Ilustración 4 Resistencia a la Compresión f'c = 320 kg/cm<sup>2</sup>

Fuente: (Jiménez Menoscal Mercedes, 2016)

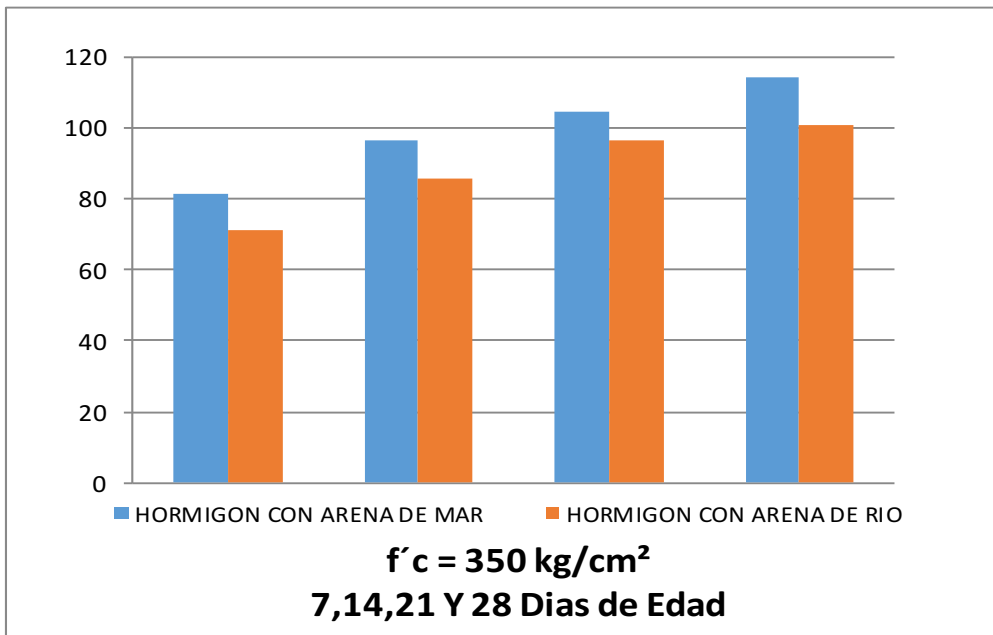


Ilustración 5 Resistencia a la Compresión f'c = 350 kg/cm<sup>2</sup>

Fuente: (Jiménez Menoscal Mercedes, 2016)

### **Relación entre resistencia a compresión y flexión.**

A medida que aumento la resistencia a la compresión del concreto, también aumenta su resistencia a la flexión. Sin embargo, la correlación que existe entre la resistencia a compresión del concreto y su módulo de rotura no es lineal sino más bien de tipo parabólico.

Adicionalmente, el módulo de rotura presenta valores varían entre un 10% y un 20% de la resistencia a la compresión. Una relación aproximada que puede utilizarse cuando no se disponga de ensayo de flexión la cual es recomendada por el comité Europeo del Concreto, es la siguiente:

$$MR = K\sqrt{f'c}$$

MR= Modulo de rotura del concreto en kg/cm<sup>2</sup>

f'c = Resistencia a la compresión del concreto en kg/cm<sup>2</sup>

k = Valor que varía entre 2.0 y 2.7 (el comité europeo recomienda 2.5 y el ACI 2.0)

Esta correlación es independiente de la edad y del tipo del agregado empleado y, por lo tanto válida para cualquier mezcla. Para emplearla en el control rutinario del concreto de pavimento, bastaría entonces confirmar dicha correlación con unos pocos puntos. (Sánchez de Guzmán, 2000).



Tabla 4. Relación entre resistencia a compresión y flexión Rio Chimbo

ARENA RIO CHIMBO						
f <sub>c</sub> KG/CM2	FECHA DE ELABORACION	FECHA DE ROTURA	RESISTENCIA		DIAS	RELACION ENTRE RESISTENCIA A COMPRESION Y FLEXION
			A LA COMPRESION KG/CM2	A LA FLEXION MR KG/CM2		MR = k*√f <sub>c</sub>
280	7-Jun-16	5-Jul-16	282	41,62	28	41,98
320	8-Jun-16	6-Jul-16	330	44,89		45,41
350	27-Jun-16	25-Jul-16	353	46,74		46,97

Tabla 5. Relación entre resistencia a compresión y flexión Arena de mar

ARENA MAR BRAVO						
f <sub>c</sub> KG/CM2	FECHA DE ELABORACION	FECHA DE ROTURA	RESISTENCIA		DIAS	RELACION ENTRE RESISTENCIA A COMPRESION Y FLEXION
			A LA COMPRESION KG/CM2	A LA FLEXION MR KG/CM2		MR = k*√f <sub>c</sub>
280	7-Jun-16	5-Jul-16	307	23,26	28	43,80
320	8-Jun-16	6-Jul-16	380	25,12		48,73
350	27-Jun-16	25-Jul-16	399	26,97		49,94

Fuente: (Jiménez Menoscal Mercedes, 2016)

Elaboración: Fuente: Jiménez Menoscal Mercedes

## Conclusiones

- La mezcla de hormigón con arena de río se obtuvo como resistencia a la compresión 101 % a los 28 días, con arena de mar se obtuvo como resistencia a la compresión 115 % a los 28 días.
- Los resultados mostrados revelan que la arena de mar tiene una mejor trabajabilidad, debido a la ausencia de finos en la arena de río se puede disminuir la cantidad de cemento para la resistencia requerida.
- El hormigón fabricado con arena de río provoca una mejor adherencia entre las partículas gruesas de la mezcla, arena de mar facilita el desprendimiento de dichas partículas.
- Los hormigones fabricados con arena de mar no garantizan el módulo de rotura de diseño.
- En el momento de falla de los elementos prismáticos construidos con arena de mar se pudieron observar partículas con cierto brillo cuya

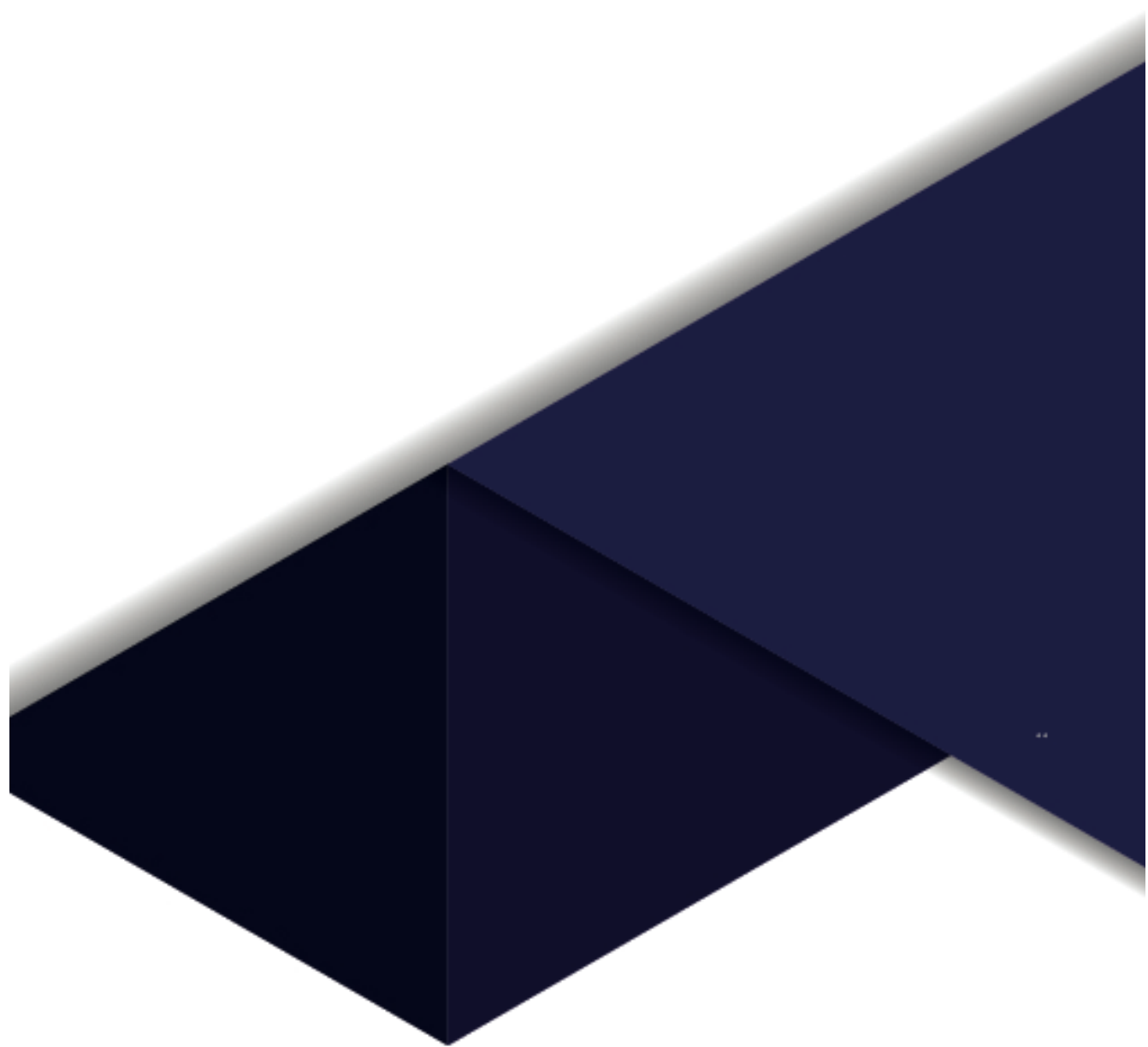
procedencia son los cristales salinos, fenómeno que provoca la baja resistencia a la flexión.

- La mezcla con arena mar podrá ser utilizada en todo elemento estructural que no contenga acero ni provoque cargas axiales, elementos como muro de hormigón ciclópeo y muro con suelo reforzado.
- Los hormigones fabricados con arena de mar pueden ser utilizados para la construcción de estructuras sometida a carga axial que no contenga acero a diferencia de la arena de río podrán ser utilizada en todo tipo de estructura.
- Los hormigones construidos con arena de mar no garantizan un módulo de rotura para ningún tipo de tráfico, los hormigones construidos con arena de río podrán ser utilizado en todo elemento estructural sometido a flexión.

## Recomendaciones

- El hormigón fabricado con arena de mar no puede ser utilizado para estructuras sometidas a fricción en función  $MR= 2.3 \text{ a } 2.7\sqrt{f'c}$  según el Comité Europeo.
- Para estructuras sometidas a fuerza axiales como a flexión se debe utilizar la mezcla con arena de río.
- Los hormigones fabricados con arena de mar no pueden ser utilizados para hormigón armado debido al exceso de sales minerales que provocarían la oxidación del acero.
- Los hormigones fabricados con arena de mar no podrán ser utilizados a estructuras sometidas a flexión.
- Si se va utilizar arena de mar para estructura este material debe ser sometido a un proceso de lavado.

- Los ensayos como: cloruro, sulfatos, ph, conductividad eléctrica deberán ser empleados como un control de calidad cuando se quiere fabricar hormigón con arena de mar.



## Bibliografía

- (s.f.). Recuperado el 20 de Julio de 2106  
865, N. I. (02 de 07 de 1976). *ARIDO FINO PARA HORMIGON DETERMINACIÓN DE CLORUROS Y SULFATOS SOLUBLES EN LAS ARENAS*. Recuperado el 29 de 08 de 2016, de :normalizacion@inen.gov.ec:  
<https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0865.2011.pdf>
- Centeno, O. (20 de abril de 2010). *blogspot*. Recuperado el 02 de agosto de 2016, de PAVIMENTOS RÍGIDOS:  
<http://oswaldodavidpavimentosrigidos.blogspot.com/>
- INEN 872 - Instituto Ecuatoriano de Normalización. (12 de 04 de 1983). *ARIDOS PARA HORMIGON. REQUISITOS*. Obtenido de normalizacion@inen.gov.ec: [law.resource.org](http://law.resource.org)
- Jimenez, P. (2001). *Hormigon armado*. Mexico, Naucalpan: Gustavo, Gili SA.
- La contaminacion de los agregados*. (s.f.). Recuperado el 10 de julio de 2016, de civilgeeks:  
<http://civilgeeks.com/2011/12/08/la-contaminacion-de-los-agregados/>

Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de pavimento para carreteras* (Segunda ed.). Bogotá, D.C.: Stella Valbuena de Fierro.

NTE, I. 8. (02 de 07 de 1976). *ARIDO FINO PARA HORMIGON DETERMINACION DEL PORCENTAJE DE PARTICULAS EN SUSPENSIÓN DESPUES DE UNA HORA DE SEDIMENTACION*. Recuperado el 28 de 08 de 2016, de [normalizacion@inen.gov.ec](mailto:normalizacion@inen.gov.ec): [law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0864.1983.pdf](http://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0864.1983.pdf)

Sánchez de Guzmán, D. (2000). *Tecnología del Concreto y del Mortero* (Cuarta ed.). Santafe de Bogota, D.C.: Bhandar editores Ltda.



**Ing. María Mercedes Jiménez Menozcal.**

Título de Ingeniera en Civil Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas-Carreras de Ingeniería Civil

**Ing. Carlos Olmedo Mora Cabrera, MSc.** Título de Ingeniero Civil – Universidad de Guayaquil. Magister en Docencia y Gerencia en Educación Superior - Universidad de Guayaquil. Diploma Superior en Docencia y Evaluación en Educación Superior – Universidad de Guayaquil. Diplomado Programa de Fiscalización Integral de Obras en el Instituto Tecnológico Monterrey México. Director de la Carrera de Ingeniería Civil - 2 artículos Latindex. Director del Departamento de Topografía. Coordinador del Área Vía de Comunicaciones. Coordinador de Internacionalización de la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil. Jefe del Departamento Técnico del Primer Proyecto Urbanístico del Municipio de Guayaquil. Jefe del departamento de Mantenimiento de la Universidad de Guayaquil

**Ing. Julio Vargas Jiménez, MSc** Ingeniero Civil. Universidad de Guayaquil MSc Magister en Geotecnia Universidad de Guayaquil Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas-Carreras de Ingeniería Civil. Docente Titular de las asignaturas de Mecánica de Suelos, Laboratorio de Suelos y Tecnología de Materiales. Gerente Técnico de Consultoría, Ingeniería y Servicios CINSER C.LTDA. Consultor Geotécnico. Director de Laboratorio de Suelos y Materiales Dr. Ing. Arnaldo Ruffilli Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas-Universidad de Guayaquil. Coordinador de Posgrado Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas-Universidad de Guayaquil.

**Ing. Francisco Javier Córdova Rizo, M.Sc** Francisco Javier Córdova Rizo, M.Sc, Magister en Docencia y Gerencia en Educación Superior, Ingeniero Civil Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas-Carreras de Ingeniería Civil. Docente en las asignaturas de Carreteras I y Diseño Vial Consultor Vial

ISBN: 978-9942-760-68-5



9 789942 760685