Tesis
IC 2006
B6.

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

ESTUDIO DEL FACTOR DE DISMINUCIÓN DE RESISTENCIA, DEBIDO AL USO DE CANTO RODADO DE LA CANTERA PUENTEAREAS, COMO AGREGADO GRUESO EN LA MEZCLA DE CONCRETO

Trabajo de Investigación presentado por:

Juan Pablo BORBERG
Y
Carlos Enrique CAMPDERÁ

a la
Escuela de Ingeniería Civil
Como requisito parcial para obtener el título de
Ingeniero Civil

Tutor:
Ana María MOLLEJAS

Caracas, Octubre 2006

Dedico este trabajo a mis padres por todo el apoyo y la paciencia que me han dado, a mis hermanos, Christian, Michelle y Marcelle, tambien a Luisa, Adriana, Goliath y a todos aquellos que me han rodeado estos últimos meses por todos los inconvenientes que les he hecho pasar a causa de el tiempo invertido en el trabajo.

Juan Pablo

Dedico este trabajo a mi padre que me ha inculcado el aprecio por esta profesión. A mi Mamá, Sylvia, Teley, Opa y Oma, por todo el apoyo que me han brindado. Tambien a todos los panas que han estado ahí en todo momento.

Carlos

AGRADECIMIENTOS

- Ing. Ana María Mollejas por haber aceptado ser nuestra tutora y ayudarnos en el desarrollo de esta investigación.
- Ing. Leonor Montilva por habernos orientado, apoyado y habernos dedicado su tiempo.
- Ing. Feliciano DeSantis por proponernos el tema y brindar su incondicional ayuda.
- Ing. Benito Rodríguez y todo el personal de la cantera Puenteareas por brindar su apoyo para la realización de este proyecto.
- Ing. John Wright, Ing. Wilmer Castellanos como representantes de la empresa CEMEX por su colaboración, interés y apoyo brindado a este proyecto.
- Un especial agradecimiento a todo el personal del laboratorio de Guatire por su ayuda y colaboración. Daniel, Mariela, Henry, Luis, Omar, Arquímedes, Bolivar y Jorge. MUCHAS GRACIAS.
- Jose Miguel por su ayuda y haberse roto el lomo con nosotros en la preparación de las mezclas.
- Manrique por habernos dado la base de lo que sabemos de materiales de construcción. MUCHAS GRACIAS
- No solo no hubiéramos sido nada sin ustedes sino con toda la gente que estuvo a nuestro alrededor desde el comienzo. Algunos siguen hasta hoy.... Gracias Totales.

INDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA II

AGRADECIMIENTOS III

INDICE DE CONTENIDO IV

INDICE DE FIGURAS VIII

INDICE DE TABLAS X

RESUMEN XII

INTRODUCCION 1

CAPITULO I. MARCO TEÓRICO 4

I.1. Antedentes 4

I.2. Concreto 5

I.2.1. Definición 5

I.2.2. Componentes 6

I.3. Agregados 7

I.3.1. Orígenes 7

I.3.1.1. Canto Rodado 7

I.3.1.2. Piedra Picada 8

I.3.1.3. Arena 9

I.3.2. Propiedades de los Agregados 9

I.3.2.1. Granulometría 9

I.3.2.2. Tamaño Máximo 10

I.3.2.3. Resistencia de los Agregados 10

I.3.2.4. Forma 10

I.3.2.5. Textura Superficial 11

I.3.2.6. Peso Específico 11

I.3.2.7. Humedad 12

I.3.2.8. Absorción 12

I.4. Características del Concreto Fresco 12
I.4.1. Fluidez o Trabajabilidad 12
I.4.2. Compactibilidad 13
I.4.3. Estabilidad a la Segregación 13
I.5. Influencia de los Agregados Pétreos en las Propiedades del Concreto Fresco 14
I.6. Influencia de los Agregados Pétreos en las Propiedades del Concreto Endurecido 16
I.7. Propiedades Mecánicas del Concreto 19
I.7.1. Resistencia a la Compresión 20
I.7.2. Modos de Falla 22
I.7.3. Efecto de la Edad 23
I.7.4. Efecto de la Velocidad de Carga 24
I.7.5. Efecto de la Esbeltez y del Tamaño del Espécimen 26

CAPITULO II. METODO 28
II.1. Selección de los Agregados 28
II.2. Descripción Geológica de los Agregados 30
II.3. Análisis de los Agregados 31
II.3.1. Granulometría 31
II.3.2. Peso por Unidad de Volumen 32
II.3.2.1. Peso Unitario 32
II.3.2.2. Peso Específico 32
II.3.3. Desgaste de Los Ángeles 32
II.4. Diseño de Mezcla 33
II.4.1. Informaciones Previas 33
II.4.2. Método de Diseño 34
II.4.2.1. Selección del Asentamiento 34
II.4.2.2. Selección del Tamaño Máximo del Agregado 34
II.4.2.3. Estimación del Agua de Mezclado y del Contenido de Aire 34

II.4.2.4. Selección de Relación Agua/Cemento 35
II.4.2.5. Calculo de la Cantidad de Cemento 35
II.4.2.6. Estimación del Contenido de Agregado Grueso 36
II.4.2.7. Estimación del Contenido de Agregado Fino 36
II.4.2.8. Ajustes Debido a la Humedad del Material 37
II.4.2.9. Valores Finales Obtenidos del Diseño de Mezcla 37
II.5. Equipos Utilizados 38
II.5.1. Equipo Menor 38
II.5.2. Cono de Abrams 38
II.5.3. Balanza 39
II.5.4. Barra Compactadota 39
II.5.5. Moldes Cilíndricos 39
II.5.6. Mezcladora de Concreto 40
II.5.7. Prensa Hidráulica 41
II.6. Preparación y Mezclado 42
II.6.1. Almacenamiento de los Componentes de la Mezcla 42
II.6.1.1. Almacenamiento de los Agregados 42
II.6.1.2. Almacenamiento del Cemento 42
II.6.2. Dosificación y Mezclado 43
II.6.3. Control de Asentamientos y Trabajabilidad 44
II.6.4. Elaboración de la Probeta 45
II.6.5. Curado de las Probetas 45
II.7. Ensayo de las Probetas 46

CAPITULO III. ANALISIS DE LOS DATOS 48
III.1. Ensayos Previos 48
III.1.1. Peso Unitario 48
III.1.2. Peso Específico 49
III.1.3. Absorción 49
III.1.4. Desgaste de Los Ángeles 49
III.1.5. Granulometría 50

III.2. Ensayos de Cilindros a Compresión 50
III.2.1. Ensayos a los 7 Días 50
III.2.2. Ensayos a los 28 Días 53
III.2.2.1. Comparación Resultados Semana 1 y Semana 2 62
III.3. Control de Asentamientos y Trabajabilidad 64

CAPITULO IV. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS 65
IV.1. Ensayos Previos 65
IV.1.1. Peso Unitario 65
IV.1.2. Peso Específico 66
IV.1.3. Desgaste de Los Angeles 66
IV.1.4. Granulometría 66
IV.2. Control de Asentamientos 67
IV.3. Ensayos Cilindros a Compresión 68
IV.3.1. Ensayos a los 7 Días 68
IV.3.2. Ensayos a los 28 Días 68

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 71

BIBLIOGRAFIA 74
ANEXOS

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Falla en compresión de un cilindro de concreto 23
Figura 2. Efecto de la edad a ensayar en la resistencia 24
Figura 3. Efecto de la velocidad de carga 25
Figura 4. Efecto de la relación de esbeltez 26
Figura 5. Efecto de tamaño 27
Figura 6. Extracción por medios mecánicos 28
Figura 7. Terrazas aluviales 28
Figura 8. Canto rodado natural 29
Figura 9. Canto rodado triturado 29
Figura 10. Vista general cantera 29
Figura 11. Planta de premezclado CEMEX Guatire 30
Figura 12. Molde para ensayo de asentamiento 38
Figura 13. Cono de Abrams 38
Figura 14. Balanza digital Mettler Toledo 39
Figura 15. Molde cilíndrico 40
Figura 16. Mezcladora de concreto 40
Figura 17. Prensa Hidráulica 41
Figura 18. Control de ajuste de velocidad de aplicación de carga y pantalla digital 41
Figura 19. Recipiente para almacenar cemento 42
Figura 20. Dosificación de los agregados 43
Figura 21. Estación de dosificación 43
Figura 22. Conchas cilíndricas limpias y engrasadas 44
Figura 23. Control de asentamiento y trabajabilidad 44
Figura 24. Elaboración de la probeta 45
Figura 25. Piscina de curado 46
Figura 26. Probetas secando al sol 46

Figura 27. Olla de azufre 47
Figura 28. Cilindro en el refrentador 47
Figura 29. Cilindros durante el enfriado del caping 47
Figura 30. Cilindro después de ser ensayado 47
Figura 31. Resistencias vs. Porcentaje de canto rodado triturado 52
Figura 32. Resistencias vs. % canto rodado triturado primera semana 60
Figura 33. Resistencias vs. % canto rodado triturado segunda semana 61
Figura 34. Resistencias vs. % canto rodado triturado promedio de ambas semanas 61
Figura 35. Resistencias vs. % canto rodado triturado, semana 1 y semana 2, resistencia teórica 250 kg/cm². 62
Figura 36. Resistencias vs. % canto rodado triturado, semana 1 y semana 2, resistencia teórica 350 kg/cm². 63
Figura 37. Resistencias vs. % canto rodado triturado, semana 1 y semana 2, resistencia teórica 400 kg/cm². 63

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. *Agua de Mezclado según el Tamaño Máximo de los Agregados y el Rango de Asentamientos Elegido* 35

Tabla 2. *Relación Agua Cemento según la Resistencia a la Compresión Deseada* 35

Tabla 3. *Volumen de Agregado Grueso para un Volumen Unitario de Concreto* 36

Tabla 4. *Peso del Concreto Fresco según el Tamaño Máximo del Agregado* 37

Tabla 5. *Proporciones Finales Utilizadas en las Mezclas* 37

Tabla 6. *Pesos Unitarios Agregados Gruesos* 48

Tabla 7. Resultados Finales *Pesos Unitarios Agregados Gruesos* 49

Tabla 8. *Resultados Ensayos a 7 Días. Resistencia Teórica 250 kg/cm²* 51

Tabla 9. *Resultados Ensayos a 7 Días. Resistencia Teórica 350 kg/cm²* 51

Tabla 10. *Resultados Ensayos a 7 Días. Resistencia Teórica 400 kg/cm²* 52

Tabla 11. *Resistencia de Cilindros Ensayados a Compresión a los 28 Días* 53

Tabla 12. *Resistencia de Cilindros Ensayados a Compresión a los 28 Días* 54

Tabla 13. *Resistencia de Cilindros Ensayados a Compresión a los 28 Días* 55

Tabla 14. *Desviación Estándar y Promedio por Mezcla. Resistencia Teórica 250 kg/cm²* 57

Tabla 15. *Desviación Estándar y Promedio por Mezcla. Resistencia Teórica 350 kg/cm²* 58

Tabla 16. *Desviación Estándar y Promedio por Mezcla. Resistencia Teórica 400 kg/cm²* 59
Tabla 17. *Promedio por Diseño y Desviación Estándar* 60
Tabla 18. *Asentamientos Medidos* 64

RESUMEN

El concreto es el principal material utilizado en la constricción. Esta compuesto por cemento, agua y agregados. En los últimos años se ha producido una escasez en la oferta de agregados de calidad por lo que se han buscado fuentes alternativas. Esta escasez es originada en parte por la baja capacidad instalada de equipos trituradores por lo que se han buscado alternativas a esta situación. Una de estas alternativas que han surgido es el empleo de canto rodado.

Por medio de este estudio se busca obtener cual es la cuantía de la disminución de la resistencia del concreto, debido al uso de canto rodado natural como agregado grueso. Se realizaron probetas cilíndricas de concreto con distintas proporciones de canto rodado natural y canto rodado triturado de acuerdo a lo establecido por los diseños de mezcla realizados. Se estudiaron 3 resistencias teóricas (250 kg/cm², 350 kg/cm² y 400 kg/cm²), ensayando los cilindros a 7 y 28 días. Los resultados obtenidos se graficaron y se trató de obtener un relación estadística entre los mismos.

De este estudio se pudo concluir que la disminución de la resistencia del concreto debido al uso de canto rodado natural como agregado grueso en el mismo depende de la resistencia teórica deseada y puede variar entre un 5% para resistencias de 250 kg/cm² y 15% para resistencias de 350 kg/cm². Se pudieron obtener correlaciones entre los resultados obtenidos para resistencias elevadas (400 kg/cm²), más no así para resistencias bajas (250 kg/cm²).

INTRODUCCION

El concreto es un material pétreo, artificial, obtenido de la mezcla, en proporciones determinadas, de cemento, agregados y agua. El cemento y el agua forman una pasta que rodean a los agregados, constituyendo un material heterogéneo. Algunas veces se añaden ciertas sustancias, llamadas aditivos o adicionantes, que mejoran o modifican algunas propiedades del concreto.

Los agregados son materiales usualmente pétreos e inertes cuya finalidad en la mezcla de concreto es de abaratarla y dotarla de ciertas características favorables. Estos materiales constituyen la mayor parte del volumen final del concreto, por lo que sus características son de gran importancia en las propiedades del mismo. La calidad de los agregados viene definida por el origen de los mismos, su composición mineralógica y por el método de extracción de los mismos.

En los últimos años se ha observado un auge en la industria de la construcción que significa a su vez una gran demanda de concreto de buena calidad y por lo tanto una gran demanda de agregados que cumplan con las especificaciones requeridas. Lamentablemente las empresas productoras (canteras, areneras, saques) no han podido darse abasto con la demanda del mercado debido primordialmente a la baja capacidad instalada de equipos trituradores. Todos estos factores han provocado una búsqueda de nuevas fuentes de material para sustituir la piedra picada de cantera o evitar el triturado del canto rodado.

El canto rodado es un material que se puede conseguir fácilmente en la naturaleza. Durante muchos años en nuestro país se ha utilizado como agregado grueso en la elaboración de concreto pero sometiéndolo previamente a un proceso de trituración y se ha demostrado que posee buenas propiedades mecánicas. El proceso de trituración es difícil y costoso.

En otros países como Italia es común el uso de canto rodado sin triturar como agregado grueso del concreto por lo que surge la interrogante de cual es

el efecto real que posee la forma y textura del agregado en las propiedades mecánicas del concreto. Debido a las dificultades que con lleva este proceso de trituración, varias empresas como CEMEX, Cantera Puenteareas e Ingenieros DeSantis C.A. han mostrado interés en averiguar cuanto es la disminución de la resistencia de concreto cuando se utiliza canto rodado como agregado grueso de la mezcla.

Con el presente trabajo se trata de obtener relaciones entre el porcentaje de canto rodado en la mezcla de concreto y la resistencia final del mismo. De esta forma se busca facilitar el cálculo de la resistencia cuando el agregado grueso que se consigue es de esta misma procedencia.

OBJETIVOS

Determinar la cuantía de la disminución de la resistencia del concreto, mediante el ensayo de cilindros a compresión, cuando se utiliza canto rodado natural como agregado grueso en la mezcla de concreto.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Diseñar un cierto número de mezclas de concreto bajo las mismas condiciones empleando diferentes porcentajes de canto rodado natural y canto rodado triturado como agregados gruesos.
- Elaborar un número determinado de probetas de concreto de cada mezcla, para que el estudio sea estadísticamente significativo.
- Analizar cada uno de los resultados obtenidos de acuerdo a criterios estadísticos aplicables al estudio del concreto.
- Elaborar curvas de resistencia del concreto contra porcentaje de canto rodado en el agregado grueso de la mezcla.

I. MARCO TEORICO

I.1 Antecedentes

Se conocen evidencias históricas de productos parecidos al concreto, con varios milenios de antigüedad. Durante el Imperio Romano se desarrolló una especie de concreto utilizando el aglomerante que llamaban "Cementum". El concreto, tal como se conoce actualmente, tuvo sus inicios en la segunda mitad del siglo XVIII, con las investigaciones sobre cales de John Smeaton y Joseph L. Vicat. A principios del siglo XIX se desarrolla el cemento Portland y, a comienzos del siglo XX, se estudian y establecen la mayor parte de las relaciones que gobiernan el comportamiento del material. Su evolución y avance son permanentes, habiendo logrado adelantos tecnológicos importantes. Algunos ejemplos son: el concreto precomprimido, el concreto liviano, el uso de los aditivos químicos, el concreto ultra resistente, los de exigente comportamiento y otros. (Porreros, Ramos, Grases y Velazco, 2004).

Los romanos usaron con gran éxito cementos puzolánicos, que son una mezcla de cal y materiales volcánicos que reaccionan entre sí y con el agua, dando origen a productos en cierto modo similares a los componentes hidratados de los cementos actuales. Algunas imponentes obras romanas de concreto se conservan en buen estado. Un ejemplo impresionante es el Panteón de Roma (27 a. C.), antiguo templo pagano convertido posteriormente en iglesia cristiana. Fue hecho con concreto aligerado, empleando piedra pómez liviana como agregado, y tiene un domo de 43,3 metros de diámetro, abierto circularmente en la cumbre. (Porrero, et al., 2004)

Las diferencias fundamentales entre los concretos primitivos y los actuales provienen del tipo de aglomerante. Inicialmente se usaron yeso o cal. El yeso deshidratado por el calor de, por ejemplo, una fogata sencilla, absorbe nuevamente el agua y endurece. La cal, obtenida en hornos especiales o bajo la acción directa del fuego, se descarbonata, con resultados similares. Sin embargo, las características del yeso y de la cal aérea (que endurece por

reacción con el anhídrido carbónico de la atmósfera) difieren de las que tienen los actuales aglomerantes, los cuales han permitido el empleo masivo del concreto. (Porrero, et al., 2004)

Dentro del mundo de la construcción el concreto es, en sus diversas variantes, el material de uso más extendido en zonas urbanas. Se estima, en general, que este material es el segundo en cantidad que usa el hombre, después del agua: donde hay actividad humana organizada, hay concreto. Cada año se produce un tercio de tonelada de concreto por cada ser humano en el planeta, unos 2.000 millones de toneladas de concreto en el año 2002. (Porrero, et al., 2004)

El cemento Portland que se usa hoy día como conglomerante es una cal hidráulica perfeccionada. Hidráulica quiere decir que tiene capacidad para endurecer tanto al aire como bajo el agua, sin la colaboración del anhídrido carbónico, como sucedía con las primitivas cales. Lo económico del material se debe a que las materias primas que emplea son relativamente abundantes en la naturaleza, y a las ventajas competitivas que ofrece frente a otros materiales de construcción. (Porrero, et al., 2004)

I.2 Concreto

I.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 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 deje éste. (Palbol, 1996; cp. Chan, Solis y Moreno, 2003).

Se denomina concreto fresco al material mientras permanece en estado fluído, es decir, desde el momento cuando todos los componentes son mezclados hasta que se inicia el atiesamiento de la masa (período plástico). En este lapso el concreto es transportado, colocado en moldes o encofrados y luego compactado manualmente o por vibración. (Porrero, et al., 2004)

Ese estado de plasticidad tiene una duración diferente entre unas y otras localidades, y entre una y otra época del año, ya que las condiciones del clima tienen gran influencia. En lugares cálidos y secos el estado fresco dura menos tiempo que en localidades frescas y húmedas. (Porrero, et al., 2004)

I.2.2 Componentes

Aproximadamente un 80% del peso del concreto está compuesto por partículas de origen pétreo de diferentes tamaños, material denominado usualmente como agregados, áridos o inertes. Por esa razón las características de esos materiales son decisivas para la calidad de la mezcla de concreto. La calidad de los agregados depende de las condiciones geológicas de la roca madre y, también, de los procesos extractivos. Es por lo tanto, a las empresas productoras (canteras, areneras, saques) a quienes corresponde el primer control en el proceso de la calidad de los agregados. Es recomendable que esa calidad de los inertes sea comprobada por el fabricante de concreto antes de elaborarlo. (Porrero, et al., 2004)

Se acostumbra añadir a la mezcla esos materiales pétreos en dos fracciones diferentes, de acuerdo con su tamaño; una, que se denomina agregado grueso (usualmente piedra picada, canto rodado natural, o canto rodado picado), y la otra agregado fino (arena natural o arena obtenida por trituración). A veces se usan más de las dos fracciones indicadas, con tamaños intermedios. Una característica fundamental de los agregados es el diferente tamaño de todos sus granos, lo cual se conoce como granulometría. En principio, debe haber una secuencia gradual o escalonamiento de tamaños,

desde los granos más gruesos del agregado grueso hasta los más finos de la arena. (Porrero, et al., 2004)

El cemento más frecuentemente usado es el cemento Portland y se obtiene en complejas plantas productoras, a cargo de las cuales debe quedar el control del producto y la garantía de su calidad. (Porrero, et al., 2004)

Además de los agregados (arena y piedra), del cemento y del agua, es cada vez más frecuente añadir a la mezcla ciertos productos químicos que, en muy pequeña cantidad, son capaces de modificar de manera muy importante algunas propiedades del concreto: se les suele llamar aditivos. (Porrero, et al., 2004).

I.3 Agregados

Los agregados, también denominados áridos o inertes, son fragmentos o granos, usualmente pétreos, cuyas finalidades específicas son abaratar la mezcla y dotarla de ciertas características favorables, entre las cuales se destaca la disminución de la retracción plástica. (Porrero, et al., 2004)

Los agregados constituyen la mayor parte de la masa del concreto, ya que alcanzan a representar entre el 70% y 85% de su peso, razón por la cual las propiedades de los inertes resultan tan importantes para la calidad final de la mezcla. (Porrero, et al., 2004)

Las características de los agregados empleados deberán ser aquellas que beneficien el desarrollo de ciertas propiedades en el concreto, entre las cuales destacan la trabajabilidad, las exigencias del contenido de cemento, la adherencia con la pasta y el desarrollo de resistencias mecánicas. (Porrero, et al., 2004).

I.3.1 Orígenes

I.3.1.1 Canto Rodado

El canto rodado tiene su origen en la disgregación de las rocas por la acción del hielo, siendo arrastrados los trozos por los glaciares y las corrientes de agua. Puede ser de río o de mina. Por lo general, suele ser más limpio el primero, siendo los ríos pequeños, de corriente rápida, los que proporcionan el mejor canto rodado. (Moral, 1955).

El canto rodado plano es menos conveniente para el concreto armado que el redondo, debido a que los trozos planos se atascan al verter el concreto y originan huecos, aparte de que, según ensayos realizados, los trozos planos reducen la resistencia del concreto. (Moral, 1955).

El peso aparente del canto rodado suelto es de 1.400 a 1.600 kg/m³, variando mucho según el grado de humedad. (Moral, 1955).

I.3.1.2 Piedra Picada

Lo más frecuente es emplear gravilla y grava fabricadas artificialmente por machaqueo de rocas adecuadas. (Moral, 1955).

Para la fabricación artificial de la gravilla se utilizan machacadoras de mandíbulas iguales a las empleadas en la industria del cemento para la trituración de la caliza, aunque el desgaste de las mandíbulas es mayor al triturar una roca dura como el granito o el basalto. (Moral, 1955).

Las machacadoras de gravilla admiten las piedras de gran tamaño, que reducen al de 10 a 25 mm., pero de este modo no se obtiene una buena gravilla, pues los esfuerzos necesarios para partir los trozos grandes hacen que resulte mucho material astillado, que deberá desecharse pues disminuye la resistencia del concreto. (Moral, 1955).

La forma de los trozos es de gran importancia, influyendo notablemente en la resistencia del concreto. Los trozos planos, laminares y concoideos son perjudiciales. Una gravilla bien fabricada deberá tener la mayor parte de sus trozos en forma de pirámides irregulares y de cubos, conteniendo la menor cantidad posible de trozos planos y astillados. (Moral, 1955).

I.3.1.3 Arena

La arena de uso más frecuente está formada por granos naturales depositados por las aguas. Las llamadas arenas de mina provienen de yacimientos que pueden encontrarse hoy día lejos de cursos de agua, en estratos a mayor o menor profundidad pero que, posiblemente, constituyeron ríos o lagunas en anteriores eras geológicas. Sin embargo, en la mayoría de los casos, las arenas se extraen de lugares próximos a los cursos actuales de agua: meandros y lechos de ríos, lagunas, etc. (Porrero, et al., 2004).

El progresivo agotamiento de las fuentes de obtención de las arenas, o las restricciones ambientalistas para su explotación, tienden a generar escasez del material, por lo cual se ha empezado a obtener arena a partir de la trituración de rocas, usualmente las mismas de las que se obtiene el agregado grueso, aunque sus características no sean idénticas a las de la arena natural. Si la roca de origen es sana y el material obtenido recibe un tratamiento apropiado, la arena de trituración dará origen a concretos de buena calidad. Pero si se explotan yacimientos de poca consistencia, el material fino resultante es un producto pulverulento que, para poder servir como arena, y nunca de gran calidad, va a requerir enérgicos y costosos tratamientos con bajo rendimiento. (Porrero, et al., 2004).

I.3.2 Propiedades de los Agregados

I.3.2.1 Granulometría

Se entiende por granulometría la composición del material en cuanto a la distribución del tamaño de los granos que lo integran. Esta característica decide,

de manera muy importante, la calidad del material para su uso como componente del concreto. (Porrero, et al., 2004)

I.3.2.2 Tamaño Máximo

Se denomina así al tamaño de sus partículas más gruesas, medido como abertura del cedazo de menor tamaño que deje pasar el 95% o más del material. Desde el punto de vista técnico, su relación con las características de la mezcla es decisiva para la calidad y economía de ésta. (Porrero, et al., 2004)

I.3.2.3 Resistencia de los Agregados

La resistencia de los granos de agregado es también decisiva para la resistencia del concreto fabricado con ellos. Dada su alta proporción en la mezcla, no se puede pretender que esta alcance una resistencia más alta que la de los granos pétreos que la integran. (Porrero, et al., 2004).

Los concretos hechos con agregados de baja resistencia tienen poca resistencia al desgaste, lo que puede resultar crítico en pavimentos, túneles de desvío en represas, tuberías a presión, aliviaderos y otros. La resistencia más crítica es la del agregado grueso. Para evaluarla se acude al ensayo de desgaste que produce la máquina conocida como de Los Ángeles. (Porrero, et al., 2004)

I.3.2.4 Forma

Esta característica de los agregados puede influir de manera importante en la calidad del concreto. No hay método de ensayo normativo para cuantificarla en la arena, solo la observación visual con vidrio de aumento. Para los agregados gruesos se hace una estimación de la proporción de partículas

planas y alargadas presentes, mediante la medición directa con un vernier, sobre el conjunto de granos de una muestra representativa del total. (Porrero, et al., 2004).

Las partículas planas o alargadas dan lugar a mezclas ásperas, poco trabajables, que exigen altas dosis de cemento y agua. En estado endurecido, las partículas planas hacen un efecto de cuña cuando la pieza de concreto es solicitada a compresión. (Porrero, et al., 2004)

I.3.2.5 Textura Superficial

Otra característica que algunos estudiosos relacionan directamente con la forma de los granos es su textura superficial. No se dispone de métodos normativos para medirla, sino suele relacionarse con el tipo de roca originaria, pero evidentemente esa relación no es determinante. Por la evaluación visual del agregado se puede estimar su comportamiento en la mezcla, pero para poder cuantificar su efecto hay que recurrir a las mezclas de prueba.

De manera general se consideran los casos extremos siguientes:

a) materiales de trituración, con superficie irregular que brinda buena adherencia.

b) canto rodados naturales, con superficie lisa que favorecen la fluidez y la densificación.

Hoy día es relativamente frecuente el empleo de cantos rodados parcialmente triturados que combinan superficies mixtas, especialmente para producir concretos con resistencias superiores a las habituales.

Algunos laboratorios, para medir indirectamente la angulosidad de los agregados, miden los vacíos que produce el material en su acomodo, sabiendo que las formas redondeadas se ajustan mas fácilmente y producen menos vacíos. (Porrero, et al., 2004)

I.3.2.6 Peso Específico

Peso del volumen absoluto de la materia sólida del agregado sin incluir huecos entre granos. Se usa para establecer la condición de volumen en ciertos métodos de diseño de mezcla.

I.3.2.7 Humedad

Diferencia en peso entre el material húmedo y el mismo secado al horno; se suele expresar como porcentaje en peso, referido al material seco. El agua interna de los granos no pasa al concreto como agua de mezclado; al contrario, cuando los granos se encuentran muy secos, pueden absorber parte del agua de la mezcla. El agua externa de los granos sí pasa a formar parte de la mezcla, alterando sus proporciones. El punto de equilibrio entre el grano seco y el húmedo se conoce como el estado de agregado saturado con superficie seca. Esta condición no suele ser natural, sino que se logra en los laboratorios con un procedimiento que, si bien no exige alta tecnología, no resulta cómodo o fácil. (Porrero, et al., 2004).

La humedad en exceso de este punto de equilibrio hace que, en un peso dado de agregado, haya una cierta porción de material diferente al sólido; esa cantidad de agua se incorporará a la mezcla. Por el contrario, la absorción de agua por diferencia entre el grano seco y el saturado con superficie seca, puede retirar importantes cantidades de agua de la mezcla. Estos aportes o retiros alteran consecuentemente la relación agua/cemento, o valor α. (Porrero, et al., 2004)

I.3.2.8 Absorción

Proceso mediante el cual un líquido penetra y trata de ocupar los vacíos permeables existentes en un sólido poroso.

I.4 Características del Concreto Fresco:

I.4.1 Fluidez o Trabajabilidad

La fluidez describe la calidad del fluido o la viscosidad que indica el grado de movilidad que puede tener la mezcla. En un sentido general, la palabra trabajabilidad también se emplea con el significado de fluidez. Consistencia es la condición de tieso y se puede considerar el antónimo de fluidez. (Porrero, et al., 2004).

En la tecnología del concreto, la palabra trabajabilidad se emplea con dos acepciones distintas. Una, general, con la cual se designa el conjunto de propiedades del concreto que permiten manejarlo sin que se produzca segregación, colocarlo en los moldes y compactarlo adecuadamente. La otra acepción es específica para designar el asentamiento medido por el procedimiento normalizado del Cono de Abrams. (Porrero, et al., 2004)

I.4.2 Compactibilidad

Cuando la mezcla es vibrada se hace más fluida y puede así distribuirse más uniformemente, envolviendo bien las armaduras y ocupando todas las sinuosidades del encofrado. Esta es la propiedad que se conoce como tixotropía: atiesamiento en reposo y fluidificación en movimiento, y es la característica que permite la compactibilidad de la mezcla y su adaptación al molde. (Porrero, et al., 2004)

I.4.3 Estabilidad a la Segregación

Los componentes del concreto son físicamente heterogéneos: líquidos (agua), polvo (cemento y arena), fragmentos de piedra y una pequeña fracción de aire, cuya mezcla tiene la natural tendencia de separarse unos de los otros. La separación del agua de los restantes componentes de la mezcla, cuando queda flotando sobre el material recién colocado, se conoce como exudación o

sangrado, y tiene su propio desarrollo evolutivo. Por otro lado, la tendencia a separase los granos gruesos del mortero, lo que se conoce como segregación, depende de la viscosidad y de la tixotropía, y se relaciona con la cantidad y el tamaño de los granos. (Porrero, et al., 2004)

I.5 Influencia de los Agregados Pétreos en las Propiedades del Concreto Fresco

La absorción es quizás la propiedad del agregado que más influye en la consistencia del concreto, puesto que las partículas absorben agua directamente en la mezcladora, disminuyendo la manejabilidad de la mezcla. Si dos tipos de agregados tienen absorción similar, otros factores secundarios serán de importancia en la consistencia de la mezcla, tales como forma, tamaño y graduación; ya que mientras mayor superficie del agregado sea necesario cubrir con pasta, se tendrá menos fluidez. Una buena consistencia o manejabilidad de la mezcla se obtiene con la combinación de índices bajos de absorción y un coeficiente bueno de forma, en donde las partículas son aproximadamente redondas (Alaejos y Fernández 1996; cp. Chan et al., 2003).

Por otro lado, si el contenido de cemento se incrementa, se afecta la consistencia del concreto; este incremento permite agregar más agua a la mezcla para mantener la relación agua/cemento. Por lo tanto, en algunas ocasiones puede ser necesario aumentar el contenido de cemento en la mezcla, buscando mejores consistencias para mezclas de concreto de resistencias no muy altas. (Chan, 1993; cp. Chan et al., 2003).

La forma de los agregados tiene incidencia sobre la trabajabilidad del concreto fresco. Las formas básicas de éstos se pueden simplificar en 4 tipos, que son: equidimensional o esférica, prismática, tabular o elíptica, e irregular. De todas éstas, la que mayor problema puede ocasionar para la trabajabilidad es aquella de tipo tabular que además esté alargada (conocidas como piezas planas y alargadas); estas piezas pueden provocar disminución en la trabajabilidad ya que muy fácilmente pueden orientarse de manera preferencial

en un solo plano, de manera que el agua y el espacio poroso pueden acumularse debajo de ellas. Además, gravas con esta forma ocasionan mayores requerimientos de arena, y eso hace necesario un incremento en el volumen de agua para la mezcla (Uribe 1991; cp. Chan et al., 2003). Es deseable, entonces, que los agregados, particularmente los gruesos, tengan una forma un tanto angular y cúbica (Chan, 1993; cp. Chan et al., 2003).

Los agregados se pueden clasificar por su forma, en base a su grado de redondez y esfericidad, obteniéndose una medida relativa de carácter comparativo y descriptivo. La manera como esta característica puede influir en el concreto fresco es variable, logrando producir, por ejemplo, a mayor grado de redondeamiento menor relación de vacíos; pero por otra parte un menor valor de este parámetro reduce la capacidad de compactación (Neville, 1999; cp. Chan et al., 2003).

Por otro lado, la granulometría y el tamaño máximo del agregado (TMA) para las gravas, afectan las proporciones relativas de los agregados, así como los requisitos de agua y cemento, la trabajabilidad, la economía y la durabilidad del concreto. Cuando los agregados son muy gruesos, pueden producir mezclas rígidas, mientras que aquellos agregados que no poseen una gran deficiencia o exceso de algún tamaño y tienen una curva granulométrica suave, producirán resultados más satisfactorios en las propiedades del concreto fresco (Kosmatka y Panarese, 1992; cp. Chan et al., 2003).

En el agregado fino hay dos elementos que deben ser considerados: por un lado el módulo de finura (MF), y por el otro la continuidad en los tamaños, ya que algunas arenas pueden tener módulos de finuras aceptables (entre 2.2 y 3.1) y carecer de alguna clase granulométrica. Si consideramos únicamente el módulo de finura, pueden obtenerse dos condiciones desfavorables: una de ellas existe cuando el módulo de finura es mayor a 3.1 (arena gruesa), en donde puede ocurrir que las mezclas sean poco trabajables, faltando cohesión entre sus componentes y requiriendo mayores consumos de cemento para mejorar su trabajabilidad; la otra condición es cuando el módulo de finura es menor a 2.2 (arena fina), en este caso puede ocurrir que los concretos sean pastosos y que

haya mayores consumos de cemento y agua para una resistencia determinada, y también una mayor probabilidad que ocurran agrietamientos de tipo contracción por secado (Uribe, 1991; cp. Chan et al., 2003).

Por último, en el agregado grueso un contenido excesivo de materiales finos puede provocar problemas similares en el concreto a los que suele causar una arena con un módulo de finura menor a 2.2. Por medio de la prueba de pérdida por lavado se puede determinar este contenido, cuyo resultado se expresa como un porcentaje de la muestra. (Chan, et al., 2003).

I.6 Influencia de los Agregados Pétreos en las Propiedades del Concreto Endurecido

Frecuentemente la variación de la resistencia del concreto puede explicarse con el cambio de la relación a/c, no obstante existe evidencia en la literatura que éste no siempre es el caso. Además por consideraciones teóricas, independientemente de la relación a/c, las características de las partículas del agregado tales como el tamaño, la forma, la textura de la superficie y el tipo de mineral, influyen en las características de la zona de transición, y por lo tanto, afectan la resistencia del concreto (Mehta y Monteiro 1998; cp. Chan et al., 2003).

En cuanto a la interrelación mecánica entre la matriz y el agregado grueso, la textura superficial de éste es principalmente responsable de la adherencia. La roca triturada produce una adherencia superior comparada con la grava de canto rodado, aunque en la adherencia también tiene influencia la relación a/c que afecta tanto física como químicamente la zona de interfase. En un trabajo de investigación se encontró que concretos fabricados con agregados triturados resistieron más que los de canto rodado: el esfuerzo de compresión a los 28 días para los concretos hechos con agregados gruesos de grava redonda estuvo entre el 10 y 20 porciento más bajos que los concretos preparados con agregados triturados. Lo anterior puede ser atribuido tanto a la superficie lisa de los agregados de canto rodado, como a su posible menor resistencia, en relación

a los agregados triturados, que fueron de basalto y caliza. (Özturan y Çeçen 1997; cp. Chan et al., 2003).

El efecto del tamaño máximo del agregado en la resistencia también es conocido. La tendencia observada indica que mientras que el TMA disminuye, la resistencia decrece. Este fenómeno se ha observado para gravas de 75.0, 37.5, 19.0 y 9.5 mm (3", 1½", ¾", y 3/8"). En contraste, no sucede lo mismo para el concreto hecho usando un TMA de 4.75 mm. (No. 4). Esto es atribuido al tamaño pequeño del agregado y al factor de que esta mezcla representa, básicamente, mortero o micro concreto (Sleiman 2000; cp. Chan et al., 2003).

Se ha observado que concretos con bajos contenidos de agregados resisten altos esfuerzos a la edad de un día, excepto los hechos con grava triturada. En contraparte, los concretos con altos contenidos de agregados presentan bajas resistencias de compresión a edades tempranas, fallando probablemente por la concentración de esfuerzos alrededor de los agregados, ya que en éstos sus propiedades físicas no varían con el tiempo, mientras que la resistencia y el módulo de elasticidad de la pasta de cemento están todavía por debajo de su valor final (Cetin y Carrasquillo 1998; cp. Chan et al., 2003).

Por otro lado, la capacidad de absorción de un material incide directamente sobre el grado de alteración que este mismo puede sufrir; la cantidad de espacios vacíos (como poros y fisuras) y la permeabilidad son factores que influyen sobre la durabilidad de cualquier estructura de concreto. Un ejemplo típico de esto son los concretos que se encuentran en sitios donde el proceso de congelamiento y deshielo es común, ya que el agua puede expandirse hasta un 9% al congelarse. Este cambio volumétrico puede alterar fuertemente la estructura interna del concreto.

Una propiedad de los agregados que resulta ser de vital importancia es la densidad, ya que si se emplea un material con una buena densidad (>= 2.25) el concreto resultante podría ser mayor o igualmente denso, lo cual tendrá una influencia directa sobre el peso volumétrico y la resistencia a la compresión del mismo. El volumen que ocupa un agregado según su peso es un indicador de las características del mismo en cuanto a ligereza, porosidad y permeabilidad,

propiedades que pueden afectar al concreto en un mayor requerimiento de cemento para una resistencia específica y con esto una influencia directa sobre la economía de la mezcla.

Por otro lado, es conocido que a mayor porosidad mayor fuerza de adhesión, de manera que los agregados gruesos con una mayor densidad y resistencia al desgaste presentan una menor porosidad, y, como consecuencia, menor adherencia y cantidad de finos que pasan por la malla N° 200 (Cerón et al. 1996; cp. Chan et al., 2003).

La presencia de un porcentaje importante de materia orgánica en los agregados puede provocar problemas en la fabricación de concreto, ya que trae consigo efectos como el inhibir la adecuada hidratación del cemento y por lo tanto causar un retraso en el endurecimiento del mismo. Los agregados contaminados pueden ser causa de reducción de la resistencia a la compresión del concreto y además pueden contener sustancias nocivas que afecten químicamente al material de diversas formas (Uribe 1991; cp. Chan et al., 2003).

Aunque de manera simplista pudiera pensarse que el agregado grueso actúa principalmente como un relleno para reducir el contenido de la pasta de cemento y moderar el esfuerzo en la matriz, sus contribuciones parecen ser más que eso. Un porcentaje máximo en volumen de agregados, sobre todo gruesos, tiene un efecto positivo tanto en su resistencia como en sus características de flujo plástico, contracción por secado y permeabilidad, hecho que se presenta debido a que la pasta de cemento endurecido constituye el elemento más débil en lo que se refiere a las propiedades antes citadas (Palbol 1996; cp. Chan et al., 2003).

La demanda de agua de los agregados determina el contenido de cemento y pasta para una determinada resistencia del concreto. Debido a que la pasta es la principal fuente de acortamiento y alargamiento en el concreto, agregados con bajas demandas de agua producirían concretos menos propensos a la deformación (acortamiento y alargamiento). Por esto, los agregados que mejor se acomodan en una mezcla producen concretos con menor inestabilidad volumétrica (Alexander 1996; cp. Chan et al., 2003).

I.7 Propiedades Mecánicas del Concreto

El índice de resistencia más común en el caso del concreto es el obtenido del ensaye de especímenes a la compresión simple. Esto se debe a que este ensaye es relativamente sencillo, ya que mide una característica fundamental del concreto. Otro factor que contribuye en forma importante a su uso continuado es el hecho de que, a través de los años, se ha correlacionado esta propiedad con la resistencia de elementos estructurales de diversos tipos, sujetos a distintas solicitaciones.

El índice mencionado anteriormente evalúa la resistencia del concreto tal como es producido. Comúnmente se considera este índice como indicativo de la resistencia del concreto en la estructura. Sin embargo, esta última puede ser muy diferente de la resistencia de los especímenes de control, ya que depende de los métodos de transporte, colocación y curado, así como el tipo del elemento al que está destinado. Para estimar la resistencia del concreto en una estructura pueden ensayarse especímenes cilíndricos extraídos mediante taladros especiales, o pueden efectuarse ensayes no destructivos.

Idealmente, el índice de resistencia debe ser representativo del fenómeno que se quiere cuantificar. Así, en estructuras de concreto donde el trabajo predominante sea a la compresión, la resistencia de un espécimen sometido a compresión simple será índice satisfactorio. Pero el concreto queda sujeto frecuentemente a otras solicitaciones en las que la compresión no es el fenómeno esencial. Por ejemplo, en el caso de secciones sometidas a fuerza cortante, la característica predominante es la resistencia a la tensión diagonal.

Por esta razón ha surgido recientemente la tendencia a considerar otros índices de resistencia. Así se está tratando de desarrollar un índice de resistencia a la tensión. En pavimentos de concreto se usa un prisma de concreto simple ensayado en flexión, como índice de la resistencia deseable del concreto.

Debe tenerse en cuenta siempre que frecuentemente se da demasiada importancia al valor de la resistencia a la compresión de un especímen de concreto. Si no se posee la debida perspectiva, se puede llegar a pensar erróneamente que la resistencia a la compresión de un especímen de concreto representa la resistencia del concreto en la estructura ante cualquier combinación de solicitaciones. (Gonzales, Robles, Casillas y Diaz, 1977)

I.7.1 Resistencia a la Compresión

No existe una convención aceptada universalmente sobre que tipo de especímen es el mejor para realizar ensayes en compresión. Por lo común se usan especímenes de tres tipos: cilindros, cubos y prismas.

En nuestro medio y en numerosos países del mundo se usan cilindros con una relación de esbeltez igual a dos (2). En estructuras de concreto reforzado, el especímen usual es el cilindro de 15 X 30 cm. En estructuras construidas con concreto en masa, donde se emplean agregados de gran tamaño (10 a 15 cm.), se usan cilindros de 30 X 60 cm. o de 60 X 120 cm. Generalmente, las resistencias se determinan a los 28 días de edad del concreto o a la edad en que el concreto vaya a recibir su carga de servicio.

En muchos países de Europa se usan cubos para obtener un índice de resistencia del concreto a la compresión. Las dimensiones de los cubos varían entre 10 y 30 cm. de lado, según los países. Algunas veces se utilizan también prismas de concreto simple, ensayados con la dirección de la carga paralela al eje longitudinal del prisma.

Tanto cilindros como cubos y prismas tienen ventajas y desventajas, pero la tendencia actual parece inclinarse hacia el uso del cilindro. Para lograr una prueba a la compresión aceptable es necesario que las cabezas de la máquina de ensaye estén totalmente en contacto con las superficies del espécimen en ambos extremos, de manera que la presión ejercida sea lo más uniforme posible. Esto se logra fácilmente si el espécimen es un cubo o un prisma y se ha fabricado en un molde de acero con las caras pulidas y a escuadra. Las caras

del espécimen que están en contacto con las del molde son suficientemente planas para lograr una distribución satisfactoria de compresiones, sin necesidad de ningún artificio adicional. Otra ventaja del uso de cubos y prismas es su facilidad de almacenamiento, problema que llega a ser importante cuando el número de especimenes es muy grande.

Por otra parte los cilindros se fabrican por lo general en moldes de acero apoyados en una placa en su inferior y libres en su parte superior, donde es necesario dar un acabado manualmente. Este queda con frecuencia demasiado rugoso para que pueda apoyarse directamente la cabeza de la máquina de ensaye. Salvo en casos en que se ha tenido mucho cuidado y se ha trabajado el extremo del concreto fresco con una placa de acero, o bien se ha pulido la superficie rugosa, es necesario dar una preparación a los extremos del cilindro para poder asegurar que la presión quede uniformemente distribuída y que la dirección de carga es paralela al eje del cilindro. Esta operación, llamada *cabeceado* y que consiste en aplicar un cierto material, generalmente azufre o pasta de cemento, a los extremos del cilindro para producir una superficie lisa de apoyo, prolonga el tiempo necesario para la preparación del ensaye e introduce una variable adicional en los resultados: el material y la forma del cabeceado.

Debido a la simetría del espécimen con respecto a cualquier plano diametral, si el contacto entre la máquina y el cilindro es adecuado, la distribución de compresiones en la sección transversal de un cilindro es más uniforme que en la sección transversal de un cubo o de un prisma. Además, estos últimos se ensayan con la dirección de la carga perpendicular a la dirección del colado, lo que algunos autores consideran que es poco representativo del trabajo del concreto en columnas en una estructura real.

Otra ventaja importante de los cilindros sobre los cubos es la disminución del efecto de confinamiento y de la restricción al desplazamiento lateral debida a la fricción de los extremos contra la máquina. Por su mayor relación de esbeltez, estos efectos son mucho menores que en los cubos, ya que las secciones medias del cilindro están menos afectadas por las condiciones en los extremos.

Una vez seleccionado el tipo de espécimen es necesario fijar con gran detalle las condiciones de muestreo, fabricación, curado y ensaye. Entre estas últimas tiene particular importancia la velocidad de carga. En nuestro medio, las normas usuales son las de la Dirección General de Normas (México) y las de la American Society for Testing and Materials.

Aun cuando las especificaciones se sigan cuidadosamente y el proceso se realice por operadores experimentados, los resultados que se obtengan no serán uniformes. Siempre existirá dispersión en los datos, como en cualquier proceso de medición. Estas dispersiones pueden ser inherentes al tipo de ensaye, por errores accidentales o porque no hubo uniformidad en el material ensayado.

Las condiciones del curado influyen en forma importante en la resistencia aparente a la compresión de un especímen de control. El proceso de curado está especificado en las normas. Sin embargo, según sea el propósito del índice de resistencia, se pueden aplicar condiciones distintas de curado. En general, son válidos dos criterios. En el primero, empleado para comparar distintos concretos a lo largo del tiempo, por un número determinado de días se especifica un curado de laboratorio en un cuarto húmedo en el que la temperatura y la sequedad se mantienen dentro de ciertos limites. Pero si se quiere tener idea de la resistencia a la compresión del concreto tal y como está expuesto en la estructura, se someten los especímenes al mismo tipo de curado y ambiente al que está expuesta la estructura. (Gonzales et al., 1977).

I.7.2 Modos de Falla

La Figura 1 muestra un cilindro de concreto simple ensayado en compresión axial. En cilindros con relación de lado a diámetro igual a dos, como el que se muestra en la figura, la falla suele presentarse a través de planos inclinados respecto a la dirección de la carga. Esta inclinación es debida principalmente a la restricción que ofrecen las placas de apoyo de la máquina contra movimientos laterales. Si se engrasan los extremos del cilindro para

reducir fricciones o si el espécimen es más esbelto, las grietas que se producen son aproximadamente paralelas a la dirección de aplicación de la carga. Al comprimir un prisma de concreto en estas condiciones se desarrollan grietas en el sentido paralelo al de la compresión, porque el concreto se expande transversalmente. Las grietas se presentan de ordinario en la pasta y muy frecuentemente entre el agregado y la pasta. En algunos casos se llega a fracturar también el agregado. Este microagrietamiento es irreversible y se desarrolla a medida que aumenta la carga, hasta que se produce el colapso. (Gonzales et al., 1977).

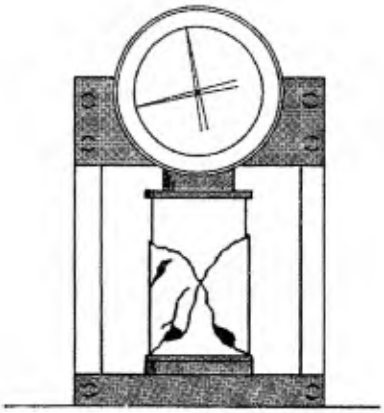


Figura 1. Falla en compresión de un cilindro de concreto

I.7.3 Efecto de la Edad

Debido al proceso continuo de hidratación del cemento, el concreto aumenta su capacidad de carga con la edad. Este proceso de hidratación puede ser más o menos efectivo, según sean las condiciones de intercambio de agua con el ambiente, después del colado. Por lo tanto, el aumento de capacidad de carga del concreto depende de las condiciones de curado a través del tiempo. La Figura 2 muestra curvas esfuerzo-deformación de cilindros de 15X30 cm., fabricados de un mismo concreto y ensayado a distintas edades. Todos los cilindros fueron curados en las mismas condiciones hasta el día de ensaye. Las curvas se obtuvieron aplicando incrementos de deformación constantes. Se determinan así ramas descendentes más extendidas que las

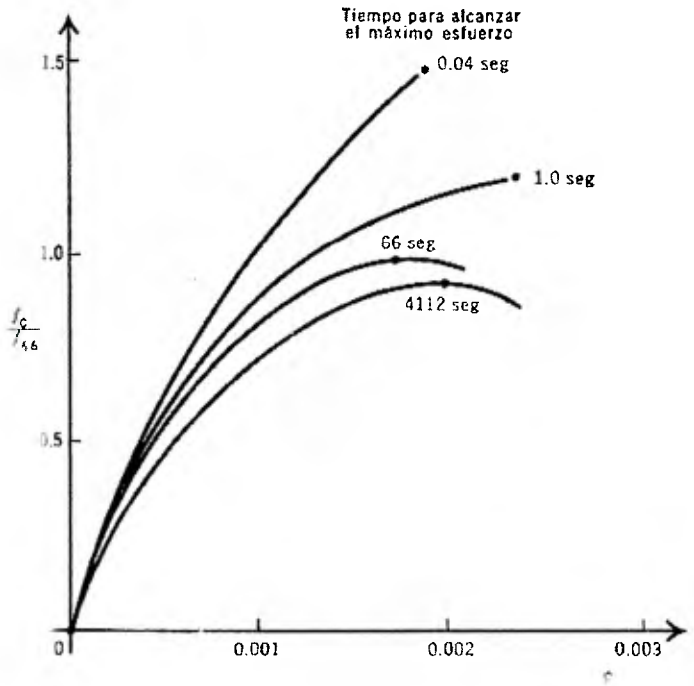


Figura 3. Efecto de la velocidad de carga

Se puede observar que la resistencia de un cilindro en el que la carga máxima se alcanza en centésimas de segundo es aproximadamente cincuenta por ciento mayor que la de uno que alcanzó su carga máxima en sesenta y seis segundos. Por otra parte, para un segundo, en el que la carga máxima se alcanza en sesenta y nueve minutos, la resistencia disminuye aproximadamente en un diez por ciento. (Gonzales et al., 1977).

En ensayes a velocidad de carga constante, las ramas descendentes de las curvas esfuerzo-deformación no son muy extendidas, debido a que las características de las máquinas de ensaye hacen que el colapso ocurra súbitamente, una vez que se alcance la carga máxima. (Gonzales et al., 1977).

En la figura se muestra que las pendientes de las tangentes iniciales a las curvas crecen al aumentar la velocidad. No es posible determinar en todos los casos la rama descendente. Al igual que en otros tipos de ensayes, las

deformaciones correspondientes a las cargas máximas son del orden de 0.002. (Gonzales et al., 1977).

I.7.5 Efecto de la Esbeltez y Tamaño del Espécimen

El efecto de la relación de esbeltez sobre la resistencia a la compresión de un prisma se muestra de manera cualitativa en la Figura 4, en la que arbitrariamente se ha tomado como cien por ciento la resistencia de un espécimen con relación de esbeltez igual a dos. Como medida de la esbeltez se toma la relación entre la longitud, medida en dirección de la carga, y el lado menor de un prisma o el diámetro de un cilindro. (Gonzales et al., 1977).

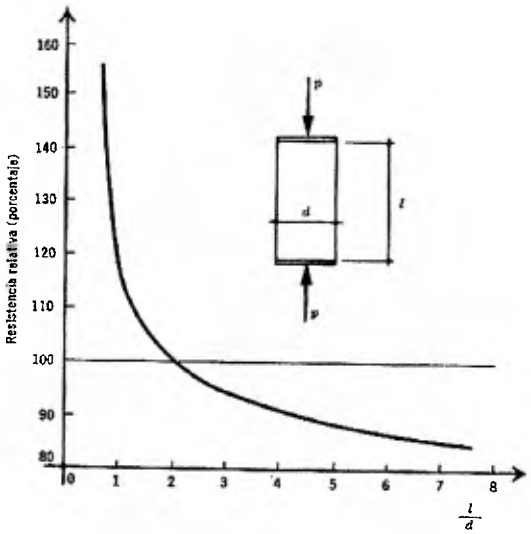


Figura 4. Efecto de la relación de esbeltez

Para esbelteces mayores que dos, la resistencia baja, hasta llegar al ochenta y cinco por ciento, aproximadamente, para esbelteces de seis o más. Por el contrario, para especímenes de esbelteces menores que dos, la resistencia aumenta indefinidamente, y en teoría sería infinita para un especímen de altura nula. (Gonzales et al., 1977).

En especímenes geométricamente semejantes pero de distinto tamaño, la resistencia disminuye, dentro de ciertos límites, mientras mayor sea el especímen. Esto es debido a que en materias frágiles, como el concreto, la probabilidad de que existan zonas de resistencia baja aumenta con el tamaño del especímen. La Figura 5 muestra el efecto del tamaño de un cilindro en su resistencia a la compresión. (Gonzales et al., 1977).

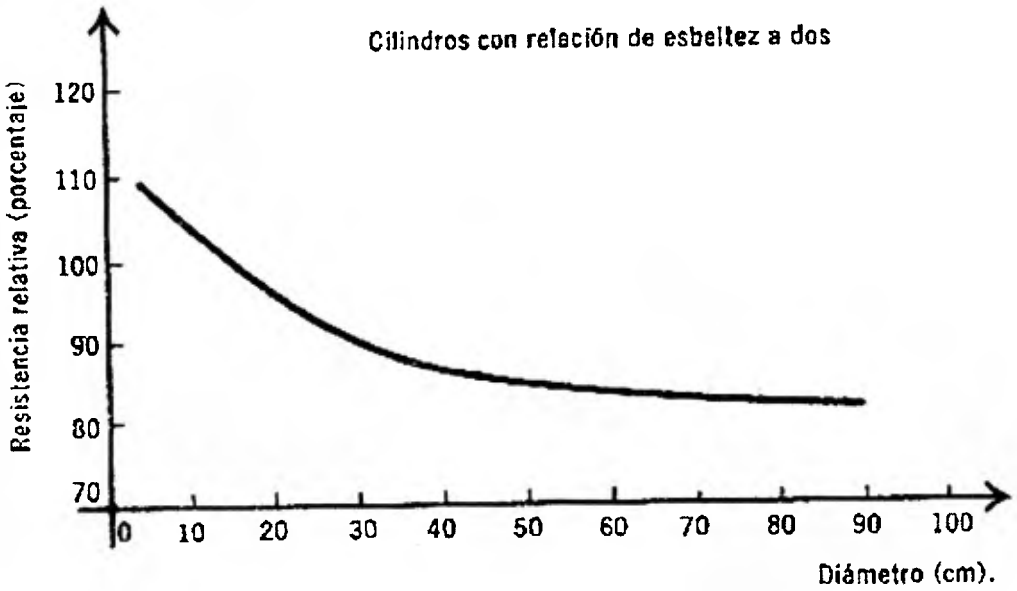


Figura 5. Efecto de tamaño

II. METODO

II.1 Selección de los Agregados

Los agregados utilizados para las mezclas fueron proporcionados por la cantera Puenteareas, la cual extrae material de las márgenes del Río Grande en el sector Araguita por medios mecánicos, directamente de las terrazas aluviales. Esto se realiza por medio de un Cargador Frontal de Cauchos (Payloader)

Figura 6. Extracción por medios mecánicos

Figura 7. Terrazas aluviales

La arena utilizada se obtuvo en su totalidad de esta misma cantera para evitar la influencia de su origen en los resultados finales.

Para los diseños de mezcla se utilizó un agregado grueso de tamaño máximo de ¾" para los dos tipos de piedra utilizadas.

Los agregados gruesos utilizados fueron:

- Canto Rodado Natural (CRN)
- Canto Rodado Triturado (CRT)

Figura 8. Canto rodado natural

Figura 9. Canto rodado triturado

Cabe destacar que la cantera produce agregado grueso compuesto por partículas trituradas y no trituradas de canto rodado, por lo que las muestras se obtuvieron por separado directamente de la línea de producción. El canto rodado natural se extrajo de la tamizadora, y el canto rodado triturado de la trituradora.

Figura 10. Vista general cantera

Todo el material se extrajo el mismo día, se trasladó y se colocó bajo techo en un mismo lugar para que las condiciones de los agregados fueran uniformes.

El cemento fue proporcionado por la empresa CEMEX de su planta de premezclados, ubicada en el sector industrial de Guatire. El cemento fue extraído directamente del silo y almacenado en recipientes plásticos con tapa hermética para evitar la hidratación prematura del mismo.

Figura 11. Planta de premezclado CEMEX Guatire

II.2 Descripción Geológica de los Agregados

Para poder obtener una caracterización general de los tipos de rocas que se extraen en la Cantera Puenteareas se realizó un análisis de la trayectoria que sigue el Río Grande desde su nacimiento hasta el saque. Debido a que el material extraído es canto rodado no se pueden realizar secciones finas que permitan saber a ciencia cierta la composición mineralógica de los distintos tipos de rocas que se obtienen en la cantera.

Conociendo la trayectoria que sigue el río, se pudo extraer del Mapa Geológico Estructural de Venezuela (escala 1:500000, año 1976), las distintas formaciones geológicas que atraviesa el mismo, antes de llegar al sitio de extracción. Las formaciones geológicas más importantes son:

- Formación Las Brisas
- Complejo de la Costa Fase Tacagua
- Formación Paracotos
- Complejo El Tinaco (Complejo Cojedes)

Una vez conocidas estas formaciones se consultó la tercera edición del Léxico Estratigráfico Venezolano para obtener la composición litológica predominante de los agregados. Estas litologías son:

- Roca Basal de Sebastopol
- Cuarzo
- Esquisto Cuarzo-Micáceo
- Esquito Grafito
- Filita

II.3 Análisis de los Agregados

II.3.1 Granulometría

A todos los agregados se les realizó un análisis granulométrico. Este ensayo consiste en colocar una serie de cedazos en cascada (según la norma COVENIN 254 "*Cedazos de ensayos*" y ASTM E11) con el de mayor abertura arriba decreciendo progresivamente hasta disponer el de menor apertura abajo. El proceso de tamizado es mediante la agitación a través de esta serie de cedazos (norma COVENIN 255 "*Agregados. Determinación de la composición granulométrica*" y ASTM C136) y los granos quedan distribuidos según su tamaño en los diferentes cedazos. Posteriormente se determina el peso de material retenido en cada tamiz y finalmente se expresa la granulometría como porcentajes de material pasante.

Los tamices utilizados fueron los siguientes: 1½", 1", 3/4", 1/2", 3/8", #4, #8, #50, #200. Por último se realizaron los gráficos de las curvas granulométricas.

Para la arena se determinó el modulo de finura, el cual es un valor representativo de la finura de la arena y se obtiene sumando los porcentajes retenidos acumulados de los tamices de la serie normativa (de ¾" a #100) y dividiendo la suma entre 100.

II.3.2 Peso por unidad de volumen

El uso principal de las relaciones peso/volumen es para la selección y manejo de los agregados, por lo que se relaciona en cierta forma con su calidad.

II.3.2.1 Peso Unitario

El peso unitario suelto se determina llenando un recipiente de volumen conocido y estable, con el agregado, dejándolo caer libremente desde cierta altura. Después se pesa y se establece la relación peso sobre volumen (norma COVENIN 263 "*Método de ensayo para determinar el peso unitario del agregado*" y ASTM C29).

El peso unitario compacto se determina por un procedimiento parecido al anterior, pero compactando el material dentro del molde (se compacta el material en tres capas golpeando cada capa 25 veces con la varilla normalizada).

II.3.2.2 Peso Específico

El peso específico es el peso del volumen absoluto de la materia sólida del agregado, sin incluir los espacios entre granos. Este peso se obtiene siguiendo la metodología establecida por las normas COVENIN 268, COVENIN 269, ASTM C127 y ASTM C 128.

II.3.3 Desgaste de Los Ángeles

Como la resistencia del agregado gruesa es tan importante para la resistencia del concreto, se evalúa mediante un proceso de desgaste que es efectuado por la conocida máquina de los Ángeles (COVENIN 266, "*Método*

de ensayo para determinar la resistencia al desgaste de agregados gruesos, menores de 38,1 mm (11/2 pulgadas), por medio de la máquina de los Ángeles" y COVENIN 267, "*Método de ensayo para determinar la resistencia de desgaste de agregados gruesos mayores de 19,0 mm., por medio de la máquina de Los Ángeles*", ASTM C131 y C535).

Este ensayo consiste en un tambor grande de acero donde es colocada la muestra a evaluarse junto con esferas de de acero que actúan como agente de desgaste, y se hace girar el tambor a una velocidad y tiempo controlados, luego se tamiza lo restante y se mide granulométricamente el fraccionamiento que sufrieron las partículas del agregado.

II.4 Diseño de Mezcla

Dentro de las diferentes etapas que requiere el concreto para su fabricación, los aspectos relativos al diseño teórico de la mezcla, lo que solemos denominar dosificación, son temas de una gran importancia por su directa influencia en la calidad final del producto. Mediante el diseño teórico de las proporciones en que intervenga cada uno de los componentes, garantizamos el comportamiento de la mezcla en la manera, y con las particularidades que nos puedan interesar a cada caso.

Para nuestro caso decidimos utilizar el método del Instituto Americano del Concreto (American Concrete Institute, ACI) para el diseño teórico de las mezclas a utilizar en los ensayos, debido a su sencillez y a la facilidad que presenta su programación para que los cálculos sean realizados por un computador.

II.4.1 Informaciones Previas

El método del ACI requiere de las siguiente informaciones sobre los materiales:

- Granulometría de agregados finos y gruesos.
- Peso unitario compactado del agregado grueso.
- Pesos específicos y absorciones de los agregados
- Relaciones entre resistencia y relación agua/cemento para combinaciones conocidas de cemento y agregados (puede usarse las estimaciones suministradas por el ACI cuando no se conozca).

II.4.2 Método de Diseño

II.4.2.1 Selección del Asentamiento

Aunque en nuestro caso no es necesario un concreto muy fluido debido a que va a ser colocado y compactado a mano, se seleccionó un rango de asentamiento de 15 a 18 cm por su facilidad de manejo.

II.4.2.2 Selección del Tamaño Máximo del Agregado

Para nuestro diseño de mezcla utilizamos un tamaño máximo del agregado grueso de ¾" debido principalmente a que es el más producido y comercializado por la cantera seleccionada.

II.4.2.3 Estimación del Agua de Mezclado y del Contenido de Aire

La cantidad de agua requerida, por unidad de volumen de concreto, para producir el asentamiento deseado, depende del tamaño máximo y de la cantidad de aire incorporado. Este valor se puede obtener de la tabla 1.

Tabla 1. *Agua de Mezclado según el Tamaño Máximo de los Agregados y el Rango de Asentamientos Elegido*

	Tamaño Máximo del Agregado (mm)					
Asentamiento	10	12.5	20	25	40	50
08-10 cm.	225	215	200	195	175	170
15-18 cm.	240	230	210	205	185	180

II.4.2.4 Selección de la Relación Agua/Cemento

La relación agua/cemento se selecciona tomando como base la resistencia final deseada de la mezcla de concreto. Como se dijo anteriormente es deseable tener relaciones entre la resistencia y la relación agua/cemento para los materiales que se vayan a utilizar. Como en este caso no se posee esas relaciones se utilizan las suministradas por el ACI (valores un poco conservadores). Esas relaciones están suministradas en la tabla 2.

Tabla 2. *Relación Agua Cemento según la Resistencia a la Compresión Deseada*

Resistencia a la Compresión	Relación A/C
150	0.8
200	0.7
250	0.62
300	0.55
350	0.48
400	0.43
450	0.38

II.4.2.5 Cálculo de la Cantidad de Cemento

La cantidad de cemento por unidad de volumen de concreto se obtiene dividiendo la cantidad de agua de mezclado (III.4.2.3) entre la relación agua/cemento (III.4.3.4).

II.4.2.6 Estimación del Contenido del Agregado Grueso

El volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto se selecciona de la tabla 3, tomando en cuenta el tamaño máximo de las partículas del agregado grueso y el modulo de finura de la arena.

El volumen del agregado grueso se convierte en peso seco multiplicándolo por el peso unitario compactado del mismo.

Tabla 3. *Volumen de Agregado Grueso para un Volumen Unitario de Concreto*

Tamaño Máximo del agregado		Volumen de Agregado Grueso /m³ de Concreto para Diferentes Módulos de Finura									
mm	pulg.	2.4	2.6	2.8	3	3.2	3.4	3.6	3.8	4	4.2
10	3/8"	0.5	0.48	0.46	0.44	0.42	0.4	0.38	0.36	0.34	0.32
12.5	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51	0.49	0.47	0.45	0.43	0.41
20	1/4"	0.66	0.64	0.62	0.6	0.58	0.56	0.54	0.52	0.5	0.48
25	1"	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63	0.61	0.59	0.57	0.55	0.53
40	1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.7	0.68	0.66	0.64	0.62	0.6	0.58
50	2	0.78	0.76	0.74	0.72	0.7	0.68	0.66	0.64	0.62	0.6
70	3	0.81	0.79	0.77	0.75	0.73	0.71	0.69	0.67	0.65	0.63
150	6	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79	0.77	0.75	0.73	0.71	0.69

II.4.2.7 Estimación del Contenido de Agregado Fino

Al completar el paso anterior se han estimado todos los ingredientes del concreto, exceptuando el agregado fino, ésta cantidad se determina por diferencia. El ACI proporciona una tabla (tabla 4) donde se establece el peso aproximado del concreto por unidad de volumen dependiendo del tamaño máximo del agregado. Una vez seleccionado este valor se le resta el peso del cemento, el peso del agua y el peso del agregado grueso. La diferencia es el peso de arena requerido.

Tabla 4. *Peso del Concreto Fresco según el Tamaño Máximo del Agregado*

Tamaño Máximo del agregado		Peso del Concreto (sin aire incorporado)
mm	pulg.	
10	3/8"	2285
12.5	1/2"	2315
20	3/4"	2355
25	1"	2375
40	1 1/2"	2420
50	2	2445
70	3	2465
150	6	2505

II.4.2.8 Ajustes Debido a la Humedad del Material

En el peso de los agregados que deben usarse para el concreto debe tomarse en cuenta su humedad. Generalmente los agregados están húmedos y a su peso seco debe agregársele un porcentaje por el agua que contiene, tanto absorbida como superficial. El agua de mezclado también debe reducirse en una cantidad igual a la del agua libre aportada por el agregado (humedad total menos absorción).

II.4.2.9 Valores Finales Obtenidos del Diseño de Mezcla

Tabla 5. *Proporciones Finales Utilizadas en las Mezclas*

Mezcla	Cilindros	Agua	Cemento	CRT	CRN	Arena
250-0P-100N	01-12	7.68	14.42	0	34.6	43.72
250-25P-75N	13-24	7.7	14.42	8.56	25.7	43.99
250-50P-50N	25-36	7.71	14.42	16.9	16.9	44.26
250-75P-25N	37-48	7.73	14.42	25.2	8.39	44.53
250-100P-0N	49-60	7.74	14.42	33.2	0	44.8
350-0P-100N	61-72	7.76	18.63	0	34.6	39.33
350-25P-75N	73-84	7.77	18.63	8.56	25.7	39.6
350-50P-50N	85-96	7.79	18.63	16.9	16.9	39.87
350-75P-25N	97-108	7.8	18.63	25.2	8.39	40.13
350-100P-0N	109-120	7.82	18.63	33.2	0	40.4
400-0P-100N	121-132	7.8	20.8	0	34.6	37.07
400-25P-75N	133-144	7.81	20.8	8.56	25.7	37.34
400-50P-50N	145-156	7.83	20.8	16.9	16.9	37.6
400-75P-25N	157-168	7.84	20.8	25.2	8.39	37.87
400-100P-0N	169-180	7.86	20.8	33.2	0	38.14

Los diseños de mezcla correspondientes a cada proporción de agregado grueso se encuentran detallados en los anexos.

II.5 Equipos Utilizados

II.5.1 Equipo Menor

Comprende todas las herramientas livianas utilizadas para la elaboración y ensayo de las probetas, tales como: cucharones, cintas métricas, espátulas de albañilería, etc.

II.5.2 Cono de Abrams

El molde estará construido de una chapa metálica con un espesor mínimo de 1,5 mm y su forma será la de un tronco de un cono. Los dos círculos de las bases serán paralelos entre si: de 20 cm de diámetro en la base inferior y 10 cm de diámetro en la base superior, formando un ángulo recto con el eje del cono. La altura del molde será de 30 cm. Dicho molde estará provisto de asas y aletas de pie, según se representa en las figuras 10 y 11.

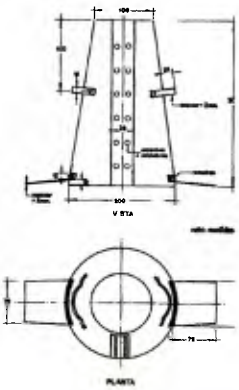


Figura 12. Molde para ensayo de asentamiento

Figura13. Cono de Abrams

II.5.3 Balanza

Para la medición de todas las cantidades de piedra, arena, agua y cemento se utilizó una balanza electrónica marca Mettler Toledo con una precisión de 0,001 Kg.

Figura14. Balanza digital Mettler Toledo

II.5.4 Barra Compactadora

Una barra recta de acero, lisa, de 16 mm (5/8") de diámetro, de aproximadamente 60 centímetros de longitud y punta semiesférica.

II.5.5 Moldes Cilíndricos

Construidos de un material metálico rígido. Están provistos de una base metálica con lo que se consiguió un cierre hermético y de asas laterales para su manejo. Las dimensiones son de 150 ± 2.5 mm de diámetro y de 300 mm de altura (todos los moldes utilizados fueron

adquiridos para este estudio a fin de garantizar que cumplan con todos los estándares).

Figura15. Molde cilíndrico

II.5.6 Mezcladora de Concreto

Mezcladora de eje de inclinación variable, usualmente llamado "trompo". La inclinación es ajustable por medio de un timón que permite la carga y descarga. Capacidad teórica de 105 lts.

Figura16. Mezcladora de concreto

II.5.7 Prensa Hidráulica

Marca: MPCAR – MEF 150

Modelo: CMP 150

Serial: N.I

En la escala: 1500 kN Presenta una **incertidumbre** Máxima asociada a la calibración para k=2 de ± **0,09**

Fecha última de calibración: 30-06-2006.

Control de ajuste de velocidad de aplicación de carga y pantalla digital con apreciación de 1 kg.

Figura17 . Prensa Hidráulica

Figura18. . Control de ajuste de velocidad de aplicación de carga y pantalla digital

II.6 Preparación y Mezclado

II.6.1 Almacenamiento de los Componentes de la Mezcla

II.6.1.1 Almacenamiento de los Agregados

Debido a la falta de espacio físico dentro de las instalaciones del laboratorio, fue necesario almacenar los agregados fuera del mismo, tomándose la previsión de ser almacenados en sacos y bajo techo para minimizar la posibilidad de variación del contenido de humedad presente en sus condiciones normales.

Adicionalmente se realizaron procedimientos de control para garantizar que las humedades no presentaran variaciones significativas.

II.6.1.2 Almacenamiento del Cemento

El cemento se colocó en recipientes plásticos con tapa hermética para evitar la hidratación prematura del mismo.

Figura 19. Recipiente para almacenar cemento

II.6.2 Dosificación y Mezclado

La dosificación se realizó por peso de los agregados, cemento y agua en las proporciones correspondientes a los diferentes diseños de mezcla a preparar. Cabe señalar que el agua se dosificó de acuerdo a su volumen midiéndola en un cilindro graduado de 2000 ml con apreciación de 20 ml. Se tomó como equivalencia la densidad del agua como 1gr/cm³.

Figura 20. Dosificación de los agregados

Figura 21. Estación de dosificación

Para mezclar el concreto primeramente se añadió a la mezcladora el agregado grueso, la arena y el cemento. Se mezcló por periodo de un minuto hasta obtener una masa homogénea.

Posteriormente se dejó reposar por un minuto, se le agregó el agua y se mezcló nuevamente por un periodo de 3 minutos.

La descarga se realizó en una lona plástica, transportando el concreto desde la mezcladora, hasta el lugar donde se realizaron los cilindros, con las conchas previamente limpias y engrasadas.

Figura 22. Conchas cilíndricas limpias y engrasadas

II.6.3 Control de Asentamiento y Trabajabilidad

El siguiente paso fué la medición del asentamiento con el Cono de Abrams. El asentamiento se midió inmediatamente después de alzar el molde y se determinó por la diferencia entre la altura del molde y la altura de la base superior del cono deformado.

Figura 23. Control de asentamiento y trabajabilidad

II.6.4 Elaboración de la Probeta

La elaboración de las probetas se realizó justo después del control de los asentamientos y la trabajabilidad, en una zona libre de vibraciones.

El procedimiento se realizó de la siguiente forma: Se llenó el molde con concreto fresco hasta una altura aproximada de un tercio de la altura total del cilindro, compactando a continuación enérgicamente con la barra compactadota mediante 25 golpes uniformemente repartidos, abarcando toda la sección. Este proceso se repite en dos capas mas, hasta lograr el llenado completo del molde. En la última capa se colocó material de exceso para que pueda compactarse bien y enrasarse con el tope del borde superior del molde sin necesidad de añadir mas material.

Figura 24. Elaboración de la probeta

II.6.5 Curado de las Probetas

Durante las primeras 24 horas que siguieron a la elaboración de las probetas, éstas se mantuvieron dentro del molde cubiertas por trapos húmedos y no fueron cambiadas de lugar.

Cumplidas las 24 horas se procedió a desencofrar los cilindros retirándolos cuidadosamente de los moldes, identificándolas con su número de muestra y fecha de elaboración, y transportándolos directamente a las piscinas de curado. Éstas piscinas están ubicadas en un ambiente

controlado sin perturbaciones y bajo sombra. Los cilindros se dejaron 28 días en este ambiente de curado.

Figura 25. Piscina de curado

II.7 Ensayo de las probetas

A los 28 días se extrajeron las probetas de la piscina y se dejaron a la intemperie por 1 hora hasta que se secaran. Posteriormente se pesaron y se midieron sus dimensiones (diámetro y altura).

Figura 26. Probetas secando al sol

Las caras de la probeta fueron rematadas con una capa de azufre ("caping") con la finalidad de garantizar que fueran completamente planas y perpendiculares al eje de aplicación de la carga. Una vez colocadas estas capas se dejó enfriar por un lapso de 2 horas.

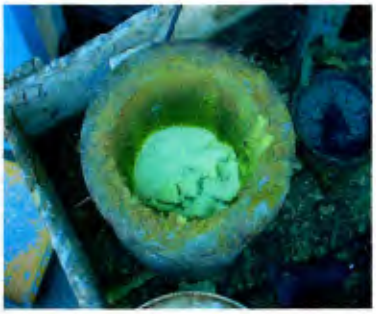


Figura 27. Olla de azufre

Figura 28. Cilindro en el refrentador

Figura 29. Cilindros durante el enfriado del caping

Posteriormente se colocaron las probetas una a una en la prensa hidráulica y se ensayaron a compresión axial. La velocidad de carga se ajusto a 3±1 kg/cm²/seg. (aproximadamente 550 kg/seg.). Las probetas se ensayaron hasta lograr su franca rotura.

Figura 30. Cilindro después de ser ensayado

ANALISIS DE LOS DATOS

III.1 Ensayos Previos

III.1.1 Peso Unitario

De los ensayos de peso unitario, que se realizaron a los agregados gruesos, se pudo obtener los resultados que se observan en la tabla 6.

Tabla 6. *Pesos Unitarios Agregados Gruesos*

Peso Tara	6493.3			
Volumen	3056.51			
Material	Muestra	Peso R + M	Peso M	P.U
CRN Suelto	M1	10739.3	4246.00	1389.166
	M2	10759.3	4266.00	1395.709
	M3	10793.3	4300.00	1406.833
CRT Suelto	M1	10695.3	4202.00	1374.771
	M2	10665.3	4172.00	1364.955
	M3	10655.3	4162.00	1361.684
CRN Comp.	M1	11404.9	4911.60	1606.931
	M2	11530.6	5037.30	1648.056
	M3	11481.0	4987.70	1631.828
CRT Comp.	M1	11319.8	4826.50	1579.089
	M2	11356.8	4863.50	1591.194
	M3	11383.1	4889.80	1599.798

A los valores de peso unitario obtenidos les fue aplicado un criterio de aceptación que consiste en eliminar aquellos valores que superen en ± 25 kg/m³ el promedio de los demás valores. El único valor que no cumple con éste criterio es el perteneciente a la muestra M1 de canto rodado natural compactado, por lo que fue descartado. Los resultados finales se expresan en la tabla 7.

Tabla 7. Resultados Finales *Pesos Unitarios Agregados Gruesos*					
Peso Tara		6493.3			
Volumen		3056.51			
Muestra		Peso R + M	Peso M	P.U	Promedio
CRN Suelto	M1	10739.3	4246.00	1389.166	1397.236
	M2	10759.3	4266.00	1395.709	
	M3	10793.3	4300.00	1406.833	
CRT Suelto	M1	10695.3	4202.00	1374.771	1367.137
	M2	10665.3	4172.00	1364.955	
	M3	10655.3	4162.00	1361.684	
CRN Comp.	M1				
	M2	11530.6	5037.30	1648.056	1639.942
	M3	11481.0	4987.70	1631.828	
CRT Comp.	M1	11319.8	4826.50	1579.089	1590.027
	M2	11356.8	4863.50	1591.194	
	M3	11383.1	4889.80	1599.798	

III.1.2. Peso Específico

Los promedios de los pesos específicos obtenidos de los ensayos son de 2685 kg/m³ para el canto rodado triturado, 2654 kg/m³ para el canto rodado natural y de 2681 kg/m³ para la arena. En este caso no fue necesario descartar valores ya que los todos son muy similares.

III.1.3 Absorción

Los promedios de las absorciones obtenidas de los ensayos son de 1.26 % para el canto rodado triturado, 1.46 % para el canto rodado natural y de 1.84% para la arena. En este caso no fue necesario descartar valores ya que los todos son muy similares.

III.1.4 Desgaste de Los Ángeles

Los resultados de los ensayos de resistencia de los agregados, por medio de la máquina de Los Ángeles, son de 23.64 % para la arena, 24.90 % para el canto rodado triturado y de 31.32 % para el canto rodado natural.

III.1.5 Granulometrías

Las planillas con los valores obtenidos de las granulometrías realizadas, junto con sus respectivas curvas granulométricas se encuentran detalladas en los anexos.

III.2 Ensayos de Cilindros a Compresión

III.2.1 Ensayos a los 7 Días

Los resultados de los ensayos a los 7 días fueron analizados de la siguiente manera:

- Se calculó el promedio de las resistencias por cada diseño de mezcla realizado
- Se calculó la desviación estándar para cada uno de los promedios
- Se graficaron los resultados para facilitar la comprensión de los mismos.

En las tablas 8, 9 y 10 se pueden observar los resultados de las resistencias obtenidas, los promedios de las mismas y sus respectivas desviaciones.

Tabla 8. *Resultados Ensayos a 7 Días. Resistencia Teórica 250 kg/cm²*

Muestra	Altura	Peso (gr)	Resistencia (kg)	Resistencia (kg/cm²)	Promedio	σ Promedio	% Componentes	Resistencia Teórica
1	30.0	12270	43920	249	229	18	0T-100N	250
2	30.2	12350	43230	245				
7	30.0	12468	36190	205				
8	30.0	12430	38720	219				
13	30.0	12386	34290	194	234	24	25T-75N	
14	30.2	12372	41990	238				
19	30.3	12482	44200	250				
20	30.1	12560	44790	253				
25	30.2	12512	34950	198	234	35	50T-50N	
26	29.9	12328	35290	200				
31	30.0	12462	48000	272				
32	30.0	12546	47230	267				
37	30.2	12350	26660	151	212	49	75T-25N	
38	30.0	12250	31340	177				
43	30.1	12476	46320	262				
44	30.0	12436	45560	258				
49	30.0	12302	41570	235	235	9	100T-0N	
50	30.0	12372	40590	230				
55	30.2	12364	44050	249				
56	30.1	12488	39800	225				

Tabla 9. *Resultados Ensayos a 7 Días. Resistencia Teórica 350 kg/cm²*

Muestra	Altura	Peso (gr)	Resistencia (kg)	Resistencia (kg/cm²)	Promedio	σ Promedio	% Componentes	Resistencia Teórica
61	30.0	12412	53180	301	304	3	0T-100N	350
62	30.0	12418	53930	305				
67	30.0	12606	54410	308				
68	30.3	12548	53240	301				
73	30.0	12382	56070	317	319	15	25T-75N	
74	30.0	12400	52570	297				
79	30.0	12414	57050	323				
80	30.1	12508	59990	339				
85	30.0	12484	54580	309	319	10	50T-50N	
86	30.2	12560	57800	327				
91	30.0	12558	58220	329				
92	30.0	12646	54590	309				
97	30.3	12410	47520	269	303	28	75T-25N	
98	30.2	12498	49890	282				
103	30.1	12592	58620	332				
104	30.0	12544	58240	330				
109	30.3	12666	63930	362	331	28	100T-0N	
110	30.0	12540	60520	342				
115	30	12586	58850	333				
116	30	12543	50350	285				

Tabla 10. *Resultados Ensayos a 7 Días. Resistencia Teórica 400 kg/cm²*

Muestra	Altura	Peso (gr)	Resistencia (kg)	Resistencia (kg/cm²)	Promedio	σ Promedio	% Componentes	Resistencia Teórica
121	30.0	12512	58900	333	325	9	0T-100N	400
122	30.1	12576	57590	326				
127	30.2	12512	58480	331				
128	30	12416	54650	309				
133	30.0	12442	63550	360	350	12	25T-75N	
134	30.0	12436	63430	359				
139	30	12462	58340	330				
140	30	12456	62280	352				
145	30.0	12390	61200	346	343	18	50T-50N	
151	30	12438	60220	341				
152	30	12470	60390	342				
157	30.0	12604	64850	367	363	3	75T-25N	
158	30.0	12450	64290	364				
163	30	12630	63440	359				
164	30	12636	63900	362				
169	30.0	12502	63270	358	359	4	100T-0N	
170	30.0	12600	62520	354				
174	30	12474	64520	365				
176	30	12662	63150	357				

T: triturado N: natural

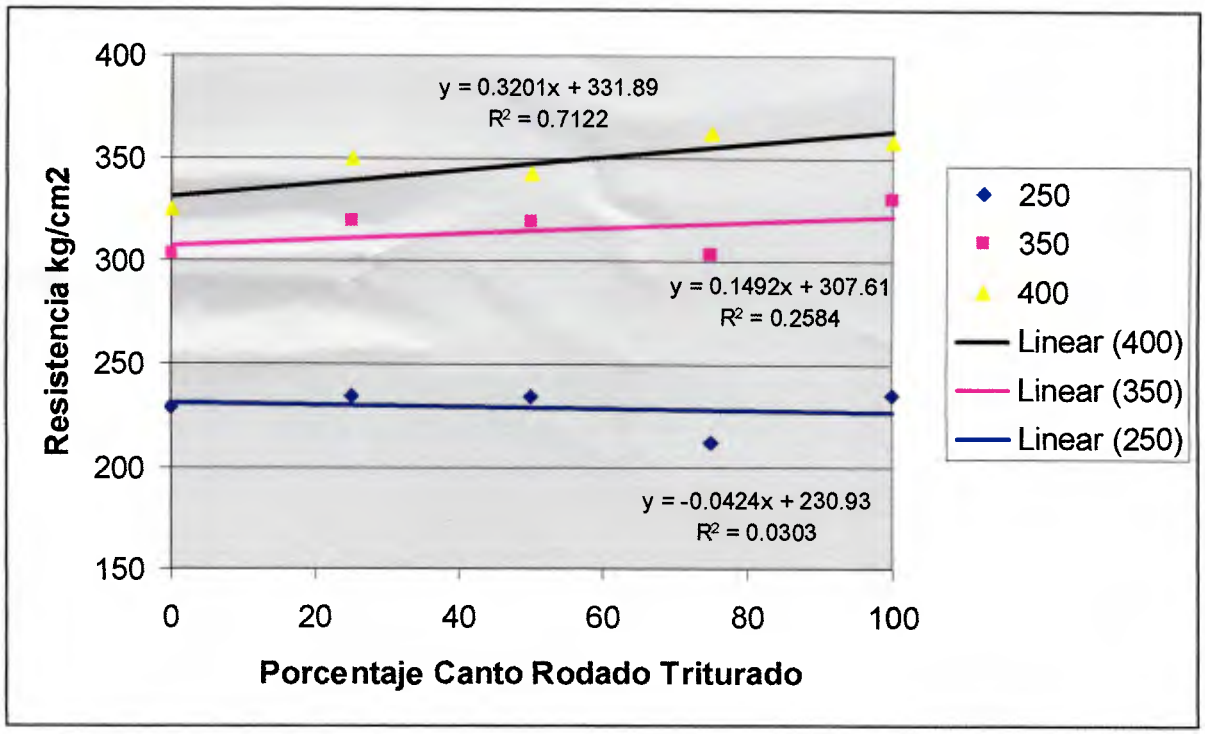


Figura 31. Resistencias vs. porcentaje de canto rodado triturado

III.2.2 Ensayos a los 28 Días

Los valores de las resistencias obtenidas, al ensayar los cilindros a los 28 días, están representados en las tablas 11, 12 y 13.

Tabla 11. *Resistencia de Cilindros Ensayados a Compresión a los 28 Días*

Muestra	Altura	Peso (gr)	Resistencia (kg)	Resistencia (kg/cm²)	% Componentes	Resistencia Teórica
3	30	12408	53180	301	0T-100N	
4	30	12474	56580	320		
5	29.9	12452	51960	294		
6	30.0	12332	55120	312		
9	30.2	12652	49090	278		
10	30.0	12532	44150	250		
11	30.2	12434	48100	272		
12	30.3	12506	49650	281		
15	30.0	12414	51560	292	25T-75N	
16	30.0	12478	49350	279		
17	30.0	12346	51930	294		
18	30.0	12426	49460	280		
21	30.2	12496	56020	317		
22	30.2	12560	56370	319		
23	30.1	12552	55250	313		
24	30.0	12448	56930	322		
27	30.0	12544	49750	282	50T-50N	250
28	29.9	12494	51650	292		
29	10.1	12382	50130	284		
30	30.0	12278	50000	283		
33	30.0	12486	58330	330		
34	30.2	12402	57100	323		
35	30.2	12400	58770	333		
36	30.1	12434	58000	328		
39	30.0	12384	48280	273	75T-25N	
40	30.0	12318	48050	272		
41	30.1	12290	47740	270		
42	30.2	12452	47730	270		
45	30.0	12428	61850	350		
46	30.0	12412	61320	347		
47	30.1	12300	59600	337		
48	30.0	12280	61320	347		
51	30.0	12484	55470	314	100T-0N	
52	30.0	12414	55280	313		
53	30.2	12592	58400	330		
54	30.0	12394	57140	323		
57	30.0	12448	53520	303		
58	30.0	12436	52950	300		
59	30.0	12354	50120	284		
60	30.1	12270	50690	287		

Tabla 12. *Resistencia de Cilindros Ensayados a Compresión a los 28 Días*

Muestra	Altura	Peso (gr)	Resistencia (kg)	Resistencia (kg/cm²)	% Componentes	Resistencia Teórica
63	30.0	12574	73340	415	0T-100N	350
64	30.2	12684	69420	393		
65	30.1	12668	70660	400		
66	30.0	12688	70130	397		
69	30.3	12644	67410	381		
70	30.2	12476	63880	361		
71	30.3	12568	65890	373		
72	30.1	12398	66590	377		
75	30.0	12464	64300	364	25T-75N	
76	30.1	12390	63190	358		
77	30.0	12376	67410	381		
78	30.0	12608	62520	354		
81	30.2	12346	65280	369		
82	30.4	12658	69920	396		
83	30.0	12440	71310	404		
84	30.0	12552	68130	386		
87	30.2	12568	69670	394	50T-50N	
88	30.0	12602	67690	383		
89	30.0	12550	66570	377		
90	30.0	12348	70050	396		
93	30.4	12626	66290	375		
94	30.0	12474	67690	383		
95	30.0	12474	64050	362		
96	30.1	12384	65960	373		
99	30.1	12592	69000	390	75T-25N	
100	30.1	12494	67180	380		
101	30.2	12684	68990	390		
102	30.1	12590	67910	384		
105	30.0	12440	70050	396		
106	30.0	12450	72390	410		
107	30.2	12688	68970	390		
108	30.0	12482	71710	406		
111	30.1	12702	79360	449	100T-0N	
112	30.1	12594	80870	458		
113	30.3	12580	68370	387		
114	30.2	12686	73990	419		
117	30.0	12516	67040	379		
118	30.0	12670	67290	381		
119	30.0	12594	66370	376		
120	30.0	12482	67900	384		

Tabla 13. *Resistencia de Cilindros Ensayados a Compresión a los 28 Días*

Muestra	Altura	Peso (gr)	Resistencia (Kg)	Resistencia (Kg/cm²)	% Componentes	Resistencia Teórica
123	30.0	12572	70580	399	0T-100N	400
124	30.2	12496	69040	391		
125	30.0	12520	69540	394		
126	30.2	12520	69690	394		
129	30.0	12600	65240	369		
130	30.0	12506	62480	354		
131	30.2	12612	62460	353		
132	30.2	12728	65520	371		
135	30.0	12564	75020	425	25T-75N	
136	30.0	12458	74170	420		
137	30.0	12484	73550	416		
138	30.0	12494	72230	409		
141	30.2	12458	74980	424		
142	30.3	12590	64130	363		
143	30.4	12670	70840	401		
144	30.1	12494	68480	388		
147	30.0	12418	68870	390	50T-50N	
148	39.0	12564	69310	392		
149	30.0	12652	70900	401		
153	30.1	12374	72510	410		
154	30.1	12466	70290	398		
155	30.0	12528	71260	403		
156	30.0	12296	71970	407		
159	30.2	12578	76450	433	75T-25N	
160	30.0	12402	77860	441		
161	30.0	12556	75930	430		
162	30.2	12616	76320	432		
165	30.0	12580	75650	428		
166	30.0	12626	77830	440		
167	30.2	12570	75650	428		
168	30.0	12608	75050	425		
171	30.0	12520	74510	422	100T-0N	
172	30.0	12556	73920	418		
173	30.0	12614	76029	430		
174	30.2	12700	75870	429		
177	30.0	12596	76470	433		
178	30.4	12658	77380	438		
179	30.0	12526	74310	421		
180	30.4	12596	77030	436		

A estos valores obtenidos se les aplicó un criterio de aceptación que consiste en descartar aquellos valores que estén a ± 15kg/cm² del promedio de los demás resultados de su misma muestra. Basándonos en éste criterio se descartaron los resultados de los cilindros 10, 77, 81, 113, 114, 141 y 142. Esto representa menos del 6% de la muestra total ensayada a los 28 días.

Posteriormente se calculó la desviación estándar de los promedios de resistencias de cada mezcla y de cada diseño, las cuales se encuentran representadas en las tablas 14, 15, 16 y 17.

Tabla 14. *Desviación Estándar y Promedio por Mezcla*

Muestra	Resistencia (Kg/cm²)	Promedio Mezcla	σ Mezcla	% Componentes	Resistencia Teórica
3	301				
4	320				
5	294				
6	312	307*1	10	0T-100N	
9	278				
10	no cumple				
11	272				
12	281	277	4		
15	292				
16	279				
17	294				
18	280	286	7	25T-75N	
21	317				
22	319				
23	313				
24	322	318	3		
27	282				
28	292				
29	284				
30	283	285	4	50T-50N	250
33	330				
34	323				
35	333				
36	328	328	3		
39	273				
40	272				
41	270				
42	270	271	1	75T-25N	
45	350				
46	347				
47	337				
48	347	345	5		
51	314				
52	313				
53	330				
54	323	320	7	100T-0N	
57	303				
58	300				
59	284				
60	287	293	8		

*1 Este valor no será utilizado a efectos de los cálculos ni de lo análisis, debido a que consideramos que ese mezcla presentó problemas durante su preparación, y por lo tanto las resistencias obtenidas no son confiables.

Tabla 15. *Desviación Estándar y Promedio por Mezcla*

Muestra	Resistencia (Kg/cm²)	Promedio Mezcla	σ Mezcla	% Componentes	Resistencia Teórica
63	415				
64	393				
65	400				
66	397	401	8	0T-100N	
69	381				
70	361				
71	373				
72	377	373	7		
75	364				
76	358				
77	no cumple				
78	354	358	4	25T-75N	
81	no cumple				
82	396				
83	404				
84	386	395	7		
87	394				
88	383				
89	377				
90	396	388	8	50T-50N	350
93	375				
94	383				
95	362				
96	373	373	7		
99	390				
100	380				
101	390				
102	384	386	4	75T-25N	
105	396				
106	410				
107	390				
108	406	401	8		
111	449				
112	458				
113	no cumple				
114	no cumple	453	4	100T-0N	
117	379				
118	381				
119	376				
120	384	380	3		

Tabla 16. *Desviación Estándar y Promedio por Mezcla*

Muestra	Resistencia (Kg/cm²)	Promedio Mezcla	σ Mezcla	% Componentes	Resistencia Teórica
123	399				
124	391				
125	394				
126	394	394	3	0T-100N	
129	369				
130	354				
131	353				
132	371	362	8		
135	425				
136	420				
137	416				
138	409	417	6	25T-75N	
141	no cumple				
142	no cumple				
143	401				
144	388	394	7		
147	390				
148	392				
149	401	394	5		
153	410			50T-50N	400
154	398				
155	403				
156	407	405	5		
159	433				
160	441				
161	430				
162	432	434	4	75T-25N	
165	428				
166	440				
167	428				
168	425	430	6		
171	422				
172	418				
173	430				
174	429	425	5	100T-0N	
177	433				
178	438				
179	421				
180	436	432	7		

Tabla 17. *Promedio por Diseño y Desviación Estándar*

Resistencia Teórica	% Componentes	Promedio Resistencias	Desviación Estándar
250	0T-100N	277	17
	25T-75N	302	17
	50T-50N	307	22
	75T-25N	308	37
	100P-0N	307	16
350	0T-100N	387	16
	25T-75N	377	19
	50T-50N	381	10
	75T-25N	393	9
	100T-0N	404	35
400	0T-100N	378	18
	25T-75N	410	12
	50T-50N	400	7
	75T-25N	432	5
	100T-0N	428	7

Una vez analizados los resultados de los cilindros ensayados a compresión se procedió a graficarlos para tener una mejor comprensión de los mismos. Debido a que las mezclas se realizaron y repitieron en 2 semanas distintas, los resultados se presentan por semana.

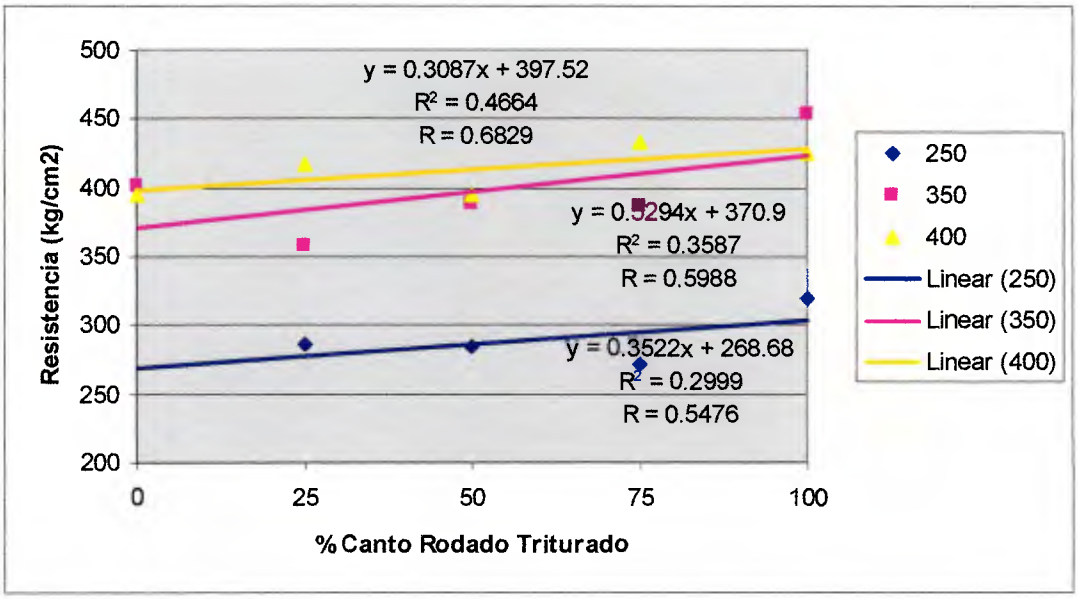


Figura 32. Resistencias vs. % canto rodado triturado, primera semana

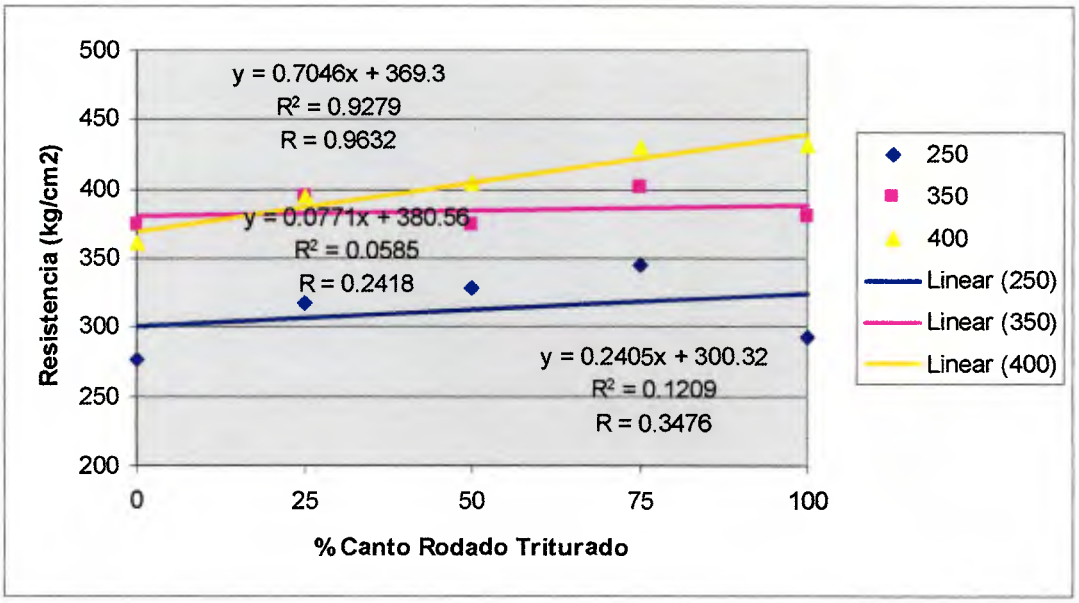


Figura 33. Resistencias vs. % canto rodado triturado, segunda semana

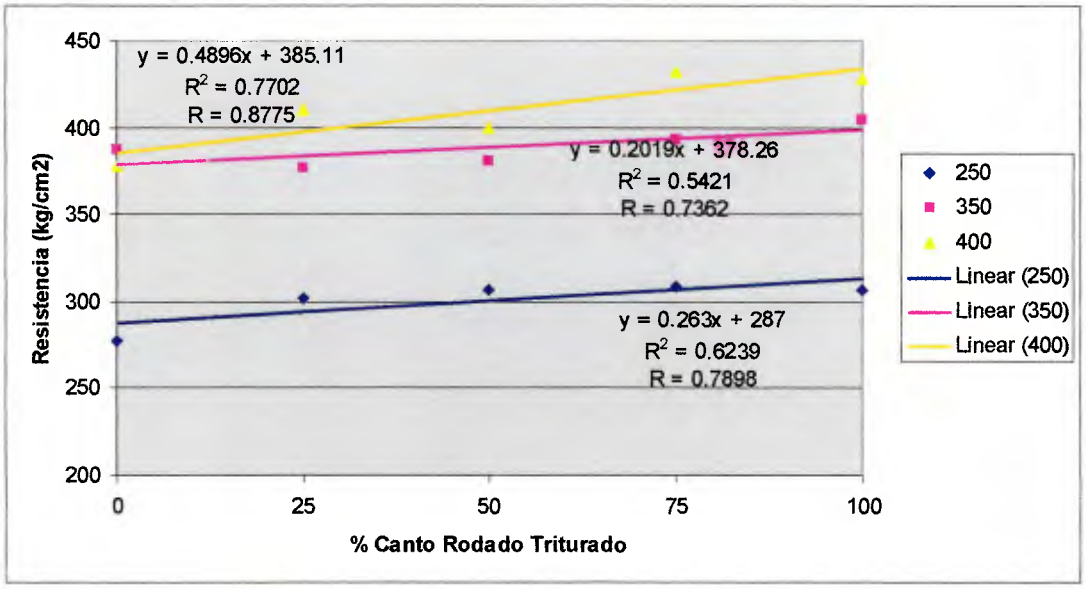


Figura 34. Resistencias vs. % canto rodado triturado, promedio de ambas semanas

III.2.2.1. Comparación Resultados Semana 1 y Semana 2

Las mezclas de concreto fueron realizadas en un periodo de 2 semanas. La primera semana se realizaron todos los diseños de mezcla y la segunda semana se repitieron los mismos. Debido a que en este periodo de tiempo pudieron cambiar algunas de las condiciones de trabajo (principalmente temperatura ambiental y humedad de los agregados), los resultados obtenidos de los ensayos presentan ligeras variaciones en cuanto a las resistencias. En las figuras 35, 36 y 37, se presentan de modo comparativo, las graficas de ambas semanas superpuestas, de forma que se pueda observar mejor estas variaciones.

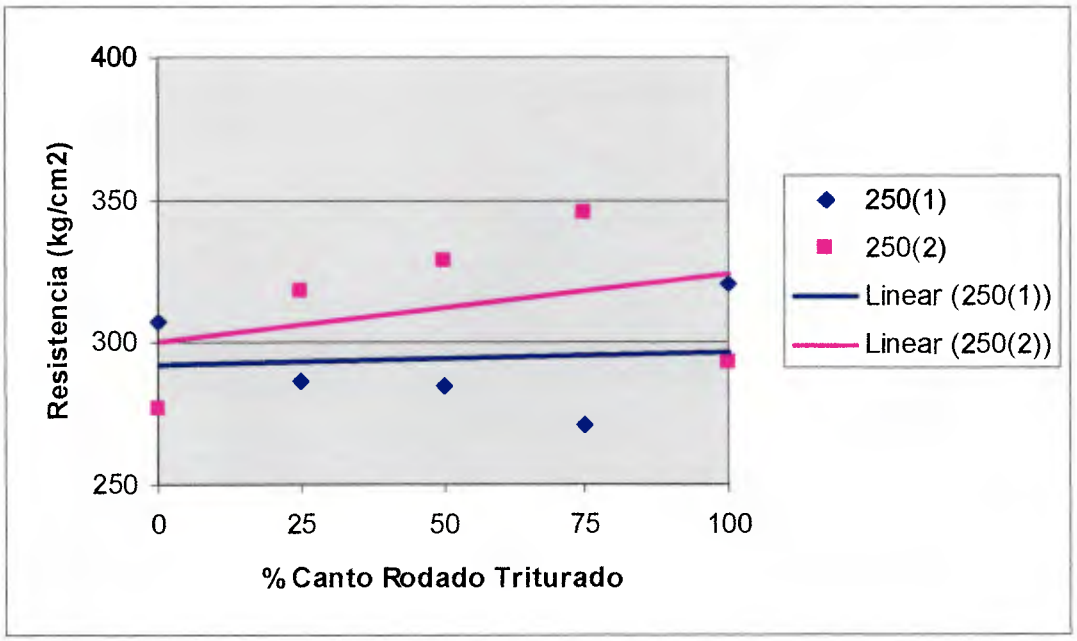


Figura 35. Resistencias vs. % canto rodado triturado, semana 1 y semana 2, resistencia teórica 250 kg/cm².

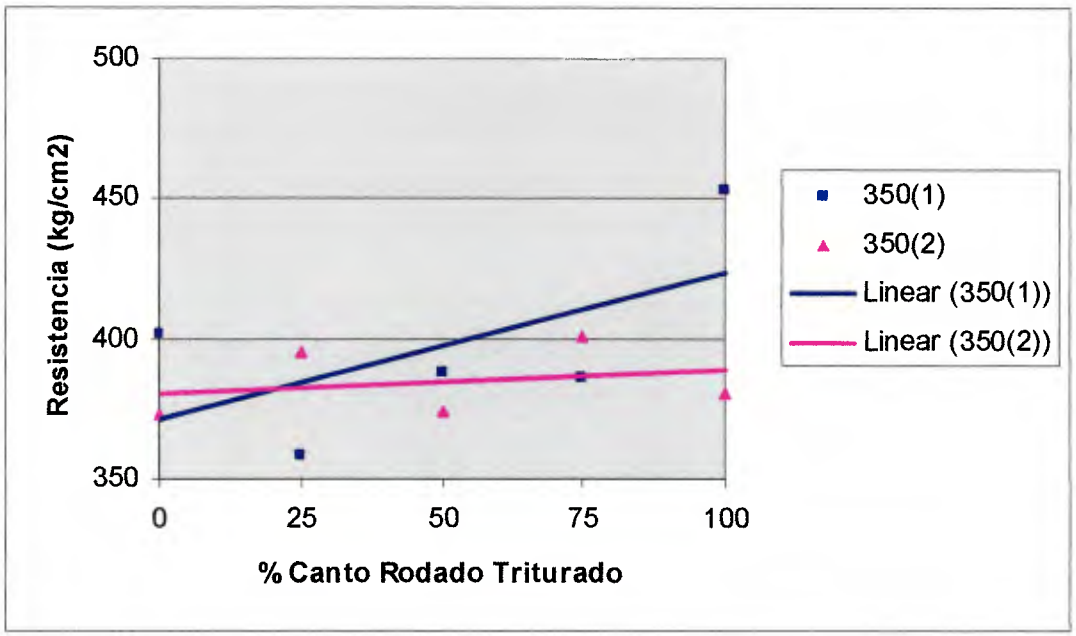


Figura 36. Resistencias vs. % canto rodado triturado, semana 1 y semana 2, resistencia teórica 350 kg/cm².

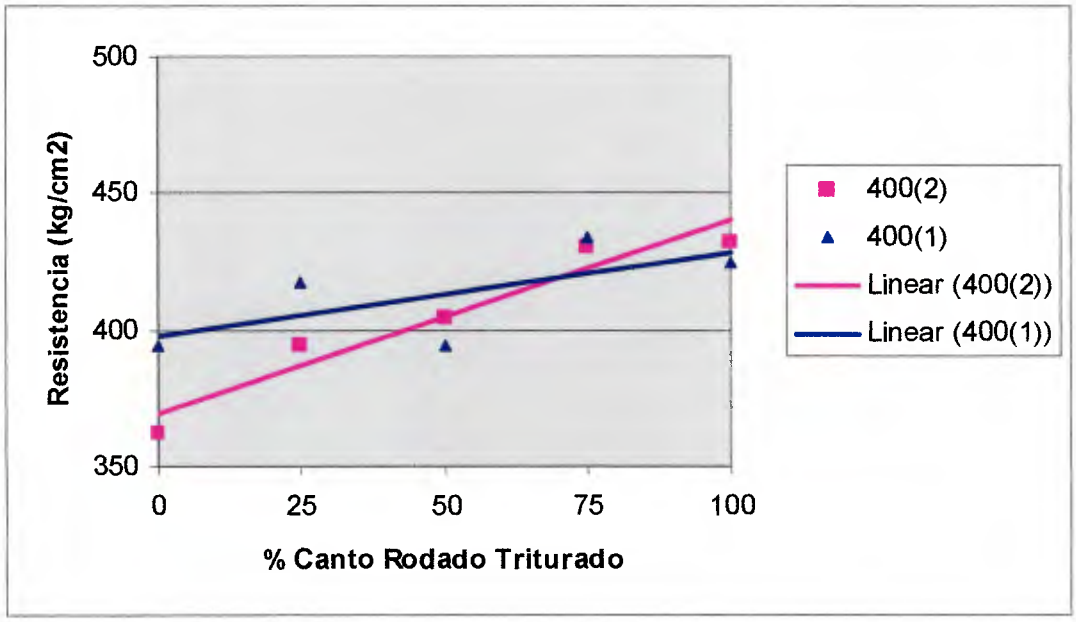


Figura 37. Resistencias vs. % canto rodado triturado, semana 1 y semana 2, resistencia teórica 400 kg/cm².

III.3. Control de Asentamientos y Trabajabilidad

Los resultados de los asentamientos, medidos mediante el ensayo del cono de Abrams, a las mezclas de concreto fresco, se encuentran reflejados en la tabla 18.

Tabla 18. *Asentamientos Medidos*

Resistencia Teórica	% Componentes	Asentamiento (pulg.)		
		Semana 1	Semana 2	Promedio
250	0T-100N	2	6	4
	25T-75N	4	4	4
	50T-50N	6	4	5
	75T-25N	7	5	6
	100T-0N	5	2	4
350	0T-100N	5	5	5
	25T-75N	6	4	5
	50T-50N	4	2	3
	75T-25N	7	3	5
	100T-0N	4	3	4
400	0T-100N	4	3	4
	25T-75N	3	4	3
	50T-50N	4	5	4
	75T-25N	4	2	3
	100T-0N	4	4	4

DISCUSION DE LOS RESULTADOS

IV.1 Ensayos Previos

Los agregados utilizados para este estudio fueron canto rodado natural, canto rodado triturado y arena proveniente de la cantera Puenteareas, ubica en el sector Araguita de la región central del país. A simple vista los fragmentos de rocas se observan subredondeados y cilíndricos, debido principalmente a que la zona de extracción está muy cercana a la zona de aporte (cordillera de La Costa). Estos cantos rodados no han contado con el transporte necesario para alcanzar una redondez total.

IV.1.1. Peso Unitario

En los ensayos de peso unitario realizados se puede observar en ambos casos (peso unitario suelto y compacto), el valor obtenido del canto rodado triturado es menor al del canto rodado natural. La diferencia entre ambos pesos unitarios es de aproximadamente 300 kg/m^3. Esta tendencia se debe a que el canto rodado natural posee una superficie lisa y redondeada, la cual le permite un mejor acomodo entre partículas. Este acomodo reduce significativamente la cantidad de espacios vacíos en el agregado, por lo que el peso por unidad de volumen va a ser mayor que el del canto rodado triturado.

IV.1.2. Peso Específico

El peso específico obtenido en los ensayos es muy similar para el canto rodado natural, el canto rodado triturado y la arena. Peso específico de este material es cercano a los 2670 kg/m³. Esto se debe a que los tres tipos de agregados poseen un mismo origen y su nivel de trituración no influye en esta propiedad de los agregados.

IV.1.3. Desgaste de Los Ángeles

Los resultados obtenidos del ensayo de desgaste por medio de la máquina de Los Angeles (23.64 % para la arena, 31.32 % para el canto rodado natural y 24.9 % para el canto rodado triturado) fueron satisfactorios para todos los tipos de agregados utilizados ya que la norma venezolana COVENIN 266-267 establece como limite un desgaste máximo de 40%.

De los resultados de los desgastes de Los Angeles, se puede observar que el resultado obtenido al ensayar el canto rodado triturado es menor al obtenido con el canto rodado natural. Este comportamiento se debe a que el canto rodado triturado fue sometido previamente a un proceso de trituración, en la cantera. Durante este proceso la roca sufre cierto desgaste debido a que las partículas sueltas e inestables, de esta masa de roca, se desprenden. El canto rodado natural no es sometido a este proceso previo de trituración, por lo que las partículas sueltas e inestables se van a desprender durante el ensayo de desgaste de Los Angeles.

IV.1.4. Granulometría

Al analizar las curvas granulométricas de los agregados gruesos, se puede observar que en ambos casos (canto rodado natural y triturado) las granulometrías tienden hacia los finos. En ambos casos las curvas se salen de las bandas establecidas en la norma venezolana COVENIN 277

"*Concreto .Agregados. Requisitos*"., aunque los resultados son muy cercanos al límite establecido. En ambos casos se trabajó con piedra #1.

La curva granulométrica de la arena posee una tendencia marcada hacia los gruesos. Esto se refleja tambien en el módulo de finura obtenido, el cual es bastante elevado. Esta curva tambien se encuentra fuera de las bandas establecidas en la norma.

Debido a que los agregados no cumplen con los requisitos granulométricos establecidos por la norma, se realizó el estudio de la curva granulométrica de la combinación de agregados. Para este estudio se tomó en cuenta el mayor y el menor valor de ß obtenido del diseño de mezcla. Las curvas granulométricas obtenidas, se encuentran, durante casi todo su desarrollo, contenidas en las bandas establecidas.

Ya que la granulometría de la combinación de los agregados y que este estudio se basa en la comparación de los agregados de esta cantera, se decidió aceptar los agregados seleccionados.

IV.2. Control de Asentamientos

Los asentamientos medidos son muy dispersos, debido principalmente a que la mezcla fue realizada por medio de un "trompo". Esto trae como consecuencia que los asentamientos no siempre sean los deseados. Además de esto, debido al alto módulo de finura de la arena y su granulometría con tendencia hacia los gruesos, los asentamientos obtenidos son relativamente bajos en comparación a los deseados. Los asentamientos registrados se encuentran en un rango de entre 3" y 5".

Es necesario destacar los dos asentamientos de 7" obtenidos en las mezclas de 75T-25N, tanto como para la resistencia teórica de 250 kg/cm², como para la de 350, de la primera semana. Estos asentamientos son muy elevados y se deduce que pudieron ser consecuencia de una dosificación elevada de agua, debido a que las resistencias obtenidas de esas mezclas son un poco inferiores a las esperadas.

IV.3. Ensayos Cilindros a Compresión

IV.3.1. Ensayos a los 7 Días

En los resultados obtenidos de los ensayos a compresión, a los 7 días, se puede observar que los valores en general son muy dispersos. Las desviaciones estándar son muy elevadas sobre todo para las resistencias teóricas de 250 kg/cm² y 350 kg/cm².

Aun cuando los resultados obtenidos son muy dispersos, se aprecia una tendencia a que la resistencia aumente a medida que la mezcla contenga mayor porcentaje de canto rodado triturado.

Esta tendencia observada, es más pronunciada y evidente en las resistencias elevadas. Las pendientes de las rectas obtenidas, aumentan acorde al incremento de la resistencia teórica.

IV.3.2. Ensayos a los 28 Días

Los resultados obtenidos de los ensayos a compresión, a los 28 días, exhiben menos dispersión que a los 7 días. Las desviaciones estándar de cada mezcla realizada son relativamente bajas, manteniéndose menores a 10 kg/cm². Las desviaciones estándar por cada diseño de mezcla si son un poco mas elevadas, debido en gran parte, a que las mezclas se realizaron en días distintos. Pese a que se trató de mantener las mismas condiciones para todas las mezclas, siempre hay variables que no se pueden controlar como la temperatura ambiental y la cantidad de irradiación solar.

Analizando las mezclas que se realizaron cada semana, por separado, se puede observar que los factores de correlación son bastante bajos por lo que no se puede asegurar que los mismos posean una

tendencia definida. Estos factores de correlación son especialmente bajos para las resistencias de 250 kg/cm² y de 350 kg/cm². Los resultados obtenidos de los ensayos de los cilindros con resistencia teórica de 400 kg/cm² si presentan una tendencia lineal mas definida, con unos coeficientes de correlación aceptables (en la segunda semana se logra un R = 0.9632 y un R^2 = 0.9279).

En ambas semanas se puede apreciar que la influencia del tipo de agregado utilizado en el concreto es mayor a medida que aumenta la resistencia teórica de diseño.

Suponiendo la hipótesis de que las mezclas en ambas semanas se realizaron relativamente bajo las mismas condiciones, se promediaron los resultados y se observa que la tendencia se mantiene. En los resultados promediados, de ambas semanas, se observa que la resistencia del concreto aumenta a medida que aumenta el porcentaje de canto rodado triturado en la mezcla. El porcentaje de aumento de las resistencias varía entre un 5 y 15 por ciento, dependiendo de la resistencia teórica.

Al existir una influencia más marcada en altas resistencias, del tipo de agregado grueso utilizado, las tendencias son más apreciables. Esto provoca que los coeficientes de correlación sean mayores en las curvas de 400 kg/cm² que en las demás.

Vale resaltar que la resistencia máxima, no siempre se obtiene usando solamente canto rodado triturado como agregado grueso. Se observa que en la mayoría de los casos el valor máximo es obtenido cuando la mezcla de agregados gruesos es de 75% canto rodado triturado y 25% canto rodado natural.

En la resistencia teórica de 400 kg/cm², se puede observar que las mezclas que poseen un gran porcentaje de canto rodado natural, no alcanzan las resistencias teóricas esperadas.

Superponiendo las graficas de los resultados de las mezclas realizadas la primera y la segunda semana, se puede observar que las

tendencias son bastante similares (sobretodo en las curvas de 400 kg/cm^2). La dispersión de los valores es mayor en resistencias bajas.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Los agregados utilizados cumplen con los requisitos establecidos en la norma. Únicamente la granulometría no cumple ligeramente con la especificación. Es recomendable hacer un ajuste de tamices en la cantera, de forma que la curva granulométrica resultante, se encuentre dentro de las bandas que establece la norma COVENIN 277.

- Los resultados a los 7 días son muy dispersos para establecer una relación entre ellos. Pese a esto todas las resistencias obtenidas, a los 7 días, son muy superiores al 70 por ciento de la resistencia teórica esperada.

- La resistencia del concreto incrementa, a medida que aumenta el porcentaje de canto rodado triturado como agregado grueso de la mezcla.

- La tendencia observada, en el incremento de la resistencia contra el porcentaje de canto rodado triturado en la mezcla de concreto, se asemeja en gran medida a una tendencia lineal. Hace falta ampliar los estudios para poder obtener mayor cantidad de puntos y de esta forma poder aseverar esta suposición.

- La influencia de la forma y textura superficial del agregado grueso en la mezcla de concreto aumenta a medida que aumenta la resistencia teórica de diseño.

- A bajas resistencias (250 kg/cm²), la influencia de la forma y textura superficial del agregado grueso no es de mucha importancia debido a que la disminución de la resistencia es de menos de un 5 por ciento.

- La dispersión de los resultados es mayor para bajas resistencias que para altas. Como consecuencia de esto no siempre se pueden establecer correlaciones para bajas resistencias.

- Para altas resistencias (400 kg/cm²), la influencia de la forma y textura superficial del agregado grueso si es de importancia debido a que la disminución de la resistencia puede llegar a ser de hasta un 15 por ciento.

- Para resistencias altas, no se debe usar canto rodado natural como agregado grueso (o altos porcentajes del mismo), dentro de la mezcla de concreto, debido a que no se alcanzan las resistencias teóricas esperadas (se calculó una dosificación para obtener una resistencia de 400 kg/cm² y las resistencias obtenidas a los 28 días, se encuentran en el orden de los 380 kg/cm²).

- La resistencia máxima obtenida, no siempre corresponde a las mezclas que poseen un cien por ciento de canto rodado triturado como agregado grueso. Se recomienda hacer estudios posteriores, concentrándose en el rango entre 50 y 100 por ciento de canto rodado triturado, con la finalidad de obtener la combinación óptima entre canto rodado natural y canto rodado triturado, de la cual se pueda obtener la resistencia máxima.

- En caso de ser necesario el uso del canto rodado natural como agregado grueso para concreto, se deben realizar mezclas de prueba

para poder calibrar el diseño de mezcla y obtener finalmente la resistencia teórica esperada.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Chan-Yam, J. L., Solís-Carcaño, R., y Moreno, E.I. (2003). Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto. *Ingeniería Revista Académica, 7(002), 39-46.*

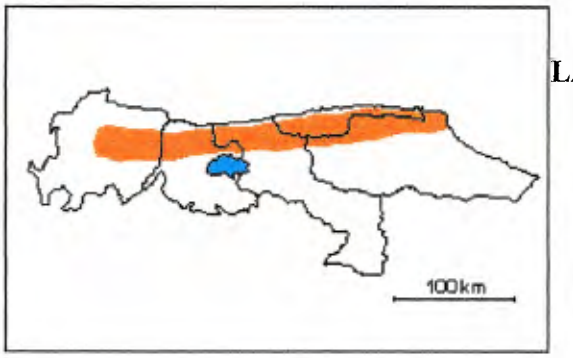
Gonzáles-Cuevas, Ó. M., Robles, F., Casillas, J., Díaz-de Cossío, R. (1977). *Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado,* (1ª ed.). Mexico: Editorial Limusa.

Moral, F. (1955). *Hormigón Armado,* (2ª ed.). Mexico, D. F.: Compañía Editorial Continental S. A.

Porrero, J., Ramos, C., Grases, J., Velazco, G.J. (2004). *Manual del Concreto Estructural,* (1ª ed.). Caracas: SIDETUR.

Salas-Jiménez, R., Rosario, R. (s.f.) Métodos *para el Diseño de Mezclas de Concreto.* Caracas: Asociación Venezolana de Productores de Cementos

ANEXO 1
DESCRIPCION GEOLÓGICA DE LOS AGREGADOS



LAS BRISAS, Formación

Distrito Federal

Referencia original: S. E. Aguerrevere y G. Zuloaga, 1937-a, p. 12.

Consideraciones históricas: La primera referencia a esta unidad se debe a Aguerrevere y Zuloaga (1937), quienes la denominan Conglomerado Basal de Las Brisas y agregan una breve descripción.

Dengo (1951) amplía la descripción y propone incluir en la formación, los esquistos comprendidos entre la Caliza de Zenda y la Caliza de Antímano. También destacados unidades dentro de la formación: la Caliza de Zenda (que define como miembro) y el gneis microclínico, sin rango.

Smith (1952) divide la formación en dos miembros. Sucesivamente, la formación es descrita sin mayores cambios en diversas localidades por Mc Lachlan et. al. (1960), Feo-Codecido (1962), Oxburgh (1965), Seiders (1965), Morgan (1969), Wehrmann (1972), González Silva (1972) y Rodríguez (1972), Talukdar y Loureiro (1982), introducen nuevos conceptos en la estratigrafía general de la Cordillera de la Costa.

Localidad tipo: Sitio de Las Brisas, en el km 10 de la antigua carretera Caracas-Ocumare del Tuy, cerca de la represa de la Mariposa. (Hoja 6847, esc. 1:100.000, Cartografía Nacional).

Descripción litológica: La descripción original de Aguerrevere y Zuloaga (op. cit.), menciona un conglomerado basal arkósico, con cantos rodados derivados de la roca basal de Sebastopol, redondeados a subangulares, hasta de 30 cm

de diámetro, cantos de cuarzo y cemento, principalmente silícico. Esta litología dista de ser la principal, ni mucho menos la única componente de la formación.

Dengo (op. cit.) observa que la mayor parte de la formación, está constituida por esquisto cuarzo-micáceo, en el que se incluye gneis microclínico, esquistos granatíferos, cuarcitas y calizas (ver además: Zenda, Miembro).

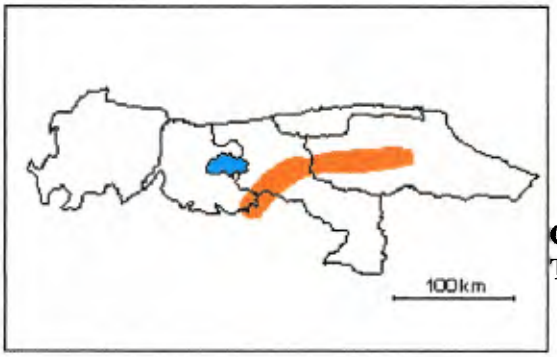
Smith (op. cit.), divide la formación en dos miembros: miembro inferior, constiuido por gneises y esquistos microclínicos conglomeráticos y miembro superior, formado casi enteramente por esquistos sericíticos. Este autor opina que los grupos litológicos de los miembros inferior y superior, se originan de conglomerados y lutitas respectivamente, y que las calizas son de origen biohermal.

Seiders (op. cit.) encuentra en el tope de la formación, conglomerados gnéisicos y areniscas esquistosas, con cantidad menor de caliza negra en capas delgadas, y grandes guijarros de granito, y resalta la ausencia de los esquistos sericíticos de Smith. Morgan (op. cit.) añade anfibolitas estratificadas concordantes, que interpreta como tobas, sills o flujos metamorfizados.

Wehrmann (op. cit.) afirma que la Formación Las Brisas, está constituida en un 90% de esquistos cuarzo-feldespático-moscovíticos; el 10% restante lo constituyer, en orden de abundancia, esquistos cuarzo-feldespáticos, epidóticos o cloríticos, calizas, cuarcitas y metaconglomerados. Menciona igualmente, mineralizaciones pobres de cobre en algunas calizas, en forma de sulfuros y sulfatos. Este autor no menciona el gneis microclínico de Dengo, pero hace referencia a conglomerados y areniscas intraformacionales, ricas en microclino (15%), sin hacer referencia a su relación con los gneises del mismo género.

Taludkar y Loureiro (op. cit.) analizan exhaustivamente los tipos litológicos, en un área reducida de la Cordillera de la Costa, sin relacionarla con las formaciones tradicionales, estableciendo la dificultad e incoveniencia en el uso de unidades litoestratigráficas, en estudios detallados de rocas metamórficas. El grado de metamorfismo es bajo, aunque existen diferencias entra las opiniones de Dengo, Smith y Seiders, quienes opinan que

predomina la facies de la anfibolita y el glaucofano, mientras que Wehrmann le asigna grados más bajos de presión (facies del esquisto verde)



COMPLEJO DE LA COSTA FASE TACAGUA

Distrito Federal y estados Yaracuy, Carabobo, Aragua y Miranda.

Referencia original: M. Ostos, E. Navarro y F. Yoris, 1987, p. 71.

Consideraciones históricas: Ostos et al. (1987) describen la Unidad Litodémica de corrimiento la Costa agrupando en ella a las rocas correspondientes a las fases Nirgua, Tacagua y Antímano. Posteriormente, Navarro et al. (1988) mantienen el mismo concepto pero denominan como Complejo la Costa a este mismo conjunto de rocas. Urbani y Ostos (1989), Urbani et al. (1989a, 1989b) presentan la cartografía geológica de este Complejo desde Morón, estado Carabobo, hasta Cabo Codera, estado Miranda. El Complejo la Costa es el nombre de unidad litodémica propuesto para las rocas de la Franja Tectónica Costera - Margarita previamente descrita por Stephan et al. (1980) (véase también a Bellizzia, 1986 y Beck, 1989).

Localidad tipo: No fue indicada pero está implícita en los afloramientos costeros del Litoral Central, Distrito Federal. Hoja 6747, escala 1:100.000, Cartografía Nacional.

Descripción litológica: Está constituido por una mezcla compleja de litologías fundamentalmente esquistos de variada mineralogía, mármol, anfibolita, anfibolita granatífera, anfibolita glaucofánica, eclogita, rocas metavolcánicas, en

fin todos aquellos tipos de *rocas constituyentes de las fases Antímano* (esquisto cuarzo -micáceos, anfibolita y mármol), Tacagua (esquisto grafitos y rocas ricas en epidoto) y Nirgua (esquisto de mineralogía diversa y anfibolita) que conforman este Complejo. Para mayores detalles véanse las descripciones de estas fases.

PARACOTOS, Formación

Estado Miranda

Referencia original: R. J. Smith, 1952,p.363.

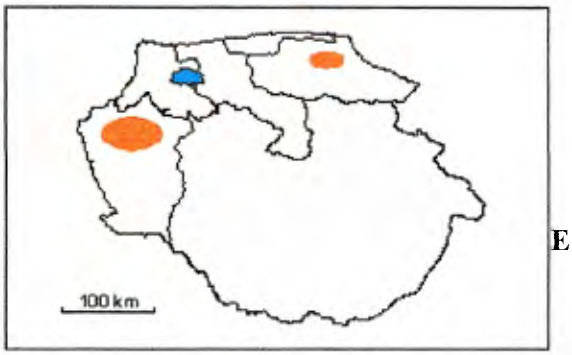
Consideraciones históricas: Este nombre fue introducido por Smith (1952), señalando que estar constituida predominantemente de filita, y la divide en tres miembros: inferior, medio y superior. Shagam (1960) redefinió la unidad restringiendo el nombre al miembro superior de Smith. Dicho criterio fue aceptado por autores posteriores, quienes continuan su cartografía hasta el estado Cojedes (MacLachlan et al., 1960; Oxburgh, 1965; Konigsmark, 1965; Seiders, 1965; Menéndez, 1965, 1966). Según Beck (1980, 1985, 1986) y Stephan et al. (1980) esta Formación constituye la cobertura sedimentaria del Complejo Ofiolítico de Loma de Hierro. Beck (1985, 1986) describe y cartografía estas rocas, pero utiliza el nombre de Formación Cataurito, que consideramos un sinónimo innecesario. Aquino (1983), Rodríguez (1984), Van Berkel (1988), Van Berkel et al. (1988) y Ostos (1990) la estudian desde El Pao de Zárate, estado Aragua, hasta Altagracia de la Montaña, estado Miranda.

Localidad tipo: Smith (1952) no fija una localidad tipo específica, pero indica que los mejores afloramientos pueden observarse en: (1) Sur de Guayas en el camino hacia Tiara, (2) en el río Tuy al norte de Tácata, (3) cerca de Paracotos, y (4) sitio de El Paují en la quebrada Suapire. En las edición previa del Léxico Estratigráfico de Venezuela (1970) esta imprecisión fue interpretada considerado al "río Tuy, al norte de Tácata, cerca de Paracotos" como localidad tipo, distrito Guaicaipuro, estado Miranda. Hoja 6846, escala 1:100.000, Cartografía Nacional.

A partir de la redefinición de Shagam (1960), cuyo criterio es aceptado en la cartografía geológica de MacLachlan et al. (1960) y otros, pero igualmente en trabajos más modernos (e.g. Bellizzia, 1967, p. 181; Beck, 1985, 1986), surge el problema de que esta Formación no aflora en ninguna de las cuatro localidades mencionadas por Smith, por lo tanto carece de localidad tipo. En parte por esta razón, Beck (1985, 1986) propone cambiar el nombre de esta unidad al de Formación Cataurito, lo cual en principio parece apropiado, pero debido a lo arraigado del uso del nombre de Paracotos en la literatura venezolana, el autor de este capítulo sugiere mantenerlo, asignando dos secciones de referencia para esta Formación: (a) Los afloramientos del río Tuy entre Tácata y Cúa, estado Miranda, que aparecen cartografiados en el mapa simplificado de Bellizzia (1967, p. 181, reproducido en González de Juana et al., 1980, p. 355), y en el mapa detallado de Beck (1985, 1986), estos son los afloramientos más cercanos de esta Formación al poblado de Paracotos que le da su nombre. (b) La sección propuesta por Beck (1985, p. 239, 1986) como localidad tipo de su "Formación Cataurito", ubicada en el cerro al sur de la Hacienda Experimental Cataurito, a media distancia entre los poblados de La Candelaria y El Pao de Zárate al este, y Villa de Cura al oeste, estado Aragua.

Descripción litológica: Shagam (1960) describe una asociación de filita, mármol, metaconglomerado, con metalimolita y metarenisca en menor proporción. La filita constituye el 60% de la Formación, siendo limosa y carbonosa, de color azul grisáceo oscuro, con ocasionales peñones de rocas metavolcánicas y metasedimentarias de hasta 20 cm de diámetro, que González de Juana et al. (1980, p. 346) interpretan como una lodolita guijarrosa. Dentro de la secuencia anterior se encuentran capas delgadas de una roca metalimolítica, maciza y color negro con cubos visibles de pirita. Igualmente se observan capas delgadas de varios tipos de metarenisca de color gris oscuro, que clasifica como arenisca calcárea micácea y waca lítica cuarcífera. Los cuerpos de mármol son microcristalinos de color verde muy claro a gris azulado, en capas lenticulares usualmente con menos de 500 m de largo, los espesores son usualmente de 5 a 10 m, pero el cuerpo mayor conocido alcanza unos 130 m de espesor. En secciones finas, se observan pequeños foraminíferos esféricos reemplazados por calcita, en una matriz de

cristalitos de calcita con algo de cuarzo y pirita, así como material carbonáceo y óxidos de hierro en cantidades subordinadas. El metaconglomerado es de color gris verdoso con guijarros de hasta 50 cm de diámetro. Los guijarros están constituidos por fragmentos de metalava basáltica, cuarzo de veta, mármol, ftanita y granofel cuarzo - albítico. Seiders (1965) describió cuerpos de metalava de hasta varias decenas de metros de espesor, interestratificados con la filita, que aparecen muy transformados siendo poco visibles los minerales ferromagnesianos primarios, se presentan tanto como lavas almohadilladas, como en flujos brechados. Van Berkel et al. (1989) en su estudio de la zona de Tácata - Altagracia de la Montaña, cartografían su "Unidad de rocas metasedimentarias" interpretandola como equivalente a la Formación Paracotos, y en ella describen metarenisca, metapelita y mármol, todas estas rocas con efectos metamórficos de muy bajo grado. Esta misma secuencia había sido estudiada por Beck et al. (1984) denominándola como "rocas volcanico sedimentarias del Río Guare", nombre que consideramos innecesario. Extensión geográfica: Esta unidad constituye la Faja de Paracotos de Menéndez (1966) y Bell (1968), siendo interpretada en forma diferente por Beck (1985, 1986), quién la considera como parte de su Napa de Loma de Hierro. La Formación se extiende a través de los estados Cojedes, Carabobo, Guárico, Aragua y Miranda, y según Menendez (1966) está limitada parcialmente el norte y al sur, por las fallas de Santa Rosa y Agua Fría, respectivamente.



EL TINACO, Complejo de

Estado Cojedes

Referencia original: O. Renz y K. C. Short, 1960, p. 278.

Renz y Short (1960) introdujeron este nombre para designar una gran variedad de rocas sedimentarias metamorfizadas y muy plegadas expuestas entre Tinaquillo, San Carlos y El Pao, Estado Cojedes. Mackenzie (1966, fecha de publicación de su estudio realizado en 1953) describió el Complejo de Tinaco en mayor detalle con el nombre de "gneises hornabléndicos y rocas asociadas". Oxburgh (1965) describió el extremo suroriental del complejo y postuló su derivación de areniscas arcósicas impuras. Menéndez (1965), interpretó el complejo como derivado en gran parte de una secuencia lutítico-grauváquica y reconoció dos unidades metasedimentarias ("gneis de La Aguadita" y "esquisto de Tinapú"), intrusionadas por varios tipos de rocas ígneas. Seiders (1965) correlacionó las rocas del basamento en Miranda central con el gneis de La Aguadita que identificó con las "diorltas hornabléndicas" y los "granitos sódicos" descritos por Smith (1952), confirmando la interpretación de Mackenzie (1966).

Menéndez (1966) reinterpretó algunas unidades expuestas al sur de la falla de La Victoria, asignadas previamente al Grupo Caracas, como equivalentes al Complelo de El Tinaco. Jarvis (1966) describió afloramientos surorientales del complejo al este del río Pao.

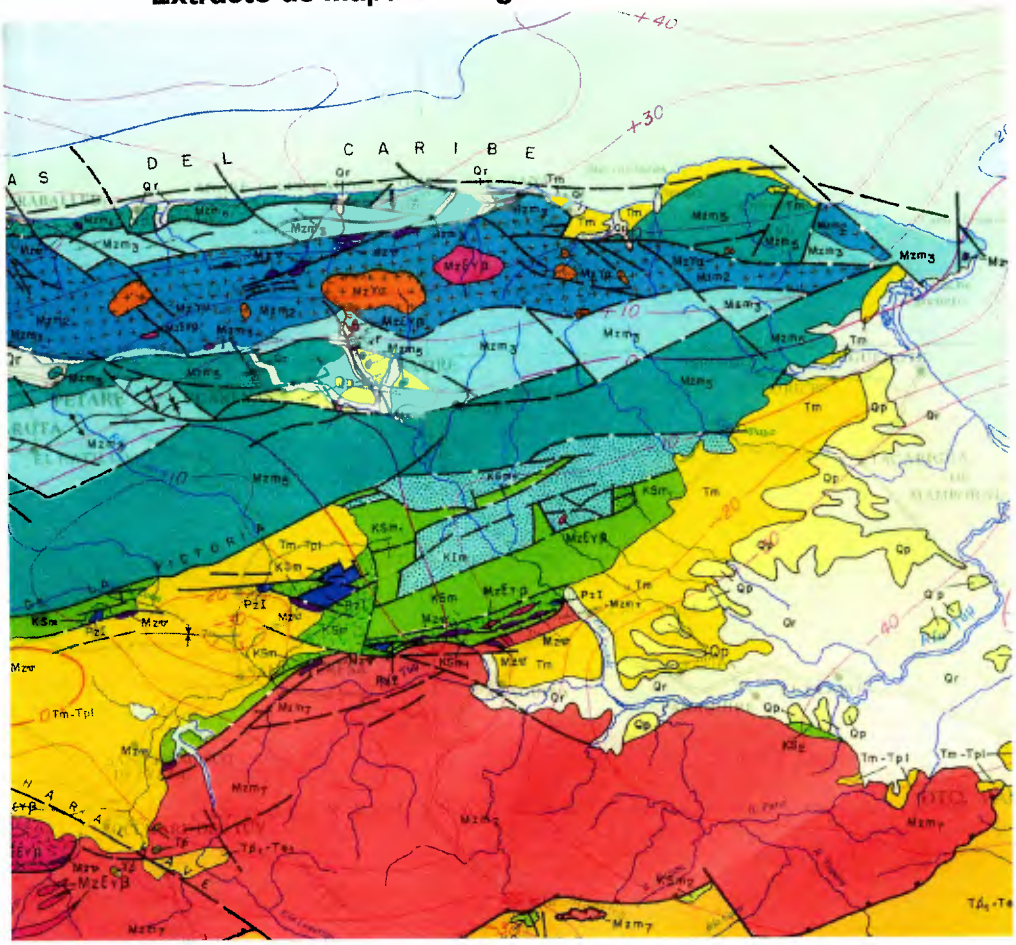
No se ha definido localidad tipo. Existen buenos afloramientos al noreste de El Tinaco, Estado Cojedes. La unidad se reconoce desde Caucagua, Estado Miranda, hasta El Tinaco, Estado Cojedes.

Menéndez (1965) reconoció dos unidades metasedimentarias en el complejo: la inferior, denominada Gneis de La Aguadita, consiste de gneises hornabléndicos y biotíticos, gneises cuarzo-plagioclásicos y en menor escala, anfibolitas y mármoles, la superior, designada con el nombre de Esquisto de Tinapú, suprayace concordantemente a la primera y consiste de esquistos muscovíticos, esquistos cloríticos y esquistos conglomeráticos. El gneis de La Aguadita está intrusionado por cuatro plutones de trondhjemita envueltos por una ancha zona de inyección o zona migmatítica. Al norte de la falla de Tinapú,

pequeños cuerpos de hornablendita y de diorita hornabléndica intrusionan ambas unidades del complejo.

Se desconoce la base del complejo; su tope está cubierto discordantemente hacia el norte por la Formación Las Placitas; hacia el sur está sobrecorrido por unidades no metamorfizadas de edad Albiense a Coniaciense (formaciones Cojedes, Pilancones y Querecual). Su edad se considera pre-Albiense; posiblemente pre-Mesozoico (?). Estas rocas de basamento son posibles equivalentes de los gneises de Peña de Mora y Sabastopol (Menéndez, 1966) y de rocas similares expuestas al este de Santa Lucía, en la quebrada Charallave, al norte de Tácata, al oeste del Lago de Taguaiguai y en Cascabel al oeste del Lago de Valencia.

Extracto de Mapa Geológico Estructural de Venezuela



MzM3 Formación Las Brisas

Klm Complejo de el Tinaco

MzM5 Complejo de la Costa fase Tacagua

Ksm1 Formación Paracotos

ANEXO 2
CARACTERIZACION DE LOS AGREGADOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS AGREGADO Fino (Arena)
I.- Análisis granulométrico por Tamizado, ASTM C136-01

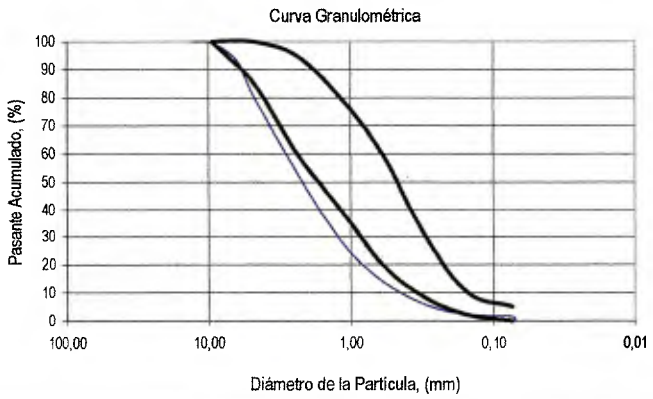
Proyecto:	Tesis				
Ubicación:	Cantera Puente Arias				
Muestra:	Arena Lavada	Procedencia		Fecha de toma	28/06/2006
Enviada Por:	Carlos Campdera	Recibida por:		Fecha de envio	28/06/2006
Ensayada Por:	Juan Borberg	Revisado Por:	Ing. L.Montilva	Fecha de Ensayo	30/06/2006

N° Tamiz	Diámetro (mm)	Retenido (gr)	Retenido A.* (gr)	Retenido (%)	Retenido A.* (%)	Pasante A.* (%)
1/2"	12,700	0,00	0,0	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,524	3,86	3,9	0,5	0,5	99,5
1/4"	6,350	50,21	54,1	6,1	6,6	93,4
#4	4,763	108,32	162,4	13,2	19,8	80,2
#8	2,379	221,29	383,7	27,0	46,9	53,1
#16	1,180	200,77	584,5	24,5	71,4	28,6
#30	0,600	119,24	703,7	14,6	86,0	14,0
#50	0,300	69,06	772,8	8,4	94,4	5,6
#100	0,150	27,00	799,8	3,3	97,7	2,3
#200	0,074	6,53	806,3	0,8	98,5	1,5
P-#200	0,070	1,09	807,4	1,5	100,0	0,0
Peso de la Muestra (gr)						

*2: Acumulado (A)

II.- Análisis granulométrico por Lavado, ASTM C117-95

A.- Número de la Tara	1,00
B.- Peso Tara	168,00
C.- Peso de la Muestra humeda + Tara	1.022,72
D.- Peso de la Muestra Seca + Tara	986,32
E.- Peso neto de la Muestra Seca, (D - B)	818,32
F.- Peso seco de la muestra lavada	807,37
G.- Peso de la muestra Pasa 200, (E - F)	10,95
H.- % Pasa 200, ((G x 100) / E)	1,34
I. Factor = 100 /E	0,122201584



ANALISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C 136-96a)

Proyecto:					
Ubicación:	Cantera Puenteareas				
Ensayó	Calculó	Revisó	Muestra	S.U.C.S.	Fecha
CC	JB	LM	CRT 28/6	**GP**	30/06/2006

CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA MUESTRA						
%w (nat.)	LL*[1]	LP*[1]	IP*[1]	Grava	Arena	Finos
2,64	NA	NP	NA	99,03	0,84	0,13

*[1]: Referidos a la fracción fina de la muestra

I.- Análisis granulométrico por Tamizado, ASTM C136-01

N° Tamiz	Diámetro (mm)	Retenido (gr)	Retenido A.*[2] (gr)	Retenido (%)	Retenido A.*[2] (%)	Pasante A.*[2] (%)
1½"	38,100	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,400	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,050	64,67	64,67	5,77	5,77	94,23
1/2"	12,700	662,56	727,23	59,10	64,86	35,14
3/8"	9,524	281,23	1008,46	25,08	89,95	10,05
#4	4,763	101,77	1110,23	9,08	99,03	0,97
#200	0,074	9,42	1119,65	0,84	99,87	0,13
P-#200	0,070	1,51	1121,16	0,13	100,00	0,00
Peso de la Muestra (gr) : 890,31		1.121,16				

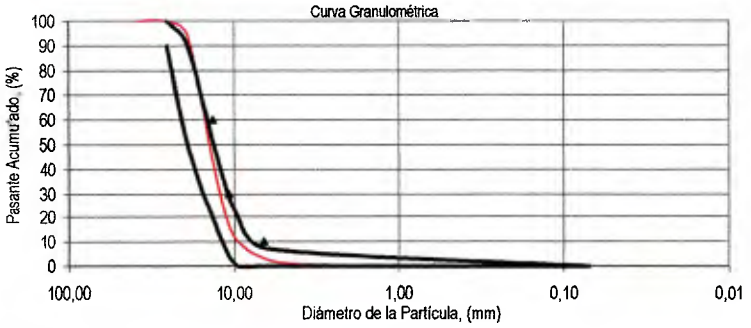
*[2]: Acumulado (A)

II.- Análisis granulométrico por Lavado, ASTM C117-95

A.- Número de la Tara	032
B.- Peso Tara	168,59
C.- Peso del suelo humedo + Tara	1.085,88
D.- Peso del suelo seco + Tara	1.062,30
E.- Peso neto del suelo, (D - B)	893,71
F.- Peso seco de la muestra lavada	888,89
G.- Peso de la muestra Pasa 200, (E - F)	4,82
H.- % Pasa 200, ((G x 100) / E)	0,54

III.- Coeficientes granulométricos

D60	13,49
D30	10,72
D10	6,61
Cu	2,04
Cc	1,29



ANALISIS GRANULOMÉTRICO (ASTM C 136-96a)

Proyecto:					
Ubicación:	Cantera Puenteareas				
Ensayó	Calculó	Revisó	Muestra	S.U.C.S.	Fecha
JB	CC	LM	CRN 28/6	**GP**	30/06/2006

CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA DE LA MUESTRA						
%w (nat.)	LL*[1]	LP*[1]	IP*[1]	Grava	Arena	Finos
2,64	NA	NP	NA	98,36	1,48	0,17

*[1]: Referidos a la fracción fina de la muestra

I.- Análisis granulométrico por Tamizado, ASTM C136-01

N° Tamiz	Diámetro (mm)	Retenido (gr)	Retenido A.*[2] (gr)	Retenido (%)	Retenido A.*[2] (%)	Pasante A.*[2] (%)
1½"	38,100	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,400	4,62	4,62	0,52	0,52	99,48
3/4"	19,050	54,13	58,75	6,08	6,60	93,40
1/2"	12,700	386,13	444,88	43,37	49,97	50,03
3/8"	9,524	255,17	700,05	28,66	78,63	21,37
#4	4,763	175,63	875,68	19,73	98,36	1,64
#200	0,074	13,14	888,82	1,48	99,83	0,17
P-#200	0,070	1,49	890,31	0,17	100,00	0,00
Peso de la Muestra (gr) : 890,31		890,31				

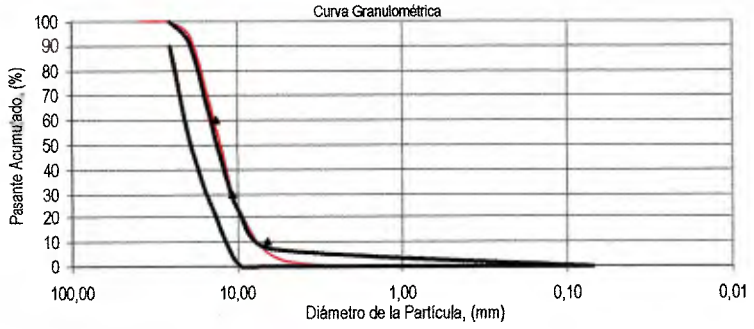
*[2]: Acumulado (A)

II.- Análisis granulométrico por Lavado, ASTM C117-95

A.- Número de la Tara	032
B.- Peso Tara	168,59
C.- Peso del suelo humedo + Tara	1.085,88
D.- Peso del suelo seco + Tara	1.062,30
E.- Peso neto del suelo, (D - B)	893,71
F.- Peso seco de la muestra lavada	888,89
G.- Peso de la muestra Pasa 200, (E - F)	4,82
H.- % Pasa 200, ((G x 100) / E)	0,54

III.- Coeficientes granulométricos

D60	13,49
D30	10,72
D10	6,61
Cu	2,04
Cc	1,29

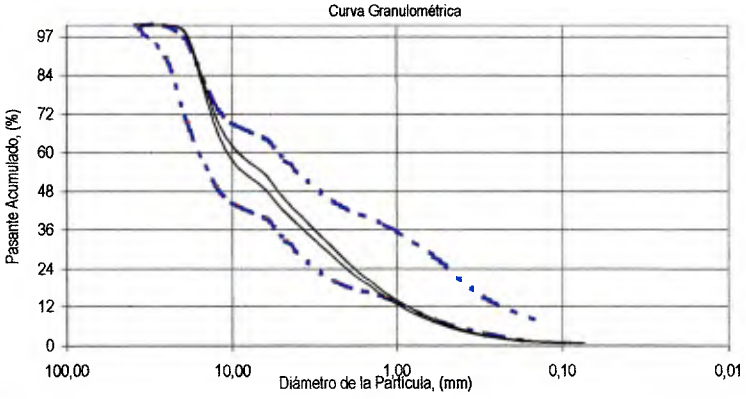


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: Tesis
Ubicación: Cantera Puente Arias
Diseño de Mezcla CRN

N° Tamiz	Diámetro (mm)	% Pasante		% Pasante Máx. Combinado	% Pasante Min. Combinado	Límites	
		Arena	Piedra			Máx.	Min
2"	50,800						
1 1/2"	38,100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1"	25,400	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	90,0
3/4"	19,050	100,0	94,2	97,5	97,2	95,0	70,0
1/2"	12,700	100,0	35,1	72,1	68,9	75,0	50,0
3/8"	9,524	99,5	10,1	61,0	56,6	69,0	44,0
1/4"	6,350	93,4	1,0	53,7	49,0	65,0	40,0
#4	4,763	80,2	0,01	45,7	41,7	58,0	33,0
#8	2,379	53,1	0,01	30,3	27,6	45,0	20,0
#16	1,180	28,6	0,01	16,3	14,9	38,00	15,00
#30	0,600	14,0	0,01	8,0	7,3	28,00	8,00
#50	0,300	5,6	0,01	3,2	2,9	15,00	4,00
#100	0,150	2,3	0,01	1,3	1,2	8,00	1,00
#200	0,074	1,5	0,07	0,9	0,8		

Relaciòn ß de diseño max: 0,57
Relaciòn ß de diseño min: 0,42

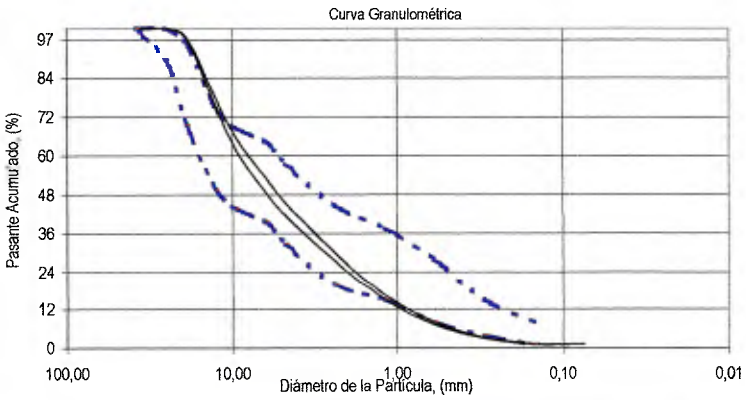


ANÁLISIS GRANULOMÉTRICOS COMBINACION DE AGREGADOS

Proyecto: Tesis
Ubicación: Cantera Puente Arias
Diseño de Mezcla CRT

N° Tamiz	Diámetro (mm)	% Pasante		% Pasante Máx. Combinado	% Pasante Min. Combinado	Limites	
		Arena	Piedra			Máx.	Min
2"	50,800						
1 1/2"	38,100	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1"	25,400	100,0	99,5	100,0	100,0	100,0	90,0
3/4"	19,050	100,0	93,4	97,2	96,8	95,0	70,0
1/2"	12,700	100,0	50,0	78,5	76,0	75,0	50,0
3/8"	9,524	99,5	21,4	65,9	62,0	69,0	44,0
1/4"	6,350	93,4	1,6	53,9	49,4	65,0	40,0
#4	4,763	80,2	0,01	45,7	41,7	58,0	33,0
#8	2,379	53,1	0,01	30,3	27,6	45,0	20,0
#16	1,180	28,6	0,01	16,3	14,9	38,00	15,00
#30	0,600	14,0	0,01	8,0	7,3	28,00	8,00
#50	0,300	5,6	0,01	3,2	2,9	15,00	4,00
#100	0,150	2,3	0,01	1,3	1,2	8,00	1,00
#200	0,074	1,5	1,10	1,3	1,3		

Relaciòn ß de diseño max: 0,57
Relaciòn ß de diseño min: 0,52



ENSAYO DE DESGASTE DE LOS ANGELES

(Norma ASTM C-131-96 y Norma ASTM C-535-96)

Obra: **Tesis**

Lugar:

Cliente: **Carlos Campdera**

Uso: **Agregado para concreto** Muestra: **Canto rodado picado 28/6**

Origen de la muestra: **Cantera Puente areas**

Litología: Fecha: **28/06/2006**

%		TIPO DE GRADACION (gr.)						
Pasa	**Ret.**	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**
3"	2½"							
2½"	2"							
2"	1½"							
1½"	1"							
1"	¾"							
¾"	½"		2.504					
½"	3/8"		2.500					
3/8"	¼							
¼	Nº 4							
Nº 4	Nº 8							
Esferas		12	11	8	6	12	12	12
Rotaciones		500	500	500	500	1.000	1.000	1.000

Peso total de la muestra (gr.)	5004,00
Peso retenido en el tamiz Nº 12 (gr.):	3758,00
Peso que pasa el tamiz Nº 12 (gr.):	1246,00
% de desgaste:	24,90

Observaciones:

Realizado por:	**Revisado por:**

ENSAYO DE DESGASTE DE LOS ANGELES

(Norma ASTM C-131-96 y Norma ASTM C-535-96)

Obra: **Tesis**

Lugar:

Cliente: **Carlos Campdera**

Uso: **Agregado para concreto** Muestra: **Canto rodado 28/6/06**

Origen de la muestra: **Cantera Puenteáreas**

Litología: Fecha: **11/07/2006**

%		TIPO DE GRADACION (gr.)						
Pasa	**Ret.**	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**
3"	2½"							
2½"	2"							
2"	1½"							
1½"	1"							
1"	¾"							
¾"	½"		2.502					
½"	3/8"		2.498					
3/8"	¼							
¼	Nº 4							
Nº 4	Nº 8							
Esferas		12	11	8	6	12	12	12
Rotaciones		500	500	500	500	1.000	1.000	1.000

Peso total de la muestra (gr.)	5000,00
Peso retenido en el tamiz Nº 12 (gr.):	3434,00
Peso que pasa el tamiz Nº 12 (gr.):	1566,00
% de desgaste:	31,32

Observaciones:

Realizado por:	**Revisado por:**

ENSAYO DE DESGASTE DE LOS ANGELES

(Norma ASTM C-131-96 y Norma ASTM C-535-96)

Obra:

Lugar:

Cliente: **Carlos Campdera**

Uso: **Agregado para concreto** Muestra: **Arena 28/6/06**

Origen de la muestra: **Cantera Puenteáreas**

Litología: Fecha: **11/07/2006**

%		TIPO DE GRADACION (gr.)						
Pasa	**Ret.**	**A**	**B**	**C**	**D**	**E**	**F**	**G**
3"	2½"							
2½"	2"							
2"	1½"							
1½"	1"							
1"	¾"							
¾"	½"							
½"	3/8"							
3/8"	¼							
¼	Nº 4							
Nº 4	Nº 8				5.000			
Esferas		12	11	8	6	12	12	12
Rotaciones		500	500	500	500	1.000	1.000	1.000

Peso total de la muestra (gr.)	5000,00
Peso retenido en el tamiz Nº 12 (gr.):	3818,00
Peso que pasa el tamiz Nº 12 (gr.):	1182,00
% de desgaste:	23,64

Observaciones:

Realizado por:	**Revisado por:**

DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE AGREGADOS GRUESOS
ASTM C 127 - 88

Proyecto:	Tesis Carlos Campderá		
Cliente:			
Ubicación:	Cantera Puente Arias		
Uso:		Tipo de Mezcla:	

Muestra:	CRT - CRN	Cantera:	Puente Arias
Fecha de toma:		Ensayó:	C.C.
Fecha del ensayo:	12-Jul-06	Revisó:	J.B.

Determinación Peso Saturac. Superf. Seca:	CRT			CRN		
Tara Nº:	019	033	054	003	002	032
Peso de la tara (g) =	165,24	166,66	151,99	167,45	165,80	168,61
Peso tara + muestra (g) =	968,55	1257,67	1201,70	1143,07	1082,58	1307,90
Peso Saturación Superficie Seca "B" (g) =	803,31	1091,01	1049,71	975,62	916,78	1139,29

Determinación Peso Saturado en agua:

Peso Saturado en agua "C" (g) =	497,83	675,54	651,17	598,21	563,56	700,51

Determinación Peso Seco:

Tara Nº:	019	033	054	003	002	032
Peso de la tara (g) =	165,24	166,66	151,99	167,45	165,80	168,61
Peso tara + muestra (g) =	958,06	1244,11	1189,15	1128,84	1069,32	1291,96
Peso Seco "A" (g) =	792,82	1077,45	1037,16	961,39	903,52	1123,35

Peso Específico Aparente, Gsa = A/(A-C)	2,688	2,681	2,687	2,647	2,658	2,657
Peso Específico Bulk, Gsb = A/(B-C)	2,595	2,593	2,602	2,547	2,558	2,560
Absorción (%) = 100*(B-A)/A	1,32	1,26	1,21	1,48	1,47	1,42

Ensayos aceptables:
Menos de 0,02 de diferencia entre los PE del mismo material
menos de 0,5% para la absorción entre los ensayos del mismo material

DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DE AGREGADOS FINOS
ASTM C 128 - 88

Proyecto:	Tesis Carlos Campderá		
Cliente:			
Ubicación:	Cantera Puente Arias		
Uso:		Tipo de Mezcla:	

Muestra:	Arena	Cantera:	Puente Arias
Fecha de toma:		Ensayó:	C.C.
Fecha del ensayo:	12-Jul-06	Revisó:	J.B.

Las muestras son pasante # 8 retenido # 200

Determinación Peso Saturación Superficie Seca

(Cono de absorción):	Arena					
Matraz Nº:	15	18	24			
Peso saturación superficie seca "S" (g) =	153,86	150,85	152,48			

Determinación Peso Saturado en agua (Con vacio):

Peso del matraz + agua "B" (g) =	739,60	737,47	733,25			
Peso matraz + muestra (g) =	-	-	-			
Peso muestra+matraz+agua (después de vacio) "C"=	834,28	830,34	827,17			

Determinación Peso Seco:

Tara Nº:	036	001	040			
Peso de la tara (g) =	167,52	168,00	167,55			
Peso tara + muestra (g) =	318,57	316,07	317,35			
Peso seco "A" (g) =	151,05	148,07	149,80			

Peso Específico Aparente, Gsa = A/(B+A-C)	2,68	2,68	2,68			
Peso Específico Bulk, Gsb = A/(B+S-C)	2,55	2,55	2,56			
Absorción (%) = 100*(S-A)/A	1,86	1,88	1,79			

ANEXO 3
DISEÑOS DE MEZCLA

Diseño de mezclas, Método A.C.I.

Datos:

1	Resistencia a la compresión:	250	Kg/cm2
2	Tamaño máximo del agregado	20	mm
3	Rango Asentamiento:	1518	cm
4	Peso Unitario del Agregado Grueso	1640	Kg/m3
5	Módulo de Finura de la arena	4,2	
6	Absorción Material Agregado Grueso	1,456	%
7	Absorción Material Fino,Arena	1,84	%
8	Humedad Agregado Grueso	2,64	%
9	Humedad Arena	4,45	%

	factor	absorcion	humedad	peso unitario
CRP	0	1,26	1,7	1590
CRN	1	1,456	2,64	1640

Resultados

10	Requerimiento de agua de mezclado	213	Kg/m3 conc.
11	Relación Agua /Cemento	0,62	
12	Contenido de cemento	343	Kg/m3
13	Volumen de Agregado grueso/m3 de concreto	0,489	
14	Cantidad de Agregado Grueso, Kg/m3	801,96	Kg/m3 conc
15	Peso del Concreto Fresco	2355	Kg/m3
16	Cantidad requerida de la Arena	997	Kg/m3
17	Verificación Beta, B	0,55	

Ajuste de los pesos de los Agregados y del Agua

18	Agregado Material Grueso (húmedo)	823,1	Kg/m3 conc
19	Agregado Material Fino (húmedo)	1041,1	Kg/m3 conc
20	Requerimiento de Agua	182,9	Kg/m3 conc

Pesos por m3 de concreto :

Agua (a añadir)	182,9	Kg/m3 conc
Cemento	343	Kg/m3 conc
Agregado Grueso (húmedo)	823,1	Kg/m3 conc
Agregado Fino (húmedo)	1041,1	Kg/m3 conc

Diseño para 7 cilindros (0.042 litros)

Agua	**7,68**	**Kg/m3 conc**			
Cemento	**14,42**	**Kg/m3 conc**			
Piedra	**34,57**	**Kg/m3 conc**	**CRP**	**0,00**	**Kg/m3 conc**
			CRN	**34,57**	**Kg/m3 conc**
Arena	**43,72**	**Kg/m3 conc**			

Diseño de mezclas, Método A.C.I.

Datos:

1	Resistencia a la compresión:	250	Kg/cm2
2	Tamaño máximo del agregado	20	mm
3	Rango Asentamiento:	1518	cm
4	Peso Unitario del Agregado Grueso	1627,5	Kg/m3
5	Módulo de Finura de la arena	4,2	
6	Absorción Material Agregado Grueso	1,407	%
7	Absorción Material Fino,Arena	1,84	%
8	Humedad Agregado Grueso	2,405	%
9	Humedad Arena	4,45	%

	factor	absorcion	humedad	peso unitario
CRP	0,25	1,26	1,7	1590
CRN	0,75	1,456	2,64	1640

Resultados

10	Requerimiento de agua de mezclado	213	Kg/m3 conc.
11	Relación Agua /Cemento	0,62	
12	Contenido de cemento	343	Kg/m3
13	Volumen de Agregado grueso/m3 de concreto	0,489	
14	Cantidad de Agregado Grueso, Kg/m3	795,8475	Kg/m3 conc
15	Peso del Concreto Fresco	2355	Kg/m3
16	Cantidad requerida de la Arena	1003	Kg/m3
17	Verificación Beta, B	0,56	

Ajuste de los pesos de los Agregados y del Agua

18	Agregado Material Grueso (húmedo)	815,0	Kg/m3 conc
19	Agregado Material Fino (húmedo)	1047,4	Kg/m3 conc
20	Requerimiento de Agua	183,3	Kg/m3 conc

Pesos por m3 de concreto :

Agua (a añadir)	183,3	Kg/m3 conc
Cemento	343	Kg/m3 conc
Agregado Grueso (húmedo)	815,0	Kg/m3 conc
Agregado Fino (húmedo)	1047,4	Kg/m3 conc

Diseño para 7 cilindros (0.042 litros)

Agua	**7,70**	**Kg/m3 conc**			
Cemento	**14,42**	**Kg/m3 conc**			
Piedra	**34,23**	**Kg/m3 conc**	**CRP**	**8,56**	**Kg/m3 conc**
			CRN	**25,67**	**Kg/m3 conc**
Arena	**43,99**	**Kg/m3 conc**			

Diseño de mezclas, Método A.C.I.

Datos:

1	Resistencia a la compresión:	250	Kg/cm2
2	Tamaño máximo del agregado	20	mm
3	Rango Asentamiento:	1518	cm
4	Peso Unitario del Agregado Grueso	1615	Kg/m3
5	Módulo de Finura de la arena	4,2	
6	Absorción Material Agregado Grueso	1,358	%
7	Absorción Material Fino,Arena	1,84	%
8	Humedad Agregado Grueso	2,17	%
9	Humedad Arena	4,45	%

	factor	absorcion	humedad	peso unitario
CRP	0,5	1,26	1,7	1590
CRN	0,5	1,456	2,64	1640

Resultados

10	Requerimiento de agua de mezclado	213	Kg/m3 conc.
11	Relación Agua /Cemento	0,62	
12	Contenido de cemento	343	Kg/m3
13	Volumen de Agregado grueso/m3 de concreto	0,489	
14	Cantidad de Agregado Grueso, Kg/m3	789,735	Kg/m3 conc
15	Peso del Concreto Fresco	2355	Kg/m3
16	Cantidad requerida de la Arena	1009	Kg/m3
17	Verificación Beta, B	0,56	

Ajuste de los pesos de los Agregados y del Agua

18	Agregado Material Grueso (húmedo)	806,9	Kg/m3 conc
19	Agregado Material Fino (húmedo)	1053,8	Kg/m3 conc
20	Requerimiento de Agua	183,6	Kg/m3 conc

Pesos por m3 de concreto

Agua (a añadir)	183,6	Kg/m3 conc
Cemento	343	Kg/m3 conc
Agregado Grueso (húmedo)	806,9	Kg/m3 conc
Agregado Fino (húmedo)	1053,8	Kg/m3 conc

Diseño para 7 cilindros (0.042 litros)

Agua	**7,71**	**Kg/m3 conc**			
Cemento	**14,42**	**Kg/m3 conc**			
Piedra	**33,89**	**Kg/m3 conc**	**CRP**	**16,94**	**Kg/m3 conc**
			CRN	**16,94**	**Kg/m3 conc**
Arena	**44,26**	**Kg/m3 conc**			

Diseño de mezclas. Método A.C.I.

Datos:

1	Resistencia a la compresión:	250	Kg/cm2
2	Tamaño máximo del agregado	20	mm
3	Rango Asentamiento:	1518	cm
4	Peso Unitario del Agregado Grueso	1602,5	Kg/m3
5	Módulo de Finura de la arena	4,2	
6	Absorción Material Agregado Grueso	1,309	%
7	Absorción Material Fino,Arena	1,84	%
8	Humedad Agregado Grueso	1,935	%
9	Humedad Arena	4,45	%

	factor	absorcion	humedad	peso unitario
CRP	0,75	1,26	1,7	1590
CRN	0,25	1,456	2,64	1640

Resultados

10	Requerimiento de agua de mezclado	213	Kg/m3 conc.
11	Relación Agua /Cemento	0,62	
12	Contenido de cemento	343	Kg/m3
13	Volumen de Agregado grueso/m3 de concreto	0,489	
14	Cantidad de Agregado Grueso, Kg/m3	783,6225	Kg/m3 conc
15	Peso del Concreto Fresco	2355	Kg/m3
16	Cantidad requerida de la Arena	1015	Kg/m3
17	Verificación Beta, B	0,56	

Ajuste de los pesos de los Agregados y del Agua

18	Agregado Material Grueso (húmedo)	798,8	Kg/m3 conc
19	Agregado Material Fino (húmedo)	1060,2	Kg/m3 conc
20	Requerimiento de Agua	184,0	Kg/m3 conc

Pesos por m3 de concreto :

Agua (a añadir)	184,0	Kg/m3 conc
Cemento	343	Kg/m3 conc
Agregado Grueso (húmedo)	798,8	Kg/m3 conc
Agregado Fino (húmedo)	1060,2	Kg/m3 conc

Diseño para 7 cilindros (0.042 litros)

Agua	**7,73**	**Kg/m3 conc**		
Cemento	**14,42**	**Kg/m3 conc**		
Piedra	**33,55**	**Kg/m3 conc**	**CRP**	**25,16 Kg/m3 conc**
			CRN	**8,39 Kg/m3 conc**
Arena	**44,53**	**Kg/m3 conc**		

Diseño de mezclas, Método A.C.I.

Datos:

1	Resistencia a la compresión:	250	Kg/cm2
2	Tamaño máximo del agregado	20	mm
3	Rango Asentamiento:	1518	cm
4	Peso Unitario del Agregado Grueso	1590	Kg/m3
5	Módulo de Finura de la arena	4,2	
6	Absorción Material Agregado Grueso	1,26	%
7	Absorción Material Fino,Arena	1,84	%
8	Humedad Agregado Grueso	1,7	%
9	Humedad Arena	4,45	%

	factor	absorcion	humedad	peso unitario
CRP	1	1,26	1,7	1590
CRN	0	1,456	2,64	1640

Resultados

10	Requerimiento de agua de mezclado	213	Kg/m3 conc.
11	Relación Agua /Cemento	0,62	
12	Contenido de cemento	343	Kg/m3
13	Volumen de Agregado grueso/m3 de concreto	0,489	
14	Cantidad de Agregado Grueso, Kg/m3	777,51	Kg/m3 conc
15	Peso del Concreto Fresco	2355	Kg/m3
16	Cantidad requerida de la Arena	1021	Kg/m3
17	Verificación Beta, B	0,57	

Ajuste de los pesos de los Agregados y del Agua

18	Agregado Material Grueso (húmedo)	790,7	Kg/m3 conc
19	Agregado Material Fino (húmedo)	1066,6	Kg/m3 conc
20	Requerimiento de Agua	184,3	Kg/m3 conc

Pesos por m3 de concreto :

Agua (a añadir)	184,3	Kg/m3 conc
Cemento	343	Kg/m3 conc
Agregado Grueso (húmedo)	790,7	Kg/m3 conc
Agregado Fino (húmedo)	1066,6	Kg/m3 conc

Diseño para 7 cilindros (0.042 litros)

Agua	**7,74**	**Kg/m3 conc**		
Cemento	**14,42**	**Kg/m3 conc**		
Piedra	**33,21**	**Kg/m3 conc**	**CRP**	**33,21 Kg/m3 conc**
			CRN	**0,00 Kg/m3 conc**
Arena	**44,80**	**Kg/m3 conc**		

Diseño de mezclas, Método A.C.I.

Datos:

1	Resistencia a la compresión:	350	Kg/cm2
2	Tamaño máximo del agregado	20	mm
3	Rango Asentamiento:	1518	cm
4	Peso Unitario del Agregado Grueso	1640	Kg/m3
5	Módulo de Finura de la arena	4,2	
6	Absorción Material Agregado Grueso	1,456	%
7	Absorción Material Fino,Arena	1,84	%
8	Humedad Agregado Grueso	2,64	%
9	Humedad Arena	4,45	%

	factor	absorcion	humedad	peso unitario
CRP	0	1,26	1,7	1590
CRN	1	1,456	2,64	1640

Resultados

10	Requerimiento de agua de mezclado	213	Kg/m3 conc.
11	Relación Agua /Cemento	0,48	
12	Contenido de cemento	444	Kg/m3
13	Volumen de Agregado grueso/m3 de concreto	0,489	
14	Cantidad de Agregado Grueso, Kg/m3	801,96	Kg/m3 conc
15	Peso del Concreto Fresco	2355	Kg/m3
16	Cantidad requerida de la Arena	897	Kg/m3
17	Verificación Beta, B	0,53	

Ajuste de los pesos de los Agregados y del Agua

18	Agregado Material Grueso (húmedo)	823,1	Kg/m3 conc
19	Agregado Material Fino (húmedo)	936,4	Kg/m3 conc
20	Requerimiento de Agua	184,7	Kg/m3 conc

Pesos por m3 de concreto :

Agua (a añadir)	184,7	Kg/m3 conc
Cemento	444	Kg/m3 conc
Agregado Grueso (húmedo)	823,1	Kg/m3 conc
Agregado Fino (húmedo)	936,4	Kg/m3 conc

Diseño para 7 cilindros (0.042 litros)

Agua	**7,76**	**Kg/m3 conc**		
Cemento	**18,63**	**Kg/m3 conc**		
Piedra	**34,57**	**Kg/m3 conc**	**CRP**	**0,00 Kg/m3 conc**
			CRN	**34,57 Kg/m3 conc**
Arena	**39,33**	**Kg/m3 conc**		

Diseño de mezclas, Método A.C.I.

Datos:

1	Resistencia a la compresión:	350	Kg/cm2
2	Tamaño máximo del agregado	20	mm
3	Rango Asentamiento:	1518	cm
4	Peso Unitario del Agregado Grueso	1627,5	Kg/m3
5	Módulo de Finura de la arena	4,2	
6	Absorción Material Agregado Grueso	1,407	%
7	Absorción Material Fino,Arena	1,84	%
8	Humedad Agregado Grueso	2,405	%
9	Humedad Arena	4,45	%

	factor	absorcion	humedad	peso unitario
CRP	0,25	1,26	1,7	1590
CRN	0,75	1,456	2,64	1640

Resultados

10	Requerimiento de agua de mezclado	213	Kg/m3 conc.
11	Relación Agua /Cemento	0,48	
12	Contenido de cemento	444	Kg/m3
13	Volumen de Agregado grueso/m3 de concreto	0,489	
14	Cantidad de Agregado Grueso, Kg/m3	795,8475	Kg/m3 conc
15	Peso del Concreto Fresco	2355	Kg/m3
16	Cantidad requerida de la Arena	903	Kg/m3
17	Verificación Beta, B	0,53	

Ajuste de los pesos de los Agregados y del Agua

18	Agregado Material Grueso (húmedo)	815,0	Kg/m3 conc
19	Agregado Material Fino (húmedo)	942,8	Kg/m3 conc
20	Requerimiento de Agua	185,1	Kg/m3 conc

Pesos por m3 de concreto :

Agua (a añadir)	185,1	Kg/m3 conc
Cemento	444	Kg/m3 conc
Agregado Grueso (húmedo)	815,0	Kg/m3 conc
Agregado Fino (húmedo)	942,8	Kg/m3 conc

Diseño para 7 cilindros (0.042 litros)

Agua	**7,77**	**Kg/m3 conc**		
Cemento	**18,63**	**Kg/m3 conc**		
Piedra	**34,23**	**Kg/m3 conc**	**CRP**	**8,56 Kg/m3 conc**
			CRN	**25,67 Kg/m3 conc**
Arena	**39,60**	**Kg/m3 conc**		

Diseño de mezclas, Método A.C.I.

Datos:

1	Resistencia a la compresión:	350	Kg/cm2
2	Tamaño máximo del agregado	20	mm
3	Rango Asentamiento:	1518	cm
4	Peso Unitario del Agregado Grueso	1615	Kg/m3
5	Módulo de Finura de la arena	4,2	
6	Absorción Material Agregado Grueso	1,358	%
7	Absorción Material Fino,Arena	1,84	%
8	Humedad Agregado Grueso	2,17	%
9	Humedad Arena	4,45	%

	factor	absorcion	humedad	peso unitario
CRP	0,5	1,26	1,7	1590
CRN	0,5	1,456	2,64	1640

Resultados

10	Requerimiento de agua de mezclado	213	Kg/m3 conc.
11	Relación Agua /Cemento	0,48	
12	Contenido de cemento	444	Kg/m3
13	Volumen de Agregado grueso/m3 de concreto	0,489	
14	Cantidad de Agregado Grueso, Kg/m3	789,735	Kg/m3 conc
15	Peso del Concreto Fresco	2355	Kg/m3
16	Cantidad requerida de la Arena	909	Kg/m3
17	Verificación Beta, B	0,54	

Ajuste de los pesos de los Agregados y del Agua

18	Agregado Material Grueso (húmedo)	806,9	Kg/m3 conc
19	Agregado Material Fino (húmedo)	949,2	Kg/m3 conc
20	Requerimiento de Agua	185,5	Kg/m3 conc

Pesos por m3 de concreto :

Agua (a añadir)	185,5	Kg/m3 conc
Cemento	444	Kg/m3 conc
Agregado Grueso (húmedo)	806,9	Kg/m3 conc
Agregado Fino (húmedo)	949,2	Kg/m3 conc

Diseño para 7 cilindros (0.042 litros)

Agua	**7,79**	**Kg/m3 conc**
Cemento	**18,63**	**Kg/m3 conc**
Piedra	**33,89**	**Kg/m3 conc**
Arena	**39,87**	**Kg/m3 conc**

CRP	**16,94**	**Kg/m3 conc**
CRN	**16,94**	**Kg/m3 conc**

Diseño de mezclas, Método A.C.I.

Datos:

1	Resistencia a la compresión:	350	Kg/cm2
2	Tamaño máximo del agregado	20	mm
3	Rango Asentamiento:	1518	cm
4	Peso Unitario del Agregado Grueso	1602,5	Kg/m3
5	Módulo de Finura de la arena	4,2	
6	Absorción Material Agregado Grueso	1,309	%
7	Absorción Material Fino,Arena	1,84	%
8	Humedad Agregado Grueso	1,935	%
9	Humedad Arena	4,45	%

	factor	absorcion	humedad	peso unitario
CRP	0,75	1,26	1,7	1590
CRN	0,25	1,456	2,64	1640

Resultados

10	Requerimiento de agua de mezclado	213	Kg/m3 conc.
11	Relación Agua /Cemento	0,48	
12	Contenido de cemento	444	Kg/m3
13	Volumen de Agregado grueso/m3 de concreto	0,489	
14	Cantidad de Agregado Grueso, Kg/m3	783,6225	Kg/m3 conc
15	Peso del Concreto Fresco	2355	Kg/m3
16	Cantidad requerida de la Arena	915	Kg/m3
17	Verificación Beta, B	0,54	

Ajuste de los pesos de los Agregados y del Agua

18	Agregado Material Grueso (húmedo)	798,8	Kg/m3 conc
19	Agregado Material Fino (húmedo)	955,6	Kg/m3 conc
20	Requerimiento de Agua	185,8	Kg/m3 conc

Pesos por m3 de concreto :

Agua (a añadir)	185,8	Kg/m3 conc
Cemento	444	Kg/m3 conc
Agregado Grueso (húmedo)	798,8	Kg/m3 conc
Agregado Fino (húmedo)	955,6	Kg/m3 conc

Diseño para 7 cilindros (0.042 litros)

Agua	**7,80**	**Kg/m3 conc**			
Cemento	**18,63**	**Kg/m3 conc**			
Piedra	**33,55**	**Kg/m3 conc**	**CRP**	**25,16**	**Kg/m3 conc**
			CRN	**8,39**	**Kg/m3 conc**
Arena	**40,13**	**Kg/m3 conc**			

Diseño de mezclas, Método A.C.I.

Datos:

1	Resistencia a la compresión:	350	Kg/cm2
2	Tamaño máximo del agregado	20	mm
3	Rango Asentamiento:	1518	cm
4	Peso Unitario del Agregado Grueso	1590	Kg/m3
5	Módulo de Finura de la arena	4,2	
6	Absorción Material Agregado Grueso	1,26	%
7	Absorción Material Fino,Arena	1,84	%
8	Humedad Agregado Grueso	1,7	%
9	Humedad Arena	4,45	%

	factor	absorcion	humedad	peso unitario
CRP	1	1,26	1,7	1590
CRN	0	1,456	2,64	1640

Resultados

10	Requerimiento de agua de mezclado	213	Kg/m3 conc.
11	Relación Agua /Cemento	0,48	
12	Contenido de cemento	444	Kg/m3
13	Volumen de Agregado grueso/m3 de concreto	0,489	
14	Cantidad de Agregado Grueso, Kg/m3	777,51	Kg/m3 conc
15	Peso del Concreto Fresco	2355	Kg/m3
16	Cantidad requerida de la Arena	921	Kg/m3
17	Verificación Beta, B	0,54	

Ajuste de los pesos de los Agregados y del Agua

18	Agregado Material Grueso (húmedo)	790,7	Kg/m3 conc
19	Agregado Material Fino (húmedo)	962,0	Kg/m3 conc
20	Requerimiento de Agua	186,2	Kg/m3 conc

Pesos por m3 de concreto

Agua (a añadir)	186,2	Kg/m3 conc
Cemento	444	Kg/m3 conc
Agregado Grueso (húmedo)	790,7	Kg/m3 conc
Agregado Fino (húmedo)	962,0	Kg/m3 conc

Diseño para 7 cilindros (0.042 litros)

Agua	**7,82**	**Kg/m3 conc**		
Cemento	**18,63**	**Kg/m3 conc**		
Piedra	**33,21**	**Kg/m3 conc**	**CRP**	**33,21 Kg/m3 conc**
			CRN	**0,00 Kg/m3 conc**
Arena	**40,40**	**Kg/m3 conc**		

Diseño de mezclas, Método A.C.I.

Datos:

1	Resistencia a la compresión:	400	Kg/cm2
2	Tamaño máximo del agregado	20	mm
3	Rango Asentamiento:	1518	cm
4	Peso Unitario del Agregado Grueso	1640	Kg/m3
5	Módulo de Finura de la arena	4,2	
6	Absorción Material Agregado Grueso	1,456	%
7	Absorción Material Fino,Arena	1,84	%
8	Humedad Agregado Grueso	2,64	%
9	Humedad Arena	4,45	%

	factor	absorcion	humedad	peso unitario
CRP	0	1,26	1,7	1590
CRN	1	1,456	2,64	1640

Resultados

10	Requerimiento de agua de mezclado	213	Kg/m3 conc.
11	Relación Agua /Cemento	0,43	
12	Contenido de cemento	495	Kg/m3
13	Volumen de Agregado grueso/m3 de concreto	0,489	
14	Cantidad de Agregado Grueso, Kg/m3	801,96	Kg/m3 conc
15	Peso del Concreto Fresco	2355	Kg/m3
16	Cantidad requerida de la Arena	845	Kg/m3
17	Verificación Beta, B	0,51	

Ajuste de los pesos de los Agregados y del Agua

18	Agregado Material Grueso (húmedo)	823,1	Kg/m3 conc
19	Agregado Material Fino (húmedo)	882,6	Kg/m3 conc
20	Requerimiento de Agua	185,7	Kg/m3 conc

Pesos por m3 de concreto :

Agua (a añadir)	185,7	Kg/m3 conc
Cemento	495	Kg/m3 conc
Agregado Grueso (húmedo)	823,1	Kg/m3 conc
Agregado Fino (húmedo)	882,6	Kg/m3 conc

Diseño para 7 cilindros (0.042 litros)

Agua	**7,80**	**Kg/m3 conc**			
Cemento	**20,80**	**Kg/m3 conc**			
Piedra	**34,57**	**Kg/m3 conc**	**CRP**	**0,00**	**Kg/m3 conc**
			CRN	**34,57**	**Kg/m3 conc**
Arena	**37,07**	**Kg/m3 conc**			

Diseño de mezclas, Método A.C.I.

Datos:

1	Resistencia a la compresión:	400	Kg/cm2
2	Tamaño máximo del agregado	20	mm
3	Rango Asentamiento:	1518	cm
4	Peso Unitario del Agregado Grueso	1627,5	Kg/m3
5	Módulo de Finura de la arena	4,2	
6	Absorción Material Agregado Grueso	1,407	%
7	Absorción Material Fino,Arena	1,84	%
8	Humedad Agregado Grueso	2,405	%
9	Humedad Arena	4,45	%

	factor	absorcion	humedad	peso unitario
CRP	0,25	1,26	1,7	1590
CRN	0,75	1,456	2,64	1640

Resultados

10	Requerimiento de agua de mezclado	213	Kg/m3 conc.
11	Relación Agua /Cemento	0,43	
12	Contenido de cemento	495	Kg/m3
13	Volumen de Agregado grueso/m3 de concreto	0,489	
14	Cantidad de Agregado Grueso, Kg/m3	795,8475	Kg/m3 conc
15	Peso del Concreto Fresco	2355	Kg/m3
16	Cantidad requerida de la Arena	851	Kg/m3
17	Verificación Beta, B	0,52	

Ajuste de los pesos de los Agregados y del Agua

18	Agregado Material Grueso (húmedo)	815,0	Kg/m3 conc
19	Agregado Material Fino (húmedo)	888,9	Kg/m3 conc
20	Requerimiento de Agua	186,1	Kg/m3 conc

Pesos por m3 de concreto :

Agua (a añadir)	186,1	Kg/m3 conc
Cemento	495	Kg/m3 conc
Agregado Grueso (húmedo)	815,0	Kg/m3 conc
Agregado Fino (húmedo)	888,9	Kg/m3 conc

Diseño para 7 cilindros (0.042 litros)

Agua	**7,81**	**Kg/m3 conc**			
Cemento	**20,80**	**Kg/m3 conc**			
Piedra	**34,23**	**Kg/m3 conc**	**CRP**	**8,56**	**Kg/m3 conc**
			CRN	**25,67**	**Kg/m3 conc**
Arena	**37,34**	**Kg/m3 conc**			

Diseño de mezclas. Método A.C.I.

Datos:

1	Resistencia a la compresión:	400	Kg/cm2
2	Tamaño máximo del agregado	20	mm
3	Rango Asentamiento:	1518	cm
4	Peso Unitario del Agregado Grueso	1615	Kg/m3
5	Módulo de Finura de la arena	4,2	
6	Absorción Material Agregado Grueso	1,358	%
7	Absorción Material Fino,Arena	1,84	%
8	Humedad Agregado Grueso	2,17	%
9	Humedad Arena	4,45	%

	factor	absorcion	humedad	peso unitario
CRP	0,5	1,26	1,7	1590
CRN	0,5	1,456	2,64	1640

Resultados

10	Requerimiento de agua de mezclado	213	Kg/m3 conc.
11	Relación Agua /Cemento	0,43	
12	Contenido de cemento	495	Kg/m3
13	Volumen de Agregado grueso/m3 de concreto	0,489	
14	Cantidad de Agregado Grueso, Kg/m3	789,735	Kg/m3 conc
15	Peso del Concreto Fresco	2355	Kg/m3
16	Cantidad requerida de la Arena	857	Kg/m3
17	Verificación Beta, B	0,52	

Ajuste de los pesos de los Agregados y del Agua

18	Agregado Material Grueso (húmedo)	806,9	Kg/m3 conc
19	Agregado Material Fino (húmedo)	895,3	Kg/m3 conc
20	Requerimiento de Agua	186,4	Kg/m3 conc

Pesos por m3 de concreto :

Agua (a añadir)	186,4	Kg/m3 conc
Cemento	495	Kg/m3 conc
Agregado Grueso (húmedo)	806,9	Kg/m3 conc
Agregado Fino (húmedo)	895,3	Kg/m3 conc

Diseño para 7 cilindros (0.042 litros)

Agua	**7,83**	**Kg/m3 conc**		
Cemento	**20,80**	**Kg/m3 conc**		
Piedra	**33,89**	**Kg/m3 conc**	**CRP**	**16,94 Kg/m3 conc**
			CRN	**16,94 Kg/m3 conc**
Arena	**37,60**	**Kg/m3 conc**		

Diseño de mezclas, Método A.C.I.

Datos:

1	Resistencia a la compresión:	400	Kg/cm2
2	Tamaño máximo del agregado	20	mm
3	Rango Asentamiento:	1518	cm
4	Peso Unitario del Agregado Grueso	1602,5	Kg/m3
5	Módulo de Finura de la arena	4,2	
6	Absorción Material Agregado Grueso	1,309	%
7	Absorción Material Fino,Arena	1,84	%
8	Humedad Agregado Grueso	1,935	%
9	Humedad Arena	4,45	%

	factor	absorcion	humedad	peso unitario
CRP	0,75	1,26	1,7	1590
CRN	0,25	1,456	2,64	1640

Resultados

10	Requerimiento de agua de mezclado	213	Kg/m3 conc.
11	Relación Agua /Cemento	0,43	
12	Contenido de cemento	495	Kg/m3
13	Volumen de Agregado grueso/m3 de concreto	0,489	
14	Cantidad de Agregado Grueso, Kg/m3	783,6225	Kg/m3 conc
15	Peso del Concreto Fresco	2355	Kg/m3
16	Cantidad requerida de la Arena	863	Kg/m3
17	Verificación Beta, B	0,52	

Ajuste de los pesos de los Agregados y del Agua

18	Agregado Material Grueso (húmedo)	798,8	Kg/m3 conc
19	Agregado Material Fino (húmedo)	901,7	Kg/m3 conc
20	Requerimiento de Agua	186,8	Kg/m3 conc

Pesos por m3 de concreto

Agua (a añadir)	186,8	Kg/m3 conc
Cemento	495	Kg/m3 conc
Agregado Grueso (húmedo)	798,8	Kg/m3 conc
Agregado Fino (húmedo)	901,7	Kg/m3 conc

Diseño para 7 cilindros (0.042 litros)

Agua	**7,84**	**Kg/m3 conc**			
Cemento	**20,80**	**Kg/m3 conc**			
Piedra	**33,55**	**Kg/m3 conc**	**CRP**	**25,16**	**Kg/m3 conc**
			CRN	**8,39**	**Kg/m3 conc**
Arena	**37,87**	**Kg/m3 conc**			

Diseño de mezclas. Método A.C.I.

Datos:

1	Resistencia a la compresión:	400	Kg/cm2
2	Tamaño máximo del agregado	20	mm
3	Rango Asentamiento:	1518	cm
4	Peso Unitario del Agregado Grueso	1590	Kg/m3
5	Módulo de Finura de la arena	4,2	
6	Absorción Material Agregado Grueso	1,26	%
7	Absorción Material Fino,Arena	1,84	%
8	Humedad Agregado Grueso	1,7	%
9	Humedad Arena	4,45	%

	factor	absorcion	humedad	peso unitario
CRP	1	1,26	1,7	1590
CRN	0	1,456	2,64	1640

Resultados

10	Requerimiento de agua de mezclado	213	Kg/m3 conc.
11	Relación Agua /Cemento	0,43	
12	Contenido de cemento	495	Kg/m3
13	Volumen de Agregado grueso/m3 de concreto	0,489	
14	Cantidad de Agregado Grueso, Kg/m3	777,51	Kg/m3 conc
15	Peso del Concreto Fresco	2355	Kg/m3
16	Cantidad requerida de la Arena	869	Kg/m3
17	Verificación Beta, B	0,53	

Ajuste de los pesos de los Agregados y del Agua

18	Agregado Material Grueso (húmedo)	790,7	Kg/m3 conc
19	Agregado Material Fino (húmedo)	908,1	Kg/m3 conc
20	Requerimiento de Agua	187,1	Kg/m3 conc

Pesos por m3 de concreto :

Agua (a añadir)	187,1	Kg/m3 conc
Cemento	495	Kg/m3 conc
Agregado Grueso (húmedo)	790,7	Kg/m3 conc
Agregado Fino (húmedo)	908,1	Kg/m3 conc

Diseño para 7 cilindros (0.042 litros)

Agua	**7,86**	**Kg/m3 conc**			
Cemento	**20,80**	**Kg/m3 conc**			
Piedra	**33,21**	**Kg/m3 conc**	**CRP**	**33,21**	**Kg/m3 conc**
			CRN	**0,00**	**Kg/m3 conc**
Arena	**38,14**	**Kg/m3 conc**			

ANEXO 4
CALCULO DE REGRESIONES LINEALES Y COEFICIENTES DE CORRELACIÓN

%	250	350	400
0	277	387	378
25	302	377	410
50	307	381	400
75	308	393	432
100	307	404	428

250(2) n=5

X	Y	XY	X²	Y²	X/n	Y/n
0	277	0,00	0,00	76729,00	0	55,4
25	302	7548,72	625,00	91173,05	5	60,38975
50	307	15340,06	2500,00	94126,99	10	61,36024
75	308	23124,68	5625,00	95066,84	15	61,66582
100	307	30668,80	10000,00	94057,55	20	61,33761
250	**1501**	**76682,27**	**18750,00**	**451153,43**	**50,00**	**300,15**

r = 0,789876 a = 287,0021386

r² = 0,623904 b = 0,263025688

350(2) n=5

X	Y	XY	X²	Y²	X/n	Y/n
0	387	0,00	0,00	149884,89		
25	377	9416,55	625,00	141874,25	5	75,3324
50	381	19026,80	2500,00	144807,60	10	76,10719
75	393	29507,33	5625,00	154787,97	15	78,6862
100	404	40400,00	10000,00	163216,00	20	80,8
250	**1942**	**98350,67**	**18750,00**	**754570,71**	50	388,3557
					100,00	**699,28**

r = 0,736293 a = 378,2618022

r² = 0,542128 b = 0,201878512

400(2) n=5

X	Y	XY	X²	Y²	X/n	Y/n
0	378	0,00	0,00	142972,30	0	75,62336
25	410	10250,00	625,00	168100,00	5	82
50	400	19975,83	2500,00	159613,54	10	79,90333
75	432	32400,76	5625,00	186632,79	15	86,40204
100	428	42831,71	10000,00	183455,52	20	85,66342
250	**2048**	**105458,30**	**18750,00**	**840774,15**	**50,00**	**409,59**

r = 0,877599 a = 385,1099777

r² = 0,770179 b = 0,489643098

Semana 2

%	250	350	400
0	277	373	362
25	318	395	394
50	328	373	405
75	345	401	430
100	293	380	432

250(2) n=5

X	Y	XY	X²	Y²	X/n	Y/n
0	277	0,00	0,00	76718,74	0	55,39629
25	318	7942,54	625,00	100934,28	5	63,54031
50	328	16424,79	2500,00	107909,49	10	65,69916
75	345	25898,75	5625,00	119243,63	15	69,06334
100	293	29324,12	10000,00	85990,41	20	58,64824
250	**1562**	**79590,20**	**18750,00**	**490796,55**	**50,00**	**312,35**

r = 0,347639 a = 300,320426

r² = 0,120853 b = 0,24053853

350(2) n=5

X	Y	XY	X²	Y²	X/n	Y/n
0	373	0,00	0,00	139247,05		
25	395	9872,79	625,00	155955,29	5	78,98235
50	373	18673,47	2500,00	139479,43	10	74,69389
75	401	30039,96	5625,00	160426,58	15	80,10657
100	380	37999,13	10000,00	144393,36	20	75,99825
250	**1922**	**96585,36**	**18750,00**	**739501,72**	50	384,4127
					100,00	**694,19**

r = 0,241836 a = 380,555267

r² = 0,058485 b = 0,07714889

400(2) n=5

X	Y	XY	X²	Y²	X/n	Y/n
0	362	0,00	0,00	130856,91	0	72,3483
25	394	9854,87	625,00	155389,67	5	78,83899
50	405	20232,48	2500,00	163741,36	10	80,92993
75	430	32274,50	5625,00	185181,04	15	86,06533
100	432	43175,55	10000,00	186412,84	20	86,35111
250	**2023**	**105537,41**	**18750,00**	**821581,82**	**50,00**	**404,53**

r = 0,963272 a = 369,301715

r² = 0,927893 b = 0,70463906

Semana 1

%	250	350	400
0	307	401	394
25	286	358	417
50	285	388	394
75	271	386	434
100	320	453	425

250(1) n=5

X	Y	XY	X²	Y²	X/n	Y/n
0	eliminada	eliminada	eliminada	eliminada	eliminada	eliminada
25	286	7154,90	625,00	81908,12	5	57,23919
50	285	14255,33	2500,00	81285,79	10	57,02133
75	271	20350,61	5625,00	73626,21	15	54,2683
100	320	32013,49	10000,00	102486,33	20	64,02697
250	**1163**	**73774,33**	**18750,00**	**339306,45**	**50,00**	**232,56**

r =	0,547605	a =	214,94547
r² =	0,299871	b =	0,3522064

350(1) n=5

X	Y	XY	X²	Y²	X/n	Y/n
0	401	0,00	0,00	160914,26	0	80,22824
25	358	8960,31	625,00	128459,32	5	71,68244
50	388	19380,12	2500,00	150235,63	10	77,52048
75	386	28974,69	5625,00	149250,23	15	77,26583
100	453	45335,82	10000,00	205533,62	20	90,67163
250	**1987**	**102650,93**	**18750,00**	**794393,05**	**50,00**	**397,37**

r =	0,598884	a =	370,89845
r² =	0,358663	b =	0,5294036

400(1) n=5

X	Y	XY	X²	Y²	X/n	Y/n
0	394	0,00	0,00	155623,98	0	78,89841
25	417	10432,43	625,00	174136,94	5	83,45944
50	394	19719,18	2500,00	155538,42	10	78,87672
75	434	32527,03	5625,00	188090,21	15	86,73874
100	425	42487,86	10000,00	180521,84	20	84,97572
250	**2065**	**105166,50**	**18750,00**	**853911,39**	**50,00**	**412,95**

r =	0,682918	a =	397,5151
r² =	0,466377	b =	0,3086785