

**CORRELACIÓN ENTRE EL MÓDULO DE ROTURA Y LA RESISTENCIA A
COMPRESIÓN DEL CONCRETO FABRICADO CON MATERIALES PÉTREOS
DE LA MINA “LAS TERRAZAS” Y CANTERA “LA VICTORIA” DEL MUNICIPIO
DE PASTO**

**JAMES CESAR AUGUSTO DELGADO
PAULO VYNICIO LEGARDA CAICEDO**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2011**

**CORRELACIÓN ENTRE EL MÓDULO DE ROTURA Y LA RESISTENCIA A
COMPRESIÓN DEL CONCRETO FABRICADO CON MATERIALES PÉTREOS
DE LA MINA “LAS TERRAZAS” Y CANTERA “LA VICTORIA” DEL MUNICIPIO
DE PASTO**

**JAMES CESAR AUGUSTO DELGADO
PAULO VYNICIO LEGARDA CAICEDO**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Civil**

**Director:
VICENTE PARRA SANTACRUZ
Ingeniero Civil**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2011**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo de grado son responsabilidad exclusiva del autor.

Artículo 1° del acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado del honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de Aceptación:

Firma del Presidente de Tesis

Firma del jurado

Firma del jurado

San Juan Pasto, Marzo de 2011

AGRADECIMIENTOS

Ing. VICENTE PARRA SANTACRUZ, Nuestro director de proyecto de tesis, quien siempre nos guio en el desarrollo de esta investigación.

COMINAGRO LTDA Y PANAVIAS, por haber aportado las materias primas que hicieron posible el desarrollo de esta investigación.

GUSTAVO ADOLFO PONCE, Auxiliar de laboratorio de la Universidad De Nariño en el área de suelos, por su amistad y apoyo en todo momento.

LEIDY DANIELA NARVAEZ, Geotecnóloga de la Universidad de Nariño por su atención y generosidad.

SILVIO CABRERA, Geotecnólogo de la Universidad de Nariño por su amabilidad y tiempo para dedicar a este proyecto.

HERNEY LASSO, Geotecnólogo por brindarnos las instalaciones y equipos en su laboratorio.

ANDREA LIMA, Geotecnóloga quien nos colaboro con equipos y moldes para el desarrollo de nuestro trabajo.

PIEDAD REBOLLEDO MUÑOZ, Directora de Laboratorios por su apoyo y amabilidad en facilitarnos las instalaciones del laboratorio de suelos.

MARTHA FIGUEROA, directora de la Oficina de Servicios Generales por su amabilidad en facilitarnos los respectivos permisos especiales para el ingreso a la Universidad de Nariño.

A nuestros compañeros y amigos, por toda la ayuda que nos brindaron en el alcance de esta meta.

DEDICATORIA

Alcanzar las metas que nos proyectamos en nuestra vida, al lado de las personas que amamos como nuestros familiares, amigos y compañeros, es una de las satisfacciones más grandes y poder dedicarles a ellos en forma de agradecimiento el alcanzar hoy nuestro título.

A Dios por su inmenso amor, y llevarme siempre por el buen camino.

MI PADRE Luis Colon Legarda Melo, por su inmenso amor y cariño, que me ha enseñado a valorar todo aquello que se consigue con sacrificio y dedicación, como él ha hecho con nuestra familia, y por siempre ha estado a mi lado para corregirme y enseñarme.

MI MADRE Fabiola del Rosario Caicedo López, por su amor, y apoyo en todos los momentos de mi vida, por sacrificarse por darnos todo lo necesario, y enseñarnos en tener confianza en nosotros mismos.

MIS HERMANOS Nathaly, Jhonny y Angello por brindarme su comprensión y apoyo en todo momento.

A MI SOBRINO Anthony Gustavo, por ser la alegría de nuestro hogar.

A MI TIA Mary y su esposo Ignacio, por brindarnos un apoyo incondicional, y alentarnos siempre a soñar para alcanzar nuestros sueños.

MIS FAMILIARES Y AMIGOS, por todo su apoyo y lealtad ante las adversidades de la vida.

Paulo Vynicio Legarda Caicedo.

DEDICATORIA

Saber donde se llega, es saber donde se que no he terminado, se que quiero conocer y habrá espacio y tiempo para llegar.

A DIOS, por brindarme la sabiduría y fortaleza para alcanzar esta meta.

MIS MADRES Mariela y Bertha por todo su amor, dedicación y sacrificio.

MI ABUELO por todo su ejemplo amor y comprensión.

MIS TIAS Y PRIMAS, por brindarme su apoyo en todos los momentos, y por todo su cariño.

James Cesar Augusto Delgado

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	23
1. TÍTULO	25
2. MARCO TEÓRICO	26
2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL CONCRETO	26
2.2 DEFINICIÓN DE CONCRETO.....	29
2.3 MATERIAS PRIMAS DEL CONCRETO.....	29
2.3.1 Agua	29
2.3.2 Cemento	30
2.4 AGREGADOS.....	31
2.4.1 Agregado grueso (Grava).	32
2.4.1.1 Características de un buen agregado grueso:	33
2.4.2 Agregado fino (arenas)	33
2.4.2.1 Características de un buen agregado fino:	34
2.5 OBTENCIÓN DE LOS AGREGADOS NATURALES	34
2.5.1 Ubicación de los bancos de material	34
2.5.2 Elección de bancos de material	35
2.6 PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS	35
2.6.1 Granulometría.	35
2.6.1.1 Curvas granulométricas.	36
2.6.2 Tamaño máximo	36

2.6.3	Módulo de finura	36
2.6.4	Porcentaje de finos	36
2.6.5	Textura.....	37
2.6.6	Densidad aparente.....	37
2.6.7	Absorción	37
2.6.8	Masa unitaria	38
2.7	PROPIEDADES MECÁNICAS.....	38
2.7.1	Resistencia	38
2.7.2	Tenacidad	39
2.7.3	Adherencia.....	39
2.7.4	Desgaste.....	39
2.7.5	Sanidad de los agregados	39
2.7.6	Resistencia a congelación y deshielo	39
2.7.7	Contenido de materia orgánica	40
2.8	CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO	40
2.8.1	Manejabilidad o trabajabilidad.....	40
2.8.2	Medida de la manejabilidad.	42
2.8.3	Ensayo a flexión.....	42
2.8.3.1	Deducción del módulo de rotura (MR):	43
2.8.3.2	Criterio de aceptación o rechazo	47
2.8.3.3	Problemas con la flexión.....	47
2.8.3.4	Resistencia a la compresión	47
2.9	RELACIÓN DE LAS DIFERENTES RESISTENCIAS DEL CONCRETO	48

2.9.1	Relación del las resistencias del concreto	48
2.9.2	Respecto a los materiales.....	50
2.9.3	Relación agua/cemento (A/C) Vs resistencia a la compresión.....	50
3.	TRABAJO DE CAMPO	54
3.1	SELECCIÓN DE MATERIALES.....	54
3.1.1	Transporte y almacenamiento de los materiales.....	55
3.2	ENSAYOS DE LABORATORIO FÍSICO MECÁNICOS A LOS MATERIALES	56
3.3	DISEÑO DE MEZCLAS	56
3.3.1	Camisas para elaborar vigas y cilindros	60
3.3.2	Vaciado de vigas y cilindros.....	60
3.3.3	Desencofrado, limpieza y engrasado de formaletas.	64
3.3.4	Curado	66
3.4	ENSAYOS DE CILINDROS Y VIGAS.....	66
3.5	ANÁLISIS ESTADÍSTICO	68
4.	DISEÑO DE LAS MEZCLAS.....	70
4.1	PASOS A SEGUIR	73
4.1.1	Selección del asentamiento	73
4.1.2	Chequeo del tamaño máximo nominal.....	74
4.1.3	Determinación de la resistencia de dosificación.	74
4.1.4	Estimación del agua de Mezcla	75
4.1.5	Selección de la relación Agua/Cemento	76
4.1.6	Contenido de cemento.....	76
4.1.7	Calculo de la cantidad de cada agregado.....	76

4.1.8	Cálculo de las proporciones iniciales.....	77
4.1.8.1	Cálculo de las cantidades finales para cada relación A/C.....	77
4.1.8.2	Cantidad de cemento para la primera mezcla de prueba:.....	78
4.1.8.3	Contenido de humedad de los materiales:.....	79
4.1.8.4	Agua real utilizada:	79
4.1.9	Ajuste por asentamiento.	80
4.1.9.1	Ajuste	81
4.1.10	Segunda mezcla de prueba	81
5.	ESTADÍSTICA	82
5.1	ETIMOLOGÍA DE LA ESTADÍSTICA.....	82
5.2	PARÁMETROS ESTADÍSTICOS.....	83
5.2.1	La media aritmética (\bar{y}).....	83
5.2.2	La desviación estándar (S_y).....	83
5.2.3	Varianza (s_y).....	84
5.2.4	Coeficiente de variación (cv).....	84
5.2.5	Distribución normal.	84
5.2.6	Histograma.....	85
5.2.7	Estimación de los intervalos de confianza.	85
5.2.8	Estimación de la normal estándar.....	86
5.2.9	Distribución (t):.....	86
5.2.10	Estadística para una muestra	87
5.2.11	Parámetros estadísticos:.....	89
5.2.12	Distribución normal	90

5.2.13	Estimación de los intervalos de confianza	91
5.3	SIGNIFICACIÓN ESTADÍSTICA.....	92
5.3.1	Error de tipo I ().....	94
5.3.2	Error de tipo II ().....	95
5.4	EL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN LINEAL DE PEARSON.....	97
5.4.1	Cálculo del tamaño muestral para calcular la significación del coeficiente de correlación lineal de Pearson.....	98
6.	CONTROL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	102
6.1	RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESION DE CLINDROS DE CONCRETO A LOS 28 DIAS DE CURADO	103
6.2	RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE CONCRETO A LOS 28 DIAS DE CURADO	105
6.3	CORRELACION RESITENCIA A LA COPMRESION VS RELACION AGUA/CEMENTO A LOS 28 DIAS DE CURADO.....	107
6.3.1	Análisis de la tendencia resistencia a la compresión a los 28 días respecto a la relación agua cemento (Ver gráfica 15).....	110
6.4	CORRELACIÓN MÓDULO DE ROTURA Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO	111
6.5	ANÁLISIS DE LA TENDENCIA MÓDULO DE ROTURA A LOS 28 DÍAS RESPECTO A LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS.....	113
6.5.1	Correlación fr vs f'c comparación con el ACI	115
6.5.2	Análisis de la tendencia módulo de rotura a los 28 días respecto a la resistencia a la compresión a los 28 días comparación con el ACI.	118
7.	CONCLUSIONES	119

8.	RECOMENDACIONES PARA LA FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS	121
9.	RECOMENDACIONES FINALES	123
	BIBLIOGRAFIA	124
	NETGRAFÍA.....	125
	ANEXOS	126

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Características físicas y químicas cemento Pórtland I (Argos uso general)	31
Tabla 2. Clasificación de la consistencia de la mezclas	41
Tabla 3. Valores recomendados de A/C para diferentes resistencias a la compresión en concreto sin aire incluido y concreto con aire incluido.	52
Tabla 4. Rangos granulométricos recomendados por ASOCRETO.....	70
Tabla 5. Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación.....	74
Tabla 6. Gradación de Agregado grueso	75
Tabla 7. Estimación de agua de mezcla.....	75
Tabla 8. Proporciones finales de la mezcla de concreto	77
Tabla 9. Volumen de un cilindro estándar	77
Tabla 10. Volumen de una viga típica	78
Tabla 11. Cantidad de concreto a preparar.....	78
Tabla 12. Corrección por humedad de los materiales	79
Tabla 13. Ajuste pos asentamiento	80
Tabla 14. Mezcla preparada por m ³ de concreto.....	80
Tabla 15. Proporciones ajustadas.....	81
Tabla 16. Dosificaciones definitivas	81
Tabla 17. Datos del ensayo a flexión de vigas	88
Tabla 18. Datos del ensayo a compresión de cilindros	88

Tabla 19.	Parámetros estadísticos ensayo a flexión	89
Tabla 20.	Parámetros estadísticos ensayo a compresión	89
Tabla 21.	Estimación del os intervalos de confianza	91
Tabla 22.	Distribución student “t”	92
Tabla 23.	Porcentaje de respuesta.....	93
Tabla 24.	Seguridad estadística	100
Tabla 25.	Poder estadístico.....	100
Tabla 26.	Tamaño muestral	101
Tabla 27.	Resultados de cilindros a la compresión	103
Tabla 28.	Datos de módulo de rotura	105
Tabla 29.	Correlación resistencia a la compresión vs relación agua/cemento a los 28 días de curado	107
Tabla 30.	Datos Promedio para correlación	111
Tabla 31.	Porcentaje de conservación	110
Tabla 32.	Correlación $f'c$ vs f_r comparación con el ACI	115

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. COMINAGRO Ltda.....	54
Figura 2. PANAVIAS Ltda.	55
Figura 3. Agregado fino	55
Figura 4. Agregado grueso.....	56
Figura 5. Tamizado del agregado fino	57
Figura 6. Chequeo de asentamiento	57
Figura 7. Disposición de agregados	58
Figura 8. Vaciado del agua de mezcla	59
Figura 9 . Mezcla mecánica de agregados.....	59
Figura 10. Vaciado del concreto hidráulico.....	60
Figura 11. Primera capa del vaciado de vigas.....	61
Figura 12. Vaciado de la segunda capa	61
Figura 13. Viga lista para ser compactada	62
Figura 14. Proceso de vaciado en serie	62
Figura 15. Compactación de vigas	63
Figura 16. Vibrado para vigas	63
Figura 17. Detalle del terminado de tablilla de madera	64
Figura 18. Terminado de vigas con palustre	64
Figura 19. Formaleta de viga aceitada	65
Figura 20. Detalle lateral de formaleta.....	66

Figura 21. Vigas y cilindros listos para desencofrar	66
Figura 22. Viga en el proceso de falla	67
Figura 23. Falla de la viga	67
Figura 24. Detalle interno de una viga.....	68
Figura 25. Montaje del ensayo a compresión.....	68

LISTA DE GRÁFICAS

	Pág.
Gráfica 1. Aplicación de las cargas según la ASTM.....	42
Gráfica 2. Diagrama de momento flector de una viga simplemente apoyada	43
Gráfica 3. Diagrama de esfuerzos en una viga simplemente apoyada	44
Gráfica 4. El módulo de rotura presenta valores entre 10% y un 20% de la resistencia a la compresión. Una relación aproximada, que puede utilizarse cuando no se disponga de ensayos de flexión es el siguiente.	52
Gráfica 5. Malla de Fuller	72
Gráfica 6. Histograma de frecuencias	84
Gráfica 7. Distribución normal.....	86
Gráfica 8. Distribución t convergente	87
Gráfica 9. Distribución normal ensayo a flexión	90
Gráfica 10. Distribución normal ensayo a compresión	90
Gráfica 11. Error tipo I y tipo II	96
Gráfica 12. Resistencia a la compresión de cilindros de concreto a los 28 días de curado para diferentes relaciones agua cemento	104
Gráfica 13. Módulo de rotura	106
Gráfica 14. Resistencia a la compresión vs relación agua/cemento	108
Gráfica 15. Proyección de la gráfica $f'c$ vs A/C comparación con otras gráficas	109
Gráfica 16. Correlación Módulo de rotura vs resistencia a la compresión del concreto a los 28 días de curado.....	112

Gráfica 17. Proyección de la gráfica correlación Módulo de rotura vs resistencia a la compresión del concreto a los 28 días de curado..... 113

Gráfica 18. Resistencia a la compresión vs módulo de rotura comparación con ACI..... 116

Gráfica 19. Proyección de graficas de comparación con el ACI 117

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Ensayos de laboratorio físico mecánicos a los materiales.....	127
Anexo B. Ensayos a flexión de vigas de concreto.....	150
Anexo C. Resultados de ensayo a Compresión de cilindros de concreto	160

RESUMEN

Este trabajo se realiza con el fin de obtener una correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a compresión del concreto, para lo cual se utiliza agregado fino de mina "Arena negra" y agregado grueso de cantera "La victoria" producto de trituración y de origen ígneo del municipio de Pasto (Nariño) y cemento "ARGOS" portland tipo 1, con relaciones agua-cemento entre 0.42 y 0.54, con un incremento de 0.04. También se hace una comparación de las ecuaciones presentadas por la Norma Colombiana Sismo-resistente de 1998 NSR-98 y el A.C.I (American Concrete institute) para calcular el módulo de rotura, con la ecuación obtenida en la presente investigación.

En esta investigación se fabrican viguetas de dimensiones 152 mm x 152 mm x 532mm que se fallan a flexión y cilindros de 150 mm de diámetro y 300 mm de altura que se fallan a compresión.

Estas probetas se fabrican para 4 relaciones agua-cemento (0.42 – 0.54); se estableció una muestra piloto para analizarla estadísticamente de una población de 21 especímenes tanto para vigas y cilindros, y así obtener un tamaño de muestreo para cada relación agua cemento, obteniendo como resultado del tamaño de la muestra 5 especímenes como mínimo tanto para vigas y cilindros los cuales se fallaron a los 28 días de curado.

A partir de los datos obtenidos en el laboratorio, se hacen correlaciones entre la resistencia a compresión y la relación agua / cemento, módulo de rotura y relación agua / cemento y módulo de rotura y resistencia a la compresión para los 28 días de curado y las comparaciones con otras formulas de la normatividad existente.

Teniendo en cuenta que tanto la resistencia a la compresión (f'_c) como, el módulo de rotura, (f_r), son parámetros importantes en el análisis y diseño de las estructuras de concreto, se han sugerido varios coeficientes para expresar el f_r en función de $\sqrt{f'_c}$, la más usadas son aquellas de la forma:

$$\text{ACI: } f_r = k * \sqrt{f'_c} \text{ kg/cm}^2 \quad \text{donde k varía entre 2 y 2.7} \quad (1)$$

$$\text{NSR 98: } f_r = 0.7 * \sqrt{f'_c} \text{ MPa} \quad (2)$$

Se debe examinar esta expresión involucrando diferentes materiales, ya que con los coeficientes establecidos se puede subestimar o sobreestimar las cualidades resistentes de los materiales usados para la fabricación de concreto.

ABSTRACT

This work was carried out with the purpose of obtaining a correlation between the break module and the resistance to compression of the concrete, for that which you uses fine attaché of mine "black Sand" and thick attaché of quarry trituration product and of igneous origin of the municipality of Grass (Nariño) and I cement "ARGOS" portland type 1, with relationships water-cement between 0.42 and 0.54, with an increment of 0.04. a comparison of the equations is Also made presented by the Norma Colombian Earthquake - resistant of 1998 NSR-98 and the A.C.I (American Sums up institute) to calculate the break module, with the equation obtained in the present investigation.

In this investigation beams of dimensions 152 mm x 152 mm x 532mm were manufactured that were failed to flexion and cylinders 150 mm of diameter and 300 mm high that were failed to compression. These test tubes were manufactured for 4 relationships water-cement (0.42 - 0.54); a sample pilot settled down to analyze it statistically of a population of 21 so much specimens for beams and cylinders, and to obtain a sampling size for each relationship dilutes this way cement, obtaining as a result of the size of the sample 5 specimens like so much minimum for beams and cylinders which were failed to the 28 days of cured.

Starting from the data obtained in the laboratory, correlations were made among the resistance to compression and the relationship dilutes / I cement, break module and relationship dilutes / I cement and break module and resistance to the compression for the 28 days of cured and the comparisons with other formulate of the existent normatividad.

Keeping in mind that so much the resistance to the compression ($f'c$) as, the one modulates of break, (fr), they are important parameters in the analysis and design of the structures of concrete, several coefficients have been suggested to express the fr in function of, those most used ones are those in the way:

$$\text{ACI: } fr = k * \sqrt{f'c} \text{ kg/cm}^2 \quad k = 2 \text{ o } 2.7$$

$$\text{NSR 98: } fr = 0.7 * \sqrt{f'c} \text{ MPa}$$

This expression should be examined involving different materials, applying it to diverse means, since with the established coefficients you can underestimate or to overestimate the resistant qualities of the materials used for the production of concrete.

INTRODUCCIÓN

Debido a que la tecnología del concreto se está desarrollando en todo el mundo desde hace mucho tiempo, y cada vez se aumentan las exigencias de este material en las obras civiles que se desean realizar, es de vital importancia investigar su comportamiento físico y mecánico, ya que esto conllevará a obtener mejores diseños, permitiendo que las construcciones sean de mejor calidad y seguridad.

Una de las características mecánicas importante del concreto es la resistencia a Tracción, el valor de la resistencia a la tracción del concreto es aproximadamente del 8 a 12 por ciento de su resistencia a compresión; el módulo de rotura es una manera de obtener la resistencia a la tracción por flexión del concreto y se obtiene al fallar una viga de concreto no reforzado y se calcula a partir de la fórmula correspondiente a los esfuerzos producidos por flexión $\sigma = Mc/I$. el módulo de rotura está entre 10 y 20 por ciento de la resistencia a compresión.

Se investiga el comportamiento del concreto a tracción por flexión (ensayo de vigas prismáticas) y a compresión empleando cilindros normalizados, determinando de esta manera las características mecánicas propias de este material (el concreto), consiguiendo así cuantificar el valor del módulo de rotura del material y relacionándolo con la resistencia a compresión del mismo, siendo este trabajo el primer paso en esta temática.

Este trabajo contribuye a exploraciones ulteriores porque aquí se desarrollan una cantidad de procesos que servirán de referente.

Entre otras se detalla el proceso de construcción de las probetas empezando por la elaboración de una muestra piloto con la cual se define el tamaño muestral de la investigación, la elaboración y ensayo de los especímenes, así como también las dificultades presentadas y recomendaciones que se deben tener en cuenta para tales investigaciones.

Objetivos:

Objetivo general: Procurar encontrar una expresión que permita correlacionar el módulo de rotura (f_r) y la resistencia a la compresión (f'_c) con los materiales de la cantera “La Victoria” y la mina “Las Terrazas” para el agregado grueso y el agregado fino respectivamente, con una adecuada confiabilidad.

Objetivos específicos:

- ✓ Obtener una correlación entre el Módulo de rotura f_r , determinado con el ensayo de viguetas y la Resistencia a la compresión f'_c del concreto con briquetas cilíndricas a edades de 28 días.
- ✓ Lograr Correlación entre la Resistencia a la Compresión (f'_c), y la relación Agua-Cemento (A/C).
- ✓ Comparar la expresión obtenida en el trabajo con la ecuación de la Norma Sismo resistente de 1998 (NSR 98). $f_r = 0.7 * \sqrt{f'_c}$ MPa y recomendar valores para cuando se empleen materiales de las fuentes “la Victoria” y “Las Terrazas” para el triturado y la arena respectivamente.

Justificación:

Para la construcción de obras civiles, se busca un concreto donde su comportamiento mecánico y físico sean determinados con la mayor precisión, por eso es de vital importancia obtener parámetros de diseño que sean consecuencia de las condiciones de los materiales de la región, lo que conduce a emplear mejor los insumos en la construcción de estructuras.

Los beneficios que podemos conseguir con este estudio son de carácter técnico por sus implicaciones en los diseños estructurales, pero que también tienen implicaciones económicas y sociales, ya que la adecuada utilización de datos y herramientas pueden mejorar los diseños y por lo tanto se pueden apreciar mejor los costos y al mismo tiempo aumentar la calidad, condiciones de servicio, y seguridad de la infraestructura.

Teniendo en cuenta que tanto la resistencia a la compresión, f'_c como, el módulo de rotura, (f_r), son parámetros importantes en el análisis y diseño de las estructuras de concreto, se han sugerido varios coeficientes para expresar el f_r en función de $\sqrt{f'_c}$, la más usadas son aquellas de la forma:

ACI: $f_r = k * \sqrt{f'_c}$ kg/cm² donde k varía entre 2 y 2.7

NSR 98: $f_r = 0.7 * \sqrt{f'_c}$ MPa

Se debe examinar esta expresión involucrando nuestros materiales, aplicándola a nuestro medio, ya que con los coeficientes establecidos pueden subestimar o sobreestimar las cualidades físico mecánicas de los materiales locales

1. TÍTULO

CORRELACIÓN ENTRE EL MÓDULO DE ROTURA Y LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL CONCRETO FABRICADO CON MATERIALES PÉTREOS DE LA MINA “LAS TERRAZAS” Y CANTERA “LA VICTORIA” DEL MUNICIPIO DE PASTO.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL CONCRETO

La historia del cemento es la historia misma del hombre en la búsqueda de un espacio para vivir con la mayor comodidad, seguridad y protección posible. Desde que el ser humano emergió de la época de las cavernas, ha aplicado sus mayores esfuerzos a delimitar su espacio vital, satisfaciendo primero sus necesidades de vivienda y después levantando construcciones con requerimientos específicos.

Es el caso de las construcciones antiguas: templos, palacios, museos son el resultado del esfuerzo que constituye las bases para el progreso de la humanidad.

A través del tiempo, algunos de los acontecimientos que describen la presencia y evolución de los materiales utilizados por el hombre en la construcción son:

- ✓ **Prehistoria:** Se utilizaron bloques de piedra de gran tamaño y cuya estabilidad dependía de su colocación. (Stonehenge de Inglaterra).
- ✓ **Egipto:** Se utilizan ladrillos de barro o adobe secados al sol y colocados en forma regular pegándolos con una capa de arcilla del Nilo con o sin paja para crear una pared sólida de barro seco. Este tipo de construcción prevalece en climas desérticos donde la lluvia es nula; todavía se practica en muchas partes del planeta.
- ✓ **Grecia y Roma:** Se utiliza la cal mezclada con arena para hacer mortero en la isla de creta. Los romanos adaptaron y mejoraron esta técnica para lograr construcciones de gran durabilidad como son el Coliseo Romano y Panteón Roma así como un sinnúmero de construcciones esparcidas por todo el Imperio Romano.

Los griegos fueron los primeros en percatarse de las propiedades cementantes de los depósitos volcánicos al ser mezclados con cal y arena que actualmente conocemos como puzolanas.

- ✓ **Siglos IX al XI:** Se pierde el arte de calcinar para obtener cal. Los morteros usados son de mala calidad.
- ✓ **Siglos XII al XIV:** Revive el arte de preparar mortero con las técnicas usadas por los romanos.

- ✓ **Siglos XIV al XVII:** El mortero producido es excelente y empieza a utilizarse en un proceso continuo.
- ✓ **Siglo XVIII:** Se erige el faro de Eddystone en Inglaterra. Se reconoce el valor de la arcilla referente las propiedades hidráulicas de la cal.
- ✓ **1756:** John Smeaton había encontrado que combinar la cal viva con otros materiales creaba un material extremadamente duro que se podría utilizar para cementar otros materiales.
- ✓ **1816:** El primer puente de concreto (no reforzado) fue construido en Souillac, Francia.
- ✓ **1820:** Se asoció un entramado de barras de hierro con concreto en ambas caras, se aplicó en una iglesia de Courbevoie, Francia.
- ✓ **1824:** Joseph Aspdin obtiene la primera patente Británica para producir Cemento Pórtland por medio de un proceso de pasta (método húmedo). *El nombre del cemento Pórtland le fue dado por la similitud que este tenía con la piedra de la isla de Pórtland de Inglaterra.*
- ✓ **1845:** Isaac Johnson obtiene el prototipo del cemento moderno quemado, alta temperatura, una mezcla de caliza y arcilla hasta la formación del "*Clinker*".
- ✓ **1855:** Es en la segunda exposición de un evento mundial, con sede en París, Francia, cuando se enfatiza el uso del concreto. En este evento se rindió homenaje a los creadores de prototipos; a los diseñadores de maquinaria y muebles; y una parte sustantiva al diseño industrial.

Es durante la construcción del Palacio Industrial, fundado en los Campos Elíseos en Francia, donde se piensa que se realizaron las primeras investigaciones y los primeros productos de la técnica del concreto armado, planteando la integración de las artes y las técnicas.

- ✓ **1861:** El francés Coignet construye un solar con el principio de entrapado de acero y cimbrado para recibir el concreto.
- ✓ **1867:** Se crean las primeras losas con refuerzo metálico embebido en el concreto.
- ✓ **1868:** El jardinero francés Monier construyó un depósito de agua de 200 m³, y sus procedimientos fueron aplicados en la construcción de bóvedas armadas, y después, en vigas rectas.

- ✓ **1873:** Se construye el primer puente haciendo uso de concreto en Souillac, Francia.
- ✓ **1876:** Se aplicó por primera vez el cálculo de los elementos de concreto, fundamentando las bases de las resistencias de materiales.
- ✓ **1877:** Se funda la primera asociación para fijar especificaciones del Cemento Pórtland en Alemania para controlar la calidad del producto.
- ✓ **1886:** El primer horno rotatorio es utilizado para la producción de Clinker el cual resulta de la calcinación de una mezcla debidamente dosificada de materiales silíceos, calcáreos y férricos.
- ✓ **1890:** Se introduce el yeso como retardante del fraguado y se utilizan altas temperaturas para obtener silicatos con alto contenido de óxido de calcio.
- ✓ **Siglo XX**
- ✓ **1900:** Las pruebas básicas del cemento son estandarizadas.
- ✓ **1903:** Se comienzan a introducir las innovaciones del concreto armado a la Arquitectura e Ingeniería; y es a partir de este momento cuando alcanza un gran desarrollo en la sistematización de sus técnicas, métodos constructivos y cálculos.
- ✓ Con este crecimiento tecnológico nacen industrias relacionadas o derivadas del cemento; para controlar mejor su uso y para su empleo más eficiente, se crean industrias como: del concreto premezclado, de la prefabricación, del preesfuerzo, tubos, bloques, entre otros.
- ✓ **1904:** Se funda la Institución Británica de Estándares, se publica la primera especificación del Cemento Pórtland por la **American Society for Testing Materials (A. S. T. M.)** y comienzan las investigaciones sobre las propiedades del cemento en una base científica y sistemática.
- ✓ **1906:** Nace la primera planta cementera mexicana, en Hidalgo.
- ✓ **1908:** Se patenta el Cemento Aluminoso (Lafarge).
- ✓ **1909:** Thomas Edison promueve una patente para hornos rotatorios.
- ✓ **1930:** Agentes inclusores de aire son introducidos para mejorar la resistencia del concreto al daño por congelamiento.
- ✓ **1960:** Se patenta el Cemento Sulfoaluminoso (Klein).

- ✓ **1985:** Cenizas volantes son introducidas como aditivo puzolánico¹.

2.2 DEFINICIÓN DE CONCRETO

El concreto, técnicamente conocido como concreto hidráulico, por utilizar agua en su producción y porque fragua dentro del agua se puede definir como una mezcla homogénea de agua, cemento, arena y grava y algunas veces aditivos que son útiles para mejorar su resistencia, fluidez, acelerar el proceso de fraguado o retardarlo; indirectamente el aire también hace parte del concreto ya que este queda atrapado en la estructura del concreto.

Este producto o material se ha utilizado en la industria de la construcción por su “fácil producción”, propiedades mecánicas y su economía. Se puede decir que el concreto es una roca fabricada por el hombre la cual presenta alta resistencia a la compresión y baja a tracción, pero para compensar este defecto se ha combinado con el acero, para que sea este el que absorba los esfuerzos de tensión que se puedan presentar; dando lugar al llamado concreto reforzado.

El concreto es un material que es “fácil de producir” pero en esta producción intervienen muchas variables que si son manejadas inadecuadamente pueden modificar el comportamiento del material. Por esta razón es indispensable clasificar u obtener de la mejor manera posible los materiales que serán utilizados en su fabricación, por lo tanto se debe tener un conocimiento profundo de las materias primas a utilizar, ya que éstas varían de una región a otra considerablemente.

2.3 MATERIAS PRIMAS DEL CONCRETO

2.3.1 Agua. El agua es el compuesto que se encarga de hidratar el cemento para que desarrolle su capacidad ligante pero también se encarga de dar fluidez a la mezcla de concreto.

Se puede decir que se necesita agua suficiente para hidratar el cemento y para dar la fluidez necesaria, pero se debe tener en cuenta que de la relación agua / cemento depende la resistencia del concreto por lo tanto se debe limitar la cantidad de agua a la necesaria para conseguir estos propósitos.

El agua adicional en el concreto produce porosidades en el momento del fraguado ya que esta agua trata de salir de adentro hacia fuera dejando en su camino capilaridades o porosidades que pueden afectar la resistencia.

¹ LOS ANTECEDENTES HISTÓRICOS. Disponible en Internet: www.cemexcolombia.com

Cuando se necesitan mezclas muy fluidas no necesita conseguir las con agua sino que se conviene utilizar aditivos plastificantes que no solo ayudan a mejorar la fluidez sino que en algunos casos se logra conseguir una resistencia extra.

En el momento de escoger el agua a utilizar se corresponde inspeccionar que no tenga sustancias perjudiciales o impurezas como: demasiados sólidos disueltos, carbonatos, cloruros (sales), aceites, sustancias alcalinas y materia orgánica.

2.3.2 Cemento. El cemento que se utiliza para producir concreto es el cemento Pórtland el cual se obtiene al pulverizar el clinkler con adición de yeso, el clinkler resulta de la calcinación de una mezcla debidamente dosificada de materiales silíceos, calcáreos y férricos.

Los principales componentes del cemento Pórtland son: cal, sílice, alúmina y óxido de hierro. Generalmente estas materias primas no se encuentran en la naturaleza por lo cual se hace necesario mezclar sustancias minerales que las contienen como calizas, arcillas, en algunas ocasiones es necesario agregar directamente óxidos de hierro o arenas silíceas, para ajustar las proporciones de cada compuesto con el fin de obtener reacciones químicas equilibradas. El yeso hidratado también es utilizado para retardar el tiempo de fraguado de la pasta de cemento. Se puede adicionar escorias y son llamados siderúrgicos y cuando se les agrega puzolanas se les llama cementos Pórtland puzolánicos.

Peso específico del cemento: La densidad o peso específico se define como la relación de peso a volumen; su valor varía entre 3.08 a 3.2 gr/cm³ para el cemento Pórtland tipo I, el peso específico no indica la calidad del cemento pero es importante para el diseño y control de mezclas de concreto, características que se presentan en la Tabla 1.

Clasificación de los cementos Pórtland:

- ✓ Cemento Pórtland tipo I: Es el destinado a obras de hormigón en general, en las que no se requiere propiedades especiales.
- ✓ Cemento Pórtland tipo IM: Alcanza resistencias superiores a las del tipo I.
- ✓ Cemento Pórtland tipo II: Es resistente a la acción moderada de sulfatos y el desprendimiento de calor es menor que en los normales.
- ✓ Cemento Pórtland tipo III: Alcanza alta resistencia inicial.
- ✓ Cemento Pórtland tipo IV: El desprendimiento de calor es bajo.
- ✓ Cemento Pórtland tipo V: Ofrece alta resistencia a la acción de sulfatos.

- ✓ Cemento Pórtland tipo blanco: Se elabora con materias primas seleccionadas que no contienen óxidos de hierro, por eso su coloración. Se usa para decoración. (Clasificación tomada de referencia # 1 y también se encuentra en la NTC 30).

Tabla 1. Características físicas y químicas cemento Pórtland I (Argos uso general)

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS CEMENTO PÓRTLAND I (ARGOS USO GENERAL)			
Especificaciones técnicas			
PARÁMETROS QUÍMICOS	ESPECIFICACIONES ARGOS	NTC 321 Tipo 1	ASTM C-1157 Tipo GU
Óxido de magnesio, MgO, máximo (%)	6.00	7.00	-
Trióxido de azufre, SO ₃ , máximo (%)	3.50	3.50	-
PARÁMETROS FÍSICOS	ESPECIFICACIONES ARGOS	NTC 121 Tipo 1	ASTM C-1157 Tipo GU
Fraguado inicial ⁽¹⁾ , mínimo (minutos)	90	45	45
Fraguado final ⁽¹⁾ , máximo (minutos)	320	480	420
Expansión autoclave, máximo (%)	0.80	0.80	0.80
Expansión en agua ⁽²⁾ , máximo (%)	0.02	-	0.02
Resistencia a 3 días ⁽³⁾ , mínimo (Mpa)	13.8	8.0	10.0
Resistencia a 7 días ⁽³⁾ , mínimo (Mpa)	20.7	15.0	17.0
Resistencia a 28 días ⁽³⁾ , mínimo (Mpa)	29.0	24.0	28.0

(1) Ensayo con aguja de Vicat según NTC 118
 (2) Ensayo en barras de mortero a 14 días
 (3) Ensayo a compresión sobre cubos de mortero con arena normalizada

Las especificaciones del cemento gris Tipo I Uso General producido por Cementos Argos S.A. cumplen con los valores de la norma colombiana NTC 121 y 321 y de la norma americana ASTM C-1157 (tipo GU)
 El uso y aplicación de nuestros cementos se debe hacer bajo los lineamientos de las normas técnicas de construcción. Adicionalmente, en la elaboración de concretos se recomienda la revisión y aplicación de la NTC 3318 y NSR-98 ley 400 de 1997; requisitos de producción, calidad y durabilidad.

Tomada de www.argos.com.co

2.4 AGREGADOS²

Los agregados (arena y grava) son un factor determinante en la producción de concretos hidráulicos ya que estos ocupan del 65% al 85% del volumen de la mezcla, por tal razón están íntimamente relacionados con la economía, durabilidad y estabilidad de las obras civiles. De aquí que el estudio de sus propiedades físicas y mecánicas se debe hacer cuidadosamente, porque de su estudio dependerá la calidad del concreto.

² GUTIÉRREZ DE LÓPEZ, Libia. El concreto y otros materiales para la construcción: Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 1996. p.48.

Es conveniente definir algunos términos que manejan tanto los proveedores, como los constructores, ingenieros y arquitectos para que no posea mala comprensión del material al que se esté refiriendo.

- ✓ Agregado o árido: material de composición mineral que puede ser natural o artificial, generalmente inerte, usado en la construcción de obras civiles.
- ✓ Bloques: rocas muy grandes con tamaños mayores a 7.6 cm general mente usados para concreto ciclópeo.
- ✓ Agregado grueso o grava: material retenido en el tamiz No 4, con tamaño entre 7.6 cm y 4.74 mm.
- ✓ Agregado fino o arena: material pasante de la malla No 4 (abertura de la malla 4.76 mm) y retenido en el tamiz No 200 (abertura de la malla 0.074 mm).
- ✓ Finos: son partículas pasantes del tamiz No 200 (abertura de la malla 0.074 mm) general mente materia orgánica, arcillas y limos.
- ✓ Gravilla: material de río o de cantera, pasante del tamiz No 3/4" y retenido en el tamiz No 4 (abertura de la malla 4.74 mm).
- ✓ Arenón: material pasante del tamiz 3/8" y retenido en el tamiz No 40 (abertura de la malla 0.42 mm).
- ✓ Triturado: material de río pasante del tamiz 1 1/2 " y retenido en el tamiz No 4.

2.4.1 Agregado grueso (Grava). El agregado grueso es el material con mayor proporción en las mezclas de concreto, por lo tanto de este depende en gran parte la resistencia del concreto.

Para resistencias bajas y medianas mientras mayor sea el tamaño del agregado, mayor es la eficiencia del cemento; se denomina eficiencia a la relación entre la resistencia del concreto y el contenido de cemento.

Por otra parte cuando se necesitan resistencias mayores a 250 kg/cm² o 25 MPa se deben usar tamaños máximos menores para aumentar la eficiencia del cemento.

2.4.1.1 Características de un buen agregado grueso:¹

- ✓ La granulometría debe ser bien gradada; la ausencia de tamaños produce segregación.
- ✓ El tamaño máximo se debe adaptar a las condiciones de la estructura y de los elementos estructurales.
- ✓ El agregado no debe ser de forma plana ni alargada ya que este tipo de material no se acomoda de la mejor manera al momento de ser vaciado dejando cavidades que afectan la resistencia.
- ✓ La densidad debe estar entre 2.3 – 2.9 g/cm³; en la medida que ésta aumente aumentará la resistencia.
- ✓ La absorción debe oscilar entre 1 y 5 %.No deben contener arcillas ni partículas deleznable.
- ✓ El contenido de finos se debe limitar a un valor entre 1 – 3%. Para que haya buena adherencia entre el agregado y el cemento.
- ✓ El desgaste en la máquina de los Ángeles debe ser menor del 35% para pavimentos rígidos y menor del 40% para estructuras.
- ✓ La sanidad o sea el ensayo de ataque de los sulfatos debe ser menor del 12% empleando sulfato de sodio y si se emplea sulfato de magnesio debe ser menor del 18%.

2.4.2 Agregado fino (arenas)². Se utiliza para llenar los vacíos en la mezcla de concreto, además actúa como lubricante para que los agregados gruesos rueden y se acomoden de la mejor manera.

La falta de arena produce mezclas ásperas y su exceso requiere de mayor cantidad de agua para lograr la fluidez necesaria.

¹ Ibíd.

² Ibíd.

2.4.2.1 Características de un buen agregado fino:

- ✓ El agregado fino también debe ser bien gradado para que la mezcla se pueda compactar al máximo.
- ✓ La manejabilidad se ve afectada por los porcentajes que pasan los tamices # 50 y 100 por lo cual se recomienda que el porcentaje que pasa el tamiz #50 esté entre el 10 y 30% y el que pasa el tamiz No 100 sea del 3% cuando se requieren superficies tersas.
- ✓ Para evitar segregación del material el módulo de finura de la arena debe estar entre 2.3 y 3.1.
- ✓ La presencia de materia orgánica interrumpe parcialmente el proceso de fraguado del cemento.

Clasificación de las arenas según el contenido de materia orgánica (ensayo clorimétrico).

2.5 OBTENCIÓN DE LOS AGREGADOS NATURALES³

Los agregados se pueden obtener generalmente de dos fuentes: de los ríos o de las canteras en estos sitios se hace una clasificación rudimentaria en el sitio de explotación tratando de separar las rocas grandes y separando la grava de la arena.

También existen proveedores de estos materiales que hacen una clasificación más detallada; generalmente por trituración, lo cual facilita la producción de concreto ya que se puede pedir la granulometría deseada.

2.5.1 Ubicación de los bancos de material⁴. Para la ubicación de los bancos de material es necesario fundarse en:

- ✓ Cartografía de la zona.
- ✓ Fotografías aéreas.
- ✓ Mapas y cortes geológicos.

³ Ibíd.

⁴ Ibíd.

- ✓ Datos y resultados geotécnicos realizados en la zona.
- ✓ Información de personas que conozcan la zona.

2.5.2 Elección de bancos de material. En el momento de elegir un banco de material se debe tener en cuenta.

- ✓ Profundidad, espesor y extensión que lo hagan rentable.
- ✓ Clase de material requerido de acuerdo al elemento estructural que se va a construir.
- ✓ Facilidad de acceso al lugar.
- ✓ Distancia de acarreo a la obra.
- ✓ Derechos de propiedad del banco.
- ✓ Costos de explotación.
- ✓ Impacto ambiental

2.6 PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS

2.6.1 Granulometría. El procedimiento para realizar la granulometría de un material se debe hacer de acuerdo a la NTC No 77.

La granulometría consiste en tomar una muestra representativa del material que vamos a utilizar en la fabricación del concreto, la cual debe estar seca para que no se formen grumos del material; antes de empezar el ensayo, se pesa, luego se hace pasar el material por unos tamices o mallas que están ordenados desde el de menor abertura hasta el de mayor abertura en orden ascendente; con una relación de las aberturas de 1 a 2 con la abertura del siguiente tamiz ; se pone la muestra en el la pila de tamices y se empieza a mover para que el material pueda bajar hasta el fondo. Se puede utilizar una tamizadora para los últimos ocho tamices ya que se dificulta hacer pasar el material manualmente; al terminar la tamizada se empieza a pesar el material retenido en cada tamiz y se lo anota en el respectivo formato el cual debe contener peso del material retenido, % del material retenido, % retenido acumulado y % que pasa. Este ensayo se hace tanto para la grava como para la arena. Ver formatos en los Anexos No B.2 y D.

2.6.1.1 Curvas granulométricas. Las curvas granulométricas son una representación gráfica de la distribución de tamices del material; la gráfica esta compuesta del porcentaje que pasa en cada tamiz en las ordenadas (escala aritmética) y el tamaño de cada tamiz en la abscisas (en escala logarítmica). Esta grafica nos ayuda a discernir rápidamente sobre la gradación de los tamaños que conforman el material.

Si la curva es uniforme o poco pendiente nos indica que el material es bien gradado es decir contiene de todos los tamaños.

Si la curva es vertical o muy pendiente nos indica que el material es mal gradado es decir faltan algunos tamaños en el material. Ver curvas granulométrica en los anexos No 3 y 5.

2.6.2 Tamaño máximo. El tamaño máximo está definido como la menor abertura del tamiz que permite el paso de la totalidad de la muestra. Nos indica la dimensión de la partícula más grande que hay en la muestra.

2.6.3 Módulo de finura. Este módulo nos permite clasificar a la arena ya que estima el grosor o finura de un material generalmente arenas. Se define como la centésima parte del número obtenido al sumar los % retenidos acumulados en los siguientes tamices: No 100, 50, 30, 16, 8, 4, 3/8", 3/4", 1 1/2".

Las arenas se pueden clasificar en:

Arenas finas: módulo de finura 0.5 – 1.5

Arenas medias: módulo de finura 1.5 – 2.5

Arenas gruesas: módulo de finura 2.5 – 3.5

Cuando la arena está mezclada con grava se obtienen módulos de finura mayores por tal razón se clasifican en:

Arenas finas: módulo de finura 2.2– 2.6

Arenas medias: módulo de finura 2.6 – 2.9

Arenas gruesas: módulo de finura >2.9

La clasificación de las arenas fue tomada de: GUTIÉRREZ DE LÓPEZ, Libia. El concreto y otros materiales para la construcción: Universidad Nacional de Colombia.1996.

2.6.4 Porcentaje de finos. Se define como el porcentaje (%) que pasa el tamiz No 200 (0.074mm).

2.6.5 Textura⁵. Esta propiedad se deriva indirectamente de la roca madre y es responsable de la adherencia del agregado con el cementante y de la fluidez de la mezcla de concreto.

Según la textura podemos decir que un material es liso o áspero; cuando el material proviene de río es liso debido a la abrasión que se produce cuando el material es arrastrado por el agua. Pero cuando el material es triturado es áspero ya que las rocas son fracturadas y divididas en rocas más pequeñas con una rugosidad superficial.

2.6.6 Densidad aparente. La densidad aparente se determina de acuerdo a la NTC No 237 para el agregado grueso y par el agregado fino la NTC No 176.

Es la relación que existe entre el peso y el volumen de las partículas de ese material incluido todos los poros, saturables y no saturables. Se conoce también como peso específico seco.

$$Densidad\ aparente = \frac{Ps}{Vm} \quad (3)$$

Donde: Ps = peso seco de la masa
Vm = volumen ocupado por la masa.

Esta densidad nos interesa ya que con ella se determina el peso del agregado requerido para un volumen unitario de concreto. Ya que representa las condiciones del mezclado en donde los agregados están saturados pero también superficialmente secos.

La densidad aparente puede estar entre 2.2 y 2.8 g/cm³.

2.6.7 Absorción. Para determinar la absorción se utiliza la NTC No 237 y 176.

La absorción está relacionada con la porosidad del material y se puede decir que es la capacidad de los materiales para almacenar agua y se presentan cuatro casos:

Cuando el material tiene en su interior el agua de constitución; este estado se logra cuando el material ha sido secado al horno 24 horas a una temperatura de 110 °C. o hasta que tenga peso constante.

⁵ Ibíd.

Cuando el material tiene cierta humedad es decir tiene agua absorbida y puede ser la humedad natural.

Cuando el material está totalmente saturado o sea todos sus poros están llenos de agua pero esta superficialmente seco.

Cuando el material está totalmente saturado pero además contiene agua libre en su superficie que es fácil de detectar porque la superficie del material esta brillante.

$$\% \text{ de Absorción} = \frac{P_{ss} - P_s}{P_s} * 100 \quad (4)$$

Donde: P_{ss} = peso saturado y superficialmente seco
P_s = peso seco

2.6.8 Masa unitaria⁶. Se define como la relación entre el peso de una muestra de agregado compuesta de varias partículas y el volumen que ocupan estas partículas agrupadas dentro de un recipiente del volumen conocido. Este valor depende del acomodo de las partículas en el recipiente por tal razón de su granulometría.

Existen dos clases de masa unitaria:

- ✓ Masa unitaria compactada: Se denomina compactada ya que la muestra es compactada con una varilla en el recipiente que la contiene. La masa unitaria compactada es la división del peso del material compactado y el volumen del recipiente que lo contiene. Se debe determinar según la NTC 92
- ✓ Masa unitaria suelta: es el peso del agregado suelto dividido entre el volumen que ocupa.

Estos valores se deben tener en cuenta ya que el volumen en banco esta compactado pero cuando es transportado está en estado suelto por tal razón ocupará mucho más volumen. Se debe determinar según la NTC 92

2.7 PROPIEDADES MECÁNICAS

2.7.1 Resistencia. La resistencia de los agregados esta estrechamente relacionada con la resistencia del concreto hidráulico así como con la composición

⁶ Ibíd.

mineralógica de las rocas que conforman el material pero también depende del proceso de explotación y trituración ya que procedimientos inadecuados en la trituración inducen fallas previas en las partículas.

2.7.2 Tenacidad. La tenacidad es la resistencia que ofrecen las partículas al impacto, es importante porque cuando las partículas no resisten impacto se puede modificar su granulometría por lo tanto la calidad del concreto.

2.7.3 Adherencia. La adherencia depende de la textura, forma, y tamaño de las partículas y es una característica importante porque de esta depende que los agregados se aglomeren con el cementante para así poder obtener concretos resistentes y durables.

2.7.4 Desgaste. Se define como la resistencia a la abrasión o roce. Por ejemplo los pavimentos rígidos requieren que sus agregados resistan la abrasión existente entre las llantas y la superficie del pavimento.

Esta propiedad se determina con el ensayo de resistencia al desgaste en la máquina de los ángeles y está regido por la NTC 90 y 98.

2.7.5 Sanidad de los agregados. La sanidad se refiere a la capacidad de los agregados para soportar cambios de volumen por la acción del intemperismo esta capacidad depende de la forma, textura, procedencia, granulometría y porosidad.

Este ensayo pretende reproducir rápidamente los procesos de calentamiento, enfriamiento, humedecimiento, secado, congelamiento y deshielo.

El objeto de utilizar sulfato en este ensayo es para que se llene en los poros y en el momento de evaporarse cristaliza el agua por el secado, creando presiones internas que se asemejan a la acción del congelamiento del agua. Este ensayo se realiza teniendo en cuenta la NTC No126.

2.7.6 Resistencia a congelación y deshielo. El concreto utilizado en estructuras y pavimentos, se espera que tenga una vida larga y un mantenimiento bajo. Debe tener buena durabilidad para resistir condiciones de exposición anticipadas. El factor de intemperismo mas destructivo es la congelación y el deshielo mientras el concreto se encuentra húmedo.

Con la inclusión de aire es sumamente resistente a este deterioro. Durante el congelamiento, el agua se desplaza por la formación de hielo en la pasta se

acomoda de tal forma que no resulta perjudicial; las burbujas de aire en la pasta suministran cámaras donde se introduce el agua y así se alivia la presión hidráulica generada.

Cuando la congelación ocurre en un concreto que contenga agregado saturado, se pueden generar presiones hidráulicas nocivas dentro del agregado. El agua desplazada desde las partículas del agregado durante la formación del hielo no puede escapar lo suficientemente rápido hacia la pasta circundante para aliviar la presión. Si la pasta tiene aire incluido, acomodara las pequeñas cantidades de agua en exceso que pudieran ser expulsadas por los agregados, protegiendo así al concreto contra daños por congelación y deshielo.

- ✓ El concreto con una relación Agua - Cemento baja es más durable que el concreto con una relación Agua - Cemento alta.
- ✓ Un contenido de aire de 4% a 8% soportara un gran número de ciclos de congelación y deshielo sin presentar fallas.

2.7.7 Contenido de materia orgánica⁷. La materia orgánica es la que corresponde a la descomposición de los vegetales y sustancias carbonosas, cuya composición química es ácido tánico y sus derivados conocidos con el nombre de humus.

Cuando el contenido de materia orgánica es alto puede afectar el fraguado del cemento. De allí su importancia.

Las normas a tener en cuenta son NTC No127 y NTC No 174.

2.8 CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO

2.8.1 Manejabilidad o trabajabilidad. La manejabilidad es la capacidad del concreto fresco que le permite dejarse moldear, para ser colocado, compactado adecuadamente y para ser terminado sin segregación o exudación. No se debe confundir con la consistencia o fluidez que es el grado de humedad de la mezcla, en la Tabla 2 se indican las diferentes consistencias del concreto.

Factores que influyen en la manejabilidad:

- a) Contenido de agua en la mezcla.

⁷ Ibíd.

- b) Las proporciones de cemento y agua en la pasta
 - c) Contenido de aire, porque las burbujas de este actúan como balineras de los agregados permitiendo su movilidad, por lo tanto, el acomodamiento de las partículas.
 - d) Buena gradación de los agregados
 - e) Partículas planas y alargadas afectan la manejabilidad.
 - f) Bajo contenido de arena en proporción a la grava, disminuye la trabajabilidad; si este contenido es muy alto hay necesidad de añadir agua o pasta para que la mezcla sea manejable presentándose exudación o segregación.
- ✓ Segregación: separación de los materiales que constituyen la mezcla de concreto, debido a la diferencia en tamaño de las partículas y la mala distribución granulométrica.
 - ✓ Exudación: consiste en el ascenso de parte del agua de mezclado a la superficie del concreto recién colocado o durante el proceso de fraguado.

Tabla 2. Clasificación de la consistencia de la mezclas

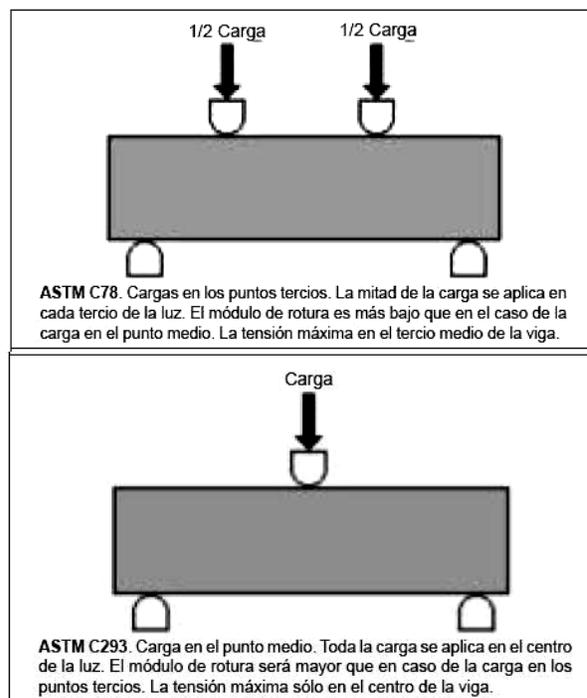
Consistencia	Asentamiento (mm)	Ejemplo de tipo de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Muy seca	0-20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación.	Con vibradores de formaleta; concretos de proyección neumática (lanzados).	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión.
Seca	20-35	Pavimentos.	Pavimentadoras con terminadora vibratoria.	Secciones sujetas a vibración intensa.
Semi-seca	35-50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple. Losas poco reforzadas.	Colocación con máquinas operadas manualmente.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
Media (plástica)	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas, columnas, cimentaciones.	Colocación manual.	Secciones simplemente reforzadas con vibración.
Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos o muy reforzados.	Bombeo.	Secciones bastante reforzadas con vibración.
Muy Humeda	150-200	Elementos esbeltos, pilotes fundidos "in situ".	Tubo-embudo-tremie.	Secciones altamente reforzadas sin vibración.
Super Fluida	Más de 200	Elementos muy esbeltos.	Autonivelante, autocompactante.	Secciones altamente reforzadas sin vibración y normalmente no adecuados para vibrarse.

2.8.2 Medida de la manejabilidad. La manejabilidad se mide con el ensayo de asentamiento el cual sirve para determinar la consistencia o fluidez de una mezcla fresca.

Para el ensayo se utiliza una formaleta metálica en forma de cono en la cual se vacía la mezcla de concreto en tres capas iguales de 25 golpes por cada capa con varilla de 5/8 de pulgada de diámetro, de punta redondeada, para esta investigación se determina una consistencia semi-seca, con un asentamiento de 35 a 50mm.

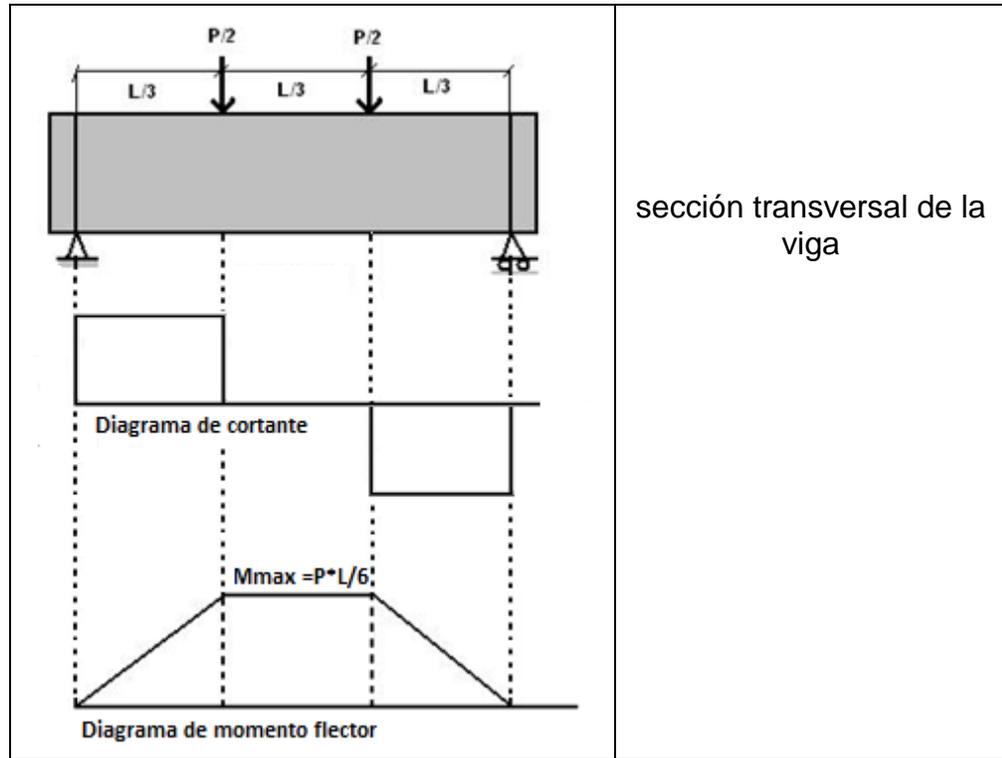
2.8.3 Ensayo a flexión. El ensayo a la flexión suministra el valor de la resistencia a la tracción del concreto en forma indirecta. Es una medida de la resistencia a la falla por momento de una viga de concreto no reforzado. Se mide mediante la aplicación de cargas a vigas de concreto de 6 * 6 pulgadas (150 * 150 mm) de sección transversal y con luz de tres veces el espesor o sea 18 pulgadas (450 mm). La resistencia a la tracción se expresa como el módulo de rotura (MR) y se determina mediante el método de ensayo ASTM C78 cuando la carga se aplica en los tercios de la luz libre y a través del método de ensayo ASTM C293 cuando la carga se aplica en el punto medio de la luz libre.

Gráfica 1. Aplicación de las cargas según la ASTM



2.8.3.1 Deducción del módulo de rotura (MR):

Gráfica 2. Diagrama de momento flector de una viga simplemente apoyada



Teniendo en cuenta los gráficos anteriores:

$$\sigma = \frac{M_{m\acute{a}x} \cdot y}{I} \quad (5)$$

Donde:

σ = esfuerzo normal.

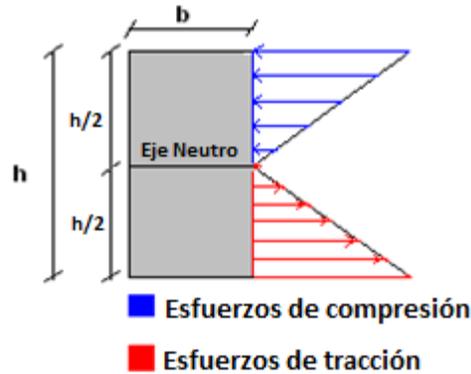
$M_{m\acute{a}x}$ = momento máximo determinado en el diagrama de momento flector.

y = distancia a la cual deseamos determinar el esfuerzo normal ya sea tensión o compresión medida desde el centro de gravedad de toda la sección.

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad \text{Con respecto al eje } z \quad (6)$$

Considerando que el esfuerzo normal máximo se da cuando $Y = h/2 = c$

Gráfica 3. Diagrama de esfuerzos en una viga simplemente apoyada



Se Tiene que:

$$\sigma = \frac{\frac{P * L}{6} * \frac{h}{2}}{\frac{b * h^3}{12}} \rightarrow \sigma = \frac{12 * P * L * h}{12 * b * h^3} \rightarrow \sigma = \frac{P * L}{b * h^2}$$

$$f_r = \sigma = \frac{P * L}{b * h^2} \quad \text{Donde} \quad f_r = \text{módulo de rotura.} \quad (7)$$

El módulo de rotura esta cerca del 10% al 20% de la resistencia a compresión. El módulo de rotura determinado por la viga cargada en los tercios es más bajo que el módulo de rotura determinado por la viga cargada en el punto medio, en algunas ocasiones hasta en un 15%.

El ensayo de resistencia a flexión es útil para los diseñadores de pavimentos cuando utilizan una teoría basada en la resistencia a flexión. Por tal razón se puede utilizar para el control de campo y de aceptación de los pavimentos.

En el concreto reforzado, conformado por concreto simple y refuerzo metálico consistente en barras de acero o mallas electrosoldadas para absorber los esfuerzos que el concreto por su propia condición no lo puede hacer, entendiéndose la compatibilidad de los dos materiales para que en conjunto trabajen a tracción, compresión, cortante y torsión, dando de esta manera seguridad y calidad a cualquier estructura. Por eso es de vital importancia identificar y cuantificar todos los esfuerzos a los cuales se somete una estructura.

En el diseño de elementos estructurales es muy importante determinar la magnitud de las deflexiones inmediatas, aquellas que ocurren inmediatamente después de la aplicación de las cargas; para el efecto se deben determinar con métodos o formulas corrientes de la teoría elástica considerando los efectos que tiene la fisuración y el esfuerzo sobre la rigidez de la viga.

Para una viga simplemente apoyada en sus extremos, construida en concreto reforzado, con una resistencia a la compresión ($f'c$) en Mpa, módulo de rotura (fr) en Mpa, y con una carga flexionante cualquiera actuando sobre ella; se calcula para esta, las deflexiones inmediatas (flechas) causadas por la carga muerta, las deflexiones inmediatas causadas por la carga viva y deflexiones a largo plazo causadas por la retracción del fraguado y el flujo plástico.

Para la determinación de tales deflexiones se requiere de diversas variables, pero entre otras una muy importante, es la denominada; módulo de rotura; fr , esfuerzo este, que en el presente trabajo que se ha establecido, y que para tal efecto se ensayaron vigas a flexión, lo que permitió determinar el mencionado módulo (fr) empleando mezclas que contienen agregados inertes de una determinada fuente de nuestra región.

En forma resumida se puede apreciar en la siguiente redacción, la importancia que tiene el esfuerzo por tracción originado por flexión, comúnmente conocido como módulo de ruptura o módulo de rotura; con nomenclatura fr , de otra manera MR , en la estimación de dichas deflexiones o flechas.

En efecto porque, para la evaluación de la flecha elástica en una viga construida con cualquier material (de comportamiento elástico) simplemente apoyada en sus extremos y con una carga uniformemente distribuida sobre toda su longitud; se emplea la siguiente expresión:

$$\delta = \left\{ \left(\frac{5}{384} \right) * \left(\frac{w * L^4}{E * I} \right) \right\} \quad (8)$$

En donde, los términos empleados tienen los siguientes significados:

- ; Deflexión elástica inmediata
- W ; Carga
- L ; Luz
- E ; Módulo de elasticidad
- I ; Momento de inercia de la sección bruta

Y en el caso particular de de una viga de las mismas características descritas arriba, pero construida de concreto reforzado, se emplea la misma expresión anterior, con la diferencia de que el momento de inercia; no es el momento de

inercia de la sección bruta; **I**, sino **le**, Momento de inercia efectivo, y el módulo de elasticidad naturalmente corresponderá al material que se emplea en este caso al concreto.

$$\delta = \left\{ \left(\frac{5}{384} \right) * \left(\frac{w * L^4}{E * I_e} \right) \right\}$$

En efecto el módulo de elasticidad se tomará según las recomendaciones de las normas para estos propósitos, según sea el material que provenga de las diferentes clases de roca; ígnea, sedimentaria y/o metafórica.

De otro lado es significativo tener en cuenta que para la determinación del momento de inercia efectivo; **le**, se emplea la siguiente expresión, denominada expresión de Branson; así:

$$I_e = \left\{ \frac{M_{cr}}{M_a} \right\}^3 * I_g + \left\{ 1 - \left(\frac{M_{cr}}{M_a} \right)^3 \right\} * I_{cr} \quad (10)$$

Para la determinación de este parámetro **le**, se requiere como puede apreciarse de otras variables como son:

Ma; Momento de servicio para el nivel de cargas establecido.

Ig; Momento de inercia de la sección bruta de concreto.

Icr; Momento de inercia de la sección agrietada.

Pero fundamentalmente de **Mcr**; que corresponde al momento de agrietamiento de la sección fisurada, o simplemente denominado momento de fisuramiento.

Este momento de fisuramiento, es a su vez función de otros parámetros importantes y la expresión para calcularlo; es la siguiente:

$$M_{cr} = \frac{f_r * I_g}{Y_t} \quad (11)$$

Donde:

Ig es un parámetro conocido por qué se ha definido inmediatamente arriba.

Yt; distancia desde el centro de la sección transformada agrietada hasta la fibra de concreto más alejada sometida a tracción.

Pero primordialmente se destaca aquí, el valor correspondiente a **fr**, que se relaciona al módulo de rotura; esfuerzo de tracción generado por flexión, el cual ha sido motivo en este trabajo de investigación.

2.8.3.2 Criterio de aceptación o rechazo. Las desviaciones típicas de los resultados obtenidos en los ensayos de viguetas deben estar aproximadamente entre:

$$0.3 - 0.6 \text{ MPa para } MR \leq 5.5 \text{ MPa}$$

Si la desviación es mayor a 0.7 MPa puede indicar problemas en los ensayos. Existe una elevada probabilidad de que problemas en los ensayos o diferencias en la humedad dentro de una viga, debido a un secado prematuro, puedan ocasionar bajas resistencias.

2.8.3.3 Problemas con la flexión. Los ensayos a flexión son extremadamente sensibles a la preparación, manipulación y procedimiento de curado de las probetas. Las vigas son muy pesadas y pueden ser dañadas cuando se manipulan y transportan, permitir que una viga se seque dará como resultado más baja resistencia. Las vigas deben ser curadas de forma normativa, y ensayadas mientras se encuentren húmedas. (Ver referencia No.10)

2.8.3.4 Resistencia a la compresión. La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto a carga axial.

Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado (Kg/cm²), Mega pascales (MPa) o libras por pulgada cuadrada (pound square inch. psi) a una edad de 28 días se le designa con el símbolo f'c. Para determinar la resistencia a la compresión, se realizan pruebas de especímenes de concreto; los ensayos a compresión del concreto se efectúan sobre cilindros que miden 6 pulgadas (150 mm) de diámetro y 12 pulgadas (300 mm) de altura.

La resistencia del concreto a la compresión es una propiedad física fundamental, y es frecuentemente empleada en los cálculos para diseño de puente, de edificios y otras estructuras. El concreto de uso generalizado tiene una resistencia a la compresión entre 210 y 350 kg/cm² o 21 y 35MPa; concreto de alta resistencia tiene una resistencia a la compresión de cuando menos 420 kg/cm² o 42MPa. Resistencia de 1400 kg/cm² o 140MPa se ha llegado a utilizar en aplicaciones de construcción.

La resistencia a la compresión se puede utilizar como índice de la resistencia a la flexión, una vez se haya establecido la correlación para concretos fabricados con materiales regionales.

Los principales factores que afectan a la resistencia son la relación Agua/Cemento y la edad, o el grado en que haya progresado la hidratación.

Los ensayos de resistencia a la compresión se utilizan para:

- ✓ Ensayo de aceptación para una resistencia especificada.
- ✓ Verificar las proporciones de mezcla diseñada para una resistencia especificada.
- ✓ Ejercer control de calidad.
- ✓ Determinar el tiempo en el cual la estructura se puede poner en servicio.
- ✓ Evaluar la suficiencia del curado y la protección del concreto en la estructura.
- ✓ Programar la remoción de formaletas y apuntalamientos.

Se determina con

$$f'c = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A} \quad (12)$$

Donde

$P_{m\acute{a}x}$ = carga máxima en el ensayo.

A = área transversal del cilindro de concreto.

2.9 RELACIÓN DE LAS DIFERENTES RESISTENCIAS DEL CONCRETO

Los estudios realizados a nivel mundial sobre el tema se presenta por varios autores como la necesidad de obtener las correlaciones del Módulo de Rotura f_r y la Resistencia la compresión $f'c$ del concreto como una herramienta. El **Grupo Arqhys** de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Santo Domingo es un grupo de profesionales y estudiantes de la arquitectura con el propósito de desarrollar un portal en el que otros estudiantes puedan encontrar ayuda e información, sobre los temas de interés de su profesión y temas de investigación para el sector de la construcción, como la publicación que se presenta en este portal de la relación de las resistencias del concreto.

2.9.1 Relación del las resistencias del concreto⁸. La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos

⁸ Disponible en Internet: www.arqhys.com/ Relación de las resistencias del concreto

por centímetro cuadrado (Kg/cm^2) a una edad de 28 días, se le designa con el símbolo $f' c$. Para determinar la resistencia a la compresión, se realizan pruebas a especímenes de mortero o de concreto; en los Estados Unidos, a menos de que se especifique de otra manera, los ensayos a compresión del concreto se efectúan sobre cilindros que miden 15 cm de diámetro y 30 cm de altura. La resistencia del concreto a la compresión es una propiedad física fundamental, y es frecuentemente empleada en los cálculos para diseño de puentes, de edificios y otras estructuras. El concreto de uso generalizado tiene una resistencia a la compresión entre 210 y 350 kg/cm^2 . Un concreto de alta resistencia tiene un esfuerzo a la compresión de cuando menos 420 kg/cm^2 , esfuerzo de 1,400 kg/cm^2 se ha llegado a utilizar en aplicaciones de construcción. La resistencia a la flexión del concreto se utiliza generalmente al diseñar pavimentos y otras losas sobre el terreno. La resistencia a la compresión se puede utilizar como índice de la resistencia a la flexión, una vez que entre ellas se ha establecido la relación empírica para los materiales y el tamaño del elemento en cuestión. La resistencia a la flexión, también llamada módulo de ruptura, para un concreto de peso normal se aproxima a menudo de 1.99 a 2.65 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a la compresión (en Kg/cm^2).

El valor de la resistencia a la tracción del concreto es aproximadamente de 8% a 12% de su resistencia a compresión y a menudo se estima como 1.33 a 1.99 veces la raíz cuadrada de la resistencia a compresión. La resistencia a la torsión para el concreto está relacionada con el módulo de ruptura y con las dimensiones del elemento de concreto. La resistencia al cortante del concreto puede variar desde el 35% al 80% de la resistencia a compresión. La correlación existe entre la resistencia a la compresión y resistencia a flexión, tracción, torsión, y cortante, de acuerdo a los componentes del concreto y al medio ambiente en que se encuentre. El módulo de elasticidad, denotado por medio del símbolo E , se puede definir como la relación del esfuerzo normal y la deformación correspondiente para esfuerzos de tracción o de compresión por debajo del límite de proporcionalidad de un material. Para concretos de peso normal, E fluctúa entre 140,600 y 422,000 kg/cm^2 , y se puede aproximar como 15,100 veces el valor de la raíz cuadrada de la resistencia a compresión en kg/cm^2 . Los principales factores que afectan a la resistencia son la relación Agua – Cemento y la edad, o el grado a que haya progresado la hidratación. Estos factores también afectan a la resistencia a flexión y a tracción, así como a la adherencia del concreto con el acero. Las relaciones Edad – Resistencia a compresión. Cuando se requiera de valores más precisos para el concreto se deberán desarrollar curvas para los materiales específicos y para las proporciones de mezclado que se utilicen en el trabajo. Para una trabajabilidad y una cantidad de cemento dadas, el concreto con aire incluido necesita menos agua de mezclado que el concreto sin aire incluido. La menor relación Agua – Cemento que es posible lograr en un concreto con aire incluido tiende a compensar las resistencias mínimas inferiores del concreto con aire incluido, particularmente en mezclas con contenidos de cemento pobres e intermedios”.

En Colombia también existen organizaciones como es el caso del ICPC (Instituto Colombiano de Productos de Cemento), que tiene como misión fomentar el desarrollo de la industria cementera y la construcción en el país, mediante la ejecución de acciones promocionales, asistencia técnica y conocimiento, velando siempre por la difusión y progreso de la industria y el uso adecuado del cemento y sus aplicaciones a través de diversas tecnologías, además aportando valiosas publicaciones al sector de la construcción que son de gran interés para los distintos profesionales y empresas constructoras de nuestro país, por medio de su página web, como por ejemplo la publicaciones referentes a la tecnología del concreto, “Sensibilidad de las variables en el comportamiento de los pavimentos de concreto”.

2.9.2 Respecto a los materiales. “En el diseño del pavimento el nivel de calidad del concreto se expresa con base en su resistencia a la flexión; pero en las memorias de cálculo aparece con mucha frecuencia no la resistencia a la flexión, sino a la compresión, por ser más fácil de medir en el campo. Ese cambio, bien intencionado por demás, también puede llevar a subdiseños importantes.

Para un concreto específico se puede presentar una muy buena correlación entre ambas resistencias; pero la generalización de las correlaciones es peligrosa. Veamos un ejemplo (5). Para una resistencia a la compresión de 250 kgf/cm² la resistencia a la flexión puede oscilar entre 32 y 40 kgf/cm², es decir, que puede existir una diferencia de 8 kgf/cm², lo cual puede inducir un cambio de 2 cm entre los espesores definidos con los extremos de la correlación mencionada⁹.

Además en Colombia algunos profesionales y las diferentes universidades se han interesado en la investigación de la correlación existente entre las diferentes resistencias del concreto como es el caso de de la universidad del Cauca, la cual hace una publicación del ingeniero Gerardo A. Rivera L., el libro “Concreto simple”, en el capítulo seis de este referente a la resistencia del concreto, participa las “Correlaciones de la resistencia a la flexión las resistencias a la compresión y tensión”, realizadas con materiales del área de Popayán.

2.9.3 Relación agua/cemento (A/C) Vs resistencia a la compresión. “Duff Abrams, enunció la siguiente ley que lleva su nombre: “Dentro del campo de las mezclas plásticas, la resistencia a los esfuerzos mecánicos, así como las demás propiedades del concreto endurecido, varían en razón inversa a la relación agua / Cemento”.

⁹ INSTITUTO COLOMBIANO DE PRODUCTORES DE CEMENTO. Sensibilidad de las variables en el comportamiento de los pavimentos de concreto, Ponencia presentada por el ingeniero Cipriano A. Londoño N, Director Técnico del Instituto Colombiano de Productos de Cemento. Disponible en Internet: www.icpc.com/ICPC

Lo que significa que a menor relación agua / cemento (A/C), mayor resistencia, más durabilidad y en general mejoran todas las propiedades del concreto endurecido. La ley de Abrams se expresa matemáticamente como:

$$f'c = \frac{k_1}{k_2^{A/C}}$$

Donde:

f'c = Resistencia a los esfuerzos mecánicos

A/C = Relación agua / Cemento

k₁ y k₂ = Son valores que dependen de la calidad del cemento, edad del concreto, sistema de curado y tipos de agregados

Para materiales del área de Popayán (agua potable, cemento del Valle y agregados de la zona) se han encontrado las siguientes correlaciones (estas ecuaciones deben ajustarse con periodicidad):

- Arena y grava de río:

$$f'c = \frac{889.61}{19.21^{A/C}} \text{ en } kg/cm^2$$

- Arena de río y triturado:

$$f'c = \frac{734.88}{10.95^{A/C}} \text{ en } kg/cm^2$$

La firma SOLINGRAL LTDA encontró para materiales procedentes del valle del río Medellín y diferentes regiones de Antioquia, Valle, Choco, Caldas y la Costa Atlántica y cementos: El Cairo, Nare, Argos y Caribe, la siguiente relación:

$$f'c = \frac{985}{14.3^{A/C}} \text{ en } kg/cm^2$$

El ACI presenta unos valores recomendados, como lo muestra la Tabla 3, para el caso que no se tenga una idea del comportamiento de los materiales con los que se está trabando y son los siguientes:

Tabla 3. Valores recomendados de A/C para diferentes resistencias a la compresión en concreto sin aire incluido y concreto con aire incluido.

Resistencia a la compresión (Kg/cm ²)	A/C Concreto sin aire incluido	A/C Concreto con aire incluido
175	0.67	0.54
210	0.58	0.46
245	0.51	0.40
280	0.44	0.35
315	0.38	-----

Las ecuaciones para estos valores del ACI son (en kg/cm²):

- Sin aire incluido

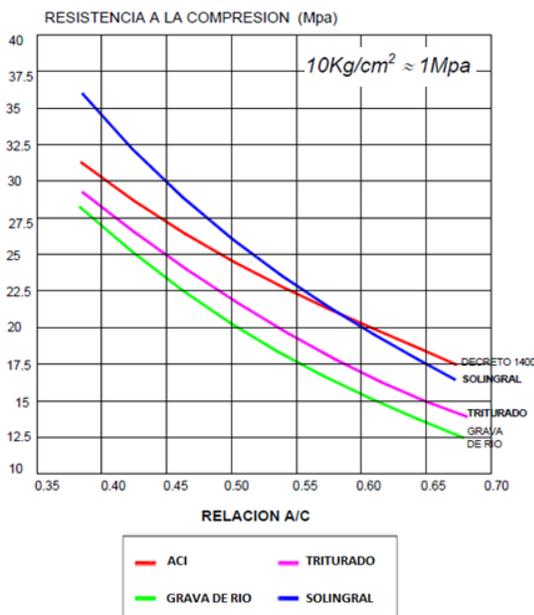
$$f'c = \frac{685.14}{7.64^{A/C}}$$

- Con aire incluido

$$f'c = \frac{661.04}{11.86^{A/C}}$$

En la siguiente grafica se representan las anteriores correlaciones y los valores recomendados para concreto sin aire incluido por el ACI.”

Gráfica 4. El módulo de rotura presenta valores entre 10% y un 20% de la resistencia a la compresión. Una relación aproximada, que puede utilizarse cuando no se disponga de ensayos de flexión es el siguiente.



$$MR = k(RC)^{1/2}$$

Donde:

MR = Módulo de rotura estimado para el concreto (kg/cm²).

RC = Resistencia a la compresión en el concreto (kg/cm²).

RT = Resistencia a la tracción indirecta.

k = Constante que varía normalmente entre 2.0 y 2.7, para resistencias en kg/cm² a 28 días.

La relación entre el módulo de rotura y la resistencia a la tracción indirecta es de tipo lineal.

Para los materiales del área de Popayán (agua potable, cemento del valle y agregados de la zona) se han encontrado las siguientes correlaciones, las cuales se deben ajustar periódicamente.

Arena y grava de río

$$MR_{28D} = 2.2 * (RC_{28D})^{1/2} \text{ en Kg/cm}^2; r = 0.86 \quad (13)$$

$$MR_{28D} = 15.03 + 0.90 RT_{28D} \text{ en Kg/cm}^2; r = 0.86 \quad (14)$$

Arena de río y triturado:

$$MR_{28D} = 2.48 * (RC_{28D})^{1/2} \text{ en Kg/cm}^2; r = 0.88 \quad (15)$$

$$MR_{28D} = 12.25 + 1.03 RT_{28D} \text{ en Kg/cm}^2; r = 0.99^{10} \quad (16)$$

¹⁰ RIVERA L, Gerardo A. Concreto simple. Capítulo 6. Universidad de Cauca. 2010.

3. TRABAJO DE CAMPO

3.1 SELECCIÓN DE MATERIALES

La obtención del agregado fino procede de la mina y ladrillera “LAS TERRAZAS”-COMINAGRO LTDA, Figura 1. Contribuyen con tres metros cúbicos de arena negra proveniente de excavación y explotación de la mina, ubicada en el kilómetro 4 vía al sur Catambuco - Pasto.

La consecución del agregado proviene de la cantera “LA VICTORIA”-PANAVIAS LTDA”, Figura 2. Contribuyen con tres metros cúbicos de triturado, originario de la excavación, acción, trituración, y tamizado del mismo, ubicada en Briseño bajo kilómetro 4 en la vía que comunica al municipio de Pasto y el municipio de Nariño. Se adquirió cemento hidráulico, ARGOS tipo I de uso general; almacenados en sitios adecuados para alejarlos de la humedad avalando sus características químicas y físicas.

Figura 1. COMINAGRO Ltda.

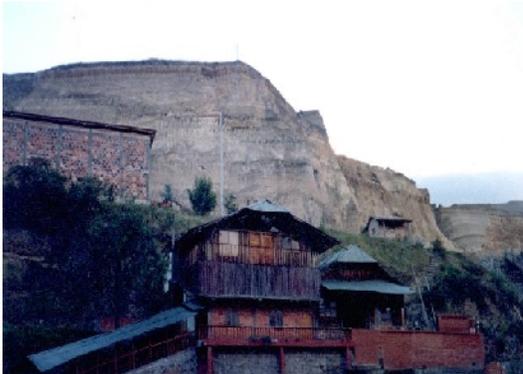


Figura 2. PANAVIAS Ltda.



3.1.1 Transporte y almacenamiento de los materiales. Además de suministrar el material “COMINAGRO LTDA” y “PANAVIAS LTDA”, nos facilita el transporte de los materiales de las canteras hacia la universidad de Nariño, el cual se adecuado por parte nuestra un deposito de los materiales, con medios internos de transporte se traslado el materiales a tolvas del laboratorio de materiales, depositando tanto el agregado fino como el grueso y evitando los agentes ambientales que le cambiarían sus propiedades físico mecánicas.

El cemento, transportado y almacenado en el laboratorio de materiales bajo techo, como se indica en las Figuras 3 y 4, pero las condiciones ambientales de este no son las más adecuadas para tenerlo almacenado allí por mucho tiempo, por eso lo utilizamos rápidamente, evitando su posible hidratación.

Figura 3. Agregado fino



Figura 4. Agregado grueso



3.2 ENSAYOS DE LABORATORIO FÍSICO MECÁNICOS A LOS MATERIALES

Para la realización de los ensayos se toma una muestra representativa a la cual se le da un buen mezclado con el fin de suministrarle homogeneidad.

Los ensayos necesarios para realizar los diseños de las mezclas y efectuar el control de la humedad de los agregados son los siguientes:

- ✓ Granulometría (NTC 77).
- ✓ Peso unitario suelto (NTC 92).
- ✓ Peso unitario compactado (NTC 92).
- ✓ Contenido de materia orgánica (NTC 127 – NTC174)
- ✓ Psss (NTC 237 para agregado fino y NTC 176 para agregado grueso).
- ✓ Absorción (NTC 237 para agregado fino; NTC 176 para agregado grueso).
- ✓ Humedad natural (NTC 1776)

3.3 DISEÑO DE MEZCLAS

El diseño de las mezclas se realiza como se explicó anteriormente en el marco teórico en donde se tuvo como única variable la relación agua / cemento.

El trabajo de campo empieza con la corrección por humedad de los agregados, se tamiza la arena por el tamiz N°4, (ver Figura 5).La cual tiene exceso de gruesos con una alta adsorción y dificulta cumplir con un diseño aplicable y económico.

Figura 5. Tamizado del agregado fino



Con las proporciones de cada uno de los agregados ya calculados, se mezcla manual en una bandeja y mecánica con la ayuda de la mezcladora a efecto de determinar el slump, como lo indica la Figura 6, se realiza así para tener patrones de comparación entre los numerosos slump llevados a efecto; con el slump se controla, verifica y comprueba el asentamiento de la mezcla, en escritorio se realiza corrección por asentamiento y con los nuevos datos de proporción de agregados por peso, se efectuó el slump y confirmo su asentamiento, si cumple con las especificaciones se procede a elaborar la mezcla.

Figura 6. Chequeo de asentamiento



Se toma de las tolvas la muestra de los agradados, pesamos con la proporción establecida despreciando el peso de los recipientes tanto para agregado fino, agregado grueso y cemento, se dispone en baldes y medimos la cantidad de agua en probetas; este procedimiento se repite tres veces porque la capacidad de la mezcladora es de $\frac{1}{2}$ bulto de cemento.

En la parte posterior del laboratorio donde se encuentra la mezcladora preparada y húmeda para evitar la pérdida de humedad de los materiales por parte de esta.

Los materiales eran introducidos a la mezcladora en el siguiente orden:

- ✓ la mitad de agua
- ✓ el total de grava
- ✓ el total de agua
- ✓ el total de cemento
- ✓ el total de arena

El tiempo de mezclado es de 4 minutos 30 segundos o 120 revoluciones después de que todos los materiales estuvieran dentro de la mezcladora. Para la mezcla y el tiempo de mezclado se ciñe en cuenta la norma NTC No 1377 numeral 6.1.

La ubicación de la mezcladora a centímetros de las bandejas para cuando se produzca el vaciado de la mezcla controlando la segregación de los materiales, de forma manual se sacó algunos finos presentes en las aletas de la mezcladora y los incluimos a la mezcla, con la ayuda de una pala se homogeniza y traslada la mezcla a las camisas de cilindros y vigas. (Ver Figuras 7, 8, 9 y 10)

Figura 7. Disposición de agregados



Figura 8. Vaciado del agua de mezcla



Figura 9 . Mezcla mecánica de agregados



Figura 10. Vaciado del concreto hidráulico



3.3.1 Camisas para elaborar vigas y cilindros. En el laboratorio de materiales de la Universidad de Nariño, en el momento de iniciar la investigación se dispone de tres camisas metálicas para cilindros normalizados, utilizadas para la construcción del nuevo bloque de informática de la universidad, en formaletas para vigas prismáticas el laboratorio cuenta con cero formaletas; por lo tanto se conto con otros laboratorios de materiales en Pasto para adquirir esta material de trabajo y continuar con la investigación.

En el laboratorio “GEOANDES”, facilita seis camisas para cilindros y cuatro formaletas para vigas; por lo tanto se realiza una inversión de un millón de pesos para comprar las cinco formaletas restantes, para continuar con en la elaboración de la tesis.

Todas las camisas de los cilindros y formaletas de vigas tenían superficies internas lisas y libres de hendiduras, en el caso de las viguetas sus lados, bases y extremos eran perpendiculares sin deformaciones.

3.3.2 Vaciado de vigas y cilindros. En todos los casos la compactación se hizo a mano; para los cilindros en 3 capas con 25 golpes por capa y para las viguetas en 2 capas con 58 golpes por cada capa; un golpe por cada 14cm^2 área de la superficial superior de la muestra, en ambos casos con varilla de $5/8$ ” o 16 mm de diámetro y punta redondeada, además, se golpearon los lados de los moldes de 10 a 15 veces con un mazo de caucho luego de colocar cada capa para cerrar los vacíos dejados por la varilla y acomodar el material, por último se enrasó la superficie con la misma varilla dándole el terminado con el palustre para obtener

una superficie lisa para los cilindros, Las viguetas se enrasaron con la varilla y se hizo el terminado con una llana metálica. (Ver Figuras 11,12 y 13)

Figura 11. Primera capa del vaciado de vigas



Figura 12. Vaciado de la segunda capa



Figura 13. Viga lista para ser compactada



Figura 14. Proceso de vaciado en serie



Figura 15. Compactación de vigas



Figura 16. Vibrado para vigas



Figura 17. Detalle del terminado de tablilla de madera



Figura 18. Terminado de vigas con palustre



3.3.3 Desencofrado, limpieza y engrasado de formaletas. Del proceso de desencofrado se puede realizar las siguientes observaciones:

- ✓ El desencofrado de los cilindros y de las viguetas se realiza a las 24 horas.
- ✓ El desencofrado de las viguetas presentaba algunos inconvenientes, porque estas debido a su diseño apretaban el concreto dificultando su desencofrado, produciendo daños en las aristas, se procura engrasarla muy bien para evitar esto.

- ✓ También se utilizó formaleta, que por su diseño permite un desencofrado sin producir daños en la viga, pero exigía mucho más tiempo para desencofrar y armar, su peso era muy superior dificultando su transporte.
- ✓ Los moldes metálicos para los cilindros son de fácil desencofrado y no presentan inconvenientes, pero se debe tener cuidado al momento de armarlos para que no se modifique el diámetro del cilindro o al momento de compactar no se habrán, esto se consigue al hacer coincidir las laminas exactamente y tener muy en cuenta el ajuste de los tronillos.

Para el desencofrado se tuvieron en cuenta las especificaciones de la norma NTC No 1377 numerales 7.1, 7.2 y 7.4 en donde dice que “Los especímenes se retiran de los moldes $24\text{ h} \pm 8\text{ h}$ después de fundidos”; para evitar que se presente fracturas en las aristas por no haber conseguido el tiempo de fraguado necesario.

La limpieza de los moldes se hacen con espátula y cepillo metálico para quitar el concreto que se adhería a ellos por el proceso de vaciado, después se limpia con un pedazo de tela y por último se engrasa con aceite quemado mezclado con ACPM para facilitar su aplicación. (Ver Figuras 19, 20 y 21)

Figura 19. Formaleta de viga aceitada



Figura 20. Detalle lateral de formaleta



Figura 21. Vigas y cilindros listos para desencofrar



3.3.4 Curado. Para hacer la inmersión de los especímenes tanto para vigas como cilindros, se realizó en la piscina del laboratorio en agua con cal por el lapso de veinte ocho días. El proceso de curado es muy importante en la obtención de resistencia.

3.4 ENSAYOS DE CILINDROS Y VIGAS

Los ensayos de los cilindros se realizan en el laboratorio de materiales con la máquina de compresión, no se utilizó bandas de neopreno en los extremos de los cilindros; se realizó el ensayo con bandas de neopreno y capinado de cilindros de la misma mezcla, las resistencias obtenidas del ensayo con bandas de neopreno eran un 10% más altas que los cilindros capinados, en conclusión el capinado

para nosotros garantiza que la carga sea totalmente axial, claro esta que no debemos olvidar la contaminación al capinar un cilindro y sus consecuencias.

Los ensayos de las viguetas se realiza aplicando cargas a cada tercio de la luz libre y para facilitar el procedimiento de montaje se utilizaron tabillas que iban desde el extremo de la viga hasta el punto de aplicación de la cargas para poder ubicar y garantizar la ubicación de los mismos.

Las fallas de los cilindros son las esperadas y eran semejantes a los tipos de fallas que se encuentran en la norma NTC 673. (Ver Figura 25).

Las fallas de las vigas siempre se presentan en el tercio medio de la misma, presentando una falla vertical. (Ver Figuras 22, 23 y 24).

Figura 22. Viga en el proceso de falla



Figura 23. Falla de la viga

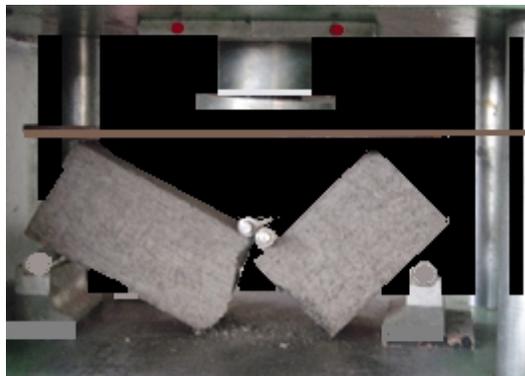
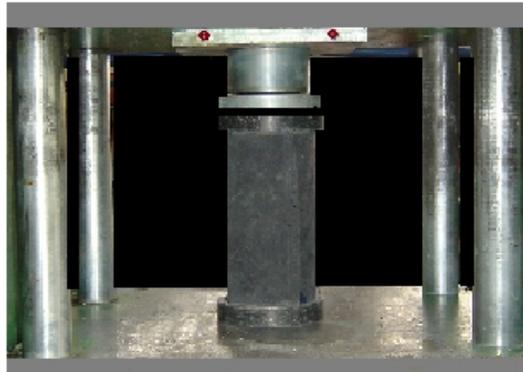


Figura 24. Detalle interno de una viga



Figura 25. Montaje del ensayo a compresión



En ningún caso se presenta fallas no esperadas lo que podría indicar que los montajes tanto para los cilindros y viguetas estuvieron bien realizados. Estos montajes estuvieron acordes con la norma NTC 673 y la norma ASTM C 78 para las vigas.

3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el empleo de la estadística como herramienta se recurre a consultas bibliográficas que apoyan a este propósito, y las sugerencias con un asesor

estadista que refuerza el tema y el análisis del mismo, para cumplir con todos los parámetros estadísticos más empleados para esta investigación, “La media aritmética, desviación estándar, varianza, coeficiente de variación, distribución normal, y el coeficiente de correlación lineal de Pearson”. Aplicados a un tamaño muestral opcional dirigida a la población.

Se tuvo mucho cuidado en la toma de datos, como al introducirlos a las formulas y para corroborar los resultados obtenidos por este camino, se emplea el programa StatGraphic, el cual de forma programada automatiza los resultados y se verifica con una hoja de cálculo Excel, garantizando la confiabilidad y la veracidad.

Es importante anotar que el procedimiento estadístico es válido, si también lo es el criterio de muestreo, preparación de la mezcla y ensayo.

4. DISEÑO DE LAS MEZCLAS

Para el trabajo realizado se utilizó el método de las granulometrías gráfico; en este método se busca obtener la mejor relación de grava y arena que nos proporcione la masa unitaria máxima.

El método consiste en graficar las granulometrías tanto de la grava como de la arena en una malla; también se grafican los puntos de las gradaciones ideales de ASOCRETO de agregados para concreto (ver tabla No.1)

Tabla 4. Rangos granulométricos recomendados por ASOCRETO

TAMIZ		LIMITE DE LOS PORCENTAJES QUE PASAN LOS SIGUIENTES TAMAÑOS MAXIMOS								
Pulgadas	mm	90.6mm (3 ½")	76.1mm (3")	64.0mm (2 ½")	50.8mm (2")	38.1mm (1 ½")	25.4mm (1")	19.0mm (¾")	12.7mm (½")	9.51mm (⅜")
3 ½	90.6	100								
3	76.1	94 91	100							
2 ½	64.0	89 83	94 91	100						
2	50.8	82 73	87 80	92 88	100					
1 ½	38.1	74 62	78 68	83 75	90 85	100				
1	25.4	64 50	68 55	72 60	78 68	87 80	100			
¾	19.0	58 42	62 47	65 51	71 58	78 68	90 85	100		
½	12.7	50 34	53 37	57 41	62 47	68 55	78 68	87 80	100	
⅜	9.51	45 29	48 32	51 35	56 40	62 47	71 58	78 68	90 85	100
No.4	4.76	36 20	38 22	40 24	44 27	48 32	56 40	62 47	71 58	78 68
No.8	2.36	28 13	30 15	32 16	34 18	38 22	44 27	48 32	55 40	61 46
No.16	1.18	22 9	23 10	25 11	27 13	30 15	34 18	38 22	44 27	48 32
No.30	600μ	17 6	18 7	20 8	21 9	23 10	27 13	30 15	34 19	38 22
No.50	300μ	14 4	14 4	15 5	17 8	18 7	21 9	23 10	27 13	30 15
No.100	150μ	11 3	11 3	12 4	13 4	14 5	17 6	18 7	21 9	23 10

Para mayor entendimiento se puede ver la malla de nuestros agregados que se presenta a continuación. Como se puede observar en la gráfica anterior se trata de una malla en la cual se ha numerado de 0 a 100 la parte derecha para la arena e izquierda para la grava; esta numeración pertenece al porcentaje que pasa determinado tamiz; entonces para empezar a realizar la grafica se realiza el siguiente procedimiento:

Se empieza por marcar con puntos o "X" en los porcentajes pasantes de determinado tamiz, al frente se coloca el número de tamiz esto se hace para la

grava y la arena, luego de tener todos los puntos marcados se empieza a unir por líneas rectas los tamices por ejemplo: se une el punto perteneciente al tamiz No 4 de la grava con el punto perteneciente al tamiz No 4 de la arena nos debe quedar una línea diagonal y así sucesivamente para todos los tamices.(cruces rojas en la grafica anterior).

Después se comienza a graficar la granulometría ideal de Fuller teniendo en cuenta el tamaño máximo del agregado. Por ejemplo: para nuestro caso el tamaño máximo del agregado es 1" o 25.4 mm entonces para el tamiz No 8 le corresponde un porcentaje que pasa en la gradación ideal de Fuller de 30.6. Para graficar este valor nos subimos por el porcentaje que pasa de la malla ya sea el de la izquierda o el de la derecha y cortamos la línea (diagonal) perteneciente al tamiz No 30 y allí marcamos un punto o una x. (cruces verdes en el grafico anterior).

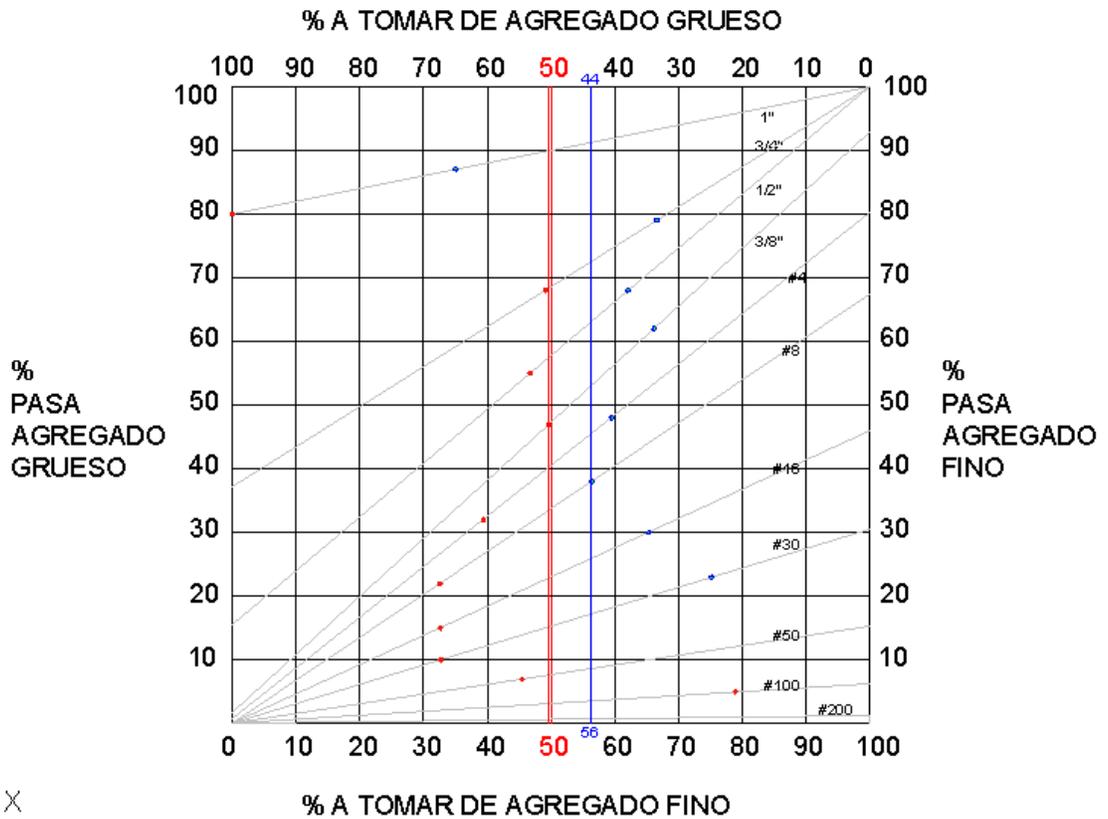
Luego se traza dos líneas por los puntos extremos de la gradación Fuller sin tener en cuenta los puntos que estén muy aislados de los demás. (ver líneas verdes en el grafico anterior).

para obtener los porcentajes de grava y arena se traza una línea en la mitad de las dos extremas y se corta la numeración inferior y superior, las cuales tienen escalas invertidas o sea la superior esta numerada de izquierda a derecha de 0 a 100 y la inferior es inversa. En la parte superior leemos el porcentaje de arena y en la inferior el porcentaje de grava. Para nuestro caso el porcentaje de arena es del 50 y de grava el 50 %.

Para el diseño de las mezclas de concreto seguiremos el procedimiento que adopta GERARDO A. RIVERA L. en su libro TECNOLOGÍA DEL CONCRETO, publicado por la Universidad del Cauca

Para los diseños de las mezclas con el método de gráfico y Gerardo Rivera se requiere conocer las siguientes características:
(A medida que se enuncia las características se desarrolla un ejemplo de diseño para una mezcla con una relación a/c de 0.46).

Gráfica 5. Malla de Fuller



X

Cemento:

- Peso específico (**G_c**): durante toda la investigación se ha utilizado el cemento ARGOS uso general Portland tipo I.

Peso específico del cemento G_c : 3.097 g/cm³

Agua:

- Densidad del agua (**G_a**), Se asume como 1000 Kg/m³.

Agregados:

- Densidad aparente de los agregados (**G**).
- Absorción (**%ABS**).
- Humedad de los materiales antes de realizar las mezclas (**W_n**).

- Masas unitarias sueltas (**MUS**).

Agregado grueso

Masa unitaria suelta	(MUS)	1534	kg/m ³
Masa unitaria compacta	(MUC)	1697	kg/m ³
Densidad aparente seca	(Gg)	2,67	g/cm ³
Absorción (%ABSg)		1,48	%
Humedad natural	(Wng)	0,00	%
Forma		Alargada (grava de cantera)	
Tamaño (TM)	máximo	1 1/2	"
Tamaño máximo nominal	(TMN)	1 1/2	"

Agregado fino:

Masa unitaria suelta	(MUS)	1155	kg/m ³
Masa unitaria compacta	(MUC)	1289	kg/m ³
Densidad aparente seca	(Gg)	2,45	g/cm ³
Absorción (%ABSg)		4,16	%
Humedad natural	(Wng)	3,5	%
Contenido de arcilla		73	%
Forma		Redondeada (Arena de mina)	
Módulo de finura	(FN)	2,95	

Del respectivo ajuste granulométrico tratando de reproducir una gradación ideal (fuller o weymuonth) o ajustando a uno de los rangos granulométricos recomendados por ASPCRETO se obtuvo

- Agregado fino = 50%
- Agregado grueso = 50%

4.1 PASOS A SEGUIR

Para obtener las proporciones de la mezcla del concreto que cumpla las características deseadas, con los materiales disponibles, se prepara una primera mezcla de prueba, teniendo como base unas proporciones iniciales que se determinan siguiendo el orden que a continuación se indica.

4.1.1 Selección del asentamiento. El asentamiento escogido fue de 5 cm, este corresponde a una consistencia semiseca.(Ver Tabla 5).

Tabla 5. Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO MM.	EJEMPLO DE TIPO DE CONSTRUCCIÓN	SITEMA DE COLOCACIÓN	SISTEMA DE COMPACATACIÓN
MUY SECA	0.0-20	prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantalla de cimentación	Con vibradores de formaleta, concretos de proyección neumática (lanzados)	secciones sujetas a vibración externa, pueden requerirse precisión
SECA	20-35	pavimentos	Pavimentos con terminadora vibratoria	secciones sujetas a vibración intensa
SEMISECA	35-50	pavimentos, fundaciones en concreto simple, losas poco reforzadas	Colocación con maquinas operadas manualmente	secciones simplemente reforzadas con vibración
media (plástica)	50-100	pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas, columnas, cimentaciones	Colocación manual	secciones simplemente reforzadas con vibración
HUMEDA	100-150	elementos estructurales esbeltos o muy reforzados	Bombeo	secciones bastante reforzadas con vibración
MUY HUMEDA	150-200	elementos esbeltos, pilotes fundidos "in situ"	Tubo-embudo-tremie	secciones altamente reforzadas con vibración
SUPER FLUIDA	más de 200	elementos muy esbeltos	Autonivelante, autocompactante	secciones altamente reforzadas sin vibración y normalmente no adecuados para vibrarse

4.1.2 Chequeo del tamaño máximo nominal. Se realiza con los planos estructurales o con las recomendaciones del calculista. Pero para el caso de estudio no se tiene en cuenta esta recomendación. TMN = 1 ½" (ver tabla 6.)

4.1.3 Determinación de la resistencia de dosificación. Para el caso de estudio no se realiza esta parte del procedimiento ya que no existe resistencia especificada para el diseño.

Tabla 6. Gradación de Agregado grueso

GRADACIÓN AGREGADO GRUESO					
Peso Inicial (g) =		20000	Peso lavado (g) =		17708,70
TAMIZ	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76,1	0	0	0	100
2 1/2"	64	0	0,00	0,00	100,00
2"	50,8	0	0,00	0,00	100,00
1 1/2"	38,1	0	0,00	0,00	100,00
1"	25,4	3544,2	20,01	20,01	79,99
3/4"	19,0	7597,7	42,90	62,92	37,08
1/2"	12,7	6291,2	35,53	98,44	1,56
3/8"	9,51	245,8	1,39	99,83	0,17
4	4,76	19,1	0,11	99,94	0,06
Fondo		10,7	0,060	100,00	0,00

TOTAL(g) = 17708,70

4.1.4 Estimación del agua de Mezcla. De acuerdo con la Tabla 7. (concreto sin aire incluido, se supone que con 160 kg de agua por m³ de concreto se obtiene un asentamiento de 5cm, para un TMN = 1 ½”.

Tabla 7. Estimación de agua de mezcla

ASENTAMIENTO (cm)	CONCRETOS SIN AIRE INCLUIDO						
	TAMAÑOS MAXIMOS NOMINALES (mm)						
	10	13	19	25	38	50	75
0,0-2,5	185	180	165	160	140	135	125
3,0-5,0	205	200	185	180	160	155	145
5,5-7,5	215	210	190	185	170	165	155
8,0-10,0	225	215	200	195	175	170	165
10,5-15,0	235	225	205	200	180	175	170
15,5-18,0	240	230	210	205	185	180	175
% DE AIRE	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3

A = 160 kg/m³ de Concreto

% Aire = 1.0 %

4.1.5 Selección de la relación Agua/Cemento. Estas relaciones son las variables que utilizan para la investigación, se tomaran relaciones desde 0.42 a 0.54, con un incremento de 0.04 para un total de 4, establecidas por la experiencia del asesor, para obtener un mezclas con manejabilidad optima y resistencias más empleadas en campo.

4.1.6 Contenido de cemento. En base a la relación A/C y haber obtenido el contenido de agua, se calcula el contenido de cemento con la siguiente fórmula:

Para el ejemplo: se parte de A/C = 0.46 y con A =160 kg/m³

$$\frac{A}{C} = 0.46 \rightarrow C = \frac{A}{0.46} = \frac{160 \text{ Kg/m}^3}{0.46} = 347.83 \text{ kg/m}^3 \quad (17)$$

4.1.7 Calculo de la cantidad de cada agregado. Los diseños se realizan para 1 m³ de concreto, por lo tanto se deben conocer los volúmenes de agua, cemento y aire, contenidos en la mezcla para obtener el volumen de agregados como el faltante para completar el metro cúbico.

$$\text{Vol. Abs. Agregados} + \text{Vol. Abs. Agua} + \text{Vol. Abs. Cemento} = 1000 \text{ dm}^3 = 1 \text{ m}^3 \quad (18)$$

$$\text{Vol. Agregados} = 1000 \text{ dm}^3 - \frac{C}{G_c} - \frac{A}{G_a} \quad (19)$$

$$\text{Vol. Agregados} = 1000 \text{ dm}^3 - \frac{347.83 \text{ kg/m}^3}{3.097 \text{ kg/m}^3} - \frac{160 \text{ kg/m}^3}{1 \text{ kg/m}^3} = 727.49 \text{ dm}^3$$

Densidad promedio de los agregados (G promedio), Teniendo el % arena =50 y %grava =50 así como también densidad de la arena =2.485 gr/cm³ y densidad grava =2.67 gr/cm³, se puede obtener la densidad de la mezcla de arena y grava así:

$$G_{\text{promedio}} = \frac{100}{\sum \frac{\%i}{G_i}} = \frac{100}{\frac{50}{2.45 \text{ kg/dm}^3} + \frac{50}{2.67 \text{ kg/dm}^3}} = 2.56 \text{ kg/dm}^3 \quad (20)$$

$$\text{Peso de los agregados} = \text{Vol. Agregados} * G_{\text{promedio}} \quad (21)$$

$$\text{Peso de los agregados} = 727.49 \text{ dm}^3 * 2.56 \frac{\text{kg}}{\text{dm}^3} = 1859.4 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \text{ de Concreto}$$

$$\text{Peso Agregado fino} = \text{Peso de los agregados} * \% \text{ Agregado fino}$$

$$\text{Peso Agregado fino} = 1859.34 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 50\% = 929.7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\text{Peso Agregado Grueso} = 1859.34 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 50\% = 929.7 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

4.1.8 Cálculo de las proporciones iniciales. Las proporciones de la mezcla se fijan con relación a la unidad de cemento, dividiendo el peso del agregado entre el contenido de cemento; se recomienda colocar la relación A/C antes de las proporciones. (Ver Tabla 8) Se presenta en la siguiente forma:

$$\frac{A}{C} : 1 : \frac{P_{\text{Fino}}}{C} : \frac{P_{\text{grueso}}}{C} \quad (22)$$

Tabla 8. Proporciones finales de la mezcla de concreto

	AGUA	CEMENTO	AG. FINO	AG. GRUESO	□
Peso materiales. (kg/m ³ ccto)	160	347,83	929,7	929,7	2367,3
Vol. Absoluto. Materiales (dm ³ /m ³ de ccto)	160	112,3	379,5	348,2	1000
Proporciones en peso seco	0,46	1	2,67	2,67	

4.1.8.1 Cálculo de las cantidades finales para cada relación A/C. Para el cálculo de las cantidades finales se debe hacer el siguiente análisis:

a. Volumen de concreto a preparar:

Tabla 9. Volumen de un cilindro estándar

Volumen de un cilindro estándar	
Diámetro (cm):	15
Altura (cm):	30
Volumen (cm ³):	5301,4376
Volumen (mts ³):	0,00530144

Tabla 10. Volumen de una viga típica

Volumen de una viga típica	
Ancho (cm):	15
Alto (cm):	15
Largo (cm):	50
Volumen (cm ³):	11250
Volumen (mts ³):	0,01125

Para comenzar con las dosificaciones, se prepara mezcla para un Slump y se hace el posterior ajuste.

Tabla 11. Cantidad de concreto a preparar

Espécimen	cantidad	Volumen und.	Volumen total	Unidades
Slump	1	5,5	5,5	dm3
cilindros	0	5,3	0	dm3
vigas	0	12	0	dm3
			6,05	dm3

4.1.8.2 Cantidad de cemento para la primera mezcla de prueba:

$$C1 = \text{Volumen total} * (\text{Contenido de cemento para un m}^3) \quad (22)$$

$$C1 = \left(6,05 \text{ dm}^3 * 1000 \frac{\text{m}^3}{\text{dm}^3} \right) * 387,43 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 2,10 \text{ kg}$$

4.1.8.3 Contenido de humedad de los materiales:

Tabla 12. Corrección por humedad de los materiales

Wnf %=	3,50	Absorción %	4,16
Wng %=	0,00	Absorción %	1,48

1	2	3	4	5	6	7	8
material	Prop. Inicial	peso seco kg	peso hum kg	agua agreg kg	Absorción kg	agua libre	aporte
agua	0,46	0,97	-----	-----	-----	-----	-----
cemento	1	2,10	-----	-----	-----	-----	-----
ag. Fino	2,67	5,62	5,82	0,20	0,23	-0,04	
ag. Grueso	2,67	5,62	5,62	0,00	0,08	-0,08	-0,12

Peso seco materiales =	prop, * Peso Cemento; 3 = 2*C1 peso seco * (100 + Wn)/100; 4 = 3 * (100+Wn)/100
Agua en los agr. =	Peso húm. Mat. - peso seco mat.; 5 = 4 – 3
Absorción =	peso seco* %abs/100; 6 = 3 * %abs/100
Agua libre =	Agua en los agr. - absorción; 7 = 5 – 6
Aporte =	sumatoria agua libre; 8 = $\sum(7)$

Agua de mezcla (teórica)	Agua calculada – aporte	(30)
Agua de mezcla (teórica)	1,09	kg
cemento	2,10	kg
Ag. Fino	5,82	kg
Ag. Grueso	5,62	kg

Para que la mezcla tenga un asentamiento de 5cm fueron necesarios 400g de agua adicionales.

4.1.8.4 Agua real utilizada:

$$\text{Agua necesaria para el asentamiento} = 1088,4g + 400g = 1488,4g$$

$$\text{Agua Real de Mezcla} = 1488,4g = 1,49kg$$

$$\text{Agua} = \text{Agua Real de Mezcla} + \text{Aporte} = 1,49kg + (-,12kg) = 1,37kg$$

4.1.8.5 Relación A/C utilizada. Se calcula nuevamente este factor para el posterior ajuste al mismo.

$$\frac{A}{C} = \frac{1,37kg}{2,10kg} = 0,65$$

4.1.9 Ajuste por asentamiento. Al preparar la primera mezcla de prueba deberá utilizarse la cantidad de agua necesaria para producir el asentamiento escogido. Si está cantidad de agua por metro m³ de concreto difiere de la estimada, es necesario, calcular los contenidos ajustados de agua, cemento y agregados, y las proporciones ajustadas, teniendo en cuenta que si se mantiene el volumen absoluto de agua y agregado grueso por unidad de volumen de concreto, el asentamiento no presenta mayor cambio al variar un poco los volúmenes absolutos de cemento y agregado fino. (Ver Tabla 13, 14 y 15).

Tabla 13. Ajuste pos asentamiento

	Agua	Cemento	Ag. Fino	Ag. Grueso	Σ
Proporción utilizada	0,65	1	2,67	2,67	
peso material (kg)	0,65		2,67	2,67	
Vol. Abs (dm3/m3)	0,65	0,32	1,09	1,00	3,07

$$3,07 \frac{\text{dm}^3}{\text{Concreto}} = 1000 \frac{\text{dm}^3}{\text{Concreto}}$$

$$C = 1000/3.22 = 326,26 \text{ kg}$$

Tabla 14. Mezcla preparada por m3 de concreto

	Agua	Cemento	Ag. Fino	Ag. Grueso	Σ
Proporción en peso seco	0,65	1,00	2,67	2,67	
peso material (kg/m3 ccto)	212,09	326,26	872,07	872,07	2282,48
Vol. Abs (dm3/m3 ccto)	212,09	105,35	355,95	326,62	1000,00

4.1.9.1 Ajuste:

Tabla 15. Proporciones ajustadas

	Agua	Cemento	Ag. Fino	Ag. Grueso	Σ
Vol. Abs (dm ³ /m ³ ccto)	212,09	148,88	312,41	326,62	1000,00
peso material (kg/m ³ ccto)	212,09	461,07	765,41	872,07	2310,64
prop. En masa seca	0,46	1,00	1,66	1,89	

4.1.10 Segunda mezcla de prueba. Se realiza la segunda mezcla de prueba con las proporciones ajustadas, se efectúa las correspondientes correcciones por humedad de los agregados y se mide el asentamiento, el cual debe estar entre el rango escogido, para el caso de estudio de 3.5cm a 5cm. Se elaboran los cilindros y vigas proyectadas para cada punto y se fallan a los 28 días de curado. Obteniendo unas dosificaciones definitivas como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16. Dosificaciones definitivas

PROPORCIONES EN PESO SECO			
R A/C	Cemento	Arena	Triturado
0,42	1,00	1,58	1,78
0,46	1,00	1,66	1,89
0,50	1,00	1,97	2,18
0,54	1,00	2,17	2,38

5. ESTADÍSTICA

5.1 ETIMOLOGÍA DE LA ESTADÍSTICA¹¹

La palabra estadística procede del vocablo (Estado) pues era función principal de los gobernantes de los estados establecer registros de población, nacimientos, defunciones etc. Hoy en día la estadística se ha extendido mas allá de sus orígenes es un auxiliar de muchas ciencias con base matemática referente a la recolección, análisis e interpretación de datos, ya sea para ayudar en la resolución de la toma de decisiones o para explicar condiciones regulares o irregulares de algún fenómeno o estudio aplicado, ya sea de forma aleatoria o condicional.

Es transversal a una amplia variedad de disciplinas, desde la física hasta las ciencias sociales, desde las ciencias de la salud hasta el control de calidad. Se usa para la toma de decisiones en áreas de negocios o instituciones gubernamentales.

La estadística se divide en dos elementos:

La estadística descriptiva: Que se dedica a los métodos de recolección, descripción, visualización y resumen de datos originados a partir de los fenómenos en estudio. Los datos pueden ser resumidos numérica o gráficamente. Ejemplos básicos de parámetros estadísticos son: la media y la desviación estándar. Algunos ejemplos gráficos son: histogramas, pirámide de poblacional, clústers, etc.

La estadística inferencial: Que se dedica a la generación de los modelos, inferencias y predicciones asociadas a los fenómenos en cuestión teniendo en cuenta la aleatoriedad de las observaciones. Se usa para modelar patrones en los datos y extraer inferencias acerca de la población bajo estudio. Estas inferencias pueden tomar la forma de respuestas a preguntas si/no (prueba de hipótesis), estimaciones de características numéricas, pronósticos de futuras observaciones, descripciones de asociación (correlación) o modelamiento de relaciones entre variables (análisis de regresión).

Ambas ramas (descriptiva e inferencial) comprenden la estadística aplicada.

Hay también una disciplina llamada estadística matemática, la cual se refiere a las bases teóricas de la materia. La palabra «estadísticas» también se refiere al

¹¹ Ibíd.

resultado de aplicar un algoritmo estadístico a un conjunto de datos, como en estadísticas económicas y estadísticas criminales, etc.

5.2 PARÁMETROS ESTADÍSTICOS

En el curso del estudio se realizaron varias mediciones de una cantidad en particular (muestra piloto). Contiene 21 vigas para ensayo a flexión designadas como (y_i) y 21 cilindros para ensayo a compresión designados por (x_i). Obteniendo un conocimiento al suministrar una o varias funciones estadísticas bien seleccionadas, que tengan tanta información como sea posible acerca de las características específicas de este conjunto de datos. Esas estadísticas descriptivas son seleccionadas con mayor frecuencia para representar:

- ✓ La posición del centro de la distribución de los datos
- ✓ El grado de aproximación de los datos

Las siguientes expresiones representan los parámetros estadísticos para ensayo a flexión de vigas, las mismas que se utilizan para ensayo a compresión de cilindros simbolizados con; Media aritmética (\bar{y}), Desviación estándar (S_y), varianza (s_y^2) y coeficiente de variación (cv).

La localización estadística más común es la media aritmética.

5.2.1 La media aritmética (\bar{y}). La suma de los datos individuales de una muestra (y_i) para flexión dividida entre el número de puntos (n), donde la sumatoria va de $i = 1$ a " n "

$$\bar{Y} = \frac{\sum y^i}{n} \quad (23)$$

5.2.2 La desviación estándar (S_y). Medida de espaciamiento para una muestra alrededor de la media.

$$S_y = \sqrt{\frac{St}{n-1}} \quad (24)$$

Donde (St) es la suma total de los cuadrados de los residuos entre los datos y la media.

$$St = \sum (y_i - \bar{Y})^2 \quad (25)$$

Así, si las mediciones individuales están muy espaciadas alrededor de la media, (S_t) (en consecuencia, S_y) será grande. Si están agrupadas cerca de ella, la desviación estándar será pequeña.

5.2.3 Varianza (s_y)². Es el cuadrado de la desviación estándar, donde también se mide el espaciamiento.

$$S_y^2 = \frac{S_t}{n-1} \quad (26)$$

Observemos que el denominador de la desviación estándar y la varianza es (n-1). la cantidad de (n-1) está referida como los grados de libertad. Por lo tanto S_t y S_y se hallan basadas en (n-1) los grados de libertad, osea se divide entre n-1 porque no existe la dispersión de un solo punto, para el caso de que (n=1) Para que no se requiera el cálculo previo de \bar{Y} y se obtenga un resultado idéntico al de la varianza

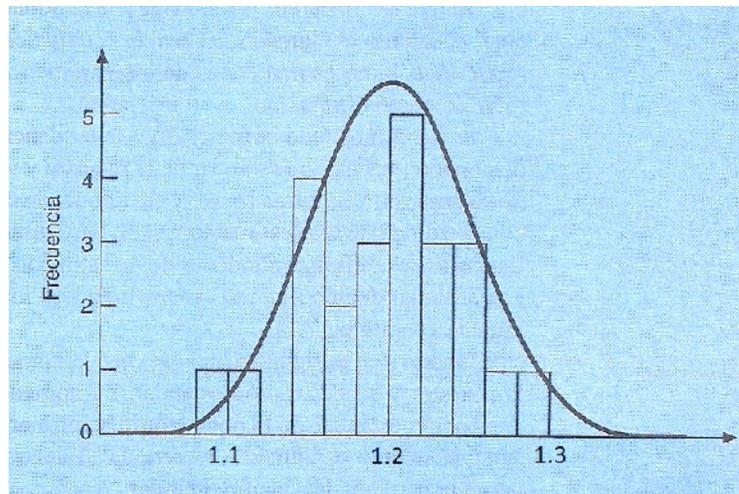
$$S_y^2 = \frac{\sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2 / n}{n-1} \quad (27)$$

5.2.4 Coeficiente de variación (cv). Cuantifica la dispersión de los datos, tal estadística es la razón de la desviación estándar a la media. Como tal, proporciona una medición normalizada de la dispersión, se multiplica por 100 para expresarla en porcentaje.

$$c.v = \frac{S_y}{\bar{Y}} * 100 \quad (28)$$

5.2.5 Distribución normal. La forma en la cual se distribuye los datos alrededor de la media se manifiesta en un histograma, el cual proporciona una representación visual simple de la distribución.

Gráfica 6. Histograma de frecuencias



Se construye el histograma al ordenar las mediciones en intervalos. Las unidades de medición se grafican en la abscisa y la frecuencia de cada intervalo en la ordenada. Si se tiene un conjunto de datos muy grande, el histograma se aproxima a una curva suave en forma de campana, llamada distribución normal.

5.2.6 Histograma. Los conceptos de la media, desviación estándar, suma de los residuos y distribución normal tienen una alta relevancia en la práctica de la ingeniería, su uso cuantifica la confianza que se pueda adscribir a una medición en particular.

Si una cantidad está normalmente distribuida, el rango definido por $\bar{Y}-S_y$ a $\bar{Y}+S_y$ abarcará en forma aproximada el 68% de las mediciones totales y el rango definido por $\bar{Y}-2S_y$ a $\bar{Y}+2S_y$ abarcará el 95%. Si un valor está fuera de este rango, por encima o por debajo, entonces se podría sospechar que las mediciones son erróneas. (Ver Figura 6).

Donde:

\bar{Y} = Media aritmética

S_y = Desviación estándar

5.2.7 Estimación de los intervalos de confianza. Una de las principales metas de la estadística es estimar las propiedades de una población basada en una muestra limitada tomada de esa población, se realizan un número de mediciones en forma aleatoria y, con base en la muestra, intentar caracterizar las propiedades de toda la población. Ya que los resultados son a menudo reportados como estimaciones de los parámetros de la población.

Se analiza cómo se puede definir un intervalo de confianza alrededor de un estimado de la media. Obsérvese que la nomenclatura \bar{Y} y S_y se refieren a la media de la muestra y la desviación estándar. La nomenclatura μ y σ se refieren a la media y desviación estándar de la población, ósea las reales.

Un intervalo de dos lados tiene que ver con proposición más general en la que la estimación concuerda con la verdad, por la relación.

$$P(L \leq \mu \leq U) = 1 - \alpha \quad (29)$$

Se puede leer como “la probabilidad que la media real de \bar{Y} , μ estén dentro del límite L a U es $1 - \alpha$ ”. Entonces α es el nivel de significancia, distribuida de manera uniforme así ($\alpha/2$) en cada cola de la distribución.

No se conoce realmente μ . Por lo tanto, no se sabe donde se ubica con exactitud la curva normal con respecto a \bar{Y} para evitar esto se calcula la.

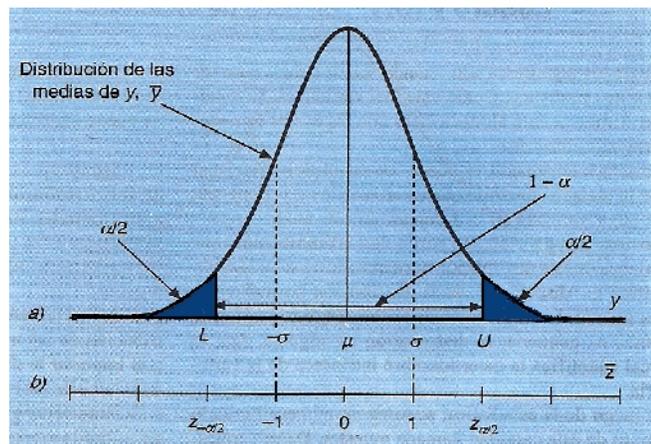
5.2.8 Estimación de la normal estándar. La cual representa la distancia normalizada entre \bar{Y} y μ , la probabilidad de que z este dentro de la región no sombreada debería ser $1 - \alpha$. La cantidad $z_{\alpha/2}$ es un variable aleatoria normal estándar.

$$Z = \frac{\bar{Y} - \mu}{\sigma / \sqrt{n}} \quad (30)$$

Por lo general se trabaja con valores de $\alpha = 0.05$, en otras palabras definiendo un intervalo que cubre el 95%. Entonces $z_{\alpha/2}$ es igual a 1.96, esto significa que el intervalo alrededor de la media con ancho 1.96 veces la desviación estándar abarcará en forma aproximada el 95% de la distribución. Con una probabilidad de $1 - \alpha$

$$L = \bar{Y} - \frac{\sigma}{\sqrt{n}} z_{\alpha/2} \quad \text{y} \quad U = \bar{Y} + \frac{\sigma}{\sqrt{n}} z_{\alpha/2} \quad (31)$$

Gráfica 7. Distribución normal



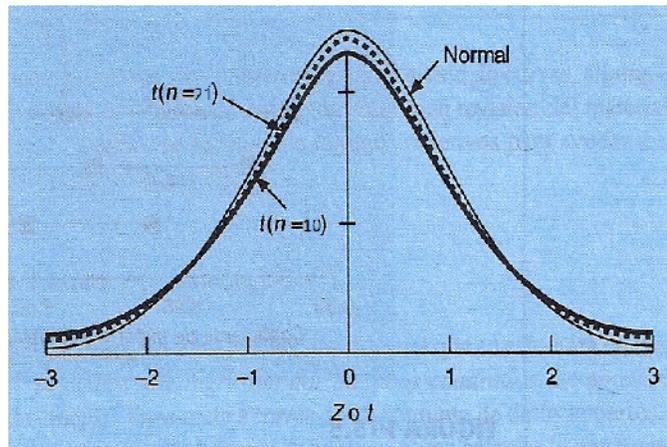
5.2.9 Distribución (t):

Donde:
$$L = \bar{Y} - \frac{s_y}{\sqrt{n}} t_{\alpha/2, n-1} \quad \text{y} \quad U = \bar{Y} + \frac{s_y}{\sqrt{n}} t_{\alpha/2, n-1}$$

Conocida como distribución estudiante, donde $(t_{\alpha/2, n-1})$ es la variable aleatoria estándar de la distribución t para una probabilidad de $\alpha/2$, como fue el caso $z_{\alpha/2}$. (los valores ya están tabulados en libros de estadística).

La distribución t puede pensarse como una modificación de la distribución normal que toma en cuenta el hecho de que se tiene una estimación imperfecta de la desviación estándar. Cuando n es pequeña, tiende a ser más plana que lo normal. Por lo tanto, para pequeños números de mediciones, se obtienen intervalos de confianza más amplios y, por tanto, mas conservativos. Conforme n se haga más grande, la distribución t converge sobre la normal. (Ver Figura 7 y 8).

Gráfica 8. Distribución t convergente



5.2.10 Estadística para una muestra. Para los datos de las siguientes tablas se calculo la media, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación.

Datos del ensayo a flexión de vigas. Tablas 17 y 18.

Tabla 17. Datos del ensayo a flexión de vigas

ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGAS							
No	yi	(yi - \bar{y})	(yi - \bar{y}) ²	Frecuencia	lim inferior	lim superior	Clases de frecuencias
1	33,45	-5,85	34,21	1	33,4498	36,2878	33,4498
2	34,61	-4,69	21,99	1			36,2877
3	36,88	-2,42	5,85	6	36,2878	39,1257	39,1257
4	37,05	-2,25	5,07	6			41,9636
5	37,12	-2,18	4,74	6			44,8016
6	37,22	-2,08	4,31	6			47,6396
7	37,25	-2,05	4,20	6			
8	37,48	-1,82	3,31	6			
9	39,16	-0,14	0,02	10	39,1257	41,9637	
10	39,17	-0,13	0,02	10			
11	39,30	0,00	0,00	10			
12	39,31	0,01	0,00	10			
13	40,67	1,38	1,89	10			
14	40,75	1,45	2,10	10			
15	41,35	2,05	4,21	10			
16	41,57	2,27	5,17	10			
17	41,60	2,30	5,28	10			
18	41,80	2,50	6,26	10			
19	42,26	2,96	8,76	3	41,9637	44,8016	
20	42,48	3,18	10,12	3			
21	44,80	5,50	30,28	3	44,8016	47,6396	
Σ	825,28		157,78				

Tabla 18. Datos del ensayo a compresión de cilindros

ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS							
No	xi	(x - \bar{x})	(x - \bar{x}) ²	Frecuencia	lim inferior	lim superior	Clases de frecuencia
1	332,74	-31,60	998,80	2	332,739	347,73	332,739
2	341,83	-22,52	507,00	2			347,73
3	350,82	-13,52	182,83	6	347,73	362,721	362,721
4	351,37	-12,98	168,42	6			377,712
5	352,26	-12,09	146,09	6			392,703
6	358,20	-6,14	37,69	6			407,694
7	359,34	-5,01	25,07	6			
8	362,50	-1,85	3,42	6			
9	362,79	-1,56	2,42	10	362,721	377,712	
10	363,88	-0,46	0,21	10			
11	365,68	1,33	1,77	10			
12	365,68	1,33	1,77	10			
13	366,69	2,35	5,52	10			
14	367,27	2,92	8,54	10			
15	370,44	6,10	37,16	10			
16	370,45	6,10	37,23	10			
17	375,30	10,95	120,00	10			
18	376,31	11,97	143,26	10			
19	381,83	17,48	305,60	2	377,712	392,703	
20	383,16	18,82	354,21	2			
21	392,70	28,36	804,29	1	392,703	407,694	
Σ	7651,22		3891,31				

5.2.11 Parámetros estadísticos:

Tabla 19. Parámetros estadísticos ensayo a flexión

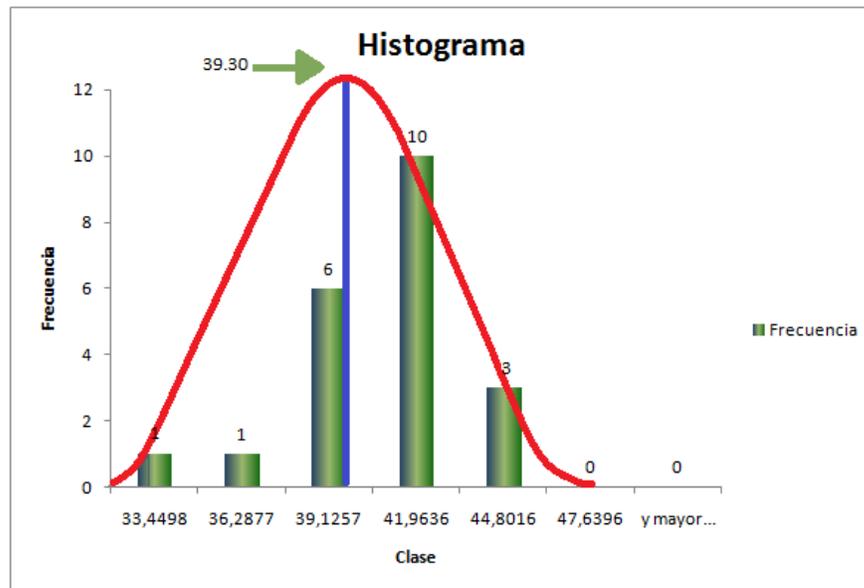
PARÁMETROS ESTADÍSTICOS PARA ENSAYO A FLEXIÓN DE VIGAS						
La media Aritmética (\bar{Y})	Desviación Estándar (S_y)	Suma de los cuadrados entre datos y media (St)	Varianza (S_y^2)	Coficiente de variación (Cv)	Rango de frecuencia (R)	Rangos de Confianza abarcará el 95% de las mediciones totales
$Y = (\sum y_i) / n$	$S_y = \sqrt{St / (n-1)}$	$St = \sum (y_i - \bar{Y})^2$	$(S_y)^2 = St / (n-1)$	$Cv = S_y / \bar{Y} * 100$	$R = (y_i, inicial - y_i, final) / 4$	$Y - 2S_y$ a $Y + 2S_y$
$Y = 825.28 / 21$	$S_y = \sqrt{157.78 / 21 - 1}$	$St = 157.78$	$(S_y)^2 = (157.78 / 21 - 1)$	$Cv = (2.81 / 39.30) * 100$	$R = (33.45 - 44.80) / 4$	$(39.30 - 2 * 2.81)$ a $(39.30 + 2 * 2.81)$
$\bar{Y} = 39.30$	$S_y = 2.81$	$St = 157.78$	$(S_y)^2 = 7.89$	$Cv = 7.15\%$	$R = 2.84$	33.68 a 44.92

Tabla 20. Parámetros estadísticos ensayo a compresión

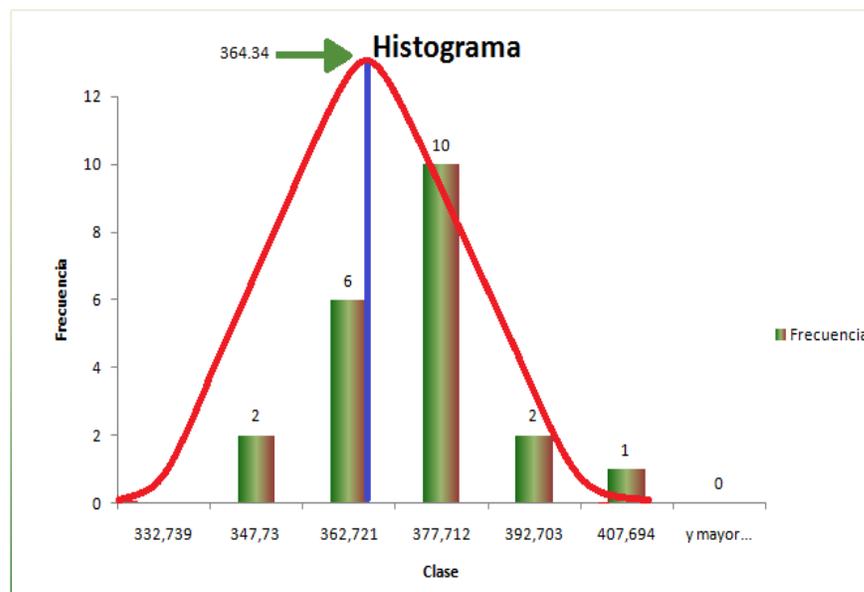
PARÁMETROS ESTADÍSTICOS PARA ENSAYO A COMPRESIÓN DE CILINDROS						
La media Aritmética (\bar{X})	Desviación Estándar (S_x)	Suma de los cuadrados entre datos y media (St)	Varianza (S_x^2)	Coficiente de variación (Cv)	Rango de frecuencia (R)	Rangos de Confianza abarcará el 95% de las mediciones totales
$X = (\sum x_i) / n$	$S_x = \sqrt{St / (n-1)}$	$St = \sum (x_i - \bar{X})^2$	$(S_x)^2 = St / (n-1)$	$Cv = S_x / \bar{X} * 100$	$R = (x_i, inicial - x_i, final) / 4$	$X - 2S_x$ a $X + 2S_x$
$\bar{X} = 7651.70 / 21$	$S_x = \sqrt{3891.31 / 21 - 1}$	$St = 157.78$	$(S_x)^2 = (3891.31 / 21 - 1)$	$Cv = (13.95 / 364.36) * 100$	$R = (332.74 - 392.70) / 4$	$(364.36 - 2 * 13.95)$ a $(364.36 + 2 * 13.95)$
$\bar{X} = 364.36$	$S_x = 13.95$	$St = 3891.31$	$(S_x)^2 = 194.56$	$Cv = 3.83\%$	$R = 14.99$	336.46 a 392.26

5.2.12 Distribución normal. Mediante una representación visual (histograma), miramos como los 21 datos obtenidos de medir la resistencia a flexión y a compresión se distribuyen alrededor de la media.

Gráfica 9. Distribución normal ensayo a flexión



Gráfica 10. Distribución normal ensayo a compresión



5.2.13 Estimación de los intervalos de confianza. Se determina la media y el intervalo de confianza correspondiente al 95% para nuestra muestra piloto. Como se presenta en la Tabla 21 y 22.

Tabla 21. Estimación del os intervalos de confianza

ESTIMACIÓN DE LOS INTERVALOS DE CONFIANZA AL 95% PARA LA POBLACIÓN					
Numero de muestras	La media Aritmética	Desviación estándar	Distribución t	Intervalo inferior	Intervalo Superior
N	$\bar{Y} = \frac{\sum y_i}{n}$	$S_y = \sqrt{\frac{\sum Y_i^2 - (\sum Y_i)^2/n}{n-1}}$	$t = (t_{\frac{\alpha}{2}, n-1})$	$L = \bar{Y} - \frac{S_y}{\sqrt{n}} t_{\alpha/2n-1}$	$U = \bar{Y} + \frac{S_y}{\sqrt{n}} t_{\alpha/2n-1}$
	$\bar{Y} = (825.28/21)$	$S_y = ((32590.5 - (825.3)^2/n)/(21-1))$	$t = (0.05/2, 21-1)$	$L = 39.30 - 2.81/21) \mathbf{2.080}$	$U = 39.30 + 2.81/21 * \mathbf{2.08}$
n = 21					
Flexión	$\bar{Y} = 39.30$	$S_y = 2.81$	$t = 2.080$	$L = 37.23$	$U = 41.36$
n = 21					
compresión	$X = 364.36$	$S_x = 13.95$	$t = 2.080$	$L = 358.02$	$U = 370.69$

Tabla 22. Distribución student “t”

VALORES CRÍTICOS DE LA DISTRIBUCIÓN t DE STUDENT								
Grados de Libertad	Áreas de la Parte Superior							
	0.40	0.30	0.25	0.10	0.05	0.025	0.010	0.005
1	0.325	0.727	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.656
2	0.289	0.617	0.816	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.277	0.584	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.271	0.569	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.267	0.559	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.265	0.553	0.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.263	0.549	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.262	0.546	0.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.261	0.543	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.260	0.542	0.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.260	0.540	0.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	0.259	0.539	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.259	0.538	0.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.258	0.537	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.258	0.536	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.258	0.535	0.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	0.257	0.534	0.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	0.257	0.534	0.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.257	0.533	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.257	0.533	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	0.257	0.532	0.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	0.256	0.532	0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819

5.3 SIGNIFICACIÓN ESTADÍSTICA

Una de las aplicaciones de la estadística es hacer inferencias a poblaciones, a partir de los datos de un grupo de individuos, siempre existe el riesgo de error o imprecisión ya sea por el azar o la variabilidad biológica del fenómeno a estudiar. La carencia de error aleatorio debido al azar se conoce como precisión. Cuanto más grande es el tamaño muestral, mayor es la precisión y la variabilidad explicada por el azar disminuye. Esta posibilidad de error o falta de precisión, siempre que no existan variables de confusión, se corrige aumentando el tamaño de la muestra. De cualquier manera el papel del azar debe ser siempre contemplado, evaluado y medido, realizando test de hipótesis o intervalos de confianza para conocer la precisión de nuestra estimación dentro de una seguridad previamente definida.

La estadística es una etiqueta que indicase la garantía de calidad, nos ayuda tomar la decisión de utilizar intervalos de confianza o términos comparativos de dos hipótesis. Los test de hipótesis son test de significación estadística que cuantifican hasta qué punto la variabilidad de la muestra puede ser responsable de los resultados de un estudio en particular. La H_0 (hipótesis nula) o () representa la afirmación de que no hay asociación entre las dos variables estudiadas y la H_a (hipótesis alternativa) o () afirma que hay algún grado de relación o asociación

entre las dos variables. Nuevamente la estadística nos muestra su utilidad ya que nos ayuda a tomar la decisión de que hipótesis debemos elegir. Dicha decisión puede ser afirmada con una seguridad que nosotros previamente decidimos.

El mecanismo de los diferentes test se realiza aunque con matices siempre de la siguiente forma: En primer lugar se mira la magnitud de la diferencia que hay entre los grupos a comparar (Y y X). Si esta magnitud o valor absoluto es mayor que un error estándar definido multiplicado por una seguridad definida, concluimos que la diferencia es significativa entre Y y X. Por tanto aceptamos la hipótesis alternativa y rechazamos la hipótesis nula.

Se tienen 2 tratamientos ensayo de vigas a flexión 21 de ellas y ensayo de cilindros a compresión 21 de ellos, nuestras muestras piloto 21. (Ver Tabla 23) 20 especímenes (ensayo a flexión) están dentro del rango de intervalos de confianza y 19 especímenes (ensayo a compresión) cumplen con el rango de intervalos de confianza

¿Existe diferencia significativa entre ambos tratamientos?

H₀ (hipótesis nula) o () = No hay diferencia significativa entre ambos tratamientos.
H_a (hipótesis alternativa) o () = Sí existe diferencia significativa

Si $|Y_1 - X_2|$ es mayor que el producto de 1.96 * el error estándar, concluimos que la diferencia es significativa.

Tabla 23. Porcentaje de respuesta

Tratamiento	N	Porcentaje de respuesta
Y(flexión)	21	P = 20/21 = 0.952
X(compresión)	21	P = 19/21 = 0.904

$$|Y_1 - X_2| = 0.048 \quad \text{Nivel de significación (p)} = \frac{Y_1 + X_2}{2} = 0.928$$

Error Estándar * Seguridad () = 0.0124

$$|Y_1 - X_2| = |0.952 - 0.904| = 0.048$$

$$p = \frac{Y_1 + X_2}{2} = \frac{0.952 + 0.904}{2} = 0.928 \quad \text{Donde } z () = 0.05 = 1.96$$

$$\text{Error estándar} = \sqrt{p(1-p)} \left[\frac{1}{n} + \frac{1}{n} \right]$$

$$\text{Error estándar} = \sqrt{0.928(1 - 0.928)\left[\frac{1}{21} + \frac{1}{21}\right]} = 0.00636$$

$$\text{Error estándar} * 1.96 = 0.00636 * 1.96 = \mathbf{0.0124}$$

Se concluye, la magnitud de la diferencia **0.048** es mucho mayor que el Error estándar multiplicado por la seguridad **0.0124**, aceptamos la H_a (hipótesis alternativa) y rechazamos la hipótesis nula, podemos decir que la diferencia entre 95.2% y 90.4% es estadísticamente significativa y hay relación entre estas dos variables ($p < 0.05$).

El proceso de aceptación o rechazo de la hipótesis lleva implícito un riesgo que se cuantifica con el valor de la "p", que es la probabilidad de aceptar la hipótesis alternativa como cierta, cuando la cierta podría ser la hipótesis nula.

El valor de "p" que indica que la asociación es estadísticamente significativa ha sido arbitrariamente seleccionado y por consenso se considera en 0.05. Una seguridad del 95% lleva implícito una $p <$ de 0.05 y una seguridad del 99% lleva implícita una $p <$ 0.01. Cuando rechazamos la H_0 (hipótesis nula) y aceptamos la H_a (hipótesis alternativa) como probablemente cierta afirmando que hay una asociación, o que hay diferencia, estamos diciendo en otras palabras que es muy poco probable que el azar fuese responsable de dicha asociación. Del mismo modo si la $p > 0.05$ decimos que el azar no puede ser excluido como explicación de dicho hallazgo y no rechazamos la H_0 (hipótesis nula) que afirma que ambas variables no están asociadas o correlacionadas.

Conviene por otra parte considerar que la significación estadística entre dos variables depende de dos componentes fundamentales. El primero es la magnitud de la diferencia, Cuanto más grande sea la diferencia entre las dos variables, más fácil es demostrar que la diferencia es significativa. Por el contrario si la diferencia entre ambas variables es pequeña, las posibilidades de detectar diferencias entre las mismas se dificultan. El segundo componente fundamental a tener en cuenta al testar diferencias entre dos variables es el tamaño muestral. Cuanto más grande sea dicho tamaño muestral más fácil es detectar diferencias entre las mismas. Pequeñas diferencias se pueden detectar con grandes tamaños muestrales y grandes diferencias entre variables necesitan muchos menos individuos a ser estudiados. Cualquier diferencia puede ser estadísticamente significativa si se dispone del suficiente número de muestras, así el error estándar se hace más pequeño cuando mas muestras tenga el estudio.

5.3.1 Error de tipo I (). Al realizar el test estadístico, podríamos correr el riesgo de equivocarnos al rechazar la hipótesis nula. La probabilidad de rechazar la

hipótesis nula cuando en realidad es verdadera (error de tipo I) se le denomina nivel de significación y es la "p". Esta probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera se le conoce también como error alfa. La "p" no es por tanto un indicador de fuerza de la asociación ni de su importancia.

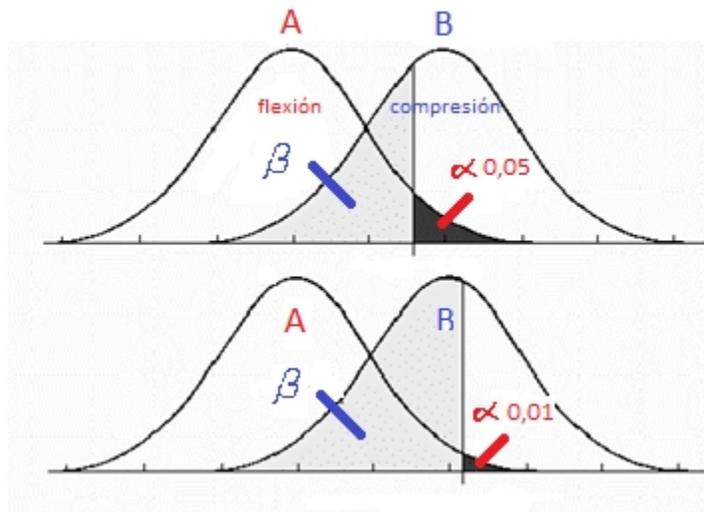
La significación estadística es por tanto una condición resultante del rechazo de una hipótesis nula mediante la aplicación de una prueba estadística de significación. El nivel de significación es el riesgo o la probabilidad que voluntariamente asume el investigador de equivocarse al rechazar la hipótesis nula, cuando en realidad es cierta. Este riesgo se establece normalmente en 0.05 ó 0.01.

El proceso de poner a prueba una hipótesis involucra una toma de decisiones para rechazar o no la hipótesis nula. Aunque los valores de la "p" son los de una variable continua, se utiliza para forzar una decisión cualitativa, tomando partido por una u otra hipótesis. Si $p < 0.05$ se considera significativo, en cuyo caso se rechaza la hipótesis nula y no significativo si $p > 0.05$ en cuyo caso no se rechaza. Una "p" pequeña significa que la probabilidad de que los resultados obtenidos se deban al azar es pequeña.

5.3.2 Error de tipo II (β). El riesgo alfa a ("p") indica la probabilidad de cometer un error de tipo I (falso positivo). El error de tipo I, es por lo tanto rechazar la H_0 cuando en realidad es verdadera. Se podría considerar que para evitar este tipo de error deberíamos de elegir un nivel de confianza más elevado, sin embargo al aumentar el nivel de confianza aumenta la probabilidad de cometer el error de tipo II. El error de tipo II consiste en aceptar la hipótesis nula cuando es falsa y esto se conoce como el error de tipo II o Beta (falso negativo). (Ver Figura 11).

Gráfica 11. Error tipo I y tipo II

ERROR DE TIPO I Y TIPO II		No existe diferencia (Ho Cierta)	Existe diferencia (Ho Falsa)
RESULTADO DE LA PRUEBA ESTADISTICA	Diferencia significativa Rechazo de Ho	Error tipo I (A)	No error
	Diferencia no significativa Aceptación de Ho	No error	Error tipo II (B)



En la ejecución de un estudio determinado no es posible saber si estamos cometiendo el error de tipo I o error de tipo II, sin embargo hay una serie de recomendaciones que podríamos seguir para disminuir dichos errores.

Recomendaciones para disminuir el error de tipo I:

- ✓ Buscar asociaciones entre variables.
- ✓ Disminuir el número de test estadísticos llevados a cabo en el estudio.
- ✓ Utilizar valores de alfa más reducidos (0.01 ó 0.001).
- ✓ Reproducir el estudio. Si al reproducir el estudio se obtienen resultados similares, estaremos más seguros de no estar cometiendo el error de tipo I.

Recomendaciones para disminuir el error de tipo II:

- ✓ Incrementar el tamaño de la muestra.
- ✓ Estimar el poder estadístico del estudio.
- ✓ Incrementar el valor de alfa.

5.4 EL COEFICIENTE DE CORRELACIÓN LINEAL DE PEARSON

La *correlación* es el método de análisis adecuado cuando se precisa conocer la posible relación entre dos variables de este tipo. Así, el grado de asociación entre dos variables numéricas puede cuantificarse mediante el cálculo de un *coeficiente de correlación*. Debe entenderse, no obstante, que el coeficiente de correlación no proporciona necesariamente una medida de la causalidad entre ambas variables sino tan sólo del grado de relación entre las mismas.

La medida más habitualmente utilizada para el estudio de la correlación es el *coeficiente de correlación lineal de Pearson*. El coeficiente de Pearson mide el grado de asociación lineal entre dos variables cualesquiera, y puede calcularse dividiendo la covarianza de ambas entre el producto de las desviaciones típicas de las dos variables.

Para un conjunto de datos, el valor r de este coeficiente puede tomar cualquier valor entre -1 y $+1$. El valor de r será positivo si existe una relación directa entre ambas variables, esto es, si las dos aumentan al mismo tiempo. Será negativo si la relación es inversa, es decir, cuando una variable disminuye a medida que la otra aumenta. Un valor de $+1$ ó -1 indicará una relación lineal perfecta entre ambas variables, mientras que un valor 0 indicará que no existe relación lineal entre ellas.

Hay que tener en consideración que un valor de cero no indica necesariamente que no exista correlación, ya que las variables pueden presentar una relación no lineal.

El valor del índice de correlación varía en el intervalo $[-1, +1]$:

Si $r = 1$, existe una correlación positiva perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables denominada *relación directa*: cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.

Si $0 < r < 1$, existe una correlación positiva.

Si $r = 0$, no existe relación lineal. Pero esto no necesariamente implica que las variables son independientes: pueden existir todavía relaciones no lineales entre las dos variables.

Si $-1 < r < 0$, existe una correlación negativa.

Si $r = -1$, existe una correlación negativa perfecta. El índice indica una dependencia total entre las dos variables llamada *relación inversa*: cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante.

Para nuestro conjunto de datos, y una vez calculado el coeficiente de correlación entre las variables X (compresión) e Y (flexión), ya realizado el test de hipótesis, basado en la distribución t de Student la que hemos hablado anterior mente, valoramos la significación del coeficiente de correlación y confirmar si existe o no una asociación estadísticamente significativa entre ambas características. Estudiar la significación estadística del coeficiente de correlación es, en definitiva, determinar si r es estadísticamente diferente de cero. Así mismo, complementamos con los intervalos de confianza para el coeficiente de correlación en la población. Sin embargo, mientras que el valor del coeficiente de correlación de Pearson puede ser calculado para cualquier conjunto de datos, la validez del test de hipótesis sobre la correlación entre las variables requiere que al menos una de ellas tenga una distribución normal en la población de la cual procede la muestra. Para el cálculo del intervalo de confianza, se requiere además que ambas variables presenten una distribución normal. Aún bajo esta suposición, la distribución del coeficiente de correlación no será normal, pero puede transformarse para conseguir un valor de z que siga una distribución normal y calcular a partir de él su correspondiente intervalo de confianza.

5.4.1 Cálculo del tamaño muestral para calcular la significación del coeficiente de correlación lineal de Pearson. Se supone que se quiere llevar a cabo un estudio con el fin de determinar si existe o no una relación significativa entre dos variables numéricas X e Y . Para llevar a cabo la investigación, se recoge una muestra de individuos en donde de cada uno de ellos se determina el valor que toma cada una de las dos variables. A continuación se muestra cómo calcular el tamaño de muestra necesario para contrastar la hipótesis de que el correspondiente coeficiente de correlación sea significativamente diferente de 0.

Como se dijo anteriormente, la distribución muestral del coeficiente de Pearson no es normal, pero bajo la suposición de que las dos variables de estudio presentan una distribución gaussiana, el coeficiente de Pearson puede transformarse para conseguir un valor de z que sigue una distribución normal. Se suele considerar la transformación de Fisher:

$$z = \frac{1}{2} \text{Ln} \left(\frac{1+r}{1-r} \right)$$

Siendo el error estándar de z aproximadamente igual a

$$z = \frac{1}{\sqrt{n-3}}$$

Utilizando esta aproximación, se obtiene fácilmente una fórmula para el cálculo del número de sujetos necesarios en esta situación. Para su cómputo, se precisará conocer:

- La magnitud de la correlación que se desea detectar (r). Esto es, se precisa tener una idea, a partir de publicaciones o estudios previos, del valor aproximado del coeficiente de correlación existente entre las dos variables a estudio.
- La seguridad con la que se desea trabajar, $1-\alpha$, o riesgo de cometer un error de tipo I. Generalmente se trabaja con una seguridad del 95% ($\alpha = 0,05$).
- El poder estadístico, $1-\beta$, que se quiere para el estudio, o riesgo de cometer un error de tipo II. Es habitual tomar $\beta = 0,2$ o, equivalentemente, un poder estadístico del 80%.

Se debe precisar además si el contraste de hipótesis se va a realizar con un planteamiento unilateral (el r calculado es mayor o menor de cero) o bilateral (el r calculado es diferente de cero). Si se dispone de los datos anteriores, el cálculo del tamaño muestral con un planteamiento bilateral puede realizarse mediante la expresión:

$$n = \left(\frac{z_{1-\frac{\alpha}{2}} + z_{1-\beta}}{\frac{1}{2} \text{Ln} \left(\frac{1+r}{1-r} \right)} \right)^2 + 3$$

Donde los valores $z_{1-\frac{\alpha}{2}}$ y $z_{1-\beta}$ se obtienen de la distribución normal estándar en función de la seguridad y el poder estadístico para el estudio. En particular, para una seguridad del 95% y un poder estadístico del 80% se tiene que $z_{1-\frac{\alpha}{2}} = 1,96$ y $z_{1-\beta} = 0,84$. En las siguientes tablas I y II se muestran los valores de estos parámetros utilizados con mayor frecuencia en el cálculo del tamaño muestral, en función de la seguridad y el poder estadístico. (Ver Tabla 24 y 25).

Para un planteamiento unilateral, el razonamiento es análogo, llegando a la siguiente fórmula para el cálculo del tamaño muestral:

$$\text{Cálculo del tamaño muestral } (n) = \left(\frac{z_{1-\alpha} + z_{1-\beta}}{\frac{1}{2} \text{Ln} \left(\frac{1+r}{1-r} \right)} \right)^2 + 3$$

Donde ahora el valor $z_{1-\alpha}$ se obtiene igualmente de la distribución normal estándar, siendo para una seguridad del 95% igual a $z_{1-\alpha} = 1,645$. La Tabla I muestra los valores más frecuentemente utilizados en función de la seguridad elegida cuando se trabaja con un planteamiento unilateral.

Como resulta habitual, las fórmulas anteriores pueden modificarse con el fin de ajustar el tamaño muestral previsto para el estudio a posibles pérdidas de información que se produzcan durante el desarrollo del mismo. Así, asumiendo un porcentaje de pérdidas L , el tamaño de la muestra a estudiar vendrá dado por:

$$n' = \frac{n}{1 - L}$$

Donde n denota el valor del tamaño muestral calculado por cualquiera de las dos fórmulas anteriores según el caso.

No debe olvidarse que el precisar convenientemente el tamaño de muestra necesario para la ejecución de un estudio, permite al investigador conocer el número mínimo de muestras a estudiar para detectar como significativos efectos de una magnitud determinada. El no hacerlo podría llevar a realizar el estudio con un número insuficiente de muestras y a cometer un error de tipo II, es decir, a no detectar una correlación significativa entre las dos variables cuando realmente la hay. (Ver Tabla 26)

Tabla 24. Seguridad estadística

TABLA I VALORES DE $(Z_{1-\alpha})$ Y $(Z_{1-\alpha/2})$ UTILIZADOS CON MAYOR FRECUENCIA EN EL CÁLCULO DEL TAMAÑO MUESTRAL EN FUNCIÓN DE LA SEGURIDAD $1-\alpha$ ELEGIDA PARA EL ESTUDIO			
Seguridad	α	Prueba bilateral $Z_{1-\alpha/2}$	Prueba unilateral $Z_{1-\alpha}$
80%	0.200	1.282	0.842
85%	0.150	1.440	1.036
90%	0.100	1.645	1.282
95%	0.050	1.960	1.645
97.5%	0.025	2.240	1.960
99%	0.010	2.576	2.326

Tabla 25. Poder estadístico

TABLA II VALORES DE $(Z_{1-\beta})$ UTILIZADOS CON MAYOR FRECUENCIA EN EL CÁLCULO DEL TAMAÑO MUESTRAL EN FUNCIÓN DE EL PODER ESTADÍSTICO $1-\beta$ ELEGIDOS PARA EL ESTUDIO		
Poder Estadístico	β	$Z_{1-\beta}$
99%	0.01	2.326
95%	0.05	1.645
90%	0.1	1.282
85%	0.15	1.036
80%	0.2	0.842
75%	0.25	0.674
70%	0.3	0.524
65%	0.35	0.385
60%	0.4	0.253
55%	0.45	0.126
50%	0.5	0.000

Tabla 26. Tamaño muestral

Desviación datos compresión	Desviación datos flexión	de la multiplicación flexión y compresión	Covarianza	Magnitud de la correlación	Calculo del tamaño muestral
$s_x = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n-1}}$	$S_y = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n-1}}$	$S_{xy} = \sum(y - \bar{y})(x - \bar{x})$	$S_{xy} = \frac{\sum(y - \bar{y})(x - \bar{x})}{n-1}$	$r = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$	$n = \left(\frac{z_{1-\alpha/2} + z_{1-\beta}}{\frac{1}{2} \ln \left(\frac{1+r}{1-r} \right)} \right)^2 + 3$
Sx= 13,95	Sy= 2,81	Sxy= 761,97	Sxy= 38,09	r= 0,97	n= 4,79~5

6. CONTROL Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el análisis de resultados se tienen en cuenta las tablas y graficas que se presentan a continuación obtenidas durante el desarrollo de la investigación.

Estas presentan datos marcados en color rojo, esto significa que los datos no se toman en cuenta para el promedio de resistencia tanto para las viguetas como para los cilindros; estos se descartan teniendo en cuenta los siguientes criterios.

Para los cilindros se procede por medio de el capitulo C5 numeral C.5.6.2.3 literal (b) de la NSR 98, donde expresa: “ningún resultado individual de los ensayos de resistencia (un ensayo es el promedio de la resistencia de dos o más cilindros) tenga una resistencia inferior en 3.5MPa, o más, a $f'c$ ”. pero para la investigación no se diseña para una resistencia determinada, por la razón que relación agua cemento (A/C) es variable, el criterio exacto que se utiliza es, que ninguna de las resistencias de cada cilindro obtenidas para las diferentes relaciones agua/cemento posea una diferencia mayor de 3.5MPa con respecto a las demás.

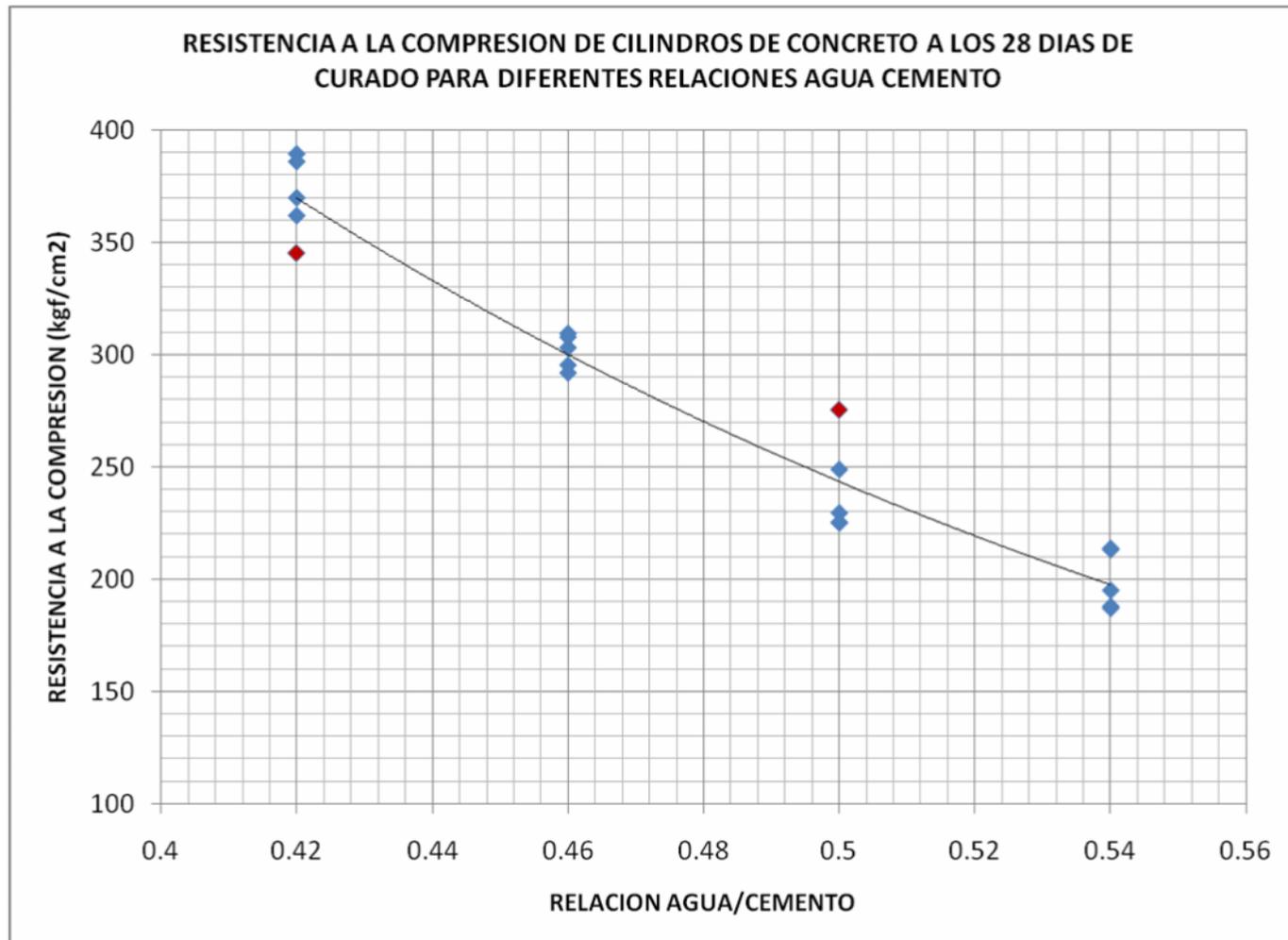
Para las vigas se tiene en cuenta el documento de la **NATIONAL READY MIXED CONCRETE ASSOCIATION (NRMCA). 1998** disponible en la página Web www.nrmca.org. En este articulo se dice que la desviación típica para módulos de rotura de hasta 5.5MPa está entre 0.3- 0.6MPa y valores para la desviación por encima de 0.7MPa pueden indicar problemas en los ensayos. Entonces el criterio es que ninguno de los módulos de rotura de las vigas tuviera una diferencia mayor a 0.7MPa con respecto a las demás, fabricados para una misma relación agua/cemento.

6.1 RESULTADOS DE RESISTENCIA A COMPRESION DE CLINDROS DE CONCRETO A LOS 28 DIAS DE CURADO

Tabla 27. Resultados de cilindros a la compresión

R A/C	No.	Diámetro (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Peso (gr)	Fuerza (Kg)	Volumen cm ³	Densidad gr/cm ³	f'c (Kg/cm ²)	f'c (PSI)	f'c (Mpa)
0.42	1	15.3	30.5	183.85	12312	71600	5607.54	2.20	389.44	5563.43	38.94
	2	15.4	30.4	186.27	12448	71900	5662.46	2.20	386.01	5514.42	38.60
	3	15.5	30.7	188.69	12568	68300	5792.84	2.17	361.97	5170.94	36.20
	4	14.9	30.2	174.37	11480	60200	5265.86	2.18	345.25	4932.15	34.53
	5	15.5	30.8	188.69	12378	69800	5811.71	2.13	369.92	5284.50	36.99
0.46	6	15.5	30.6	188.69	12640	57200	5773.97	2.19	303.14	4330.57	30.31
	7	15.3	30.3	183.85	12374	56600	5570.77	2.22	307.85	4397.90	30.79
	8	15.3	30.5	183.85	12336	56900	5607.54	2.20	309.48	4421.21	30.95
	9	15.2	30.5	181.46	12406	53600	5534.48	2.24	295.38	4219.78	29.54
	10	14.9	30.2	174.37	11562	50900	5265.86	2.20	291.91	4170.20	29.19
0.5	11	15.3	30.5	183.85	12424	42200	5607.54	2.22	229.53	3279.00	22.95
	12	15.5	30.6	188.69	12660	42500	5773.97	2.19	225.23	3217.64	22.52
	13	15.5	30.5	188.69	12472	42500	5755.10	2.17	225.23	3217.64	22.52
	14	14.9	30.2	174.37	11638	43400	5265.86	2.21	248.90	3555.73	24.89
	15	15.3	30.6	183.85	12388	50600	5625.93	2.20	275.22	3931.69	27.52
0.54	16	15.4	30.5	186.27	12400	39800	5681.08	2.18	213.67	3052.49	21.37
	17	15.3	30.5	183.85	12392	39200	5607.54	2.21	213.21	3045.90	21.32
	18	15.4	30.5	186.27	12260	35000	5681.08	2.16	187.90	2684.35	18.79
	19	15.5	30.5	188.69	12336	35300	5755.10	2.14	187.08	2672.53	18.71
	20	15.5	30.5	188.69	12666	36800	5755.10	2.20	195.03	2786.10	19.50

Gráfica 12. Resistencia a la compresión de cilindros de concreto a los 28 días de curado para diferentes relaciones agua cemento

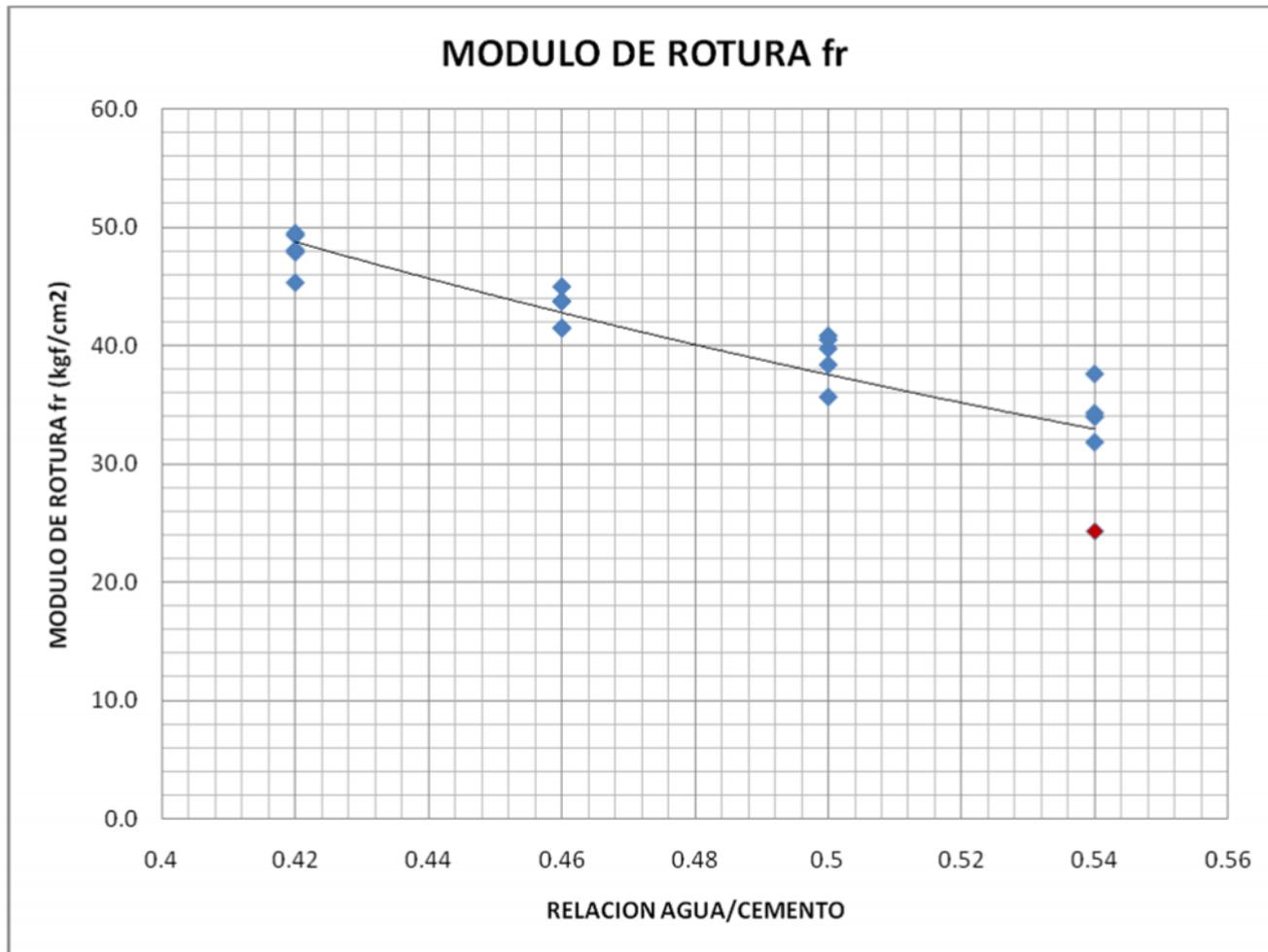


6.2 RESULTADOS DE RESISTENCIA A FLEXIÓN DE VIGAS DE CONCRETO A LOS 28 DIAS DE CURADO

Tabla 28. Datos de módulo de rotura

No.	R A/C	b (cm)	d (cm)	L (cm)	Lv (cm)	Área (cm ²)	volumen (cm ³)	Peso (kg)	Densidad (kg/cm ³)	Fuerza (kgf)	fr (kgf/cm ²)	fr (PSI)	fr (Mpa)
1	0.42	15.24	15.24	53.34	45	812.90	12388.62	27.24	0.002	3765	47.87	683.79	4.79
2		15.24	15.24	53.34	45	812.90	12388.62	27.03	0.002	3779	48.04	686.34	4.8
3		15.24	15.24	53.34	45	812.90	12388.62	27.33	0.002	3877	49.29	704.13	4.93
4		15.24	15.24	53.34	45	812.90	12388.62	27.19	0.002	3563	45.30	647.11	4.53
5		15.24	15.24	53.34	45	812.90	12388.62	27.00	0.002	3891	49.47	706.68	4.95
6	0.46	15.24	15.24	53.34	45	812.90	12388.62	26.11	0.002	3262	41.47	592.44	4.15
7		15.24	15.24	53.34	45	812.90	12388.62	26.84	0.002	3262	41.47	592.44	4.15
8		15.24	15.24	53.34	45	812.90	12388.62	25.77	0.002	3437	43.70	624.22	4.37
9		15.24	15.24	53.34	45	812.90	12388.62	25.77	0.002	3536	44.95	642.20	4.5
10		15.24	15.24	53.34	45	812.90	12388.62	28.06	0.002	3441	43.75	624.95	4.37
11	0.5	15.24	15.24	53.34	45	812.90	12388.62	26.42	0.002	3125	39.73	567.56	3.97
12		15.24	15.24	53.34	45	812.90	12388.62	26.68	0.002	2804	35.65	509.26	3.56
13		15.24	15.24	53.34	45	812.90	12388.62	26.40	0.002	3211	40.82	583.18	4.08
14		15.24	15.24	53.34	45	812.90	12388.62	25.76	0.002	3018	38.37	548.12	3.84
15		15.24	15.24	53.34	45	812.90	12388.62	25.77	0.002	3185	40.49	578.45	4.05
16	0.54	15.24	15.24	53.34	45	812.90	12388.62	26.42	0.002	2672	33.97	485.28	3.4
17		15.24	15.24	53.34	45	812.90	12388.62	26.54	0.002	2504	31.83	454.77	3.18
18		15.24	15.24	53.34	45	812.90	12388.62	25.77	0.002	1915	24.35	347.80	2.43
19		15.24	15.24	53.34	45	812.90	12388.62	28.06	0.002	2696	34.28	489.64	3.43
20		15.24	15.24	53.34	45	812.90	12388.62	25.76	0.002	2957	37.59	537.05	3.76

Gráfica 13. Módulo de rotura

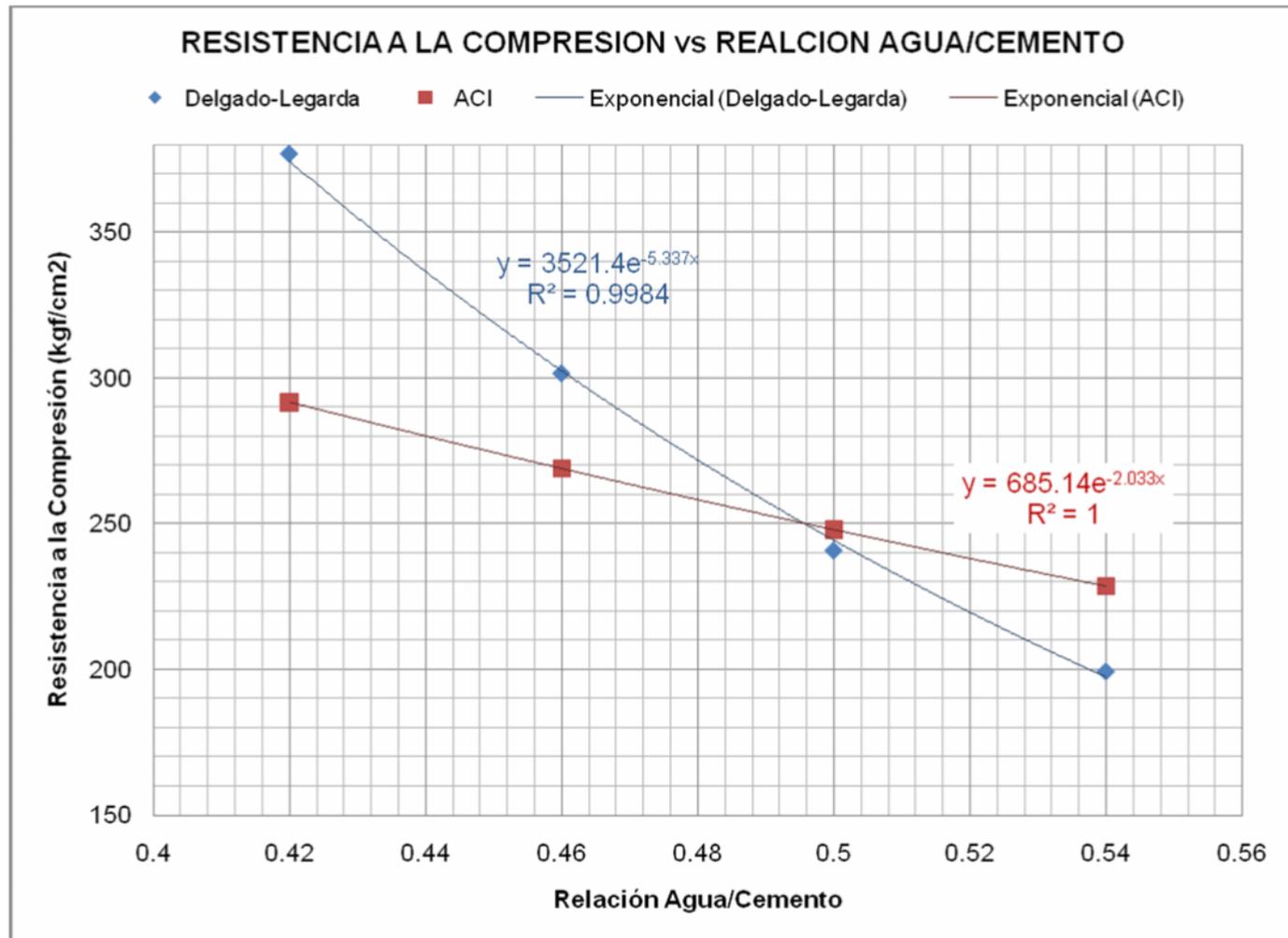


6.3 CORRELACION RESITENCIA A LA COPMRESION VS RELACION AGUA/CEMENTO A LOS 28 DIAS DE CURADO

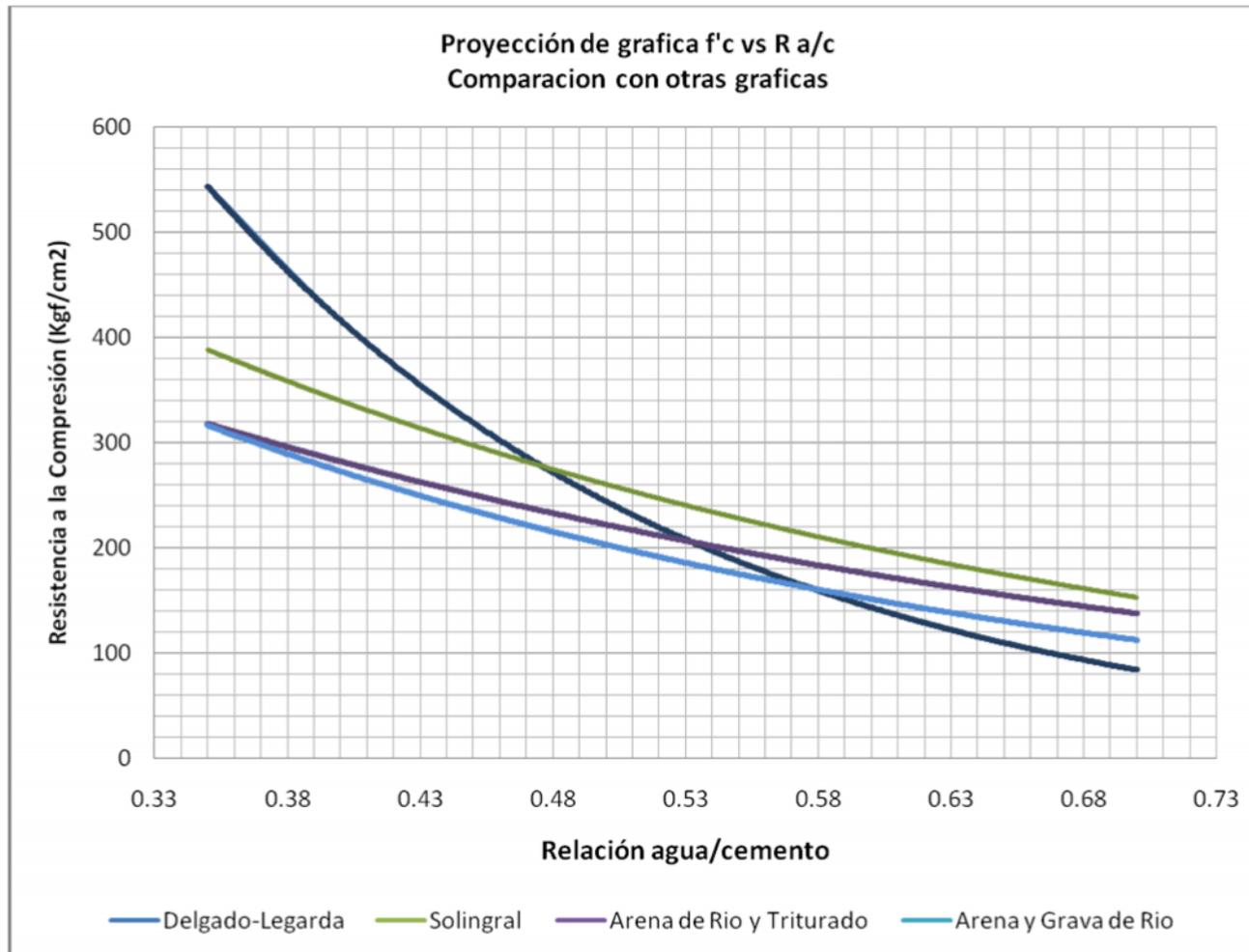
Tabla 29. Correlación resistencia a la compresión vs relación agua/cemento a los 28 días de curado

<i>R A/C</i>	<i>No.</i>	<i>f'c (Kg/cm2)</i>	<i>promedio f'c</i>
0.42	1	389.44	376.83
	2	386.01	
	3	361.97	
	4	345.25	
	5	369.92	
0.46	6	303.14	301.56
	7	307.85	
	8	309.48	
	9	295.38	
	10	291.91	
0.5	11	229.53	240.82
	12	225.23	
	13	225.23	
	14	248.90	
	15	275.22	
0.54	16	213.67	199.38
	17	213.21	
	18	187.90	
	19	187.08	
	20	195.03	

Gráfica 14. Resistencia a la compresión vs relación agua/cemento



Gráfica 15. Proyección de la gráfica f'c vs A/C comparación con otras gráficas



6.3.1 Análisis de la tendencia resistencia a la compresión a los 28 días respecto a la relación agua cemento (Ver gráfica 15). Para hacer esta correlación se descartan los datos que se consideran atípicos ya sea porque sus valores son muy bajos o muy altos con respecto a los valores anteriores y posteriores a ellos, lo que indica que probablemente en ese punto se presentan problemas en el proceso de fabricación o ensayo de las probetas. Los valores descartados fueron los correspondientes a las siguientes relaciones A/C: 0.42, 0.46.

En general la gráfica presenta una tendencia de tipo exponencial en donde la resistencia a la compresión a los 28 días desciende a medida que aumenta la relación agua cemento lo cual es coherente ya que ha disminuido la cantidad de cemento.

Por otra parte se observa que los datos que no son descartados no presentan dispersiones altas, además se presenta un punto de intercepto entre la grafica Delgado/Legarda y el la grafica del ACI en la relación agua cemento de 0.488, determinando que el comportamiento de los materiales utilizados con relaciones agua cemento menores a 0.488 poseen resistencias más altas, siendo la grafica del ACI más conservadora, por el caso contrario, con relaciones agua cemento superiores a 0.5 la grafica Delgado/Legarda resulta ser más conservadora que el ACI.

$$f'c = \frac{3521.4}{205.82^{A/c}} \left(\frac{kg}{cm^2} \right) \dots\dots \text{Delgado/Legarda}$$

$$f'c = \frac{685.14}{7.64^{A/c}} \left(\frac{kg}{cm^2} \right) \dots\dots \text{ACI}$$

El coeficiente de regresión es 0.9984 lo cual es bueno, ya que significa que la variación de los puntos es baja y que los resultados de la investigación son confiables.

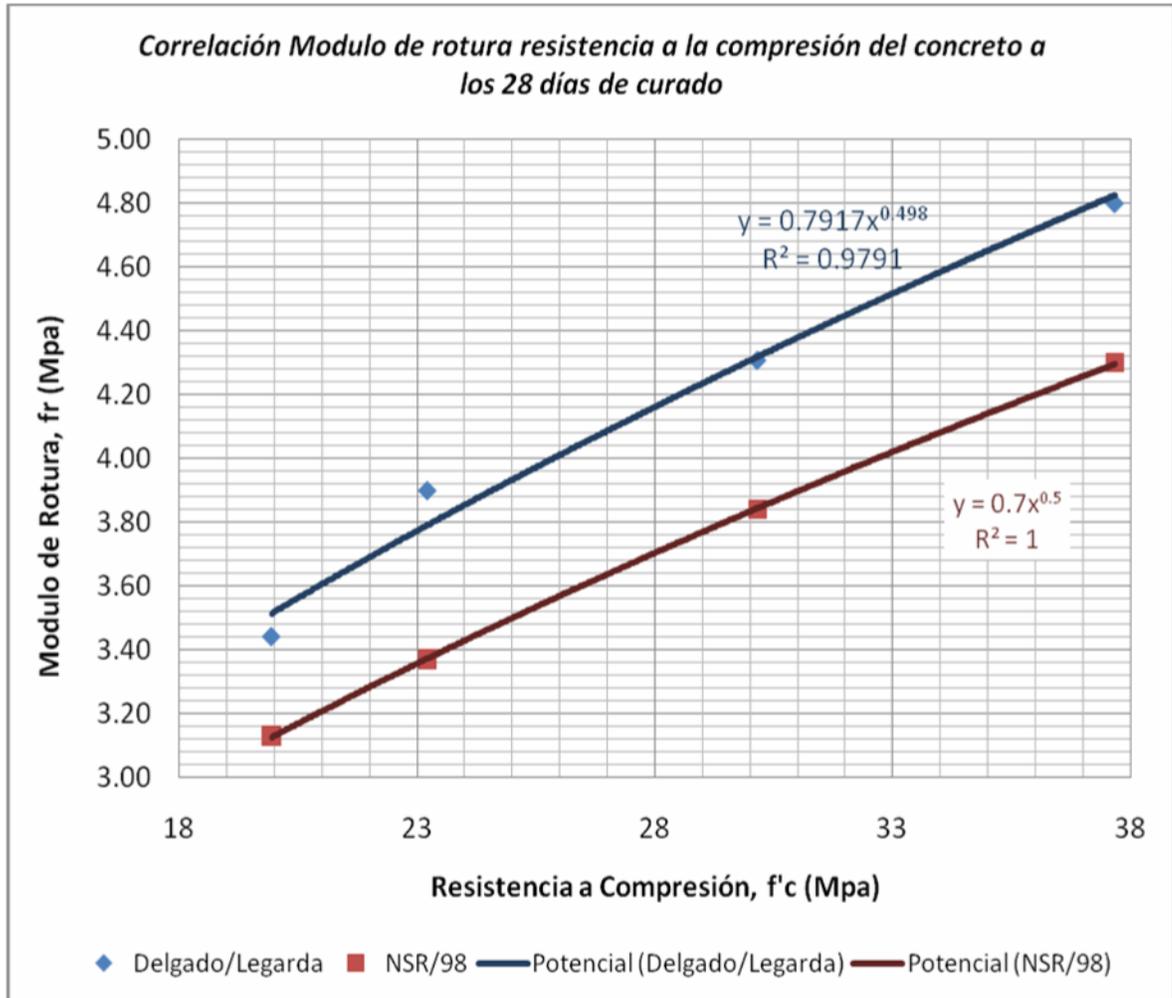
Al realizar la proyección de las graficas Delgado/Legarda y el ACI, en la grafica se puede estimar de mejor manera el comportamiento de la variación de la resistencia a la compresión en función de la relación agua cemento.

6.4 CORRELACIÓN MÓDULO DE ROTURA Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

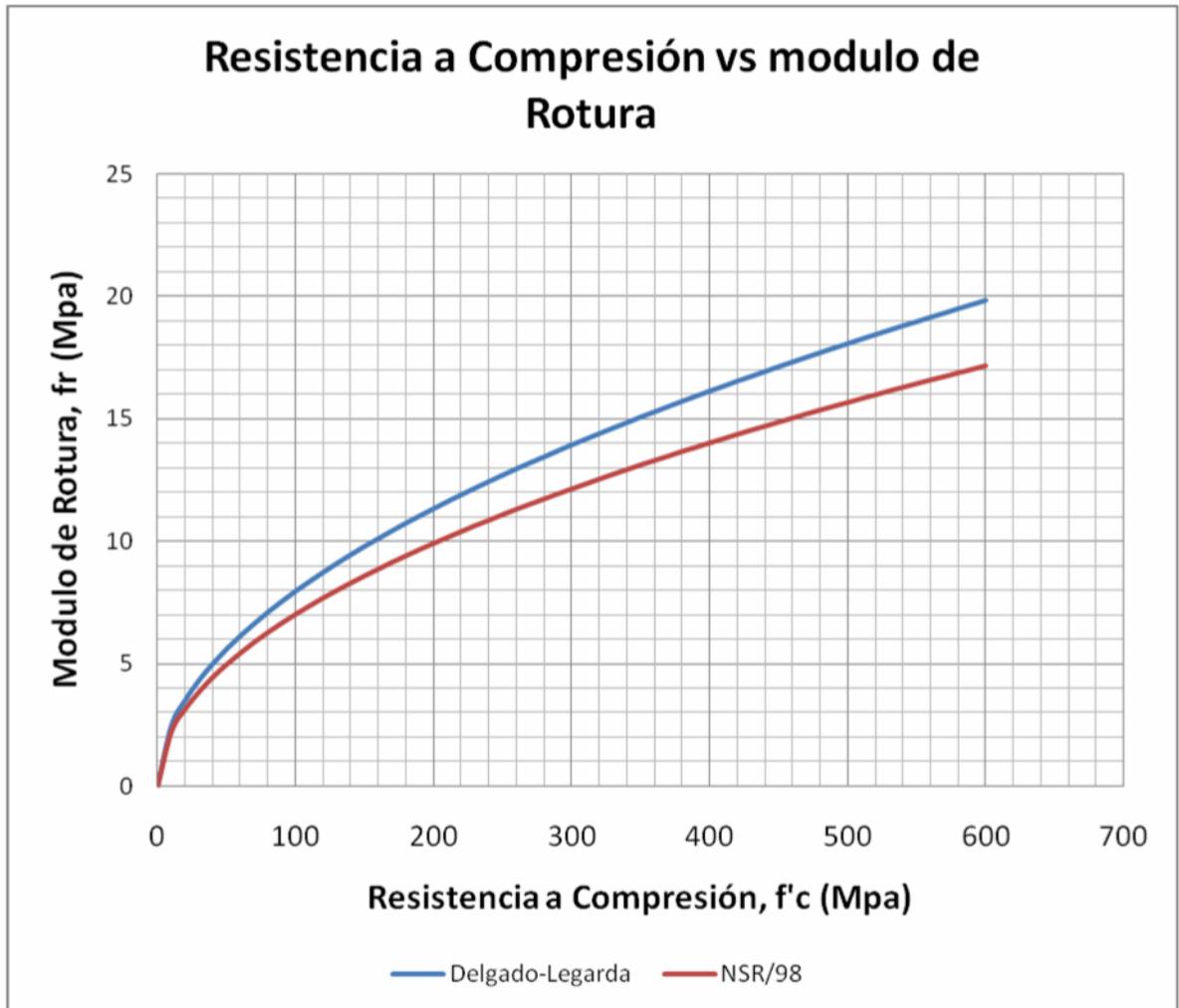
Tabla 30. Datos Promedio para correlación

No.	R A/C	f'c (Mpa)	Promedio f'c	fr (Mpa)	Promedio fr	fr = 0,7* $\sqrt{f'c}$
1	0.42	38.94	37.68	4.79	4.80	4.3
2		38.60		4.8		
3		36.20		4.93		
4		34.53		4.53		
5		36.99		4.95		
6	0.46	30.31	30.16	4.15	4.31	3.84
7		30.79		4.15		
8		30.95		4.37		
9		29.54		4.5		
10		29.19		4.37		
11	0.5	22.95	23.22	3.97	3.90	3.37
12		22.52		3.56		
13		22.52		4.08		
14		24.89		3.84		
15		27.52		4.05		
16	0.54	21.37	19.94	3.4	3.44	3.13
17		21.32		3.18		
18		18.79		2.43		
19		18.71		3.43		
20		19.50		3.76		
R A/C :	Relacion Agua Cemento					
f'c :	Resistencia a la compresión					
fr :	Módulo de Rotura					

Gráfica 16. Correlación Módulo de rotura vs resistencia a la compresión del concreto a los 28 días de curado



Gráfica 17. Proyección de la gráfica correlación Módulo de rotura vs resistencia a la compresión del concreto a los 28 días de curado



6.5 ANÁLISIS DE LA TENDENCIA MÓDULO DE ROTURA A LOS 28 DÍAS RESPECTO A LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS

En esta gráfica se hace una comparación de las ecuaciones: de la Norma Sismo Resistente del 98, (NSR 98) con la ecuación obtenida en la presente investigación. En estas curvas notamos que todas son exponenciales de la forma $fr = k * f'c^x$, pero k y x cambian en todas las ecuaciones sin embargo todas las curvas presentan la misma tendencia.

La tendencia de grafica de la norma NSR 98 es la misma a la obtenida en esta investigación, pero la grafica Delgado/Legarda se encuentra por encima de esta, lo que permite estimar que la ecuación de la norma NRS 98 es conservadora, con respecto a la utilización de los materiales utilizados durante esta investigación.

En la realización de la curva de esta investigación se descarta 3 datos, los cuales se consideran atípicos y no se utilizan para realizar el promedio de de datos para las diferentes resistencias, del anterior estudio se obtiene la siguiente expresión.

$$f_r = 0.7917(f'c)^{0.498}$$

Ya que la tendencia de estás curvas son las mismas a pesar de que la curva de esta investigación presenta una correlación muy alta 0.979, se puede decir que se encuentras en buen camino y que la curva se puede ajustar a medida que se aumente la nube de puntos, la calidad de las probetas y se mejore el proceso de curado de las mismas. El módulo de rotura obtenido por medio de el ensayo de vigas usando los materiales indicados y las relaciones agua cemento especificadas, difieren de los establecidos por la ecuación de módulo de rotura de la NSR 98, en un porcentaje de 11% que se estima de la siguiente manera.

$$\% \text{ conservación} = \frac{f_r \text{ (NSR 98)} - f_r \text{ (D/L)}}{f_r \text{ (D/L)}} \times 100$$

Tabla 31. Porcentaje de conservación

Relación A/C	f'c promedio (Mpa)	fr, D/L (Mpa)	fr, NSR 98 (Mpa)	Diferencia	%	% promedio
0.42	37,68	4,82	4,30	-0,53	-10,94	-11,00
0.46	30,16	4,32	3,84	-0,47	-10,98	
0.50	23,22	3,79	3,37	-0,42	-11,02	
0.54	19,94	3,51	3,13	-0,39	-11,05	

6.5.1 Correlación fr vs f'c comparación con el ACI

Tabla 32. Correlación f'c vs fr comparación con el ACI

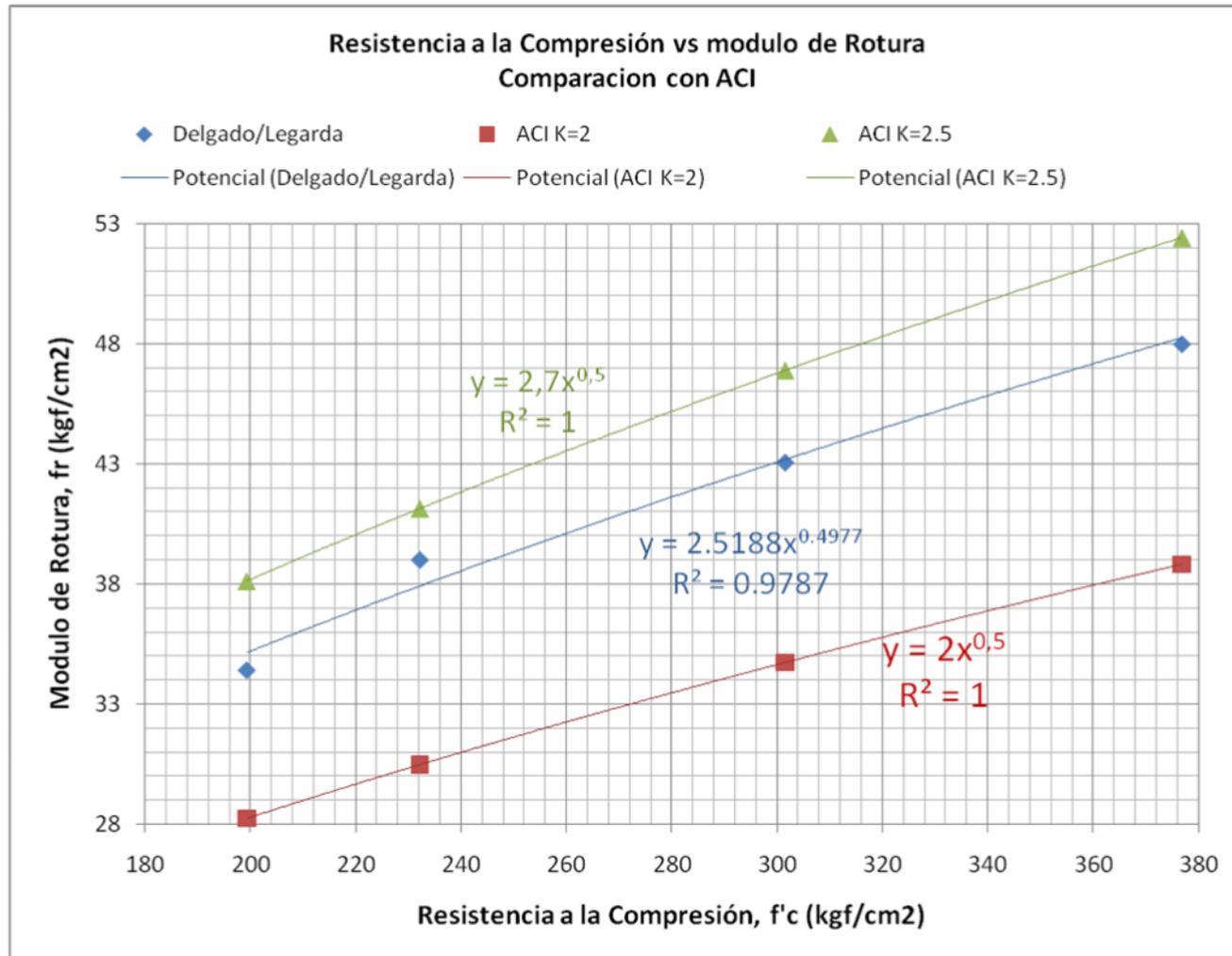
No.	R A/C	f'c (kgf/cm2)	fr (kgf/cm2)	f'c promedio	fr promedio	$fr=2*(f'c)^{0,5}$	$fr=2,7*(f'c)^{0,5}$
1	0.42	389.44	47.87	376.84	47.99	38.82	52.41
2		386.01	48.04				
3		361.97	49.29				
4		345.25	45.3				
5		369.92	49.47				
6	0.46	303.14	41.47	301.55	43.07	34.73	46.89
7		307.85	41.47				
8		309.48	43.7				
9		295.38	44.95				
10		291.91	43.75				
11	0.5	229.53	39.73	232.22	39.01	30.48	41.14
12		225.23	35.65				
13		225.23	40.82				
14		248.90	38.37				
15		275.22	40.49				
16	0.54	213.67	33.97	199.38	34.42	28.24	38.12
17		213.21	31.83				
18		187.90	24.35				
19		187.08	34.28				
20		195.03	37.59				

R A/C
: Relación Agua/Cemento

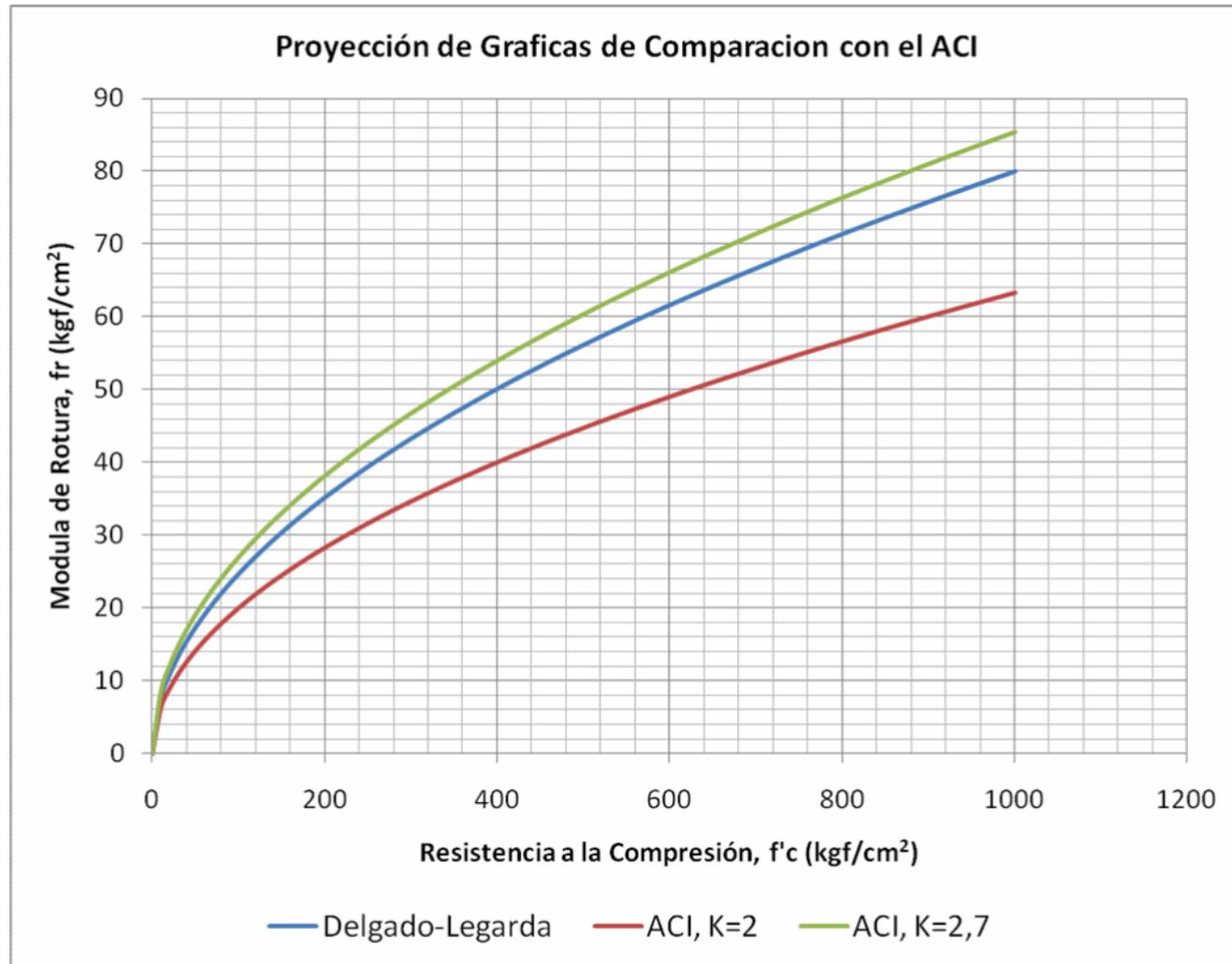
f'c : Resistencia a la compresión

fr : Módulo de Rotura

Gráfica 18. Resistencia a la compresión vs módulo de rotura comparación con ACI



Gráfica 19. Proyección de graficas de comparación con el ACI



6.5.2 Análisis de la tendencia módulo de rotura a los 28 días respecto a la resistencia a la compresión a los 28 días comparación con el ACI. Se realiza la comparación con la ecuación del ACI (AMERICAN CONCRETE INSTITUT) donde, $f_r = k * \sqrt{f'c}$, pero k oscila entre 2.0 y 2.7, en kgf/cm².

La curva obtenida en esta investigación se encuentra del rango que estima el ACI, presentando una ecuación del mismo orden y una curva de la misma tendencia, pero la curva Delgado/Legarda se aproxima al límite superior de la curva del ACI, con el coeficiente k=0.7.

La ecuación que se obtiene del resultado de esta investigación es de la forma:

$$f_r = 2.5188(f'c)^{0.4977}$$

Se puede observar en la proyección, el comportamiento de las graficas, en el cual se estima mejor el rango de comportamiento de los parámetros físico mecánicos, estudiados en el concreto, y de los materiales que lo conforman.

7. CONCLUSIONES

Como auxiliar para el desarrollo de esta investigación se optó por implementar la estadística como base matemática para la recolección, análisis e interpretación de datos, para ayudar en la resolución de la toma de decisiones o explicar condiciones regulares o irregulares del estudio realizado.

Estimando las propiedades de una población basada en una muestra limitada tomada de esa población, se realizan un número de mediciones en forma aleatoria, con base en la muestra piloto se caracteriza las propiedades de toda la población, así se garantiza confiabilidad y seguridad al aplicar métodos de diseño a esta muestra para toda la población.

Se sabe bien que la resistencia de un concreto hidráulico se ve afectada de manera directa por una serie de factores, como la relación agua cemento, peso unitario, tamaño y forma del agregado, rugosidad, tipo y duración de curado. En la investigación al tenerse en cuenta estos factores anteriores se determina de forma adecuada el comportamiento físico-mecánico de los materiales dentro de los parámetros de módulo de rotura y resistencia a compresión del concreto.

Las correlaciones obtenidas para Módulo de rotura Vs Resistencia a la compresión para los 28 días de curado, presenta tendencia similar a las NSR98 por lo cual se deben continuar las investigaciones para obtener una curva con un alto grado de confiabilidad.

La correlación Módulo de rotura Vs Resistencia a la compresión es de gran utilidad para no sobreestimar o subestimar la capacidad de los materiales, de dicha región, ya que esto se puede reflejar en reducción o aumento de costos o un control más meticuloso en la aceptación y rechazo de mezclas de concreto.

Cuando observamos la correlación de f'_c a los 28 días Vs Relación A/C la curva obtenida tiende una pendiente negativa, lo cual indica que a mayor relación A/C, menor resistencia a la compresión.

En comparación de la curva obtenida con, la expresión de la norma sismo resistente, podemos observar que se obtiene mayor resistencia del concreto de los fabricados con los materiales objeto de estudio.

La ecuación de la Norma Sismo Resistente del 98 resulta ser conservadora en comparación con la curva de esta investigación en un 11% del módulo de rotura obtenido por medio de el ensayo de vigas usando los materiales indicados y las

relaciones agua cemento especificadas, subestimando el comportamiento mecánico de estos.

En la correlación entre la resistencia a la tracción por flexión y la resistencia a compresión del concreto se obtuvo un alto coeficiente de correlación, lo que indica que el conocimiento de una sola de estas dos variables contribuye notoriamente al conocimiento de la otra con un alto grado de confiabilidad.

8. RECOMENDACIONES PARA LA FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS

Determinar la cantidad de agregados se recomienda utilizando las proporciones calculadas en el diseño de mezcla de la investigación y afectarlos por un porcentaje que corresponda a los desperdicios. También se recomienda cubicar los agregados en el momento de ser entregados por los proveedores para evitar que falte material.

Los agregados deben almacenarse bajo cubierta para evitar cambios de humedad bruscos que se pueden ver reflejadas en la toma de muestras para hacer las correcciones por humedad; la toma de muestras es de especial cuidado y particularmente si el material esta a la intemperie.

Antes de empezar a vaciar las probetas se debe tener experiencia previa especialmente en la fabricación de las viguetas. Por tal razón se recomienda hacer varias mezclas previas antes de empezar hacer cualquier investigación para aprender a tener eficiencia en los procesos de mezcla y fabricación.

Llenar los agregados en los baldes y pesarlos juntos, pero previamente se deben pesar los baldes vacíos para agilizar el proceso.

Hacer el mezclado se debe cronometrar el tiempo que se necesita para alcanzar una buena homogeneidad en la mezcla teniendo en cuenta la norma NTC 1377 numeral 6.1.2.

El proceso de desencofrado para viguetas requiere aceitar completamente la formaleta metálica, para evitar el daño de las aristas del espécimen al sacarlas, que se pueden presentar por camisas con un diseño inadecuado.

El curado de viguetas se hace colocando la cara superior en reposo, posición que se usa para el momento de falla.

Se debe cumplir con las especificaciones de la normatividad vigente en cuanto aun curado adecuado, garantiza que los especímenes tengan una temperatura favorable y una perdida mínima de humedad.

El curado se debe aplicar después de que la superficie del concreto cambie de brillante a mate.

En lo posible hacer un curado normalizado para el cual se requiere una piscina que permita contener la totalidad de probetas sumergidas.

Se debe recordar que después de vaciar los cilindros deben ponerse en una superficie totalmente horizontal esto para evitar que las superficies de los cilindros tengan algún grado de inclinación.

Se debe evitar manipular las viguetas sobre todo después de desencofrar por su peso el cual puede ocasionar esfuerzos prematuros, porque normalmente en el momento de ser transportadas son cogidas de los extremos.

9. RECOMENDACIONES FINALES

Programar nuevas etapas de la misma, en la cual se tenga en cuenta las recomendaciones sobre la realización de las probetas hechas anteriormente.

Realizar un análisis minucioso de las características físicas de las vigas a ensayar para así poder determinar si se pueden fallar o no; si estas características no son buenas es mejor desecharlas y fabricarlas nuevamente.

Utilizar un curado normalizado porque a fin de cuentas es el que exige las normas, y disponer de un sitio adecuado para el mismo.

Hacer una programación para la fabricación de las probetas considerando el tiempo necesario y exigido por las normas para quitar las formaletas sin que las probetas se malogren. Además se debe tener en cuenta que para vaciar 5 cilindros y 5 vigas se tardó aproximadamente 6 horas en el proceso se realizan las siguientes actividades: desencontrado vigas y cilindros del día anterior, limpieza y engrasado de formaletas, tamizado de la arena, pesaje de los materiales, mezclado y vaciado.

Tamizar la el agregado fino por la malla del tamiz # 4, ya que el material superior a este tamaño presento una absorción muy alta y peso específico muy bajo, ya que puede ser perjudicial para la fabricación de concreto.

BIBLIOGRAFIA

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. A.C.I 211.3R-02: la Guía por Seleccionar las Proporciones para el Hormigón.

GALVIS RAMOS, Josué. Diseño de mezclas de concreto para la ciudad de Manizales. Manizales: Trabajo de investigación. Universidad Nacional de Colombia, 1988.

_____. Ensayo de resistencia a compresión del concreto sobre cilindros de 7.5 * 15 cm. y 10 * 20 cm. Manizales: Cuadernos de investigación CINDEC N° 12. Universidad Nacional de Colombia, 1988.

GUTIÉRREZ DE LÓPEZ, Libia. El concreto y otros materiales para la construcción: Bogotá: Universidad Nacional de Colombia, 1996. 300 p.

NORMA SISMORESISTENTE DE 1998. NSR98

NORMAS TECNICAS COLOMBIANAS. NTC. ICONTEC. Sexta actualización, Bogotá: Norma, 2010. 82 p.

RIVERA LOPEZ, Gerardo Antonio. Concreto Simple: Popayán: Universidad del Cauca, 2010.

SOLIS CARCAÑO, Rómel G; MORENO, Eric Ivan y CASTILLO PAK, William R. Predicción de la resistencia del concreto con base en la velocidad de pulso ultrasónico y un índice de calidad de los agregados. Venezuela: s.n. 2004. 180 p.

ZULUAGA GÓMEZ, Carlos Mauricio y VÁSQUEZ DUQUE, Carlos Eugenio. Refinamiento de la curva de relación agua cemento vs. resistencia para el diseño de mezclas en la región IV etapa. Manizales: 2002. 200 p. Trabajo de grado. (Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Colombia. Facultad de ingeniería y arquitectura. Departamento de ingeniería civil.

NETGRAFÍA

[http\www.argos.com.co](http://www.argos.com.co)

[http\www.izcallibur.com](http://www.izcallibur.com)

[http\www.nrmca.org](http://www.nrmca.org)

ANEXOS

Anexo A. Ensayos de laboratorio físico mecánicos a los materiales

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO SECCIÓN DE LABORATORIOS GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS INV E - 223			1. CARGO		
				2. PÁGINA		
				3. VERSIÓN		
				4. VIGENTE A PARTIR DE:		
OBRA: <u>Proyecto de grado Delgado / Logarda</u>		MUESTRA No <u>1</u>				
DESCRIPCIÓN: <u>Triturado</u>		FUENTE <u>La Victoria</u>				
PROPIETARIO: <u>PANAVIAS LTDA.</u>						
ENSAYO No						
Temperatura de ensayo	°C	1	2	3	Promedio	
Peso de la muestra sss	W _{sss}	gr	824.5	1215.5	1610	
Peso de la muestra en el agua	W _a	gr	519.5	774.5	1010.6	
Peso de la muestra seca	W _s	gr	813.3	1197.7	1585.3	
W _s - W _a		gr	293.8	423.2	574.7	
W _{sss} - W _a		gr	305	441	599.4	
Densidad Nominal = $W_s / W_s - W_a$	gr/cm ³		2.768	2.830	2.758	2.786
Densidad Aparente = $W_s / W_{sss} - W_a$	gr/cm ³		2.667	2.716	2.645	2.676
Densidad Aparente \$\$\$ = $W_{sss} / W_{sss} - W_a$	gr/cm ³		2.703	2.756	2.686	2.715
Absorción = $(W_{sss} - W_s / W_s) * 100$	%		1.377	1.486	1.558	1.474
Peso canastilla	gr		117.8	141.5	143	
peso canastilla + muestra sss	gr		942.3	1357	1753	
peso muestra sss	gr		824.5	1215.5	1610	
peso canastilla + muestra en el agua	gr		573.5	828.5	1064.6	
Peso canastilla en el agua	gr		54	54	54	
Peso muestra en el agua	gr		519.5	774.5	1010.6	
Peso muestra seca + recipiente	gr		931.1	1339.2	1728.3	
Peso recipiente	gr		117.8	141.5	143	
Peso muestra seca	gr		813.3	1197.7	1585.3	
Observaciones						
8. DATOS DE ELABORACIÓN						
	25.1. ELABORADO POR:		25.1. REVISADO POR:		25.2. APROBADO POR:	
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos		Técnico Laboratorio de Suelos		Director de Dependencia	
NOMBRE:	Silvio f. Cabrera S.					
FIRMA:						

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO SECCIÓN DE LABORATORIOS GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS INVE - 223			2. PAGINA	
				3. VERSIÓN	
				4. VIGENTE A PARTIR DE:	
OBRA: Proyecto de grado Delgado / Legarda		MUESTRA No		2	
DESCRIPCIÓN: Triturado		FUENTE		La Victoria	
PROPIETARIO: PANAVIAS LTDA.					
ENSAYO No					
Temperatura de ensayo	°C	1	2	3	Promedio
Peso de la muestra sss W _{sss}	gr	1173.4	1044	1087	
Peso de la muestra en el agua W _a	gr	738.3	660.9	684.9	
Peso de la muestra seca W _s	gr	1156.5	1029.4	1071.1	
W _s - W _a	gr	418.2	368.5	386.2	
W _{sss} - W _a	gr	435.1	383.1	402.1	
Densidad Nominal = $W_s / (W_s - W_a)$	gr/cm ³	2.765	2.793	2.773	2.769
Densidad Aparente = $W_s / (W_{sss} - W_a)$	gr/cm ³	2.658	2.687	2.664	2.661
Densidad Aparente SSS = $W_{sss} / (W_{sss} - W_a)$	gr/cm ³	2.697	2.725	2.703	2.700
Absorción = $(W_{sss} - W_s / W_s) * 100$	%	1.461	1.418	1.484	1.473
Peso canastilla	gr	145.5	148.2	144.8	
peso canastilla + muestra sss	gr	1318.9	1192.2	1231.8	
peso muestra sss	gr	1173.4	1044	1087	
peso canastilla + muestra en el agua	gr	792.3	714.9	738.9	
Peso canastilla en el agua	gr	54	54	54	
Peso muestra en el agua	gr	738.3	660.9	684.9	
Peso muestra seca + recipiente	gr	1302	1177.6	1215.9	
Peso recipiente	gr	145.5	148.2	144.8	
Peso muestra seca	gr	1156.5	1029.4	1071.1	
Observaciones					
5. DATOS DE ELABORACIÓN					
	25.1. ELABORADO POR:	25.1. REVISADO POR:	25.2. APROBADO POR:		
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos	Técnico Laboratorio de Suelos	Director de Dependencia		
NOMBRE:	Silvio f. Cabrera S.				
FIRMA:					

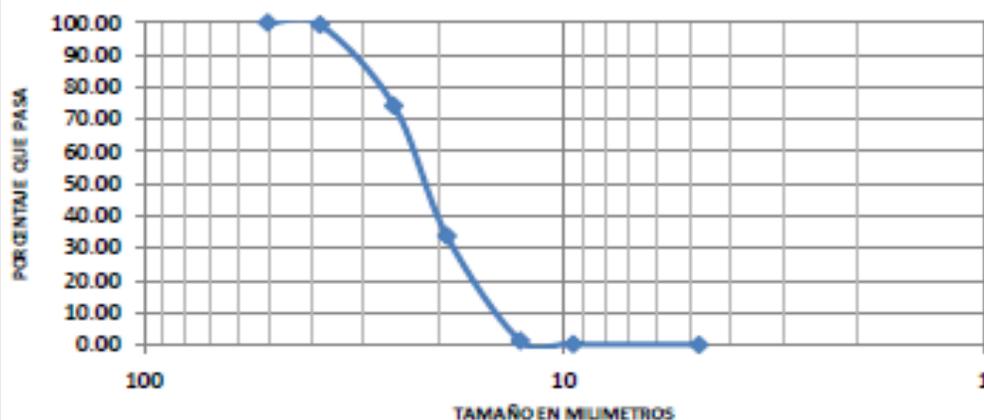


UNIVERSIDAD DE NARIÑO
SECCION DE LABORATORIOS
ENSAYO DE GRANULOMETRIA
NTC 77

PROYECTO : Delgado / Legarda FECHA : 12-dlo-09
 DESCRIPCIÓN : Agregado grueso FUENTE : LA VICTORIA
 MUESTRA No : 1

GRADACIÓN					
Peso Inicial (g) =		20004.3	Peso lavado (g) =		20004.3
TAMIZ	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.1	0	0	0	100
2 1/2"	64	0	0.00	0.00	100.00
2"	50.8	0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.1	122.9	0.61	0.61	99.39
1"	25.4	5020	25.09	25.71	74.29
3/4"	19.0	8090	40.44	66.15	33.85
1/2"	12.7	6300	32.49	98.64	1.36
3/8"	9.51	206.5	1.03	99.68	0.32
4	4.76	44.2	0.22	99.90	0.10
Fondo		20.7	0.10	100.00	0.00

TOTAL (g) = 20004.30 % de Error = 0.00



Observaciones: _____

DATOS DE ELABORACION		
	ELABORADO POR:	REVISADO POR:
CARGO:	Técnico laboratorio de suelos	Técnico laboratorio de suelos
NOMBRE:	Silvio F. Cabrera S.	Silvio F. Cabrera S.
FIRMA:		



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
SECCION DE LABORATORIOS
ENSAYO DE GRANULOMETRIA
NTC 77

PROYECTO : Delgado / Legarda FECHA : 12-dic-09
 DESCRIPCIÓN : Agregado grueso FUENTE : LA VICTORIA
 MUESTRA No : 2

GRADACIÓN					
Peso Inicial (g) =		20000	Peso lavado (g) =		18627.85
TAMIZ	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.1	0	0	0	100
2 1/2"	64	0	0.00	0.00	100.00
2"	50.8	0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.1	91.9	0.49	0.49	99.51
1"	25.4	41.35	0.22	0.72	99.28
3/4"	19.0	9857	52.92	53.63	46.37
1/2"	12.7	8248	44.28	97.91	2.09
3/8"	9.51	304.2	1.63	99.54	0.46
4	4.76	78.4	0.42	99.96	0.04
Fondo		7	0.04	100.00	0.00

TOTAL (g) = 18627.85 % de Error = 0.00



Observaciones: _____

DATOS DE ELABORACION		
	ELABORADO POR:	REVISADO POR:
CARGO:	Técnico laboratorio de suelos	Técnico laboratorio de suelos
NOMBRE:	Silvio F. Cabrera S.	Silvio F. Cabrera S.
FIRMA:		



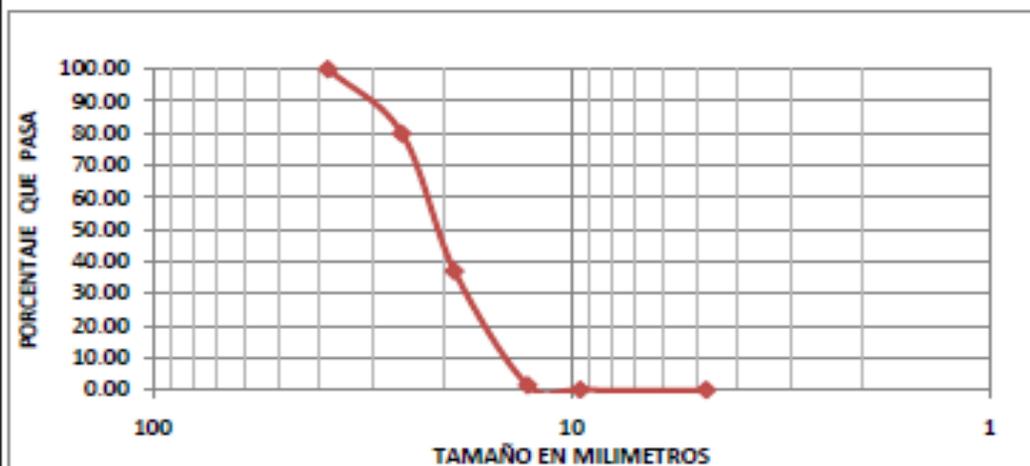
UNIVERSIDAD DE NARIÑO
SECCION DE LABORATORIOS
ENSAYO DE GRANULOMETRIA
NTC 77

PROYECTO :	Tesis de grado	FECHA :	12-dic-09
DESCRIPCIÓN :	Arena Negra	FUENTE :	LAS TERRAZAS
		MUESTRA No :	5

GRADACIÓN

Peso Inicial (g) =		20000	Peso lavado (g) =		17708.70
TAMIZ	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
3"	76.1	0	0	0	100
2 1/2"	64	0	0.00	0.00	100.00
2"	50.8	0	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.1	0	0.00	0.00	100.00
1"	25.4	3544.2	20.01	20.01	79.99
3/4"	19.0	7397.7	42.90	62.92	37.08
1/2"	12.7	6291.2	35.33	98.44	1.56
3/8"	9.51	243.8	1.39	99.83	0.17
4	4.76	19.1	0.11	99.94	0.06
Fondo		10.7	0.06	100.00	0.00

TOTAL (g) = 17708.70 % de Error = 0.00



Observaciones: _____

DATOS DE ELABORACION

	ELABORADO POR:	REVISADO POR:
CARGO:	Técnico laboratorio de suelos	Técnico laboratorio de suelos
NOMBRE:	Silvio F. Cabrera S.	Silvio F. Cabrera S.
FIRMA:		



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
SECCIÓN DE LABORATORIOS
PESOS UNITARIOS
SUELTO Y COMPACTO
NTC 92

Proyecto: tesis de grado Fuente Las victoria
 Descripción: Triturado Muestra No. 1

PESO UNITARIO SUELTO

ENSAYO No		1	2	3	promedio
Tamaño máximo nominal					
Volumen del recipiente (V)	cm ³	18258.5	18258.5	18258.5	
Peso material suelto (P)	gr	28080	27800	28010	27963.3
Peso unitario Suelto = P/V	Kg/dm ³	1.538	1.523	1.534	1.532
Humedad del material	%	0.38			
Peso unitario seco suelto	Kg/dm ³	1.532	1.517	1.528	1.526

PESO UNITARIO COMPACTADO

Método de compactación					
Volumen del recipiente (V)	cm ³	18258.5	18258.5	18258.5	
Peso del material compactado (P)	gr	31020	31480	31050	31183.3
Peso unitario compactado P/V	Kg/dm ³	1.699	1.724	1.701	1.708
Humedad del material	%	0.38			
Peso Unitario seco Compactado	Kg/dm ³	1.693	1.718	1.694	1.701

Lado del recipiente	cm	26.5	26.5	26.5	
Altura del recipiente	cm	26	26	26	
Volumen del recipiente	cm ³	18258.5	18258.5	18258.5	
peso del recipiente + material suelto	gr				
peso del recipiente + material compacto	gr				
peso del recipiente	gr				

HUMEDAD

Peso del recipiente + muestra húmeda	gr	2036.6	2040.1	2122.7	
Peso del recipiente + muestra seca	gr	2029.3	2032.2	2115.5	
Peso del recipiente	gr	144.4	142.6	148.6	
humedad	%	0.39	0.42	0.37	0.38

Observaciones: _____

DATOS DE ELABORACION

ELABORADO POR :	REVISADO POR:
Técnico de laboratorio de suelos	Técnico de laboratorio de suelos
Silvio F. Cabrera S.	Silvio F. Cabrera S.



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
SECCIÓN DE LABORATORIOS
PESOS UNITARIOS
SUELTO Y COMPACTO
NTC 92

Proyecto: tesis de grado Fuente Las victoria
 Descripción: Triturado Muestra No. 2

PESO UNITARIO SUELTO

ENSAYO No		1	2	3	promedio
Tamaño maximo nominal					
Volumen del recipiente (V)	cm ³	18258.5	18258.5	18258.5	
Peso material suelto (P)	gr	28240	28130	28400	28256.7
Peso unitario Suelto = P/V	Kg/dm ³	1.547	1.541	1.555	1.548
Humedad del material	%	0.36			
Peso unitario seco suelto	Kg/dm ³	1.541	1.535	1.550	1.542

PESO UNITARIO COMPACTADO

Método de compactación					
Volumen del recipiente (V)	cm ³	18258.5	18258.5	18258.5	
Peso del material compactado (P)	gr	31010	30780	31310	31033.3
Peso unitario compactado P/V	Kg/dm ³	1.698	1.688	1.715	1.700
Humedad del material	%	0.359			
Peso Unitario seco Compactado	Kg/dm ³	1.692	1.679	1.708	1.693

Lado del recipiente	cm	26.5	26.5	26.5	
Altura del recipiente	cm	26	26	26	
Volumen del recipiente	cm ³	18258.5	18258.5	18258.5	
peso del recipiente + material suelto	gr				
peso del recipiente + material compacto	gr				
peso del recipiente	gr				

HUMEDAD

Peso del recipiente + muestra humeda	gr	1755	1706.2	1741	
Peso del recipiente + muestra seca	gr	1749	1700.8	1735.7	
Peso del recipiente	gr	139.3	139.7	141	
humedad	%	0.37	0.35	0.33	0.36

Observaciones: _____

DATOS DE ELABORACION

ELABORADO POR :	REVISADO POR:
Técnico de laboratorio de suelos	Técnico de laboratorio de suelos
Silvio F. Cabrera S.	Silvio F. Cabrera S.



UNIVERSIDAD DE NARIÑO
SECCION DE LABORATORIOS

INDICES DE ALARGAMIENTO Y APLANAMIENTO DE AGREGADOS

INV E-230/02

OBRA: PROYECTO DE GRADO DELGADO / LEGARDA MUESTRA No. : 1
DESCRIPCION: Triturado FUENTE : La victoria
PROPIETARIO: Fenavías LTDA.

INDICE DE ALARGAMIENTO

TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO	PESO MATERIAL	PORCENTAJE	% RETENIDO	CÁLCULO FINAL
PASA TAMIZ	RET. TAMIZ	MUESTRA	Part. Alargadas	Part. Alargadas	Gradación Original	
		A (g)	B (g)	C=(B/A x 100)	D	E= (Cx D)
2"	1-1/2"					
1-1/2"	1"	2000	307.1	15.355	14.88	228.48
1"	3/4"	2000	722.6	36.13	45.39	1639.94
3/4"	1/2"	2000	1168.6	58.43	37.71	2203.40
1/2"	3/8"	305.2	243.6	79.82	1.72	137.28
3/8"	1/4"	33.9	29.4	86.73	0.19	16.48
TOTAL		6339.1	2471.3	38.99	99.89	4225.58
INDICE DE ALARGAMIENTO			TOTAL E / TOTAL D		42.30	%

INDICE DE APLANAMIENTO

TAMAÑO DEL AGREGADO		PESO	PESO MATERIAL	PORCENTAJE	% RETENIDO	CÁLCULO FINAL
PASA TAMIZ	RET. TAMIZ	MUESTRA	Part. Alargadas	Part. Alargadas	Gradación Original	
		A (g)	B (g)	C=(B/A x 100)	D	E= (Cx D)
2"	1-1/2"					
1-1/2"	1"	2000	988.3	49.415	14.88	735.30
1"	3/4"	2000	1458.1	72.905	45.39	3309.16
3/4"	1/2"	2000	1424.7	71.235	37.71	2686.27
1/2"	3/8"	305.2	215.7	70.67	1.72	121.56
3/8"	1/4"	33.9	29.2	86.14	0.19	16.37
TOTAL		6339.1	4116	64.93	99.89	6868.65
INDICE DE APLANAMIENTO			TOTAL E / TOTAL D		68.76	%

OBSEVACION: _____

DATOS DE LABORATORIO

	Elaborado por:	Revisado por:	Aprobado por:
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos	Técnico Laboratorio de Suelos	
NOMBRE:	SILVIO F. CABRERA S.		
FIRMA:			

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO SECCIÓN DE LABORATORIOS ENSAYO DE EQUIVALENTE DE ARENA INV E - 133/07			1. COBIBO			
				2. PASINA			
				3. VERIFICACIÓN			
				4. VIGENTE, APARTIR DE:			
OBRA: Proyecto de grado Delgado / Legarda							
DESCRIPCIÓN: Arena Negra							
PROPIETARIO: COMINAGRO LTDA				FECHA: 27 de Noviembre de 2009			
ENSAYO N°		1			2		
PROBETA	No.	1	2	3	1	2	3
LECTURA ARCILLA	(mm)	127.0	138.0	135.0	121.0	129.0	148.0
LECTURA ARENA	(mm)	88.0	99.0	98.0	89.0	96.0	102.0
EQUIVALENTE DE ARENA	(%)	69.3	71.7	72.6	73.6	74.4	68.9
PROMEDIO	(%)	72			73		
Condiciones de la arena para el ensayo Húmeda _____ Seca al aire <input checked="" type="checkbox"/> _____ Seca al horno _____							
ENSAYO COLORIMETRICO PARA DETERMINACIÓN DE MATERIA ORGÁNICA NORMA N.T.C. 127-3674							
Color de la solución que sobrenada en la muestra a las 24 horas con respecto al color patrón transparente							
Más oscura	_____	Igual	<input checked="" type="checkbox"/>	_____	Más clara	_____	_____
1	_____			_____		_____	_____
2	_____			_____		_____	_____
3	_____			_____		_____	_____
4	_____			_____		_____	_____
Condiciones de la arena para el ensayo Húmeda _____ Seca al aire <input checked="" type="checkbox"/> _____ Seca al horno _____							
Observaciones _____							
5. DATOS DE ELABORACIÓN							
	25.1. ELABORADO POR:	25.1. REVISADO POR:	25.2. APROBADO POR:				
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos	Técnico Laboratorio de Suelos	Director de Dependencia				
NOMBRE:	SILVIO FABRICIO CABRERA S.						
FIRMA:							

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO SECCIÓN DE LABORATORIOS PESOS UNITARIOS NTC 92			1. CODIGO		
				2. PAGINA		
				3. VERSION		
				4. VIGENTE A PARTIR DE		
OBRA	PROYECTO DE GRADO DELGADO / LEGARDA		MUESTRA No		1	
DESCRIPCIÓN:	ARENA NEGRA		FUENTE		LAS TERRAZAS	
PROPIETARIO:	COMINAGRO LTDA					
PESO UNITARIO SUELTO						
ENSAYO No			1	2	3	Promedio
Tamaño máxmo nominal						
Volumen del recipiente	(V)	cm ³	2284.34	2284.34	2284.34	
Peso material suelto	(P)	gr	2820.00	2890.00	2950.00	2886.67
Peso unitario suelto =	P/V	Kg/dm ³	1.23	1.27	1.29	1.26
Humedad del material	%		14.39			
Peso unitario seco suelto		Kg/dm ³	1.08	1.11	1.13	1.10
PESO UNITARIO COMPACTADO						
Método de compactación			Mecánica			
Volumen del recipiente	(V)	cm ³	2284.34	2284.34	2284.34	
Peso del material compactado	(P)	gr	3410.00	3350.00	3320.00	3360.00
Peso unitario compactado	P/V	Kg/dm ³	1.49	1.47	1.45	1.47
Humedad del material	%		14.39			
Peso unitario seco compactado		Kg/dm ³	1.30	1.28	1.27	1.29
Diametro del recipiente						
		cm	15.7	15.7	15.7	
Alturas del recipiente						
		cm	11.8	11.8	11.8	
Volumen del recipiente						
		cm ³	2284.34	2284.34	2284.34	
Peso recipiente + material suelto						
		gr	10240	10310	10370	10306.67
Peso recipiente + material compactado						
		gr	10830	10770	10740	10780.00
peso del recipiente						
		gr	7420	7420	7420	
HUMEDAD						
peso recipiente + muestra humeda						
		gr	2000	2000	2000	
peso recipiente + muestra seca						
		gr	1764.3	1769.4	1788.4	
peso recipiente						
		gr	148.2	145.5	143	
Humedad	%		14.58	14.20	12.86	14.39
8. DATOS DE ELABORACIÓN						
	25.1. ELABORADO POR:	25.1. REVISADO POR:	25.2. APROBADO POR:			
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos	Técnico Laboratorio de Suelos	Director de Dependencia			
NOMBRE:	SILVIO CABRERA					
FIRMA:						

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO SECCIÓN DE LABORATORIOS PESOS UNITARIOS NTC 92			1. CODIGO		
				2. PAGINA		
				3. VERSION		
				4. VIGENTE A PARTIR DE		
OBRA	PROYECTO DE GRADO DELGADO / LEGARDA		MUESTRA No	2		
DESCRIPCIÓN:	ARENA NEGRA		FUENTE	LAS TERRAZAS		
PROPIETARIO:	COMINAGRO LTDA					
PESO UNITARIO SUELTO						
ENSAYO No			1	2	3	Promedio
Tamaño máximo nominal						
Volumen del recipiente	(V)	cm ³	2284.34	2284.34	2284.34	
Peso material suelto	(P)	gr	2950.00	3000.00	2980.00	2976.67
Peso unitario suelto	P/V	Kg/dm ³	1.29	1.31	1.30	1.30
Humedad del material	%		14.39			
Peso unitario seco suelto		Kg/dm ³	1.13	1.15	1.14	1.14
PESO UNITARIO COMPACTADO						
Método de compactación			Mecánica			
Volumen del recipiente	(V)	cm ³	2284.34	2284.34	2284.34	
Peso del material compactado	(P)	gr	3300.00	3330.00	3280.00	3303.33
Peso unitario compactado	P/V	Kg/dm ³	1.44	1.46	1.44	1.45
Humedad del material	%		14.39			
Peso unitario seco compactado		Kg/dm ³	1.26	1.27	1.26	1.26
Dímetro del recipiente		cm	15.70	15.70	15.70	
Alturas del recipiente		cm	11.80	11.80	11.80	
Volumen del recipiente		cm ³	2284.34	2284.34	2284.34	
Peso recipiente + material suelto		gr	10370	10420	10400	10396.67
Peso recipiente + material compactado		gr	10720	10750	10700	10723.33
Peso del recipiente		gr	7420	7420	7420	
HUMEDAD						
peso recipiente + muestra húmeda		gr	2000	2000	2000	
peso recipiente + muestra seca		gr	1764.3	1769.4	1788.4	
peso recipiente		gr	148.2	145.5	143	
Humedad	%		14.58	14.20	12.86	14.39
8. DATOS DE ELABORACIÓN						
	25.1. ELABORADO POR:	25.1. REVISADO POR:	25.2. APROBADO POR:			
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos	Técnico Laboratorio de Suelos	Director de Dependencia			
NOMBRE:	SILVIO CABRERA					
FIRMA:						

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO SECCIÓN DE LABORATORIOS PESOS UNITARIOS INV E - 217 - 07			1. CODIGO		
				2. PAGINA		
				3. VERSION		
				4. VIGENTE A PARTIR DE		
OBRA	PROYECTO DE GRADO DELGADO / LEGARDA		MUESTRA No	3		
DESCRIPCIÓN:	ARENA NEGRA		FUENTE	LAS TERRAZAS		
PROPIETARIO:	COMINAGRO LTDA					
PESO UNITARIO SUELTO						
ENSAYO No			1	2	3	Promedio
Tamaño máximo nominal						
Volumen del recipiente	(V)	cm ³	2284.34	2284.34	2284.34	
Peso material suelto	(P)	gr	2930.00	2970.00	2990.00	2963.33
Peso unitario suelto	P/V	Kg/dm ³	1.28	1.30	1.31	1.30
Humedad del material	%		14.39			
Peso unitario seco suelto		Kg/dm ³	1.12	1.14	1.14	1.13
PESO UNITARIO COMPACTADO						
Método de compactación			Mecánica			
Volumen del recipiente	(V)	cm ³	2284.34	2284.34	2284.34	
Peso del material compactado	(P)	gr	3270.00	3290.00	3290.00	3283.33
Peso unitario compactado	P/V	Kg/dm ³	1.43	1.44	1.44	1.44
Humedad del material	%		14.39			
Peso unitario seco compactado		Kg/dm ³	1.25	1.26	1.26	1.26
Diametro del recipiente		cm	15.70	15.70	15.70	
Alturas del recipiente		cm	11.80	11.80	11.80	
Volumen del recipiente		cm ³	2284.34	2284.34	2284.34	
Peso recipiente + material suelto		gr	10350	10390	10410	10383.33
Peso recipiente + material compactado		gr	10690	10710	10710	10703.33
peso del recipiente		gr	7420	7420	7420	
HUMEDAD						
peso recipiente + muestra húmeda		gr	2000	2000	2000	
peso recipiente + muestra seca		gr	1764.3	1769.4	1788.4	
peso recipiente		gr	148.2	145.5	143	
Humedad	%		14.58	14.20	12.86	14.39
8. DATOS DE ELABORACIÓN						
	25.1. ELABORADO POR:	25.1. REVISADO POR:	25.2. APROBADO POR:			
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos	Técnico Laboratorio de Suelos	Director de Dependencia			
NOMBRE:	SILVIO CABRERA					
FIRMA:						

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO SECCIÓN DE LABORATORIOS GRAVEDAD ESPECIFICA Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS NTC 237			1. CODIGO		
				2. PAGINA		
				3. VERSION		
				4. VIGENTE A PARTIR DE:		
OBRA		PROYECTO DE GRADO DELGADO / LEGARDA		MUESTRA No 1		
DESCRIPCIÓN:		ARENA NEGRA		FUENTE LAS TERRAZAS		
PROPIETARIO:		COMINAGRO LTDA				
ENSAYO No						
			1	2	3	Promedio
Temperatura de ensayo		°C	22	22	22	
Peso de la muestra sss	Wsss	gr	500	500	500	
Peso matraz + agua	Wma	gr	1229.5	1175.9	1219.6	
Peso matraz + agua + muestra	Wmam	gr	1530.9	1475.1	1518.7	
Peso muestra seca	Ws	gr	480.7	479.3	480.1	
Densidad Nominal = $Ws / (Ws + Wma - Wmam)$		gr/cm ³	2.68	2.66	2.65	2.66
Densidad Aparente = $Ws / (Wsss + Wma - Wmam)$		gr/cm ³	2.42	2.39	2.39	2.40
Densidad Aparente \$\$\$ = $Wsss / (Wsss + Wma - Wmam)$		gr/cm ³	2.52	2.49	2.49	2.50
Absorción = $(Wsss - Ws / Ws) * 100$		%	4.01	4.32	4.14	4.16
Peso muestra seca + recipiente		gr	624.9	616	627.7	
Peso recipiente		gr	144.2	136.7	147.6	
Peso muestra seca		gr	480.7	479.3	480.1	
Observaciones _____						
9. DATOS DE ELABORACIÓN						
	25.1. ELABORADO POR:		25.1. REVISADO POR:		25.2. APROBADO POR:	
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos		Técnico Laboratorio de Suelos		Director de Dependencia	
NOMBRE:	Silvio F. Cabrera S.					
FIRMA:						



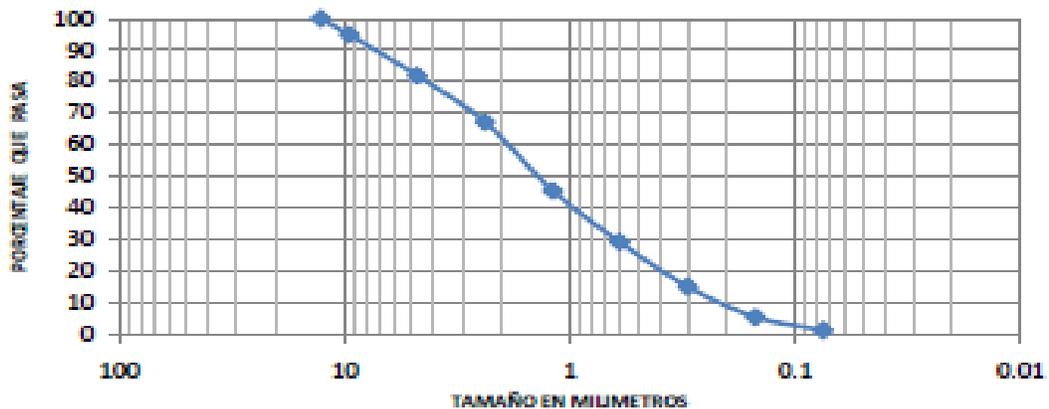
UNIVERSIDAD DE NARIÑO
SECCION DE LABORATORIOS
ENSAYO DE GRANULOMETRIA
NTC 77

PROYECTO : Tesis de grado **FECHA :** 12-dic-09
DESCRIPCION : Arena Negra **FUENTE :** LAS TERRAZAS
MUESTRA No : 1

GRADACIÓN

Peso inicial (g) =		2512.2	Peso lavado (g) =		2319.3
TAMIZ	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
1/2"	12.7	0	0	0	100
3/8"	9.53	118.7	5.12	5.12	94.88
4	4.75	301.8	13.01	18.13	81.87
8	2.38	338.1	14.58	32.71	67.29
16	1.19	502.5	21.71	54.42	45.58
30	0.6	377.7	16.29	70.70	29.30
50	0.3	324.9	14.01	84.71	15.29
100	0.15	223.1	9.62	94.33	5.67
200	0.075	97.7	4.21	98.54	1.46
PASA 200		33.9	1.46	100.00	0.00

TOTAL (g) = 2319.40 **% de Error =** 0.00



TAMIZ	TAMIZ mm	% PASA	D ₁₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₆₀ (mm)
50	0.3	15.29	0.20	0.62	1.89
100	0.15	5.67			
16	1.19	45.58			
30	0.6	29.30			
8	2.38	67.29			
16	1.19	45.58			

Coefficiente de uniformidad CU = D₆₀/D₁₀ = 9.20

Coefficiente de concentración CC = (D₃₀)² / (D₁₀ * D₆₀) = 0.99

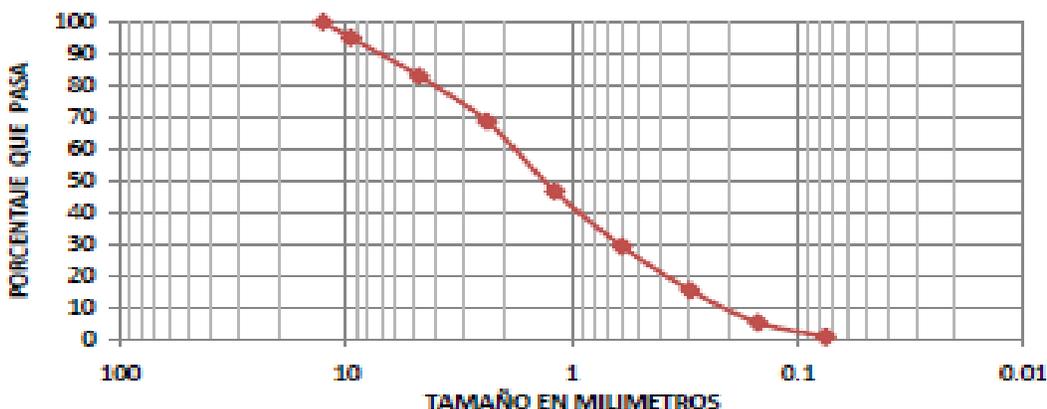


UNIVERSIDAD DE NARIÑO
SECCION DE LABORATORIOS
ENSAYO DE GRANULOMETRIA
NTC 77

PROYECTO : Tesis de grado **FECHA :** 12-dic-09
DESCRIPCIÓN : Arena Negra **FUENTE :** LAS TERRAZAS
MUESTRA No : 2

GRADACIÓN					
Peso Inicial (g) =		4430	Peso lavado (g) =		3864.30
TAMIZ	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
1/2"	12.7	0	0	0	100
3/8"	9.53	191.5	4.96	4.96	95.04
4	4.75	468.2	12.12	17.07	82.93
8	2.38	556.8	14.41	31.48	68.52
16	1.19	850.2	22.00	53.48	46.52
30	0.6	669.7	17.33	70.81	29.19
50	0.3	537.5	13.91	84.72	15.28
100	0.15	395.4	10.23	94.95	5.05
200	0.075	173.5	4.49	99.44	0.56
PASA 200		21.5	0.56	100.00	0.00

TOTAL (g) = 3864.30 **% de Error =** 0.00



TAMIZ	TAMIZ mm	% PASA	D ₁₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₆₀ (mm)
50	0.3	15.28	0.21		
100	0.15	5.05			
16	1.19	46.52		0.62	
30	0.6	29.19			
8	2.38	68.52			1.82
16	1.19	46.52			

Coefficiente de uniformidad CU = D₆₀/D₁₀ = 8.67

Coefficiente de concentración CC = (D₃₀)²/(D₁₀*D₆₀) = 1.01

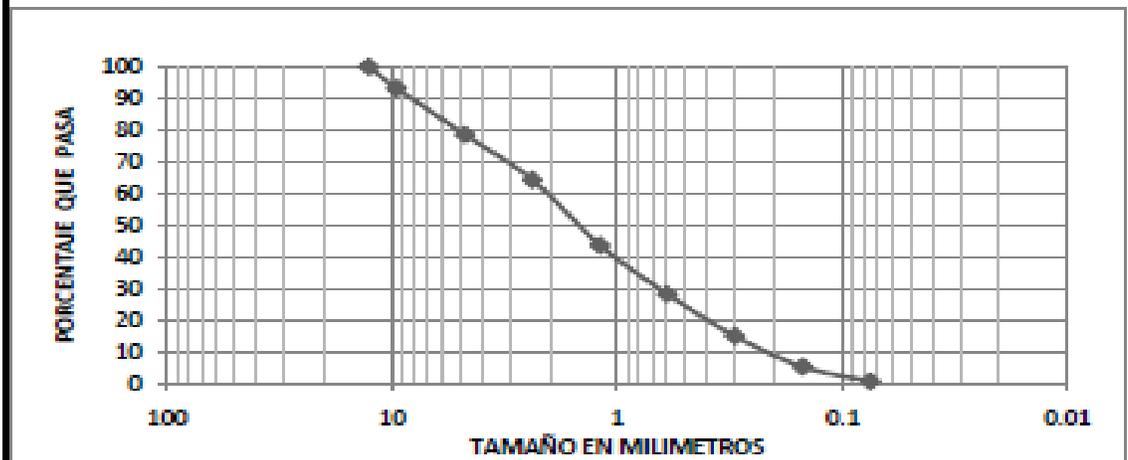


UNIVERSIDAD DE NARIÑO
SECCION DE LABORATORIOS
ENSAYO DE GRANULOMETRIA
NTC 77

PROYECTO : Tesis de grado **FECHA :** 12-dic-09
DESCRIPCIÓN : Arena Negra **FUENTE :** LAS TERRAZAS
MUESTRA No : 3

GRADACIÓN					
Peso Inicial (g) =		5380		Peso lavado (g) = 4806.30	
TAMIZ	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
1/2"	12.7	0	0	0	100
3/8"	9.53	325.8	6.78	6.78	93.22
4	4.75	707.2	14.71	21.49	78.51
8	2.38	684.3	14.24	35.73	64.27
16	1.19	993.2	20.66	56.39	43.61
30	0.6	735.9	15.31	71.71	28.29
50	0.3	643.1	13.38	85.09	14.91
100	0.15	464.7	9.67	94.75	5.25
200	0.075	223.2	4.64	99.40	0.60
PASA 200		28.9	0.60	100.00	0.00

TOTAL (g) = 4806.30 % de Error = 0.00



TAMIZ	TAMIZ mm	% PASA	D ₁₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₆₀ (mm)
50	0.3	14.91	0.21		
100	0.15	5.25			
16	1.19	43.61		0.65	
30	0.6	28.29			
8	2.38	64.27			
16	1.19	43.61			2.06

Coeficiente de uniformidad $CU = D_{60}/D_{10} = 9.78$

Coeficiente de concentración $CC = (D_{30})^2 / (D_{10} \cdot D_{60}) = 0.96$

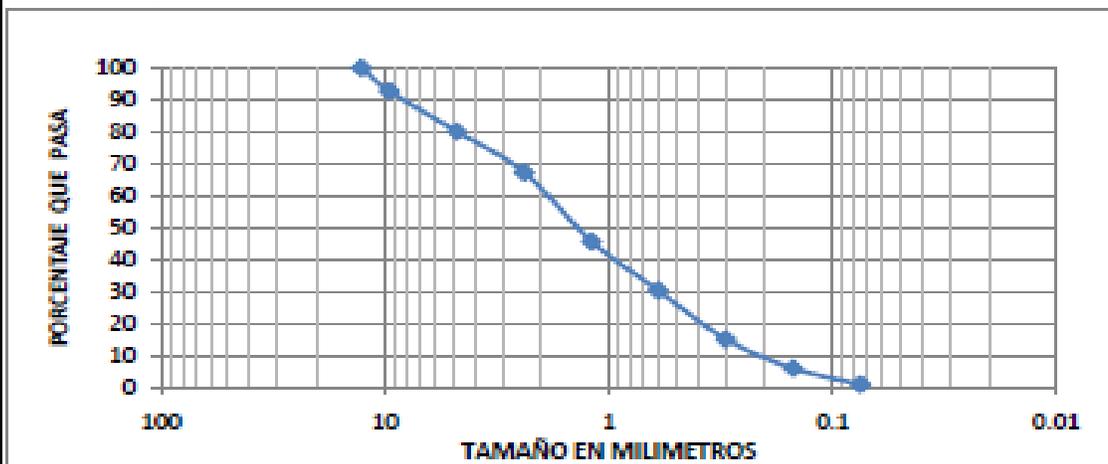


UNIVERSIDAD DE NARIÑO
SECCION DE LABORATORIOS
ENSAYO DE GRANULOMETRIA
NTC 77

PROYECTO : Tesis de grado **FECHA :** 12-dic-09
DESCRIPCIÓN : Arena Negra **FUENTE :** LAS TERRAZAS
MUESTRA No : 4

GRADACIÓN					
Peso Inicial (g) =		3890	Peso lavado (g) =		3226.30
TAMIZ	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Acumulado	% Pasa
1/2"	12.7	0	0	0	100
3/8"	9.53	233.7	7.24	7.24	92.76
4	4.75	408.7	12.67	19.91	80.09
8	2.38	413.8	12.83	32.74	67.26
16	1.19	697.5	21.62	54.36	45.64
30	0.6	496	15.37	69.73	30.27
50	0.3	493	15.28	85.01	14.99
100	0.15	293.9	9.11	94.12	5.88
200	0.075	164.6	5.10	99.22	0.78
PASA 200		25.1	0.78	100.00	0.00

TOTAL (g) = 3226.30 **% de Error =** 0.00



TAMIZ	TAMIZ mm	% PASA	D ₁₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₆₀ (mm)
50	0.3	14.99	0.21		
100	0.15	5.88			
16	1.19	45.64		0.59	
30	0.6	30.27			
8	2.38	67.26			1.89
16	1.19	45.64			
Coefficiente de uniformidad CU = D₆₀/D₁₀ =					9.19
Coefficiente de concentración CC = (D₃₀)²/(D₁₀*D₆₀) =					0.91

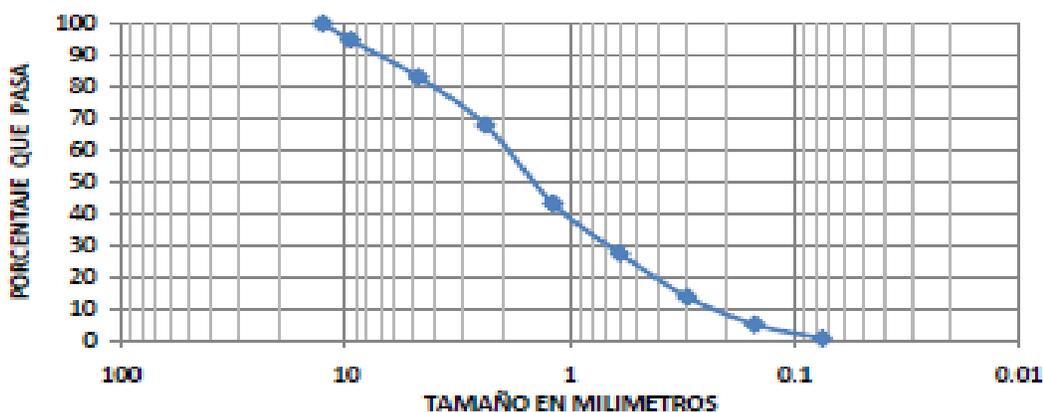


UNIVERSIDAD DE NARIÑO
SECCION DE LABORATORIOS
ENSAYO DE GRANULOMETRIA
NTC 77

PROYECTO : Tests de grado **FECHA :** 14-ene-10
DESCRIPCIÓN : Arena Negra **FUENTE :** LAS TERRAZAS
MUESTRA No : 6

GRADACIÓN					
Peso inicial (g) =		3850	Peso lavado (g) =		3140
TAMIZ	Abertura (mm)	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasa
1/2"	12.7	0	0	0	100
3/8"	9.53	163.1	5.19	5.19	94.81
4	4.75	372.2	11.85	17.05	82.95
8	2.38	475.4	15.14	32.19	67.81
16	1.19	776.2	24.72	56.91	43.09
30	0.6	493.9	15.73	72.64	27.36
50	0.3	434.2	13.83	86.46	13.54
100	0.15	272.6	8.68	95.15	4.85
200	0.075	139.2	4.43	99.58	0.42
PASA 200		13.2	0.42	100.00	0.00

TOTAL (g) = 3140.00 **% de Error =** 0.00



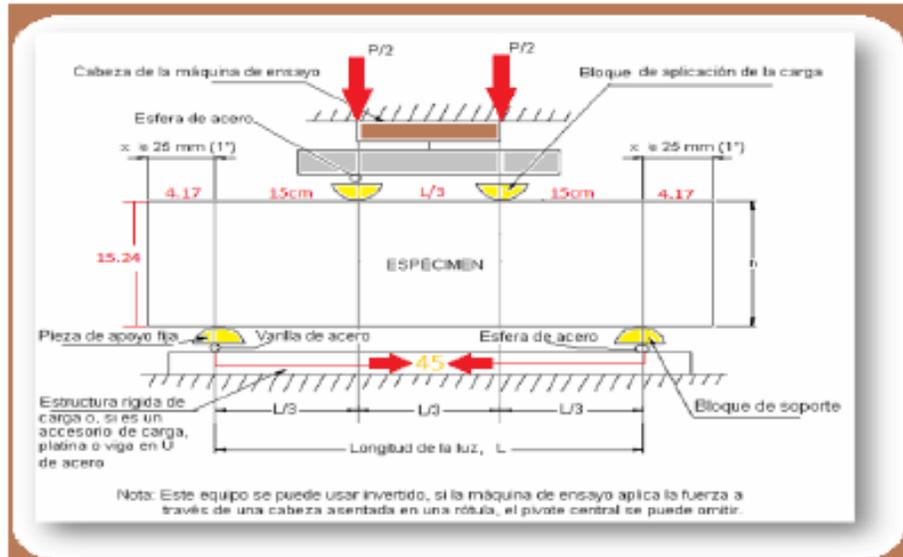
TAMIZ	TAMIZ mm	% PASA	D ₁₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₆₀ (mm)
50	0.3	13.54	0.23	0.67	1.91
100	0.15	4.85			
16	1.19	43.09			
30	0.6	27.36			
8	2.38	67.81			
16	1.19	43.09			
Coefficiente de uniformidad CU = D₆₀/D₁₀ =					8.45
Coefficiente de concentración CC = (D₃₀)²/(D₁₀*D₆₀)=					1.05

Anexo B. Ensayos a flexión de vigas de concreto

SUELOS Y MATERIALES
LABORATORIO



OBRA	Proyecto ce grado	MUESTRA: 2
DESCRIPCIÓN:	Ensayo a flexion	
PROPETARIO:	Delgado/Legarda	FECHA 25-jun-10



1	# DE LA MUESTRA	#
2	ANCHO (b)	cm
3	ALTURA (d)	cm
4	LONGITUD DE LA VIGA (LV)	cm
5	LONGITUD DE LA LUZ (L)	cm
6	AREA DE LA VIGA (A)	cm ²
7	VOLUMEN DE LA VIGA (V)	cm ³
8	PESO TOTAL DE LA VIGA (P)	Kg
9	DENCIDAD DE LA VIGA (&)	Kg/cm ³
10A	DENTRO L/3 CENTRAL	R

11	MAXIMA CARGA APLICADA (Q)	Kfz
12	MODULO DE ROTURA (R)	Kg/cm ²
13	HUMEDAD APARENTE (Ha)	%
14	REFRENTADO	ref
15	CURADO	cur
16	DEFECTOS DEL ESPÉCIMEN	def
17	EDAD DEL ESPÉCIMEN	Dias
18 (a)	DIST, LINEA DE LA FRACTURA Y EL APOYO MÁS CERCANO	cm
19B	FUERA DEL L/3 CENTRAL	R

FORMULAS PARA CALCULAR EL MODULO DE ROTURA °

Si la fractura se presenta en el tercio medio la luz

$$R = \frac{Q \cdot L}{b \cdot d^2} \quad \text{A}$$

Si la ruptura se presenta fuera del tercio medio de la luz, en no más del 5% de su longitud

$$R = \frac{3 \cdot Q \cdot a}{b \cdot d^2} \quad \text{B}$$

MODULO DE ROTURA PARA RELACIÓN A/C 0,42

1 (#)	1	#	11 (Q)	3765	Kfz
2 (b)	15.24	cm	12 (R)	47.87	Kg/cm2
3 (d)	15.24	cm	13 (Ha)	10.22	%
4 (LV)	53.34	cm	14	Lamina de Cuero	ref
5 (L)	45	cm	15	H2O con Cal	cur
6 (A)	812.90	cm2	16	No lo Tiene	def
7 (V)	12388.62	cm3	17	28	Dias
8 (P)	27.236	Kg	18 (a)	0	cm
9 (&)	0.00220	Kg/cm3	19B	0	R
10A	A	R			

1 (#)	2	#	11 (Q)	3779	Kfz
2 (b)	15.24	cm	12 (R)	48.04	Kg/cm2
3 (d)	15.24	cm	13 (Ha)	11.34	%
4 (LV)	53.34	cm	14	Lamina de Cuero	ref
5 (L)	45	cm	15	H2O con Cal	cur
6 (A)	812.90	cm2	16	No lo Tiene	def
7 (V)	12388.62	cm3	17	28	Dias
8 (P)	27.031	Kg	18 (a)	0	cm
9 (&)	0.00218	Kg/cm3	19B	0	R
10A	A	R			

1 (#)	3	#	11 (Q)	3877	Kfz
2 (b)	15.24	cm	12 (R)	49.29	psi
3 (d)	15.24	cm	13 (Ha)	13.89	gr
4 (LV)	53.34	cm	14	Lamina de Cuero	ref
5 (L)	45	cm	15	H2O con Cal	cur
6 (A)	812.90	cm2	16	No lo Tiene	def
7 (V)	12388.62	cm3	17	28	Dias
8 (P)	27.333	Kg	18 (a)	0	cm
9 (&)	0.00221	Kg/cm3	19B	0	R
10A	A	R			

1 (#)	4	#	11 (O)	3563	Kfz
2 (b)	15.24	cm	12 (R)	45.30	Kg/cm2
3 (d)	15.24	cm	13 (Ha)	10.33	%
4 (LV)	53.34	cm	14	Lamina de Cuero	ref
5 (L)	45	cm	15	H2O con Cal	cur
6 (A)	812.90	cm2	16	No lo Tiene	def
7 (V)	12388.62	cm3	17	28	Dias
8 (P)	27.186	Kg	18 (a)	0	cm
9 (&)	0.00219	Kg/cm3	19B	0	R
10A	A	R			

1 (#)	5	#	11 (O)	3891	Kfz
2 (b)	15.24	cm	12 (R)	49.47	Kg/cm2
3 (d)	15.24	cm	13 (Ha)	11.34	%
4 (LV)	53.34	cm	14	Lamina de Cuero	ref
5 (L)	45	cm	15	H2O con Cal	cur
6 (A)	812.90	cm2	16	No lo Tiene	def
7 (V)	12388.62	cm3	17	28	Dias
8 (P)	27	Kg	18 (a)	0	cm
9 (&)	0.00218	Kg/cm3	19B	0	R
10A	A	R			

MODULO DE ROTURA PARA RELACION A/C 0,46

1 (#)	6	#	11 (Q)	3262	Kfz
2 (b)	15.24	cm	12 (R)	41.47	psi
3 (d)	15.24	cm	13 (Ha)	17.68	%
4 (LV)	53.34	cm	14	Lamina de Cuero	ref
5 (L)	45	cm	15	H2O con Cal	cur
6 (A)	812.90	cm2	16	No lo Tiene	def
7 (V)	12388.62	cm3	17	28	Dias
8 (P)	26.108	Kg	18 (a)	0	cm
9 (&)	0.00211	Kg/cm3	19B	0	R
10A	A	R			

1 (#)	7	#	11 (Q)	3262	Kfz
2 (b)	15.24	cm	12 (R)	41.47	Kg/cm2
3 (d)	15.24	cm	13 (Ha)	11.36	%
4 (LV)	53.34	cm	14	Lamina de Cuero	ref
5 (L)	45	cm	15	H2O con Cal	cur
6 (A)	812.90	cm2	16	No lo Tiene	def
7 (V)	12388.62	cm3	17	28	Dias
8 (P)	26.843	Kg	18 (a)	0	cm
9 (&)	0.00217	Kg/cm3	19B	0	R
10A	A	R			

1 (#)	8	#	11 (Q)	3437	Kfz
2 (b)	15.24	cm	12 (R)	43.70	Kg/cm2
3 (d)	15.24	cm	13 (Ha)	11.34	%
4 (LV)	53.34	cm	14	Lamina de Cuero	ref
5 (L)	45	cm	15	H2O con Cal	cur
6 (A)	812.90	cm2	16	No lo Tiene	def
7 (V)	12388.62	cm3	17	28	Dias
8 (P)	27.286	Kg	18 (a)	0	cm
9 (&)	0.00220	Kg/cm3	19B	0	R
10A	A	R			

1 (#)	9	#	11 (O)	3536	Kfz
2 (b)	15.24	cm	12 (R)	44.95	psi
3 (d)	15.24	cm	13 (Ha)	13.78	%
4 (LV)	53.34	cm	14	Lamina de Cuero	ref
5 (L)	45	cm	15	H2O con Cal	cur
6 (A)	812.90	cm2	16	No lo Tiene	def
7 (V)	12388.62	cm3	17	28	Dias
8 (P)	25.765	Kg	18 (a)	0	cm
9 (&)	0.00208	Kg/cm3	19B	0	R
10A	A	R			

1 (#)	10	#	11 (O)	3441	Kfz
2 (b)	15.24	cm	12 (R)	43.75	Kg/cm2
3 (d)	15.24	cm	13 (Ha)	10.33	%
4 (LV)	53.34	cm	14	Lamina de Cuero	ref
5 (L)	45	cm	15	H2O con Cal	cur
6 (A)	812.90	cm2	16	No lo Tiene	def
7 (V)	12388.62	cm3	17	28	Dias
8 (P)	28.058	Kg	18 (a)	0	cm
9 (&)	0.00226	Kg/cm3	19B	0	R
10A	A	R			

MODULO DE ROTURA PARA RELACIÓN A/C 0,50

1 (#)	11	#	11 (Q)	3125	Kfz
2 (b)	15.24	cm	12 (R)	39.73	Kg/cm2
3 (d)	15.24	cm	13 (Ha)	9.99	%
4 (LV)	53.34	cm	14	Lamina de Cuero	ref
5 (L)	45	cm	15	H2O con Cal	cur
6 (A)	812.90	cm2	16	No lo Tiene	def
7 (V)	12388.62	cm3	17	28	Dias
8 (P)	26.424	Kg	18 (a)	0	cm
9 (&)	0.00213	Kg/cm3	19B	0	R
10A	A	R			

1 (#)	12	#	11 (Q)	2804	Kfz
2 (b)	15.24	cm	12 (R)	35.65	psi
3 (d)	15.24	cm	13 (Ha)	10.23	%
4 (LV)	53.34	cm	14	Lamina de Cuero	ref
5 (L)	45	cm	15	H2O con Cal	cur
6 (A)	812.90	cm2	16	No lo Tiene	def
7 (V)	12388.62	cm3	17	28	Dias
8 (P)	26.675	Kg	18 (a)	0	cm
9 (&)	0.00215	Kg/cm3	19B	0	R
10A	A	R			

1 (#)	13	#	11 (Q)	3211	Kfz
2 (b)	15.24	cm	12 (R)	40.82	Kg/cm2
3 (d)	15.24	cm	13 (Ha)	11.16	%
4 (LV)	53.34	cm	14	Lamina de Cuero	ref
5 (L)	45	cm	15	H2O con Cal	cur
6 (A)	812.90	cm2	16	No lo Tiene	def
7 (V)	12388.62	cm3	17	28	Dias
8 (P)	26.403	Kg	18 (a)	0	cm
9 (&)	0.00213	Kg/cm3	19B	0	R
10A	A	R			

1	(#)	14	#	11 (O)	3018	Kfz
2	(b)	15.24	cm	12 (R)	38.37	Kg/cm2
3	(d)	15.24	cm	13 (Ha)	11.34	%
4	(LV)	53.34	cm	14	Lamina de Cuero	ref
5	(L)	45	cm	15	H2O con Cal	cur
6	(A)	812.90	cm2	16	No lo Tiene	def
7	(V)	12388.62	cm3	17	28	Dias
8	(P)	25.761	Kg	18 (a)	0	cm
9	(&)	0.00208	Kg/cm3	19B	0	R
10A		A	R			

1	(#)	15	#	11 (O)	3185	Kfz
2	(b)	15.24	cm	12 (R)	40.49	psi
3	(d)	15.24	cm	13 (Ha)	18.78	%
4	(LV)	53.34	cm	14	Lamina de Cuero	ref
5	(L)	45	cm	15	H2O con Cal	cur
6	(A)	812.90	cm2	16	No lo Tiene	def
7	(V)	12388.62	cm3	17	28	Dias
8	(P)	25.765	Kg	18 (a)	0	cm
9	(&)	0.00208	Kg/cm3	19B	0	R
10A		A	R			

MODULO DE ROTURA PARA RELACION A/C 0,54

1 (#)	16	#	11 (Q)	2672	Kfz
2 (b)	15.24	cm	12 (R)	33.97	Kg/cm2
3 (d)	15.24	cm	13 (Ha)	11.26	%
4 (LV)	53.34	cm	14	Lamina de Cuero	ref
5 (L)	45	cm	15	H2O con Cal	cur
6 (A)	812.90	cm2	16	No lo Tiene	def
7 (V)	12388.62	cm3	17	28	Dias
8 (P)	26.424	Kg	18 (a)	0	cm
9 (&)	0.00213	Kg/cm3	19B	0	R
10A	A	R			

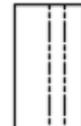
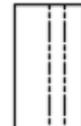
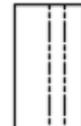
1 (#)	17	#	11 (Q)	2504	Kfz
2 (b)	15.24	cm	12 (R)	31.83	Kg/cm2
3 (d)	15.24	cm	13 (Ha)	17.84	%
4 (LV)	53.34	cm	14	Lamina de Cuero	ref
5 (L)	45	cm	15	H2O con Cal	cur
6 (A)	812.90	cm2	16	No lo Tiene	def
7 (V)	12388.62	cm3	17	28	Dias
8 (P)	26.537	Kg	18 (a)	0	cm
9 (&)	0.00214	Kg/cm3	19B	0	R
10A	A	R			

1 (#)	18	#	11 (Q)	1915	Kfz
2 (b)	15.24	cm	12 (R)	24.35	psi
3 (d)	15.24	cm	13 (Ha)	18.78	%
4 (LV)	53.34	cm	14	Lamina de Cuero	ref
5 (L)	45	cm	15	H2O con Cal	cur
6 (A)	812.90	cm2	16	No lo Tiene	def
7 (V)	12388.62	cm3	17	28	Dias
8 (P)	25.765	Kg	18 (a)	0	cm
9 (&)	0.00208	Kg/cm3	19B	0	R
10A	A	R			

1 (#)	19	#	11 (O)	2696	Kfz
2 (b)	15.24	cm	12 (R)	34.28	Kg/cm2
3 (d)	15.24	cm	13 (Ha)	10.33	%
4 (LV)	53.34	cm	14	Lamina de Cuero	ref
5 (L)	45	cm	15	H2O con Cal	cur
6 (A)	812.90	cm2	16	No lo Tiene	def
7 (V)	12388.62	cm3	17	28	Dias
8 (P)	28.058	Kg	18 (a)	0	cm
9 (&)	0.00226	Kg/cm3	19B	0	R
10A	A	R			

1 (#)	20	#	11 (O)	2957	Kfz
2 (b)	15.24	cm	12 (R)	37.59	Kg/cm2
3 (d)	15.24	cm	13 (Ha)	11.34	%
4 (LV)	53.34	cm	14	Lamina de Cuero	ref
5 (L)	45	cm	15	H2O con Cal	cur
6 (A)	812.90	cm2	16	No lo Tiene	def
7 (V)	12388.62	cm3	17	28	Dias
8 (P)	25.761	Kg	18 (a)	0	cm
9 (&)	0.00208	Kg/cm3	19B	0	R
10A	A	R			

Anexo C. Resultados de ensayo a Compresión de cilindros de concreto

	UNIVERSIDAD DE NARIÑO SECCIÓN DE LABORATORIOS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE CILINDROS DE CONCRETO INV E - 410			1. TÍTULO:																																																																																																																																																																
				2. PAGINA:																																																																																																																																																																
				3. VERSION:																																																																																																																																																																
				4. IDENTIFICACIÓN DE:																																																																																																																																																																
OBRA:		<u>Proyecto de grado Delgado/ Legarda</u>		MUESTRA No	1																																																																																																																																																															
DESCRIPCIÓN:		<u>MUESTRA PILOTO DE RESISTENCIA A COMPRESION</u>		FUENTE	<u>las terrazas y la victoria</u>																																																																																																																																																															
RESPONSABLE: I _____																																																																																																																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>REFERENCIA CILINDRO</th> <th>FECHA DE ROTURA</th> <th>TIPO DE FALLA</th> <th>RESISTENCIA Kg/cm²</th> <th>RESISTENCIA P.S.I</th> <th>EDAD DIAS(ENBAYO)</th> <th>TIPO DE FALLA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>23/04/2010</td><td>D</td><td>381.83</td><td>6464.64</td><td>28</td><td rowspan="5"> A CONO  </td> </tr> <tr><td>2</td><td>23/04/2010</td><td>C</td><td>376.31</td><td>6376.90</td><td>28</td></tr> <tr><td>3</td><td>23/04/2010</td><td>D</td><td>376.30</td><td>6381.40</td><td>28</td></tr> <tr><td>4</td><td>23/04/2010</td><td>D</td><td>382.70</td><td>6810.06</td><td>28</td></tr> <tr><td>5</td><td>23/04/2010</td><td>A</td><td>383.18</td><td>6473.78</td><td>28</td></tr> <tr><td>6</td><td>24/04/2010</td><td>A</td><td>386.88</td><td>6223.94</td><td>28</td><td rowspan="2"> B CONO Y HENDEURA  </td> </tr> <tr><td>7</td><td>24/04/2010</td><td>C</td><td>388.89</td><td>6238.47</td><td>28</td></tr> <tr><td>8</td><td>24/04/2010</td><td>D</td><td>370.46</td><td>6292.07</td><td>28</td><td rowspan="3"> C CONO Y CORTE  </td> </tr> <tr><td>9</td><td>24/04/2010</td><td>B</td><td>370.44</td><td>6292.00</td><td>28</td></tr> <tr><td>10</td><td>24/04/2010</td><td>D</td><td>387.27</td><td>6248.66</td><td>28</td></tr> <tr><td>11</td><td>25/04/2010</td><td>D</td><td>369.34</td><td>6133.38</td><td>28</td><td rowspan="2"> D CORTE  </td> </tr> <tr><td>12</td><td>25/10/2010</td><td>C</td><td>383.88</td><td>6198.32</td><td>28</td></tr> <tr><td>13</td><td>25/04/2011</td><td>C</td><td>382.60</td><td>6178.61</td><td>28</td><td rowspan="9"> E COLUMNAR  </td> </tr> <tr><td>14</td><td>25/10/2011</td><td>C</td><td>386.88</td><td>6223.94</td><td>28</td></tr> <tr><td>15</td><td>25/04/2012</td><td>D</td><td>382.79</td><td>6182.89</td><td>28</td></tr> <tr><td>16</td><td>26/04/2010</td><td>C</td><td>332.74</td><td>4763.43</td><td>28</td></tr> <tr><td>17</td><td>26/04/2010</td><td>D</td><td>341.83</td><td>4883.24</td><td>28</td></tr> <tr><td>18</td><td>26/04/2010</td><td>D</td><td>369.82</td><td>6011.74</td><td>28</td></tr> <tr><td>19</td><td>26/04/2010</td><td>A</td><td>361.37</td><td>6018.61</td><td>28</td></tr> <tr><td>20</td><td>26/04/2010</td><td>D</td><td>362.28</td><td>6032.24</td><td>28</td></tr> <tr><td>21</td><td>26/04/2010</td><td>C</td><td>368.20</td><td>6117.21</td><td>28</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td></tr> </tbody> </table>						REFERENCIA CILINDRO	FECHA DE ROTURA	TIPO DE FALLA	RESISTENCIA Kg/cm ²	RESISTENCIA P.S.I	EDAD DIAS(ENBAYO)	TIPO DE FALLA	1	23/04/2010	D	381.83	6464.64	28	A CONO 	2	23/04/2010	C	376.31	6376.90	28	3	23/04/2010	D	376.30	6381.40	28	4	23/04/2010	D	382.70	6810.06	28	5	23/04/2010	A	383.18	6473.78	28	6	24/04/2010	A	386.88	6223.94	28	B CONO Y HENDEURA 	7	24/04/2010	C	388.89	6238.47	28	8	24/04/2010	D	370.46	6292.07	28	C CONO Y CORTE 	9	24/04/2010	B	370.44	6292.00	28	10	24/04/2010	D	387.27	6248.66	28	11	25/04/2010	D	369.34	6133.38	28	D CORTE 	12	25/10/2010	C	383.88	6198.32	28	13	25/04/2011	C	382.60	6178.61	28	E COLUMNAR 	14	25/10/2011	C	386.88	6223.94	28	15	25/04/2012	D	382.79	6182.89	28	16	26/04/2010	C	332.74	4763.43	28	17	26/04/2010	D	341.83	4883.24	28	18	26/04/2010	D	369.82	6011.74	28	19	26/04/2010	A	361.37	6018.61	28	20	26/04/2010	D	362.28	6032.24	28	21	26/04/2010	C	368.20	6117.21	28																					
REFERENCIA CILINDRO	FECHA DE ROTURA	TIPO DE FALLA	RESISTENCIA Kg/cm ²	RESISTENCIA P.S.I	EDAD DIAS(ENBAYO)	TIPO DE FALLA																																																																																																																																																														
1	23/04/2010	D	381.83	6464.64	28	A CONO 																																																																																																																																																														
2	23/04/2010	C	376.31	6376.90	28																																																																																																																																																															
3	23/04/2010	D	376.30	6381.40	28																																																																																																																																																															
4	23/04/2010	D	382.70	6810.06	28																																																																																																																																																															
5	23/04/2010	A	383.18	6473.78	28																																																																																																																																																															
6	24/04/2010	A	386.88	6223.94	28	B CONO Y HENDEURA 																																																																																																																																																														
7	24/04/2010	C	388.89	6238.47	28																																																																																																																																																															
8	24/04/2010	D	370.46	6292.07	28	C CONO Y CORTE 																																																																																																																																																														
9	24/04/2010	B	370.44	6292.00	28																																																																																																																																																															
10	24/04/2010	D	387.27	6248.66	28																																																																																																																																																															
11	25/04/2010	D	369.34	6133.38	28	D CORTE 																																																																																																																																																														
12	25/10/2010	C	383.88	6198.32	28																																																																																																																																																															
13	25/04/2011	C	382.60	6178.61	28	E COLUMNAR 																																																																																																																																																														
14	25/10/2011	C	386.88	6223.94	28																																																																																																																																																															
15	25/04/2012	D	382.79	6182.89	28																																																																																																																																																															
16	26/04/2010	C	332.74	4763.43	28																																																																																																																																																															
17	26/04/2010	D	341.83	4883.24	28																																																																																																																																																															
18	26/04/2010	D	369.82	6011.74	28																																																																																																																																																															
19	26/04/2010	A	361.37	6018.61	28																																																																																																																																																															
20	26/04/2010	D	362.28	6032.24	28																																																																																																																																																															
21	26/04/2010	C	368.20	6117.21	28																																																																																																																																																															
Observaciones: _____																																																																																																																																																																				
3. DATOS DE ELABORACIÓN																																																																																																																																																																				
	25.1. ELABORADO POR:	25.1. REVISADO POR:	25.2. APROBADO POR:																																																																																																																																																																	
CARGO:	Técnico Laboratorio de Suelos	Técnico Laboratorio de Suelos	Director de Dependencia																																																																																																																																																																	
NOMBRE:	SILVIO F. CABRERA S.																																																																																																																																																																			
FIRMA:																																																																																																																																																																				

