

**DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL MÓDULO DE ROTURA Y
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO (CASO PREVESA)**

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

JOHANNA ALEXANDRA GARCIA CALDERON

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

BUCARAMANGA

2010

**DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL MÓDULO DE ROTURA Y
LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO (CASO PREVESA)**

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL

JOHANNA ALEXANDRA GARCIA CALDERON

DIRECTOR

ING. LUZ MARINA TORRADO GOMEZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

BUCARAMANGA

2010

Nota de aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Jurado 1

Jurado 2

Bucaramanga, julio de 2010.

AGRADECIMIENTOS

En toda la experiencia universitaria y la conclusión del trabajo de grado, ha habido personas que merecen las gracias porque sin su valioso aporte no hubiese sido posible este trabajo y también hay quienes las merecen por haber plasmado su huella en mi camino.

A mis profesores, que compartieron conmigo sus conocimientos y su amor por la construcción. Especialmente a la Ingeniera Luz Marina Torrado Gómez, mi directora de Tesis, por su apoyo, paciencia, asesoramiento, y estímulo para seguir creciendo intelectualmente.

A la empresa PREVESA, extendiendo un especial agradecimiento por el apoyo logístico y humano brindado.

A mi padre por darme la estabilidad, emocional, económica y sentimental; para poder llegar a este logro, que definitivamente no hubiese podido ser realidad sin él.

A mi madre por enseñarme que todo se aprende y que todo esfuerzo al final es recompensa.

A mi hermana, por el ánimo, apoyo y alegría que me brinda, que me da fortaleza para seguir siempre adelante.

A todas y cada una de las personas que han vivido conmigo la realización de esta carrera, con sus altos y bajos y que no necesito nombrar porque tanto ellas como yo sabemos que desde lo más profundo de mi corazón les agradezco el haberme brindado todo el apoyo, colaboración, ánimo y sobre todo cariño y amistad.

Finalmente un eterno agradecimiento a esta prestigiosa universidad la cual abrió y abre sus puertas a jóvenes como nosotros, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas de bien.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	
1. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	10
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	10
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	10
2. CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES EMPLEADOS.....	11
2.1 MATERIALES.....	11
2.1.1 CEMENTO.....	11
2.1.2 AGUA PARA CONCRETO.....	19
2.1.3 AGREGADOS.....	23
2.1.4 CENIZA VOLANTE.....	33
2.1.5 ADITIVOS.....	35
2.2 CONCRETO.....	39
2.2.1 DEFINICIÓN.....	40
2.2.2 PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO.....	40
2.2.3 PROCESO DE FRAGUADO.....	47
2.2.4 PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO.....	48
2.3 ESTUDIO DE UN CASO PARTICULAR.....	51
2.3.1 GENERALIDADES DEL CEMENTO RIOCLARO.....	51
2.3.2 CARACTERIZACION DEL CEMENTO RIOCLARO.....	52
3. METODOLOGIA.....	53
4. ENSAYOS REALIZADOS A LOS MATERIALES UTILIZADOS PARA LA ELABORACION DEL CONCRETO.....	62
4.1. CEMENTO.....	62
4.1.1 PESO ESPECIFICO.....	62
4.2. AGREGADO FINO.....	63
4.2.1 PESO ESPECIFICO.....	63
4.2.2 MASAS UNITARIAS.....	64
4.2.3 GRANULOMETRIA.....	65
4.3 AGREGADO GRUESO.....	66
4.3.1 PESO ESPECIFICO.....	66
4.3.2 MASAS UNITARIAS.....	67
4.3.3 GRANULOMETRIA.....	68
4.3.4 DESGASTE MAQUINA DE LOS ANGELES.....	69
5. RESULTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS A LAS MUESTRAS DE CONCRETO.....	70
5.1 RESISTENCIA A LA COMPRESION.....	70

5.1.1 DISEÑO DE 21 MPa.....	70
5.1.2 DISEÑO DE 28 MPa.....	71
5.1.3 DISEÑO DE 35 MPa.....	72
5.2 RESISTENCIA A LA FLEXION.....	73
5.2.1 DISEÑO DE 21 MPa.....	73
5.2.2 DISEÑO DE 28 MPa.....	74
5.2.3 DISEÑO DE 35 MPa.....	75
6. ANALISIS ESTADISTICO	76
6.1 FUNCIONES ESTADISTICAS.....	76
6.1.1 PROMEDIO ARITMETICO.....	76
6.1.2 DESVIACION ESTANDAR.....	77
6.1.3 COEFICIENTE DE VARIACION.....	77
6.1.4 RANGO.....	78
6.1.5 AMPLITUD.....	78
6.1.6 MODA.....	78
6.2 NORMAS DE CONTROL.....	79
6.3 TIPOS DE GRAFICOS.....	79
6.3.1 HISTOGRAMA.....	79
6.3.2 DISTRIBUCION NORMAL.....	79
7. ANALISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	81
8. CONCLUSIONES.....	108
9. RECOMENDACIONES.....	110
10. BIBLIOGRAFIA.....	111

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Clasificación de los aditivos para concreto.....	38
Tabla 2. .Normas de control.....	79
Tabla 3. Resumen de resultados.....	105
Tabla 4. Valores promedios obtenidos.....	105

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Separación granulométrica del agregado grueso.....	53
Figura 2. Determinación de la densidad y absorción del agregado grueso.....	54
Figura 3: Determinación de la densidad y absorción del agregado fino.....	55
Figura 4. Determinación de masas unitarias.....	55
Figura 5. Determinación del contenido de materia orgánica.....	56
Figura 6. Determinación del peso específico del cemento.	57
Figura 7. Elaboración de especímenes para ensayos de compresión.....	58
Figura 8. Elaboración de especímenes para ensayos de flexión.....	58
Figura 9. Ensayo de resistencia a compresión	59
Figura 10. Ensayo de resistencia a flexión.	59
Figura 11. Metodología aplicada.....	61
Figura 11. Gráfico de resultados según relación potencial.....	106
Figura 12. Gráfico de resultados según relación lineal.....	107

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL MÓDULO DE ROTURA Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO (CASO PREVESA)

AUTOR(ES): JOHANNA ALEXANDRA GARCIA CALDERON

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): LUZ MARINA TORRADO GÓMEZ.

RESUMEN

La calidad del concreto representa un parámetro fundamental en el correcto desarrollo de las obras civiles modernas. La resistencia a flexión y a compresión son indicadores del desempeño que presenta un concreto preparado luego de cumplir satisfactoriamente su ciclo de fraguado. En la práctica, los ensayos de flexión requieren la elaboración de muestras más costosas que las utilizadas en los ensayos de compresión y con cuidados especiales en su manejo y transporte al sitio de ensayos. Por esta razón, es más común el uso de ensayos de compresión para determinar la calidad de un concreto preparado. Sin embargo, en concretos para pavimentos, es vital conocer el desempeño de éste a la flexión. En la práctica, es común utilizar la relación directa que existe entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión para obtener los valores de la resistencia a flexión mediante una relación matemática a partir de los valores obtenidos de resistencias a compresión, para obtener un modelo del comportamiento a flexión.

El presente proyecto de grado, determina de forma experimental, una constante matemática que relaciona de forma directa el módulo de rotura y la resistencia a compresión del concreto preparado en la empresa PREVESA, para 21 MPa, 28 MPa y 35 MPa.

Esta relación matemática obtenida experimentalmente para el caso particular de la Planta PREVESA y expresada por la ecuación $M_r = 2,39 * \sqrt{f'_c}$ esta validada por la relación planteada por el Instituto del Concreto ASOCRETO en el año 2000, donde M_r es la resistencia a la flexión y f'_c es la resistencia a la compresión, ecuación que se encuentra dentro de los límites establecidos por dicho Instituto.

PALABRAS CLAVES: Modulo de rotura, resistencia a la compresión, concreto

GENERAL SUMMARY OF WORK OF DEGREE

TITLE: DETERMINING THE CONNECTION BETWEEN THE MODULUS OF BREAKING STRENGTH AND THE COMPRESSIVE STRENGTH (PREVESA CASE-STUDY)

AUTHOR: JOHANNA ALEXANDRA GARCIA CALDERON

FACULTY: Faculty of civil engineer

PROJECT DIRECTOR: LUZ MARINA TORRADO GÓMEZ.

ABSTRACT

The concrete's quality is fundamental for assuring the proper behavior of civil projects now days. Determining the flexural strength involves the preparation of more expensive specimens compared to those used in compressive strength determination; furthermore, the specimens requires an special treatment and extra care during the handling and transportation process to the test area. Due to these complications, field engineers commonly prefer the determination of the compressive strength as a quality control technique. However, when it comes to special purpose concretes, such as those used in pavements fabrication, is of great importance for the engineers to determine the modulus of rupture. In the everyday engineering practice, it is common to use the direct mathematical relation existing between the flexural and the compressive strength, in order to obtain a mathematical model, engineers can infer the material's ability to resist deformation under load.

This thesis, using an experimental procedure, determines a mathematical constant resulting in the direct relation between the modulus of rupture and the compressive strength of a concrete produced at the PREVESA industrial facility located in Bucaramanga, for 21 MPa, 28 MPa and 35 MPa.

The mathematical equation resulting of the experimental methodology using PREVESA's concrete is consistent with the equation $M_r = 2,39 * \sqrt{f'_c}$ proposed by ASOCRETO, in the year 2000, where M_r is the flexural strength and f'_c corresponds to the compressive strength, equation that one finds inside the limits established by the above mentioned Institute.

KEY WORDS: flexural strength, compressive strength, concrete.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, debido al crecimiento de la población urbana en las principales capitales de Colombia, y gracias al desarrollo económico y tecnológico del país, se ha presentado un notable auge de los Sistemas Integrados de Transporte Masivo, acompañado de un desarrollo de la malla vial rural y urbana del país. El aumento de las obras civiles requeridas para este desarrollo vial implica desarrollar metodologías que garanticen la calidad de los trabajos y la durabilidad de los pavimentos.

La industria civil colombiana, al igual que en la mayoría de países, utiliza la Resistencia a la Flexión como parámetro para medir la calidad de los concretos utilizados principalmente en pavimentos. Conforme con los procedimientos descritos en las normas técnicas ASTM C239 y la NTC 2875 los ensayos para determinar la resistencia a la flexión deben realizarse sobre vigas cuadradas con sección de 15 x 15 cm y una longitud de 50 cm. Estos ensayos de Flexión, en comparación con los ensayos de resistencia a compresión con el uso de cilindros de concreto, son considerablemente más costosos y representan mayor desgaste en obra debido al especial cuidado que se debe tener con las muestras. Es en este punto donde nace la necesidad de determinar de forma más práctica y económica: la resistencia a la flexión.

En el presente proyecto, haciendo uso de la relación directa entre la resistencia a la flexión y la resistencia a la compresión, y mediante una metodología práctica, realizando trabajo de campo en la empresa PREVESA, se determina la ecuación matemática que permite relacionar, mediante una constante, los parámetros de módulo de rotura y resistencia de compresión del concreto, indispensables para el diseño y control de pavimentos. Esta constante es determinada de forma práctica mediante ensayos de laboratorio aplicados a los concretos producidos por la empresa PREVESA.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del concreto producido en la empresa PREVESA.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar las propiedades físicas de los agregados utilizados por la empresa PREVESA en la elaboración de concretos.

Realizar ensayos de resistencia a compresión y de flexión para diseños de mezclas para 21, 28 y 35 Mpa, con concreto elaborado en la empresa PREVESA.

Plantear ecuaciones para la determinación de la correlación existente entre la resistencia a la compresión y el módulo de rotura.

2. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES

Durante varias décadas, el concreto ha prevalecido como el material de construcción más utilizado en todo tipo de proyectos de ingeniería, gracias a su versatilidad de forma, función y economía. De igual forma, el concreto armado se convierte en un material artificial capaz de resistir tanto la compresión como la tracción y la flexión, una combinación de esfuerzos mecánicos que las piedras naturales no alcanzan a resistir satisfactoriamente.

En la práctica, cada proyecto de ingeniería trae consigo requerimientos específicos de las propiedades y características del concreto para obtener un comportamiento específico, y éste comportamiento puede determinarse mediante el proporcionamiento adecuado de los componentes de la mezcla. Es esta mezcla de un material aglutinante, un material de relleno, agua y según lo amerite, aditivos específicos, la que define en términos generales el concreto, y determina, después de cierto tiempo de endurecimiento, la resistencia de esta piedra artificial a esfuerzos mecánicos. En este punto, nace la importancia del estudio de cada uno de los componentes de la mezcla, de su correcta dosificación y del efecto que cada uno tendrá eventualmente en el comportamiento y resistencia a los esfuerzos de compresión del concreto, así como su resistencia a esfuerzos de tracción y flexión en concretos armados.

2.1. MATERIALES

2.1.1. Cemento.

El cemento en la actualidad es el elemento activo más importante en las mezclas de concreto o mortero, y se posesiona como la materia prima más indispensable y más ampliamente utilizada en todos los proyectos de construcción. (Sánchez de Guzmán, 1987)

La definición general de la palabra cemento como un material aglomerante con propiedades de adherencia y cohesión indispensables para la unión de

fragmentos minerales entre sí, formando una mezcla compacta, abarca también a materiales como las cales, asfaltos y alquitranes. Sin embargo, cuando se habla de concreto para estructuras, la palabra cemento, implícitamente denota al Cemento Portland o cemento a base de portland, el cual mediante un proceso de hidratación, experimenta un endurecimiento y eventualmente un secado adoptando su forma y resistencia final. Es de este proceso de hidratación donde nace el nombre de cementos hidráulicos.

El cemento portland se fabrica generalmente a partir de materiales minerales calcáreos, tales como la caliza, y por alúmina y sílice, que se encuentran como arcilla en la naturaleza¹. Productos como el óxido de hierro son adicionados en ocasiones para mejorar la composición química de las materias primas principales. Ésta mezcla de materiales se procesa a altas temperaturas y se mezcla con yeso.

“Su nombre obedece a la similitud en el aspecto del cemento endurecido con una piedra que abunda en Portland, Inglaterra y fue patentado por Joseph Aspdin en 1824².”

El proceso de fabricación del cemento varía dependiendo de circunstancias particulares de la planta productora, así como de la presencia o ausencia de agua en la mezcla y pulverización de materias primas. La elección entre un proceso de fabricación húmedo y un proceso seco, depende de factores tanto físicos como económicos.

En general, en todos los procesos de fabricación se cumplen las siguientes etapas:

a. *Explotación de Materias Primas.*

Procedimiento realizado conforme con los parámetros y normas propias de la industria de la explotación de materias primas. En cuanto a las arcillas, un proceso de arrastre de material es generalmente suficiente para su extracción. Las calizas, por el contrario, debido a su dureza, generalmente involucran el uso de explosivos y posteriormente un proceso de trituración primaria

¹ TECNOLOGÍA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO. Diego Sánchez de Guzmán. Ingeniero Civil Ms. I.C. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, D.E. 1987. Capítulo 2. Pág. 32.

² COLECCIÓN BÁSICA DEL CONCRETO 1, TECNOLOGÍA Y PROPIEDADES. INSTITUTO DEL CONCRETO. ASOCRETO. 4ª Ed. Impresa. 2000. Pág. 31.

con el fin de obtener tamaños máximos de 25 mm o equivalentes a 1”.

b. *Dosificación, Molienda y Homogenización.*

En este punto del proceso de fabricación, se debe elegir entre seguir un proceso húmedo o un proceso seco. En el primero, las materias primas son sometidas a la acción de molinos de crudo, donde la reacción de la arcilla con el agua forma una lechada, la cual es llevada a silos de almacenamiento o silos de crudo, donde son estudiadas sus características químicas con el fin de conocer la correcta dosificación en proporciones definidas y se envía a los silos de normalización. En los silos de normalización se realizan las correcciones necesarias para obtener una pasta de calidad deseada, una vez normalizada la pasta, se transporta a un tanque circular denominado “balsa” donde se mantiene la homogeneidad y se almacena la pasta. En el Proceso Seco, las materias primas son trituradas y dosificadas adecuadamente en el molino de crudo, en donde se secan a menos de 1 a 2 % de agua, y se trituran obteniendo un polvo fino denominado crudo o harina. Esta harina es posteriormente transportada a silos de homogenización donde con la ayuda de aire a presión se obtiene la mezcla de los materiales. Como puede apreciarse, la etapa de homogenización se presenta tanto en el proceso húmedo como en el proceso seco, y es requerimiento para el contacto íntimo entre los distintos componentes.

c. *Clinkerización.*

Bien sea la pasta obtenida por proceso húmedo, o la harina obtenida mediante proceso seco, éstas deben someterse a un tratamiento térmico en grandes hornos rotatorios. Éste horno está fabricado en acero de forma cilíndrica y es recubierto en material refractario con el fin de conservar mejor el calor ya que disminuye las pérdidas por radiación, y al mismo tiempo éste material refractario protege al horno de las elevadas temperaturas. Los hornos utilizados en el proceso húmedo y el proceso seco presentan algunas diferencias constructivas, pero en general los cambios que sufre la pasta o la harina en cada caso, pueden

generalizarse de la siguiente manera (Sánchez de Guzmán Diego, Tecnología del concreto y del mortero, 1987) :

- ✓ Evaporación del agua libre. Hasta 100°C
- ✓ Deshidratación de los minerales arcillosos. Por encima de 500°C.
- ✓ Liberación de CO₂. A 800°C.
- ✓ Cristalización de los productos minerales descompuestos. Por encima de 900°C.
- ✓ Descomposición del carbonato.
- ✓ Reacción del CaO con los silicoaluminatos. De 900°C – 1200°C.
- ✓ Formación de líquidos. De 1250°C a 1280°C.
- ✓ Formación de líquidos y de los compuestos del cemento (Clinkerización). Por encima de 1280°C y hasta 1500°C.

d. *Enfriamiento.*

El material que sale del horno en forma de bolas de dimensiones entre los 3 y los 30 mm y a temperaturas de 1200°C y 1300°C, conocido como *clinker*, debe enfriarse rápidamente hasta una temperatura entre los 50°C y los 70°C para garantizar que el cemento después de fraguado el volumen no presente cambios. El clinker frío es característicamente negro, reluciente y de consistencia dura.

e. *Molienda y Adiciones Finales.*

Durante este proceso, el clinker es transformado en polvo en un molino, en donde es pulverizado con pequeñas adiciones de yeso en 2 a 5%, el cual evita el fraguado relámpago del cemento regulando la velocidad de endurecimiento del mismo. El producto final de este proceso es lo que se conoce comúnmente como Cemento Portland, el cual propiamente definido, es aquel que no recibe adición distinta al yeso³. Si este producto final, recibe

³ TECNOLOGÍA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO. Diego Sánchez de Guzmán. Ingeniero Civil Ms. I.C. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, D.E. 1987. Capítulo 2. Pág. 39.

adiciones importantes, adquiere el nombre de Cementos a base de Portland.

f. *Almacenamiento, empaque y distribución.*

Corresponden a los procesos finales en la fabricación del cemento portland y a base de portland, y deben cumplir con todas las normas y requerimientos técnicos y comerciales de la industria. Es de especial cuidado el almacenamiento del cemento, ya que al cabo de unos tres meses puede perder sus propiedades, y en algunos casos, como en el del cemento empacado en sacos de papel triple, se puede perder hasta 20 % de su resistencia al cabo de 4 a 6 semanas. (Colección básica del concreto 1, tecnología y propiedades. Instituto del concreto. Asocreto. 4ª Ed. Impresa. 2000.)

Existen en la actualidad once clases de cemento portland de acuerdo con la norma colombiana NTC 30 - Cemento Portland Clasificación y Nomenclatura, los cuales son fabricados para satisfacer diversas necesidades y cumplir propósitos específicos. De igual forma, la industria fabrica lo que se conoce como Cemento Portland Adicionados o Cemento a Base de Portland, los cuales como se menciono anteriormente se obtienen adicionando al clinker del portland elementos adicionales al yeso. (Instituto del Concreto Asocreto,2000)

Una vez conocido el proceso de fabricación del cemento, un estudio de sus propiedades químicas, físicas y mecánicas permite entender mejor su comportamiento como material cementante

a. *Propiedades Químicas.*

En general, y para efectos prácticos, la química del cemento se entiende como la química de los silicatos y aluminatos cálcicos anhidros e hidratados, expresando a menudo las formulas con la suma de óxidos.

Las reacciones químicas del cemento se resumen a continuación:

- ✓ Hidratación del Cemento: Reacción mediante la cual el cemento se convierte en un agente de enlace, éste al entrar en contacto con el agua conforma una pasta y posteriormente se desarrollan lentamente estructuras cristalinas cementantes.
- ✓ Formación de la pasta del cemento: Esta formación de la pasta es consecuencia de las reacciones químicas del cemento con el agua. Los compuestos anhidros del cemento portland reaccionan con agua dando origen a compuestos cristalinos hidratados y una sustancia gelatinosa llamada gel. Éste gel, en principio inestable por la cantidad de agua que posee, va ganando estabilidad a medida que los componentes cristalinos continúan hidratándose haciendo uso del agua del gel, estabilizando este último y convirtiéndose así en un gel estable responsable de las propiedades mecánicas de las pastas endurecidas.
- ✓ Calor de Hidratación. Es la cantidad de calor expresado en unidades de calorías/gramo de cemento deshidratado, luego de una hidratación completa a una temperatura dada.

En Colombia, la norma técnica NTC 321 fija las especificaciones químicas que debe tener un Cemento Portland.

b. *Propiedades Físicas y Mecánicas.*

Estas propiedades dependen del estado en el cual se encuentre el cemento, y son medidas a través de ensayos sobre el cemento puro, sobre la pasta de cemento y sobre el mortero. Estos ensayos determinan las características físicas y mecánicas del cemento antes de ser utilizado.

Ensayos sobre polvo de cemento:

- ✓ **Peso Específico (Densidad):** Es por definición, la relación entre la masa de una cantidad dada y el volumen absoluto de esa masa. Suele estar entre los 3.10 y 3.15 gr/cm³ cuando no hay adiciones distintas al yeso. Esta propiedad no define directamente la calidad de un cemento por sí sola, pero si es analizada en conjunto, puede ayudar a deducir otras características. Su utilidad principal se encuentre en el diseño y control de mezclas de concreto.
- ✓ **Superficie específica (Finura):** La finura del cemento está determinada por el proceso de molienda de clinker y yeso, y corresponde al tamaño de las partículas del cemento. La finura está relacionada con la velocidad de hidratación, el desarrollo de calor, la retracción y el aumento de la resistencia. A mayor finura se obtiene un endurecimiento más rápido y un desarrollo rápido de la resistencia, sin embargo, obtener una alta finura implica mayores costos de fabricación del cemento y un deterioro más rápido del cemento en su almacenamiento. De igual forma, los concretos fabricados con cementos de alta finura, tienen mayor tendencia son más susceptibles a la fisura.

Ensayos sobre la pasta de cemento:

- ✓ **Consistencia normal:** Indica el grado de fluidez o dificultad con que la pasta de cemento puede ser manejada. Una cantidad de agua adicionada al cemento le proporciona una determinada fluidez, la cual se incrementa con el aumento del agua. El contenido de agua en una pasta normal se expresa en porcentaje en masa del cemento seco y cae entre un 23 y un 33 %.
- ✓ **Tiempo de Fraguado:** Termino utilizado para describir la rigidez de la pasta, es decir para describir el cambio del estado plástico al estado endurecido de una pasta de cemento. La determinación de los tiempos de fraguado inicial y final son importantes pues indican el tiempo disponible para mezclar, transportar, colocar, vibrar y afinar concretos y morteros en una obra, así como para transitar

sobre ellos y para mojarlos con miras al curado. La determinación de estos tiempos se hace de acuerdo con el procedimiento descrito en la NTC 109 utilizando el aparato de Gillmore.

- ✓ Falso Fraguado. Fenómeno que ocurre a la pasta de cemento cuando adquiere una rigidez prematura y anormal, dentro de los primeros minutos después de mezclar el cemento y el agua. Este fenómeno se detecta siguiendo la metodología descrita por las NTC 225 y NTC 297.
- ✓ Expansión en autoclave: Es necesario, para la estabilidad del cemento, que ninguno de sus componentes, una vez hidratados, sufra expansión perjudicial o destructiva. Las normas técnicas colombianas limitan la expansión potencial de un cemento por medio del ensayo de autoclave NT C107.

Ensayos sobre el mortero:

- ✓ *Resistencia Mecánica:* Es la propiedad más determinante de un cemento en cuanto a los requisitos para sus usos estructurales. Para la medida de la resistencia mecánica, esta mundialmente estandarizado que se utilice el uso de morteros para los ensayos, siendo este un intermedio entre la pasta y el concreto. La arena de preparación, no está totalmente estandarizada, Colombia en este aspecto se rige por las normas ASTM, la cual indica el empleo de arena traída del área de Ottawa, Canadá. En la proporción de la mezcla tampoco existe un acuerdo mundial, en Colombia se sigue la norma NTC 220 y la ASTM C109 que indica una proporción de 1: 2,75.
- ✓ *Resistencia a la flexión:* Ensayo descrito en la NTC 120, el cual muestra el comportamiento del mortero cuando es sometido a esfuerzos de flexión.
- ✓ *Ensayo a tracción:* Busca conocer el comportamiento del mortero cuando es sometido a tensión.
- ✓ *Ensayo a Compresión:* Regido por la NTC 220.

2.1.2. Agua para concreto.

El agua se constituye como el elemento preponderante en la elaboración de concreto y mortero, gracias a la importante función que cumple durante del estado plástico, el proceso de fraguado y el estado endurecido. Su referencia en la mezcla para concreto y morteros no solo es importante en cuanto a la relación agua / cemento, dependiendo de las necesidades de resistencia y manejabilidad, también es de vital importancia tomar en consideración la calidad química y física del agua a utilizar en la mezcla.

Gracias al agua, el cemento se ve sometido a reacciones químicas que le permiten fraguar y endurecer formando un sólido único con sus agregados. De los procesos de fraguado y endurecimiento, surge la clasificación de dos tipos de agua a utilizar en la preparación de concretos y morteros: El agua de mezclado y el agua de curado.

a. *Agua de Mezclado.*

Se define como la cantidad de agua por volumen unitario de concreto que requiere el cemento, contenido en este volumen unitario, para producir una pasta eficientemente hidratada, con una fluidez que permita una lubricación adecuada de los agregados cuando la mezcla se encuentra en estado plástico⁴.

El agua de mezclado es aquella que se adiciona junto con los agregados y el cemento, y dependiendo de su cantidad, será posible obtener una fluidez determinada de la pasta de cemento. Al endurecerse la pasta de cemento, una parte del agua quedara fija como parte de la estructura, y otra parte permanecerá como agua libre, en términos generales, estas dos formas básicas de agua presentes en la pasta hidratada se conocen como Agua de Hidratación, la cual forma parte químicamente del gel de cemento; y Agua Evaporable, correspondiente al agua restante que existe en la pasta, evaporable a 0% de humedad relativa del ambiente y a 110°C. En estudios más profundos, normalmente se mencionan: las Aguas de Absorción, conocida como agua activa

⁴ TECNOLOGÍA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO. Diego Sánchez de Guzmán. Ingeniero Civil Ms. I.C. Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, D.E. 1987. Capítulo 3. Pág. 73.

debido a su influencia directa en el comportamiento del concreto bajo carga; el Agua Capilar, la cual ocupa los poros capilares de la pasta; y el Agua Libre, la cual puede evaporarse con facilidad.

b. Agua de Curado.

Por definición, el proceso de curado hace referencia al conjunto de condiciones como humedad y temperatura, requeridas para la hidratación no interrumpida de la pasta hasta que la totalidad del cemento se hidrate permitiendo así que el concreto alcance sus propiedades potenciales. El objetivo principal del proceso de curado es entonces el de mantener el concreto lo más próximo posible a la saturación, permitiendo que los espacios inicialmente saturados por agua, sean ocupados por los productos derivados de la hidratación del cemento, conocido comúnmente como “gel”.

La pureza del agua de curado debe ser considerada con el fin de evitar manchas en la superficie del concreto, especialmente para concretos de uso arquitectónico, y de evitar impurezas que puedan eventualmente atacar o deteriorar el concreto.

En algunos procesos, también se toma en consideración el agua de lavado de los agregados, la cual es utilizada durante el proceso de trituración con el fin de retirar algunas impurezas, las cuales afectarían la calidad del concreto producido con agregados “sucios”

c. Efecto de las impurezas del agua de mezclado en el concreto final.

Como se ha mencionado, la calidad del agua y sus propiedades físicas y químicas afectan considerablemente el desempeño y la calidad de un concreto y del mortero, por esta razón, existe una norma que define las propiedades asociadas al agua utilizada en concretos y morteros, esta norma es la ASTM D-1129 y en

resumen maneja algunas de las propiedades características mencionadas en la norma:

- ✓ Acidez. Capacidad de reacción con iones OH^- .
- ✓ Alcalinidad. Capacidad de reacción con iones H^+ .
- ✓ Cloro Residual. Cantidad disponible de cloro.
- ✓ Dureza. Concentración de cationes polivalentes. (Calcio y Magnesio)
- ✓ Partículas en suspensión. Materia no líquida dispersada del agua.
- ✓ pH. Referente a la actividad del ión hidrógeno en soluciones acuosas.
- ✓ Turbidez. Reducción de transparencia de una muestra debida a la presencia de material particular.

Las diferentes propiedades del agua utilizada en la mezcla así como sus condiciones físicas y químicas presentan un efecto considerable en la calidad del concreto, resumidamente, se analiza a continuación el efecto de algunas impurezas:

i. Cloruros y Sulfatos.

El cloruro puede generar corrosión en los aceros de refuerzo o en los cables de tensión de un concreto pre-esforzado.

ii. Carbonatos y Bicarbonatos Alcalinos.

Estas impurezas tienen efectos sobre los tiempos de fraguado de los distintos cementos. El carbonato de sodio causa fraguados muy rápidos, los bicarbonatos pueden retardar o acelerar el fraguado. Si existen altas concentraciones de estas sales, es posible que se reduzca considerablemente la resistencia del concreto.

iii. Sales inorgánicas.

Sales como las de magnesio, estaño, zinc, cobre y plomo causan reducciones significativas en la resistencia y grandes variaciones en los tiempos de fraguado. El sulfato de sodio igualmente deteriora el concreto considerablemente.

iv. Aguas Ácidas.

Las aguas ácidas con valores de pH por debajo de 3.0 deben ser evitadas en lo posible y ocasionan problemas de manejo.

v. Aguas Alcalinas.

Las concentraciones altas de hidróxido de hidrógeno pueden reducir la resistencia del concreto o mortero. El hidróxido de potasio reduce la resistencia considerablemente en algunas clases de cementos.

vi. Aguas con Azúcar.

Una gran cantidad de azúcar en el agua, un 0.25% o más, causa un fraguado rápido y una disminución de la resistencia a los 28 días.

vii. Aguas con Aceite.

El aceite mineral, en concentración superior al 2% por peso del cemento, puede reducir la resistencia del concreto en un 20% o más.

viii. Aguas Negras.

En ningún caso es recomendable el uso de aguas negras para la mezcla de concreto, ya que generalmente contienen 400 ppm de materia orgánica.

ix. Agua con Algas.

La presencia de algas produce inclusión de aire ocasionando la pérdida de resistencia y afectando considerablemente la hidratación del cemento.

x. Agua de Mar.

En general es recomendada solo para concretos no reforzados. En el concreto produce una pérdida de resistencia a largo plazo inferior al 15%. En el concreto reforzado, el agua de mar incrementa el riesgo de corrosión del acero de refuerzo, especialmente en climas tropicales.

d. Ensayos del agua.

Se cuentan con ensayos ya estandarizados para medir y determinar la calidad del agua a utilizarse en una mezcla de concreto, y son los siguientes:

- ✓ Calcio y Magnesio en el Agua. Norma ASTM D-15
- ✓ Cloruros. Norma ASTM D-512
- ✓ Sulfatos. Norma ASTM D-516
- ✓ pH del Agua. Norma ASTM D-1239
- ✓ Acidez y alcalinidad. Norma ASTM D-1067
- ✓ Partículas y materia disuelta en el agua. ASTM D-1888

2.1.3. Agregados.

El concreto como tal está constituido en su mayor parte por agregados, alrededor de un 70% y un 80% en volumen, es natural entonces que gran parte de las características del concreto, tanto en estado plástico como en estado endurecido, dependan de las características y propiedades de los agregados. Es por esta razón, que las propiedades de los agregados son

objeto de estudio detallado buscando obtener concretos de alta calidad y económicamente viables.

Se conoce de forma general a los agregados o algunas veces llamados áridos, a todos aquellos materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales, que aglomerados por el cemento portland, en presencia de agua conforman un todo compacto conocido como concreto u hormigón.

Específicamente hablando del concreto, los agregados deben contar con una resistencia propia suficiente garantizando una adherencia suficiente con la pasta endurecida de cemento portland. Factores como el origen de los agregados, la distribución granulométrica, la densidad, forma y superficie determinan la calidad de los agregados.

Dependiendo de su tamaño, se clasifican los agregados en finos y gruesos, fijando un tamaño entre 0,075 mm y 4,76 mm para el agregado fino, y un tamaño mayor a 4,76 mm para agregado grueso.

El origen de los agregados naturales nace en procesos, como su nombre lo indica, naturales que involucran condiciones especiales de temperatura y presión, al igual que efectos que meteorización o intemperismo y erosión.

Al ser procesos naturales, las rocas experimentan una secuencia de fenómenos denominada el Ciclo de las Rocas, dando origen a tres clasificaciones a saber:

- ✓ *Rocas Ígneas*. Las cuales constituyen la mayor parte de la porción sólida de la tierra, y a partir de las cuales se derivan los otros grupos de rocas. Son conformadas por el enfriamiento y solidificación del magma.
- ✓ *Rocas Sedimentarias*. Compuestas de material proveniente de la desintegración y descomposición por meteorización y transporte de las rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.
- ✓ *Rocas Metamórficas*. Nacen de la transformación de rocas pre-existentes bajo la acción de altas temperaturas y presiones al interior de la tierra.

En cuanto a los factores que indican la calidad de los agregados, éstos pueden compararse con agregados ya conocidos mediante análisis visual y análisis petrográficos, análisis que se encuentra descrito en la norma ASTM C-295. De igual forma, es posible determinar la calidad del material a partir de su carácter mineralógico, el cual viene dado por las características de la roca madre de la cual provengan, características que se encuentran descritas para los agregados más comunes en la norma ASTM C- 294.

Los agregados pueden ser clasificados de acuerdo con su procedencia, tamaño y densidad.

a. *Clasificación por Procedencia.*

Ésta clasificación se basa en el origen de los agregados, ya sea que provengan de origen natural o fabricados a partir de productos industriales.

- i. Agregados Naturales. Obtenidos de la explotación de depósitos de arrastre fluviales o glaciares, y de canteras de diversas rocas y piedras naturales.
- ii. Agregados Artificiales. Todos aquellos obtenidos a partir de procesos industriales. Entre los más comunes se encuentran las arcillas expandidas, escorias de alto horno, clinker y limaduras de hierro.

b. *Clasificación según su tamaño.*

Corresponde a la forma de clasificación mas empleada y varía desde las fracciones de milímetros hasta varios centímetros de sección transversal. A ésta distribución de los tamaños de las partículas se le conoce como Granulometría. En general, se cuentan con Agregados Gruesos y Agregados Finos, sin embargo también existe lo que se conoce como fracciones muy finas que no deben superar el 5% del material que pasa el tamiz No 200, las cuales no son recomendadas para su uso en concretos.

c. *Clasificación según su densidad.*

De acuerdo con la relación masa / volumen, los agregados naturales así como los artificiales pueden clasificarse en tres grupos generales:

- i. Livianos. Como las pizarras expandidas, los esquistos y la arcilla. Es utilizado normalmente en concretos livianos estructurales.
- ii. Normales. Incluidos la grava, la arena, la piedra triturada y el clinker. Utilizados en obras en concreto en general.
- iii. Pesados. Como la barrita, la limonita, magnetita, y la limadura de acero. Son generalmente utilizados en concretos para macizos de anclaje, para protección contra radiación entre otros.

Como se ha resaltado anteriormente, las propiedades de los agregados afectan directamente las características de los concretos elaborados, debido a esto es importantes seleccionarlos correctamente, para lo cual se tienen en cuenta los siguientes criterios:

- a. *Carácter de Trabajo.* Para cada proyecto específico, los agregados deben cumplir determinadas condiciones, en algunos casos, por ejemplo, donde la resistencia a la flexión sea el factor más importante, la forma de las partículas del agregado adquiere un papel fundamental. De igual forma, en cuanto a eficiencia de colocación, las características físicas de los agregados también deben considerarse.
- b. *Condiciones Climáticas.* En cuanto a clima se refiere, debe tenerse especial cuidado en la solidez y mineralogía de los agregados cuando se trabaja en un medio ambiente agresivo.

- c. *Factores que afectan la durabilidad.* La durabilidad de una estructura no siempre está determinada por la matriz de cemento, en ocasiones, como es el caso de las estructuras hidráulicas o de drenaje, es de vital importancia la calidad de los agregados, tomando en cuenta su dureza, la forma de sus partículas y su granulometría. En cuanto a resistencia, ésta es proporcionada por los agregados cuando se trabaja en condiciones de abrasión y erosión severa.

- d. *Economía.* En este punto se tienen en cuenta diferentes factores a saber:
 - i. Efecto del costo del agregado sobre el precio del concreto basado en la calidad del agregado.

 - ii. Efecto del agregado sobre los costos de construcción asociados con la facilidad y velocidad de colocación.

 - iii. Costo de las medidas de diseño necesarias basadas en las propiedades del agregado y el concreto.

 - iv. Costos de mantenimiento dependiendo de la velocidad de deterioro del concreto con diferentes agregados en un determinado medio ambiente.

La determinación de la calidad y de las propiedades asociadas a los agregados a ser usados en un proyecto dado, se realiza mediante la realización de ensayos que permitan determinar las propiedades de un lote de agregados. Estos ensayos, naturalmente, no son realizados sobre todo el lote de agregados disponible, es realizado sobre una muestra del agregado, la cual debe ser satisfactoriamente representativa de forma tal que permita afirmar con confianza que las características de la muestra representan las características del lote de agregados. La correcta realización del muestreo es fundamental entonces para este propósito, por lo cual se estandarizan algunas técnicas de muestreo en las normas técnicas colombianas, particularmente en la NTC 129. En la práctica, no siempre es posible muestrear bajo las condiciones de la norma NTC 129, en estos casos es recomendable, definir un plan de muestreo adecuado que garantice representatividad de la muestra obtenida para el ensayo, la cual deberá tomarse por el método del cuarteo.

El muestreo y los ensayos sobre los agregados permiten la determinación de propiedades físicas y químicas, las cuales deben ser consideradas, y en ocasiones exigidas al momento de la selección de un agregado para una aplicación específica. A continuación se sintetizan las propiedades físicas y químicas relevantes.

a. ***Propiedades Químicas.***

Los agregados deben cumplir con determinadas propiedades químicas que eviten la presencia de sustancias y componentes mineralógicos agresivos que puedan causar reacciones desfavorables en la masa del concreto.

En un caso particular, la sílice activa, presente en algunos agregados, reacciona con los álcalis del cemento produciendo expansiones, destrucción de la masa y pérdida de las características resistentes. La detección de sílice activo se realiza mediante ensayos de reactividad potencial por el método químico descrito en la norma NTC 175.

Actualmente, solo se conoce una reacción química favorable de los agregados, esta es llamada Epitaxia, la cual proporciona mejor adherencia entre algunos agregados calizos y la pasta de cemento con el paso del tiempo.

b. ***Propiedades Físicas.***

Entre las de mayor importancia se encuentran:

i. ***Granulometría.***

Definida como la composición porcentual de los diversos tamaños de agregados en una muestra. Es usualmente indicada de mayor a menor tamaño, por una cifra que representa, en peso, el porcentaje parcial de cada tamaño que pasó o quedó retenido en los diferentes tamices que se usan obligatoriamente para la medición.

La obtención de un buen concreto, desde el punto de vista de la granulometría, implica que la mezcla de arena y triturado logre una granulometría que proporcione masa unitaria máxima, obligando así a que el volumen de los espacios entre partículas sea mínimo y por consiguiente la cantidad de pasta necesaria para pegarlas y para llenar los espacios entre ellas será mínimo, dando lugar a una mezcla de mejores condiciones técnicas y además económica.

Técnicamente, la granulometría de un agregado se realiza mediante la separación en fracciones de igual tamaño de una muestra mediante una serie de aberturas cuadradas cuyas características están ajustadas a la norma NTC 32. En la práctica, el indicador del tamaño máximo nominal es el tamaño promedio de las partículas más grandes ubicadas dentro de la masa del agregado.

La importancia de la granulometría radica en que el tamaño máximo nominal del triturado a utilizarse en una mezcla para concreto, está relacionado con la facilidad de llenar moldes o encofrados, e igualmente, ejerce influencia sobre la resistencia del concreto.

A medida que han avanzado los estudios de los agregados, se han ido desarrollando “curvas” o zonas de granulometría ventajosas, las cuales aportan datos importantes al momento de la selección del agregado.

Un agregado, para efectos prácticos, generalmente está acompañado con especificaciones granulométricas que contemplan dos curvas, la primera definiendo el límite superior y la segunda definiendo el inferior. Cualquier granulometría que caiga dentro de estos límites es aceptada. En Colombia, la norma técnica NTC 174 especifica un par de curvas límites para agregado fino, las cuales deben utilizarse para concreto solamente, estas no son aplicables para morteros. También define diez (10) pares de curvas para agregados gruesos según su tamaño máximo nominal.

Para morteros de mampostería, la gradación del agregado fino está especificada en la norma NTC 2240.

ii. *Forma de las partículas.*

La forma del agregado depende principalmente del tipo de roca que lo originó, y en algunos casos, depende del método de obtención, como en el caso de obtención de agregados por trituración. Para clasificar las partículas de un agregado por su forma, es común utilizar la norma británica B.S. 812 como referencia.

Es importante la forma de las partículas en un agregado ya que ésta influye de forma directa o indirecta en el comportamiento del concreto, ejerciendo un efecto sobre la trabajabilidad, la resistencia y otras propiedades.

iii. *Textura.*

La textura de un agregado afecta directamente la adherencia entre los agregados y la pasta de cemento fraguado, al igual que ejerce efecto sobre las propiedades del concreto o mortero endurecido. Propiedades como la densidad, la resistencia a la compresión y a la flexión, la cantidad de agua requerida, entre otras, son afectadas por la textura del agregado.

Una clasificación ampliamente utilizada de las texturas de los agregados puede consultarse en la norma británica B.S. – 812.

iv. *Densidad.*

Propiedad del agregado directamente dependiente de la roca de origen del mismo, definida como la relación masa / volumen de

una masa determinada. La densidad es determinada mediante procedimientos definidos en las normas NTC 176 y NTC 237.

v. *Porosidad y Absorción.*

Una mayor porosidad de un agregado implica menor resistencia mecánica, y cuanto menor sea la absorción, el material es más compacto y de mejor calidad.

vi. *Masa unitaria.*

Se conoce técnicamente como Peso Volumétrico, y está definido como la relación existente entre el peso de una muestra de agregado compuesta por varias partículas y el volumen que ocupan esas partículas agrupadas dentro de un recipiente de volumen conocido. En realidad, la masa unitaria es un indicador de la densidad del material como conjunto, por lo cual, esta medida indica de manera general la calidad de un agregado y su aptitud para ser utilizado en la fabricación de concreto.

c. Propiedades Mecánicas.

Las propiedades mecánicas más determinantes de un agregado son:

i. *Dureza.*

Depende de la constitución mineralógica, la estructura y la procedencia del agregado. La dureza del agregado grueso es decisiva para la selección de los materiales principalmente en la elaboración de concretos sometidos a elevadas tasas de desgaste por roce o abrasión, con el caso de los pavimentos o revestimientos de canales.

ii. *Resistencia.*

Es de importancia que el agregado utilizado en una mezcla de concreto tenga una resistencia tal que no llegue a fallar antes que la pasta de cemento endurezca.

iii. *Tenacidad.*

También es conocida como resistencia a la falla por impacto, y depende de la roca de origen, y cobra impacto en temas de manejo de los agregados, ya que la debilidad de un agregado ante las cargas de impacto, puede llegar a afectar su granulometría disminuyendo la calidad del concreto que con ellos se elabore.

iv. *Adherencia.*

Se llama de esta forma a la interacción entre la zona de contacto agregado – pasta, la cual es producida por fuerzas de origen físico – químico.

La adherencia, no solo depende de la calidad de la pasta de cemento, también se ve afectada en gran medida por el tamaño, forma y la rigidez de las partículas del agregado.

Como se ha mencionado anteriormente, las diferentes propiedades físicas, químicas y mecánicas de los agregados tienen incidencia directa en la calidad del concreto preparado. En la práctica, los agregados contienen sustancias adicionales, generalmente no deseadas, que se consideran en cierta medida perjudiciales, a continuación se mencionan algunas importantes:

- ✓ *Contenido de Arcilla.* Perjudica el fraguado del concreto y la adquisición de resistencia mecánica. Los límites tolerables se encuentran en la norma NTC 174.
- ✓ *Terrones de arcilla o partículas deleznales.* En la masa de concreto, los materiales deleznales implican puntos débiles que disminuyen las propiedades mecánicas del concreto o su durabilidad, en el caso de exposición a la abrasión. Los límites permitidos se establecen en la norma NTC 174.

- ✓ *Sales solubles.* Los sulfatos atacan al cemento produciendo reacciones expansivas que agrietan y desmoronan su masa. Los cloruros, por su parte, corroen el acero del concreto armado, perdiendo sus condiciones resistentes, aumentan el volumen y agrieta las secciones de concreto.
- ✓ *Materia orgánica.* La presencia significativa de materia orgánica no visible, ejerce interferencia sobre la hidratación del cemento, resultando en un concreto de menor resistencia y retrasos importantes en su tiempo normal de fraguado.

2.1.4. Ceniza Volante.

Son puzolanas producidas como resultado de la incineración de carbón mineral en hornos que utilizan el carbón para la generación de energía en las céntrateles termoeléctricas, y corresponden a las partículas no combustibles removidas de las chimeneas de los gases. Para que estas cenizas sean aptas para el uso en el concreto, deben tener características específicas determinadas por la norma ASTM C618.

La ceniza volante, puede clasificarse de acuerdo con su origen de la siguiente forma:⁵

- ✓ Clase N: Puzolanas naturales, calcinadas o crudas.
- ✓ Clase F: Cenizas volantes normalmente producidas en la quema del carbón antracítico o bituminosos.
- ✓ Cenizas volantes producidas a partir de carbón lignítico o sub-bituminoso.

De igual forma, las cenizas pueden clasificarse según su origen natural, artificial o intermedio:

- ✓ Naturales: Son aquellas que inherentemente cuentan con un carácter puzolánico, y pueden ser: de origen geotérmico ígneo – volcánico, como las puzolanas clásicas italianas, portuguesas y españolas; de origen hidrotérmico como el ópalo; y de origen orgánico vegetal,

⁵ Clasificación según la norma técnica colombiana NTC 3493.

como las tierras formadas por esqueletos de vegetales; y las de origen animal, formadas por caparazones de animales.

- ✓ **Artificiales:** Son aquellas resultantes de tratamientos térmicos de activación. Entre las artificiales se encuentran: Las rocas no reactivas en estado natural que pueden activarse con un tratamiento térmico entre 600°C y 900°C; y los subproductos industriales obtenidos principalmente de procesos de fabricación de aluminio y durante la combustión del carbón en las centrales térmicas como las cenizas volantes y humo de sílice.
- ✓ **Intermedias:** Son aquellas cenizas puzolanas que son sometidas a tratamientos térmicos de ennoblecimiento para incrementar su acción.

Las características principales de las cenizas volantes, como la forma, el tamaño y el color, son dependientes de la fuente y uniformidad del carbón, el grado de pulverización antes de quemarse y del tipo del sistema de colección utilizado.

En casos particulares de estudios, puede tomarse como referencia las características de las cenizas volantes adicionadas al concreto provenientes de Termotasajero⁶ y de Paipa IV⁷.

La caracterización de la ceniza volante se realiza mediante los mismos ensayos aplicados al cemento, esto con el fin de correlacionar resultados de la ceniza pozolánica con el cemento como material cementante. A continuación se describen los ensayos más realizados:

a. Ensayo de Finura de Blaine

Método de ensayo para determinar la finura del cemento por medio del aparato Blaine de permeabilidad al aire. La finura se da en términos de superficie específica expresada como área total en centímetros cuadrados por gramos de cemento, de acuerdo con la NTC 33.

⁶ Termoeléctricas de Tasajero. Central termoeléctrica ubicada en el Municipio de San Cayetano, Norte de Santander, Colombia. TERMOTASAJERO S.A. E.S.P.

⁷ Central Termoeléctrica de Paipa IV.

b. Ensayo de Peso Específico

Ensayo utilizado principalmente para especificaciones de diseño y control de mezclas de concreto. Se acoge a la norma técnica colombiana NTC 221.

c. Ensayo de Consistencia:

Utilizando el aparato de Vicat, es posible determinar la consistencia normal del cemento hidráulico. Se rige por la NTC 110 y su utilidad radica en el diseño y control de mezclas de concreto.

2.1.5. Aditivos.

Comúnmente, los morteros y concretos están conformados por mezclas de agua, agregados, cemento hidráulico y en algunas ocasiones fibras de refuerzo. Sin embargo, en aplicaciones específicas, son agregados a la mezcla ingredientes adicionales, con el objeto de modificar las propiedades del concreto o mortero, en estado fresco, durante el fraguado o en estado endurecido. Dichos ingredientes adicionales se conocen con el nombre de *Aditivos*, y tienen como función específica la de hacer más adecuado según el trabajo o exigencia dada al concreto o mortero utilizado en una estructura particular, logrando que cumpla las exigencias, requisitos y especificaciones particulares de la aplicación.

Entre las principales características que se alcanzan gracias al uso de aditivos se destacan:

- ✓ Menores costos de construcción, en aplicaciones específicas.
- ✓ Aumento de las especificaciones del concreto.
- ✓ Aseguramiento de la calidad del concreto en condiciones ambientales severas durante las etapas de mezclado, transporte, colocación y curado.

La efectividad de los aditivos depende no solo de la marca y calidad del aditivo, en muchos casos está relacionada con factores como: la calidad del cemento, la cantidad de agua, la granulometría y proporción de los agregados, el tiempo de mezclado, el asentamiento y las temperaturas del concreto y el aire.

a. *Propiedades del concreto con Aditivos.*

En general, el efecto logrado con aditivos, correctamente utilizados, es la obtención de un concreto más duradero, resistente y con menor agrietamiento, en comparación con un concreto sin aditivos.

Los aditivos modifican las propiedades del concreto en sus tres etapas a saber: el concreto fresco, etapa de fraguado, y etapa de endurecimiento. Las principales modificaciones se listan brevemente para cada etapa⁸:

i. Concreto fresco.

- ✓ Mejora la manejabilidad para un mismo contenido de agua, o recíprocamente, disminución del contenido de agua logrando igual manejabilidad
- ✓ Reducción de la segregación por mayor cohesividad de la mezcla.
- ✓ Disminución de la presión de bombeo requerida para un flujo dado.
- ✓ Aumento en los tiempos de manejabilidad.

ii. Etapa de fraguado.

- ✓ Retardo o aceleramiento del fraguado del concreto.

⁸ Tomado de COLECCIÓN BÁSICA DEL CONCRETO 1, TECNOLOGÍA Y PROPIEDADES. INSTITUTO DEL CONCRETO. ASOCRETO. 4ª Ed. Impresa. 2000. Pág. 98.

- ✓ Retardo o deducción de la generación de calor de hidratación.
- ✓ Reducción o prevención de las grietas por contracción.
- ✓ Control de la exudación.

iii. Estado endurecido.

- ✓ Aumento de la resistencia en todas las edades.
- ✓ Aumento de la resistencia a compresión, flexión y tracción.
- ✓ Aumento de la durabilidad o resistencia a condiciones severas de exposición.
- ✓ Disminución de la permeabilidad.
- ✓ Control de la expansión causada por la reacción Álcali – Agregado.

b. Clasificación de los aditivos.

En la norma técnica colombiana, NTC 1299, se ilustra la clasificación de los aditivos convencionales en grupos de acuerdo con el efecto que producen. La norma deja por fuera a los super plastificantes retardantes e inclusores de aire, sin embargo, estos son bastante utilizados en la industria actual. En la tabla 1 se muestra los tipos de aditivos y los efectos que tienen sobre el concreto.

Tabla 1. **Clasificación de los aditivos para concreto**⁹.

Tipo de Aditivo.	Efecto deseado.
<p>Aditivos Convencionales.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Plastificantes • Retardantes • Acelerantes • Plastificantes retardantes • Plastificantes Acelerantes • Súper-plastificantes 	<p>Plastificar o reducir el agua entre el 5% y el 12%</p> <p>Retardar el tiempo de fraguado.</p> <p>Acelerar el fraguado y el desarrollo de la resistencia a edades tempranas.</p> <p>Plastifican y retardan el fraguado.</p> <p>Plastifican y aceleran el fraguado.</p> <p>Reducen el agua entre el 12% y el 30% y retardan el tiempo de fraguado.</p>
<p>Inclusores de Aire</p>	<p>Aumentan la impermeabilidad y mejoran la trabajabilidad.</p>
<p>Aditivos Minerales.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cementantes • Puzolanas 	<p>Aumentan las propiedades cementantes, sustituyendo parcialmente el cemento.</p> <p>Mejoran la trabajabilidad, la plasticidad, la resistencia a los sulfatos. Reducen la reacción álcali – agregado, la permeabilidad, y el calor de hidratación. Sustituyen parcialmente el cemento y rellenan.</p>

⁹ Tomada de: COLECCIÓN BÁSICA DEL CONCRETO 1, TECNOLOGÍA Y PROPIEDADES. INSTITUTO DEL CONCRETO. ASOCRETO. 4ª Ed. Impresa. 2000. Pág. 99. Tabla 6.1. Clasificación de los aditivos para concreto.

<ul style="list-style-type: none"> • Inertes 	Mejoran la trabajabilidad y rellenan.
<p><i>Aditivos Misceláneos.</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Formadores de gas • Impermeabilizantes • Ayudas de bombeo • Inhibidores de corrosión • Colorantes 	<p>Expansión antes del fraguado.</p> <p>Disminuir permeabilidad.</p> <p>Mejora capacidad bombeo.</p> <p>Reduce avance de corrosión.</p> <p>Da color al concreto.</p>

2.2. CONCRETO

2.2.1. Definición

Se define como la mezcla de un material aglutinante, un material de relleno, agua y en ocasiones aditivos, la cual al endurecerse forma un todo compacto, y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión. Un concreto puede encontrarse en estado fresco, en proceso de fraguado o en estado endurecido, y en cada uno de estos estados, el concreto presenta características determinadas las cuales definen su desempeño.

Las propiedades más características del concreto son: la manejabilidad, referente a la facilidad de colocación; la velocidad del fraguado, que hace referencia al tiempo que tarda en endurecerse la mezcla; la durabilidad o resistencia con el paso del tiempo, la masa unitaria, la estabilidad de volumen; y la apariencia, entre otras. Además de las mencionadas, la de propiedad más ampliamente referenciada es la *Resistencia a la Compresión*, debido a que es la más fácil de evaluar y en la mayoría de los casos es suficiente para garantizar un buen comportamiento estructural.

La variación de las propiedades mencionadas, y de las características del concreto en los diferentes estados, da origen a la clasificación de concretos en diferentes tipos, por lo cual es importante conocer las propiedades y

características propias de cada estado. De este conocimiento también se derivan las medidas de control que se deben efectuar para garantizar la calidad de un concreto.

2.2.2. Propiedades del Concreto Fresco.

En estado fresco, las propiedades del concreto deben permitir que se llenen adecuadamente las formaletas y los espacios alrededor del acero de refuerzo, así como también obtener una masa homogénea sin grandes burbujas de aire o agua atrapada.

A continuación se resumen las propiedades del concreto fresco que pueden ser determinadas por ensayos:

a. *Trabajabilidad o Manejabilidad.*

Técnicamente, la trabajabilidad determina cual es el trabajo utilizado en vencer la fricción entre los componentes del concreto, y entre éste y el encofrado o refuerzo, para lograr una compactación adecuada, sin que se produzca segregación alguna.

La trabajabilidad se representa por cuatro características principales a saber:

- ✓ *La compacidad.* Facilidad del concreto o mortero fresco para ser compactado o consolidado para reducir el volumen de vacío y por lo tanto el aire atrapado.
- ✓ *La cohesividad.* Capacidad del concreto o mortero fresco de mantenerse como masa estable sin segregación.
- ✓ *La plasticidad.* Capacidad del concreto o mortero fresco de deformarse continuamente sin romperse.
- ✓ *La consistencia o movilidad.* Habilidad del concreto o mortero fresco para fluir, llenando espacios vacíos alrededor de los elementos que absorbe.

Existen factores que afectan directamente la trabajabilidad del concreto o mortero fresco, entre los cuales se destacan principalmente:

- ✓ *El contenido de agua de mezclado.* La trabajabilidad es afectada principalmente por el contenido de agua evaporable de una mezcla. A mayor contenido de agua evaporable, mayor fluidez y mayor lubricación de los agregados. Sin embargo, altos contenidos de agua evaporable pueden ocasionar disminuciones en la resistencia del concreto endurecido y la aparición de grietas.
- ✓ *Contenido de Aire.* El aire produce una disminución en los requerimientos de agua del concreto para una misma manejabilidad, e igualmente aumenta las condiciones de cohesión
- ✓ *Propiedades de los agregados.* Propiedades de los agregados como: el tamaño máximo, la forma y textura de las partículas, la densidad, la absorción, el contenido de finos, y la materia orgánica, afectan las características del concreto fresco.
- ✓ *Las condiciones climáticas.* Condiciones climáticas como el viento, el sol, la temperatura y la humedad del ambiente, pueden afectar la manejabilidad del concreto fresco, ya que pueden producir entre otras: pérdidas de agua por evaporación, cambios en la temperatura interna del concreto por intercambio de calor, cambios volumétricos y modificaciones en los tiempos de fraguado.
- ✓ *El tiempo y la temperatura.* El concreto recién mezclado se vuelve rígido con el tiempo, fenómeno que no debe ser confundido con el fraguado del cemento. La temperatura por su parte, afecta las reacciones químicas, modificando las características del concreto

en estado fresco y posteriormente en estado endurecido, por lo tanto, la norma NTC 3357 fija límites permitidos de la temperatura del concreto fresco.

Propiedades como la cohesión y adhesión son las que determinan el grado de manejabilidad, usualmente son determinadas por un examen visual y mediante la manipulación del concreto con herramientas para dar acabados, debido que hasta el momento no se conoce ningún ensayo que las mida directamente.

Existen sin embargo, ensayos con los cuales se puede determinar o correlacionar las propiedades del concreto en estado plástico en términos de consistencia, fluidez, cohesión y grado de compactación.

i. ***Ensayo de Asentamiento.***

Es una medida del grado de fluidez de la mezcla, refiriéndose a la consistencia de la mezcla. Este factor indica qué tan seca o fluida está la mezcla cuando se encuentra en estado plástico, y no constituye por sí misma una medida directa de la trabajabilidad.

Éste ensayo de asentamiento se realiza utilizando lo que se conoce como Cono de Abrams, y la metodología de ensayo esta descrita en la norma NTC 396.

El procedimiento general es el siguiente:

- ✓ Colocación del molde sobre una superficie horizontal, plana y no absorbente.
- ✓ Se procede a llenar el molde en tres capas de volumen aproximadamente igual, apisonando cada capa con 25 golpes proporcionados con una varilla especial de extremo redondeado de 16 mm de diámetro y 60 cm de longitud.

- ✓ Remoción de la mezcla sobrante que haya caído alrededor de la zona donde está ubicada el molde.
- ✓ Se retira con cuidado el molde evitando movimientos laterales o torsión y evitando hacer contacto con la mezcla.
- ✓ Posteriormente, se mide directamente la diferencia de la altura del molde y la medida de la altura sobre el centro de la base superior de la muestra asentada.

Para concretos cuyo asentamiento sea inferior a 25 mm, no es aplicable este ensayo, así como para concretos elaborados con fibras y agregados muy livianos. Para concretos con fibras, su consistencia se mide en función del tiempo que tarda la mezcla en fluir a través del cono invertido, así como es señalado en la NTC 3689. Para ensayos en concretos livianos, es usual emplear conos de mayor altura para compensar la diferencia en masa.

La muestra obtenida del ensayo de asentamiento, para concretos normales, es simétrica, con paredes con paredes abombadas y con superficie superior horizontal. En el caso de los concretos ásperos o pedregosos, forman un cono con la base superior inclinada, o totalmente caída hacia un lado, y dependiendo del contenido de agua, en ocasiones se va desmoronando.

Las diferentes medidas de asentamiento obtenidas en la práctica, han dado origen a una clasificación de la mezcla de acuerdo con su consistencia:

- ✓ Mezcla muy seca. Asentamiento inferior a 2 cm. Empleada en prefabricados de alta resistencia.
- ✓ Mezcla seca. Medidas de asentamiento entre 2,5 y 3,5 cm. Utilizada en la construcción de

pavimentos colocados con terminadora vibratoria.

- ✓ Mezcla semi-seca. Asentamientos entre 3,5 y 5 cm. Aplicaciones en pavimentos y cimentaciones en concreto simple.
- ✓ Mezcla mediana. Asentamientos entre 5 y 10 cm. Empleada en pavimentos, losas, muros y vigas.
- ✓ Mezcla húmeda. Asentamiento entre 10 y 15 cm. Utilizada en la elaboración de elementos esbeltos.
- ✓ Mezcla muy húmeda. Presenta asentamientos mayores a 15 cm, empleada en la construcción de elementos muy esbeltos y pilotes construidos in situ.

ii. ***Ensayo de Remoldeo.***

Éste ensayo fue creado por Powers, y mide la trabajabilidad con base en el esfuerzo que se hace para cambiar la forma de una muestra de concreto. El esfuerzo se mide en base al número de sacudidas necesarias para que ocurra el cambio de forma. Debido a los requerimientos del ensayo, éste no es usado en campo sino en laboratorios.

iii. ***Otros ensayos.***

Ensayos como el de la bola de Kelly, descrito en la norma técnica ASTM C360, y la medida del factor de compactación, descrito en la norma BS 188, dan una medida indirecta de la manejabilidad de una mezcla.

b. ***Segregación.***

La segregación, o inclinación a la segregación, se define como la tendencia de separación de las partículas gruesas de la fase de mortero del concreto y la colección de esas partículas deficientes de mortero en el perímetro del concreto, esto debido a su falta de cohesividad, con lo cual su

distribución y comportamiento deja de ser uniforme y homogéneo. Lo anterior conduce a que la ausencia de segregación sea una condición que le permite al concreto mantener una manejabilidad adecuada.

Éste fenómeno no deseado, se presenta principalmente por las siguientes causas:

- ✓ Diferencia de densidades entre los componente.
- ✓ Debido a los tamaños, formas y distribuciones granulométricas de las partículas.
- ✓ Defectuoso proceso de mezclado.
- ✓ Inadecuado sistema de transporte.
- ✓ Colocación deficiente y exceso de vibración en la compactación.

c. ***Exudación o sangrado.***

Corresponde a una forma de segregación o sedimentación, en la cual parte del agua de mezclado tiende a elevarse a la superficie de una mezcla de concreto recién colocado.

El fenómeno está influenciado por las proporciones de la mezcla y las características de los materiales, el contenido de aire, el uso de aditivos no convencionales o minerales y particularmente por la angularidad y gradación del agregado fino.

Las consecuencias de la exudación más nocivas son: el debilitamiento de la parte superior de una porción de concreto, una mayor porosidad, menor resistencia a la abrasión, mayor susceptibilidad al ataque de factores agresivos del medio ambiente, posible formación de conductos capilares aumentando la permeabilidad del concreto, y la generación de zonas de baja adherencia provocando finalmente una disminución de la resistencia.

La propiedad de exudación de un concreto fresco se determina mediante dos métodos comprendidos en la norma NTC 1294

d. ***Masa unitaria.***

Tanto para el concreto fresco como para el concreto endurecido, la masa unitaria depende del tamaño máximo, la granulometría y la densidad de los agregados. También se ve afectada por la cantidad de agua y la cantidad de aire presente en la mezcla.

El ensayo de rendimiento volumétrico descrito en la norma NTC 1926, mide la masa unitaria de un concreto de masa normal.

e. ***Contenido de aire.***

El aire atrapado normalmente en diámetros mayores a 1 mm, representa un problema para el concreto, pues disminuye la resistencia, reduce las secciones afectivas de los elementos y causa un mal aspecto.

Con el fin de mejorar la manejabilidad y disminuir el riesgo de exudación segregación en estado fresco y aumentar la durabilidad en el concreto endurecido, es común agregar burbujas microscópicas de aire intencionalmente en el concreto durante la preparación.

En Colombia, se cuenta con tres procedimientos estandarizados para determinar el contenido de aire del concreto en estado fresco: el ensayo de presión, descrito en la norma NTC 1028; el volumétrico, norma NTC 1032; y el gravimétrico, presentado en la norma técnica colombiana NTC 1026.

f. **Contenido de agua.**

El contenido de agua es un factor determinante para el desempeño del concreto, por lo cual debe tratar de utilizar en la mezcla la cantidad de agua estipulada en los diseños.

Para determinar el contenido de agua en una mezcla se pueden emplear dos procedimientos descritos en la norma NTC 3752, los cuales miden directamente la concentración del ión cloruro, debido a la reacción química de la mezcla de concreto con una solución de cloruro de volumen y características determinadas.

2.2.3. Proceso de Fraguado

Durante el fraguado, el concreto pasa de un estado plástico, donde se deforma indefinidamente por la aplicación de carga, a uno en que se comporta de manera elástica ante la acción de la misma. Durante este proceso se observan cambios en el concreto, como el tiempo de fraguado y la contracción plástica.

a. **Tiempo de Fraguado.**

Tiempo que tarda el concreto en pasar de estado plástico a estado endurecido. De acuerdo con estos tiempos, el concreto puede clasificarse como: concretos de fraguado lento, de fraguado normal, o de fraguado rápido.

b. **Contracción plástica.**

Se conoce como el fenómeno por el cual se presentan cambios de volumen producidos durante el fraguado, los cuales se manifiestan por la aparición de fisuras y son debidos a una reducción en el volumen del sistema cemento – agua, causado tanto por el inicio del proceso de hidratación como por la pérdida de agua de mezclado por evaporación.

2.2.4. Propiedades del Concreto Endurecido.

Las propiedades mecánicas del concreto están gobernadas por la resistencia de la pasta endurecida, los agregados y la interface pasta-agregados, las cuales a su vez son modificadas por procesos de colocación y condiciones de curado.

Dependiendo de las propiedades de sus componentes y de la interacción entre ellos, el concreto es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión.

Dentro de las muchas propiedades que posee el concreto se puede mencionar: la masa unitaria, las propiedades mecánicas, térmicas, eléctricas, acústicas, y su apariencia entre otras.

a. Resistencia.

Es la habilidad de resistir esfuerzos de compresión, tracción, flexión y corte. El concreto presenta alta resistencia a los esfuerzos de compresión y poca resistencia a los esfuerzos de tracción, por lo tanto, es la resistencia a la compresión simple la característica de mayor importancia.

De acuerdo a la resistencia, los concretos se clasifican en: Concretos de resistencia normal, no superior a los 42 MPa; concreto de alta resistencia, entre los 42 y los 100 MPa; y el concreto de ultra alta resistencia, ubicado en valores superiores a los 100 MPa. Todos valores medidos a los 28 días de vida del concreto.

La resistencia de un concreto preparado se ve afectado por los siguientes factores:

- ✓ La relación agua – cemento. Se describe como la cantidad de agua en masa, sin incluir el agua absorbida por los agregados, sobre la cantidad de cemento en masa. A mayor cantidad de agua, menor

será la resistencia del cemento, dicha propiedad fue demostrada por Duff Abrams en el año 1918¹⁰.

- ✓ Contenido y tipo de cemento. Debido a que el cemento es el material químicamente activo de la mezcla, presenta una gran influencia en la resistencia que finalmente alcanzará el concreto. La cantidad de cemento utilizado influye en el comportamiento del concreto, de esta manera, una mayor cantidad de cemento genera una mayor resistencia, solo hasta cierto límite, después del cual, el cemento no logra hidratarse correctamente pasando a formar una parte inerte del concreto.
- ✓ Características de los agregados. Como se mencionó anteriormente, los agregados y sus características influyen en el comportamiento del concreto.
- ✓ Curado del concreto. Es la prevención del secado prematuro del concreto, bajo un nivel de temperatura favorable por un periodo específico. Éste periodo debe ser no menor a 7 días a una cierta temperatura mínima de 10°C y máximo de 32°C. En concretos acelerados el tiempo puede reducirse a 3 días.
- ✓ Edad del concreto. Los concretos convencionales alcanzan su resistencia de diseño a los 28 días. Los de alta resistencia, se especifica un periodo entre 56 a 90 días.

A continuación se considera particularmente las diferentes fuerzas a las que se somete un concreto.

i. Resistencia a la compresión.

Para propósitos de diseño estructural, la resistencia a la compresión es el criterio de calidad.

La medida de la resistencia a la compresión se efectúa por medio de ensayos normalizados. En Colombia, se utilizan los procedimientos de las normas NTC 550 y NTC 673 en donde se

¹⁰ COLECCIÓN BÁSICA DEL CONCRETO 1, TECNOLOGÍA Y PROPIEDADES. INSTITUTO DEL CONCRETO. ASOCRETO. 4ª Ed. Impresa. 2000. Pág. 128..

encuentran descritos métodos de elaboración y ensayo de los especímenes.

La resistencia a la compresión se mide con una prensa, que aplica carga sobre la superficie superior de un cilindro a una velocidad especificada mientras ocurre la falla. La carga a la cual falla el cilindro queda registrada, y este valor se divide por el área de la sección transversal del cilindro obteniéndose así el esfuerzo de rotura del concreto. Se toma como estándar, la resistencia máxima a la compresión a los 28 días.

Estos cilindros, son muestras tomadas del concreto en campo, y el procedimiento de elaboración de los mismos esta especificado en la norma técnica NTC 550.

ii. **Resistencia a la tracción.**

El concreto es por naturaleza débil a los esfuerzos de tracción, por lo tanto no es tenida en cuenta en el diseño de estructuras normales. La tracción tiene relación con el agrietamiento del concreto.

La resistencia a la tracción se mide con un método denominado tracción indirecta, desarrollado en Brasil y descrito en la norma técnica NTC 722.

iii. **Resistencia a la flexión.**

Los elementos sometidos a flexión tienen una zona sometida a compresión y otra región en que predominan los esfuerzos de tracción. Éste efecto es importante en estructuras de concreto simple, como las losas de pavimentos.

La resistencia a la flexión del concreto se refiere a menudo al módulo de rotura. Comúnmente, se evalúa por medio de ensayos de flexión sobre vigas de sección cuadrada de 15 cm de lado y 50 cm de longitud. Las normas ASTM C 239 y NTC 2871 describen el procedimiento para realizar el ensayo sobre concretos

convencionales cargando las vigas en uno y dos puntos, respectivamente y la norma ASTM C 1018 describe el método para concretos reforzados con fibras.

b. Masa unitaria.

La masa unitaria del concreto depende en gran parte de la masa unitaria de los agregados. La masa unitaria del concreto endurecido es igual a la masa del concreto recién mezclado, menos el agua evaporable.

En el concreto endurecido, la masa unitaria puede determinarse por medio de métodos nucleares tales como los descritos en la norma ASTM C 1040, y están basados en transmisión directa e indirecta de rayos gama.

2.3. ESTUDIO DE UN CASO PARTICULAR.

Luego de un estudio de los materiales que conforman una mezcla de concreto, el cemento, el agua, los agregados, las cenizas y los aditivos, es de utilidad particularizar los conceptos aplicados a un caso específico, propio de la industria colombiana.

A continuación se desarrollarán algunos conceptos en el marco de la planta de concretos PREVESA, la cual utiliza como material cementante el cemento Argos tipo III de planta Rioclaro.

3.3.1. Generalidades del Cemento producido en la planta Rioclaro.

El cemento Pórtland tipo III se caracteriza por el desarrollo de altas resistencias a edades tempranas, normalmente a una semana o menos. En cuanto a sus características físicas, éste cemento presenta partículas de mayor finura en comparación con el cemento portland tipo I. Químicamente, se diferencia principalmente por su alto contenido de silicato tricálcico¹¹, el cual tiene una rápida reacción al contacto con el agua, favorece el

¹¹ Implementación del control de calidad de la ceniza volante como material cementante en la producción de concreto de la planta Jorge Luis Vesga. Beltrán Wilson, 2001.

endurecimiento en corto tiempo, y propicia un alto calor de hidratación, el cual afecta el tiempo de fraguado y la resistencia inicial.

2.3.2. Caracterización del Cemento producido en la planta Rio claro.

La producción del cemento Rio Claro se hace por medio del proceso de vía seca, y en la planta de fabricación se cuenta con la siguiente técnica:

- i. Cantera: Explotación de la caliza por perforación y voladura, transporte por medio de camiones Riqueros hasta la trituración, con reservas para 70 años de operación.
- ii. Trituración y Pre-Homogenización.
- iii. Molino Crudo: Horizontal y vertical, con circuitos cerrados y silo de homogenización para almacenamiento.
- iv. Molinos de Cemento: Horizontales con separadores de alta eficiencia y sistema automático de control.
- v. Ensacadores: rotativas con control de proceso electrónico y cargue directo a los camiones.
- vi. Sala de Control y Laboratorio: Cuenta con equipos de análisis de rayos gamma y rayos x para garantizar la calidad del producto.

El cemento producido por la planta Rio claro es transportado a la ciudad de Bucaramanga, Santander - Colombia, por medio de carros cisterna desde la ciudad de Medellín donde se encuentra ubicada la cementera.

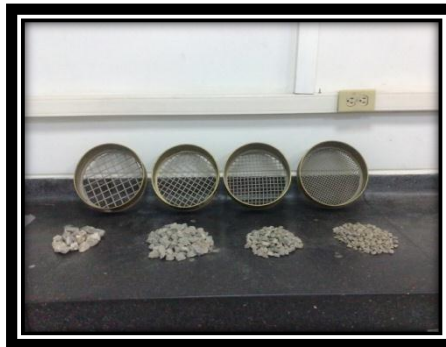
Características físicas del Cemento Argos Tipo III.

- i. Peso Específico: Mediante ensayos realizados conforma a la norma NTC 221, se ha determinado un valor de $3,1 \text{ g/cm}^3$.
- ii. Finura: Tiene una finura especificada de $5163 \text{ cm}^2/\text{g}$.

3. METODOLOGÍA EMPLEADA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CORRELACION ENTRE EL MÓDULO DE ROTURA Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PRODUCIDO POR LA EMPRESA PREVESA

En la primera fase del proyecto se hizo una caracterización de los materiales, tanto a los agregados finos y gruesos como al cemento empleado, para esto se realizo en las instalaciones de los laboratorios de ingeniería civil de la Universidad Pontificia Bolivariana los ensayos de peso específico, granulometría, absorción, masas unitarias sueltas y compactas y contenido de materia orgánica; dichos ensayos se describen a continuación:

- Para el análisis granulométrico de los agregados según lo descrito en la norma NTC 77, se tomó una muestra representativa de cada uno de los agregados, los cuales se deben secar al horno a temperatura de 110 ± 5 °C, posteriormente se lavaron los agregados a través del tamiz No. 200, se secaron al horno y luego se pasó la masa de agregados por una serie de tamices y finalmente se pesó la masa de agregado retenida en cada uno de ellos. Con este ensayo se determinó el tamaño de los agregados (tamaño máximo TM, tamaño máximo nominal TMN y módulo de finura MF). A continuación se muestra en la figura 1 el proceso llevado a cabo para la determinación de los tamaños de los agregados estudiados.



Fuente: Propia.

Figura 1. Separación granulométrica del agregado grueso

- La densidad y absorción de los agregados gruesos y finos se realizó según las normas NTC-176 y 237; para los agregados gruesos el ensayo consistió en seleccionar una masa de material por medio del cuarteo, se tamizarlo por la malla No. 4, sumergirla en agua por un tiempo de 24 horas, sacarlos del agua y pesarlos en condición saturada. Posteriormente se procedió a pesar los agregados dentro del agua, luego secarlos con una toalla y

pesarlos en condición superficialmente seco internamente saturado, tal como se observa en la figura 2.

En cuanto a la densidad de los agregados finos los cuales se pueden apreciar en la figura 3, estos se seleccionaron por cuarteo y se dejaron inmersos en agua por 24 horas, se secaron superficialmente por medio de una corriente de aire para comprobar que el material fino estaba en ésta condición, se llenó un molde troncónico compactándolo con 25 golpes y si al levantarlo el material fino se desmoronaba parcialmente el material estaba en esta condición. Seguidamente se tomaron 500 g. de agregado llenando el matraz, el conjunto se pesó y se le adicionó agua hasta la marcación de 500 cm³ desaireando la muestra y pesando el conjunto de matraz-agregado fino-agua.



Fuente: Torrado y Porras 2009. DETERMINACIÓN DE LAS ECUACIONES DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y DINÁMICO DEL CONCRETO PRODUCIDO EN BUCARAMANGA Y SU ÁREA METROPOLITANA.

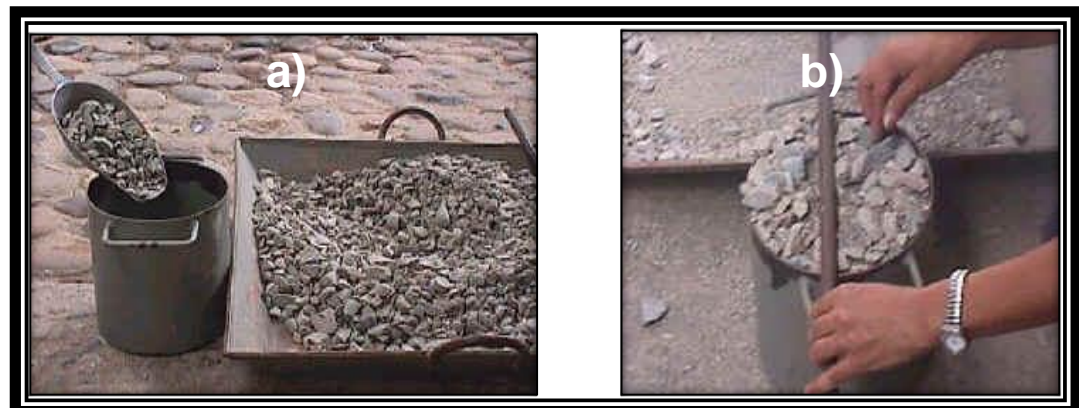
Figura 2. Determinación de la densidad y absorción del agregado grueso.



Fuente: Torrado y Porras 2009. DETERMINACIÓN DE LAS ECUACIONES DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y DINÁMICO DEL CONCRETO PRODUCIDO EN BUCARAMANGA Y SU ÁREA METROPOLITANA.

Figura 3. Determinación de la densidad y absorción del agregado fino.

- Para la determinación de las masa unitarias, realizó el ensayo siguiendo la norma NTC-92, pesando el molde inicialmente, posteriormente se llenó el molde con agregado y luego se pesó el conjunto de molde + agregado, de esta forma se realizó el ensayo de masa unitaria suelta y la masa unitaria compacta se realizó llenando el molde en tres capas las cuales debían ser compactadas con 25 golpes. Apréciase el procedimiento seguido en la figura 4.



Fuente: Torrado y Porras 2009. DETERMINACIÓN DE LAS ECUACIONES DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y DINÁMICO DEL CONCRETO PRODUCIDO EN BUCARAMANGA Y SU ÁREA METROPOLITANA.

Figura 4. Determinación de masas unitarias.

- En cuanto a la determinación del contenido de materia orgánica que puede ser nocivo para el concreto, se realizó el ensayo según lo estipulado en la norma NTC-127. El cual especifica que se debe adicionar una cantidad de 130 ml de material colocándolo dentro de un recipiente, adicionándole solución de hidróxido de sodio al 3% hasta 200 ml. Seguidamente se procede a tapar el recipiente y agitarlo fuertemente. Este se dejó en reposo durante 24 horas, al cabo de la cual se comparó el color de la solución que sobrenada con la carta de coloraciones, la cual posee los valores de 1-2-3-4 y 5, en donde los colores No. 4 y 5 corresponden a colores de ámbar oscuro y negro, los cuales no están permitidos para las arenas a utilizarse en concreto. En la figura 5 se muestra el procedimiento llevado a cabo para la determinación de éste parámetro.



Fuente: Propia.

Figura 5. Determinación del contenido de materia orgánica

- Seguidamente tal como se muestra en la figura 6 se realizó la determinación del peso específico del cemento, tal como lo describe la norma NTC- 221. Inicialmente se debe pesar una masa de 64 g. de cemento para el ensayo. Este ensayo se realizó llenando el frasco de Le Chatelier con Kerosene hasta una marcación de 0 ± 1 mm el cual se dejó en agua a temperatura ambiente hasta que la lectura se estabilizará, una vez estabilizada la lectura se procedió a tomar la lectura del volumen inicial. posteriormente se adicionaron los 64 g. de cemento lentamente, se tomó el conjunto de frasco, kerosenne y cemento introduciéndolo en agua a temperatura ambiente y se tomó la segunda lectura de volumen. La diferencia entre las dos lecturas corresponde al volumen del líquido desplazado por los 64 g. de cemento y la densidad del cemento se calculó como la masa de cemento dividido entre este volumen.



Fuente: Torrado y Porras 2009. DETERMINACIÓN DE LAS ECUACIONES DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD ESTÁTICO Y DINÁMICO DEL CONCRETO PRODUCIDO EN BUCARAMANGA Y SU ÁREA METROPOLITANA.

Figura 6. Determinación del peso específico del cemento.

- Después se procedió a la elaboración de mezclas de concreto en las instalaciones de la empresa PREVESA tal como se muestra en la figura 7, la elaboración y curado de los cilindros se realizó según lo estipulado en la norma NTC 550. La muestra utilizada se seleccionaba representativamente del carro mezclador y posteriormente depositada en cada uno de los moldes debidamente engrasados y nivelados colocando la muestra en tres capas iguales y compactándolas cada capa con 25 golpes por medio de una varilla lisa. Una vez llenado el molde se eliminaba el aire golpeándolo con un mazo de caucho, finalmente la muestra es nivelada con un palustre protegiéndolo con una lámina no absorbente, para el caso de los cilindros de concreto.

Para la elaboración de las vigas de concreto éstas fueron elaboradas colocando el concreto en dos capas debidamente compactadas con 70 golpes con la varilla lisa y posteriormente golpeadas con un martillo de caucho por los lados exteriores a fin de eliminar las burbujas de aire presentes durante la elaboración de las muestras. Ver figura 8.



Fuente: Propia.

Figura 7. Elaboración de especímenes para ensayos de compresión.



Fuente: Propia.

Figura 8. Elaboración de especímenes para ensayos de flexión.

- Para garantizar que las muestras tomadas correspondían a las resistencias estipuladas, se verificaron las mismas con el despachador de concreto y la revisión del recibo de salida del carro mezclador (mixer).

- Posteriormente se realizaron en los laboratorios de la empresa PREVESA los ensayos de resistencia a compresión y resistencia a la flexión de las muestras de concreto, tal como se puede apreciar en las figuras 9 y 10. Estos procedimientos se realizaron de la siguiente manera:



Fuente: Propia.

Figura 9. Ensayo de resistencia a compresión.



Fuente: Propia.

Figura 10. Ensayo de resistencia a flexión.

- Para el ensayo de resistencia a la compresión se sacaron los especímenes del almacenamiento de curado, se les determinó el diámetro y la altura del mismo, se colocaron los neoprenos en la parte superior e inferior del espécimen, se alinearon con el centro de la carga, se acercaron los especímenes hasta la rótula movable suavemente y se les empezó a aplicar carga a una velocidad entre 0.14 a 0.34 Mpa/s , una vez fallados los especímenes se registraron las cargas máximas y los tipo de falla ocasionados para posteriormente proceder a calcular la resistencia a la compresión.
- En cuanto al ensayo de resistencia a la flexión una vez sacado el espécimen del almacenamiento de curado, se determinó las dimensiones del mismo, se instaló la viga en el aditamento para ensayos de flexión centrándola, posteriormente se acercó el espécimen a la rótula superior de la máquina, se aplicó carga al mismo hasta aproximadamente al 50% de la carga de falla, después se aplicó carga continuamente a una velocidad que aumentara el esfuerzo de la fibra extrema entre 862 y 1206 Kpa hasta la falla de la misma.
- Finalmente, se realizó un análisis estadístico con los datos obtenidos en los ensayos realizados a los especímenes y se procedió a la elaboración de gráficos para la correlación de los parámetros estudiados.

En la figura 11 se puede apreciar la metodología aplicada en el presente trabajo de forma gráfica a fin de ilustrar más al lector.

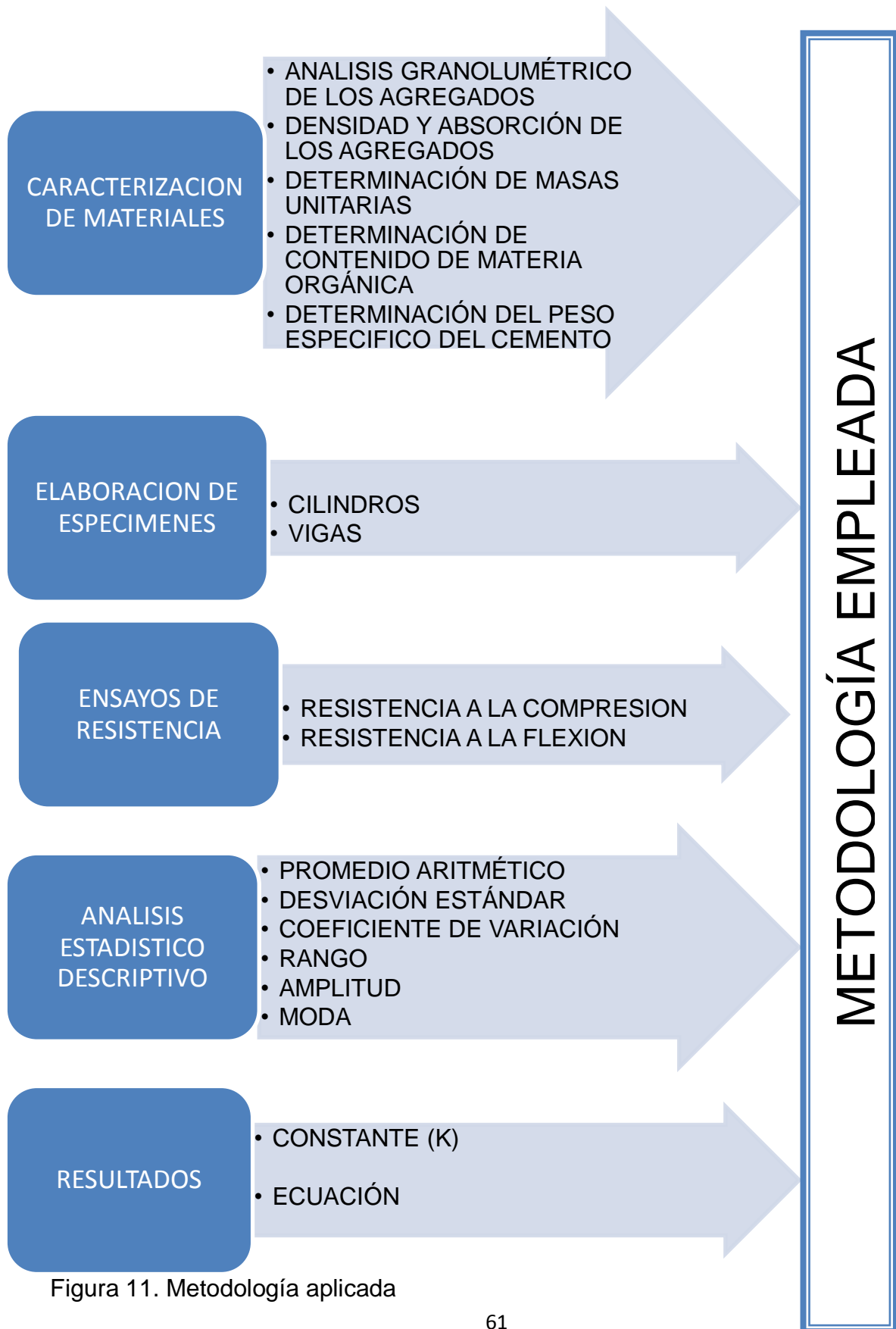


Figura 11. Metodología aplicada


4. ENSAYOS REALIZADOS A LOS MATERIALES UTILIZADOS PARA LA ELABORACIÓN DEL CONCRETO

A continuación se presenta los ensayos realizados a los materiales utilizados en la empresa Prevesa para la elaboración del concreto, en el cual se determina la calidad de los mismos y el grado de cumplimiento de acuerdo a las especificaciones técnicas.

4.1. CEMENTO

4.1.1. PESO ESPECÍFICO

El peso específico del cemento fue de 3.13 g/cm^3 , lo que demuestra que es un cemento con densidad normal y se encuentra dentro de los rangos establecidos $3.10\text{--}3.15 \text{ g/cm}^3$ según la INVE – 30.

	PROYECTO	DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL MÓDULO DE ROTURA Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PRODUCIDO POR LA EMPRESA		
	ESTUDIANTE:			
PESO ESPECIFICO INVE- 307	JOHANNA ALEXANDRA GARCIA CALDERON			
	DESCRIPCIÓN:			
CEMENTO ARGOS				

MUESTRA No	MATERIAL (gr)	VOLUMEN DEL MATERIAL (cm3)	PESO ESPECIFICO	
			(g/cm3)	(Kg/m3)
1	64	20,5	3,12195	3121,95

Observaciones: ninguna

Fuente: Propia

4.2 AGREGADO FINO

4.2.1 PESO ESPECÍFICO

El porcentaje máximo de Absorción obtenido es de 1,03 %, el cual está dentro de los límites permitidos tanto para las especificaciones técnicas de Invias como la NTC-174, las cuales plantean un límite máximo permitido de 4%. En cuanto a la densidad cumple con los parámetros establecidos dentro del rango de valores de 2,3 a 2,8 g/cm³.

	PROYECTO:	DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL MÓDULO DE ROTURA Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PRODUCIDO POR LA EMPRESA CONCRETERA PREVEVA	
	ESTUDIANTE:		
PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS FINOS INV E – 222	JOHANNA ALEXANDRA GARCIA CALDERON		
	DESCRIPCIÓN:		
INFORME DE ENSAYO			


NOMBRE	UNIDAD	VALOR
Peso al aire de la muestra desecada (A)	g	494,9
Peso del picnómetro aforado lleno de agua (B)	g	628,0
Peso total del picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua	g	937,9
Peso de la muestra saturada, con superficie seca (S)	g	500,0
PESOS ESPECIFICOS		
Gravedad especifica aparente 23/23°C= (A/(B+A-C))	g/cm ³	2,68
Gravedad especifica bulk S.S.S. 23/23°C= (S/(B+S-C))	g/cm ³	2,63
Gravedad especifica bulk 23/23°C= (A/(B+S-C))	g/cm ³	2,60
Absorción ((S-A)/A)*100	%	1,03%

Observaciones: Ninguna

Fuente: Propia

4.2.2 MASAS UNITARIAS

La masa unitaria obtenida con el ensayo para mezcla suelta es de 1,642 g/cm³ y de 1,744 g/cm³ para mezcla compacta, valores admitidos por las especificaciones para concretos NTC-174.

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	PROYECTO:	DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL MÓDULO DE ROTURA Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PRODUCIDO POR LA EMPRESA CONCRETERA PREVEVA	
	ESTUDIANTE:		
MASAS UNITARIAS INV-405	JOHANNA ALEXANDRA GARCIA CALDERON		
	DESCRIPCIÓN:		
	INFORME DE ENSAYO		

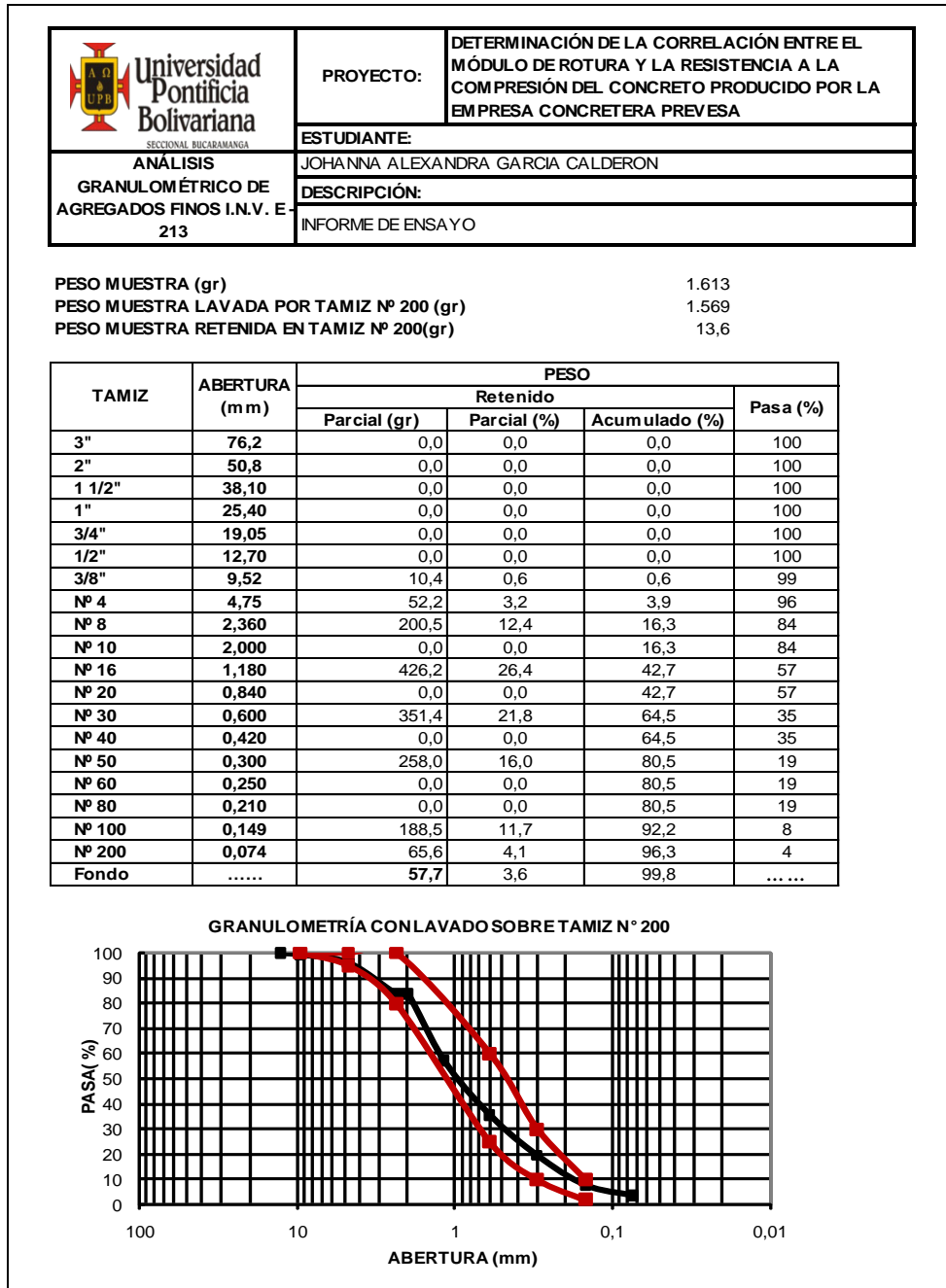
ARENA		
Peso molde (g)	3095	
Volumen molde (cm ³)	4972,8	
	Suelta	Compacta
Masa molde y agregado (g)	11340	11730
Masa molde y agregado (g)	11210	11745
Masa molde y agregado (g)	11230	11830
Masa promedio (g)	11260	11768
Masa agregado fino (g)	8165	8673
Masa Unitaria (g/cm ³)	1,642	1,744

Observaciones : Ninguna

Fuente: Propia

4.2.3 GRANULOMETRIA

En cuanto a la determinación de los tamaños del agregado fino se encontró que la arena utilizada presentó un módulo de finura de 3,01, tamaño considerado como aceptable para elaboración de concretos.



Fuente: Propia

4.3 AGREGADO GRUESO

4.3.1 PESO ESPECÍFICO

La densidad cumple con los parámetros establecidos dentro del rango de valores de 2,3 a 2,8 g/cm³, así como también el porcentaje máximo de Absorción obtenido fue de 0,92 %, el cual está dentro de los límites permitidos tanto para las especificaciones técnicas de Invias como la NTC-174, las cuales plantean un límite máximo permitido de 4%.

 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA	PROYECTO: DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL MÓDULO DE ROTURA Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PRODUCIDO POR LA EMPRESA CONCRETERA PREVESA
	ESTUDIANTE: JOHANNA ALEXANDRA GARCIA CALDERON
PESO ESPECIFICO Y ABSORCION DE AGREGADOS GRUESOS INV E – 223	DESCRIPCIÓN: INFORME DE ENSAYO

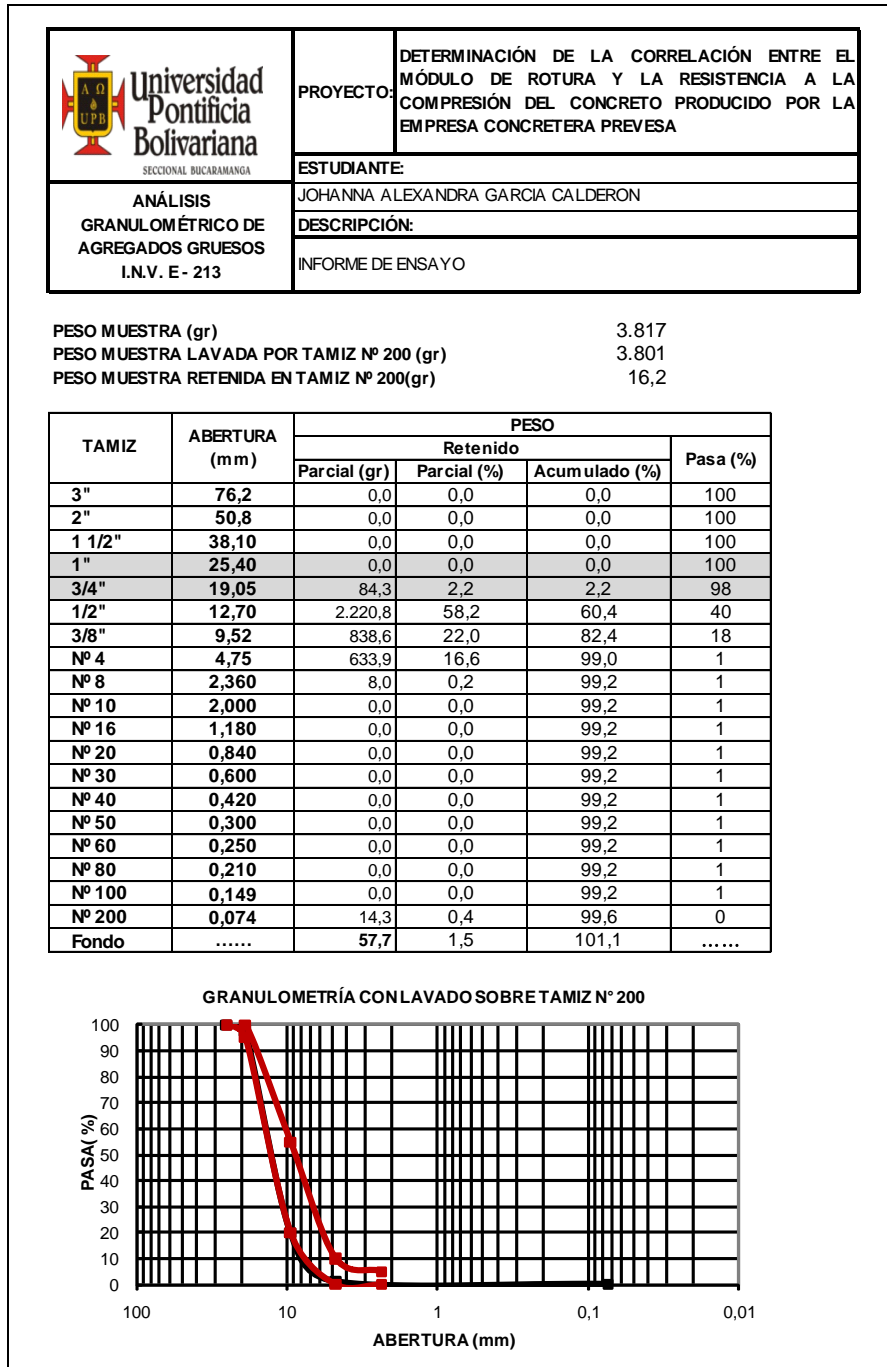
NOMBRE	UNIDAD	VALOR
(A) = Masa en el aire de la muestra seca (gr)	g	5534,2
(B)= Masa en el aire de la muestra saturada con superficie seca	g	5585,3
(C)= Masa sumergida en agua de la muestra saturada (gr)	g	3436,0
PESOS ESPECIFICIOS		
Gsa 23°C/ 23°C = (A/(A-C)) (Gravedad especifica aparente)	g/cm ³	2,64
Gsb 23°C/ 23°S.S.S. = (B/(B-C)) (Gravedad especifica bulk)	g/cm ³	2,60
Gsb 23°C/ 23° = (A/(B-C)) (Gravedad especifica bulk)	g/cm ³	2,57
Porcentaje de absorción ((B-A)/A)	%	0,92%

Observaciones: Ninguna

Fuente: Propia

4.3.2 GRANULOMETRIA


Los tamaños del agregado grueso analizado fueron Tamaño máximo TM de 1" Tamaño Máximo Nominal TMN de 3/4".



Fuente: Propia

4.3.3 MASAS UNITARIAS

La masa unitaria obtenida con el ensayo para mezcla suelta es de 1,381 g/cm³ y de 1,507 g/cm³ para mezcla compacta, valores admitidos por las especificaciones para concretos NTC-174.

 Universidad Pontificia Bolivariana <small>SECCIONAL BUCARAMANGA</small>	PROYECTO:	DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL MÓDULO DE ROTURA Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PRODUCIDO POR LA EMPRESA CONCRETERA PREVESA	
	ESTUDIANTE:		
MASAS UNITARIAS INV-405	JOHANNA ALEXANDRA GARCIA CALDERON		
	DESCRIPCIÓN:		
	INFORME DE ENSAYO		

TRITURADO		
Peso molde (g)	7940	
Volumen molde (cm ³)	3117,05	
	Suelta	Compacta
Masa molde y agregado (g)	12220	12640
Masa molde y agregado (g)	12235	12670
Masa molde y agregado (g)	12275	12600
Masa promedio (g)	12243	12637
Masa triturado (g)	4303	4697
Masa Unitaria (g/cm ³)	1,381	1,507

Observaciones : Ninguna

Fuente: Propia

4.3.4 DESGASTE MAQUINA DE LOS ANGELES

El porcentaje de desgaste obtenido a 500 revoluciones es de 23%, valor que se encuentra por debajo del máximo permitido por la norma E-218 que permite un porcentaje máximo de 40% a 500 revoluciones.

 Universidad Pontificia Bolivariana <small>SECCIONAL BUCARAMANGA</small>	PROYECTO:	DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL MÓDULO DE ROTURA Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PRODUCIDO POR LA EMPRESA CONCRETERA PREVESA						
	ESTUDIANTE:	JOHANNA ALEXANDRA GARCIA CALDERON						
ABRASIÓN DESGASTE MAQUINA DE LOS ANGELES	DESCRIPCIÓN:	INFORME DE ENSAYO						

TAMAÑOS		GRADACIÓN TIPO Y PESO DE CADA FRACCIÓN (g)						
PASA	RETENIDO	A	B	C	D	E	F	G
3 "	2 1/2"					2500		
2 1/2"	2"					2500		
2"	1 1/2"					5000	5000	
1 1/2"	1"	1250					5000	5000
1"	3/4"	1250						5000
3/4"	1/2"	1250	2500					
1/2"	3/8"	1250	2500					
3/8"	N° 3			2500				
N° 3	N° 4			2500				
N° 4	N° 8				5000			

N° DE ESFERAS	12	11	8	6	12	12	12
---------------	----	----	---	---	----	----	----


PRUEBA N°	1	2	3	4	5	6	7
GRADACION EMPLEADA	B						
CARGA ABRASIVA	11						
REVOLUCIONES	500						
Pa (g)	4999,7						
Pb (g)	3850						
PERDIDA DE PESO (g)	1149,7						
% DE DESGASTE	23						

OBSERVACIONES: Ninguna

5. RESULTADOS DE ENSAYOS REALIZADOS A LAS MUESTRAS DE CONCRETO

5.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN


5.1.1. DISEÑO DE 21 MPa

 Universidad Pontificia Bolivariana <small>SECCIONAL BUCARAMANGA</small>	PROYECTO: DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL MÓDULO DE ROTURA Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PRODUCIDO POR LA EMPRESA CONCRETERA PREVESA
	ESTUDIANTE: JOHANNA ALEXANDRA GARCIA CALDERON
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO NTC-673	DESCRIPCIÓN: CILINDROS DE CONCRETO 21 Mpa (13 de abril)

No. MUESTRA	DIÁMETRO (cm)	ALTURA (cm)	CARGA MÁX (KN)	RESISTENCIA		PESO SECO (g)
				Kg/cm ²	Mpa	
1	10,0	20,0	215,32	279,64	27,96	3861
2	10,2	20,5	209,32	261,29	26,13	3890
3	10,0	20,5	193,20	250,91	25,09	3892
4	10,0	20,6	189,54	246,16	24,62	3866
5	10,1	20,7	190,07	241,98	24,20	3884
6	10,0	20,5	182,63	237,18	23,72	3891
7	10,0	20,7	209,19	271,68	27,17	3874
8	10,2	20,5	186,46	232,75	23,28	3854
9	10,1	20,4	196,97	250,77	25,08	3892
10	10,2	20,5	202,33	252,56	25,26	3861
11	10,1	20,4	218,42	278,07	27,81	3888
12	10,0	20,4	212,89	276,48	27,65	3867
13	10,2	20,6	214,99	268,37	26,84	3894
14	10,2	20,5	196,31	245,05	24,50	3904
15	10,0	20,5	216,88	281,66	28,17	3859
16	10,1	20,5	206,69	263,14	26,31	3829
17	10,5	20,6	200,20	235,83	23,58	3854
18	10,1	20,6	199,62	254,14	25,41	3834
19	10,1	20,6	180,73	230,09	23,01	3812
20	10,1	20,6	190,39	242,39	24,24	3844
21	10,2	20,5	215,86	269,45	26,95	3814
22	10,2	20,5	189,14	236,10	23,61	3844
23	10,2	20,4	190,17	237,38	23,74	3841
24	10,1	20,5	194,49	247,61	24,76	3824
25	10,1	20,5	181,17	230,65	23,07	3812
26	10,2	20,5	160,21	199,99	20,00	3855
27	10,0	20,5	201,72	261,97	26,20	3788
28	10,1	20,6	180,90	230,31	23,03	3851
29	10,2	20,6	201,98	252,13	25,21	3855
30	10,2	20,4	181,94	227,11	22,71	3824

Fuente: Propia


5.1.2. DISEÑO DE 28 MPa

 <p>Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA</p>	PROYECTO: DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL MÓDULO DE ROTURA Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PRODUCIDO POR LA EMPRESA CONCRETERA PREVESA
	ESTUDIANTE: JOHANNA ALEXANDRA GARCIA CALDERON
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO NTC-673	DESCRIPCIÓN: CILINDROS DE CONCRETO 28 Mpa (20 de abril)

No. MUESTRA	DIÁMETRO (cm)	ALTURA (cm)	CARGA MÁX (KN)	RESISTENCIA		PESO SECO (g)
				Kg/cm ²	Mpa	
1	10,0	20,4	187,99	244,14	24,41	3852
2	10,1	20,5	188,73	240,27	24,03	3881
3	10,0	20,5	166,12	215,74	21,57	3845
4	10,2	20,5	171,65	214,27	21,43	3828
5	10,3	20,5	207,91	254,51	25,45	3852
6	10,2	20,6	207,61	259,15	25,92	3885
7	10,1	20,5	189,97	241,85	24,19	3868
8	10,1	20,6	160,94	204,90	20,49	3862
9	10,1	20,5	185,54	236,21	23,62	3876
10	10,1	20,6	190,41	242,41	24,24	3859
11	10,1	20,5	196,70	250,42	25,04	3874
12	10,1	20,6	189,66	241,46	24,15	3881
13	10,0	20,5	183,04	237,71	23,77	3818
14	10,0	20,5	193,45	251,23	25,12	3846
15	10,3	20,4	184,43	225,77	22,58	3843
16	10,1	20,4	243,53	310,04	31,00	3.864
17	10,1	20,4	142,67	181,64	18,16	3.872
18	10,1	20,2	290,04	369,25	36,93	3.874
19	10,1	20,1	270,22	344,02	34,40	3.875
20	10,1	20,2	272,95	347,50	34,75	3.915
21	10,1	20,3	241,08	306,92	30,69	3.842
22	10,0	20,3	227,43	295,36	29,54	3.851
23	10,1	20,2	255,67	325,50	32,55	3.838
24	10,1	20,2	264,86	337,20	33,72	3.842
25	10,1	20,3	227,32	289,40	28,94	3.880
26	10,3	20,4	259,95	318,22	31,82	3.914
27	10,1	20,2	247,84	315,53	31,55	3.864
28	10,1	20,3	265,62	338,16	33,82	3.878
29	10,1	20,3	245,23	312,21	31,22	3.904
30	10,2	20,3	261,95	326,99	32,70	3.848

Fuente: Propia

5.1.3. DISEÑO DE 35 MPa


	PROYECTO: DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL MÓDULO DE ROTURA Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PRODUCIDO POR LA EMPRESA CONCRETERA PREVESA
	ESTUDIANTE: JOHANNA ALEXANDRA GARCIA CALDERON
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO NTC-673	DESCRIPCIÓN: CILINDROS DE CONCRETO 35 Mpa (22 de abril)

No. MUESTRA	DIÁMETRO (cm)	ALTURA (cm)	CARGA MÁX (KN)	RESISTENCIA		PESO SECO (g)
				Kg/cm ²	Mpa	
1	10,0	20,1	273,76	355,53	35,55	3.880
2	10,0	20,0	279,40	362,86	36,29	3.897
3	10,1	20,1	270,63	344,54	34,45	3.907
4	10,0	20,1	271,63	352,77	35,28	3.924
5	10,0	20,2	272,83	354,33	35,43	3.899
6	10,1	20,2	265,27	337,72	33,77	3.926
7	10,0	20,1	287,26	373,07	37,31	3.907
8	10,1	20,2	274,65	349,66	34,97	3.917
9	10,1	20,0	273,17	347,78	34,78	3.923
10	10,1	20,2	278,20	354,18	35,42	3.908
11	10,1	20,3	253,88	323,22	32,32	3.922
12	10,0	20,4	267,21	347,03	34,70	3.939
13	10,0	20,3	259,66	337,22	33,72	3.915
14	10,0	20,2	287,71	373,65	37,37	3.874
15	10,1	20,2	281,48	358,36	35,84	3.882
16	10,2	20,4	342,48	427,51	42,75	3886
17	10,1	20,4	334,99	426,48	42,65	3885
18	10,2	20,2	342,72	427,81	42,78	3878
19	10,0	20,1	320,45	416,17	41,62	3900
20	10,1	20,2	346,64	441,31	44,13	3901
21	10,1	20,3	347,35	442,22	44,22	3886
22	10,2	20,3	332,06	414,50	41,45	3886
23	10,2	20,2	358,85	447,94	44,79	3847
24	10,1	20,2	329,71	419,76	41,98	3894
25	10,1	20,3	354,91	451,84	45,18	3863
26	10,1	20,4	356,82	454,27	45,43	3886
27	10,0	20,2	321,73	417,83	41,78	3867
28	10,0	20,3	319,97	415,55	41,55	3910
29	10,2	20,3	340,94	425,59	42,56	3918
30	10,3	20,3	367,49	449,86	44,99	3885

Fuente: Propia

5.2 RESISTENCIA A LA FLEXIÓN


5.2.1. DISEÑO DE 21 MPa

 Universidad Pontificia Bolivariana SECCIONAL BUCARAMANGA	PROYECTO: DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL MÓDULO DE ROTURA Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PRODUCIDO POR LA EMPRESA CONCRETERA PREVESA
	ESTUDIANTE: JOHANNA ALEXANDRA GARCIA CALDERON
RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO	DESCRIPCIÓN: VIGAS DE CONCRETO 21 Mpa (13 de abril)

No. MUESTRA	LUZ (cm)	d (cm)	b (cm)	CARGA MÁX (KN)	CARGA MÁX (Kg)	MÓDULO DE ROTURA	PESO SECO (g)
						Kg/cm ²	
1	45,6	15,2	14,8	25,53	2604,06	34,73	31.095
2	45,0	15,0	15,2	26,12	2664,24	35,06	26.520
3	45,6	15,2	15,4	24,17	2465,34	31,60	31.650
4	46,2	15,4	15,1	29,67	3026,34	39,04	31.520
5	45,6	15,2	14,9	26,26	2678,52	35,48	31.015
6	45,0	15,0	15,1	28,73	2930,46	38,81	26.500
7	45,3	15,1	15,0	26,58	2711,16	35,91	26.565
8	45,0	15,0	15,0	26,31	2683,62	35,78	31.245
9	45,3	15,1	15,0	25,08	2558,16	33,88	31.205
10	45,6	15,2	15,0	26,25	2677,50	35,23	26.200
11	45,3	15,1	15,0	29,34	2992,68	39,64	27.105
12	45,0	15,0	15,1	28,33	2889,66	38,27	26.870
13	45,3	15,1	15,1	28,69	2926,38	38,50	26.795
14	45,6	15,2	15,2	26,96	2749,92	35,71	26.850
15	45,0	15,0	15,0	26,21	2673,42	35,65	26.340
16	45,3	15,1	15,1	22,30	2274,60	29,93	26.625
17	45,6	15,2	15,0	24,75	2524,50	33,22	26.820
18	45,0	15,0	15,0	23,16	2362,32	31,50	31.070
19	45,0	15,0	15,2	27,38	2792,76	36,75	26.970
20	45,0	15,0	15,0	25,60	2611,20	34,82	26.100
21	45,3	15,1	15,1	23,53	2400,06	31,58	27.345
22	45,3	15,1	15,0	28,39	2895,78	38,35	26.870
23	45,3	15,1	15,1	27,55	2810,10	36,97	31.815
24	45,3	15,1	15,1	29,24	2982,48	39,24	26.780
25	45,0	15,0	15,0	28,09	2865,18	38,20	31.815
26	45,0	15,0	15,0	27,66	2821,32	37,62	26.515
27	45,0	15,0	15,2	21,69	2212,38	29,11	31.465
28	45,0	15,0	15,0	27,93	2848,86	37,98	31.610
29	45,3	15,1	15,1	27,45	2799,90	36,84	26.615

Fuente: Propia


5.2.2. DISEÑO DE 28 MPa

	PROYECTO: DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL MÓDULO DE ROTURA Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PRODUCIDO POR LA EMPRESA CONCRETERA PREVESA
	ESTUDIANTE: JOHANNA ALEXANDRA GARCIA CALDERON
RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO	DESCRIPCIÓN: VIGAS DE CONCRETO 28 Mpa (20 de abril)

No. MUESTRA	LUZ (cm)	d (cm)	b (cm)	CARGA MÁX (KN)	CARGA MÁX (Kg)	MÓDULO DE ROTURA	PESO SECO (g)
						Kg/cm ²	
1	45,0	15,0	15,0	27,72	2827,44	37,70	25.940
2	45,3	15,1	15,0	28,30	2886,60	38,23	26.260
3	45,3	15,1	15,3	28,24	2880,48	37,40	26.885
4	45,0	15,0	15,0	28,47	2903,94	38,72	26.520
5	45,3	15,1	15,0	33,17	3383,34	44,81	26.845
6	45,3	15,1	15,0	28,12	2868,24	37,99	26.750
7	45,3	15,1	15,0	28,53	2910,06	38,54	26.665
8	45,3	15,1	15,3	30,57	3118,14	40,49	26.815
9	45,0	15,0	15,0	29,02	2960,04	39,47	26.650
10	45,0	15,0	15,0	28,63	2920,26	38,94	31.455
11	45,0	15,0	15,0	31,06	3168,12	42,24	31.495
12	45,0	15,0	15,0	26,81	2734,62	36,46	30.795
13	45,6	15,2	15,0	31,16	3178,32	41,82	31.315
14	45,6	15,2	15,0	32,20	3284,40	43,22	31.160
15	45,0	15,0	15,5	28,13	2869,26	37,02	31.365
16	45,0	15,0	15,1	34,84	3553,68	47,07	27.095
17	45,0	15,0	15,1	39,38	4016,76	53,20	27.475
18	45,0	15,0	15,1	34,77	3546,54	46,97	27.405
19	44,7	14,9	15,0	35,77	3648,54	48,97	27.475
20	45,0	15,0	15,0	40,66	4147,32	55,30	27.340
21	45,0	15,0	15,0	39,95	4074,90	54,33	27.000
22	45,0	15,0	15,0	35,64	3635,28	48,47	27.210
23	45,0	15,0	15,1	35,00	3570,00	47,28	27.560
24	45,3	15,1	15,1	40,61	4142,22	54,50	27.260
25	45,0	15,0	15,1	32,52	3317,04	43,93	31.880
26	44,7	14,9	15,0	35,48	3618,96	48,58	31.500
27	44,7	14,9	15,1	41,74	4257,48	56,77	31.825
28	44,4	14,8	15,0	39,11	3989,22	53,91	32.170
29	44,7	14,9	15,0	36,10	3682,20	49,43	31.925

Fuente: Propia

5.2.3. DISEÑO DE 35 MPa

 Universidad Pontificia Bolivariana <small>SECCIONAL BUCARAMANGA</small>	PROYECTO: DETERMINACIÓN DE LA CORRELACIÓN ENTRE EL MÓDULO DE ROTURA Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO PRODUCIDO POR LA EMPRESA CONCRETERA PREVESA
	ESTUDIANTE: JOHANNA ALEXANDRA GARCIA CALDERON
RESISTENCIA A LA FLEXION DEL CONCRETO	DESCRIPCIÓN: VIGAS DE CONCRETO 35 Mpa (22 DE ABRIL)

No. MUESTRA	luz (cm)	d (cm)	b (cm)	CARGA MÁX (KN)	CARGA MÁX (Kg)	MODULO DE ROTURA	PESO SECO (gr)
						Kg/cm ²	
1	45,0	15,0	15,1	32,76	3341,52	44,26	26760
2	45,6	15,2	14,9	38,36	3912,72	51,83	27295
3	45,0	15,0	15,1	36,47	3719,94	49,27	26860
4	45,0	15,0	15,0	31,36	3198,72	42,65	26490
5	45,6	15,2	15,1	30,81	3142,62	41,08	26875
6	45,0	15,0	15,0	35,87	3658,74	48,78	27040
7	45,0	15,0	15,2	34,39	3507,78	46,16	27125
8	45,0	15,0	15,0	30,04	3064,08	40,85	26805
9	45,0	15,0	15,1	26,44	2696,88	35,72	26715
10	45,0	15,0	14,9	32,91	3356,82	45,06	31530
11	45,0	15,0	14,9	36,10	3682,20	49,43	31230
12	45,3	15,1	14,9	36,37	3709,74	49,47	31340
13	45,0	15,0	15,0	30,26	3086,52	41,15	31390
14	45,0	15,0	14,9	31,60	3223,20	43,26	31365
15	45,0	15,0	14,9	33,25	3391,50	45,52	31845
16	45,0	15,0	15,0	34,05	3473,10	46,31	26905
17	45,3	15,1	15,0	39,02	3980,04	52,72	27945
18	45,6	15,2	15,1	28,76	2933,52	38,34	27525
19	45,0	15,0	15,1	31,26	3188,52	42,23	27055
20	45,0	15,0	15,0	34,67	3536,34	47,15	27405
21	44,7	14,9	15,0	32,58	3323,16	44,61	27115
22	45,0	15,0	15,0	39,12	3990,24	53,20	27975
23	45,0	15,0	15,0	32,42	3306,84	44,09	27485
24	45,0	15,0	15,0	35,56	3627,12	48,36	27660
25	45,3	15,1	15,1	31,51	3214,02	42,29	31330
26	45,6	15,2	15,2	31,76	3239,52	42,06	32095
27	45,3	15,1	15,2	31,52	3215,04	42,02	31860
28	45,3	15,1	14,9	27,10	2764,20	36,86	32575
29	45,3	15,1	15,0	39,53	4032,06	53,40	32355
30	45,0	15,0	14,9	35,04	3574,08	47,97	32715

Fuente: Propia.

6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO

El análisis estadístico descriptivo comprende el uso efectivo de datos numéricos obtenidos de un grupo de experimentos, e incluye tanto la recolección de datos como el análisis e interpretación de los mismos. Es importante para éste tipo de análisis en cualquier campo de aplicación, la planeación de la metodología de la recolección de datos involucrando el diseño de los experimentos y del muestreo.

En un caso particular, el análisis estadístico aporta metodologías de evaluación, análisis y recolección de datos útiles en el campo del análisis del desempeño de un concreto preparado. Como tal, el análisis estadístico de las pruebas de resistencia permite realizar mejoras sobre el proceso de diseño al mismo tiempo que valida los resultados de la etapa de diseños.

En lo relacionado con el muestreo y la selección adecuada de los datos objeto de análisis estadístico, la norma NSR 2010 de Diseño y Construcción Sismo-resistente, obliga a disponer de una cantidad suficiente de pruebas que permitan un análisis representativo, imponiendo una cantidad mínima de 30 datos obtenidos de cilindros de la misma edad. Las pruebas deben ser efectuadas a un mismo tipo de mezcla producidas consecutivamente y bajo condiciones similares.

Todo análisis estadístico implica el uso de Funciones Estadísticas, Normas de Control y Gráficos que permitan la representación y el análisis de resultados.

6.1 FUNCIONES ESTADÍSTICAS.

6.1.1 PROMEDIO ARITMÉTICO.

El promedio de una lista de datos corresponde a la suma de los datos incluidos en la lista dividido por el número de datos que contiene la lista. Aplicado al campo del análisis del comportamiento de mezclas preparadas, la lista contiene los resultados de las pruebas de resistencias de los ensayos. Matemáticamente el promedio aritmético se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

Donde, $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ en éste estudio en particular, corresponden a los resultados de las pruebas de resistencias de los ensayos, y n es el numero total de ensayos efectuados

6.1.2 DESVIACIÓN ESTANDAR.

Algebraicamente, la Desviación Estándar se define como la raíz cuadrada de la Varianza, y mide la variabilidad o dispersión de un conjunto de datos con respecto a la media aritmética de la muestra objeto de análisis estadístico. De ésta forma, una desviación estándar baja indica que los datos tienden a estar cerca de la media de la muestra, mientras que una desviación estándar alta implica que los datos se alejan considerablemente de la media.

Aplicada al estudio de resistencia de mezclas de concreto preparadas, la desviación estándar refleja las variaciones entre las diferentes batchadas del concreto. Las variaciones contemplan la inestabilidad de cada uno de los materiales, la variabilidad de los procedimientos y las técnicas de producción y manejo, la inestabilidad de la elaboración y el curado de los especímenes.

Matemáticamente la Desviación Estándar se expresa como:

$$\sigma = \left[\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + (x_3 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n - 1} \right]^{1/2}$$

6.1.3 COEFICIENTE DE VARIACIÓN.

Estadísticamente definida como una medida normalizada de la dispersión de una probabilidad de distribución. Es utilizada generalmente para comparar variables que se encuentran expresadas en diferentes escalas pero las cuales mantienen una correlación estadística y sustantiva con un factor común.

Particularmente para este caso de estudio, el coeficiente de variación corresponde al grado de control de varias clases de concreto, y juega un papel vital en el tratamiento de especímenes, control de la elaboración y control de calidad de los métodos de ensayo utilizados.

El coeficiente es comúnmente expresado de forma porcentual, y se define matemáticamente mediante la siguiente ecuación:

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100 \%$$

6.1.4 RANGO.

Estadísticamente, representa el intervalo de menor tamaño que contienen los datos y se calcula mediante la resta del valor mínimo al valor máximo, permitiendo así obtener una idea de la dispersión de los datos.

Particularmente, en el caso de los cilindros, el Rango se obtiene restando la resistencia mayor de la resistencia menor del grupo de cilindros.

$$R = R_{MAYOR} - R_{MENOR}$$

6.1.5 AMPLITUD.

Función estadística que se obtiene dividiendo el rango entre el numero de clases.

$$A = \frac{R}{k}$$

6.1.6 MODA.

Definida estadísticamente como el valor que ocurre con mayor frecuencia en una distribución.

Se define matemáticamente como:

$$Md = (LIMITE SUPERIOR) + A * \left(\frac{F_i - F_{i-1}}{(F_i - F_{i-1}) + (F_i - F_{i-1}))} \right)$$

6.2 NORMAS DE CONTROL

El comité ACI-704 indica el procedimiento recomendado para la evaluación de los resultados de los ensayos de resistencia del concreto, y entre otras cosas, indica la variabilidad que puede esperarse de los ensayos de resistencia a la compresión, indicados en la siguiente tabla:

Variación Total					
Clase de Operaciones	Desviación estándar para diferentes clases de control, Mpa (psi)				
	Excelente	Muy Bueno	Bueno	Aceptable	Pobre
Ensayo de construcción en general	por debajo de 2,5 (375)	de 2,5 a 3,5 (357 a 500)	de 3,5 a 4 (500 a 571)	de 4 a 5 (571 a 714)	de 5 (714)
Mezcla de ensayo de Laboratorio.	por debajo de 1,5 (214)	de 1,5 a 1,7 (214 a 243)	de 1,7 a 2 (243 a 286)	de 2 a 2,5 (286 a 357)	sobre 2,5 (357)

Tabla 2. Normas de Control. Tomado de tecnología del concreto y mortero. Diego Sánchez de Guzmán pág. 271

6.3 TIPOS DE GRÁFICOS

6.3.1 HISTOGRAMA.

Es una serie de rectángulos, cada uno proporcional en amplitud al rango de valores dentro de unas clases y proporcional en altura al número de elementos que posee cada clase.

6.3.2 DISTRIBUCIÓN NORMAL.

En estadística y probabilidad se llama **distribución normal**, **distribución de Gauss** o **distribución gaussiana**, a una de las distribuciones de

probabilidad de variable continua que con más frecuencia aparece en fenómenos reales.

La importancia de esta distribución radica en que las distribuciones de medidas maestras y proporciones de muestras grandes tienden a distribuirse de manera normal como la aplica la teoría de muestreo. Para usar esta distribución de probabilidad se requiere que la variable aleatoria sea continua y que al recopilar una gran cantidad de estas mediciones en una distribución de frecuencias, tenga un perfil semejante a una campana.

Características de la Distribución Normal:

- El punto más alto de la curva normal es la **Media**, que también corresponde a la mediana y la moda de la distribución.
- La distribución es simétrica y su forma a la izquierda de la media es una imagen especular de la forma a la derecha de la mediana. Los extremos a los lados de la curva se prolongan al infinito de ambas direcciones y, teóricamente nunca tocan el eje horizontal.
- La desviación estándar determina el ancho de la curva. A valores mayores de la desviación estándar, se obtienen curvas más anchas y bajas, que indican una mayor dispersión en los datos.

7. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Para las mezclas de concreto se elaboraron 90 vigas y 90 cilindros para un total de 180 especímenes, los cuales se probaron a los 28 días de edad, resultados que se presentan a continuación:

Concreto de 210 Kg/cm²

- **Resultados de resistencia a la compresión ($f'c$)**

Ensayo No	Resistencia a la Compresión Kg/cm ²	Promedio Kg/cm ²	Promedio móvil de 3 en 3 Kg/cm ²	Intervalo Kg/cm ²
1	280			
2	261	270,5		19,00
3	251			
4	246	248,5		5,00
5	242			
6	237	239,5	252,83	5,00
7	272			
8	233	252,5	246,83	39,00
9	251			
10	253	252	248,00	2,00
11	278			
12	276	277	260,50	2,00
13	268			
14	245	256,5	261,83	23,00
15	282			
16	263	272,5	268,67	19,00
17	236			
18	254	245,0	258,00	18,00
19	230			
20	242	236	251,17	12,00
21	269			
22	236	252,5	244,50	33,00
23	237			
24	248	242,5	243,67	11,00
25	231			
26	200	215,5	236,83	31,00
27	262			
28	230	246,00	234,67	32,00
29	252			
30	227	239,50	233,67	25,00

Fuente: Propia.

- **Análisis estadístico descriptivo**

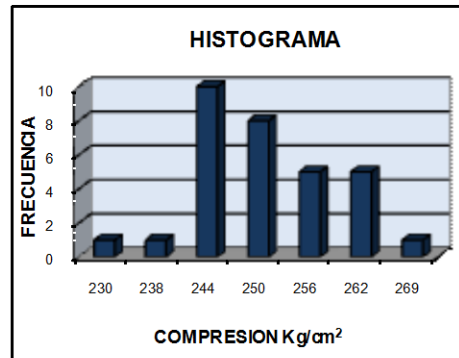
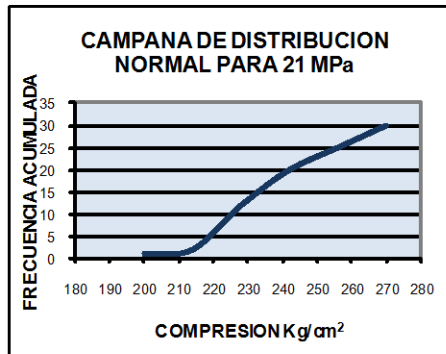
Resistencia (X_{prom})	250	Kg/cm^2
Desviación estandar (σ)	19	Kg/cm^2
Coefficiente de variacion (v)	8	%
Rango (R)	82	Kg/cm^2
Amplitud (A)	14	Kg/cm^2
No. de intervalos	6	
Moda (Md)	251	Kg/cm^2

El grado de control de calidad para esta empresa es excelente

No Categoría	Intervalos Kg/cm^2	f_i	F_i	h_i	H_i
1	[200 - 214)	1	1	0,03	0,03
2	(214 - 228)	1	2	0,03	0,07
3	(228 - 242)	10	12	0,33	0,40
4	(242 - 256)	8	20	0,27	0,67
5	(256 - 270)	5	25	0,17	0,83
6	(270 - 284]	5	30	0,17	1,00

30

1,00



Fuente: Propia

- **Resultados de módulo de rotura para concretos de 210 Kg/cm² (Mr)**

Ensayo No	Módulo de rotura Kg/cm ²	Promedio Kg/cm ²	Promedio móvil de 3 en 3 Kg/cm ²	Intervalo Kg/cm ²
1	35			
2	35	35		0,00
3	32			
4	39	35,5		7,00
5	35			
6	39	37	35,83	4,00
7	36			
8	36	36,0	36,17	0,00
9	34			
10	35	34,5	35,83	1,00
11	40			
12	38	39	36,50	2,00
13	39			
14	36	37,5	37,00	3,00
15	36			
16	30	33,0	36,50	6,00
17	33			
18	31	32,0	34,17	2,00
19	37			
20	35	36	33,67	2,00
21	32			
22	38	35,0	34,33	6,00
23	37			
24	39	38,0	36,33	2,00
25	38			
26	38	38	37,00	0,00
27	29			
28	38	33,50	36,50	9,00
29	37			
30	37	37,00	36,17	0,00

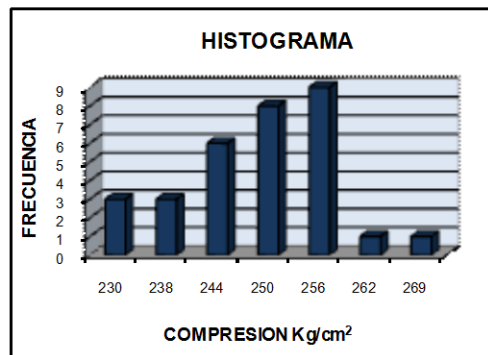
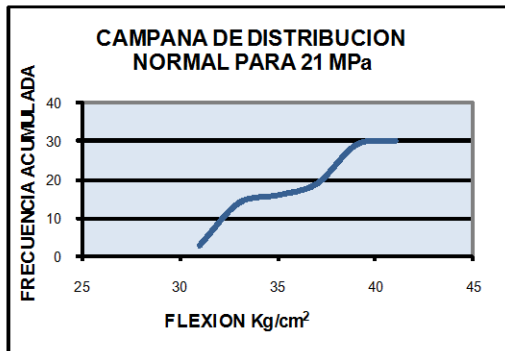
Fuente: Propia

- **Análisis estadístico descriptivo**

Resistencia (X_{prom})	36	Kg/cm^2
Desviación estandar (σ)	3	Kg/cm^2
Coefficiente de variacion (v)	8	%
Rango (R)	82	Kg/cm^2
Amplitud (A)	6	
No. de intervalos	2	Kg/cm^2
Moda (Md)	35	Kg/cm^2

El grado de control de calidad para esta empresa es excelente

No Categoría	Intervalos Kg/cm^2	Fi	Ni	fi	Hi
1	[29 - 31)	3	3	0,1	0,1
2	(31 - 33)	3	14	0,1	0,5
3	(33 - 35)	6	16	0,2	0,5
4	(35 - 37)	8	19	0,3	0,6
5	(37 - 39)	9	29	0,3	1,0
6	(39 - 41]	1	30	0,03	1
		30		1	



Fuente: Propia

Concreto de 280 Kg/cm²

- *Resultados de resistencia a la compresión (f'c)*

Ensayo No	Resistencia a la Compresión Kg/cm ²	Promedio Kg/cm ²	Promedio móvil de 3 en 3 Kg/cm ²	Intervalo Kg/cm ²
1	244			
2	240	242		4,00
3	216			
4	214	215,0		2,00
5	250			
6	259	254,5	237,17	9,00
7	242			
8	205	223,5	231,00	37,00
9	236			
10	242	239	239,00	6,00
11	250			
12	241	245,5	236,00	9,00
13	238			
14	251	244,5	243,00	13,00
15	226			
16	310	268,0	252,67	84,00
17	205			
18	369	287,0	266,50	164,00
19	344			
20	347	345,5	300,17	3,00
21	307			
22	295	301,0	311,17	12,00
23	325			
24	337	331,0	325,83	12,00
25	289			
26	318	303,5	311,83	29,00
27	316			
28	338	327,00	320,50	22,00
29	312			
30	327	319,50	316,67	15,00

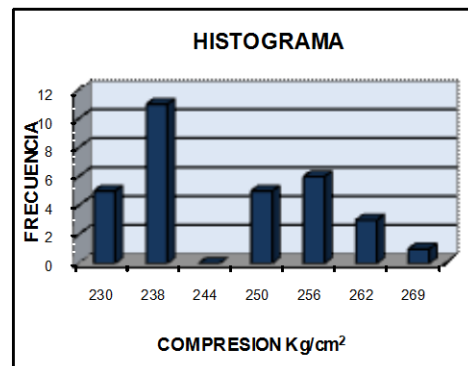
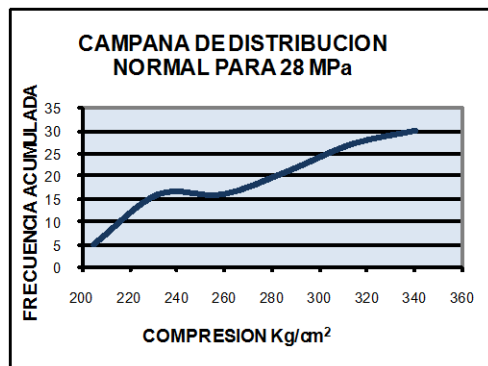
Fuente: Propia

- **Análisis estadístico descriptivo**

Resistencia (X_{prom})	276	Kg /cm ²
Desviación estandar (σ)	49	Kg /cm ²
Coefficiente de variacion (v)	18	%
Rango (R)	164	Kg /cm ²
Amplitud (A)	27	Kg /cm ²
No. de intervalos	6	
Moda (Md)	250	Kg /cm ²

El grado de control de calidad para esta empresa es aceptable

No Categoría	Intervalos Kg / cm ²	f _i	F _i	h _i	H _i
1	[205 - 232)	5	5	0,17	0,17
2	(232 - 259)	11	16	0,37	0,53
3	(259 - 286)	0	16	0,00	0,53
4	(286 - 313)	5	21	0,17	0,70
5	(313 - 340)	6	27	0,20	0,90
6	(340 - 369]	3	30	0,10	1,00
		30		1,00	



Fuente: Propia

- **Resultados de módulo de rotura para concretos de 280 Kg/cm² (Mr)**

Ensayo No	Módulo de rotura Kg/cm ²	Promedio Kg/cm ²	Promedio móvil de 3 en 3 Kg/cm ²	Intervalo Kg/cm ²
1	38			
2	38	38		0,00
3	37			
4	39	38,0		2,00
5	45			
6	38	41,5	39,17	7,00
7	39			
8	40	39,5	39,67	1,00
9	39			
10	39	39	40,00	0,00
11	42			
12	36	39	39,17	6,00
13	42			
14	43	42,5	40,17	1,00
15	37			
16	47	42,0	41,17	10,00
17	53			
18	47	50,0	44,83	6,00
19	49			
20	55	52	48,00	6,00
21	54			
22	48	51,0	51,00	6,00
23	47			
24	55	51,0	51,33	8,00
25	44			
26	49	46,5	49,50	5,00
27	57			
28	54	55,50	51,00	3,00
29	49			
30	49	49,00	50,33	0,00

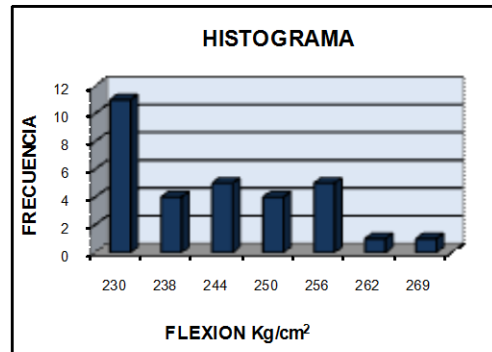
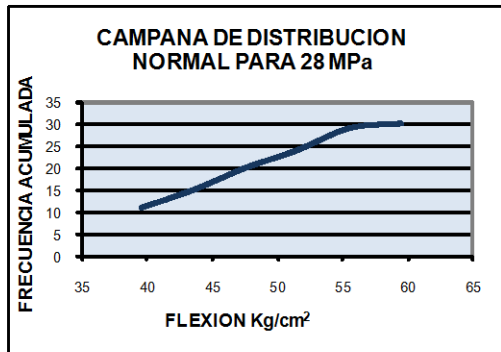
Fuente: Propia

- **Análisis estadístico descriptivo**

Resistencia (X_{prom})	45	Kg /cm²
Desviación estandar (σ)	6	Kg /cm²
Coefficiente de variacion (v)	14	%
Rango (R)	164	Kg /cm²
Amplitud (A)	6	
No. de intervalos	4	Kg /cm²
Moda (Md)	39	Kg /cm²

El grado de control de calidad para esta empresa es bueno

No Categoría	Intervalos Kg / cm ²	Fi	Ni	fi	Hi
1	[36- 40)	11	11	0,4	0,4
2	(40 – 44)	4	15	0,1	0,5
3	(44 – 48)	5	20	0,2	0,7
4	(48 – 52)	4	24	0,1	0,8
5	(52 – 56)	5	29	0,2	1,0
6	(56 - 60]	1	30	0,0	1,0
		30		1	



Fuente: Propia

Concreto de 350 Kg/cm²

- *Resultados de resistencia a la compresión (f'c)*

Ensayo No	Resistencia a la Compresión Kg/cm ²	Promedio Kg/cm ²	Promedio móvil de 3 en 3 Kg/cm ²	Intervalo Kg/cm ²
1	356			
2	363	359,5		7,00
3	345			
4	353	349,0		8,00
5	354			
6	338	346,0	351,50	16,00
7	373			
8	350	361,5	352,17	23,00
9	348			
10	354	351,0	352,83	6,00
11	323			
12	347	335,0	349,17	24,00
13	337			
14	374	355,5	347,17	37,00
15	358			
16	428	393,0	361,17	70,00
17	426			
18	428	427,0	391,83	2,00
19	416			
20	441	428,5	416,17	25,00
21	442			
22	415	428,5	428,00	27,00
23	448			
24	420	434,0	430,33	28,00
25	452			
26	454	453	438,50	2,00
27	418			
28	416	417,00	434,67	2,00
29	426			
30	450	438,00	436,00	24,00

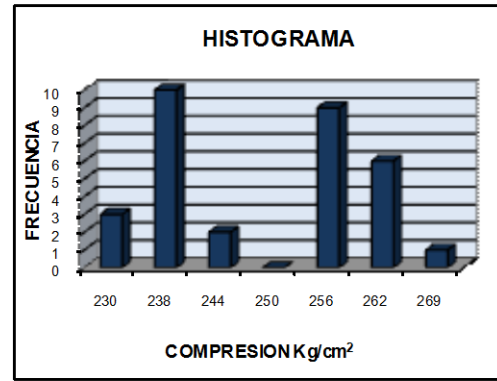
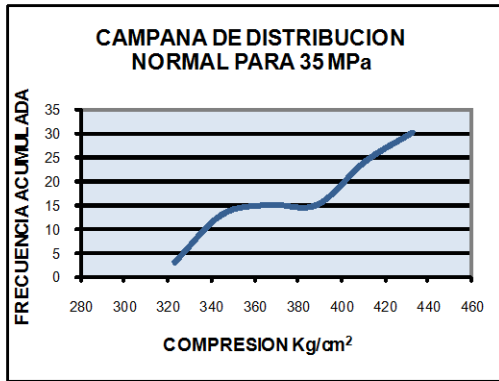
Fuente: Propia

- **Análisis estadístico descriptivo**

Resistencia (X_{prom})	392	Kg /cm²
Desviación estandar (σ)	43	Kg /cm²
Coefficiente de variación (v)	11	%
Rango (R)	131	Kg /cm²
Amplitud (A)	22	
No. de intervalos	6	Kg /cm²
Moda (Md)	354	Kg /cm²

El grado de control de calidad para esta empresa es aceptable

No Categoría	Intervalos Kg / cm ²	f _i	F _i	h _i	H _i
1	(323 - 345)	3	3	0,10	0,10
2	(345 - 367)	10	13	0,33	0,43
3	(367 - 389)	2	15	0,07	0,50
4	(389 - 411)	0	15	0,00	0,50
5	(411 - 433)	9	24	0,30	0,80
6	(433 - 455)	6	30	0,20	1,00
		30		1,00	



Fuente: Propia

- **Resultados de módulo de rotura para concretos de 350 Kg/cm² (Mr)**

Ensayo No	Módulo de rotura Kg/cm ²	Promedio Kg/cm ²	Promedio móvil de 3 en 3 Kg/cm ²	Intervalo Kg/cm ²
1	44			
2	52	48,0		7,57
3	49			
4	43	46,0		6,62
5	41			
6	49	44,9	46,31	7,71
7	46			
8	41	43,5	44,80	5,30
9	36			
10	45	40,4	42,94	9,34
11	49			
12	49	49,4	44,45	0,04
13	41			
14	43	42,2	44,01	2,11
15	46			
16	46	45,9	45,86	0,78
17	53			
18	38	45,5	44,55	14,37
19	42			
20	47	44,7	45,38	4,92
21	45			
22	53	48,9	46,38	8,60
23	44			
24	48	46,2	46,61	4,27
25	42			
26	42	42,2	45,77	0,22
27	42			
28	37	39,4	42,61	5,17
29	53			
30	48	50,7	44,10	5,43

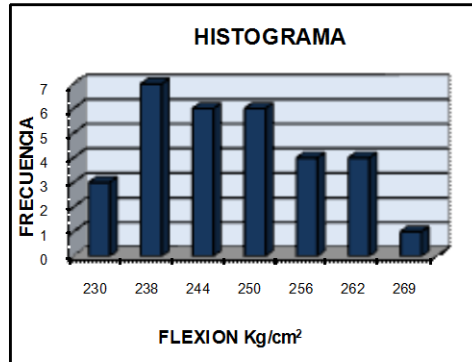
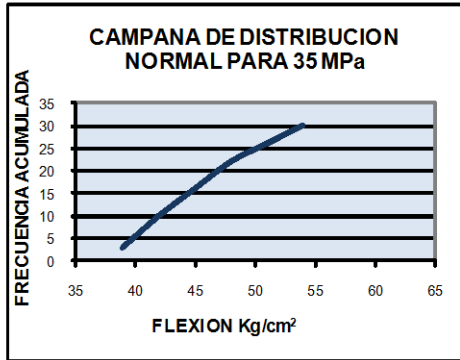
Fuente: Propia

- **Análisis estadístico descriptivo**

Resistencia (X_{prom})	45	Kg /cm²
Desviación estandar (σ)	5	Kg /cm²
Coefficiente de variacion (v)	10	%
Rango (R)	164	Kg /cm²
Amplitud (A)	6	
No. de intervalos	3	Kg /cm²
Moda (Md)	46	Kg /cm²

El grado de control de calidad para esta empresa es excelente

No Categoría	Intervalos Kg / cm ²	Fi	Ni	fi	Hi
1	[36 - 39)	3	3	0,10	0,10
2	(39 - 42)	7	10	0,23	0,33
3	(42 - 45)	6	16	0,20	0,53
4	(45 - 48)	6	22	0,20	0,73
5	(48 - 51)	4	26	0,13	0,87
6	(51 - 54]	4	30	0,13	1,00
		30		1,00	



Fuente: Propia

Una vez realizado el análisis estadístico para determinar la desviación de los valores de los ensayos entre sí, estos valores correspondientes a cada mezcla se sometieron a los siguientes criterios:

- Se tomaron los valores promedio de resistencias o de ensayos que se encontraron dentro del intervalo $X \pm \delta$, es decir que se descartaron los ensayos que se encontraron fuera de estos intervalos.
- La resistencia promedio a la compresión ($f'c$) al igual que la resistencia a la flexión (M_r) se calcularon como el promedio de los ensayos de resistencia consecutivos que se encontraron dentro del intervalo $X \pm \delta$

A continuación, se presenta el análisis estadístico realizado sobre las muestras depuradas, bajo los criterios mencionados anteriormente, de las cuales fueron descartados como valores atípicos los que no se encontraron dentro del intervalo $X \pm \delta$.

Concreto de 210 Kg/cm²

- **Resultados de resistencia a la compresión ($f'c$)**

Ensayo No	Resistencia a la Compresión Kg/cm ²	Promedio Kg/cm ²	Promedio móvil de 3 en 3 Kg/cm ²	Intervalo Kg/cm ²
1	261			
2	251	256		10
3	246			
4	242	244		4
5	237			
6	233	235,0	578	4
7	251			
8	253	252	568	2
9	268			
10	245	256,5	587	23
11	263			
12	236	249,5	590	27
13	254			
14	242	248	583	12
15	269			
16	236	252,5	584	33
17	237			
18	248	242,5	578	11
19	231			
20	262	246,5	573	31
21	252			

Fuente: Propia.

- **Análisis estadístico descriptivo**

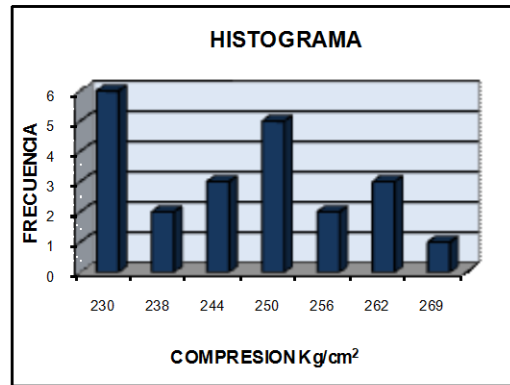
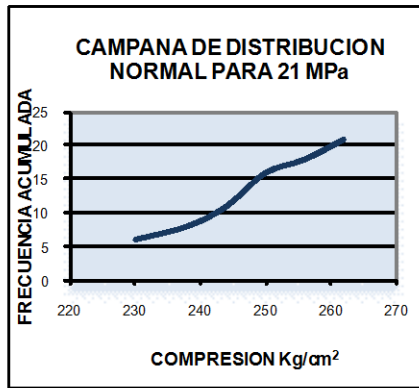
Resistencia (X_{prom})	248	Kg /cm ²
Desviación estandar (σ)	12	Kg /cm ²
Coefficiente de variacion (v)	5	%
Rango (R)	38	Kg /cm ²
Amplitud (A)	6	Kg /cm ²
No. de intervalos	6	
Moda (Md)	251	Kg /cm ²

El grado de control de calidad para esta empresa es excelente

No Categoría	Intervalos Kg / cm ²	f _i	F _i	h _i	H _i
1	[230 - 238)	6	6	0,29	0,29
2	(238 - 244)	2	8	0,10	0,38
3	(244 - 250)	3	11	0,14	0,52
4	(250 - 256)	5	16	0,24	0,76
5	(256 - 262)	2	18	0,10	0,86
6	(262 - 269]	3	21	0,14	1,00

21

1,00



Fuente: Propia

- **Resultados de módulo de rotura para concretos de 210 Kg/cm² (Mr)**

Ensayo No	Módulo de rotura Kg/cm ²	Promedio Kg/cm ²	Promedio móvil de 3 en 3 Kg/cm ²	Intervalo Kg/cm ²
1	35			
2	35	35		0,00
3	39			
4	35	39		4,00
5	39			
6	36	37	87,67	4,00
7	36			
8	34	36	86,00	0,00
9	35			
10	38	34,5	82,83	1,00
11	39			
12	36	38,5	85,00	1,00
13	36			
14	33	36	86,00	0,00
15	37			
16	35	35	83,83	4,00
17	38			
18	37	36,5	83,50	3,00
19	39			
20	38	38	86,17	2,00
21	38			
22	38	38	88,17	0,00
23	37			
24	37	37,5	88,17	1,00

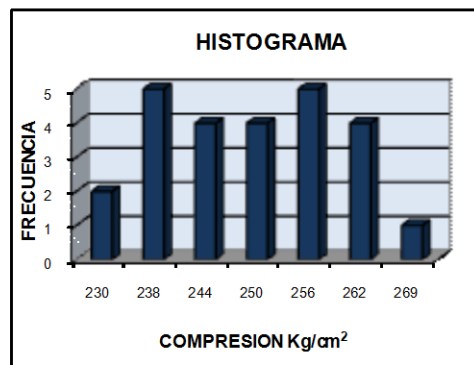
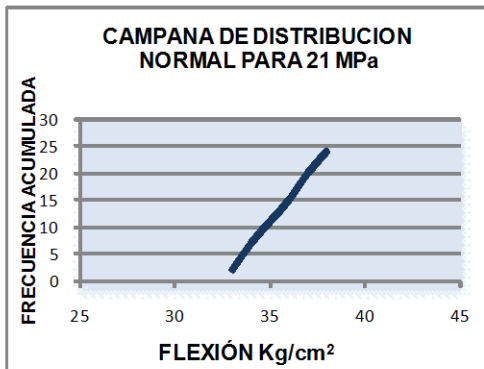
Fuente: Propia

- **Análisis estadístico descriptivo**

Resistencia (X_{prom})	37	Kg/cm^2
Desviación estandar (σ)	1	Kg/cm^2
Coefficiente de variacion (v)	4	%
Rango (R)	0	Kg/cm^2
Amplitud (A)	6	
No. de intervalos	0	Kg/cm^2
Moda (Md)	0	Kg/cm^2

El grado de control de calidad para esta empresa es excelente

No Categoría	Intervalos Kg/cm^2	Fi	Ni	fi	Hi
1	[33 - 34)	2	2	0,1	0,1
2	(34 - 35)	5	7	0,2	0,3
3	(35 - 36)	4	11	0,2	0,5
4	(36 - 37)	4	15	0,2	0,6
5	(37 - 38)	5	20	0,2	0,8
6	(38 - 39]	4	24	0,2	1,0
		24		1	



Fuente: Propia

Concreto de 280 Kg/cm²

- *Resultados de resistencia a la compresión(f'c)*

Ensayo No	Resistencia a la Compresión Kg/cm ²	Promedio Kg/cm ²	Promedio móvil de 3 en 3 Kg/cm ²	Intervalo Kg/cm ²
1	244			
2	240	242		4,00
3	250			
4	259	254,5		9,00
5	242			
6	236	239	574,17	6,00
7	242			
8	250	246	569,83	8,00
9	241			
10	238	239,5	565,17	3,00
11	251			
12	310	280,5	602,00	59,00
13	307			
14	295	301	661,33	12,00
15	289			
16	318	303,5	698,00	29,00
17	316			
18	312	314	717,83	4,00

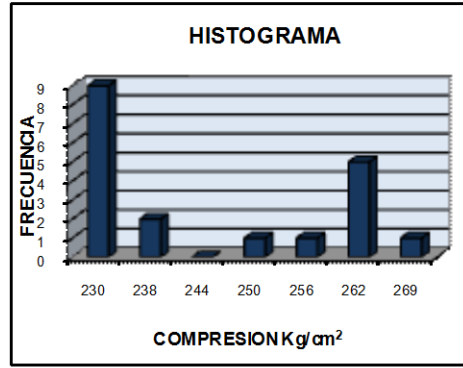
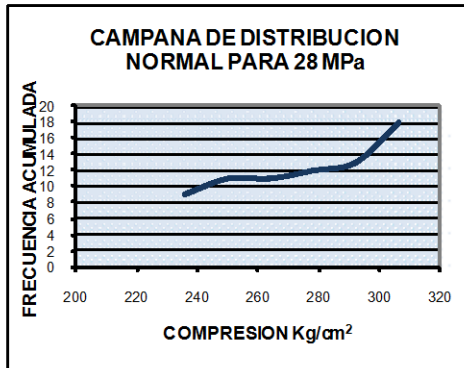
Fuente: Propia

- **Análisis estadístico descriptivo**

Resistencia (X_{prom})	269	Kg/cm^2
Desviación estandar (σ)	32	Kg/cm^2
Coefficiente de variación (v)	12	%
Rango (R)	82	Kg/cm^2
Amplitud (A)	14	Kg/cm^2
No. de intervalos	6	
Moda (Md)	250	Kg/cm^2

El grado de control de calidad para esta empresa es muy bueno

No Categoría	Intervalos Kg/cm^2	f_i	F_i	h_i	H_i
1	[236 - 250)	9	9	0,50	0,50
2	(250 - 264)	2	11	0,11	0,61
3	(264 - 278)	0	11	0,00	0,61
4	(278 - 292)	1	12	0,06	0,67
5	(292 - 306)	1	13	0,06	0,72
6	(306 - 320]	5	18	0,28	1,00
		18		1,00	



Fuente: Propia

- **Resultados de módulo de rotura para concretos de 280 Kg/cm² (Mr)**

Ensayo No	Módulo de rotura Kg/cm ²	Promedio Kg/cm ²	Promedio móvil de 3 en 3 Kg/cm ²	Intervalo Kg/cm ²
1	39			
2	45	42		6,00
3	39			
4	40	39,5		1,00
5	39			
6	39	39	40,17	0,00
7	42			
8	42	42	40,17	0,00
9	43			
10	47	45	42,00	4,00
11	47			
12	49	48	45,00	2,00
13	48			
14	47	47,5	46,83	1,00
15	44			
16	49	46,5	47,33	5,00
17	49			
18	49	49	47,67	0,00

Fuente: Propia

- **Análisis estadístico descriptivo**

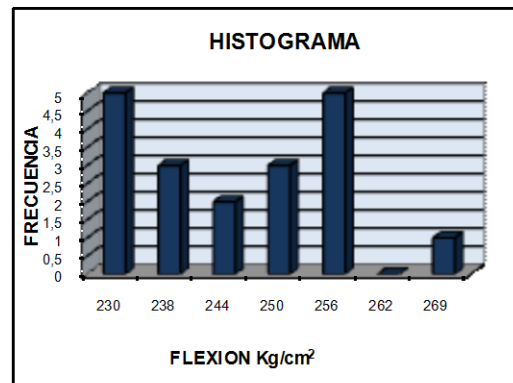
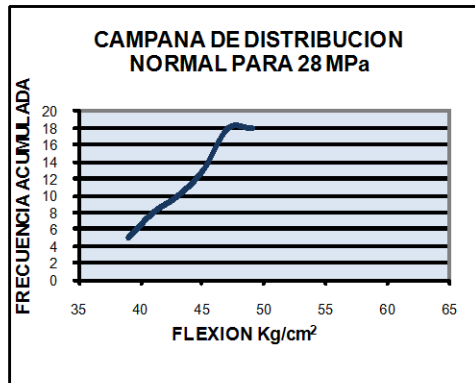
Resistencia (X_{prom})	44	Kg /cm²
Desviación estandar (σ)	4	Kg /cm²
Coefficiente de variacion (v)	9	%
Rango (R)	10	Kg /cm²
Amplitud (A)	6	
No. de intervalos	2	Kg /cm²
Moda (Md)	39	Kg /cm²

El grado de control de calidad para esta empresa es bueno

No Categoría	Intervalos Kg / cm ²	Fi	Ni	fi	Hi
1	[39- 41)	5	5	0,3	0,3
2	(41 – 43)	3	8	0,2	0,4
3	(43 – 45)	2	10	0,1	0,6
4	(45 – 47)	3	13	0,2	0,7
5	(47 – 49)	5	18	0,3	1,0
6	(49 - 51]	0	18	0,0	1,0

18

1



Fuente: Propia

Concreto de 350 Kg/cm²

- *Resultados de resistencia a la compresión(f'c)*

Ensayo No	Resistencia a la Compresión Kg/cm ²	Promedio Kg/cm ²	Promedio móvil de 3 en 3 Kg/cm ²	Intervalo Kg/cm ²
1	356			
2	363	359,5		7,00
3	353			
4	354	353,5		1,00
5	373			
6	350	361,5	834,83	23,00
7	354			
8	374	364,0	843,33	20,00
9	358			
10	428	393,0	877,50	70,00
11	426			
12	428	427,0	941,33	2,00
13	416			
14	441	428,5	986,50	25,00
15	442			
16	415	428,5	999,33	27,00
17	420			
18	418	419,0	990,33	2,00
19	416			
20	426	421,0	982,83	10,00

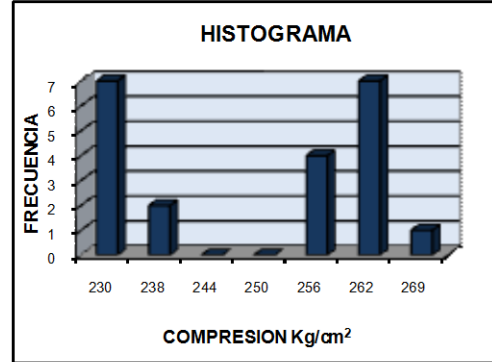
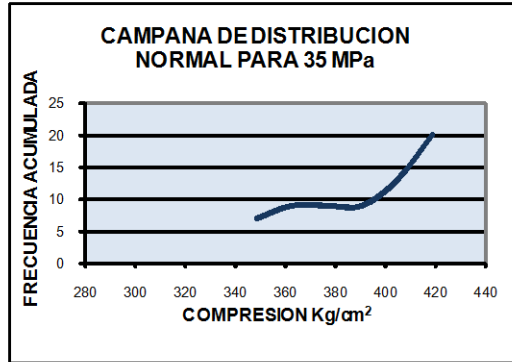
Fuente: Propia

- **Análisis estadístico descriptivo**

Resistencia (X_{prom})	396	Kg /cm²
Desviación estandar (σ)	35	Kg /cm²
Coefficiente de variacion (v)	9	%
Rango (R)	86	Kg /cm²
Amplitud (A)	14	Kg /cm²
No. de intervalos	6	
Moda (Md)	354	Kg /cm²

El grado de control de calidad para esta empresa es bueno

No Categoría	Intervalos Kg / cm ²	f _i	F _i	h _i	H _i
1	(349 - 363)	7	7	0,35	0,35
2	(363 - 377)	2	9	0,10	0,45
3	(377 - 391)	0	9	0,00	0,45
4	(391 - 405)	0	9	0,00	0,45
5	(405 - 419)	4	13	0,20	0,65
6	(419 - 435)	7	20	0,35	1,00
		20		1,00	



Fuente: Propia

- **Resultados de módulo de rotura para concretos de 350 Kg/cm² (Mr)**

Ensayo No	Módulo de rotura Kg/cm ²	Promedio Kg/cm ²	Promedio móvil de 3 en 3 Kg/cm ²	Intervalo Kg/cm ²
1	46			
2	49	48		3,27
3	46			
4	46	46		0,00
5	49			
6	46	47	47,03	2,63
7	46			
8	46	46	46,49	0,00
9	46			
10	49	48	47,06	3,43
11	49			
12	46	48	47,15	3,47
13	46			
14	46	46	47,07	0,48
15	46			
16	46	46	46,55	0,31
17	46			
18	47	47	46,16	1,15
19	46			
20	46	46	46,24	0,00
21	48			
22	46	47	46,59	2,36
23	46			
24	46	46	46,39	0,00
25	46			
26	48	47	47	1,97

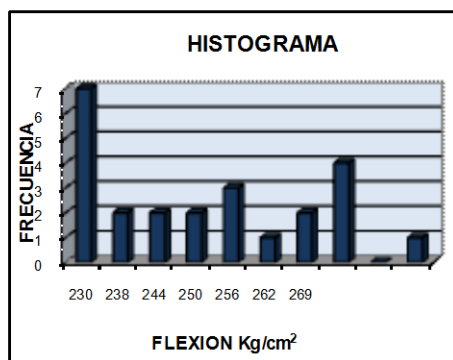
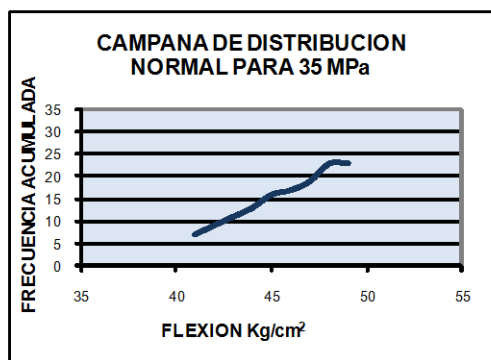
Fuente: Propia

- **Análisis estadístico descriptivo**

Resistencia (X_{prom})	47	Kg /cm²
Desviación estandar (σ)	1	Kg /cm²
Coefficiente de variacion (v)	3	%
Rango (R)	4	Kg /cm²
Amplitud (A)	6	
No. de intervalos	1	Kg /cm²
Moda (Md)	46	Kg /cm²

El grado de control de calidad para esta empresa es excelente

No Categoría	Intervalos Kg / cm ²	Fi	Ni	fi	Hi
1	[41 - 42)	7	7	0,3	0,3
2	(42 - 43)	2	9	0,1	0,4
3	(43 - 44)	2	11	0,1	0,5
4	(44 - 45)	2	13	0,1	0,6
5	(45 - 46)	3	16	0,1	0,7
6	(46 - 47)	1	17	0,0	0,7
7	(47 - 48)	2	19	0,1	0,8
8	(48 - 49)	4	23	0,2	1,0
9	(49 - 50)	0	23	0,0	1,0
		23		1,00	



Fuente: Propia

Haciendo una recopilación de los datos obtenidos, tanto a compresión como a flexión de forma comparativa entre los resultados del total de campo muestral con el campo depurado, se observan variaciones en los parámetros tal como se muestra en la tabla 3:

RESISTENCIA A LA COMPRESION									
	EXPERIMENTAL (PROMEDIO Kg/cm ²)	DESV	CONTROL DE CALIDAD	EXPERIMENTAL (PROMEDIO Kg/cm ²)	DESV	CONTROL DE CALIDAD	EXPERIMENTAL (PROMEDIO Kg/cm ²)	DESV	CONTROL DE CALIDAD
DISEÑO (Kg/cm ²)	210			280			350		
TOTAL CAMPO MUESTRAL	250	19	EXC	276	49	ACEPT	392	43	ACEPT
CAMPO MUESTRAL DEPURADO	248	12	EXC	269	32	BUENO	396	35	BUENO
RESISTENCIA A LA FLEXION									
	EXPERIMENTAL (PROMEDIO Kg/cm ²)	DESV	CONTROL DE CALIDAD	EXPERIMENTAL (PROMEDIO Kg/cm ²)	DESV	CONTROL DE CALIDAD	EXPERIMENTAL (PROMEDIO Kg/cm ²)	DESV	CONTROL DE CALIDAD
DISEÑO (Kg/cm ²)	210			280			350		
TOTAL CAMPO MUESTRAL	36	3	EXC	45	6	ACEPT	45	5	ACEPT
CAMPO MUESTRAL DEPURADO	37	1	EXC	44	4	BUENO	47	1	BUENO

Tabla 3. Resumen de resultados

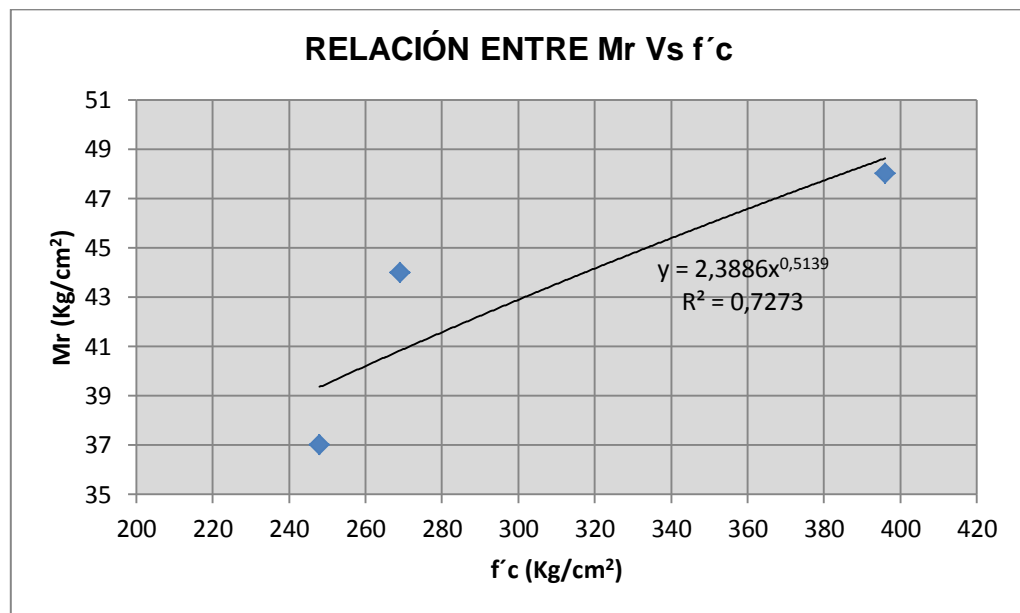
A partir de los análisis estadísticos de los resultados se obtuvieron los siguientes valores promedios para cada una de las resistencias analizadas, como son la resistencia a la compresión y la resistencia a la flexión del concreto, de igual manera se calcularon las constantes (k) para las relaciones tanto lineal como potencial.

Resistencia de diseño $f'c$ (Kg/cm ²)	Resistencia a compresión promedio $f'c$ (Kg/cm ²)	Resistencia a flexión promedio M_r (Kg/cm ²)	K lineal	K potencial
210	248	37	0,15	2,33
280	269	44	0,16	2,70
350	396	47	0,12	2,35

Tabla 4. Valores promedios obtenidos

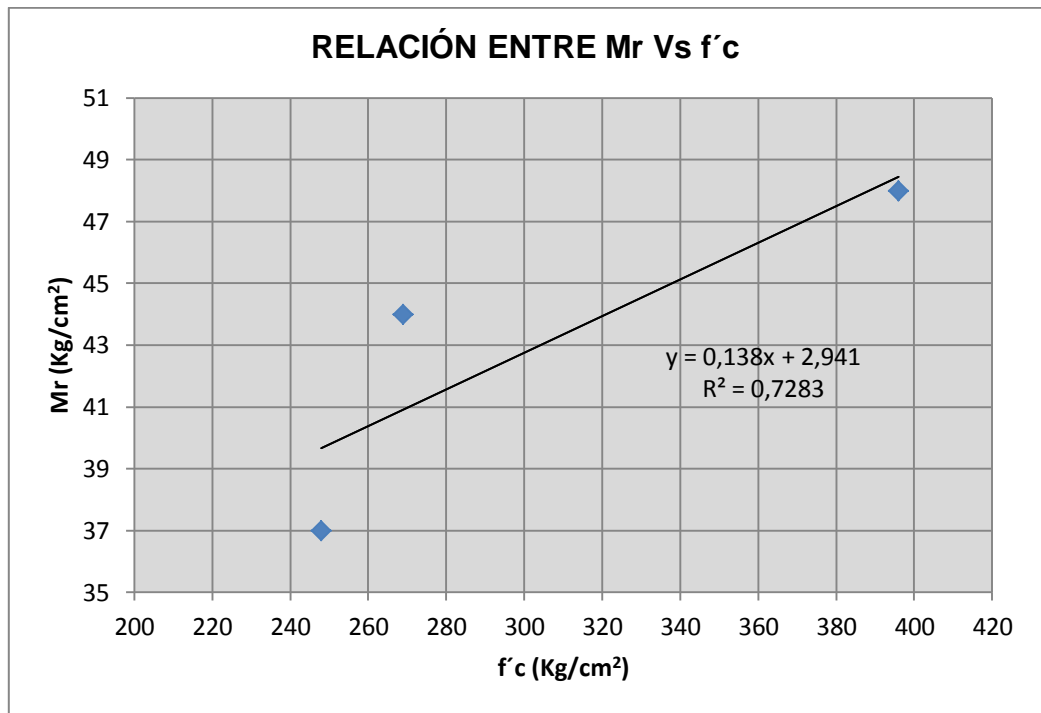
En la tabla 4 se presenta la relación existente entre los parámetros de M_r y f'_c mediante el cálculo de la constante K asumiendo una relación lineal entre ambos parámetros, obteniendo así unos valores que oscilan entre 0,12 – 0,16. Así mismo se encuentran los valores de las relaciones existentes entre los parámetros estudiados, mediante el cálculo de la constante K asumiendo una relación potencial, tal como lo plantea el ACI 318 para el cálculo del módulo de rotura del concreto como $M_r = K * \sqrt{f'_c}$, donde el valor de K para el presente estudio estuvo entre los valores de 2,33 – 2,70.

En las figuras 12 y 13, se pueden apreciar las relaciones potencial y lineal existentes entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del concreto caso Prevesa para las diferentes mezclas de concreto analizadas.



Fuente: Propia

Figura 12. Gráfico de resultados según relación potencial



Fuente: Propia

Figura 13. Gráfico de resultados según relación lineal.

8. CONCLUSIONES

- ✓ Con respecto al parámetro de la resistencia a la compresión del concreto, se concluye que todas las mezclas una vez depurado el campo muestral, la desviación estándar disminuye conservando o mejorando el control de calidad. Adicionalmente, en cuanto a la resistencia a la compresión en las mezclas de 210 y 350 Kg/cm² se aprecian sobrediseños de 38 y 46 Kg/cm² respectivamente, mientras que las mezclas de 280 Kg/cm² presentaron resistencias ligeramente inferior a la de diseño.
- ✓ En cuanto al parámetro de la resistencia a la flexión del concreto se concluye que todas las mezclas de concreto, una vez depurado el campo muestral, tanto en la desviación estándar como en el promedio, no presentan cambios considerables que muestren diferencias en el control de calidad, el cual permanece como excelente.
- ✓ Se concluye que los ensayos de resistencia a la compresión poseen más variables que afectan los resultados que los de resistencia a flexión, debido a la variabilidad de los resultados obtenidos en dichos ensayos
- ✓ En lo referente a las relaciones entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión se consideraron dos relaciones:
 - una lineal de la cual se obtiene un valor de constante K, para una relación de tipo $Mr = K * f'c$, para este caso $Mr = 0,138 * f'c$ representado en la figura 13, según la tabla 4 los promedios de los valores obtenidos oscilan entre 0,12, 0,15 y 0,16 para un promedio de 0,14.
 - una potencial de la cual se obtiene un valor de constante K, para una relación de tipo $Mr = K * \sqrt{f'c}$, para este caso $Mr = 2,39 * \sqrt{f'c}$ representado en la figura 12, según la tabla 4 los promedios de los valores obtenidos oscilan entre 2,33, 2,70 y 2,35 para un promedio de 2,46.

- ✓ Según el ACI, la resistencia a la flexión para un concreto de peso normal, está entre los valores de 1,99 a 2,65 veces la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión. Los valores encontrados en este proyecto para las mezclas de 210 y 350 Kg/cm² se encuentran dentro del rango establecido, pero para las mezclas de 280 Kg/cm² el valor de la constante teniendo en cuenta los promedios se encuentra ligeramente superior a la norma en casi un 2%, pero según la ecuación obtenida en la figura 12 dicha constante se encuentra dentro de los valores recomendados por el ACI.

9. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda que la empresa implemente un procedimiento que garantice la continuidad de las características de los agregados a utilizar en la mezcla así como un buen control de calidad en la elaboración de la misma en cuanto a la conservación y actualización constante de los diseños de mezclas y especial cuidado con la mezcla de 280 Kg/cm² que fue la que presentó resistencia por debajo del diseño.
- ✓ Para proyectos futuros se recomienda tratar de conservar las mismas características tanto de los agregados utilizados como de la mezcla en estado fresco a fin de evitar dispersión en los resultados.
- ✓ Se recomienda utilizar los valores de K obtenidos en este proyecto para las mezclas de concreto elaborados por PREVESA con cemento Argos tipo III y agregados finos y gruesos provenientes de la fuente de pescadero.
- ✓ Realizar el mismo estudio para otros casos con el fin de que cada empresa cuente con sus formulas propias que establezcan las relaciones entre los parámetros del módulo de rotura y resistencia a la compresión.

10. BIBLIOGRAFIA

BELTRAN, Wilson. Implementación del control de calidad de la ceniza volante como material cementante en la producción de concreto de la planta Jorge Luis Vesga. Bucaramanga. Universidad Pontificia Bolivariana. 2001.

CAÑAS LAZO, Manuel Antonio y RETANA MARTÍNEZ, Manuel Edgardo. Establecimiento de una relación entre el modulo de ruptura y la resistencia a la compresión para mezclas de concreto hidráulico en el Salvador. Universidad Politécnica de El Salvador, San Salvador, El Salvador. 1999.

GUERRERO ARDILA, Jairo y GOMEZ ACELAS, Víctor Manuel. Relación entre resistencia a compresión y modulo de rotura para concretos producidos con cementos diamante de Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander. 1986.

INSTITUTO DEL CONCRETO. Asocreto. Tecnología y Propiedades. Bogotá. 2000.

INSTITUTO AMERICANO DEL CONCRETO. Practica recomendada para seleccionar el proporcionamiento del concreto normal, pesado y masivo. ACI. 211.

SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. Tecnología del Concreto y del Mortero. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. 1984.

SANTAELLA VALENCIA, Luz Elena y otros. Diseño del mortero fluido para remplazar la subbase y base granular, Universidad Militar Nueva Granada y Concretos Premezclados S.A, Bogotá. 2002

TORRADO GOMEZ, Luz Marina. y PORRAS ALVAREZ, Natalia. Tesis. Determinación de las ecuaciones del modulo de elasticidad estático y dinámico del concreto producido en Bucaramanga y su área metropolitana. Universidad Pontificia Bolivariana. 2009