



CALCULO DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN
Y EL MODULO DE ROTURA PARA CONCRETOS HIDRAULICOS FABRICADOS
CON MATERIALES DE LA ZONA NORTE DE BOLÍVAR

PRESENTAN
RONALD GABRIEL ARGEL MENDOZA
LUIS FERNANDO ZÚÑIGA PÁEZ

CARTAGENA (BOLIVAR)

2009



CALCULO DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN
Y EL MODULO DE ROTURA PARA CONCRETOS HIDRAULICOS FABRICADOS
CON MATERIALES DE LA ZONA NORTE DE BOLÍVAR

PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO CIVIL

PRESENTAN
RONALD GABRIEL ARGEL MENDOZA
LUIS FERNANDO ZÚÑIGA PÁEZ

DIRECTOR DE TESIS

INGENIERO CIVIL. DIEGO ÁLVAREZ HERNÁNDEZ

CARTAGENA (BOLIVAR)

2009

Cartagena, mayo 06 del 2009

Señores

COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE GRADO

Programa De Ingeniería Civil

Universidad Tecnológica De Bolívar

La Ciudad

Distinguidos señores:

Muy cordialmente me dirijo a ustedes con el objeto de informarles que he asesorado metodológica y conceptualmente a los estudiantes **Ronald Gabriel Argel Mendoza y Luis Fernando Zúñiga Páez**, en la respectiva elaboración de su proyecto de grado, el cual tiene como título: **“CALCULO DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN Y EL MODULO DE ROTURA PARA CONCRETOS HIDRAULICOS FABRICADOS CON MATERIALES DE LA ZONA NORTE DE BOLÍVAR”**.

Atentamente,

DIEGO A. ALVAREZ HERNANDEZ

Director de la investigación

Cartagena, mayo 06 del 2009

Señores

COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE GRADO

Programa De Ingeniería Civil

Universidad Tecnológica De Bolívar

La Ciudad

Distinguidos señores:

Por medio del presente escrito hacemos entrega del proyecto de grado titulado: **CALCULO DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL ESFUERZO A LA COMPRESIÓN Y EL MODULO DE ROTURA PARA CONCRETOS HIDRAULICOS FABRICADOS CON MATERIALES DE LA ZONA NORTE DE BOLÍVAR**”, para la respectiva evaluación, siguiendo lo establecido en el reglamento vigente.

Atentamente,

Ronald Gabriel Argel Mendoza

Luis Fernando Zúñiga Páez

Cartagena, mayo 06 2009

Señores:

COMITÉ DE EVALUACIÓN DE PROYECTOS DE GRADO

Programa de Ingeniería Civil

Universidad Tecnológica de Bolívar

La ciudad

Distinguidos señores:

Los siguientes laboratorios fueron realizados por los estudiantes **Ronald Gabriel Argel Mendoza** y **Luis Fernando Zúñiga Páez**, en los laboratorios de **Promotora Montecarlo vías (pmv)**. Muestreo de materiales, contenido aproximado de materia orgánica en los finos, análisis granulométrico de agregados gruesos y finos, peso unitario, porcentaje de vacío de los agregados, resistencia al desgaste de los agregados gruesos, peso específico, absorción de agregados finos, gravedad específica, absorción de agregados gruesos, humedad superficial en agregados finos, porcentaje de caras fracturadas en los agregados, índice de aplanamiento y de alargamiento, toma de muestras de concreto fresco, elaboración y curado, asentamiento del concreto, resistencia a la compresión de cilindros de concreto, resistencia a la flexión del concreto método de la viga simple cargada en los tercios de la luz.

Atentamente,

Ing. Diego Álvarez Hernández
Director de laboratorio (Pmv)

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis de pregrado, si bien ha requerido de esfuerzo y mucha dedicación por parte de los autores y su director de tesis, no hubiese sido posible su finalización sin la cooperación desinteresada de todas y cada una de las personas que a continuación citaré y muchas de las cuales han sido un soporte muy fuerte en momentos de angustia y desesperación.

Primero y antes que nada, dar gracias a Dios, por estar con nosotros en cada paso que dimos, por fortalecer nuestros corazones e iluminar nuestras mentes.

Agradecemos hoy y siempre a nuestra familia, en especial nuestros padres; Elda Cecilia Mendoza Romero, Adelmo Enrique Argel Días, Marelvís Isabel Páez Herrera, Benjamín Scott Machacón, y nuestras compañeras, Maura Julieth Villalobos y Lucy Gutiérrez Paternina, ya que siempre procuran nuestro bienestar.

Especialmente, a el programa de ingeniería civil de la universidad tecnológica de bolívar, a su cuerpo de docentes por formarnos ética y profesionalmente, muchas gracias.

Agradecemos también a Diego Álvarez director de nuestra tesis, también al laboratorio de la empresa (Pmv) promotora Montecarlo vías, a su laboratorio, ya que sin ellos no habiéramos conseguido tales resultado. Muchas gracias.

DEDICATORIA

Durante estos escasos años de lucha constante, de gratas vivencias, de momentos de éxitos y también de angustias y desesperanza para poder cumplir los objetivos y así poder alcanzar uno de nuestros más grandes anhelos, culminar nuestras carreras, los deseos de superarnos y de lograr nuestras metas, por ello debemos dedicar este triunfo a quienes en todo momento nos llenaron de amor y apoyo.

A Dios Todopoderoso por iluminarnos el camino a seguir, y que siempre está con nosotros en los buenos y sobre todo en los malos momentos.

A nuestros padres: Elda Cecilia Mendoza Romero, Adelmo Enrique Argel Días Marelvís Isabel Páez Herrera, Benjamín Scott Machacón, pilares fundamentales en nuestras vidas, dignos como ejemplo de trabajo y constancia, quienes han brindado todo el apoyo necesario para alcanzar nuestras metas y sueños, y han estado allí cada día de nuestras vidas, compartiendo los buenos y los malos ratos desde el día en que nacimos. Los amamos mucho y gracias.

A nuestras compañeras sentimentales Maura Julieth Villalobos y Lucy Gutiérrez Paternina por haber compartido estos momentos de nuestras vidas y por darnos aliento para continuar luchando en esta vida tan linda, y recordamos que mientras contemos con ustedes la vida siempre será hermosa.

INTRODUCCIÓN

En Cartagena Colombia, la industria de la construcción es uno de los rubros que más contribuye al desarrollo nacional. Dentro de esa industria, el concreto hidráulico es el material de construcción más utilizado por su economía, durabilidad, resistencia y versatilidad en los procesos constructivos.

En los años recientes, el uso del concreto para la construcción de pavimentos en zonas residenciales, calles urbanas y carreteras, se ha incrementado al grado tal que se hace necesario, para fines de diseño de pavimentos, establecer una relación confiable entre el módulo de Rotura (resistencia a flexión) y la resistencia a la compresión de este material.

Debido a la proyección de mejoramiento y ampliación de la red vial en la zona norte de Colombia es necesario establecer parámetros locales para determinar el módulo de rotura del concreto, utilizando materiales locales manejados por las empresas distribuidoras de la zona norte del el país.

El presente trabajo muestra los resultados de una investigación realizada en los laboratorios de la empresa promotora montecarlos vías (Pmv), ubicada en el corregimiento de bayunca de la ciudad de Cartagena (Bolívar), en el año 2009, para determinar una relación más confiable entre el módulo de rotura del concreto y la resistencia a la compresión del mismo, utilizando materiales locales de la zona norte de Cartagena.

Se emplearon agregados de la cantera de Agreacar en Palmarito, ubicada al norte de la ciudad, y cemento de la empresa Argos (Colombia). Que utilizan las principales empresas productoras de concreto premezclado y las principales empresas constructoras del Área Metropolitana de la ciudad de Cartagena.

Se elaboraron mezclas con diferentes relaciones agua/cemento, y se prepararon

especímenes de prueba (cilindros y vigas) para ensayos de resistencia.

Se analizaron los resultados estadísticamente y se concluyó que los valores de la relación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión de los concretos elaborados con estos agregados, en la ciudad de Cartagena (Bolívar), están dentro de los rangos establecidos en investigaciones de diferentes regiones del mundo, con la ventaja de que con esta investigación se tienen ahora valores más confiables y más apegados a las características propias de los materiales locales.

DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Por hoy nos encontramos con un gran cumulo de información sobre las diferentes teorías en materia de ingeniería civil como también de estudios en marcha con el propósito de alcanzar nuevos conocimientos, luego todas estas aportaciones, la gran mayoría, es aportada por los países desarrollados, una gran parte aportada por países en vía de desarrollo lideres de su gremio, y una pequeña parte por el resto. Colombia está ubicada en este último grupo, es nuestro país. Actualmente su inversión en investigación es poco significativa, es más, ha disminuido su inversión en esta materia por múltiples factores. Pero esto no es lo preocupante, lo realmente preocupante es la falta de confianza que poseemos sus pobladores para con este, no solo el gobierno ha disminuido su inversión en investigación si no también el sector privado, parece ser que no estamos dispuestos a “copiar” de aquellos que actualmente gozan de un buen desarrollo como lo son los países desarrollados, esta clara descripción explica, parcialmente, como la investigación no está ligada en nuestro diario vivir, ya sea por falta de confianza, falta de preparación, liquidez o cualquiera de las combinaciones que puedan surgir de las anteriores no hemos sido capaces de tomar el liderazgo. Colombia es un país con 44.000.000 de habitante aproximadamente, situado al noroeste de sur América el cual está compuesto de 32 departamentos uno de los cuales es bolívar que hace parte de la región Caribe colombiana y es la más rezagada en materia de desarrollo.

Muchos autores hablan de la correlación existente entre la resistencia a compresión y el modulo de rotura, describiendo curvas y hasta rangos que generaliza esta correlación a nivel de cualquier agregado, sin embargo sabemos que dichas correlaciones son limitadas y lo son por diferentes factores, como principal factor están los materiales, la mayoría de la bibliografía colombiana en este tema se basa en muestras de materiales del interior del país y como ya lo habíamos señalado no es aplicable para los materiales de nuestra zona, cualquier

diseño que se requiera para los materiales de nuestra región no pueden ser llevados con investigaciones basadas en otros materiales generando así que las investigaciones llevadas a cabo con materiales diferentes a los de nuestra zona no sean de mucha ayuda, se puede decir que no nos sirven, generando así la adopción de alternativas más costosas en materia de recursos. Con esta investigación buscamos la manera de aminorar el impacto que produce el no contar con datos confiables y al instante cuando se genera esa necesidad, así como contribuir al desarrollo de proyectos en los cuales se vinculen nuestra región y su entorno brindando a nosotros sus pobladores la estabilidad social y la confianza que tanto necesitamos para acortar la brecha de nuestra región con el resto del país.

FORMULACION DEL PROBLEMA

El ingeniero civil se ve en la necesidad de alcanzar resultados en donde se maximice la calidad, se minimice en tiempo de ejecución y controlar otras muchas variables que intervienen en los proyectos civiles. Sin duda el costo es y será siempre el recurso máspreciado y por tanto es relevante el adecuado uso al que debemos dar todo profesional en el campo de la ingeniería civil, sabemos que el costo es inversamente proporcional al tiempo de ejecución de un proyecto civil; no estaría mal tratar de encontrar métodos y o técnicas asociadas para contrarrestar su magnitud.

Si en diseños de concretos para carreteras se utilizan datos, por ejemplo de modulo de rotura (MR), el cual está basado en normas y procedimientos teóricos podríamos estar trabajando con un pequeño margen de inseguridad que a estas escalas resultarían en costos excesivos de materiales, es por esto la necesidad de crear parámetros experimentales que conduzcan a minimizar estas irregularidades.

En términos locales, las mezclas de concreto para pavimentos rígidos en Cartagena se realizan en su mayoría con materiales de la zona norte “cantera palmarito” pero no hay datos experimentales confiables que correlacionen el modulo de rotura con el esfuerzo a compresión simple, para efectos de conocer el valor preciso de $k = f(MR, F'c)$.

OBJETIVOS

Como **objetivo general** está el conocer con cabalidad la relación, como conjetura la constante K , entre el valor del modulo de rotura de una mezcla de concreto el valor de la resistencia a compresión simple, para los materiales determinados de determinada zona escogida, esto se hará por curvas de mejor ajustes, coeficientes de relación, grado de confianza y todas esas herramientas que nos brinda la estadística.

He aquí una enumeración y descripción de los objetivos específicos de la tesis:

1. Conocer las propiedades químicas y físicas de los diferentes agregados de las mezclas de concreto a realizar como también inspeccionar y utilizar aquellos que cumplan con parámetros estandarizados. Esto se realizara en laboratorios certificados y contaremos con personal, de laboratorio de experiencia para apoyarnos en cualquier inquietud; el buen manejo de estos es indispensable para llegar a obtener resultados verídicos que arrojen relación con los ensayos de muestras.
2. Ejercer el necesario control en los ensayos de cilindros, debido a causa de la sensibilidad de dichas pruebas a excentricidades, estas excentricidades dan como resultado una distribución no homogénea de los esfuerzos en la probeta, causando a su vez bajos volares de resistencia; en cuanto a las viguetas, para el modulo de rotura, es muy sabido el grado de sensibilidad de estas pruebas a malos manejos de las mismas, es por esto de vital importancia la adecuada posición en la máquina de ensayo para no incurrir en errores.
3. Ejercer con eficacia el curado de las muestras, manteniendo las condiciones adecuados del proceso, disponiendo de sitios destinados para tal fin, con el objeto

de cumplir con las especificaciones normativas y asegurarnos de la obtención de las resistencias esperadas.

4. Procesar los datos arrojados por medio de los ensayos en mecanismos automatizados, PC, para justificar estadísticamente las relaciones entre los valores de resistencia a compresión simple y los valores de modulo de rotura.
5. Investigar y definir de manera general los antecedentes de los agregados a utilizar, materia prima, con el sano propósito de dar a conocer los muchos avances que se han obtenido como también el camino que espera por recorrer para mejorar las condiciones en cuanto a esta materia se refiere, los agregados pétreos guardan mucha relación entre sus características y la forma o condiciones en que estos fueron creados, esto también impulsa a encontrar este objetivo en particular.

JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

El t3pico de este trabajo de tesis est3 relacionado, de gran manera, con la rama de la ingenier3a civil, puesto que al tratar de relacionar la resistencia a la flexi3n con la resistencia a la compresi3n, tratamos con temas afines a los pavimentos r3gidos. Todo ingeniero civil debiese identificarse con estos dos ensayos; tomemos por ejemplo la resistencia a la compresi3n simple, cualquier ingeniero ya sea especialista en estructuras, hidr3ulica "construcci3n de desag3es", suelos o constructor en general debe contar con este par3metro para llevar a cabo su labor, es por esto que creemos es de gran ayuda para cualquier profesional dedicado a la construcci3n de pavimentos obtener el par3metro " resistencia al a flexi3n o MR " por intermedio del tan utilizado resistencia a la compresi3n simple " F' C".

Este trabajo de tesis est3 apoyado en diferentes trabajos de investigaci3n hechos aqu3 en Colombia como en el exterior, como ejemplo de investigadores colombianos citamos las publicaciones hechas por el ingeniero civil , MIC, MScIS, Diego S3nchez de Guzm3n en sus libros de tecnolog3a del concreto y del mortero y otros libros publicados con ASOCRETO como tambi3n trabajos de investigaci3n norteamericanos citando como ejemplo Evaluation of concrete characteristics for pavements del Senior Research Scientist D.S Lane. Estos trabajos de investigaci3n se han tratado fuera de nuestra zona geogr3fica por lo tanto no aplica en gran medida para nosotros, pues se puede incurrir a errores por no contar con las caracter3sticas de nuestra materia prima, he aqu3 por lo cual justificamos la realizaci3n de este trabajo de tesis y entonces si dar una herramienta m3s y provechosa a todos los involucrados en el campo de la ingenier3a civil.

Como futuras aportaciones de este trabajo de tesis tenemos la de poder explotar nuestros propios recursos "optimizarlos", llevando esto a la reducci3n de costos en materia prima, acarreo, sobre dise3o al prescindir de materiales de zonas

geográficas alejadas considerablemente; como también generar mano de obra de la región.

FORMULACION DE LA HIPOTESIS

Teóricamente la ecuación para correlacionar el modulo de rotura (MR) con el esfuerzo a la compresión ($F'c$) de un concreto simple este MR está en un intervalo (10%-20%) de su esfuerzo a la compresión con datos experimentales de los Estados Unidos Y el interior de Colombia. Nuestra investigación busca encontrar cual es el dato preciso de este porcentaje, ya que se utilizara materiales de excelentes propiedades tanto física como química. Donde suponemos que podemos obtener un porcentaje aproximado del de su MR (modulo de rotura), del 18% de su esfuerzo a la compresión.

TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para la ejecución de este trabajo el tipo de investigación aplicada es investigación de campo ya que, tanto el levantamiento de información como el análisis, comprobaciones, aplicaciones prácticas, conocimientos y métodos utilizados para obtener conclusiones, se realizan en el medio en que se desenvuelve nuestra investigación.

La presentación de resultado se complementara con un breve análisis documental. En esta investigación, el trabajo se efectuara directamente en el campo (80%-90%) y solo se utilizara un estudio de carácter documental para avalar o complementar los resultados

RECOLECCION Y FUENTES DE INFORMACION

Diseño y elaboración de mezclas

El objetivo de diseñar una mezcla de concreto es determinar la combinación más práctica y económica de los materiales que lo constituyen, para producir un concreto que satisfaga los requisitos de comportamiento bajo las condiciones particulares de uso a que será sometido, Para lograr este objetivo, una mezcla de concreto bien proporcionada deberá poseer las propiedades siguientes:

- ❖ Trabajabilidad aceptable, en estado fresco para facilitar su colocación.
- ❖ Durabilidad, resistencia y presentación uniforme, en estado endurecido, para cumplir las funciones que motivaron su utilización.
- ❖ Economía, en general, para hacerlo competitivo con otros materiales.

El diseño de las mezclas se hizo utilizando el método de volúmenes absolutos del A.C.I 211.1, Asumiendo relaciones agua cemento de 0.35, 0.4, 0.45, 0.5, 0.55 y 0.6, con un revenimiento de 25.4mm, con una tolerancia de +/- 10 mm, y un tamaño máximo de agregado de 25.4 mm.

Para los diseños de mezclas no se consideró aire incluido ni contenido de aditivos. Previo a la elaboración de cada una de las mezclas se realizó un muestreo de los agregados para conocer su Contenido de humedad y hacer las correcciones correspondientes.

Las mezclas A y B se elaboraron en una maquina mezcladora con capacidad de una bolsa de cemento. Para cada una de las mezclas (A, B), y su respectiva relación agua cemento (0.35, 0.4, 0.45, 0.5, 0.55 y 0.6) se elaboraron dos

revolturas (R1, R2), con el fin de simular dos “*bachadas*” de concreto elaboradas con el mismo diseño, pero en diferente tiempo. Con la revoltura R1 se elaboró concreto para 6 cilindros y 4 vigas; dos cilindros se ensayaron a 7 días de edad, 2 cilindros y 2 vigas a 14 días de edad, 2 cilindros y 2 vigas a 28 días de edad. Con las revolturas R2 y R3, se ensayaron 2 cilindros y 2 vigas de cada una de ellas a 28 días de edad.

Ensayos al concreto fresco

Los ensayos de revenimiento realizados se encontraron dentro del rango establecido en el diseño de las mezclas, $50 \text{ mm} \pm 25 \text{ mm}$.

Elaboración de cilindros de concreto

Los cilindros de concreto para ensayos de resistencia a la compresión se elaboraron conforme a la norma ASTM C192. La compactación de los cilindros se realizó en dos capas. Cada capa se compactó mecánicamente procurando que el Vibrador no penetrara más de 2,5 cm en la capa compactada anteriormente.

Elaboración de vigas de concreto. Las vigas para determinar la resistencia a la flexión (módulo de ruptura) se colaron conforme a la norma ASTM C192, en moldes de dimensiones (6 x 6 x 24”). La compactación se realizó mecánicamente. El molde se llenó en su totalidad introduciendo el vibrador a lo largo del eje longitudinal del molde, a intervalos no mayores de 15 cm.

Pruebas al concreto endurecido.

El ensayo para medir la resistencia a la compresión del concreto ($f'c$), se realizó conforme a las normas ASTM C- 39, ASTM C-78 y ASTM C-496 (Tablas 5,7 y 9). El ensayo de la resistencia a la flexión (módulo de ruptura, f_r), está regido por el método normal de prueba de la norma ASTM C-78 (6, 8 y 10).

PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION

Análisis de resultados

Debido a que los valores de resistencia obtenidos cuando se ensayan varios especímenes de una misma mezcla de concreto hidráulico son variables y muestran una dispersión cercana a la resistencia media, se hace necesario realizar un análisis estadístico.

La variabilidad en los resultados depende de variaciones en los materiales en la mezcla, del procedimiento de muestreo, de los cambios en la elaboración de la mezcla, de la forma de elaboración de los especímenes y de las variaciones en los ensayos. A través de procedimientos estadísticos se obtuvieron los resultados de resistencias promedios, (\bar{X}), y una medida de dispersión a través de la desviación estándar (σ).

Resistencia promedio (\bar{X})

La resistencia promedio para cada una de las mezclas elaboradas se calculó con la fórmula:

Donde:

\bar{X} : Resistencia promedio, en kg/cm².

$\frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n}$: resultados individuales de pruebas de resistencia, en kg/cm²

n: número total de ensayos efectuados.

Desviación estándar (σ)

La desviación estándar es la más importante de las medidas de dispersión. Se define como la raíz cuadrada de la media aritmética del cuadrado de las desviaciones de cada valor de la variable con respecto a la media, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (\bar{X} - X_i)^2}{n - 1}}$$

Donde:

σ : desviación estándar, en kg/cm².

\bar{X} : Resistencia promedio, en kg/cm².

X_i : resultados individuales de pruebas de resistencia, en kg/cm².

n : número de ensayos.

Se emplea ($n - 1$) para compensar la inseguridad de lo pequeño de la muestra.

Criterios de análisis

Para cada una de las mezclas de concreto se elaboraron especímenes para dos ensayos a 7, 14 y 28 días de edad. Un ensayo corresponde al promedio de los valores obtenidos en dos especímenes por edad. De éstos se obtuvieron un valor de resistencia.

Los valores de los ensayos correspondientes a cada mezcla y su respectiva relación agua-cemento se sometieron al siguiente criterio:

1. Sólo se tomaron los valores promedio de resistencia o ensayo que se encontraron dentro del intervalo $[\bar{X} \pm \sigma]$. Es decir, se descartó cualquier ensayo que se encontró fuera del intervalo $[\bar{X} \pm \sigma]$.
2. La resistencia promedio $f'c$ sería el promedio de los ensayos de resistencia consecutivos que se encuentren dentro del intervalo $[\bar{X} \pm \sigma]$.
3. La resistencia promedio a la flexión "fr" o módulo de ruptura sería el promedio de los ensayos de resistencia consecutivos que se encuentren dentro del intervalo $[\bar{X} \pm \sigma]$.

ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

PRESUPUESTO

Costos Directos

Materiales	Unidad	Cantidad	V. Unitario	V. Parcial
<u>Cemento</u>	<u>Kg</u>	<u>1000</u>	<u>\$440</u>	<u>\$440,000</u>
<u>Agregado Fino</u>	<u>Kg</u>	<u>3000</u>	<u>\$50</u>	<u>\$150,000</u>
<u>Agregado Grueso</u>	<u>Kg</u>	<u>3300</u>	<u>\$60</u>	<u>\$198,000</u>
<u>Mezclador</u>	<u>días</u>	<u>2</u>	<u>\$120.000</u>	<u>\$240,000</u>
				\$1,028,000

Costos Indirectos

Materiales	Unidad	Cantidad	V. Unitario	V. Parcial
<u>Acarreo de Material</u>	<u>viajes</u>	<u>2</u>	<u>\$100000</u>	<u>\$200,000</u>
<u>Viáticos</u>	<u>global</u>			<u>\$200,000</u>
<u>Insumos</u>	<u>global</u>			<u>\$400,000</u>
				\$800,000

Total Costos \$1,828,000

RESUMEN

Este trabajo de tesis esta dividido de la siguiente forma: dos etapas, conclusiones y anexo, como sigue:

Primera etapa: esta parte consta de las generalidades, características y propiedades de los materiales. Compuestas por tres capítulos, como son:

- Capitulo Primer, generalidades del concreto, en este capítulo se definirá la historia, su uso, definición, materiales que lo conforman, funciones principales de los materiales en la mezcla de concreto, Requisitos para obtener un buen concreto, tipos de aditivos y sus usos en el concreto,
- Capitulo segundo, características de los agregados, En este capítulo, contiene definición de agregados, clasificación de los agregados, según su naturaleza, su densidad, por su origen, forma y textura, por su tamaño, agregados finos, agregados gruesos. También contiene las propiedades tales como; granulometría, modulo de fineza, contenido de finos, densidad, porosidad, peso unitario, porcentaje de vacios, humedad natural, tenacidad, dureza, modulo de elasticidad. Características de los cementos, obtención, tipos de cementos, usos principales. Agua de mezclado, carbonatos y bicarbonatos disueltos en el agua. Tablas de concentraciones máximas permitidas.
- Capitulo tres, concreto, este capítulo contiene propiedades tales como, trabajabilidad, velocidad de fraguado, peso especifico, permeabilidad, resistencia al desgaste, relación agua-cemento, definición de resistencia a la compresión, modulo de rotura, resistencia a la torsión.

Segunda etapa: esta consta de los siguientes capítulos, en el siguiente orden:

- Capitulo cuatro, resultados de laboratorio realizado a los agregados, este capítulo contiene los siguientes laboratorios realizados: Muestreo de materiales, contenido aproximado de materia orgánica en los finos, análisis granulométrico de agregados gruesos y finos, peso unitario y porcentaje de vacío de los agregados, resistencia al desgaste de los agregados gruesos, peso específico y absorción de agregados finos, peso específico y absorción de agregados gruesos, humedad superficial en agregados finos, porcentaje de caras fracturadas en los agregados, índice de aplanamiento y de alargamiento.

- Capitulo cinco, diseño de mezcla de concreto, este capítulo contiene, la forma como nosotros diseñamos las mezclas para las diferentes tipos de relación agua-cemento que son; 0.6, 0.55, 0.5, 0.45, 0.4, 0.35. Además de las gradaciones ideales, los métodos de diseño de Fuller, Thompson, Weymouth, mencionamos también la teoría de Bolomey.

- capitulo sexto, análisis de resultados, este capítulo contiene todos los resultados obtenidos de los laboratorios de compresión y flexión. Además de las resistencia promedio (\bar{X}), desviación estándar (σ). Los criterios de análisis, establecimiento de la relación entre MR y f'c.

Además de las conclusiones y la bibliografía encontramos una parte complementaria que son los anexos. Estos anexos lo conforman un descripción de una aplicación en VBA de Excel para diseñar mezclas de concreto.

PARTE I:

**GENERALIDADES CARACTERÍSTICAS Y
PROPIEDADES DE LOS MATERIALES**

1 GENERALIDADES DEL CONCRETO

Este capítulo se definirá la historia del concreto que es uno de los materiales, más utilizado en la construcción, desde su utilización en Egipto antiguo, que era una mezcla de yeso y arcilla, hasta el año de 1774 cuando John Smeaton había encontrado que combinar la cal viva con otros materiales. Dando como resultado un material extremadamente duro que se podría utilizar para unir juntos otros materiales. Este es el primer concreto usado después del imperio romano.

1.1 HISTORIA

Egipto Antiguo: los egipcios usaron el yeso calcinado para dar al ladrillo o a las estructuras de piedra una capa lisa.

Grecia antigua: una aplicación similar de piedra caliza calcinada fue utilizada por los Griegos antiguos.

El Coliseo Romano: los Romanos utilizaron con frecuencia el agregado quebrado del ladrillo embutido en una mezcla de la masilla de la cal con polvo del ladrillo o la ceniza volcánica. Construyeron una variedad amplia de estructuras que incorporaron la piedra y concreto, incluyendo los caminos, los acueductos, los templos y los palacios.

Los Romanos antiguos utilizaron losas de concreto en muchas de sus estructuras públicas grandes como el Coliseo y el Partenón. El concreto también fue utilizado en la pared de la defensa que abarca Roma, en caminos y los acueductos que todavía existen hoy. Utilizaron muchas técnicas innovadoras para manejar el peso del concreto. Para aligerar el peso de estructuras enormes, encajonaron a menudo tarros de barro vacíos en las paredes. También utilizaron barras de metal como refuerzos en el concreto cuando fueron construidos techos estrechos sobre callejones.

1774 El Faro de Smeaton: John Smeaton había encontrado que combinar la cal viva con otros materiales creaba un material extremadamente duro que se podría utilizar para unir juntos otros materiales. Él utilizó este conocimiento para construir la primera estructura de concreto desde la Roma antigua. John Smeaton, uno de los grandes ingenieros del siglo dieciocho, logró un triunfo al construir el faro de Eddystone en Inglaterra. Los faros anteriores en este punto habían sido destruidos por las tormentas y el sitio estaba expuesto a la extrema fuerza del

mar. “Pero Smeaton utilizó un sistema en la construcción de su cantería que la limita junta en un todo extremadamente tenaz. Él bloqueó las piedras unas en otras y para las fundaciones y el material de junta utilizó una mezcla de la cal viva, arcilla, arena y escoria de hierro machacada – *concreto*. Esto ocurrió en 1774, es el primer uso del concreto desde el período romano”¹.

1816 El primer puente de concreto (no reforzado) fue construido en Souillac, Francia.

1825 Paso del canal: El primer concreto moderno producido en América se utiliza en la construcción del canal de Erie. Se utilizó el cemento hecho de la “cal hidráulica” encontrada en los condados de Madison en Nueva York, de Cayuga y de Onondaga.

1901 Abrazadera de columna: Arthur Henry Symons diseñó una abrazadera de columna para encofrado de concreto en su departamento de herrero en la ciudad de Kansas. Era ajustable y mantenía las formas cuadradas, dos características apreciadas por los contratistas de concreto. La abrazadera llegó a ser rápidamente popular y los contratistas pidieron que él hiciera más equipo para resolver sus necesidades en la construcción de concreto. Pronto, A.H. Symons hacía una variedad amplia de equipo para la cada vez mayor industria de la construcción en concreto.

¹ Sigfried Giedion, Citado de Espacio, Tiempo y Arquitectura: el crecimiento de una nueva tradición, Harvard University Press, 1954.

1.2 DEFINICIÓN Y FUNCIONES DE LOS AGREGADOS DENTRO DEL CONCRETO

1.2.1 Definición: el concreto es un material pétreo artificial que se obtiene de la mezcla, en determinadas proporciones, de pasta y agregados minerales. La pasta se compone de cemento y agua, que al endurecerse une a los agregados formando un conglomerado semejante a una roca debido a la reacción química entre estos componentes. Para lograr las mejores propiedades mecánicas, el concreto debe contar con un esqueleto pétreo empacado lo más densamente posible, y con la cantidad de pasta de cemento necesaria para llenar los huecos que éste deje.

Las proporciones de estos componentes están controladas por varios requisitos:

- La masa de concreto fresco debe de ser trabajable.
- El concreto endurecido debe poseer la resistencia y durabilidad deseada, el costo del producto resultante debe ser el mínimo compatible con calidad deseada.

El agregado ocupa las $\frac{3}{4}$ partes del espacio ocupado por el concreto. El resto es ocupado con agua, cemento y vacíos. Después de colocado el concreto, siempre hay pequeños poros de aire en la masa. La porción sólida queda compuesta por agregados, algo de cemento original y un nuevo producto formado por la combinación de cemento y agua. Después de un tiempo determinado, la cantidad de agua libre depende del grado de combinación entre cemento y agua, y de la pérdida de agua por evaporación de la masa.

Ya sabemos que el concreto es básicamente una mezcla de dos componentes, Agregado y pasta. La pasta, compuesta de Cemento Portland y agua, une a los agregados (*arena y grava o piedra triturada*) para formar una masa semejante a

una roca pues la pasta endurece debido a la reacción química entre el Cemento y el agua. Los agregados generalmente se dividen en dos grupos: finos y gruesos, variación de las proporciones en volumen absoluto de los materiales usados en el concreto. Para cualquier conjunto específico de materiales y de condiciones de curado, la cantidad de concreto endurecido está determinada por la cantidad de agua utilizada en la relación con la cantidad de Cemento. A continuación se presenta algunas ventajas que se obtienen al reducir el contenido de agua:

- Mayor la resistencia a la compresión y a la flexión.
- Menor permeabilidad, y por ende mayor hermeticidad y menor absorción
- Mayor la resistencia al interperismo.
- Se logra una mejor unión entre capas sucesivas y entre el concreto y el refuerzo.
- Se reducen las tendencias de agrietamientos por contracción.

Entre menos agua se utilice, se tendrá una mejor calidad de concreto a condición que se pueda consolidar adecuadamente. Menores cantidades de agua de mezclado resultan en mezclas más rígidas; pero con vibración, aun las mezclas más rígidas pueden ser empleadas. Las propiedades del concreto en estado fresco (*plástico*) y endurecido, se puede modificar agregando aditivos al concreto, usualmente en forma líquida, durante su dosificación.

Los aditivos se usan comúnmente para:

- ajustar el tiempo de fraguado o endurecimiento.
- reducir la demanda de agua.

- aumentar la trabajabilidad.
- incluir intencionalmente aire.
- ajustar otras propiedades del concreto.

Después de un proporcionamiento adecuado, así como, dosificación, mezclado, colocación, consolidación, acabado, y curado, el concreto endurecido se transforma en un material de construcción resistente, no combustible, durable, resistencia al desgaste y prácticamente impermeable que requiere poco o nulo mantenimiento. El concreto también es un excelente material de construcción porque puede moldearse en una gran variedad de formas, colores y texturizados para ser usado en un número ilimitado de aplicaciones. El concreto recién mezclado debe ser plástico o semifluido y capaz de ser moldeado a mano. Una mezcla muy húmeda de concreto se puede moldear en el sentido de que puede colocarse en una cimbra, pero esto no entra en la definición de " *plástico* " aquel material que es plegable y capaz de ser moldeado o formado como un terrón de arcilla para moldear.

En una mezcla de concreto plástico todos los granos de arena y las piezas de grava o de piedra quedan encajonados y sostenidos en suspensión. Los componentes no están predispuestos a segregarse durante el transporte; y cuando el concreto endurece, se transforma en una mezcla homogénea de todos los componentes. El concreto de consistencia plástica no se desmorona si no que fluye como líquido viscoso sin segregarse. El revenimiento llamado comúnmente asentamiento se utiliza como una medida de la consistencia del concreto. Un concreto de bajo revenimiento tiene una consistencia dura. En la práctica de la construcción, los elementos delgados de concreto y los elementos del concreto fuertemente reforzados requieren de mezclas trabajables, pero jamás de mezclas similares a una sopa, para tener facilidad en su colocación. Se necesita una

mezcla plástica para tener resistencia y para mantener su homogeneidad durante el manejo y la colocación. Mientras que una mezcla plástica es adecuada para la mayoría con trabajos con concreto, se puede utilizar aditivos súper plastificantes para adicionar fluidez al concreto en miembros de concretos delgados o fuertemente reforzados.

Las propiedades de la pasta dependen de:

- Clase y propiedades del cemento.
- Calidad del agua.
- Proporción relativa de agua y cemento a menor relación agua cemento mayor resistencia y mejor calidad de concreto.
- Grado de combinación química alcanzado entre agua y cemento (*proceso llamado de "hidratación" del cemento*) y que depende del tiempo, temperatura y humedad. El periodo en el que el cemento está sujeto a condiciones favorables de humedad y temperatura para su hidratación se llama "*curado*". Usualmente en construcción este periodo es de 3 a 14 días, en el laboratorio de 28 días. El curado es esencial, para un buen concreto.

El agregado tiene 3 funciones principales:

- Proveer un llenador relativamente barato para el material cementante.
- Proveer una masa de partículas de calidad adecuada para resistir la acción de cargas, desgaste, precolación de humedad y acción climática.

- Reducir los cambios volumétricos que resultan del proceso, de endurecimiento y cambios de humedad de la pasta agua - cemento.

Requisitos para obtener un buen concreto:

- Usar materiales de calidad y bajo costo.
- Proporcionar y dosificar adecuadamente dichos materiales.
- Mezclar, transportar y colocar adecuadamente el concreto (*para evitar segregación y lograr una buena compactación*).
- Mantener las condiciones de curado adecuadas (*para que la hidratación del cemento sea lo más completa posible*).

2. CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS

En este capítulo, estableceremos definiciones, características químicas y físicas de los agregados que componen la mezcla de concreto. Estos componentes son los agregados gruesos, finos, el cemento y el agua de mezclado.

2.1 AGREGADOS

2.1.1 Introducción: Anteriormente, los agregados eran elementos inertes dentro del concreto ya que no interactuaban directamente dentro de las reacciones químicas. La tecnología reciente establece que siendo este material el que mayor porcentaje de contribución tendrá dentro de la unidad cúbica de concreto sus propiedades y características diversas influyen en todas las propiedades del concreto.

La influencia de este material en las propiedades del concreto, tiene efectos trascendentales no sólo en el acabado y calidad terminal del concreto sino también sobre la trabajabilidad y consistencia al estado plástico, así como sobre la durabilidad, resistencia, propiedades elásticas y térmicas, cambios volumétricos y peso unitario del concreto endurecido.

La norma de concreto E-060, "recomienda que a pesar que en ciertas circunstancias agregados que no cumplen con los requisitos estipulados han demostrado un buen comportamiento en experiencias de obras ejecutadas, sin embargo debe tenerse en cuenta que un comportamiento satisfactorio en el pasado no garantiza buenos resultados bajo otras condiciones y en diferentes localizaciones, en la medida de lo posible deberán usarse agregados que cumplan con las especificaciones del proyecto"².

2.1.2 Conceptos: Generalmente se entiende por "agregado" a la mezcla de arena y piedra de granulometría variable. El concreto es un material compuesto básicamente por agregados y pasta cementicia, elementos de comportamientos bien diferenciados. Se define como agregado al conjunto de partículas inorgánicas

² Citado de Espacio, Monografía características de los agregados, [www. Monografía .com](http://www.Monografía.com)

de origen natural o artificial cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por normas locales.

Los agregados son la fase discontinua del concreto y son materiales que están embebidos en la pasta y que ocupan aproximadamente el 75% del volumen de la unidad cúbica de concreto.

Los agregados son materiales inorgánicos naturales o artificiales que están embebidos en los aglomerados (cemento, cal y agua) forman los concretos y morteros.

Los agregados generalmente se dividen en dos grupos, finos y gruesos. Los agregados finos consisten en arenas naturales o manufacturadas con tamaños de partícula que pueden llegar hasta 5mm; los agregados gruesos son aquellos cuyas partículas se retienen en la malla No. 4 y pueden variar hasta 152 mm. El tamaño máximo de agregado que se emplea comúnmente es el de 19 mm (3/4") o el de 25 mm (1").

Los agregados conforman el esqueleto granular del concreto y son el elemento mayoritario ya que representan el 80-90% del peso total de concreto, por lo que son responsables de gran parte de las características del mismo. Los agregados son generalmente inertes y estables en sus dimensiones.

La pasta cementicia (*mezcla de cemento y agua*) es el material activo dentro de la masa de concreto y como tal es en gran medida responsable de la resistencia, variaciones volumétricas y durabilidad del concreto. Es la matriz que une los elementos del esqueleto granular entre sí.

Cada elemento tiene su rol dentro de la masa de concreto y su proporción en la mezcla es clave para lograr las propiedades deseadas, esto es: trabajabilidad, resistencia, durabilidad y economía.

2.1.3 Clasificación: Existen varias formas de clasificar a los agregados, algunas de las cuales son:

2.1.3.1 Por su naturaleza: Los agregados pueden ser naturales o artificiales, siendo los naturales de uso frecuente, además los agregados utilizados en el concreto se pueden clasificar en: agregado grueso, fino.

- El agregado fino, se define como aquel que pasa el tamiz 3/8" y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas.

- El agregado grueso, es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la desintegración de las rocas; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava.

2.1.3.2 Por su densidad: Se pueden clasificar en agregados de peso específico normal comprendidos entre 2.50 a 2.75, ligeros con pesos específicos menores a 2.5, y agregados pesados cuyos pesos específicos son mayores a 2.75.

2.1.3.3 Por el origen, forma y textura superficial: Por naturaleza los agregados tienen forma irregularmente geométrica compuestos aleatoriamente por caras redondeadas y angulosidades. En términos descriptivos la forma de los agregados puede ser:

- Angular: Poca evidencia de desgaste en caras y bordes.

- Sub angular: Evidencia de algo de desgaste en caras y bordes.

- Sub redondeada: Considerable desgaste en caras y bordes.

- Redondeada: Bordes casi eliminados.
- Muy Redondeada: Sin caras ni bordes.

2.1.3.4 Por el tamaño del agregado: Según su tamaño, los agregados para concreto son clasificados en:

- Agregados finos (*arenas*).
- Agregados gruesos (*pedras*).

2.1.3.4.1 Áridos y Arenas: El tamiz que separa un agregado grueso de uno fino es el de 4,75 mm. Es decir, todo agregado menor a 4,75 mm es un agregado fino (*arena*). 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 otro de 0.25mm.
- Arena media: es aquella cuyos granos pasan por un tamiz de 2.5mm de diámetro y son retenidos por otro de 1mm.
- Arena gruesa: es la que sus granos pasan por un tamiz de 5mm de diámetro y son retenidos por otro de 2.5mm.

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 sea adherente. En contra partida, el mortero será más que plástico, resultando éste muy poroso y poco adherente.

El concreto es un material formado por cemento, áridos de diferentes granulometrías, agua y aditivos que, mezclado en diferentes proporciones, permite obtener el concreto que es distribuido en camiones mezcladores comúnmente llamados mixes. Es un material vivo, no almacenable, ya que su tiempo de uso se limita a 90 minutos; a partir de los cuales el concreto pierde sus propiedades.

Las características especiales de este material obligan a fabricar bajo pedido, adecuando la producción a la situación geográfica, al horario y ritmo de cada obra, debiendo optimizar los recursos para ofrecer no sólo un producto de calidad sino un buen servicio al cliente.

Cualquiera sea el tipo de material utilizado, sus partículas deben ser duras y resistentes, ya que el concreto, como cualquier otro material se romperá por su elemento más débil. Si el agregado es de mala calidad sus partículas se romperán antes que la pasta cementicia, o el mortero.

Agregado Fino: Un agregado fino con partículas de forma redondeada y textura suave ha demostrado que requiere menos agua de mezclado. Se acepta habitualmente, que el agregado fino causa un efecto mayor en las proporciones de la mezcla que el agregado grueso.- Los primeros tienen una mayor superficie específica y como la pasta tiene que recubrir todas las superficies de los agregados, el requerimiento de pasta en la mezcla se verá afectado por la proporción en que se incluyan éstos.

La experiencia indica que las arenas con un módulo de finura (MF) inferior a 2.5 dan concreto con consistencia pegajosa, haciéndolo difícil de compactar. Arenas con un módulo de finura de 3.0 han dado los mejores resultados en cuanto a trabajabilidad y resistencia a la compresión.

Agregado Grueso: Numerosos estudios han demostrado que para una resistencia a la compresión alta con un elevado contenido de cemento y baja relación agua-cemento el tamaño máximo de agregado debe mantenerse en el mínimo posible (12,7 mm a 9,5 mm).

En principio el incremento en la resistencia a medida que disminuye el tamaño máximo del agregado se debe a una reducción en los esfuerzos de adherencia debido al aumento de la superficie específica de las partículas.

Se ha encontrado que la adherencia a una partícula de 76 mm. es apenas un 10% de la correspondiente a una de 12,5 mm., y que excepto para agregados extremadamente buenos o malos, la adherencia es aproximadamente entre el 50 a 60% de la resistencia de la pasta a los 7 días.

Las fuerzas de vínculo dependen de la forma y textura superficial del agregado grueso, de la reacción química entre los componentes de la pasta de cemento y los agregados. Otro aspecto que tiene que ver con el tamaño máximo del agregado es el hecho de que existe una mayor probabilidad de encontrar fisuras o fallas en una partícula de mayor tamaño provocadas por los procesos de explotación de las canteras (dinamitado) y debido a la reducción de tamaño (trituration), lo cual lo convertirá en un material indeseable para su utilización en concreto.

También se considera que la alta resistencia producida por agregados de menor tamaño se debe a una baja en la concentración de esfuerzos alrededor de las

partículas, la cual es causada por la diferencia de los módulos elásticos de la pasta y el agregado

Se ha demostrado que la grava triturada produce resistencias mayores que la redondeada.- Esto se debe a la trabazón mecánica que se desarrolla en las partículas angulosas. Sin embargo se debe evitar una angulosidad excesiva debido al aumento en el requerimiento de agua y disminución de la trabajabilidad a que esto conlleva.

El agregado ideal debe ser limpio, cúbico, anguloso, triturado 100%, con un mínimo de partículas planas y elongadas.

2.1.4 propiedades:

2.1.4.1 Granulometría: La granulometría es la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado tal como se determina por análisis de tamices (*norma I.N.V.E – 213*).

La granulometría y el tamaño máximo de agregado afectan las proporciones relativas de los agregados así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, capacidad de bombeo, economía, porosidad, contracción.

2.1.4.1.1 Granulometría de los agregados finos: Depende del tipo de trabajo, de la riqueza de la mezcla, y el tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas más pobres, o cuando se emplean agregados gruesos de tamaño pequeño, la granulometría que más se aproxime al porcentaje máximo que pasa por cada criba resulta lo más conveniente para lograr una buena trabajabilidad. En general, si la relación agua – cemento se mantiene constante y la relación de agregado fino a grueso se elige correctamente, se puede hacer uso de un amplio rango de granulometría sin tener un efecto apreciable en la resistencia.

Entre más uniforme sea la granulometría, mayor será la economía.

Estas especificaciones permiten que los porcentajes mínimos (*en peso*) del material que pasa las mallas de 0.30mm (*No. 50*) y de 15mm (*No. 100*) sean reducidos a 15% y 0%, respectivamente, siempre y cuando:

- El agregado que se emplee en un concreto que contenga más de 296 Kg de cemento por metro cubico y no tenga inclusión de aire (solo el naturalmente atrapado).
- Que el modulo de finura no sea inferior a 2.3 ni superior a 3.1 del agregado fino, se deberá rechazar a menos de que se hagan los ajustes adecuados en las proporciones el agregado fino y grueso.

Las cantidades de agregado fino que pasan las mallas de 0.30 mm (*No. 50*) y de 1.15 mm (*No. 100*), afectan la trabajabilidad, la textura superficial, y el sangrado del concreto.

El modulo de finura (FM) del agregado grueso o del agregado fino se obtiene, conforme a la norma ASTM C 125, sumando los porcentajes acumulados en peso de los agregados retenidos en una serie especificada de mallas y dividiendo la suma entre 100.

El modulo de finura es un índice de la finura del agregado entre mayor sea el modo de finura, más grueso será el agregado. El modulo de finura del agregado fino es útil para estimar las proporciones de los de los agregados finos y gruesos en las mezclas de concreto.

2.1.4.1.2 Granulometría de los agregados gruesos: El tamaño máximo del agregado grueso que se utiliza en el concreto tiene su fundamento en la

economía. Comúnmente se necesita más agua y cemento para agregados de tamaño pequeño que para tamaños mayores, para revenimiento de aproximadamente 7.5 cm para un amplio rango de tamaños de agregado grueso. El número de tamaño de la granulometría (o *tamaño de la granulometría*). El número de tamaño se aplica a la cantidad colectiva de agregado que pasa a través de un arreglo mallas. El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. La malla de tamaño máximo nominal, puede retener de 5% a 15% del agregado dependiendo del número de tamaño. Por ejemplo, el agregado X (equis) tiene un tamaño máximo de 25 mm y un tamaño máximo nominal de 19 mm. De noventa a cien por ciento de este agregado debe pasar la malla de 19 mm y todas sus partículas deberán pasar la malla 25 mm.

Por lo común el tamaño máximo de las partículas de agregado no debe pasar:

- Un quinto de la separación mínima entre lados de cimbra.
- Tres cuartos del espaciamiento libre entre barras de refuerzo.
- Un tercio del peralte de las losas.

2.1.4.1.3 Agregado con granulometría discontinua: Consisten en solo un tamaño de agregado grueso siendo todas las partículas de agregado fino capaces de pasar a través de los vacíos en el agregado grueso compactado. Las mezclas con granulometría discontinua se utilizan para obtener texturas uniformes en concretos con agregados expuestos. También se emplean en concretos estructurales normales, debido a las posibles mejoras en densidad, permeabilidad, contracción, fluencia, resistencia, consolidación, y para permitir el uso de granulometría de agregados locales. Para un agregado de 19.0 mm de tamaño máximo, se pueden omitir las partículas de 4.75 mm a 9.52 mm sin hacer al

concreto excesivamente áspero o propenso a segregarse. En el caso del agregado de 38.1 mm, normalmente se omiten los tamaños de 4.75 mm a 19.0 mm. Una elección incorrecta, puede resultar en un concreto susceptible de producir segregación o alveolado debido a un exceso de agregado grueso o en un concreto de baja densidad y alta demanda de agua provocada por un exceso de agregado fino. Normalmente el agregado fino ocupa del 25% al 35% del volumen del agregado total. Para un acabado terso al retirar la cimbra, se puede usar un porcentaje de agregado fino respecto del agregado total ligeramente mayor que para un acabado con agregado expuesto, pero ambos utilizan un menor contenido de agregado fino que las mezclas con granulometría continúan. El contenido de agregado fino depende del contenido del cemento, del tipo de agregado, y de la trabajabilidad (*en el capítulo siguiente se define que es la trabajabilidad*).

Para mantener la trabajabilidad normalmente se requiere de inclusión de aire puesto que las mezclas con granulometría discontinua con revenimiento bajo hacen uso de un bajo porcentaje de agregado fino y a falta de aire incluido producen mezclas ásperas.

Se debe evitar la segregación de las mezclas con granulometría discontinua, restringiendo el revenimiento al valor mínimo acorde a una buena consolidación. Este puede variar de cero a 7.5 cm dependiendo del espesor de la sección, de la cantidad de refuerzo, y de la altura de colado.

Si se requiere una mezcla áspera, los agregados con granulometría discontinua podrían producir mayores resistencias que los agregados normales empleados con contenidos de cemento similares.

Sin embargo, cuando han sido proporcionados adecuadamente, estos concretos se consolidan fácilmente por vibración.

2.1.5 Módulo de Fineza: Criterio Establecido en 1925 por Duff Abrams a partir de las granulometrías del material se puede intuir una fineza promedio del material utilizando la siguiente expresión para tamaño máximo $1^{1/2}$:

$$MF = \frac{\sum \% \text{ Acumulados Retenidos } \left(1\frac{1}{2}, \frac{3}{4}, \frac{3}{8}, N^{\circ}4, N^{\circ}8, N^{\circ}16, N^{\circ}30, N^{\circ}50, N^{\circ}100 \right)}{100}$$

Los tamices deben cumplir la relación 1:2 desde N° 100 hasta el mayor tamaño (tamaño máximo)

2.1.6 Contenido De Finos: El contenido de finos o polvo no se refiere al contenido de arena fina ni a la cantidad de piedras de tamaño menor, sino a la suciedad que presentan los agregados (tamaños inferiores a 0,075 mm). El contenido de finos es importante por dos aspectos:

- mayor suciedad habrá mayor demanda de agua, ya que aumenta la superficie a mojar y por lo tanto también aumentará el contenido de cemento si se quiere mantener constante la relación agua/cemento.
- si el polvo está finamente adherido a los agregados, impide una buena unión con la pasta y por lo tanto la interface mortero-agregado será una zona débil por donde se puede originar la rotura del concreto.

Es difícil de apreciar a simple vista si las arenas tienen finos, pero se puede evaluar cualitativamente de las siguientes maneras:

- Observando los acopios, pueden notarse en su superficie costras duras originadas por el desecamiento de estos finos.

- Haciendo una simple prueba consiste en colocar un poco de arena en un recipiente traslúcido con agua, agitar enérgicamente y dejar reposar un par de minutos. Si la arena está sucia se diferenciará claramente en el fondo del recipiente el depósito de arena y sobre éste, el de material fino.

2.1.7 Propiedades físicas:

2.1.7.1 Densidad: Depende de la gravedad específica de sus constituyentes sólidos como de la porosidad del material mismo. La densidad de los agregados es especialmente importante para los casos en que se busca diseñar concretos de bajo o alto peso unitario. Las bajas densidades indican también que el material es poroso y débil y de alta absorción.

2.1.7.2 Porosidad: La palabra porosidad viene de poro que significa espacio no ocupado por materia sólida en la partícula de agregado es una de las más importantes propiedades del agregado por su influencia en las otras propiedades de éste, puede influir en la estabilidad química, resistencia a la abrasión, resistencias mecánicas, propiedades elásticas, gravedad específica, absorción y permeabilidad.

2.1.7.3 Peso Unitario: Es el resultado de dividir el peso de las partículas entre el volumen total incluyendo los vacíos. Al incluir los espacios entre partículas influye la forma de acomodo de estos. El procedimiento para su determinación se encuentra normalizado en ASTM C29. Es un valor útil sobre todo para hacer las transformaciones de pesos a volúmenes y viceversa.

2.1.7.4 Porcentaje de Vacíos: Es la medida de volumen expresado en porcentaje de los espacios entre las partículas de agregados, depende del acomodo de las partículas por lo que su valor es relativo como en el caso del peso unitario. Se evalúa usando la siguiente expresión recomendada por ASTM C 29

$$\% \text{ vacios} = \frac{(S \times W - P. U. C)}{S \times W} \times 100$$

Donde:

S = Peso específico de masa

W = Densidad del agua

$P. U. C.$ = Peso Unitario Compactado seco del agregado

2.1.7.5 Humedad: Es la cantidad de agua superficial retenida por la partícula, su influencia está en la mayor o menor cantidad de agua necesaria en la mezcla se expresa de la siguiente forma:

$$\% \text{ humedad} = \frac{\text{Peso natural} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

2.1.8 Propiedades resistentes:

2.1.8.1 Resistencia: La resistencia del concreto no puede ser mayor que el de los agregados; la textura la estructura y composición de las partículas del agregado influyen sobre la resistencia. Si los granos de los agregados no están bien cementados unos a otros consecuentemente serán débiles. La resistencia a la compresión del agregado deberá ser tal que permita la resistencia total de la matriz cementante.

2.1.8.2 Tenacidad: Esta característica está asociada con la resistencia al impacto del material. Está directamente relacionada con la flexión, angularidad y textura del material.

2.1.8.3 Dureza: Se define como dureza de un agregado a su resistencia a la erosión abrasión o en general al desgaste. La dureza de las partículas depende de sus constituyentes. Entre las rocas a emplear en concretos éstas deben ser

resistentes a procesos de abrasión o erosión y pueden ser el cuarzo, la cuarzita, las rocas densas de origen volcánico y las rocas silicosas.

2.1.8.4 Módulo de elasticidad: Es definido como el cambio de esfuerzos con respecto a la deformación elástica, considerándosele como una medida de la resistencia del material a las deformaciones.

Es muy inusual su determinación en los agregados sin embargo el concreto experimentara deformaciones por lo que es razonable intuir que los agregados también deben tener elasticidades acordes al tipo de concreto. El valor del modulo de elasticidad además influye en el escurrimiento plástico y las contracciones que puedan presentarse.

2.2 CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO EN EL CONCRETO

2.2.1 Obtención: El cemento se presenta en forma de un polvo finísimo, de color gris que, mezclado con agua, forma una pasta que endurece tanto bajo agua como al aire. Por la primera de estas características y por necesitar agua para su fraguado se le define como un aglomerante hidráulico. Es obtenido mediante un proceso de fabricación que utiliza principalmente dos materias primas: caliza, con un alto contenido de cal en forma de óxidos de calcio, y un componente rico en sílice, constituido normalmente por arcilla o eventualmente por una escoria de alto horno.

Estos componentes son mezclados en proporciones adecuadas y sometidos a un proceso de fusión incipiente en un horno rotatorio, del cual se obtiene un material granular denominado clinker, constituido por 4 compuestos básicos:

- Silicato Tricálcico ($3 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$), designado como C_3S .
- Silicato bicálcico ($2 \text{ CaO} \cdot \text{SiO}_2$), designado como C_2S .
- Aluminato tricálcico ($3 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), designado como C_3A .
- Ferroaluminato tetracálcico ($4 \text{ CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$), designado como C_4AF .

Estos se presentan en forma de cuatro fases mineralizadas, en conjunto con una fase vítrea, integrada por los dos últimos. Estas fases constituyen un 95 % del peso total del clinker, siendo el 5 % restante componentes menores, principalmente óxidos de sodio, potasio, titanio, residuos insolubles y otros.

El clinker es sometido a molienda mediante molinos de bolas hasta convertirlo en el polvo finísimo ya mencionado, adicionándose en esta etapa una proporción de yeso alrededor de un 5 % de su peso, destinado a regular el proceso de fraguado

de la pasta de cemento, la que de otra manera endurecería en forma casi instantánea. El cemento así obtenido se denomina cemento Portland.

Durante la molienda se puede adicionar otros productos naturales o artificiales, constituyendo así los Cementos Portland con adiciones o Especiales, los que, junto con mantener las propiedades típicas del Portland puro (*fraguado y resistencia*), poseen además, otras cualidades especialmente relacionadas con la durabilidad, resistencia química y otras. Entre las adiciones más conocidas y utilizadas están las puzolanas, las cenizas volantes y las escorias básicas granuladas de alto horno. Estas adiciones presentan una reactividad química potencial, que se activa durante la hidratación del clinker a temperatura ambiente. Así las puzolanas y cenizas volantes reaccionan con la cal hidratada liberada durante la hidratación de los componentes activos del clinker. En cambio, en el caso de las escorias este efecto se produce porque la cal hidratada liberada desencadena la reacción de los componentes de la escoria, similares a los existentes en el clinker.

2.2.2 Clasificación de los cementos

2.2.2.1 Tipo, nombre y aplicación:

I : Normal. Para uso general, donde no son requeridos otros tipos de cemento.

IA: Normal. Uso general, con inclusor de aire.

II: Moderado. Para uso general y además en construcciones donde existe un moderado ataque de sulfatos o se requiera un moderado calor de hidratación.

IIA: Moderado. Igual que el tipo II, pero con inclusor de aire.

III: Altas resistencias. Para uso donde se requieren altas resistencias a edades tempranas.

IIIA: Altas resistencias. Mismo uso que el tipo III, con aire incluido.

IV: Bajo calor de hidratación. Para uso donde se requiere un bajo calor de hidratación.

V: Resistente a la acción de los sulfatos. Para uso general y además en construcciones donde existe un alto ataque de sulfatos.

USOS:

Tipo I: Este tipo de cemento es de uso general, y se emplea cuando no se requiere de propiedades y características especiales que lo protejan del ataque de factores agresivos como sulfatos, cloruros y temperaturas originadas por calor de hidratación. Entre los usos donde se emplea este tipo de cemento están: pisos, pavimentos, edificios, estructuras, elementos prefabricados.

Tipo II: El cemento Portland tipo II se utiliza cuando es necesario la protección contra el ataque moderado de sulfatos, como por ejemplo en las tuberías de drenaje, siempre y cuando las concentraciones de sulfatos sean ligeramente superiores a lo normal, pero sin llegar a ser severas (*En caso de presentarse concentraciones mayores se recomienda el uso de cemento Tipo V, el cual es altamente resistente al ataque de los sulfatos*).

Genera normalmente menos calor que el cemento tipo I, y este requisito de moderado calor de hidratación puede especificarse a opción del comprador. En casos donde se especifican límites máximos para el calor de hidratación, puede emplearse en obras de gran volumen y particularmente en climas cálidos, en aplicaciones como muros de contención, pilas, presas, etc. La Norma ASTM C

150 establece como requisito opcional un máximo de 70 cal/g a siete días para este tipo de cemento.

Tipo III: Este tipo de cemento desarrolla altas resistencias a edades tempranas, a 3 y 7 días. Esta propiedad se obtiene al molerse el cemento más finamente durante el proceso de molienda. Su utilización se debe a necesidades específicas de la construcción, cuando es necesario retirar cimbras lo más pronto posible o cuando por requerimientos particulares, una obra tiene que ponerse en servicio muy rápidamente, como en el caso de carreteras y autopistas.

Tipo IV: El cemento Portland tipo IV se utiliza cuando por necesidades de la obra, se requiere que el calor generado por la hidratación sea mantenido a un mínimo.

El desarrollo de resistencias de este tipo de cemento es muy lento en comparación con los otros tipos de cemento. Los usos y aplicaciones del cemento tipo IV están dirigidos a obras con estructuras de tipo masivo, como por ejemplo grandes presas. La hidratación inicia en el momento en que el cemento entra en contacto con el agua; el endurecimiento de la mezcla da principio generalmente a las tres horas, y el desarrollo de la resistencia se logra a lo largo de los primeros 30 días, aunque éste continúa aumentando muy lentamente por un período mayor de tiempo. En la fabricación del cemento se utilizan normalmente calizas de diferentes tipos, arcillas, aditivos -como el mineral de fierro cuando es necesario- y en ocasiones materiales silicosos y aluminosos. Estos materiales son triturados y molidos finamente, para luego ser alimentados a un horno rotatorio a una temperatura de 1,400 grados centígrados y producir como ya habíamos expuesto un material nodular de color verde oscuro denominado clinker.

2.2.3 Cementos Hidráulicos Mezclados: Estos cementos han sido desarrollados debido al interés de la industria por la conservación de la energía y la economía en su producción.

La norma ASTM C 595 reconoce la existencia de cinco tipos de cementos mezclados:

Cemento Portland de escoria de alto horno - Tipo IS.

Cemento Portland puzolana - Tipo IP y Tipo P.

Cemento de escoria - Tipo S.

Cemento Portland modificado con puzolana - Tipo I (PM).

Cemento Portland modificado con escoria - Tipo I (SM).

2.2.4 Cementos para Pozos Petroleros: Estos cementos, empleados para sellar pozos petroleros, normalmente están hechos de clinker de cemento Portland. Generalmente deben tener un fraguado lento y deben ser resistentes a temperaturas y presiones elevadas. El Instituto Americano del Petróleo (American Petroleum Institute) establece especificaciones (API 10-A) para nueve clases de cemento para pozos (clases A a la H). Cada clase resulta aplicable para su uso en un cierto rango de profundidades de pozo, temperaturas, presiones y ambientes sulfatados. También se emplean tipos convencionales de cemento Portland con los aditivos adecuados para modificar el cemento.

2.2.5 Cementos Plásticos

Los cementos plásticos se fabrican añadiendo agentes plastificantes, en una cantidad no mayor del 12% del volumen total, al cemento Portland de TIPO I ó II durante la operación de molienda. Estos cementos comúnmente son empleados para hacer morteros y aplanados.

2.2.6 Cementos Portland Impermeabilizados: El cemento Portland impermeabilizado usualmente se fabrica añadiendo una pequeña cantidad de aditivo repelente al agua como el estearato de sodio, de aluminio, u otros, al clinker de cemento durante la molienda final.

2.2.7 Cementos de Albañilería: Estos son cementos hidráulicos diseñados para emplearse en morteros, para construcciones de mampostería. Están compuestos por alguno de los siguientes: cemento Portland, cemento Portland puzolana, cemento Portland de escoria de alto horno, cemento de escoria, cal hidráulica y cemento natural. Además, normalmente contienen materiales como cal hidratada, caliza, Creta, talco o arcilla. La trabajabilidad, resistencia y color de los cementos de albañilería se mantienen a niveles uniformes gracias a los controles durante su manufactura. Aparte de ser empleados en morteros para trabajos de mampostería, pueden utilizarse para argamasas y aplanados, mas nunca se deben emplear para elaborar concreto.

2.2.8 Cementos Expansivos: El cemento expansivo es un cemento hidráulico que se expande ligeramente durante el período de endurecimiento a edad temprana después del fraguado. Debe satisfacer los requisitos de la especificación ASTM C 845, en la cual se le designa como cemento tipo E-1. Comúnmente se reconocen tres variedades de cemento expansivo:

E-1(K) contiene cemento Portland, trialuminosulfato tetracálcico anhidro, sulfato de calcio y óxido de calcio sin combinar.

E-1(M) contiene cemento Portland, cemento de aluminato de calcio y sulfato de calcio.

E-1(S) contiene cemento Portland con un contenido elevado de aluminato tricálcico y sulfato de calcio.

2.2.9 Cemento Portland Blanco: El cemento Portland blanco difiere del cemento Portland gris únicamente en el color. Se fabrica conforme a las especificaciones de la norma ASTM C 150, normalmente con respecto al tipo I ó tipo III; el proceso de manufactura, sin embargo, es controlado de tal manera que el producto terminado sea blanco. El cemento Pórtland blanco es fabricado con materias primas que contienen cantidades insignificantes de óxido de hierro y de manganeso, que son las sustancias que dan el color al cemento gris.

El cemento blanco se utiliza para fines estructurales y para fines arquitectónicos, como muros precolados, aplanados, pintura de cemento, páneles para fachadas, pegamento para azulejos y como concreto decorativo.

2.3 AGUA DE MEZCLADO PARA EL CONCRETO

2.3.1 Definición: Casi cualquier agua natural que sea potable y que no tenga sabor u olor pronunciado, se puede utilizar para producir concreto. Sin embargo, algunas aguas no potables pueden ser adecuadas para el concreto.

Se puede utilizar para fabricar concreto si los cubos de mortero (*Norma ASTM C109*), producidos con ella alcanzan resistencia a los siete días iguales a al menos el 90% de especímenes testigo fabricados con agua potable o destilada. Las impurezas excesivas en el agua no solo pueden afectar el tiempo de fraguado y la resistencia de el concreto, si no también pueden ser causa de eflorescencia, manchado, corrosión del esfuerzo, inestabilidad volumétrica y una menor durabilidad. El agua que contiene menos de 2,000 partes de millón (ppm) de sólidos disueltos totales generalmente pueden ser utilizada de manera satisfactoria para elaborar concreto. El agua que contenga más de 2,000 ppm de sólidos disueltos deberá ser ensayada para investigar su efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado.

2.3.2 Carbonatos y bicarbonatos alcalinos: El carbonato de sodio puede causar fraguados muy rápidos, en tanto que los bicarbonatos pueden acelerar o retardar el fraguado. En concentraciones fuertes estas sales pueden reducir de manera significativa la resistencia del concreto. Cuando la suma de las sales disueltas exceda 1,000 ppm, se deberán realizar pruebas para analizar su efecto sobre el tiempo de fraguado y sobre la resistencia a los 28 días. También se deberá considerar la posibilidad que se presenten reacciones álcali, agregado graves.

2.3.3 Cloruros: La inquietud respecto a un elevado contenido de cloruros en el agua de mezclado, se debe principalmente al posible efecto adverso que lo iones de cloruro pudieran tener en la corrosión del acero de refuerzo, o de los torones

del presfuerzo. Los iones cloruro atacan la capa de oxido protectora formada en el acero por el medio químico altamente alcalino (pH 12.5) presente en el concreto. Los cloruros se pueden introducir en el concreto, ya sea con los ingredientes separados (aditivos, agregados, cemento, y agua) o a través de la exposición a las sales anticongelantes, al agua de mar, o al aire cargado de sales cerca de las costas. El agua que se utilice en concreto preforzado o en un concreto que vaya a tener embebido aluminio no deberá contener cantidades nocivas de ion cloruro. Las aportaciones de cloruros de los ingredientes distintos al agua también se deberán tomar en consideración. Los aditivos de cloruro de calcio se deberán emplear con mucha precaución. El Reglamento de Construcción del (*American Concrete Institute, ACI 318*), limita el contenido de ion cloruro soluble al agua en el Concreto preforzado.

Tabla 1 Concentraciones máximas permitidas, para el agua de mezclado.

Impurezas	Máxima concentración tolerada	
Carbonato de sodio y potasio	1	ppm
	20	ppm
Cloruro como CL (concreto pre esforzado)	500	ppm
Cloruro como CL (concreto húmedo o con elementos de aluminio)	1	ppm
Metales similares o galvanizados)		
Sulfato sodio	10	ppm
Sulfato como SO4	3	ppm
Carbonatos de calcio y magnesio, como ion	400	ppm

bicarbonato

Cloruro de magnesio	40	ppm
Sulfato de magnesio	25	ppm
Cloruro de calcio(por peso de cemento en el concreto)	2%	
Sales de hierro	40	ppm
Yodato, fosfato ,arsenato borato de sodio	500	ppm
Sulfito de sodio	100	ppm
Acido sulfúrico y acido clorhídrico	10	ppm
Ph	6 a 8 %	
Hidróxido de sodio(por peso de cemento en el concreto)	0.5%	
Hidróxido de potasio(por peso de cemento en el concreto)	1.2%	
Azúcar	500	ppm
Partículas en suspensión	2	ppm
Aceite mineral(por peso de cemento en el concreto)	2%	
Agua con algas	0	
Materia orgánica	20	ppm
Agua de mar(concentración total de sales para concreto no reforzado)	35	ppm
Agua de mar para concreto reforzado o pre esforzado	No recomendado	

3. CONCRETO

En este capítulo estudiaremos y definiremos las propiedades y las características más importantes del concreto, para su buena utilización. Entre sus propiedades y características estudiaremos trabajabilidad, velocidad de fraguado, peso específico resistencia al desgaste, y las más importantes para nuestro estudio relación agua-cemento, resistencia a la compresión y el modulo de rotura.

3.1 PROPIEDADES DEL CONCRETO

3.1.1 Trabajabilidad del concreto fresco: Trabajabilidad es la facilidad que presenta el concreto fresco para ser colocado y vibrado en cualquier molde. Los concretos con baja trabajabilidad presentan problemas de mezclado y problemas de compactación dentro de los moldes, lo que puede redundar en una disminución de la resistencia. La trabajabilidad del concreto se suele categorizar en función del asentamiento del cono de Abrams o de la medición de la dispersión diametral en la mesa de flujo. Para mejorar la trabajabilidad de un concreto, se puede añadir agua con la consiguiente disminución de resistencia, o se pueden incluir aditivos plastificantes que no disminuirán su resistencia final.

3.1.2 Velocidad de fraguado: Las características propias de la estructura que se desea fundir pueden dar lugar a la necesidad de acelerar o retardar el fraguado del concreto, para lo cual pueden utilizarse cementos especiales (*muy poco utilizados en nuestro país*) o aditivos acelerantes y retardantes.

3.1.3 Peso específico: La necesidad de disponer de un concreto ligero o pesado requerirá la utilización de agregados ligeros o pesados respectivamente. Pero su peso específico está alrededor de 2400 kg/m³. Además un concreto ligero podría ser utilizado en losas de edificios altos, mientras que los concretos pesados podrían emplearse en anclajes de puentes colgantes, como bunkers de cobertura de materiales radioactivos, o para almacenar materiales explosivos

3.1.4 Permeabilidad y hermeticidad: El concreto empleado en estructuras que retengan agua o que estén expuestas a mal tiempo o a otras condiciones de exposición severa debe ser virtualmente impermeable y hermético. La hermeticidad se define a menudo como la capacidad del concreto de refrenar o retener el agua sin escapes visibles. La permeabilidad se refiere a la cantidad de migración de agua a través del concreto cuando el agua se encuentra a presión, o

a la capacidad del concreto de resistir la penetración de agua u otras sustancias (líquido, gas, iones, etc.). Generalmente las mismas propiedades que convierten al concreto menos permeable también lo vuelven más hermético. La permeabilidad total del concreto al agua es una función de la permeabilidad de la pasta, de la permeabilidad y granulometría del agregado, y de la proporción relativa de la pasta con respecto al agregado. La disminución de permeabilidad mejora la resistencia del concreto a la restauración, al ataque de sulfatos y otros productos químicos y a la penetración del ion cloruro. La permeabilidad también afecta la capacidad de resistencia por congelamiento en condiciones de saturación. Aquí la permeabilidad de la pasta es de particular importancia porque la pasta recubre a todos los constituyentes del concreto. La permeabilidad de la pasta depende de la relación Agua – Cemento y del agregado de hidratación del cemento o duración del curado húmedo. Un concreto de baja permeabilidad requiere de una relación Agua – Cemento baja y un periodo de curado húmedo adecuado. Inclusión de aire ayuda a la hermeticidad aunque tiene un efecto mínimo sobre la permeabilidad que aumenta con el secado. La permeabilidad de una pasta endurecida madura mantiene continuamente rangos de humedad de 0.1×10^{-12} cm por seg. Para relaciones Agua–Cemento que variaban de 0.3 a 0.7.

La permeabilidad de rocas comúnmente utilizadas como agregado para concreto varía desde aproximadamente 1.7×10^{-9} hasta 3.5×10^{-13} cm por seg. La permeabilidad de un concreto maduro de buena calidad es de aproximadamente 1×10^{-10} cm por seg. Los resultados de ensayos obtenidos al sujetar el disco de mortero sin aire incluido de 2.5cm de espesor a una presión de agua de 1.4 kg/cm cuadrado. En estos ensayos, no existieron fugas de agua a través del disco de mortero que tenía relación Agua – Cemento en peso iguales a 0.50 o menores y que hubieran tenido un curado húmedo de siete días. Cuando ocurrieron fugas, estas fueron mayores en los discos de mortero hechos con altas relaciones Agua.

– Cemento. También, para cada relación Agua – Cemento, las fugas fueron menores a medida que se aumentaba el periodo de curado húmedo. En los discos con una relación agua cemento de 0.80 el mortero permitía fugas a pesar de haber sido curado durante un mes. Estos resultados ilustran claramente que una relación Agua - cemento baja y un periodo de curado reducen permeabilidad de manera significativa.

3.1.5 Resistencia al desgaste: Los pisos, pavimentos y estructuras hidráulicas están sujetos al desgaste; por tanto, en estas aplicaciones el concreto debe tener una resistencia elevada a la abrasión. Los resultados de pruebas indican que la resistencia a la abrasión o desgaste está estrechamente relacionada con la resistencia a la compresión del concreto. Un concreto de alta resistencia a compresión tiene mayor resistencia a la abrasión que un concreto de resistencia a compresión baja. Como la resistencia a la compresión depende de la relación Agua – Cemento baja, así como un curado adecuado son necesarios para obtener una buena resistencia al desgaste. El tipo de agregado y el acabado de la superficie o el tratamiento utilizado también tienen fuerte influencia en la resistencia al desgaste. Un agregado duro es más resistente a la abrasión que un agregado blando y esponjoso, y una superficie que ha sido tratada con llana de metal resiste más el desgaste que una que no lo ha sido. Se pueden conducir ensayos de resistencia a la abrasión rotando balines de acero, ruedas de afilar o discos a presión sobre la superficie.

3.1.6 Relación agua-cemento: La relación agua/cemento conocida como a/c , es la proporción utilizada para obtener las diferentes mezclas tanto para la obtención de morteros como de hormigones. El agua-cemento se trata de la relación peso o en su defecto volumen del agua al del cemento utilizado en una mezcla de concreto. Tiene una influencia importante en la calidad del concreto producido. La menor proporción de agua-cemento conduce a la mayor resistencia y durabilidad, pero puede hacer la mezcla más difícil de manejar y vestir. Las dificultades de

colocación se pueden resolver mediante el uso de plastificante. La relación agua-cemento es independiente del contenido total de cemento (y en el total contenido de agua) de una mezcla de concreto.

El concepto de agua cemento fue y publicado por primera vez en 1918. El Concreto endurece como resultado de la reacción química entre el cemento y el agua conocida como la hidratación. Por cada 2 kilos de cemento, $\frac{1}{2}$ de agua se necesita para completar la reacción. Esto resulta en una relación agua/cemento de (a: c) 1:4 o 25%. En realidad, una mezcla formada con un 25% de agua es demasiado seca y no conviene lo suficientemente bien como para ser colocado, ya que la parte del agua es absorbida por la arena y la piedra, y no está disponible para participar en la reacción de hidratación. Por lo tanto, más agua se necesita para reaccionar con el cemento. Relaciones típicas agua/cemento de 35% a 40% junto con un plastificante son comúnmente utilizados.

El exceso de agua se traducirá en la solución y la segregación de la arena y piedra de los componentes (*más de arena en la parte superior debido a que la piedra se asentará en la parte inferior*). Además, el agua no será consumida por la reacción de hidratación que al final acabará abandonando el concreto, luego se endurece, lo que resulta en poros microscópicos o agujeros que disminuyen al final la resistencia del concreto. (*Aunque para ciertos tipos de concreto es deseable obtener estar burbujas*).

3.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Las mezclas de concreto se pueden diseñar de tal manera que tengan una amplia variedad de propiedades mecánicas y de durabilidad que cumplan con los requerimientos de diseño de la estructura. La resistencia a la compresión del concreto es la medida más común de desempeño que emplean los ingenieros para diseñar edificios y otras estructuras.

La resistencia a la compresión se mide fracturando probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión. La resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida por el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en unidades de libra-fuerza por pulgada cuadrada (psi) en unidades corrientes utilizadas en EEUU o en mega pascales (MPa) en unidades SI.

Los requerimientos para la resistencia a la compresión pueden variar desde 2.500 psi (17 MPa) para concreto residencial hasta 4.000 psi (28 MPa) y más para estructuras comerciales. Para determinadas aplicaciones se especifican resistencias superiores hasta de 10.000 psi (70 MPa) y más.

3.3 RESISTENCIA A LA FLEXION (MODULO DE ROTURA)

La resistencia a la flexión es una medida de la resistencia a la tracción del concreto. Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga o losa de concreto no reforzada. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6 x 6 pulgadas (150 x 150 mm) de sección transversal y con luz de como mínimo tres veces el espesor. La resistencia a la flexión se expresa como el Módulo de Rotura (MR) en libras por pulgada cuadrada (MPa) y es determinada mediante los métodos de ensayo ASTM C78 (cargada en los puntos tercios) o ASTM C293 (cargada en el punto medio).

El Módulo de Rotura es cerca del 10% al 20% de la resistencia a compresión, en dependencia del tipo, dimensiones y volumen del agregado grueso utilizado, sin embargo, la mejor correlación para los materiales específicos es obtenida mediante ensayos de laboratorio para los materiales dados y el diseño de la mezcla. El Módulo de Rotura determinado por la viga cargada en los puntos tercios es más bajo que el Módulo de rotura determinado por la viga cargada en el punto medio, en algunas ocasiones tanto como en un 15%.

3.3.1 La resistencia a la torsión: para el concreto está relacionada con el modulo de ruptura y con las dimensiones del elemento de concreto. La resistencia al cortante del concreto puede variar desde el 35% al 80% de la resistencia a compresión. La correlación existe entre la resistencia a la compresión y resistencia a flexión, tensión, torsión, y cortante, de acuerdo a los componentes del concreto y al medio ambiente en que se encuentre. El modulo de elasticidad (ya antes mencionado), denotado por medio del símbolo E, También se puede definir como la relación del esfuerzo normal a la deformación correspondiente para esfuerzos de tensión o de compresión por debajo del límite de proporcionalidad de un material.

Para concretos de peso normal, E fluctúa entre 140,600 y 422,000 kg/cm cuadrado, y se puede aproximar como 12,500 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en unidades de kgf/cm²

Los principales factores que afectan a la resistencia son la relación Agua – Cemento y la edad, o el grado a que haya progresado la hidratación. Estos factores también afectan a la resistencia a flexión y a tensión, así como a la adherencia del concreto con el acero. Las relaciones Edad – Resistencia a compresión.

PARTE II:

DISEÑO DEL CONCRETO

4. ANALISIS DE LABORATORIO REALIZADO A LOS AGREGADOS Y AL CONCRETO

En este capítulo se obtendrán, los resultados de los laboratorios para los agregados gruesos, finos y para la mezcla de concreto. Se desarrollaron los laboratorios necesarios según las normas I.N.V.E de Colombia para la el diseño de mezclas de concreto y la forma de ensayar para encontrar su resistencia la compresión y el modulo de rotura.

Los agregados, fueron extraídos de la cantera de AGRECAR, Palmarito, al norte de la ciudad de Cartagena (Bolívar- Colombia). El tipo de cemento utilizado es portland tipo 1 de uso general, producido por la cementera ARGOS de Colombia.

El agua de mezclado utilizada fue el agua potable de la ciudad de Cartagena, suministrada por la empresa de servicio público aguas de Cartagena.

Se utilizaron los laboratorios de la empresa promotora Montecarlo Vías o (PMV), con la ayuda y la participación del ingeniero Diego Álvarez y sus laboratoristas. Estos laboratorios se efectuaron en el corregimiento de bayunca (Cartagena), ubicado en la zona aledaña.

A continuación se describen los laboratorios efectuados.

4.1 MUESTREO DE MATERIALES

Desarrollados según los parámetros de la norma (*MUESTREO DE MATERIALES PARA LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS I.N.V.E -201*).



Foto 1: Toma de muestra agregado fino.



Foto 2: Toma de muestra agregado grueso.



Foto 3: Método del cuarteo grueso.



Foto 4: Método del cuarteo grueso.



Foto 5: Método del cuarteo fino.



Foto 6: Método del cuarteo fino.

4.2 CONTENIDO APROXIMADO DE MATERIA ORGANICA EN LOS FINOS

Desarrollado según los parámetros de la norma (*CONTENIDO APROXIMADO DE MATERIA ORGANICA EN ARENAS USADA EN LA PREPARACION DE MORTEROS O CONCRETO I.N.V.E -212*).



Foto 7: Se pesa el matraz y se obtiene resultados.

Se considera que los finos contienen componentes orgánicos posiblemente perjudiciales, cuando el color de ensayo es más oscuro que el color de aceptable referencia.

En nuestro caso el color fue el numero 1. Ósea no presenta componentes perjudiciales para la realización de mortero o concreto.

4.3 ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

Desarrollado según los parámetros de la norma (*ANALISIS GRANULOMETRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINO I.N.V.E - 213*).

4.3.1 Agregado grueso: A continuación unas foto acerca del procedimiento.



Foto 8: Se pesa el recipiente.



Foto 9: Se seca la muestra.



Foto 10: Juegos de tamices.
(grueso).



Foto 11: Separación de la muestra



Foto 12: Se pesa el material retenido.

Tabla 2: Análisis granulométrico agregado grueso.

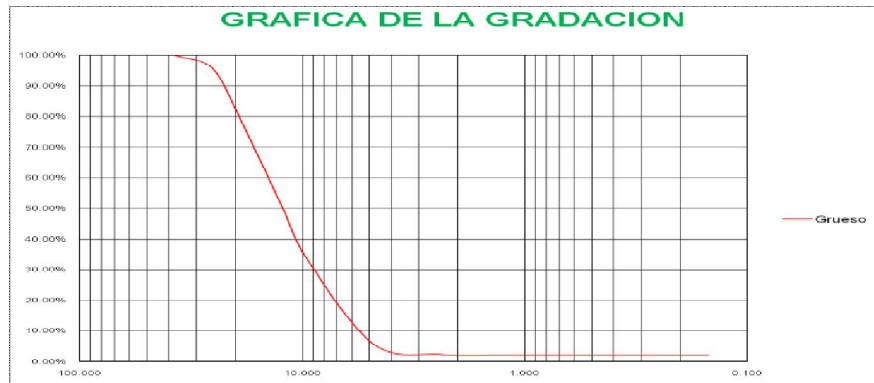
Análisis Granulométrico Mecánico

Proyecto :	Correlación F' C Vs Mr	Fecha :	04/05/2009
Localización :	Planta Pmv	Acopio :	N/A
Descripción :	Agregado Grueso	Muestra :	N/A
Clasificación Aashto:	N/A	P1 (Grs.):	2,828.00
Clasificación Usc:	N/A	P2 (Grs.):	2,767.00

TAMIZ US Standard	TAMIZ Mm	PESO SUELO RETENIDO Grs.	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO	VALOR NORMA	
						MINIMO	MAXIMO
1 ½	38.100	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
1	25.400	124.00	4.38%	4.38%	95.62%		
¾	19.000	472.00	16.69%	21.07%	78.93%		100.00%
½	12.700	752.00	26.59%	47.67%	52.33%	95.00%	100.00%
3/8	9.510	542.00	19.17%	66.83%	33.17%	80.00%	100.00%
4	4.760	782.00	27.65%	94.48%	5.52%	50.00%	85.00%
8	2.360	90.00	3.18%	97.67%	2.33%	25.00%	60.00%
16	1.180	4.00	0.14%	97.81%	2.19%	10.00%	30.00%
30	0.600	1.00	0.04%	97.84%	2.16%	2.00%	10.00%

50	0.300	0.00	0.00%	97.84%	2.16%		
100.00	0.150	0.00	0.00%	97.84%	2.16%		
200.00		0.00					
fondo		61.00					

Gráfico 1: Gráfica de gradación agregado grueso.



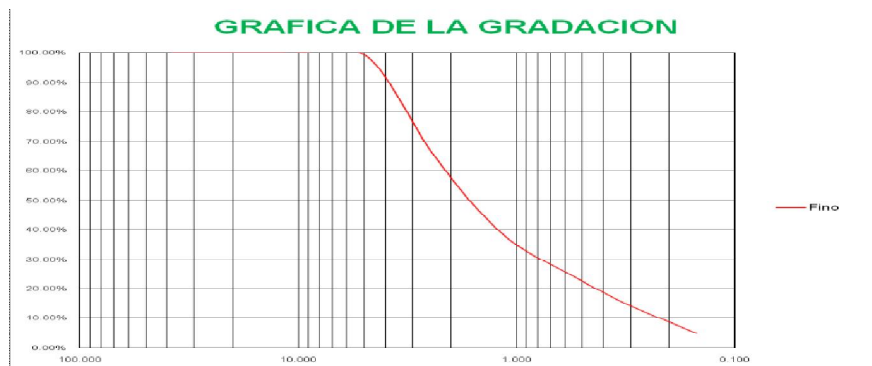
4.3.2 Agregado fino

Tabla 3: Análisis granulométrico agregado fino.

Análisis Granulométrico Mecánico

Proyecto :		Correlación F'c Vs Mr		Fecha :		04-05-09	
Localización :		Planta Pmv		Acopio :		N/A	
Descripción :		Agregado Fino		Muestra :		N/A	
Clasificación Aashto		N/A		P1 (Grs.):		1,720.00	
Clasificación Usc:		N/A		P2 (Grs.):		1,680.00	
TAMIZ	TAMIZ	PESO SUELO RETENIDO	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO	VALOR NORMA	
US Standard	Mm	Grs.				MINIMO	MAXIMO
1 ½	38.100	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
1	25.400	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		
¾	19.000	0.00	0.00%	0.00%	100.00%		100.00%
½	12.700	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	95.00%	100.00%
3/8	9.510	0.00	0.00%	0.00%	100.00%	80.00%	100.00%
4	4.760	32.00	1.86%	1.86%	98.14%	50.00%	85.00%
8	2.360	576.00	33.49%	35.35%	64.65%	25.00%	60.00%
16	1.180	440.00	25.58%	60.93%	39.07%	10.00%	30.00%
30	0.600	230.00	13.37%	74.30%	25.70%	2.00%	10.00%
50	0.300	200.00	12%	85.93%	14.07%		
100.00	0.150	160.00	9%	95.23%	4.77%		
200.00		42.00					
fondo		40.00					

Grafico 2: Grafica de gradación agregado fino.



4.4 PESO UNITARIO Y PORCENTAJE DE VACIOS

Lo desarrollamos según los parámetros de la norma (*PESO UNITARIO DE LOS AGREGADOS INVE – 217*).

4.4.1 Agregado grueso



Foto 13: El agregado se coloca en el recipiente.

$$P_1 = 4736 \text{ gr} \quad \sigma_1 = 1,572 \text{ gr/ cm}^3$$

$$P_2 = 4154 \text{ gr} \quad \sigma_2 = 1,578 \text{ gr/ cm}^3$$

$$P_3 = 4134 \text{ gr} \quad \sigma_3 = 1,572 \text{ gr/ cm}^3$$

$$V_1 = V_2 = V_3 = 3012 \text{ cm}^3$$

p_i = Peso de la muestra en estado húmeda[gr]

v_i = Volumen del molde.....[cm³]

σ_i = Peso unitario agregado (grueso).....[gr/cm³]

$$\bar{\sigma}_i = \frac{p_i}{v_i}$$

$\bar{\sigma}$ = promedio del peso unitario agregado..... [gr/cm³]

$$\bar{\sigma} = \sum \frac{\sigma_i}{n}$$

A = peso especifico aparente según los procedimientos INV E-222 y E-223.

B = peso unitario de los agregados determinando por los procedimientos de los numerales 3.1, 3.2 y 3.3.....[kg/m³]

W = peso unitario del agua.....kg/m³]

$$\%vacios = \frac{(A \times W) - B}{A \times W} \times 100.....[\%]$$

$$\%vacios = \frac{(2,398 \times 1000) - 1574}{2,398 \times 1000} \times 100.....34.362$$

4.4.2 Agregado fino



Foto 14: Primera capa de agregado.



Foto 15: Enrace del material.

$$P_1 = 5188 \text{ gr}$$

$$\sigma_1 = 1,722 \text{ gr/ cm}^3$$

$$P_2 = 5192 \text{ gr}$$

$$\sigma_2 = 1,724 \text{ gr/ cm}^3$$

$$P_3 = 5190 \text{ gr}$$

$$\sigma_3 = 1,723 \text{ gr/ cm}^3$$

$$\sigma = 1,723 \text{ gr/ cm}^3$$

$$\%vacios = \frac{(A \times W) - B}{A \times W} \times 100 \dots\dots\dots [\%]$$

$$\%vacios = \frac{(2,535 \times 1000) - 1723}{2,535 \times 1000} \times 100 \dots\dots\dots 32.03$$

4.5 RESITENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS

Desarrollado según los parámetros de la norma (*RESISTENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS DE TAMAÑOS MENORES DE 37MM(1 1/2") POR MEDIO DE LA MAQUINA DE LOS ANGELES I.N.V.E-218*).

A continuación ilustraremos el laboratorio por medio de imágenes.



Foto 16: Se pesa la muestra.



Foto 17: Maquina de los Ángeles.



Foto 18: Se coloca el material dentro.



Foto 19: Se le da vueltas.



Foto 20: Se vacía la maquina.



Foto 21: Por último se pesa.

Resultados:

Tabla 4: Resultado de la Maquina de los Ángeles.

Peso inicial	Peso final	Resultado del desgaste (%)
5000	3970	20.6

4.6 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS FINOS

Lo desarrollamos según los parámetros de la norma (*PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS FINOS I.N.V.E-222*).

$$C = 963,9 \text{ gr}$$

$$S = 500 \text{ gr}$$

$$A = 492,9 \text{ gr}$$

$$B = 658,3 \text{ gr}$$

A= peso del aire de la muestra desecada, en gramos.

B= peso del picnómetro aforado lleno de agua, en gramos.

C= peso total del picnómetro aforado con la muestra lleno de agua, en gramos.

S= peso de la muestra saturada, con superficie seca en gramos.

$$\text{Peso específico aparente} = \frac{A}{B+S-C} = 2,535 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Peso específico aparente (S.S.S)} = \frac{S}{B+S-C} = 2,572 \text{ gr/cm}^3$$

Nota: S.S.S= Saturado con superficie seca.

$$\text{Peso específico nomina} = \frac{A}{B+A-C} = 2,632 \text{ gr/cm}^3$$

$$\text{Absorción (\%)} = \frac{S-A}{A} \times 100 = 1,440\%$$

4.7 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS

Lo desarrollamos según los parámetros de la norma (*GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS I.N.V. E – 223*).

Datos del laboratorio:

Canasta de agua = 360 gr
Peso – cant + mat en agua = 1118,7 gr
Peso mat + recipiente seco = 1408,0 gr
Peso mat + recipiente (sss) = 1424,2 gr
A = 1231 gr
B = 1247,2 gr
C = 758,7 gr

Donde:

A = masa en el aire de la muestra seca en gramos,

B = masa en el aire de la muestra saturada con superficie seca, en gramos, y

C = masa sumergida en agua de la muestra saturada, en gramos. Se expresarán siempre las temperaturas a las que se hayan determinado las masas.

Peso específico aparente $= A / (B - C)$ = 2,398

Peso específico aparente (sss) $= B / (B - C)$ = 2,553

Peso específico nominal $= A / (A - C)$ = 2,606

$$\text{Absorción (\%)} = [(B - A) / A] \times 100 = 1,316\%$$

4.8 HUMEDAD SUPERFICIAL EN AGREGADOS FINOS

Lo desarrollamos según los parámetros de la norma (*HUMEDAD SUPERFICIAL EN AGREGADOS FINOS I.N.V. E – 224*).



Foto 22: Secado de la muestra.

$$W_w = W_c + W_s - W$$

Donde:

W_w = Peso del agua desplazada por la muestra, en gramos.

W_c = Peso del recipiente lleno únicamente con agua hasta la marca, en gramos.

W_s = Peso de la muestra, en gramos.

W = Peso del recipiente con la muestra, lleno hasta la marca, en gramos.

$$W_c = 566.2 \text{ gr}$$

$$W = 688.4 \text{ gr}$$

$$W_s = 300 \text{ gr}$$

$$W_w = 177.8 \text{ gr}$$

$$P = [(W_w - V_d) / (W_s - W_w)] \times 100$$

Donde:

P = Humedad superficial en términos del agregado fino saturado y con superficie seca, %.

Vd = Peso de la muestra (Ws en el numeral 5.2) dividido por la gravedad específica del agregado fino en su condición saturada y con superficie seca, determinado como se especifica en la Norma INV E-222.

$$Vd = Ws / (sss) = 116.64$$

$$P = 50.049\%$$

$$Pd = P [1 + (Pa/100)]$$

Donde:

Pd = Humedad superficial en términos del agregado fino seco, %.

Pa = Porcentaje de absorción del agregado fino, determinado según, la Norma INV E-222.

$$Pd = 50.77\%$$

4.9 PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS

Lo desarrollamos según los parámetros de la norma (*PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS I.N.V. E – 227*).

Tabla 5: Porcentaje de caras fracturadas.

Tamaño del agregado		A (g)	B (g)	C (g)	D (g)	E (C*D)
1 ½"	1"	2000				
1"	¾"	1500				
¾"	½"	1200	654	54,5	20,69	1127,605
½"	⅜"	300	168	56	31,74	1771,84
			822	110,5	52,33	2899,445

Porcentaje de caras fracturadas = total E/ total D = 55.4%

A = Peso muestra (g).

B = Peso material con caras fracturadas.

C = Porcentaje de las caras fracturadas.

D = Porcentaje retenido gradación original.

E = Promedio de las caras fracturadas.

4.10 INDICE DE APLANAMIENTO Y DE ALARGAMIENTO

Lo desarrollamos según los parámetros de la norma (*INDICE DE APLANAMIENTO Y DE ALARGAMIENTO DE LOS AGREGADOS PARA CARRETERAS I.N.V. E – 230*).

Tabla 6: Índice de aplanamiento.

Tamaño del agregado	A (g)	B (g)	C (g)	D (g)	E (C*D)
1 ½" 1"					
1" ¾"					
¾" ½"	500	105	21	20,69	434,49
½" ⅜"	300	50,2	16,73	31,74	531,01
⅜" #4	200	38,2	19,1	52,33	753,73
		193,4	56,83	92,1	1719,23

Índice de aplanamiento = total E/ total D = 18,67%

A = Peso muestra (g).

B = Peso material de aplastamiento.

C = Porcentaje del índice de aplastamiento.

D = Porcentaje retenido gradación original.

E = Promedio del índice de aplastamiento.

Tabla 7: Índice de alargamiento.

Tamaño del agregado	A (g)	B (g)	C (g)	D (g)	E (C*D)
1 1/2" 1"					
1" 3/4"					
3/4" 1/2"	500	56,2	11,2	20,69	231,728
1/2" 3/8"	300	56,2	18,9	31,74	599,886
3/8" #4	200	42,7	21,35	52,33	753,73
		155,6	51,45	92,1	846,95

Porcentaje de caras fracturadas = total E/ total D = 18,23%

A = Peso muestra (g).

B = Peso material de alargamiento.

C = Porcentaje del índice de alargamiento.

D = Porcentaje retenido gradación original.

E = Promedio del índice de alargamiento.

5. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

En este capítulo, estudiare la forma como se diseñaron las mezclas para las relaciones agua-cemento (0.6, 0.55, 0.5, 0.45, 0.4, 0.35). Teniendo en cuenta los laboratorios desarrollado en el capitulo anterior,

El diseño de las mezclas para las seis relaciones de agua-cemento que son (0.6, 0.55, 0.5, 0.45, 0.4, 0.35) los ensayos a la compresión, a la flexión (modulo de rotura) y la correlación entre ellos.

5.1 GRADACIONES IDEALES

“Es preferible hacer uso de una especificación que cubra todo el agregado del concreto, desde las partículas más finas de la arena hasta las partículas más grandes del agregado grueso, la cual permita encontrar la mejor proporción entre la arena y el agregado grueso de los cuales se dispone. En Colombia es frecuente que ni la arena ni el agregado grueso cumplan con las especificaciones granulométricas NTC- 174 (*Agregados no controlados o desconocidos*)”.³

5.1.1 Aportación de FULLER Y THOMPSON

Un método expuesto extensamente consiste en determinar el porcentaje óptimo de los agregados por medio de curvas teóricas, esto se hace para buscar la mejor acomodación de las partículas de agregados y con esto a su vez densificar la masa de concreto. Este método fue expuesto por los señores FULLER y THOMPSON en el año de 1907, aquí el contenido de vacíos debe ser mínimo y se busca adaptar la gradación de los materiales a una curva idealizada.

$$P = 100 \times \sqrt{\frac{d}{D}} \quad \text{o} \quad P = 100 \times \left[\frac{d}{D}\right]^{1/2}$$

Donde:

P = Porcentaje que pasa por el tamiz d .

D = Tamaño máximo del agregado.

³ Sánchez de Guzmán Diego, Colombia, Tecnología del Concreto y el Mortero, 2001, p.242.

El trabajo realizado por estos dos brillantes investigadores se llamo: (*The Laws of proportion concrete*) obra hecha en los Estados Unidos de América, hacia el año de 1907, el cual determina que en la fracción fina del agregado con aglomerante, entiéndase como aglomerante cemento, se genera una proporción elíptica convergente con una línea tangente a la elipse que describen las otras fracciones, dada por la siguiente ecuación:

$$\frac{(Y - B)^2}{b_2} + \frac{(X - A)^2}{b_1} = 1$$

Donde Y es el material que pasa el tamiz de abertura X, A y B son constantes y su valor depende del tamaño máximo (D) del agregado y de la forma de las partículas, mientras las partículas son mas angulosas mayor será el porcentaje de finos en la parte elíptica.

Valores de constantes que representan la parte elíptica de la ecuación

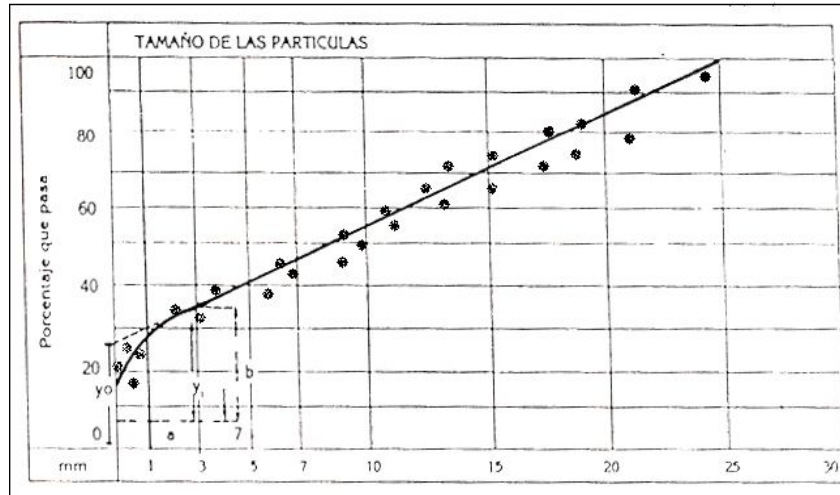
Tabla 8: Valores de la constante para la curva elíptica.

Clase de material	A	B
Agregados de canto rodado	0,164 D	28,6
Arena natural grava triturada	0,150 D	30,4
Arena y Grava	0,147 D	30,8

Estos autores asumieron que un 7% del material fino pasa por el tamiz N°200 luego la curva continua con su forma elíptica hasta un valor de "X" igual al 10% del tamaño máximo después del cual deja su forma elíptica para asumir la recta hasta llegar al tamaño máximo; con esta curva se generaron preguntas sobre cómo

hacer la gradación sin el aglomerante, lo que produjo en gradaciones ásperas y poco manejables en estado plástico.

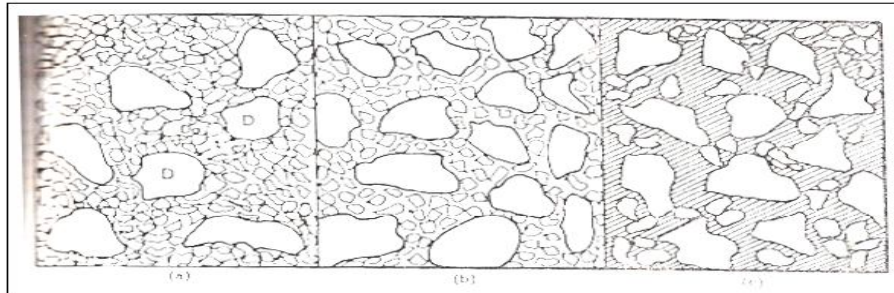
Grafico 3: Grafica de Fuller.



5.1.2 Aportación de WEYMOUTH

Luego de aportación de los señores FULLER y THOMPSON le siguió C.A.G WEYMOUTH con su trabajo "Effect of particle interference in mortars and concrete" aquí el autor no solo expone su teoría basada en la mejor acomodación de las partículas, sino, también le da importancia a la característica de manejabilidad.

Ilustración 1: Acomodación de las partículas según Weymouth.



Esta grafica representa las acomodaciones características de los agregados pétreos en una masa de concreto, para (a) y (b) los espacios han sido ocupados por material grueso y fino además de que se observa cierta homogeneidad; en cuanto que (c) se observa cierta disparidad o desproporción en la acomodación de los finos y gruesos. En síntesis este autor noto que no debe haber obstrucción de ninguno de los tamaños al moverse por la masa de concreto en estado plástico, esto evitara la segregación y la re acomodación de sus partículas en cualquier evento. Como podemos observar posee mucha relación con la teoría antes expuesta sin embargo en la ecuación este autor expresa los exponentes recomendados para cada tamaño máximo.

Valores del exponente n al parecer en función del tamaño máximo

$$P = 100 \times \left[\frac{d}{D} \right]^n$$

Tabla 9: Valores del exponente para diferentes tamaños máximos.

Tamaño D	3"	1 1/2"	3/4"	3/8"	Nº4,Nº100
n	0,230	0,268	0,292	0,304	0,305

Donde:

P = Porcentaje que pasa por el tamiz d

D = Tamaño máximo del agregado

n = Exponente en función del Tamaño máximo

Otros de los muchos autores que intervinieron en las actuales teorías de gradación son A.H.M Andersen y J. Andersen los cuales realizaron pruebas con diferentes exponentes (n) y generaron las siguientes graficas.

Grafico 4: Masa unitaria suelta, optima y Masa unitaria compacta, optima.

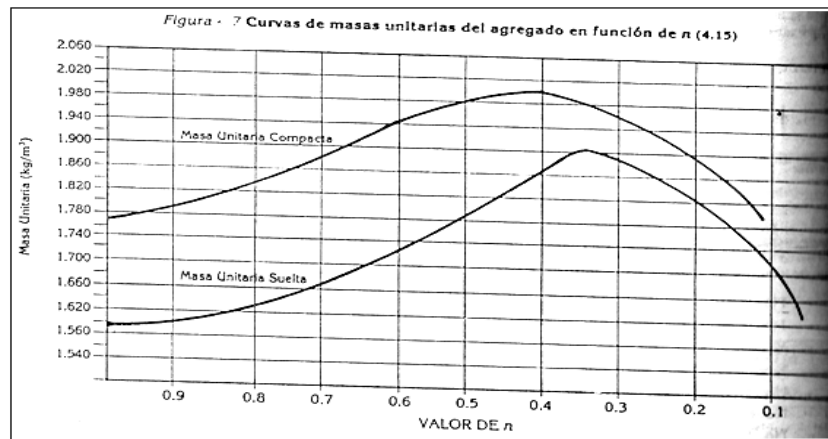


Gráfico 5: Peso unitario del concreto endurecido, optimo para $n=0,45$ aproximadamente

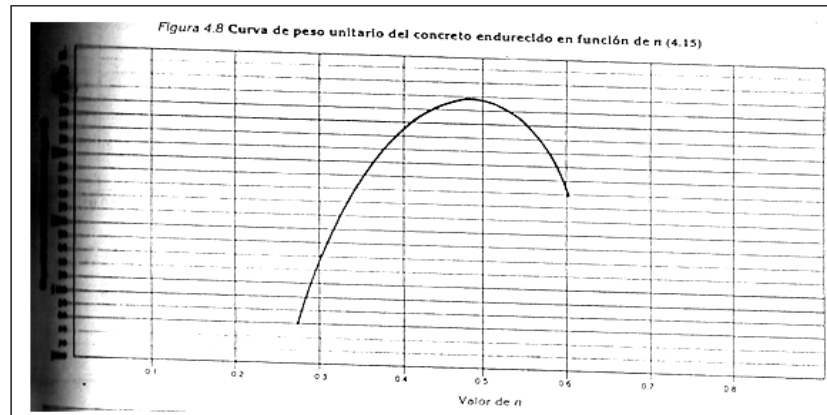
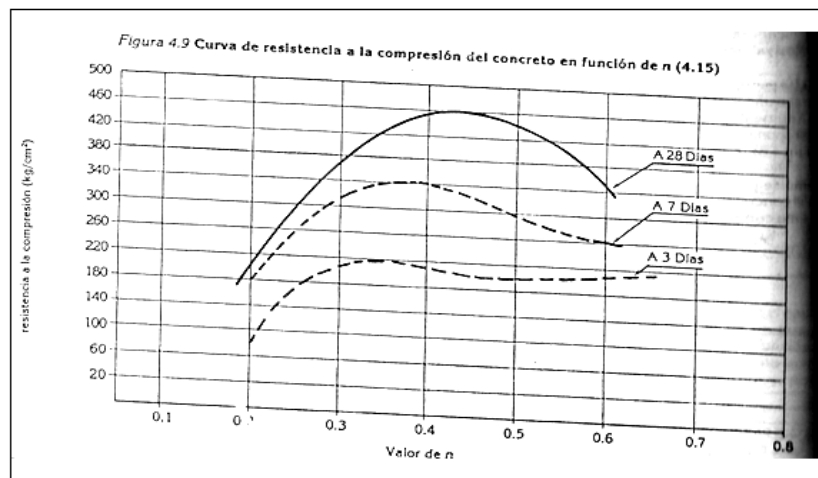


Gráfico 6: Resistencia a la compresión, optima para $n=0,45$ aproximadamente.



Es por lo que ellos sugieren:

$$P = 100 \times \left[\frac{d}{D}\right]^{0.45}$$

5.1.3 Mencionamos también la teoría de Bolomey, el cual nos sugiere la siguiente ecuación

$$P = f + (100 - f) \times \left[\frac{d}{D}\right]^{0.45}$$

Tabla 10: Valores de f.

Forma de las partículas del agregado	Consistencia del concreto en estado plástico		
	Seca (tierra húmeda)	Normal (plástico)	Húmeda (fluida)
Redonda	6-8	10	12
Cubica	8-10	12-14	14-16

5.1.4 Gradaciones ideales según el autor Diego Sánchez de Guzmán, en % que pasa

Tabla 11: Valores propuestos por el autor Diego Sánchez de Guzmán.

Tamiz		Tamaño Máximo mm (pulga)						
mm	pulga	76,1	50,8	38,1	25,4	19	12,7	9,51
		(3)	(2)	(1 ^{1/2})	(1)	(3/4)	(1/2)	(3/8)

76,1	3	100							
50,8	2	83,3	100						
38,1	1 ^{1/2}	73,2	87,9	100					
25,4	1	61,0	73,2	83,3	100				
19	¾	53,6	64,3	73,2	87,9	100			
12,7	½	44,7	53,6	61,0	73,2	83,3	100		
9,51	3/8	39,2	47,1	53,6	64,3	73,2	87,9	100	
4,76	Nº4	28,7	35,5	39,2	47,1	53,6	64,3	73,2	
2,38	Nº8	21,0	25,2	28,7	34,5	39,3	47,1	53,6	
1,19	Nº16	15,4	18,5	21,0	25,2	28,7	34,5	39,3	
0,595	Nº30	11,3	13,5	15,4	18,5	21	25,2	28,7	
0,297	Nº50	8,2	9,9	11,3	13,5	15,4	18,5	21,0	
0,149	Nº100	6,0	7,3	8,3	9,9	11,3	13,5	15,4	

5.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

La teoría de estas gradaciones difícilmente son obtenidas en la práctica ya que se trabaja con materiales lo más accesible posible y económicos, es por esto que existen muchas normas a nivel mundial, que tabulan las gradaciones de sus materiales locales para hacer de que encajen o acerquen a curvas ideales.

A continuación se muestra la gradación de nuestros materiales y es la primera etapa de nuestro diseño. Recuérdese lo importante de la distribución de los agregados. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos de los laboratorios, en particular los de gradación, capítulo 4.2 (*análisis granulométrico de agregados gruesos, finos*). Luego elegimos los parámetros de gradación, esto es la curva a la cual deseamos acercarnos; en el ejemplo podemos apreciar:

Tamaño máximo: 1^{1/2}.

Curva escogida: Asocreto.

Tamices a graficar: desde N°100 hasta 1^{1/2}(tamaño máximo).

Los demás valores son calculados.

Tabla 12: Parámetros de diseño.

GRADACION			
TAMAÑO MAXIMO:	1 1/2	CURVA ESCOGIDA:	ASOCRETO

Como Habíamos especificado anteriormente, no es muy común tener combinaciones ideales en la práctica, por lo tanto sugerimos encontrar la combinación adecuada para los materiales a utilizar, esta debe ser aquella que proporcione una curva en forma de ese (S) invertida y este dentro de los rangos ideales, el valor correspondiente en nuestro caso fue 60% agregado grueso y 40% agregado fino.

Grafico 7: Gradación combinada del proyecto.



Luego se calcularan los porcentajes que pasan por cada tamiz para la combinación aceptada.

Tabla 13: % Pasa para la gradación combinada.

TIPO DE MATERIAL	% UTILIZAR	A	Porcentaje que pasa para cada tamaño de tamiz									
			1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50
*GRAVA AGRECAR	60.00%	60.0	57.3	47.3	31.4	19.9	3.31	1.40	1.32	1.29	1.29	1.29
*ARENA AGRECAR	40.00%	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	39.2	25.8	15.6	10.2	5.63	1.91
COMBINACION	100.00%	100.	97.3	87.3	71.4	59.9	42.6	27.3	16.9	11.6	6.9	3.2

Continuamos con los parámetros de los agregados, tabulados de la siguiente manera:

Tabla 14: Parámetros del agregado grueso.

Propiedad	Valor	U. Medida
Masa unitaria suelta :	1497	kg/m ³
Masa unitaria compacta:	1590	kg/m ³
Densidad Aparente:	2,398	N/A
Absorción:	1.316%	%
Forma: redondeada lisa		

Tabla 15: Parámetros del agregado fino.

Propiedad	Valor	U. Medida
Masa unitaria suelta :	1618	kg/m ³
Masa unitaria compacta:	1723	kg/m ³
Densidad Aparente:	2,54	N/A
Absorción:	1,440%	%
Contenido de Arcilla:	3,948%	%

No se utilizaron aditivos de ninguna clase, el aire naturalmente atrapado se considero de 3%, tampoco se tuvo información sobre otros ensayos anteriormente hechos con este material.

Tabla 16: Especificaciones de agua y cemento para las diferentes relaciones.

A/C	Agua	C
0,60	180,00	300,00
0,55	180,00	327,27
0,50	180,00	360,00
0,45	180,00	400,00
0,40	180,00	450,00
0,35	180,00	514,29

Ecuaciones utilizadas:

$$- V_r = 1000 - (V_c + V_a + A)$$

V_r = volumen absoluto de los agregados en litros/metro cúbicos.

V_c = volumen absoluto del cemento en litros/metros cubico.

V_a = volumen absoluto del agua en litros/metros cubico.

A = volumen absoluto del contenido de aire litros/metros cúbicos.

$$- \rho = m/v$$

ρ = densidad.

m = masa.

v = volumen.

$$- P_r = V_r * G_a$$

Pr=peso seco de los agregados kg/m³.

Vr=Volumen absoluto de los agregados en l/m³.

Ga=peso especifico de las mezclas de los agregados.

$$\text{- } G_a = (G_{ag} * G_{af}) / (G_{ag} n + G_{af} m)$$

G_{ag}, G_{af}=peso especifico de los agregados gruesos y finos.

n=proporción de agregado fino expresada en tanto por uno.

m=proporción de agregado grueso expresada en tanto por uno.

$$\text{- } P_{ag} = Pr * m$$

$$\text{- } P_{af} = Pr * n$$

P_{ag},p_{af}=Peso seco de los agregados grueso y fino.

$$\text{- } A = -P_s * (H - CA) / 100$$

A=Es el agua en exceso o defecto respecto a la condición sss lt/m³.

P_s=Es Peso seco del agregado kg/m³.

H=Es Humedad del agregado %.

CA=Es Capacidad de absorción del agregado %.

Tabla 17: Densidades.

Agregado	ρ	Unidades
Cemento	3,15	g/cm ³
Agua	1	g/cm ³
Aire	despreciable	

Tabla 18: Conversiones a volumen desde m³ de concreto.

*Unidades en lt /m³ de concreto

**Unidades en kg /m³ de concreto

A/C	**Cemento	**Agua	*Aire	*Vc	*Va	*A
0,60	300,00	180	30	95,24	180	30
0,55	327,27	180	30	103,90	180	30
0,50	360,00	180	30	114,29	180	30
0,45	400,00	180	30	126,98	180	30
0,40	450,00	180	30	142,86	180	30
0,35	514,29	180	30	163,27	180	30

Tabla 19: Peso del agregado (fino y grueso).

*Unidades en lt/m³

A/C	*Vr	*Ga	*Pr
0,60	694,76	6,33	4396,082719
0,55	686,10	6,33	4341,299459
0,50	675,71	6,33	4275,559546
0,45	663,02	6,33	4195,210765
0,40	647,14	6,33	4094,774787
0,35	626,73	6,33	3965,642817

Tabla 20: Cantidad de material grueso, fino.

*Unidades en kg/m3 de concreto		
A/C	*Agregado Grueso	*Agregado fino
0,60	2637,65	1758,43
0,55	2604,78	1736,52
0,50	2565,34	1710,22
0,45	2517,13	1678,08
0,40	2456,86	1637,91
0,35	2379,39	1586,26

Tabla 21: Corrección de la cantidad de agua de mezclado.

	Grueso	Fino
Humedad natural	1,000%	2,500%
Capacidad de Absorción	1,316%	1,440%

Tabla 22: Dosificación x m3 de concreto para las diferentes relaciones A/C.

*Unidades en kg/m3 de concreto				
**Unidades en lt/m3 de concreto				
A/C	*Agregado Grueso	*Agregado fino	**Agua Total	*Cemento
0,60	2637,65	1758,43	169,70	300,00
0,55	2604,78	1736,52	169,82	327,27
0,50	2565,34	1710,22	169,98	360,00
0,45	2517,13	1678,08	170,17	400,00

0,40	2456,86	1637,91	170,40	450,00
0,35	2379,39	1586,26	170,70	514,29

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este capítulo contiene todos los resultados obtenidos de los laboratorios de compresión y flexión. Además de las resistencia promedio (\bar{X}), desviación estándar (σ). Los criterios de análisis, establecimiento de la relación entre MR y f'c.

6.1 TOMA DE MUESTRAS DE CONCRETO FRESCO PRODUCTO DEL DISEÑO ANTERIOR

Lo desarrollamos según los parámetros de la norma (*TOMA DE MUESTRAS DE CONCRETO FRESCO I.N.V. E – 401*).

6.2 ELABORACION Y CURADO

Lo desarrollamos según los parámetros de la norma (*ELABORACION Y CURADO EN EL LABORATORIO DE MUESTRAS DE CONCRETO PARA ENSAYOS DE COMPRESION Y FLEXION I.N.V.E-402*).

6.3 ASENTAMIENTO DEL CONCRETO

Lo desarrollamos según los parámetros de la norma (*ASENTAMIENTO DEL CONCRETO (SLUMP) I.N.V.E-404*).

Los ensayos de asentamiento se encontraron, como lo muestra el siguiente orden:

Tabla 23 : Valores de asentamiento para diferentes relaciones A/C.

A/C	Asentamiento(pul)
0.60	4.0"
0.55	3.0"
0.50	2.5"
0.45	1.5"
0.40	1.0"
0.35	0.0

6.4 RESISTENCIA A LA COMPRESION

Lo desarrollamos según los parámetros de la norma (*RESISTENCIA A LA COMPRESION DE CILINDROS DE CONCRETO I.N.V. E – 410*).

A continuación se ilustra cómo se desarrollo este laboratorio:



Foto 23: Colocación del cilindro.



Foto 24: Cilindro en la maquina.



Foto 25: Cilindro fallado.



Foto 26: Resultados obtenidos.

6.4.1 Resultados obtenidos

Tabla 24: Resultados $f'c$ a los 7 días de edad.

$f'c(\text{kg/cm}^2)$ a los 7 días.			
A/C	$f'c_1$	$f'c_2$	$f'c_3$
0.60	118.25	142.15	133.72
0.55	156.81	149.73	166.71
0.50	202.02	200.96	226.20
0.45	237.90	241.04	269.41
0.40	274.62	265.15	243.29
0.35	320.73	124.35	322.96

Tabla 25: Resultados $f'c$ a los 28 días de edad.

$f'c(\text{kg/cm}^2)$ a los 28 días.			
A/C	$f'c_1$	$f'c_2$	$f'c_3$
0.60	192.63	187.53	207.06
0.55	195.46	209.02	188.94
0.50	270.01	201.96	246.89
0.45	306.23	329.69	344.07
0.40	366.75	358.37	343.67
0.35	430.07	412.56	353.35

6.5 RESISTENCIA A LA FLEXION

Lo desarrollamos según los parámetros de la norma (*RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO METODO DE LA VIGA SIMPLE CARGADA EN LOS TERCIOS DE LA LUZ I.N.V. E – 414*).

A continuación se ilustra cómo se desarrollo este laboratorio:



Foto 27: Ensayo de viga.



Foto 28: Momento de falla viga.



Foto 29: Obtención de los resultados.

6.5.1 Resultados obtenidos

Tabla 26: Resultados MR a los 7 días de edad.

MR (kg/cm²) a los 7 días.			
A/C	MR₁	MR₂	MR₃
0.60	23.434	29.659	30.379
0.55	24.394	30.992	30.312
0.50	22.109	26.317	30.636
0.45	28.966	28.951	31.551
0.40	28.124	28.841	29.281
0.35	30.875	32.616	33.278

Tabla 27: Resultados MR a los 28 días de edad.

MR (kg/cm²) a los 28 días.			
A/C	MR₁	MR₂	MR₃
0.60	30.12	28.68	29.32
0.55	28.31	33.46	35.48
0.50	38.96	36.99	39.52
0.45	37.47	43.57	41.34
0.40	39.33	41.84	40.16
0.35	47.16	38.08	43.83

6.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Debido a que los valores de resistencia obtenida cuando se ensayan varios especímenes de una misma mezcla de concreto hidráulico son variables y muestran una dispersión cercana a la resistencia media, se hace necesario realizar un análisis estadístico.

La variabilidad en los resultados depende de variaciones en los materiales, en la mezcla, del procedimiento de muestreo, de los cambios en la elaboración de la mezcla, de la forma de elaboración de los especímenes y de las variaciones de los ensayos.

A través de procedimientos estadísticos se obtuvieron los resultados de resistencias promedios, (\bar{X}) y una medida de dispersión a través de la desviación estándar (σ).

6.6.1 Resistencia promedio (\bar{x})

Para cada una de las mezclas elaboradas se cálculo de la siguiente fórmula, donde:

$\bar{X} = x_1 + x_2 + x_3 + \dots \dots \dots x_n$: resultados individuales de pruebas de resistencia, en kg/cm².

n: numero de ensayos efectuados.

6.6.2 Desviación estándar (σ)

La desviación estándar es la más importante de las medidas de dispersión. Se define como la raíz cuadrada de la media aritmética del cuadrado de las desviaciones de cada valor de la variable con respecto a la media, de acuerdo a la siguiente fórmula donde:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{X})^2}{(n - 1)}}$$

σ : Desviación estándar, en kg/cm².

\bar{X} : Resistencia promedio, en kg/cm².

x_i : Resultados individuales de pruebas de resistencia, en kg/cm².

n : numero de ensayos, se emplea (n-1) para compensar la inseguridad de lo pequeño de la muestra.

6.7 CRITERIOS DE ANÁLISIS

Un ensayo corresponde al promedio de los valores obtenidos de 2 especímenes. Para determinar cuánto se podían alejar los valores de cada uno de los ensayos entre sí, se realizó un análisis estadístico. Los valores de los ensayos correspondientes a cada mezcla y su respectiva relación agua-cemento se sometieron al siguiente criterio:

- 1) Sólo se tomaron los valores promedio de resistencia o ensayo que se encontraron dentro del intervalo $[\bar{X} \pm \sigma]$. Es decir, se descartó cualquier ensayo que se encontró fuera del intervalo $[\bar{X} \pm \sigma]$.
- 2) La resistencia promedio $f'c$ sería el promedio de los ensayos de resistencia consecutivos que se encuentren dentro del intervalo $[\bar{X} \pm \sigma]$.
- 3) La resistencia promedio a la flexión "MR" o módulo de rotura sería el promedio de los ensayos de resistencia consecutivos que se encuentren dentro del intervalo $[\bar{X} \pm \sigma]$.

6.8 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A partir de los análisis estadísticos de los resultados, se obtuvieron los valores siguientes:

Tabla 28: Análisis estadístico de los resultados.

Cilindro a 7 días	P(KN)	σ(kg/cm²)	Desviación estándar, media	X+σ	X-σ	Promedio
1	210.20	118.95	11.74	143.35	119.86	137.93
2	251.20	142.15				
6	236.30	133.72	131.61			
10	277.10	156.81	8.53	166.28	149.22	153.27
11	264.60	149.73				
12	294.60	166.71	157.75			
14	357.00	202.02	14.28	224.00	195.45	201.49
16	355.12	200.96				
18	399.73	226.20	209.73			
20	420.40	237.90	17.35	266.80	232.09	239.47
21	425.96	241.04				
24	476.08	269.41	249.45			
25	485.29	274.62	16.07	277.09	244.95	269.88
26	468.56	265.15				
27	429.93	243.29	261.02			
31	566.77	320.73	114.02	370.04	141.99	321.84
33	219.75	124.35				
36	570.71	322.96	256.01			
Viga a 7 días	P(KN)	MR(kg/cm²)	Desviación estándar, media	X+σ	X-σ	Promedio
2	17.580	23.434	3.8188608	31.64	24.01	30.02
3	22.250	29.659				

5	22.790	30.379	27.824153			
7	18.300	24.394	3.6292623	32.20	24.94	30.65
8	23.250	30.992				
11	22.740	30.312	28.56619			
15	16.586	22.109	4.2637201	30.62	22.09	24.21
16	19.743	26.317				
18	22.983	30.636	26.354299			
20	21.730	28.966	1.4965205	31.32	28.33	28.96
21	21.719	28.951				
22	23.669	31.551	29.822765			
28	21.098	28.124	0.5840325	29.33	28.16	29.06
29	21.636	28.841				
30	21.966	29.281	28.748367			
32	23.162	30.875	1.2413675	33.50	31.02	32.95
33	24.468	32.616				
34	24.965	33.278	32.256378			
			área cilindro			
Cilandro a	P(KN)	σ(kg/cm²)	Desviación estándar,	X+σ	X-σ	Promedio
28 días			media			
3	340.40	192.63	10.126775	205.87	185.61	190.08
4	331.40	187.53				
5	365.90	207.06	195.7389			
7	345.40	195.46	10.24548	208.05	187.56	192.20
8	369.37	209.02				
9	333.88	188.94	197.80437			
13	477.15	270.01	34.600994	274.22	205.02	258.45
15	356.90	201.96				
17	436.29	246.89	239.62124			
19	541.16	306.23	19.098067	345.76	307.57	336.88
22	582.61	329.69				
23	608.02	344.07	326.66346			

28	648.11	366.75	11.687076	367.95	344.58	362.56
29	633.29	358.37				
30	607.31	343.67	356.26291			
32	759.99	430.07	40.20386	438.86	358.45	421.31
34	729.06	412.56				
35	624.42	353.35	398.65886			
Viga a 28 días	P(KN)	MR(kg/cm2)	Desviación estándar, media	X+σ	X-σ	Promedio
1	22.60	30.12	0.7226299	30.10	28.65	29.00
4	21.52	28.68				
6	22.00	29.32	29.373988			
9	21.24	28.31	3.6976743	36.11	28.72	34.47
10	25.10	33.46				
12	26.62	35.48	32.416783			
13	29.22	38.96	1.3299976	39.82	37.16	39.24
14	27.75	36.99				
17	29.65	39.52	38.488598			
19	28.11	37.47	3.0894006	43.88	37.71	42.46
23	32.69	43.57				
24	31.02	41.34	40.795132			
25	29.51	39.33	1.2764025	41.72	39.17	39.75
26	31.39	41.84				
27	30.13	40.16	40.442776			
31	35.38	47.16	4.5905436	47.62	38.43	45.50
35	28.57	38.08				
36	32.88	43.83	43.024797			

Tabla 29: Resistencia $f'c$ promedio a los 7 días.

A/C	Resistencia promedio $f'c$
------------	--

	(kg/cm²)
0.60	137.93
0.55	153.27
0.50	201.49
0.45	239.47
0.40	269.88
0.35	321.84

Tabla 30: Resistencia MR promedio a los 7 días.

A/C	Resistencia promedio MR (kg/cm²)
0.60	30.02
0.55	30.65
0.50	24.21
0.45	28.96
0.40	29.06
0.35	32.95

Grafico 8: Grafico de MR vs f'c a los 7 días.

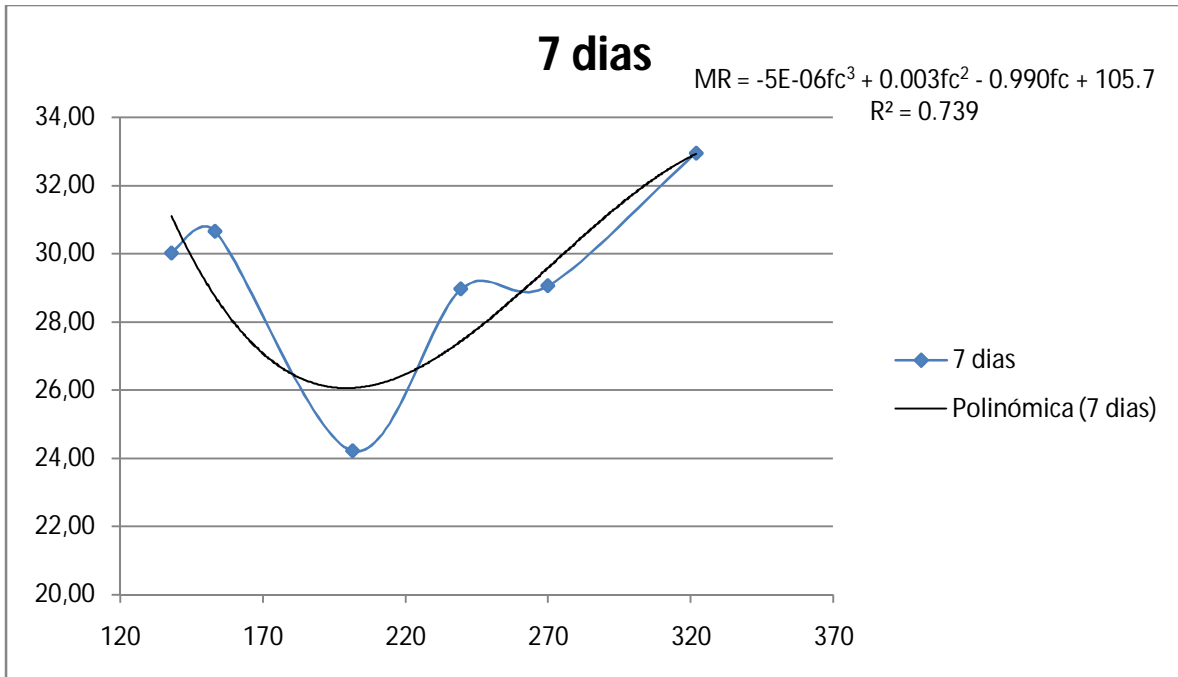


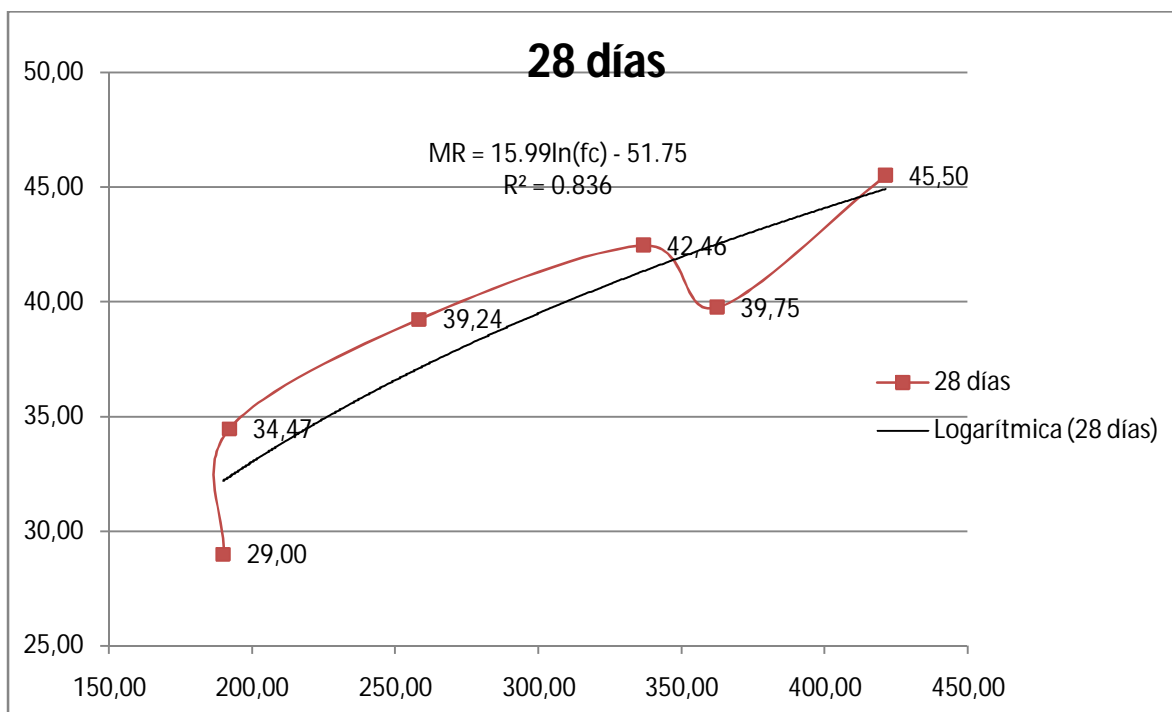
Tabla 31: Resistencia f'c promedio a los 28 días.

A/C	Resistencia promedio f'c (kg/cm²)
0.60	190.08
0.55	192.20
0.50	258.45
0.45	336.88
0.40	362.56
0.35	421.31

Tabla 32: Resistencia MR promedio a los 28 días.

A/C	Resistencia promedio MR (kg/cm ²)
0.60	29.00
0.55	34.47
0.50	39.24
0.45	42.46
0.40	39.75
0.35	45.50

Grafico 9: Grafico de MR vs f'c a los 28 días.



6.9 ESTABLECIMIENTO DE LA RELACIÓN ENTRE MR Y F'c

En la tabla siguiente se presentan valores de una constante “k”, asumiendo una relación lineal entre el módulo de rotura MR y la resistencia a la compresión del concreto f'c, que resulta de la simple división entre los valores de MR y f'c obtenidos en los cuadros anteriores.

Tabla 33: Valor de K para la relación lineal (28 días).

A/C	K=MR/f'c
0.60	0.15
0.55	0.18
0.50	0.15
0.45	0.13
0.40	0.11
0.35	0.11
promedio	0.14

En la tabla siguiente se presentan valores de la constante “k”, asumiendo que entre fr y f'c existe una relación dada por la expresión recomendada por el ACI 318 para el cálculo de MR:

Tabla 34: Valor de K para la relación logarítmica (28 días).

A/C	$k = \sqrt{f'c}$
0.60	2.10
0.55	2.49
0.50	2.44
0.45	2.31
0.40	2.09
0.35	2.22

CONCLUSIONES

1) En cuanto a la relación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del concreto se consideraron dos posibilidades:

- Una relación lineal entre MR y f'_c que nos llevaría a obtener un valor constante, k , para una relación del tipo:

$$MR = k \times f'_c$$

En este caso se obtuvo la siguiente relación:

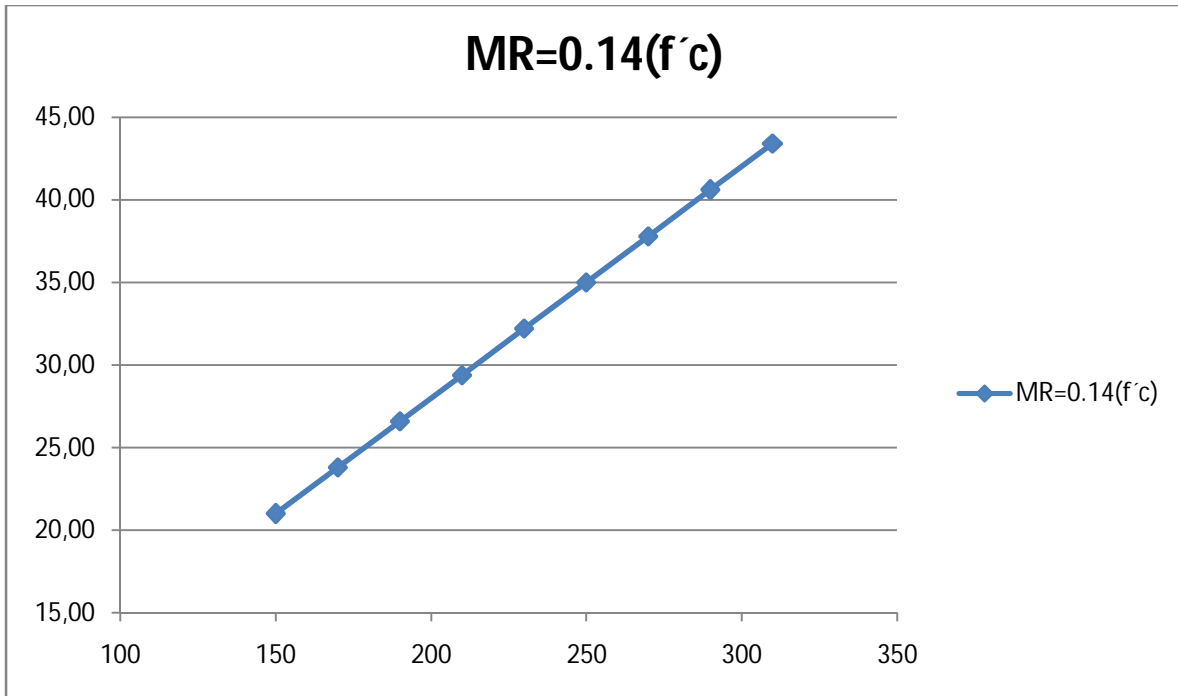
$$MR = 0.14 f'_c$$

- Una relación entre MR y f'_c similar a la expresión recomendada por el ACI 318 para el cálculo de MR en función de la raíz cuadrada de f'_c , es decir, la expresión $MR = K\sqrt{f'_c}$. En este caso la relación obtenida fue la siguiente:

$$MR = 2.28\sqrt{f'_c}$$

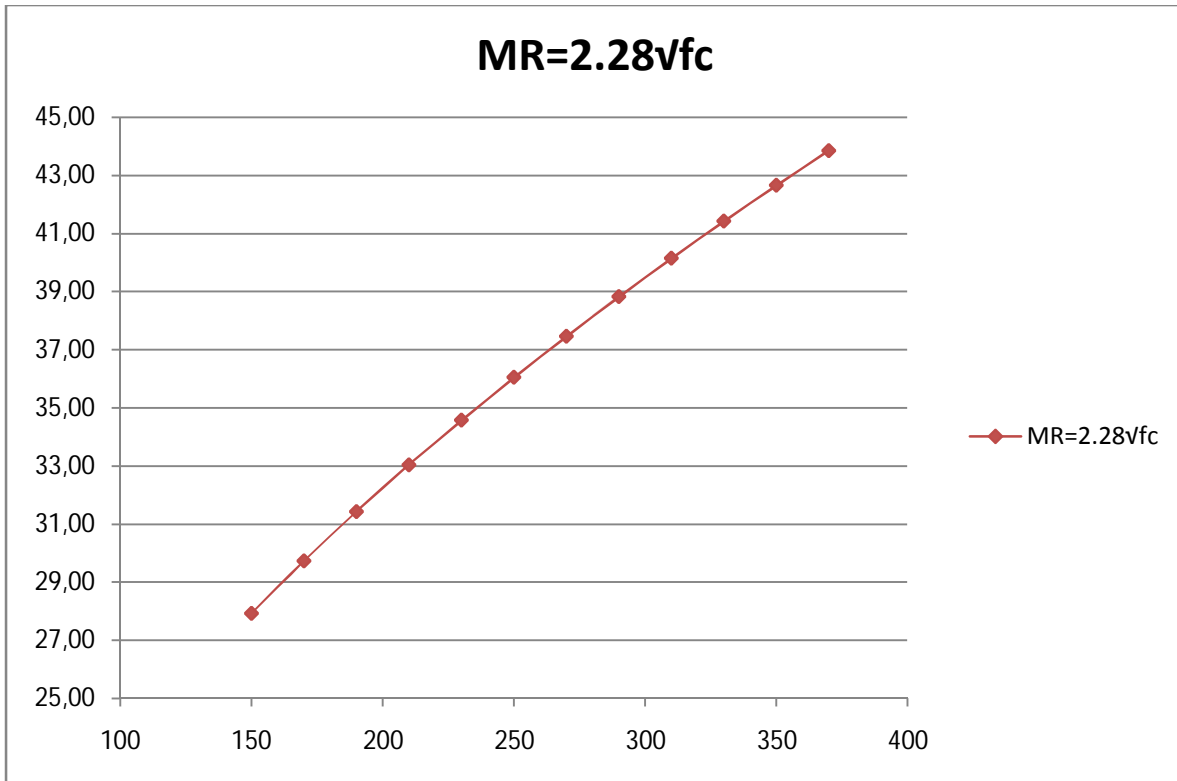
2) La relación lineal asumida en esta investigación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del concreto, con el agregado que generalmente se usa en muchas de las construcciones locales, principalmente en pavimentos rígidos, se puede representar en el siguiente gráfico:

Grafico 10: Grafica lineal para k=0.14.



3) Los valores de MR en función de f'c, con los agregados ya citados, para la ecuación $MR = 2.28\sqrt{f'c}$ se puede representar en el siguiente gráfico:

Grafico 11: Gráfico logarítmico para k=2.28.



4) Según el A.C.I, la resistencia a la flexión, MR, para un concreto de peso normal, se aproxima a valores de 1,99 á 2,65 veces la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión. En esta investigación el valor específico es 2,28 la raíz cuadrada de f'c.

5) De las dos relaciones asumidas, la expresión $MR = 2.28\sqrt{f'c}$ se acerca de manera más real a los resultados experimentales. La relación lineal, $MR = 0.14 f'c$ puede considerarse aceptable para valores de f'c hasta de 250 kg/cm². Para valores de f'c mayores que 250 kg/cm² no es recomendable asumir una relación lineal entre MR y f'c.

6) Para la mezcla, con una relación agua/cemento de 0,40, se puede obtener un módulo de rotura, MR, muy próximo a 40 kg/cm², a los 28 días de edad. Este

valor es bastante similar a los valores que actualmente se utilizan para el diseño de pavimentos de concreto hidráulico en Colombia, por lo que podemos concluir que el valor de esta relación agua/cemento es el indicado en concretos para pavimentos.

7) Se podría concluir que no es seguro que al aumentar la resistencia a la compresión, aumentará en igual proporción la resistencia a la flexión del concreto hidráulico. Esta conclusión hace más aceptable la relación asumida entre MR y f'c en el literal "b" del numeral 1 de estas conclusiones.

8) Se evidencio que la resistencia a la flexión, MR, a pocos días de edad, 7 días, es similar e independiente de de la relación A/C.

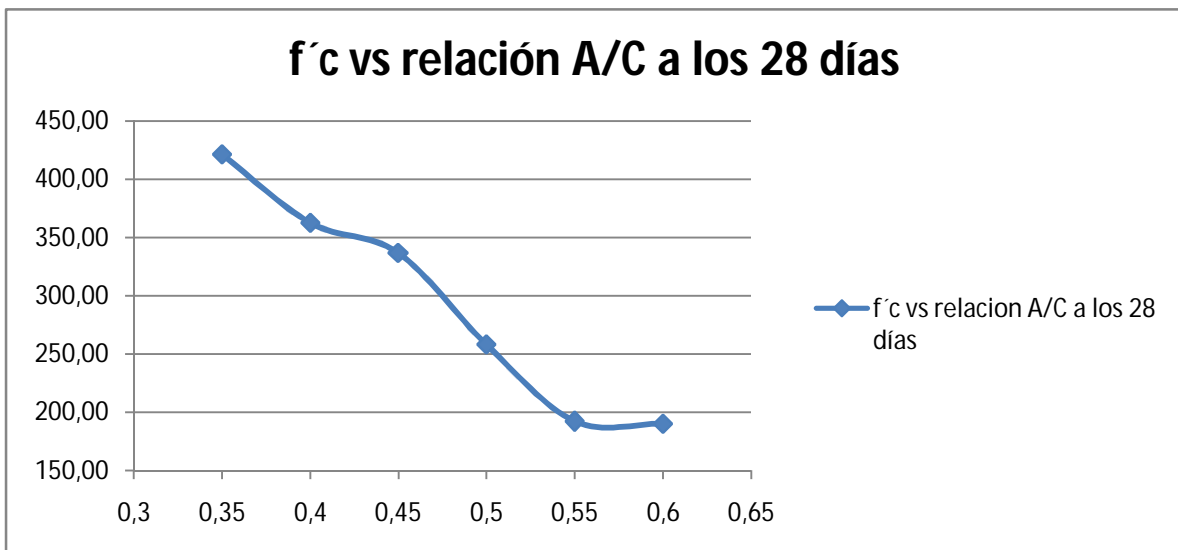
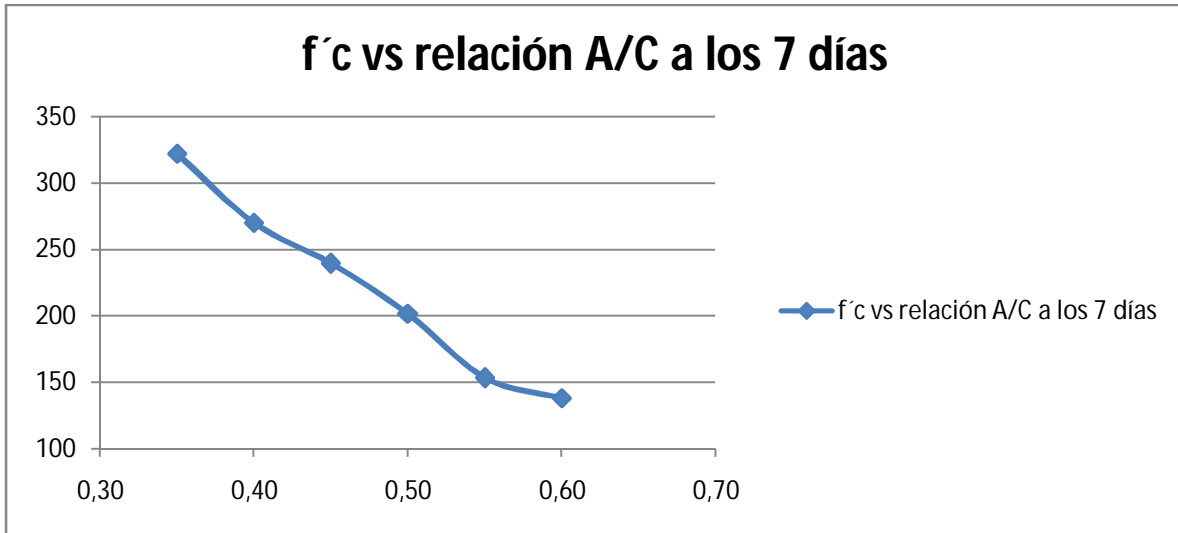
9) Se estima que a los 7 días de edad se alcanza 70.33% de la resistencia a los 28 días de edad.

10) los autores de este trabajo de tesis sugieren de forma alternativa la siguiente ecuación, la cual arroja como resultado K=2.2, y dejando a criterio del lector la adopción de la misma.

$$K \times \sqrt{f'c} = 15.99 \times (\ln f'c) - 51.75$$

Esta ecuación solo puede tenerse en cuenta para los materiales aquí citados.

11) Para este tipo de material se muestra la comparación de $f'c$ con respecto a las diferentes relaciones agua-cemento, a los 7 y 28 días de edad.



BIBLIOGRAFIA

SANCHEZ DE GUZMAN DIEGO .Tecnología del concreto y del mortero.
Colombia, Editorial Bhandar editores LTDA, 2001.

MUÑOZ MUÑOZ HAROLD. Construcción de Estructuras. Colombia, Asociación Colombiana de Productores de Concreto. 2004.

MUÑOZ RAZO CARLOS. Como Elaborar y Asesorar una Investigación de Tesis.
México, Prentice Hall. 1998.

SPIEGEL MURRAY R. Estadística. España, MacGraw-Hill.1993

CAHTFIELD CARL. Microsoft office Project 2003 Paso a Paso. España, McGraw Hill. 2004

Diseño y Control de Mezclas de Concreto, 13ª edición, 1992, Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C.

Práctica Recomendada para Seleccionar el Proporcionamiento de Concreto Normal, Pesado y Masivo, ACI. 211.1-81, , Reportedel Comité ACI 211 del Instituto Americano del Concreto.

Normas ASTM para Ensayes y Control de Calidad del del Concreto y de sus Componentes, Asociación Americana para Ensayo de Materiales (ASTM).

Sampieri, R.H., colado, C., Lucio, P.,, 1996. Metodología de la Investigación, Mc Graw Hill, 2ª. Edición, 1996

LISTADO DE GRAFICOS

GRAFICO 1: GRAFICA DE GRADACIÓN AGREGADO GRUESO.	77
GRAFICO 2: GRAFICA DE GRADACIÓN AGREGADO FINO.	79
GRAFICO 3: GRAFICA DE FULLER.	94
GRAFICO 4: MASA UNITARIA SUELTA, OPTIMA Y MASA UNITARIA COMPACTA, OPTIMA. ...	96
GRAFICO 5: PESO UNITARIO DEL CONCRETO ENDURECIDO, OPTIMO PARA $N=0,45$ APROXIMADAMENTE	97
GRAFICO 6: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN, OPTIMA PARA $N=0,45$ APROXIMADAMENTE.	97
GRAFICO 7: GRADACIÓN COMBINADA DEL PROYECTO.....	101
GRAFICO 8: GRAFICO DE MR VS $F'c$ A LOS 7 DÍAS.	122
GRAFICO 9: GRAFICO DE MR VS $F'c$ A LOS 28 DÍAS.	123
GRAFICO 10: GRAFICA LINEAL PARA $K=0.14$	126
GRAFICO 11: GRÁFICO LOGARÍTMICO PARA $K=2.28$	127

LISTADO DE TABLAS

TABLA 1 CONCENTRACIONES MÁXIMAS PERMITIDAS, PARA EL AGUA DE MEZCLADO.	61
TABLA 2: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO GRUESO.	76
TABLA 3: ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO AGREGADO FINO.....	78
TABLA 4: RESULTADO DE LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES.	82
TABLA 5: PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS.....	88
TABLA 6: ÍNDICE DE APLANAMIENTO.....	89
TABLA 7: ÍNDICE DE ALARGAMIENTO.....	90
TABLA 8: VALORES DE LA CONSTANTE PARA LA CURVA ELÍPTICA.....	93
TABLA 9: VALORES DEL EXPONENTE PARA DIFERENTES TAMAÑOS MÁXIMOS.....	95
TABLA 10: VALORES DE F.	98
TABLA 11: VALORES PROPUESTOS POR EL AUTOR DIEGO SÁNCHEZ DE GUZMÁN.....	98
TABLA 12: PARÁMETROS DE DISEÑO.....	100
TABLA 13: % PASA PARA LA GRADACIÓN COMBINADA.....	101
TABLA 14: PARÁMETROS DEL AGREGADO GRUESO.....	102

TABLA 15: PARÁMETROS DEL AGREGADO FINO.	102
TABLA 16: ESPECIFICACIONES DE AGUA Y CEMENTO PARA LAS DIFERENTES RELACIONES.	103
TABLA 17: DENSIDADES.	105
TABLA 18: CONVERSIONES A VOLUMEN DESDE M ³ DE CONCRETO.	105
TABLA 19: PESO DEL AGREGADO (FINO Y GRUESO).	105
TABLA 20: CANTIDAD DE MATERIAL GRUESO, FINO.	106
TABLA 21: CORRECCIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA DE MEZCLADO.....	106
TABLA 22: DOSIFICACIÓN X M ³ DE CONCRETO PARA LAS DIFERENTES RELACIONES A/C.	106
TABLA 23 : VALORES DE ASENTAMIENTO PARA DIFERENTES RELACIONES A/C.	110
TABLA 24: RESULTADOS F'c A LOS 7 DÍAS DE EDAD.	112
TABLA 25: RESULTADOS F'c A LOS 28 DÍAS DE EDAD.	112
TABLA 26: RESULTADOS MR A LOS 7 DÍAS DE EDAD.....	114
TABLA 27: RESULTADOS MR A LOS 28 DÍAS DE EDAD.....	114
TABLA 28: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS.	118

TABLA 29: RESISTENCIA $f'c$ PROMEDIO A LOS 7 DÍAS.....	120
TABLA 30: RESISTENCIA MR PROMEDIO A LOS 7 DÍAS.	121
TABLA 31: RESISTENCIA $f'c$ PROMEDIO A LOS 28 DÍAS.....	122
TABLA 32: RESISTENCIA MR PROMEDIO A LOS 28 DÍAS.	123
TABLA 33: VALOR DE K PARA LA RELACIÓN LINEAL (28 DÍAS).	124
TABLA 34: VALOR DE K PARA LA RELACIÓN LOGARÍTMICA (28 DÍAS).....	124

LISTADO DE FOTOS

FOTO 1: TOMA DE MUESTRA AGREGADO FINO. AGREGADO GRUESO.-----	FOTO 2: TOMA DE MUESTRA -----	73
FOTO 3: MÉTODO DEL CUARTEO GRUESO. CUARTEO GRUESO.-----	FOTO 4: MÉTODO DEL -----	73
FOTO 5: MÉTODO DEL CUARTEO FINO. CUARTEO FINO.-----	FOTO 6: MÉTODO DEL -----	73
FOTO 7: SE PESA EL MATRAZ Y SE OBTIENE RESULTADOS.-----		74
FOTO 8: SE PESA EL RECIPIENTE. MUESTRA.-----	FOTO 9: SE SECA LA -----	75
FOTO 10: JUEGOS DE TAMICES. MUESTRA (GRUESO).-----	FOTO 11: SEPARACIÓN DE LA -----	75
FOTO 12: SE PESA EL MATERIAL RETENIDO.-----		76
FOTO 13: EL AGREGADO SE COLOCA EN EL RECIPIENTE.-----		79
FOTO 14: PRIMERA CAPA DE AGREGADO. MATERIAL.-----	FOTO 15: ENRACE DEL -----	80
FOTO 16: SE PESA LA MUESTRA. ÁNGELES.-----	FOTO 17: MAQUINA DE LOS -----	81

FOTO 18: SE COLOCA EL MATERIAL DENTRO.	FOTO 19: SE LE DA VUELTAS.
-----	81
FOTO 20: SE VACÍA LA MAQUINA.	FOTO 21: POR ÚLTIMO SE
PESA.-----	82
FOTO 22: SECADO DE LA MUESTRA.-----	86
FOTO 23: COLOCACIÓN DEL CILINDRO.	FOTO 24: CILINDRO EN LA
MAQUINA.-----	111
FOTO 25: CILINDRO FALLADO.	FOTO 26: RESULTADOS
OBTENIDOS.-----	111
FOTO 27: ENSAYO DE VIGA.	FOTO 28: MOMENTO DE
FALLA VIGA.-----	113
FOTO 29: OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS.-----	113

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	8
DEDICATORIA.....	9
INTRODUCCIÓN.....	10
RESUMEN.....	12
PARTE I:.....	29
GENERALIDADES CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.....	29
1 GENERALIDADES DEL CONCRETO.....	30
1.1 HISTORIA.....	31
1.2 DEFINICIÓN Y FUNCIONES DE LOS AGREGADOS DENTRO DEL CONCRETO..	33
1.2.1 Definición.....	33
2. CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS.....	38
2.1 AGREGADOS.....	39
2.1.1 Introducción.....	39
2.1.2 Conceptos.....	39
2.1.3 Clasificación.....	41
2.1.3.1 <i>Por su naturaleza</i>	41
2.1.3.2 <i>Por su densidad</i>	41
2.1.3.3 <i>Por el origen, forma y textura superficial</i>	41
2.1.3.4 <i>Por el tamaño del agregado</i>	42
2.1.3.4.1 <i>Áridos y Arenas</i>	42
2.1.4 propiedades.....	45
2.1.4.1 <i>Granulometría</i>	45
2.1.4.1.1 <i>Granulometría de los agregados finos</i>	45
2.1.4.1.2 <i>Granulometría de los agregados gruesos</i>	46
2.1.4.1.3 <i>Agregado con granulometría discontinua</i>	47
2.1.5 Módulo de Fineza.....	49
2.1.6 Contenido De Finos.....	49
2.1.7 Propiedades físicas.....	50
2.1.7.1 <i>Densidad</i>	50

2.1.7.2 Porosidad.....	50
2.1.7.3 Peso Unitario.....	50
2.1.7.4 Porcentaje de Vacíos.....	50
2.1.7.5 Humedad.....	51
2.1.8 Propiedades resistentes	51
2.1.8.1 Resistencia.....	51
2.1.8.2 Tenacidad.....	51
2.1.8.3 Dureza.....	51
2.1.8.4 Módulo de elasticidad	52
2.2 CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO EN EL CONCRETO	53
2.2.1 Obtención.....	53
2.2.2 Clasificación de los cementos	54
2.2.2.1 Tipo, nombre y aplicación.....	54
2.2.3 Cementos Hidráulicos Mezclados.....	56
2.2.4 Cementos para Pozos Petroleros	57
2.2.5 Cementos Plásticos.....	57
2.2.6 Cementos Portland Impermeabilizados.....	58
2.2.7 Cementos de Albañilería.....	58
2.2.8 Cementos Expansivos	58
2.2.9 Cemento Portland Blanco.....	59
2.3 AGUA DE MEZCLADO PARA EL CONCRETO	60
2.3.1 Definición.....	60
2.3.2 Carbonatos y bicarbonatos alcalinos.....	60
2.3.3 Cloruros.....	60
3. CONCRETO	63
3.1 PROPIEDADES DEL CONCRETO.....	64
3.1.1 Trabajabilidad del concreto fresco.....	64
3.1.2 Velocidad de fraguado	64
3.1.3 Peso específico	64
3.1.4 Permeabilidad y hermeticidad.....	64

3.1.5 Resistencia al desgaste	66
3.1.6 Relación agua-cemento	66
3.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	68
3.3 RESISTENCIA A LA FLEXION (MODULO DE ROTURA).....	69
3.3.1 La resistencia a la torsión	69
PARTE II:	71
DISEÑO DEL CONCRETO	71
4. ANALISIS DE LABORATORIO REALIZADO A LOS AGREGADOS Y AL CONCRETO	72
4.1 MUESTREO DE MATERIALES	73
4.2 CONTENIDO APROXIMADO DE MATERIA ORGANICA EN LOS FINOS	74
4.3 ANALISIS GRANULOMETRICO DE LOS AGREGADOS GRUESOS Y FINOS.....	75
4.3.1 Agregado grueso: A continuación unas foto acerca del procedimiento... 75	
4.3.2 Agregado fino.....	77
4.4.2 Agregado fino.....	80
4.5 RESITENCIA AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS	81
4.6 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS FINOS	83
4.7 GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS.....	84
4.8 HUMEDAD SUPERFICIAL EN AGREGADOS FINOS	86
4.9 PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS.....	88
4.10 INDICE DE APLANAMIENTO Y DE ALARGAMIENTO.....	89
5. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO	91
5.1 GRADACIONES IDEALES	92
5.1.1 Aportación de FULLER Y THOMPSON	92
5.1.2 Aportación de WEYMOUTH	94
5.1.3 Mencionamos también la teoría de Bolomey, el cual nos sugiere la siguiente ecuación.....	98
5.1.4 Gradaciones ideales según el autor Diego Sánchez de Guzmán, en % que pasa..	98
5.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO	100
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	108

6.1 TOMA DE MUESTRAS DE CONCRETO FRESCO PRODUCTO DEL DISEÑO ANTERIOR	109
6.2 ELABORACION Y CURADO.....	109
6.3 ASENTAMIENTO DEL CONCRETO	110
6.4 RESISTENCIA A LA COMPRESION.....	111
6.4.1 Resultados obtenidos.....	112
6.5 RESISTENCIA A LA FLEXION	113
6.5.1 Resultados obtenidos.....	114
6.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS	115
6.6.1 Resistencia promedio (\bar{x}).....	115
6.6.2 Desviación estándar (σ).....	116
6.7 CRITERIOS DE ANÁLISIS	117
6.8 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	118
6.9 ESTABLECIMIENTO DE LA RELACIÓN ENTRE MR Y F'C	124
CONCLUSIONES	125
BIBLIOGRAFIA.....	129

ANEXOS

RESUMEN DE LA PLICACION VBA DE MICROSOFT OFFICE EXCEL 2007

Por último en anexo se encuentra un programa ejecutable en Excel, con el fin de diseñar las mezclas de concretos y ayudar al lector a obtener resultados más rápidos y confiables. Este programa ajusta la curva propuesta a una curva de distribución granulométrica ideal, por medio del método grafico. Para utilizarlo, el programa tienes unas celdas de color amarillo que contiene una leyenda (celdas editables), a continuación lo describiremos:

1. En las celdas editables se introducen los resultados de los laboratorios obtenidos, como granulometría de los agregados gruesos y finos, peso específico, densidad, absorción, contenido de arcillas, entre otras.
2. Después se va a la hoja de gradación, en la celda tamiz. Colocas el tamiz máximo ejemplo 1^{1/2}", escoge el tipo de curvas en la casilla curva escogida. Y pasas al botón calcular, en la parte de debajo de la grafica.
3. Después sigues a la hoja propiedades y dosificación,
4. Entrás a las celdas editables, de propiedades para agregado fino y grueso, en esta celdas colocas los resultados de los laboratorios pertinentes.
5. Después pasas a la hoja, gráficos de proporciones, donde te mostrara las cantidades por pesos para un metro cubico de agregado grueso, fino, cemento y agua.

Es fácil inténtalo.

Vistas del programa



Grafica: Proporción de materiales por peso para un m³

