

**CORRELACIÓN ENTRE EL NÚMERO DE REBOTE (NTC 3692) Y LA
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (NTC 673) EN CILINDROS DE CONCRETO,
UTILIZANDO MATERIALES DE LA MINA “EL ESPINO” Y LAS CANTERAS
“PABÓN” Y “PILCUAN”**

**FREDDY JAVIER DELGADO ESTRADA
JOSE LUIS GUERRERO BENAVIDES**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2015**

**CORRELACIÓN ENTRE EL NÚMERO DE REBOTE (NTC 3692) Y LA
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (NTC 673) EN CILINDROS DE CONCRETO,
UTILIZANDO MATERIALES DE LA MINA “EL ESPINO” Y LAS CANTERAS
“PABÓN” Y “PILCUAN”**

**FREDDY JAVIER DELGADO ESTRADA
JOSE LUIS GUERRERO BENAVIDES**

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

**Director:
ING. JORGE LUIS ARGOTY BURBANO
M.S.C Ingeniería de vías y carreteras**

**Codirector:
ING. OSCAR MELO
Esp. Patología**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2015**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo de grado son responsabilidad exclusiva de los autores.

Artículo 1° del Acuerdo No. 324 de Octubre 11 de 1966, emanado por el Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

“La Universidad de Nariño no se hace responsable de las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho de autor”.

Artículo 13, Acuerdo N. 005 de 2010 emanado del Honorable Consejo Académico.

Nota de aceptación

Firma del presidente de la Tesis

Firma del Jurado

Firma del Jurado

San Juan de Pasto, Septiembre de 2015

AGRADECIMIENTOS

Ing. OSCAR MELO, nuestro Codirector de trabajo de grado, quien financió esta investigación y nos guió constantemente en el desarrollo de esta.

Ing. JORGE LUIS ARGOTY BURBANO, nuestro Director de proyecto, quien nos ayudó en el desarrollo y presentación de esta investigación.

Ing. GERMAN CHAVES P., director de laboratorios, quien nos ayudó con las instalaciones de laboratorios y la calibración de equipos.

GUSTAVO ADOLFO PONCE, auxiliar de laboratorios, quien en todo momento nos guió en los respectivos ensayos de laboratorio.

Al programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Nariño, a nuestros compañeros, amigos y profesores y por lo enriquecedora que ha sido la carrera y por brindarnos los conocimientos con los que desarrollamos la investigación.

A nuestra Universidad de Nariño, por ser la sede de muchos de nuestros éxitos y trabajos.

DEDICATORIA

Gracias a Dios, a nuestros padres, hermanos, familiares, colegas y amigos pudimos lograr la realización de esta investigación, por eso, este trabajo está dedicado a ellos, quienes de alguna forma aportaron su granito de arena y nos guían para salir siempre adelante.

RESUMEN

Esta investigación se hace con el fin de hacer una correlación entre dos métodos para calcular la resistencia del concreto, uno es el número de rebote (NTC 3692) y el otro es la resistencia a la compresión (NTC 673). Para la fabricación del concreto se utilizaron dos mezclas, la una se hizo con arena de la cantera "El Espino" y triturado de la mina "Pabón" y la segunda mezcla se hizo con arena de la cantera "El Espino" y triturado de la mina "Pilcuan". El cemento utilizado para ambas mezclas es "Argos" Portland tipo 1.

Con los dos tipos de mezcla se fabricó cilindros de concreto de 30 cm de alto y 15 cm de diámetro, elaborados con diferentes dosificaciones que den resistencias cercanas a los 2500, 3000, 3500 y 4000 psi. Por cada resistencia y para cada mezcla se realizaron 20 cilindros, de los cuales 10 fueron ensayados mediante la norma NTC 3692, número de rebote, y los otros 10 mediante la norma NTC 673, resistencia a la compresión. Cabe destacar que para mezcla de Pabón a las diferentes resistencias también se realizó concreto con acelerante a los 7 y 14 días.

Al obtener los resultados de la resistencia por ambos métodos, se correlacionó estos mediante una gráfica XY en la cual se obtiene una ecuación de tipo exponencial, ecuación que es ingresada al esclerómetro mediante el programa de computadora HAMMERLINK, para que así mediante el esclerómetro se pueda obtener cálculos de resistencias al concreto como si se hiciera el ensayo de compresión.

ABSTRACT

This research was done in order to make a correlation between two methods for calculating the strength of concrete, one is the number of rebound (NTC 3692) and the other is the compressive strength (NTC 673). For the manufacture of concrete two mixtures were used, one was made with sand from the quarry "El Espino" and crushed the "Pabon" mine and the second mixture is made with sand from the quarry "El Espino" and crushed the "Pilcuan" mine. The cement used for both mixes is "Argos" Portland type 1.

With both types of mixing concrete cylinders 30 cm high and 15 cm in diameter, made with different dosages giving resistance near 2500, 3000, 3500 and 4000 psi was manufactured. Each resistor and each mixture were conducted cylinders 20, of which 10 were tested by the NTC 3692 standard, rebound number, and the other 10 by NTC 673 standard compressive strength. Note that for the mixing of different resistances Pabón also performed concrete accelerant at 7 and 14 days.

To get the results of resistance by both methods, they are correlated by an XY graph in which an exponential equation is obtained equation is entered into esclerómetro by computer program Hammerlink, so that by esclerómetro you can obtaining the specific resistance calculations as if the compression test was made.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.....	15
1. MARCO TEÓRICO	18
1.1 DEFINICIÓN DE CONCRETO	18
1.2 MATERIAS PRIMAS DEL CONCRETO	18
1.2.1 Agua.	18
1.2.2 Cemento:	19
1.2.3 Agregados.....	19
1.3 OBTENCION DE LOS AGREGADOS NATURALES.....	21
1.3.1 Elección de bancos de material:.....	21
1.4 PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS ³	21
1.5 PROPIEDADES MECÁNICAS	24
1.6 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO	26
1.7 ADITIVOS	27
1.7.1 Tipos de aditivos:	28
1.8 ESCLEROMETRÍA	29
1.9. ANTECEDENTES	42
1.9.1. “Correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del concreto fabricado con materiales pétreos de la mina Las Terrazas y cantera La Victoria del municipio de Pasto”. Augusto James y Legarda Paulo:.....	42
1.9.2. “Análisis de materiales para concretos en el municipio el Charco en la costa norte pacífico nariñense”. Guevara Pantoja Luz Alba, Rubio García Luis Carlos.	43
1.9.3. Título C. Asociación colombiana de ingeniería sísmica. 2010. Normas colombianas de diseño y construcción sismo resistente NSR-10: decreto número 1030 de 2010:	44
2. TRABAJO DE CAMPO.....	45

2.1	SELECCIÓN DE LOS MATERIALES.....	45
2.1.1.	Transporte y almacenamiento.....	45
2.2	ENSAYOS A LOS MATERIALES.....	45
2.3	PROPORCIONES DE MEZCLA TÍPICAS.....	45
2.4	USO DE FLUIDIFICANTE.....	47
2.5	USO DE ACELERANTE.....	47
2.6	CANTIDAD DE CILINDROS A ENSAYAR.....	48
2.7	ENSAYOS A LOS CILINDROS DE CONCRETO.....	48
3.	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	51
3.1	RESULTADOS MEZCLAS A 28 DÍAS.....	51
3.2	RESULTADOS COMPARATIVOS ENTRE PROBETAS SOMETICAS SOLO A COMPRESION Y PROBETAS SOMETIDAS A ESCLEROMETRIA Y POSTERIORMENTE A COMPRESION.....	53
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	56
4.1	ANÁLISIS PARA RESULTADOS DE MEZCLA 1 A 28 DÍAS.....	57
4.2	ANÁLISIS PARA RESULTADOS DE MEZCLA 2 A 28 DÍAS.....	59
4.3	ANÁLISIS PARA RESULTADOS DE MEZCLA 1 A 7 Y 14 DÍAS CON ACELERANTE.....	61
4.4	RESULTADOS GENERALES PARA MEZCLAS A 28 DÍAS, 7 DÍAS CON ACELERANTE Y 14 DÍAS CON ACELERANTE EN RANGOS DE 2500 A 4000 PSI.....	65
4.5	ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE CILINDROS SOMETIDOS SOLO A COMPRESION Y CILINDROS SOMETIDOS A ESCLEROMETRIA Y COMPRESIÓN.....	70
5.	ANÁLISIS ECONÓMICO.....	71
5.1	MEZCLA 1 TRITURADO PABON+ARENA ESPINO.....	71
5.2	MEZCLA 2 TRITURADO PILCUAN+ARENA ESPINO.....	73
5.3	EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS.....	75
5.4	ALQUILER ESCLEROMETRIA.....	75
5.5	COMPARACION ECONOMICA EXTRACCIÓN DE NÚCLEOS Y	

	ENSAYO DE ESCLEROMETRIA.....	75
6.	CONCLUSIONES	76
7.	RECOMENDACIONES	78
	BIBLIOGRAFIA.....	79

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Prueba no destructiva	17
Figura 2. Partes del esclerómetro Silver SHMIDT	30
Figura 3. Interfaz del esclerómetro Silver SCHMIDT	31
Figura 4. Opciones estadísticas esclerómetro Silver SCHMIDT	32
Figura 5. Selección de curvas esclerómetro SILVERSCHMIDT	33
Figura 6. Curva esclerómetro Silver SCHMIDT	34
Figura 7. Curva REF N del esclerómetro Silver SCHMIDT	35
Figura 9. Factores de forma del esclerómetro Silver SCHMIDT	36
Figura 10. Selección de niveles de carbonatación del esclerómetro Silver SCHMIDT	38
Figura 11. Interfaz software Hammerlink.	39
Figura 12. Ejemplo de curva personalizada en Excel.....	40
Figura 13. Personalización de una curva	40
Figura 14. Personalización de una curva	41
Figura 15. Personalización de una curva	41
Figura 16. Personalización de una curva	42
Figura 17. Selección de la curva personalizada	42
Figura 18. Molde cilíndrico utilizado para elaboración de probetas	49
Figura 19. Ensayo de compresión a una probeta cilíndrica	50
Figura 20. Ensayo de esclerometría a una probeta cilíndrica	50
Figura 21. Curva de tendencia para mezcla 1 a 2500 psi	57
Figura 22. Curva de tendencia para mezcla 1 a 3000 psi	57
Figura 23. Curva de tendencia para mezcla 1 a 3500 psi	58
Figura 24. Curva de tendencia para mezcla 1 a 4000 psi	58
Figura 25. Curva de tendencia para mezcla 2 a 2500 psi	59
Figura 26. Curva de tendencia para mezcla 2 a 3000 psi	59
Figura 27. Curva de tendencia para mezcla 2 a 3500 psi	60
Figura 28. Curva de tendencia para mezcla 2 a 4000 psi	60
Figura 29. Curva de tendencia para mezcla 1 a 7 días - 2500 psi.....	61

Figura 30. Curva de tendencia para mezcla 1 a 7 días - 3000 psi.....	62
Figura 31. Curva de tendencia para mezcla 1 a 7 días - 3500 psi.....	62
Figura 32. Curva de tendencia para mezcla 1 a 7 días - 4000 psi.....	63
Figura 33. Curva de tendencia para mezcla 1 a 14 días - 2500 psi.....	63
Figura 34. Curva de tendencia para mezcla 1 a 14 días - 3000 psi.....	64
Figura 35. Curva de tendencia para mezcla 1 a 14 días - 3500 psi.....	64
Figura 36. Curva de tendencia para mezcla 1 a 14 días - 4000 psi.....	65
Figura 37. Curva general mezcla 1 a 28 días.....	66
Figura 38. Curva general mezcla 2 a 28 días.....	67
Figura 39. Curva general mezcla 1 a 7 días con acelerante	68
Figura 40. Curva general mezcla 1 a 14 días con acelerante	69

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Cantidades de material estimadas por metro cubico de concreto y resistencias probables obtenidas.	46
Tabla 2. Proporciones de mezcla utilizadas.....	47
Tabla 3. Cantidad de cilindros de concreto laborados.....	48
Tabla 4. Resultados mezcla 1 concreto a 28 días.....	51
Tabla 5. Resultados mezcla 1 concreto a 28 días con filtro estadístico.	52
Tabla 6. Resultados mezcla 2 concreto a 28 días con filtro estadístico.	52
Tabla 7. Resultados mezcla 1 de concreto con acelerante a 7 días con filtro estadístico.....	53
Tabla 8. Resultados mezcla 1 de concreto con acelerante a 14 días con filtro estadístico.	53
Tabla 9. Pruebas de hipótesis para mezcla 1 a 28 días.....	54
Tabla 10. Pruebas de hipótesis para mezcla 2 a 28 días.....	55
Tabla 11. Pruebas de hipótesis para mezcla 1 a 7 días acelerante	55
Tabla 12. Pruebas de hipótesis para mezcla 1 a 14 días acelerante	55
Tabla 13. Valor m3 de concreto de 2500 psi.....	71
Tabla 14. Valor m3 de concreto 3000 psi.....	72
Tabla 15. Valor m3 de concreto 3500 psi.....	72
Tabla 16. Valor m3 de concreto 4000 psi.....	73
Tabla 17. Valor m3 de concreto de 2500 psi.....	73
Tabla 18. Valor m3 de concreto de 3000 PSI	74
Tabla 19. Valor m3 de concreto de 3500 psi.....	74
Tabla 20. Valor de m3 de concreto de 4000 psi.....	75

INTRODUCCION

En la actualidad la tecnología del concreto se está desarrollando de tal manera que las exigencias de este son muy altas en cuanto a costos y sobre todo a su resistencia.

La resistencia del concreto depende fundamentalmente de la calidad y cantidad de los materiales que lo conforman. Muchas obras de ingeniería civil pueden poseer una calidad de concreto muy mala, por lo tanto una mala resistencia, la cual se debe determinar a partir de diferentes ensayos como por ejemplo el ensayo de compresión, si hay testigos de concreto, o la extracción de núcleos.

Por lo general, en obras de concreto que tienen varios años de construidas no hay testigos de concreto por diferentes motivos, por lo cual la mayoría de especialistas se inclinan por hacer una extracción de núcleos, ensayo de tipo destructivo que por lo general desestabiliza el elemento estructural en donde se extrae los cilindros de concreto como una viga o una columna.

Para evitar los ensayos de tipo destructivos que dañan el elemento estructural, se han creado instrumentos que determinan la resistencia del concreto de una manera no destructiva como lo es el esclerómetro o martillo de rebote.

Este trabajo está elaborado con el fin de establecer una medición de la resistencia del concreto haciendo uso del esclerómetro, pero corrigiendo su medida a través de una correlación con el ensayo de compresión de cilindros de concreto debido a que este último es una medida directa para obtener la resistencia del concreto, además de detallar el procedimiento aplicado y finalmente obtener la correlación existente entre la resistencia obtenida a partir del ensayo de compresión y la obtenida a partir del ensayo de esclerometría.

OBJETIVOS

Objetivo general

Realizar una correlación entre el número de rebote (NTC 3692) y la resistencia a la compresión (NTC 673) del concreto utilizando materiales de la mina "El Espino" y las canteras "Pabón", "Pilcuan"

Objetivos específicos

- ✓ Elaborar 20 cilindros de concreto para cada resistencia a obtener: 2500 psi, 3000 psi, 3500 psi y 4000 psi por cada combinación de mezcla hecha con los

- ✓ agregados de la mina El Espino y las canteras Pabón y Pilcuan, a los cuales se les medirá su resistencia a la compresión mediante la norma NTC 673 a los 28 días de curado.
- ✓ Elaborar 20 cilindros de concreto para cada resistencia a obtener: 2500 psi, 3000 psi, 3500 psi y 4000 psi por cada combinación de mezcla hecha con los agregados de la mina El Espino y las canteras Pabón y Pilcuan, a los cuales se les medirá su resistencia a la compresión mediante la norma NTC 3692 a los 28 días de curado.
- ✓ Encontrar una expresión que permita correlacionar la obtención de la resistencia a la compresión, entre el ensayo de la norma NTC 3692 y la norma NTC 673, de los especímenes cilíndricos de concreto fabricados con los agregados de la mina El Espino y las canteras Pabón y Pilcuan.
- ✓ Realizar el ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto (NTC 673) a los mismos especímenes a los cuales se les hizo el ensayo para medir el número de rebote (NTC 3692) para determinar si el uso del esclerómetro afecta la resistencia de dichos especímenes.
- ✓ Realizar el ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos (NTC 673) y el ensayo del número de rebote (NTC 3692) para especímenes cilíndricos de concreto hechos únicamente con materiales de la mina El Espino y triturado de Pabón, para las resistencias propuestas y con acelerantes a 7 y 14 días y así determinar el comportamiento de la resistencia a la compresión con los dos ensayos habiendo utilizado acelerantes.
- ✓ Realizar un análisis económico de cada mezcla de concreto por m³, teniendo en cuenta que los precios de los materiales varían dependiendo de su procedencia, igualmente por el uso de aditivos.

JUSTIFICACION

Debido a la dificultad y los costos adicionales que conlleva realizar pruebas destructivas, se ve necesario la aplicación de pruebas no destructivas, las cuales pueden llegar a tener un alto grado de aproximación si se hace un estudio de las propiedades de los agregados a utilizar en las mezclas de concreto (especímenes cilíndricos) que se utilizaran para determinar su resistencia. Esto sumado a ensayos en laboratorio para determinar la resistencia a compresión del concreto por medio de probetas cilíndricas que se someterán a compresión, llevará a determinar la variación entre la resistencia a la compresión del concreto y la resistencia calculada por medio de pruebas no destructivas en este caso con esclerómetro. (Ver Figura 1)



Figura 1. Prueba no destructiva

Con estos datos la medición de la resistencia a la compresión del concreto en una obra de la región que utilice los agregados de las fuentes mencionadas en esta investigación con las dosificaciones especificadas aquí, tendrá un valor con una mayor aproximación al valor real. Esto facilitará en gran medida el control de calidad a la resistencia a la compresión de aquellas obras en donde ya no sea posible realizar ensayos destructivos o que no hayan tenido un control de calidad riguroso en la fabricación del concreto y el curado del mismo. Para el ensayo del número de rebote existen otras normas similares a la NTC 3692, como lo son la norma ASTM C 805 (idéntica la NTC 3692), la norma española UNE 12504, la norma chilena NCh 1565, la norma mexicana NMX-C-192-ONNCCE-2006, entre otras. Estas normas tienen como elemento común especificaciones mínimas, las cuales señalan que el ensayo se haga como mínimo en 100 mm de espesor, en un área de al menos 150 mm de diámetro y se deben hacer 10 impactos por cada área de ensayo, sin embargo, la diferencia entre ellas es que en las normas NTC, ASTM, UNE y NMX, si alguna lectura difiere en más de 6 unidades del promedio de las 10 lecturas, esta debe descartarse y deben eliminarse todas las lecturas de un área de ensayo si se descartan 3 o más lecturas, en cambio en la norma chilena se deben descartar las lecturas que difieran en más de 7 unidades del promedio de las 10 lecturas y deben eliminarse todas las lecturas de un área de ensayo si se descartan 3 o más lecturas.

Esto significa que la norma escogida, la NTC 3692 es más rigurosa en cuanto a los resultados obtenidos en el ensayo. Es por esto y gracias a que esta norma es idéntica a la ASTM y similar a otras normas ampliamente reconocidas como la norma mexicana y española, que es escogida para aplicar en esta investigación.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 DEFINICIÓN DE CONCRETO

El concreto es una mezcla de cemento, agregado grueso o piedra, agregado fino o arena y agua. El cemento, el agua y la arena constituyen el mortero cuya función es unir las diversas partículas de agregado grueso, llenando los vacíos que quedan entre ellas. “Algunas veces este concreto hidráulico, técnicamente llamado así por utilizar agua en su producción, también está compuesto por aditivos que son útiles para mejorar su resistencia, fluidez, acelerar el proceso de fraguado o retardarlo; indirectamente el aire también forma parte de este concreto ya que queda atrapado en la estructura del concreto”¹.

Este producto o material se ha utilizado en la industria de la construcción por su fácil producción, propiedades mecánicas y economía. Se podría decir que el concreto es una roca producida por el hombre la cual posee una gran resistencia a la compresión y poca a la tracción, es por esto último que se ha combinado con el acero para compensar este defecto, para que este sea quien absorba los esfuerzos de tracción que se puedan presentar, dando lugar al llamado concreto reforzado.

En la producción del concreto intervienen muchas variables a tener en cuenta para que no se vea afectado el comportamiento del material. Por esta razón es indispensable obtener o clasificar de la mejor manera los materiales a utilizar en la producción de este concreto, por lo tanto se debe tener un excelente conocimiento de las materias primas a utilizar, ya que estas varían de una región a otra considerablemente.

1.2 MATERIAS PRIMAS DEL CONCRETO

1.2.1 Agua. El agua empleada en la mezcla debe ser limpia, libre de aceites, ácidos, álcalis, sales y materias orgánicas. En general el agua potable es la adecuada para la fabricación del concreto. Su función principal es hidratar el cemento, pero también sirve para darle manejabilidad a la mezcla¹.

Se puede decir que se necesita agua suficiente para hidratar el cemento y para

¹ AUGUSTO, James y LEGARDA, Paulo. Diseño de estructuras de concreto armado, Teodoro Harmsen, fondo editorial, 2005; Correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del concreto fabricado con materiales pétreos de la mina Las Terrazas y cantera La Victoria del municipio de Pasto. 2011.

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.

1.2.2 Cemento. El cemento se obtiene de la pulverización del Clinker, el cual es producido por la calcinación hasta la fusión incipiente de materiales calcáreos y arcillosos. Su peso específico varía entre 3.08 a 3.2 gr/cm³ para el cemento Portland tipo I. Está constituido por los siguientes componentes²:

- Silicato tricálcico, el cual le confiere su resistencia inicial e influye directamente en el calor de hidratación.
- Silicato dicálcico, el cual define la resistencia a largo plazo y no tiene tanta incidencia en el calor de hidratación.
- Aluminio tricálcico, es un catalizador en la reacción de los silicatos y ocasiona un fraguado violento. Para retrasar este fenómeno, es preciso añadirle yeso durante la fabricación del cemento.
- Aluminio-Ferrito Tetracálcico, influye en la velocidad de hidratación y secundariamente en el calor de hidratación.
- Componentes menores: óxidos de magnesio, potasio, sodio, manganeso y titanio.

Clasificación de los cementos portland:

- Portland tipo I: es el destinado a obras de hormigón en general, en las que no se requiere propiedades especiales.
- Portland tipo IM: alcanza resistencias superiores a las del tipo I.
- Portland tipo II: es resistente a la acción moderada de sulfatos y el desprendimiento de calor es menor que los normales.
- Portland tipo III: alcanza alta resistencia inicial.
- Portland tipo IV: el desprendimiento del calor es bajo.
- Portland tipo V: Ofrece alta resistencia a la acción de sulfatos.
- Portland tipo blanco: Se elabora con materias primas seleccionadas que no contienen óxidos de hierro, por eso su coloración. Se usa para decoración.

1.2.3 Agregados. Los agregados (arena y grava) son un factor determinante en la producción del concreto ya que 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 Ibíd.

- **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/cm^2 o 25 MPa se deben usar tamaños máximos menores para aumentar la eficiencia del cemento.

Características de un buen agregado grueso:

- La granulometría debe ser bien gradada.
- 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.
- La densidad debe estar entre $2.3\text{-}2.9 \text{ g/cm}^3$; en la medida que se aumente aumentará la resistencia.
- La absorción debe oscilar entre 1 y 5 %. No se deben contener arcillas ni partículas deleznable.
- El contenido de finos se debe limitar a un valor entre 1 y 3%, para que haya buena adherencia entre el agregado y el cemento.
- El desgaste de 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 del 18%.

Agregado fino (Arenas): se utiliza para llenar vacíos en la mezcla de concreto, además actúa como lubricante para que 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.

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 #100 sea del 3% cuando se

requieren superficies tersas.

- Para evitar segregación del material el módulo de finura de la arena deber estar entre 2.3 y 3.1.
- La presencia de materia orgánica interrumpe parcialmente el proceso de fraguado del cemento.

1.3 OBTENCION DE LOS AGREGADOS NATURALES

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 granulometría deseada.

Ubicación de los bancos de material. Para la ubicación de los bancos de material es necesario fundarse en cartografía de la zona, fotografías aéreas, mapas y cortes geológicos, datos y resultados geotécnicos realizados en la zona e información de personas que conozcan la zona.

1.3.1 Elección de bancos de material. Para esto 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.

1.4 PROPIEDADES FISICAS DE LOS AGREGADOS

Granulometría. Se denomina distribución granulométrica de un suelo a la división del mismo en diferentes fracciones, seleccionadas por el tamaño de sus partículas componentes; las partículas de cada fracción se caracterizan porque su tamaño se encuentra entre un valor máximo y un valor mínimo, en forma correlativa para las

distintas fracciones, de tal modo que el máximo de una fracción es el mínimo de la que sigue correlativamente. La separación de fracciones se hace sencillamente por mallas, cuando es posible el cribado; pero en suelos de grano muy pequeño, que forman grumos, deben adaptarse procedimientos bastante más complicados para separar las partículas individuales y ello da lugar a resultados mucho más confusos, en los que, como se verá, para lograr las fracciones constituyentes ha de recurrirse a hipótesis no muy satisfactorias, llegándose a resultados finales bastante dudosos³.

- **Curvas granulométricas**

Son una representación gráfica de la distribución de tamices de material; esta grafica está compuesta del porcentaje que pasa en cada tamiz en las ordenadas (escala aritmética) y el tamaño de cada tamiz en abscisas (escala logarítmica). Esta escala 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.

- **Tamaño máximo**

Está definido como la menor abertura del tamiz que permite el paso de la totalidad de la muestra. Indica la dimensión de la partícula más grande que hay en la muestra.

- **Módulo de finura**

El módulo de finura, también llamado módulo granulométrico por algunos autores, no es un índice de granulometría, ya que un número infinito de tamizados da el mismo valor para el módulo de finura. Sin embargo, da una idea del grosor o finura del agregado, por este motivo se prefiere manejar el termino de módulo de finura.

El módulo de finura se calcula sumando los porcentajes retenidos acumulados en los tamices estándar y dividiendo la suma entre 100.

Cambios significativos en la granulometría de la arena tienen una repercusión importante en la demanda de agua y, en consecuencia, en la trabajabilidad del hormigón, por lo que si hubiese una variación significativa en la granulometría de la arena deben hacerse ajustes en el contenido de cemento y agua para conservar la resistencia del hormigón. Para no tener que recalcular la

dosificación del hormigón el módulo de finura del agregado fino, entre envíos sucesivos, no debe variar en más de ± 0.2 .

- **Porcentaje de finos**

Se define como el porcentaje que pasa el tamiz No. 200 (0.074mm).

- **Textura**

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 se puede decir si un material es liso o áspero; cuando el material proviene de río generalmente es liso debido a la abrasión que se produce cuando el material es arrastrado por la corriente de 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.

- **Densidad aparente**

La densidad aparente refleja el contenido total de porosidad en un suelo y es importante para el manejo de los suelos (refleja la compactación y facilidad de circulación de agua y aire). También es un dato necesario para transformar muchos de los resultados de los análisis de los suelos en el laboratorio (expresados en % en peso) a valores de % en volumen en el campo.

La densidad aparente es la relación entre el peso seco de la masa y el volumen ocupado por la masa. Esta puede estar entre 2.2 y 2.8 g/cm³.

- **Absorción**

Es el incremento en la masa del agregado debido al agua en los poros del material, pero sin incluir el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresado como un porcentaje de la masa seca. El agregado se considera como "seco" cuando se ha mantenido a una temperatura de $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por suficiente tiempo para remover toda el agua no combinada.

- **Masa unitaria**

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.
- 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.

1.5 PROPIEDADES MECÁNICAS

• Resistencia

La falla de un concreto está regida por las resistencias relativas del agregado, la pasta y de lo que se conoce como la interface de adherencia. Por lo general, en los agregados naturales de peso normal (baja porosidad) sucede que las partículas tienen una resistencia superior a la de la pasta de cemento endurecida, por lo cual la resistencia a la compresión del concreto no se ve muy afectada por la resistencia del agregado a la compresión³.

Sin embargo, la resistencia del agregado cobra importancia cuando este falla antes que la pasta de cemento endurecida, bien sea porque tiene una estructura pobre entre los granos que constituyen las partículas o porque previamente se le han inducido fallas a sus partículas durante el proceso de explotación o por un inadecuado proceso de trituración cuando se trata de conseguir una granulometría dada. Adicionalmente, cuando se aumenta la adherencia por la geometría o la textura superficial del agregado al buscar una alta resistencia en el concreto, también aumenta el riesgo de que las partículas del agregado fallen antes que la pasta de cemento endurecida.

• Adherencia

Tanto la forma de la partícula como la textura de la superficie del agregado influyen considerablemente en la resistencia de los concretos, especialmente en los de alta resistencia y afectan más a la resistencia a la flexión que a la compresión. Una textura más áspera dará por resultado una mayor adhesión o adherencia entre las partículas y la matriz de cemento. Igualmente, la mayor área de superficie de un agregado más angular propiciara una mejor adherencia.

³ SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero. Bogotá: s.n, s.f.

Generalmente, las características de textura que no permiten la penetración de la pasta en la superficie de las partículas no favorece una buena adherencia, por el contrario, las partículas más suaves, porosas y mineralógicamente heterogéneas contribuirán a una mejor adherencia⁴.

Es difícil determinar la calidad de la adherencia y no existe para ello pruebas aceptadas. Por lo general, cuando la adherencia es buena, una muestra de concreto triturado deberá contener en forma dispersa algunas partículas rotas del agregado, además de otras más numerosas separadas de la matriz de la pasta. Sin embargo, un exceso de las partículas fracturadas sugiere que el agregado es demasiado débil.

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.

- **Tenacidad**

La tenacidad o resistencia a la falla por impacto, tiene mucho que ver con el manejo de los agregados, ya que si estos son débiles ante las cargas de impacto se puede alterar su granulometría, aparte de indicar una baja calidad para ser utilizados en concreto. La manera de medirlo también se encuentra especificada en la norma B.S-812. Desde luego, esta tenacidad depende del tipo de roca⁵.

- **Desgaste**

Se define como la resistencia a la abrasión o roce. 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.

- **Sanidad de los agregados⁶**

La sanidad de los agregados se refiere a su capacidad para soportar cambios excesivos en volumen, debidos a cambios en las condiciones ambientales como congelamiento-deshielo, calentamiento-enfriamiento, humedecimiento-secado, los cuales afectan la durabilidad del concreto y pueden comprometer no solo su aspecto superficial (descascamientos) sino también la estabilidad de una estructura (agrietamientos internos), con un fenómeno similar al de la reacción agregado-álcali.

⁴ NEVILLE A. M. y BROOKS. Tecnología del concreto. Bogotá: s.n., s.f.

⁵ SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Op. Cit.

⁶ Ibíd.

- **Resistencia a congelación y deshielo**

Mientras el concreto se encuentra húmedo, las bajas temperaturas que producen congelamiento y el deshielo son muy perjudiciales cuando este aún no ha adquirido su resistencia, debido a esto es muy importante hacer un control a la temperatura de este en obra.

- **Contenido de materia orgánica**

La materia orgánica es la que corresponde a la descomposición de los vegetales y sustancia carbonosas, cuya composición química es ácido tánico y sus derivados conocidos con el nombre de humus. Las normas a tener en cuenta son la NTC 127 y 174.

1.6 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto, dada la importancia que reviste esta propiedad, dentro de una estructura convencional de concreto reforzado. La forma de expresarla es, en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm^2 , con alguna frecuencia en libras por pulgada cuadrada (psi) y hoy en día también se expresa en mega Pascales (MPa) de acuerdo con el sistema internacional.

La forma de evaluar la resistencia del concreto es mediante pruebas mecánicas que pueden ser destructivas, para lo cual se toman muestra y se hacen especímenes para fallar, o no destructivas, las cuales permiten probar repetidamente la muestra de manera que se pueda estudiar la variación de la resistencia u otras propiedades con el paso del tiempo.

Para esta investigación se utilizará el ensayo de cilindros de concreto. Este ensayo es universalmente reconocido para ejecutar pruebas de resistencia mecánica a la compresión simple. Estos cilindros se funden en moldes especiales de acero o hierro fundido que tienen 150 mm de diámetro por 300 mm de altura (relación diámetro: altura 1:2). Los procedimientos relativos a este ensayo se encuentran especificados en las normas NTC 550 y NTC 673, que hacen referencia a la confección de los cilindros y al ensayo de resistencia de compresión, respectivamente.

La resistencia a la compresión del concreto es una propiedad física que se emplea frecuentemente en cálculos para diversas estructuras como edificios, puentes, y otras obras estructurales. Por lo general, se fabrican concretos que van de 210 hasta 350 kg/cm^2 para obras que no requieren concretos de altas resistencias.

El ensayo de la resistencia a la compresión de un concreto es de gran importancia para la aceptación de una resistencia especificada en cualquier obra, verificar proporciones de los materiales en una mezcla de concreto, hacer control de calidad, saber el tiempo en el cual la estructura se puede poner en servicio, evaluar que el curado sea adecuado y la protección del concreto en la estructura, o programar la remoción de formaletas y los puntales.⁷

1.7 ADITIVOS

Los aditivos son considerados un ingrediente más del concreto y son empleados para modificar las propiedades de este, de tal modo que lo hagan más adecuado para las condiciones de trabajo o por economía. Estos se pueden añadir a la mezcla antes o durante su mezclado⁸.

Los aditivos tienen las siguientes funciones según su tipo:

- Aumentar la trabajabilidad sin aumentar el contenido de agua o para reducir el contenido de agua, logrando la misma trabajabilidad.
- Acelerar la velocidad de desarrollo de resistencia a edades tempranas.
- Aumentar la resistencia.
- Retardar o acelerar el fraguado inicial.
- Retardar o reducir el desarrollo de calor.
- Modificar la velocidad o la aptitud de exudación o ambos.
- Aumentar la durabilidad o la resistencia a condiciones severas de exposición, incluyendo la aplicación de sales para quitar el hielo.
- Controlar la expansión causada por la reacción de los álcalis con ciertos constituyentes de los agregados.
- Reducir el flujo capilar de agua.
- Reducir la permeabilidad a los líquidos.
- Para producir concreto celular.
- Mejorar la penetración y el bombeo.
- Reducir el asentamiento, especialmente en mezclas para rellenos.
- Reducir o evitar el asentamiento o para originar una leve expansión en el concreto o mortero, usado para rellenar huecos y otras aberturas en estructuras de concreto y en rellenos para cimentación de maquinaria, columnas o trabes, o para rellenar ductos de cables de concreto postensionado o vacíos en agregado precolocado.
- Aumentar la adherencia del concreto y el acero.
- Aumentar la adherencia entre concreto viejo y nuevo.
- Producir concreto o mortero de color.

⁷ AUGUSTO, James y LEGARDA, Paulo, Op. Cit.

⁸ SÁNCHEZ DE GUZMÁN, Op. Cit.

- Obtener concretos o morteros con propiedades fungicidas, germicidas o insecticidas.
- Inhibir la corrosión de metales sujetos a corrosión embebidos en el concreto.
- Reducir el costo unitario del concreto.

1.7.1 Tipos de aditivos. Según su función estos se clasifican en:

- Aditivos inclusores de aire
- Aditivos reductores de agua
- Aditivos retardantes
- aditivos acelerantes
- Aditivos súper plastificantes o fluidificantes
- Aditivos minerales
- Otros aditivos

En esta investigación se utilizaron aditivos del tipo reductores de agua y súper plastificantes para alcanzar las resistencias requeridas en el caso de las mezclas de 3500 psi y de 4000 psi. Por otro lado se utilizaron aditivos acelerantes para la acelerar el tiempo de fraguado y obtener la resistencia especificada en 7 y 14 días.

La norma por la cual se rigen los aditivos para concreto es la NTC 1299.

- **Aditivos reductores de agua⁹**

Este tipo de aditivo es un material que reduce la cantidad de agua de mezclado requerida para producir un concreto con una consistencia determinada o para incrementar el asentamiento del concreto con un contenido dado de agua. Sin embargo, la velocidad de perdida de asentamiento no la reduce y en algunos casos la puede incrementar.

Algunos aditivos de este tipo también pueden utilizarse para retardar o acelerar el fraguado, y algunos pueden incluir cierta cantidad de aire en el concreto.

Los aditivos retardantes usualmente están compuestos químicamente de ácidos lignosulfónicos o sus modificaciones, sales de ácidos carboxílicos hidroxilados. Las especificaciones de este tipo de aditivos se encuentran en la norma ASTM C-494.

- **Aditivos súper plastificantes**

Estos también son llamados aditivos reductores de agua de alto rango, son sustancias químicas que cuando se adicionan a un concreto normal, le imparten

⁹ Ibíd.

una manejabilidad extrema o le proporcionan una reducción extrema de agua, que sobrepasa los límites de aquella obtenida por medio de aditivos reductores de agua normales. La diferencia entre los aditivos súper plastificantes y los reductores de agua, es que los primeros al ser químicamente diferentes a los segundos pueden emplearse para altos niveles de dosificación sin causar problemas de retardo de fraguado o exceso de inclusión de aire.

Este tipo de aditivos son comúnmente utilizados, para:

- Producción de concreto fluido con relaciones de agua-cemento normales de elevado asentamiento.
- Para elementos estructurales con mucho acero de refuerzo, con espacios entre varillas muy reducido
- Producción de concreto de alta resistencia, con relaciones más bajas de lo normal.

Químicamente este tipo de aditivos son polímeros orgánicos, ya sea de melanina sulfonatada o condensados de formaldehído de naftalina sulfonatada; o lignosulfonatos modificados. Estos pueden utilizarse en todo tipo de concreto sin peligro de corrosión para el acero de refuerzo, debido a que no contienen cloruros adicionales.

- **Aditivos acelerantes**

Su función principal es reducir el tiempo de fraguado del concreto y acelerar el desarrollo temprano de la resistencia. El acelerante más utilizado es el cloruro de calcio, el cual debe cumplir con las especificaciones de la norma ASTM D-98 y debe ser ensayado de acuerdo con la norma ASTM D-345.

1.8 ESCLEROMETRÍA

Los ensayos de esclerometría se realizan mediante el esclerómetro o martillo de rebote. Este es un ensayo comparativo que requiere de equipo especial, en este caso el esclerómetro SILVER SCHMIDT, así como también de una correlación ya sea de superficies adyacentes o como en nuestro caso, de concretos testigos (especímenes de concretos fallados a compresión).

Estos ensayos deben aplicarse en superficies sanas, lisas, limpias y sin recubrimiento. Su precisión es baja por lo que se maneja una alta incertidumbre. El resultado puede variar por muchas razones, como son la humedad, el curado, etc. Es muy útil para detectar cambios en el comportamiento del concreto además de dar un valor preliminar de resistencia a la compresión del mismo, lo cual se puede comparar con la extracción de corazones de concreto para correlacionar

estos dos valores. Este ensayo se rige por la norma NTC 3692.¹⁰

Factores que influyen en el ensayo:

- Posición del martillo
- Estado de la superficie (carbonatada aumenta la resistencia)
- Humedad del hormigón (baja la resistencia)
- Concentración de agregado grueso en la superficie (aumenta la resistencia).

1.8.1 Silver Schmidt. SILVER SCHIMIDT es un martillo de rebote para ensayos de hormigón totalmente conforme con EN 12504-2 y EN 13791 (Normas Españolas para ensayos de hormigón) y en el cual se han aplicado las normas ASTM C805 (Norma Americana), JGJ/T 23-2011(Norma China).¹³ (Ver Figura 2)

Para esta investigación se utilizó un martillo SILVER SCHMIDT modelo N, el cual tiene una energía de impacto estándar, por lo cual el objeto de ensayo deberá tener un espesor mínimo de 100mm y estar firmemente fijado en la estructura.

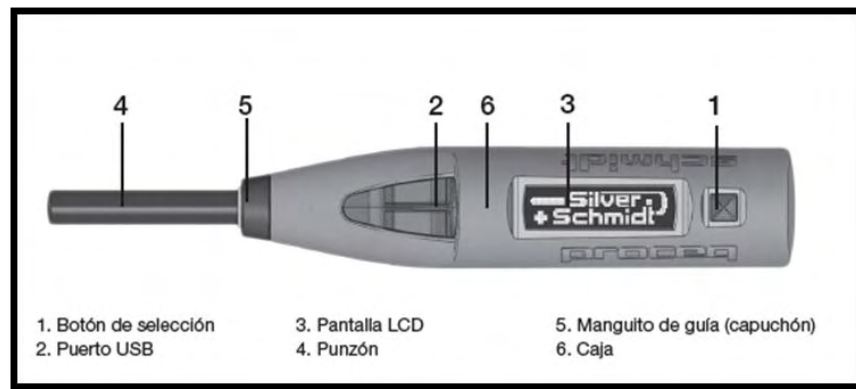


Figura 2. Partes del esclerómetro Silver SHMIDT

• Pantalla del SILVER SCHIMIDT

Este martillo posee una pantalla LCD, en la cual se presentan diferentes opciones y registros. (Ver Figura 3)

¹⁰ DÁMAZO JUÁREZ, José Daniel. Revista digital, Construcción y Tecnología, Mayo 2006. Las estructuras no son eternas, pruebas no destructivas del concreto.

¹³ MANUAL SILVER SCHMIDT.PROCEQ.



Figura 3. Interfaz del esclerómetro Silver SCHMIDT

Una pantalla típica después de un impacto visualizará:

- El valor Q (coeficiente de rebote) actual con un número de dos y medio dígitos
- Una escala pseudo analógica imitando el puntero de arrastre mecánico.
- Un contador visualizando o bien los dos últimos dígitos del totalizador de 4 dígitos, o bien el número actual de impactos válidos en una serie de mediciones.
- **Medición única**

Es una operación en la cual solo habrá una única medición la cual no será guardada en el sistema del martillo. (Ver Figura 4)

- Estadísticas

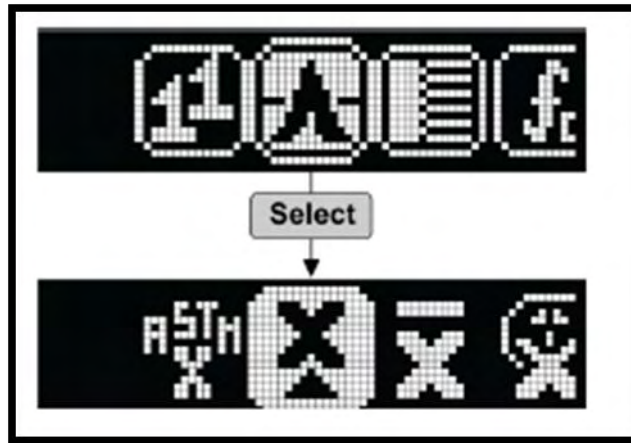


Figura 4. Opciones estadísticas esclerómetro Silver SCHMIDT

SILVER SCHMIDT posee una opción estadística en la cual como se mira en la Figura 4, se presenta de acuerdo a la norma ASTM (Normas establecidas por la American Society for Testing Materials), específicamente a la norma ASTM C805 donde se puede obtener la media, la mediana o un pre-ajuste definido por el usuario respectivamente.

El ajuste de mediana está en conformidad con EN 12504-2. Requiere un mínimo de 9 impactos, de los cuales se calcula la mediana. La serie será inválida si más del 20% de los valores se desvían de la mediana por más de 6.5 Q.

El método ASTM requiere 10 impactos, de los cuales se calcula una media. La serie será inválida si más del 20% de los valores se desvían de la media por más de 6.5 Q. (Ver Figura 5)

- **Curvas de conversión**

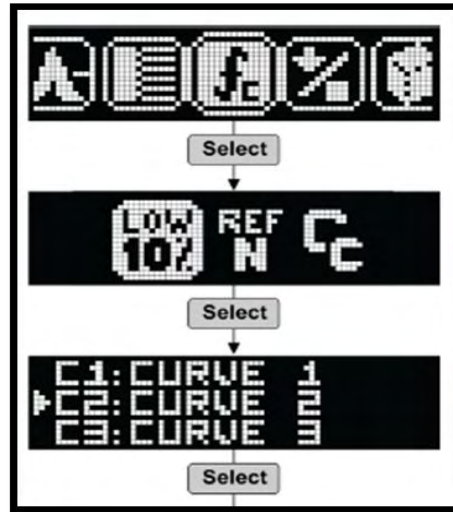


Figura 5. Selección de curvas esclerómetro SILVERSCHEMIDT

Una dispersión reducida y la conversión directa en la resistencia a la compresión, basada en curvas validadas, curvas regionales o curvas definidas por el usuario, proporcionan una precisión perfeccionada de las estimaciones de resistencia a la compresión. En la Figura 5 se observa que se puede escoger entre tres tipos de curvas: Low 10%, Ref. N y CC.

La curva por defecto es LOW 10%. Esta curva se deriva de más de 2300 puntos de datos recogidos en virtud de las pruebas controladas por el Instituto Federal de Investigación y Ensayo de Materiales en Berlín, Alemania, (BAM), la Provincia Instituto de Investigación Ciencias de la Construcción de Shaanxi, China y la Universidad de Hunan, China. Abarca una gran variedad de mezclas de concreto.

Una curva LOW 10% está recomendada por las principales normas EN 13791 y ASTM C805 / ACI 228.1 para proporcionar un margen de seguridad al tener en cuenta los diversos factores que pueden afectar los ensayos in situ. El 90% de los pares de datos se encuentran encima de la curva y el 10% se encuentran por debajo. Esta curva tiene por objeto dar una estimación conservadora en aquellos casos que el martillo no está calibrado para la mezcla específica bajo prueba. La fórmula de la curva LOW 10% es:

$$f_{ck} = 2.77e^{0.048Q}$$

Donde f_{ck} es la resistencia obtenida a partir de la curva LOW 10% y Q es el coeficiente de rebote.

El rango válido es de 22 Q hasta 75 Q, lo que equivale a un rango de resistencia a la compresión de 8 MPa hasta 100 MPa.

Esta curva LOW 10% debe utilizarse de acuerdo a: (Ver Figura 6)

- Si no conoce los detalles de la mezcla de hormigón a prueba.
- Para los edificios existentes (hormigón mayor a 28 días).

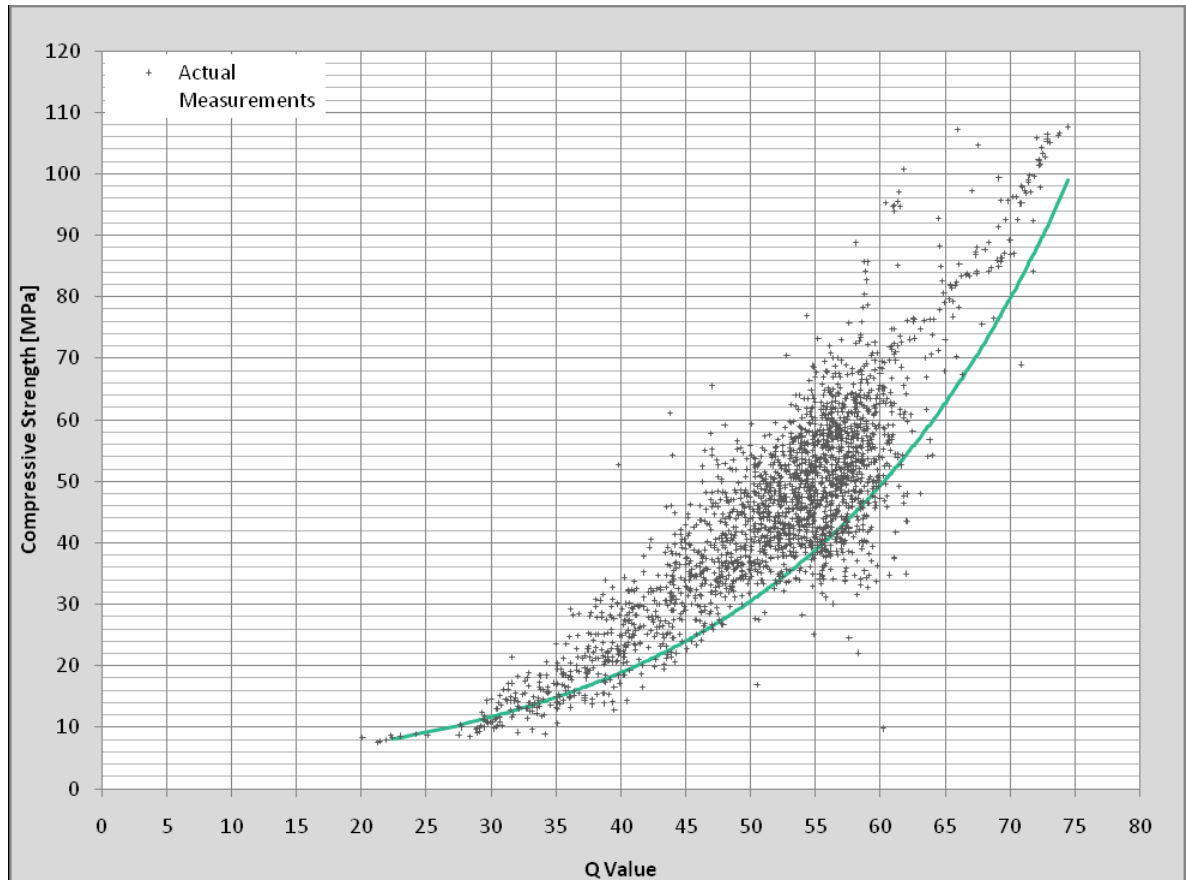


Figura 6. Curva esclerómetro Silver SCHMIDT

La curva REF N se basa en los resultados de pruebas exhaustivas llevadas a cabo por el Instituto Federal de Investigación y Ensayo de Materiales en Berlín, Alemania (BAM) en tres diseños de mezclas que diferenciarán entre sí a través de la relación a/c (agua/cemento) y el cemento, para cubrir el rango de resistencia a la compresión de 10 N/mm² - 100 N/mm².

Concrete	Strength range	w/c ratio
Concrete 1	10 – 30 N/mm2 1450 - 4351 psi	0.60
Concrete 2	30 - 55 N/mm2 4351 - 7977 psi	0.45
Concrete 3	55 – 100 N/mm2 7977 – 14504 psi	0.30

La baja dispersión de esta curva muestra cómo una correlación más exacta a la resistencia a la compresión se puede conseguir si el martillo está calibrado específicamente a una mezcla particular. (Ver Figura 7)

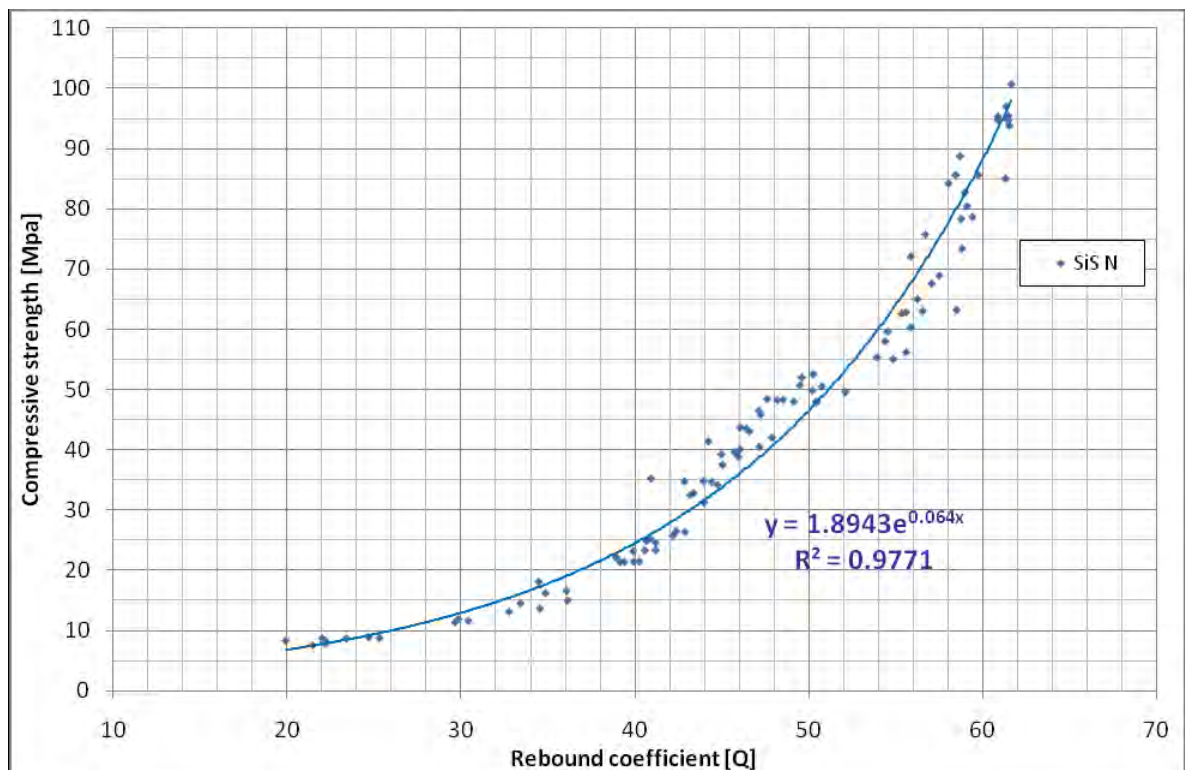


Figura 7. Curva REF N del esclerómetro Silver SCHMIDT

Por último la opción CC hace referencia a curvas personalizadas con relación al tipo de materiales con los que se va a trabajar, objetivo de esta investigación. Con el programa Hammerlink se puede calcular infinidad de curvas, pero únicamente se pueden cargar 3 tipos diferentes de curvas al martillo. (Ver Figura 8)

- **Unidades**

SILVER SCHMIDT posee un variado sistema de unidades: Q, kg/cm², N/mm², psi y MPa. (Ver Figura 8-9)

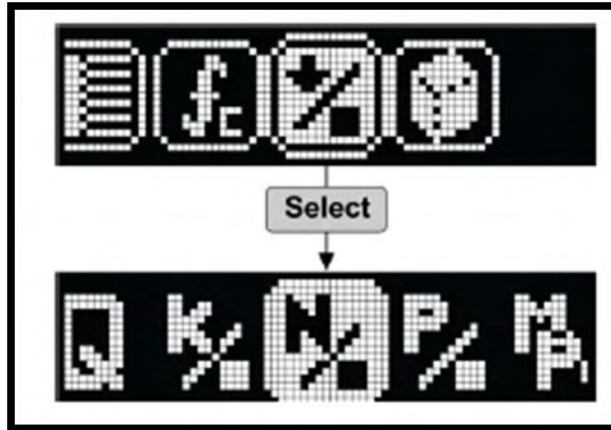


Figura 8. Opciones de unidades del esclerómetro Silver SCHMIDT

- **Factor de forma**

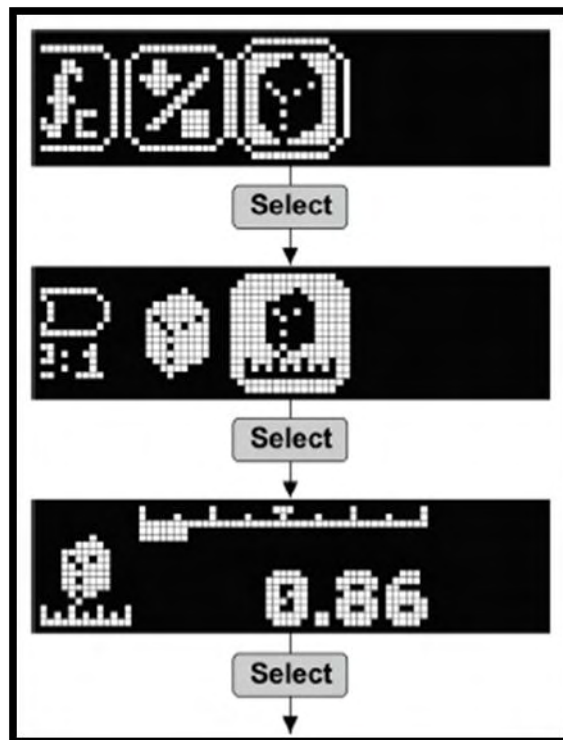


Figura 9. Factores de forma del esclerómetro Silver SCHMIDT

La resistencia a la compresión estándar se determina en muestras de ensayo, las cuales típicamente serán cubos o cilindros. El SILVERSCHMIDT usa un cubo de 150 x 150 x 150 mm como referencia estándar para la conversión del valor Q promedio en la resistencia a la compresión. En las regiones, en las que no se determina la resistencia 28 en tales cubos estándar, este valor deberá multiplicarse con un factor de forma apropiada para obtener resultados comparables. La implementación de un factor de forma en SILVERSCHMIDT está conforme con las recomendaciones dadas en las normas más importantes con las opciones: cilindro o cubo estándar o definido por el usuario.

El valor predeterminado es el cubo estándar (150 mm). Éste tiene un factor de forma de 1. El factor usado para el cilindro estándar se deduce de la información en EN 206-1. Puede aplicarse para todas las mezclas de hormigón de más de 2000 kg/m³. El factor de forma para el cilindro estándar se encuentra entre 0.8 y 0.87.

La tercera opción es una configuración definida por el usuario, la cual puede seleccionarse libremente del rango de 0.8 a 1.2. La tercera opción es una configuración definida por el usuario, la cual puede seleccionarse libremente del rango de 0.8 a 1.2. Esta opción ha sido incluida porque las normas más importantes se diferencian en la implementación de factores de forma.

- **Carbonatación**

La carbonatación forma una capa endurecida en la superficie y, en lo que esta capa está creciendo, en la medición con un martillo de rebote, podrá causar una significativa sobreestimación (posiblemente de hasta un 50%) de la resistencia a la compresión del hormigón subyacente. La profundidad de la capa carbonatada se puede determinar sencillamente mediante la utilización de una solución indicadora de fenolftaleína en etanol. El indicador simplemente se rocía sobre una superficie acabada de fracturar o en la muestra de núcleo.

Una capa sin carbonatación de un pH > 9.2 mostrará el color púrpura.

Una capa carbonatada de un pH < 9.2 se mostrará incolora. (Ver Figura 10)

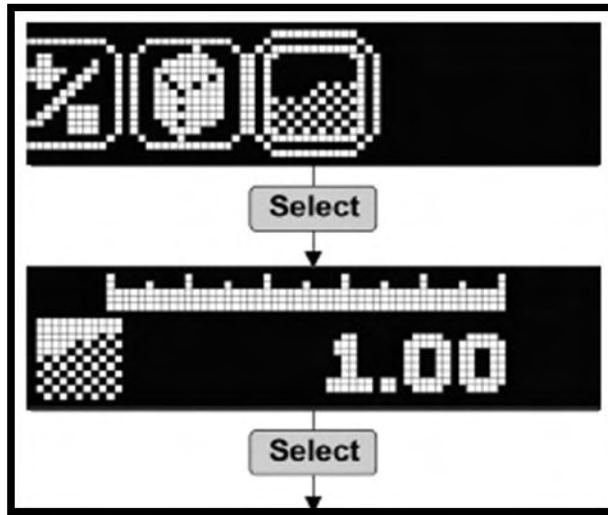


Figura 10. Selección de niveles de carbonatación del esclerómetro Silver SCHMIDT

Existe una gran cantidad de recomendaciones, las cuales describen el procedimiento al ejecutar un ensayo de carbonatación. Dos se mencionan aquí.

- DAfStb: Prüfung von Beton, Empfehlung und Hinweise als Ergänzung zu DIN 1048, Heft 422, Berlín, 1991 [comprobación de hormigón, recomendación e indicaciones como suplemento de DIN 1048, cuaderno 422, Berlín, 1991]
- RILEM recommendation CPC 18. Measurement of hardened concrete – Carbonation depth [Recomendación RILEM CPC 18. Medición de hormigón endurecido: profundidad de carbonatación].

O bien la capa carbonatada debe ser eliminada antes de ejecutar el ensayo de rebote, o bien el ensayo de rebote debe llevarse a cabo antes y después de la eliminación de la capa carbonatada mediante el uso de una rectificadora sobre un área superficial de un diámetro de alrededor de 120mm. Esto permite la consideración de un factor de corrección. (A veces denominado “coeficiente de tiempo”).

Coeficiente de tiempo:

$$Z_f = F'c_{n.c} / F'c_{carb.}$$

F'c n.c: Resistencia a la compresión estimada medida en una superficie de hormigón sin carbonatación

F'c carb: Resistencia a la compresión estimada medida en una superficie carbonatada

Un factor de corrección obtenido de esta forma podrá utilizarse para compensar el resultado obtenido en otras zonas de la estructura sujetas a condiciones de exposición similares.

- **HAMMERLINK**

Hammerlink es un software encargado de importar los datos registrados en el martillo SILVERSCHMIDT, en el cual se puede modificar dichos datos en cuestion, ademas, tambien cambiar unidades, curvas o factores de carbonatacion diferentes, según sea el caso. En este software tambien se puede ingresar opciones estadísticas que el usuario desee, y tambien curvas personalizadas. (Ver Figura 11)

Impact counter	Name	Date & Time	Mean value	Averaging mode	Upper outliers	Lower outliers	Valid/Total	Std dev.	Conv. curve	Form factor	Carbonation factor
Σ 3459		11/28/2014 3:12 AM	1750 PSI	Mean	0	0	1/1	--	10-percentile curve	Cylinder (80%)	0.98
Σ 3448		11/28/2014 3:11 AM	1850 PSI	Mean	0	0	10/10	325 PSI	10-percentile curve	Cylinder (80%)	0.98
Σ 3438		11/28/2014 3:09 AM	1700 PSI	Mean	0	0	10/10	200 PSI	10-percentile curve	Cylinder (80%)	0.98
Σ 3415		11/28/2014 2:56 AM	2800 PSI	Mean	0	0	10/10	300 PSI	10-percentile curve	Cylinder (80%)	0.98
Σ 3396		11/28/2014 2:52 AM	2700 PSI	Mean	0	0	10/10	300 PSI	10-percentile curve	Cylinder (80%)	0.98
Σ 3384		11/28/2014 2:47 AM	2750 PSI	Mean	0	0	10/10	300 PSI	10-percentile curve	Cylinder (80%)	0.98
Σ 3369		11/28/2014 2:45 AM	2750 PSI	Mean	0	0	10/10	375 PSI	10-percentile curve	Cylinder (80%)	0.98
Σ 3354		11/28/2014 2:43 AM	2800 PSI	Mean	0	0	10/10	300 PSI	10-percentile curve	Cylinder (80%)	0.98
Σ 3341		11/28/2014 2:36 AM	2750 PSI	Mean	0	0	10/10	275 PSI	10-percentile curve	Cylinder (80%)	0.98
Σ 3329		11/28/2014 2:33 AM	2850 PSI	Mean	0	0	10/10	350 PSI	10-percentile curve	Cylinder (80%)	0.98
Σ 3316		11/28/2014 2:29 AM	2850 PSI	Mean	0	0	10/10	250 PSI	10-percentile curve	Cylinder (80%)	0.98
Σ 3299		11/28/2014 2:25 AM	2900 PSI	Mean	0	0	10/10	225 PSI	10-percentile curve	Cylinder (80%)	1.00
Σ 3288		11/28/2014 2:20 AM	2650 PSI	Mean	0	0	10/10	400 PSI	10-percentile curve	Cylinder (80%)	0.98
Σ 3272		11/28/2014 2:02 AM	2750 PSI	Mean	0	0	10/10	325 PSI	10-percentile curve	Cylinder (80%)	0.98
Σ 3260		11/28/2014 1:58 AM	2750 PSI	Mean	0	0	10/10	300 PSI	10-percentile curve	Cylinder (80%)	0.98
Σ 3247		11/28/2014 1:18 AM	2700 PSI	Mean	0	0	10/10	275 PSI	10-percentile curve	Cylinder (80%)	0.98
Σ 3228		11/28/2014 1:14 AM	2750 PSI	Mean	0	0	10/10	300 PSI	10-percentile curve	Cylinder (80%)	0.98
Σ 3201		11/28/2014 1:10 AM	2600 PSI	Mean	0	0	10/10	225 PSI	10-percentile curve	Cylinder (80%)	0.98
Σ 3190		11/28/2014 1:03 AM	2850 PSI	Mean	0	0	10/10	350 PSI	10-percentile curve	Cylinder (80%)	0.98
Σ 3177		11/28/2014 12:59 AM	2800 PSI	Mean	0	0	10/10	325 PSI	10-percentile curve	Cylinder (80%)	0.98
Σ 3157		11/28/2014 12:52 AM	2650 PSI	Mean	0	0	10/10	225 PSI	10-percentile curve	Cylinder (80%)	0.98
Σ 3141		11/28/2014 12:48 AM	2800 PSI	Mean	0	0	10/10	275 PSI	10-percentile curve	Cylinder (80%)	0.98

Figura 11. Interfaz software Hammerlink.

- **Curvas en Excel**

Con los datos de los ensayos de compresión y número de rebote se realiza un gráfico de dispersión en excel y generar así con la opción línea de tendencia una ecuación polinómica o exponencial (figura), la cual será útil para programar la curva personalizada en el software Hammerlink. (Ver Figura 12)

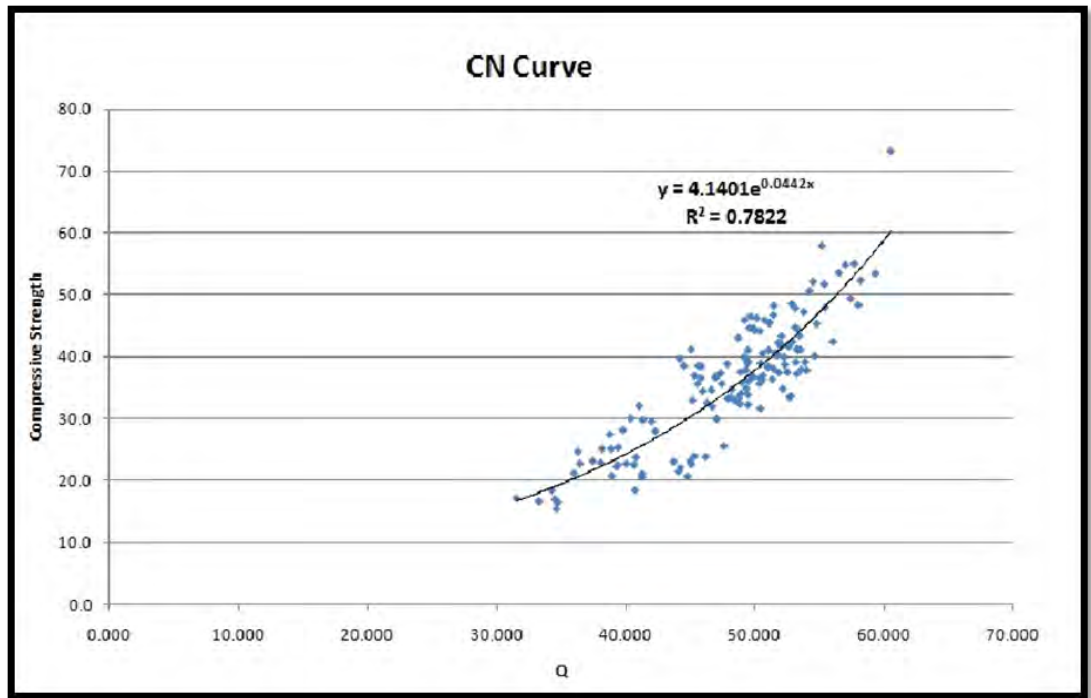


Figura 12. Ejemplo de curva personalizada en Excel.

- **Curvas personalizadas**

Hammerlink permite crear curvas personalizadas, las cuales serán específicas de la mezcla de hormigón del usuario, y cargar las mismas al SILVERSCHMIDT. A continuación, se hace una breve descripción de como cargar estas curvas en dicho software:

Se selecciona de la barra superior la opción "Device" (dispositivo) y luego "Custom curves..." (Curvas personalizadas) (Ver Figura 13)

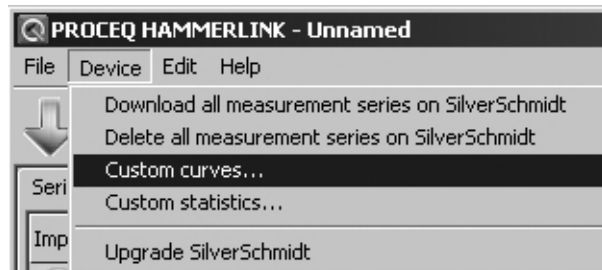


Figura 13. Personalización de una curva

Luego sale una pantalla (Figura 14) en la que puedes revisar las curvas personalizadas creadas previamente, crear nuevas curvas, eliminar curvas y cargar curvas al SILVERSCHMIDT. Para crear una curva se debe elegir la opción "Create new curve..." (Ver Figura 14)

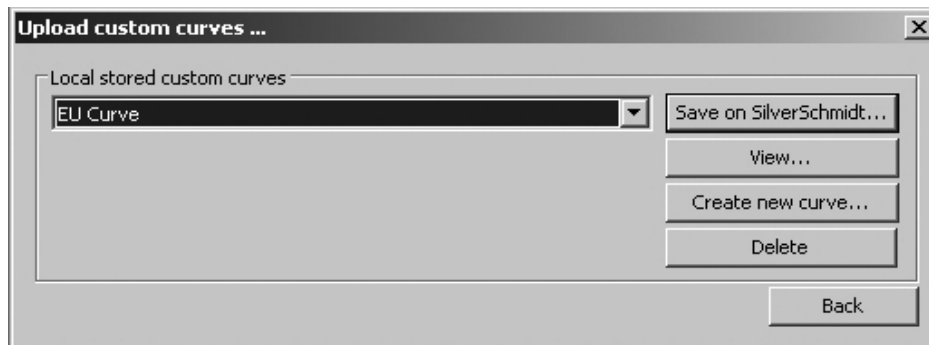


Figura 14. Personalización de una curva

Después de realizado el paso anterior saldrá una ventana (Figura 15) en la cual se podrá realizar un tipo de grafica polinómica o exponencial, dependiendo del tipo de gráfica que se realice en Excel con los datos de los ensayos de compresión y número de rebote obtenidos en el trabajo de campo. En esta ventana después de introducir los valores de la ecuación de la gráfica obtenida en Excel la curva será visualizada, además se puede nombrar de cualquier manera dicha curva. Por último, se debe dar clic en la opción “Create” (crear). (Ver Figura 15)

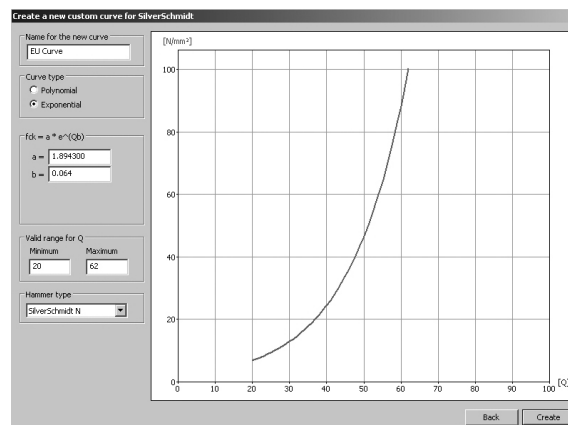


Figura 15. Personalización de una curva

Después del paso anterior saldrá de nuevo la ventana descrita en el paso 2 (Figura 14), se debe seleccionar en la pestaña despegable la curva que se acaba de crear y hacer clic en la opción “Save on SilverSchmidt...” (Guardar en SilverSchmidt). En SILVERSCHMIDT se pueden almacenar hasta 3 curvas personalizadas en un momento dado. En la siguiente ventana, al hacer el paso 4 (Figura 16), se elige la ubicación de la curva (C1, C2 o C3). (Ver Figura 16)

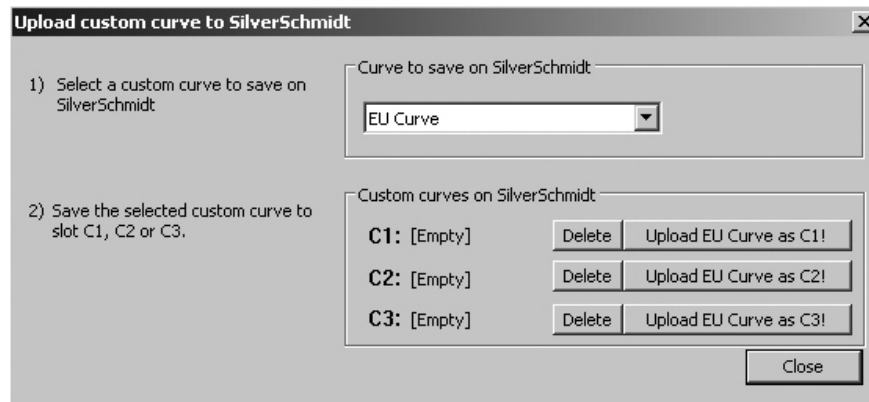


Figura 16. Personalización de una curva

Es posible crear en el programa Hammerlink hasta 200 curvas, pero únicamente se pueden cargar 3 al martillo SILVER SCHMIDT.

- **Utilización de la curva personalizada en el SILVERSCHMIDT**

La Figura 17, describe los pasos a seguir en el martillo para poder elegir la curva personalizada. (Ver Figura 17)



Figura 17. Selección de la curva personalizada

1.9 ANTECEDENTES

1.9.1. “Correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del concreto fabricado con materiales pétreos de la mina Las Terrazas y cantera La Victoria del municipio de Pasto”. Augusto James y Legarda Paulo. Este trabajo de grado se realizó con el fin de obtener una correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del concreto, para lo cual se utilizó agregado fino de la mina “Arena negra” y agregado grueso de la cantera “La

Victoria” producto de trituración y de origen ígneo del municipio de Pasto y cemento “Argos” Portland tipo I, con relaciones agua-cemento entre 1.42 y 0.54, con un incremento de 0.04. También, se hace una comparación de las ecuaciones presentadas por la NSR-98 y el ACI para calcular el módulo de rotura, con la ecuación obtenida en esta investigación.

Para el desarrollo de este trabajo se fabricaron viguetas de dimensiones 152 mm x 152 mm x 532 mm 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 que se analizó estadísticamente de una población de 21 especímenes tanto para vigas y cilindros, y así obtener un tamaño de un 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 28 días de curado.

A partir de los datos que se obtuvo en el laboratorio, se hizo correlaciones entre la resistencia a la 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 fórmulas de la normatividad existente.

1.9.2 “Análisis de materiales para concretos en el municipio el Charco en la costa norte pacífico nariñense”. Guevara Pantoja Luz Alba, Rubio García Luis Carlos. Es una investigación que analiza los materiales utilizados para fabricar un concreto en el municipio el charco (Nariño), los cuales son obtenidos en esa zona.

Para este análisis se utiliza un agregado fino, en este caso arena gruesa Banguela y agregado grueso, en este caso gravilla Patianos. A estos se les efectúa un análisis mineral, petrográfico, análisis de composición química, análisis físico, resistencia al desgaste, peso unitario, densidad y gravedad específica, sanidad del agregado y por supuesto un análisis granulométrico.

Por otro lado, se hace un análisis al agua que se extrae en cercanías al sitio denominado Barcaza, aguas arriba de la población del Charco, en marea alta, marea baja y en condiciones normales. Este análisis incluye análisis químicos y físicos.

Ya establecidos estos aspectos se definieron algunos como la manejabilidad, la segregación del concreto, exudación, fraguado y endurecimiento, etc. Luego, se hace el diseño de la mezcla experimental (en condiciones ideales en el laboratorio).

Este último se sometió a ensayos de granulometría, la selección del asentamiento, el tamaño máximo del agregado, la cantidad de agua, etc.

Por último se realizó ensayos de resistencia a la compresión a 2 mezclas diferentes, fabricadas con agua obtenida de marea baja y marea alta y se grafican los resultados de las variaciones en una gráfica de resistencia vs tiempo de endurecimiento (0, 7, 14 y 28 días después de la fundición de las probetas).

1.9.3. Título C. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. 2010. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10: decreto número 1030 de 2010. El Título C, proporciona los requisitos mínimos para el diseño y la construcción de elementos de concreto estructural de cualquier estructura construida según los requisitos de la NSR-10. El Título C también cubre la evaluación de resistencia de estructuras existentes.

Sin embargo, existen numerales en este capítulo que reglamentan los requisitos de los materiales a utilizar en las mezclas de concreto (Capítulo C.3 – NSR 10), en donde se especifican los tamaños máximos nominales de los agregados, el agua de mezcla, los requisitos de los aditivos con sus respectivas normas (basadas en las normas ASTM), además de mencionar la forma de almacenamiento de los materiales y la temperatura.

Por otro lado esta norma reglamenta la calidad del concreto, el mezclado y la colocación del mismo, proporcionando tablas y valores que ayudan en la dosificación, control de calidad, producción y colocación del concreto, además los criterios de aceptación de los concretos y las normas que se deben seguir para realizar estos.

2. TRABAJO DE CAMPO

2.1 SELECCIÓN DE LOS MATERIALES

Para esta investigación se seleccionaron materiales como triturados, arena y cemento más utilizados en la región.

Para esto se compró 4 metros cúbicos de arena de la mina “El Espino”, 3 metros cúbicos de triturado de la cantera “Pabón” y 3 metros cúbicos de triturado procedente de la cantera “Pilcuan”, además, se utilizaron 18 bultos de cemento portland tipo 1 marca “Argos”.

2.1.1 Transporte y almacenamiento. El transporte de los materiales como arena y triturado se hace en un vehículo tipo volqueta y son ubicados en la parte trasera de los Laboratorios de Ingeniería Civil de la Universidad de Nariño, protegidos con un plástico de factores como la lluvia o el sol. El cemento es transportado y ubicado dentro de las instalaciones del laboratorio con las respectivas precauciones, como son el colocar dichos bultos en sitios donde no afecte la humedad, ni donde lleguen los rayos de sol.

2.2 ENSAYOS A LOS MATERIALES

Se realizó diferentes ensayos físico mecánicos a los materiales con el objetivo de obtener características importantes para el uso de estos en las mezclas de concreto que se hicieron (ver anexo A). A continuación, se nombra los ensayos realizados:

- ✓ Granulometría (NTC 77)
- ✓ Peso unitario suelto (NTC 92)
- ✓ Peso unitario compactado (NTC 92)
- ✓ Humedad natural (NTC 1776)
- ✓ Densidad y absorción de los agregados gruesos (NTC 176)
- ✓ Densidad y absorción de los agregados finos (NTC 237)

2.3 PROPORCIONES DE MEZCLA TÍPICAS

En la región, en la mayoría de las obras civiles, el concreto es fabricado con proporciones de mezcla típicas, es por eso que el concreto fabricado para esta investigación se realizó de esta manera. Las proporciones de mezcla típicas se expresan colocando primero la unidad que representa el cemento, el siguiente

número representa la proporción de agregado fino y el tercer número representa la proporción de agregado grueso; proporciones referidas a un volumen unitario suelto de cemento, es decir:

C: F: G o sea 1: F: G

Dónde:

C: Proporción de cemento.

F: Proporción de agregado fino

G: Proporción de agregado grueso.

La cantidad de agua no se coloca y viene establecida (controlada) de acuerdo al grado de manejabilidad que requiera la mezcla, según la obra que se vaya a realizar.

La siguiente tabla, muestra la proporción y la resistencia probable obtenida para agregados grueso con un tamaño máximo 1 ½" y asentamiento máximo de 3": (Ver Tabla 1).

MEZCLA Prop. en Vol. C:F:G	CEMENTO		AG. FINO m ³	AG. GRUESO m ³	AGUA l	RANGO DE RESIST. PROBABLE A LA COMPRESIÓN 28 días	
	kg	Sacos				kg./cm ²	P.S.I.
1:2:2	420	8,50	0,67	0,67	190	210-250	3000-3600
1:2:2,5	385	7,75	0,61	0,76	180	200-240	2900-3450
1:2:3	350	7,00	0,56	0,84	170	190-230	2700-3300
1:2:3,5	325	6,50	0,52	0,91	165	175-215	2500-3100
1:2:4	300	6,00	0,48	0,96	160	150-190	2100-2700
1:2,5:2,5	350	7,00	0,70	0,70	170	190-230	2700-3300
1:2,5:3	325	6,50	0,65	0,78	165	175-215	2500-3100
1:2,5:3,5	300	6,00	0,60	0,84	160	150-190	2100-2700
1:2,5:4	280	5,50	0,56	0,90	155	140-180	2000-2600
1:2,5:4,5	265	5,25	0,53	0,95	150	135-175	1900-2500
1:3:3	300	6,00	0,72	0,72	160	150-190	2100-2700
1:3:4	265	5,25	0,63	0,84	150	135-175	1900-2500
1:3:5	235	4,75	0,56	0,93	145	110-140	1600-2000
1:4:7	175	3,50	0,56	0,98	120	80-120	1100-1700
1:4:8	165	3,25	0,52	1,03	115	70-100	1000-1500

Tabla 1. Cantidades de material estimadas por metro cubico de concreto y resistencias probables obtenidas. Concreto simple. Ing. Gerardo Rivera

Cabe aclarar que para las mezclas 1 y 2 de resistencias de 3500 y 4000 psi se adicionó aditivo fluidificante para aumentar la manejabilidad de las mezclas. Por lo tanto, para las 4 diferentes resistencias que hicimos para la fabricación de los cilindros se tomó las siguientes proporciones (Ver Tabla 2):

RESISTENCIA (psi)	PROPORCION	RELACION AGUA/CEMENTO	
		MEZCLA 1	MEZCLA 2
2500	1:2:3,5	0,51	0,51
3000	1:2.5:2.5	0,49	0,49
3500	1:2:2	0,45	0,45
4000	1:2:2	0,4	0,35

Tabla 2. Proporciones de mezcla utilizadas

Mezcla 1: cemento Argos + Arena de El Espino + Triturado de cantera Pabón.
 Mezcla 2: cemento Argos + Arena de El Espino + Triturado de cantera Pilcuan.

Como se puede observar en la tabla anterior, para las proporciones estimadas se toma una relación agua/cemento generada de la **Tabla 1**. Para obtener las resistencias de 4000 psi de las dos mezclas se tomó la misma proporción para una resistencia de 3500 psi (1:2:2), solo que varía en la relación agua/cemento, la cual fue obtenida en el momento de la fabricación del concreto, es decir, que se fue adicionando agua a cada mezcla hasta obtener una manejabilidad de ésta, dando los resultados establecidos en la **Tabla 2**.

2.4 USO DE FLUIDIFICANTE

Para las resistencias esperadas de 3500 psi Y 4000 psi de los dos tipos de mezclas se utilizó fluidificante SIKAFUID, debido a que por lo general este tipo de mezclas presentan poca manejabilidad por su baja relación agua/cemento. SIKAFUID es un aditivo líquido que además de brindar una mejor fluidez de la mezcla, también mejora las resistencias a todas las edades y disminuye la permeabilidad.

La cantidad de fluidificante que se utilizó para cada mezcla dependió de la cantidad de cemento que contenga ésta y de la resistencia esperada, es decir que para las resistencias de 3500 psi y 4000 psi se utilizó 500 gr de fluidificante por cada 50 kg de cemento. Esta cantidad de fluidificante es recomendada por el fabricante del aditivo fluidificante.

2.5 USO DE ACELERANTE

También se fabricó especímenes de concreto utilizando acelerante SIKASET L debido a que últimamente en la mayoría de obras civiles se ha ido implementando mucho más el uso de este tipo de aditivo por motivos de entrega y uso casi inmediato de las mismas, por lo cual también es necesario establecer resistencias a edades tempranas.

Para esta investigación se fabricó cilindros de concreto con las proporciones de la mezcla 1 utilizando acelerante para que obtengan su resistencia esperada a los 7 y 14 días. Por recomendación del fabricante se estableció que para la mezcla proyectada para 7 días se dosifique con un porcentaje de acelerante del 3% del peso del cemento proporcionado y para 14 días con el 2%.

2.6 CANTIDAD DE CILINDROS A ENSAYAR

En la siguiente tabla, se establece el número de cilindros de concreto fabricados según el tipo de material, la resistencia y para que ensayo se fabricaron (Ver Tabla 3):

Resistencia esperada (PSI)	MEZCLA 1 (28 DIAS)		MEZCLA 2 (28 DIAS)		MEZCLA 1 (7 DIAS)		MEZCLA 1 (14 DIAS)		TOTAL
	ENSAYO A COMPRESION (NTC 673)	ENSAYO No. DE REBOTE (NTC 3692)	ENSAYO A COMPRESION (NTC 673)	ENSAYO No. DE REBOTE (NTC 3692)	ENSAYO A COMPRESION (NTC 673)	ENSAYO No. DE REBOTE (NTC 3692)	ENSAYO A COMPRESION (NTC 673)	ENSAYO No. DE REBOTE (NTC 3692)	
	2500	10	10	10	10	10	10	10	
3000	10	10	10	10	10	10	10	10	80
3500	10	10	10	10	10	10	10	10	80
4000	10	10	10	10	10	10	10	10	80
TOTAL									320

Tabla 3. Cantidad de cilindros de concreto laborados

2.7 ENSAYOS A LOS CILINDROS DE CONCRETO

Camisas para cilindros:

Para la fabricación de los cilindros a ensayar se utilizó camisas cilíndricas plásticas certificadas de 30cm de altura y 15cm de diámetro, a las cuales se les hizo su respectivo engrasado para poder utilizarlas.

Fundición de cilindros:

Para la fundición de los cilindros se dispuso de una mezcladora de medio bulto, la cual proporcionó un volumen de concreto para fundir 4 cilindros a la vez, es decir que se hacía 5 mezclas por día para poder fundir los 20 cilindros de cada tipo de mezcla y resistencia. Su fundición se hizo de acuerdo a la norma NTC 550, la cual establece que debe hacerse en 3 capas plenamente distribuidas y en la cual en cada capa debe hacerse un vibrado con varilla mediante 25 golpes. Para una mejor acomodación de la mezcla de concreto se realizó también vibración mediante un mazo de caucho dando leves golpes en las paredes de las camisas. Por último, se dejó la cara superior engrasada.

Desencofrado y limpieza de camisas:

El desencofrado de los cilindros de concreto se hizo después de 24 horas. Al ser las camisas plásticas se realiza un desencofrado mucho más fácil y rápido que si fuera con camisas metálicas, ya que para éstas solo basta con quitar los dos pasadores que la sujetan (Ver Figura 8).



Figura 18. Molde cilíndrico utilizado para elaboración de probetas

Para realizar este desencofrado se tuvo en cuenta la norma NTC 1377, la cual establece que “los especímenes se retiran de los moldes 24 h \pm 8 h después de fundidos”, esto para evitar que se presenten fracturas en las aristas por no obtener el tiempo de fraguado necesitado.

Ensayos:

Los ensayos a los cilindros de concreto se hicieron a los 7, 14 y 28 días de fraguado de las siguientes dos maneras:

Ensayo de compresión (NTC 673). El ensayo de compresión se realizó en el laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad de Nariño mediante la máquina de compresión existente en este laboratorio de marca Pinzuar, la cual fue calibrada por la compañía Rosseberg & Reingeniería S.A.S el día 31 de Octubre de 2014. El procedimiento de este ensayo se hizo de acuerdo a la norma NTC 673 y fueron ensayados 320 cilindros de diferente dosificación y materiales (Ver Figura 19).



Figura 19. Ensayo de compresión a una probeta cilíndrica

Ensayo del número de rebote (NTC 3692). Este ensayo se realizó en el laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad de Nariño mediante un esclerómetro de marca SILVER SCHMIDT, el cual cuenta con su respectiva calibración. Este ensayo se hizo a 160 cilindros de concreto, a cada uno de los cuales se le hizo 10 disparos (5 en la cara superior y 5 en la cara inferior) y así sacar un promedio del número de rebote Q (Ver Figura 20).



Figura 20. Ensayo de esclerometria a una probeta cilíndrica

3. ANALISIS ESTADISTICO

El primer paso antes del tratamiento estadístico de los datos obtenidos a partir de los ensayos de compresión y esclerometría, es aplicar el numeral C.5.6.3.3 (b) de la norma NSR-10¹¹, en el cual ningún resultado de resistencia debe ser menor que $f'c$ por más de 3.5 Mpa cuando $f'c$ es 35 Mpa o menor, en este caso se aplica esta condición porque se tiene mezclas de 2500, 3000, 3500 y 4000 psi. Debido a esto, los datos deben pasar por este primer filtro antes de entrar a un análisis estadístico.

Posterior a este primer filtrado de la información, se procedió a realizar el análisis estadístico mediante el software Statgraphics, en el cual se procesó la información para hacer el segundo filtro, en donde se concluyó mediante intervalos de confianza, pruebas de hipótesis y tablas de frecuencias, que datos son atípicos para cada mezcla de concreto en cada resistencia evaluada y así obtener un mejor análisis de resultados (ver anexo C). (Ver Tabla 4)

3.1 RESULTADOS MEZCLAS A 28 DIAS

Resultados mezcla 1

RESULTADOS MEZCLA 1								
#	Datos Pabon 2500		Datos Pabon 3000		Datos Pabon 3500		Datos Pabon 4000	
	Compresion Mpa	Esclerometro	Compresion Mpa	Esclerometro	Compresion Mpa	Esclerometro	Compresion Mpa	Esclerometro
1	26.5	35.7	33.9	42.0	38.8	45.7	37.1	46.3
2	24.0	36.6	34.4	39.1	38.2	44.1	34.5	45.6
3	26.8	36.5	29.6	35.4	34.8	45.4	35.2	44.5
4	24.0	35.5	32.8	33.8	28.3	46.0	36.9	45.6
5	24.3	38.0	28.9	36.1	35.8	42.8	38.0	45.8
6	26.2	36.6	27.8	37.6	35.8	41.2	37.2	44.1
7	27.3	36.3	35.3	38.1	36.9	43.1	34.4	45.0
8	27.6	36.5	26.1	37.3	37.1	44.1	35.8	44.8
9	26.7	35.6	26.2	36.8	36.1	45.4	37.2	45.0
10	26.2	36.3	25.7	36.0	36.0	43.3	42.2	45.3

Tabla 4. Resultados mezcla 1 concreto a 28 días

Después de hacer el primer y segundo filtro de estos datos, se identificó los datos atípicos para cada resistencia, y para cada tipo de ensayo (compresión y esclerometría) se obtuvo los siguientes resultados, en donde se debe aclarar que

¹¹ C.5.6.3 – Probetas curadas en forma estándar. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10.

para cada dato de compresión hay un dato de esclerometria correspondiente, esto debido a la manera como se aplica la teoría de esclerómetro SILVER SCHMITH, en donde se grafican puntos en un plano cartesiano que se componen de valores de esclerometría Q en la abscisa y valores de compresión en la ordenada.

Si en el análisis estadístico se identifica un valor atípico en los ensayos de esclerometria, y este debe eliminarse, también se tiene que eliminar el valor correspondiente en la columna de ensayos a compresión, y viceversa (Ver Tabla 5).

RESULTADOS MEZCLA 1								
#	Datos Pabon 2500		Datos Pabon 3000		Datos Pabon 3500		Datos Pabon 4000	
	Compresion Mpa	Esclerometro	Compresion Mpa	Esclerometro	Compresion Mpa	Esclerometro	Compresion Mpa	Esclerometro
1	26.5	35.7	33.9	42.0	38.8	45.7	37.1	46.3
2	24.0	36.6	34.4	39.1	38.2	44.1	34.5	45.6
3	26.8	36.5	29.6	35.4	34.8	45.4	35.2	44.5
4	24.0	35.5	32.8	33.8	28.3	46.0	36.9	45.6
5	24.3	38.0	28.9	36.1	35.8	42.8	38.0	45.8
6	26.2	36.6	27.8	37.6	35.8	41.2	37.2	44.1
7	27.3	36.3	35.3	38.1	36.9	43.1	34.4	45.0
8	27.6	36.5	26.1	37.3	37.1	44.1	35.8	44.8
9	26.7	35.6	26.2	36.8	36.1	45.4	37.2	45.0
10	26.2	36.3	25.7	36.0	36.0	43.3	42.2	45.3

Tabla 5. Resultados mezcla 1 concreto a 28 días con filtro estadístico.

Los valores que están en color rojo, fueron los datos atípicos que se excluyó del análisis de resultados que se relaciona más adelante.

Todas las mezclas fueron tratadas con el mismo proceso descrito anteriormente. (Ver Tabla 6 -7-8)

Resultados mezcla 2

RESULTADOS MEZCLA 2								
#	Datos Pilcuan 2500		Datos Pilcuan 3000		Datos Pilcuan 3500		Datos Pilcuan 4000	
	Compresion Mpa	Esclerometro	Compresion Mpa	Esclerometro	Compresion Mpa	Esclerometro	Compresion Mpa	Esclerometro
1	23.7	31.8	25.9	39.9	31.3	44.2	33.7	43.6
2	22.2	34.2	28.0	39.7	31.5	46.1	30.8	43.7
3	23.2	36.2	26.4	39.8	33.6	45.9	30.4	45.2
4	22.9	36.4	26.4	40.2	31.2	46.1	32.8	45.6
5	23.7	35.1	27.2	37.4	32.0	45.0	33.6	45.8
6	23.3	34.9	24.1	40.0	33.6	45.4	36.3	46.3
7	22.5	34.4	26.2	38.9	35.5	45.2	36.4	45.6
8	24.9	35.9	27.3	39.4	33.6	45.1	37.4	44.5
9	24.6	35.6	26.2	39.1	35.6	44.9	36.8	43.5
10	23.5	36.5	25.9	38.7	26.7	45.4	29.1	44.8

Tabla 6. Resultados mezcla 2 concreto a 28 días con filtro estadístico.

Resultados mezcla a 7 días con acelerante

Resistencia 2500 psi		Resistencia 3000 psi		Resistencia 3500 psi		Resistencia 4000 psi	
Compresion (Mpa)	Esclerometro	Compresion (Mpa)	Esclerometro	Compresion (Mpa)	Esclerometro	Compresion (Mpa)	Esclerometro
16.7	32.9	17.1	33.0	25.9	37.5	27.8	38.6
17.1	32.6	16.8	36.7	24.1	35.4	26.7	37.5
16.2	29.4	17.4	34.3	18.7	35.1	28.6	37.6
16.5	31.6	18.0	34.7	17.6	33.8	26.5	36.9
16.4	29.8	17.7	33.9	19.5	33.2	29.7	36.8
16.5	30.8	18.6	34.1	19.7	32.9	31.6	38.6
16.5	30.3	17.7	35.4	19.2	34.3	29.6	38.8
16.7	30.1	16.2	31.4	19.5	33.8	30.2	39.2
16.8	32.2	15.8	31.8	18.9	33.7	32.4	38.6
16.1	29.6	18.8	33.1	17.7	32.5	31.0	38.8

Tabla 7. Resultados mezcla 1 de concreto con acelerante a 7 días con filtro estadístico

Resultados mezcla a 14 días con acelerante

Resistencia 2500 psi		Resistencia 3000 psi		Resistencia 3500 psi		Resistencia 4000 psi	
Compresion (Mpa)	Esclerometro	Compresion (Mpa)	Esclerometro	Compresion (Mpa)	Esclerometro	Compresion (Mpa)	Esclerometro
17.9	31.9	19.8	33.2	24.8	36.6	27.0	39.1
18.7	32.4	18.9	33.9	25.4	36.0	26.4	36.8
16.1	31.6	20.1	32.4	25.1	34.7	28.1	38.5
16.6	32.1	20.0	30.8	24.8	37.0	28.4	37.6
17.4	32.0	18.4	32.1	23.8	35.9	26.7	36.5
18.4	32.3	19.7	32.3	23.5	34.8	29.6	38.3
19.5	30.6	21.0	33.3	24.5	33.6	28.0	38.7
19.2	33.1	20.6	33.3	25.1	35.1	25.3	37.8
18.7	32.2	17.6	32.3	25.7	36.6	25.7	37.3
18.9	31.4	14.7	30.1	25.6	35.9	25.6	37.3

Tabla 8. Resultados mezcla 1 de concreto con acelerante a 14 días con filtro estadístico

3.2 RESULTADOS COMPARATIVOS ENTRE PROBETAS SOMETICAS SOLO A COMPRESION Y PROBETAS SOMETIDAS A ESCLEROMETRIA Y POSTERIORMENTE A COMPRESION

Para determinar si los cilindros que se sometieron a ensayos de esclerometría y posteriormente a ensayos de compresión para ser comparados con los cilindros que solo se ensayaron a compresión, difieren en sus resultados, se sometieron estos datos a un análisis en donde se aplicaron pruebas t-Student y pruebas f-Snedecor, en donde se hacen comparaciones de medias y de desviaciones estándar respectivamente, y así determinar si las diferencias son considerables

para considerar los dos grupos de datos con diferencias que se pueden despreciar o por el contrario si son muy diferentes (Ver anexo C).

En este proceso no se filtró la información mediante el numeral C.5.6.3.3 (b) de la norma NSR-10¹², sino que por el contrario se analizaron los grupos de datos en su totalidad para comparar 10 datos de compresión, con los 10 datos de esclerometria mas compresión.

Por otro lado, las pruebas t-Student y f-Snedecor hacen dos tipos de hipótesis para comparar las dos muestras. Para el caso de la prueba t-Student:

Hipótesis Nula: $media1 = media2$
 Hipótesis Alternativa: $media1 \neq media2$

Para el caso de la prueba f-Snedecor:

Hipótesis Nula: $desv\ estándar1 = desv\ estándar\ 2$
 Hipótesis Alternativa: $desv\ estándar\ 1 \neq desv\ estándar\ 2$

A continuación, se muestran las conclusiones finales de estas pruebas, para observar los valores cuantitativos (Ver Anexo C y Tablas 9 a 12)

Resultado de comparación para mezcla 1 a 28 días

Mezcla 1 - Pabón + Espino		
Resistencia	Tipo de prueba	
	T-Student	F-Snedecor
2500	Nula	Alterna
3000	Nula	Nula
3500	Nula	Nula
4000	Nula	Nula

Tabla 9. Pruebas de hipótesis para mezcla 1 a 28 días

¹² C.5.6.3 – Probetas curadas en forma estándar. Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10.

Resultado de comparación para mezcla 2 a 28 días

Mezcla 2 - Pilcuan + Espino		
Resistencia	Tipo de prueba	
	T-Student	F-Snededor
2500	Nula	Nula
3000	Nula	Nula
3500	Nula	Nula
4000	Nula	Nula

Tabla 10. Pruebas de hipótesis para mezcla 2 a 28 días

Resultado de comparación para mezcla 1 a 7 días acelerante

Mezcla 1 - 7 días con acelerante		
Resistencia	Tipo de prueba	
	T-Student	F-Snededor
2500	Nula	Alternativa
3000	Nula	Nula
3500	Alternativa	Alternativa
4000	Nula	Nula

Tabla 11. Pruebas de hipótesis para mezcla 1 a 7 días acelerante

Resultado de comparación para mezcla 1 a 14 días acelerante

Mezcla 1 - 14 días con acelerante		
Resistencia	Tipo de prueba	
	T-Student	F-Snededor
2500	Nula	Nula
3000	Nula	Nula
3500	Nula	Nula
4000	Nula	Nula

Tabla 12. Pruebas de hipótesis para mezcla 1 a 14 días acelerante

4. ANALISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de resultados se graficaron los datos filtrados en la estadística, y se aplicaron regresiones lineales para evaluar que tan confiable es el modelo.

El factor R cuadrado es el resultado de elevar al cuadrado el factor R que es el coeficiente de correlación de Pearson.

El factor R cuadrado evalúa que tan confiable es el modelo y cuanta relación hay entre las dos variables, en este caso la compresión y el valor Q que nos arroja la esclerometría.

Este valor puede estar entre 0 y 1, cuando se acerca a 0, el modelo no es muy confiable y no hay relación entre sus variables, por el contrario, si se acerca a 1 el modelo es muy confiable y sus variables están relacionadas entre sí. Es imposible obtener un modelo con un valor de R cuadrado igual a 1, puesto que los modelos no son completamente exactos, al contrario, estos se acercan a la realidad y predicen algunos comportamientos.

A continuación, se presenta el análisis de los resultados mediante graficas que muestran curvas de tendencia, el grado de exactitud del modelo (R^2) y la formula de la curva. Estos factores se determinan a partir del análisis de resultados que hace el software de graficación, en este caso Microsoft Excel. El modelo de curvas exponenciales utilizado para graficar estos resultados, se especifica en la metodología del esclerómetro utilizado.

4.1 ANALISIS DE RESULTADOS PARA MEZCLA 1 A 28 DIAS

- MEZCLA 1 A 2500 psi

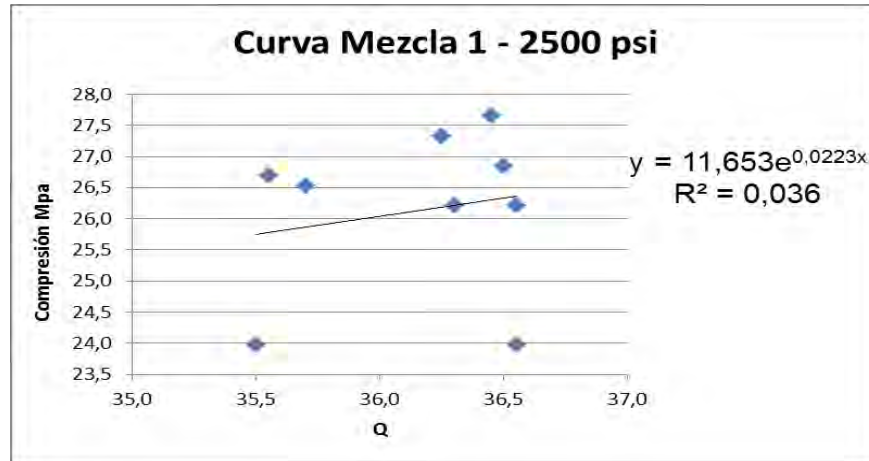


Figura 21. Curva de tendencia para mezcla 1 a 2500 psi

En esta curva se observa que esta mezcla tuvo una dispersión de datos que genera un grado de confiabilidad del modelo de apenas el 3.6 %, esto se debe a la distancia entre los puntos dispersos y a la cantidad de datos graficados. Cabe aclarar que entre más sea la cantidad de datos graficados, el grado de confiabilidad del modelo se incrementa (Ver Figura 21).

- MEZCLA 1 A 3000 psi

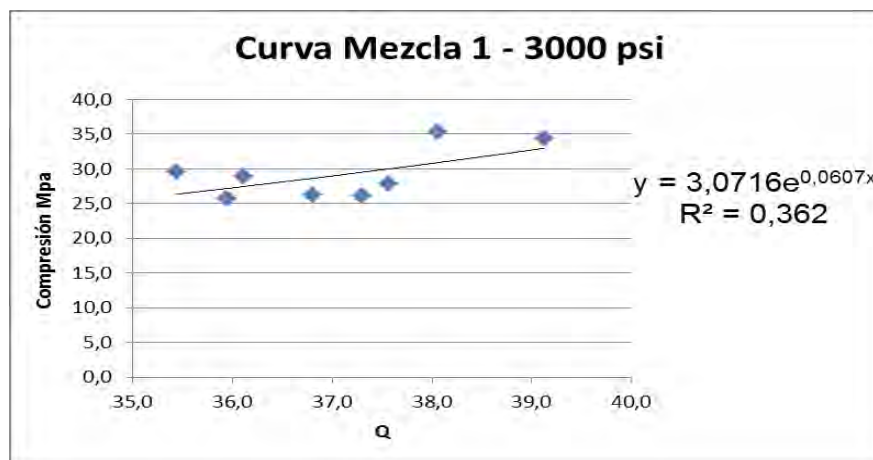


Figura 22. Curva de tendencia para mezcla 1 a 3000 psi

En esta curva se observa un incremento en el grado de confiabilidad del modelo que es de 36.2 %, esto significa que hay más relación en los datos utilizados para graficar esta curva, hay menos dispersión, pero aun así se necesitan graficar más datos. (Ver Figura 22)

- MEZCLA 1 A 3500 psi

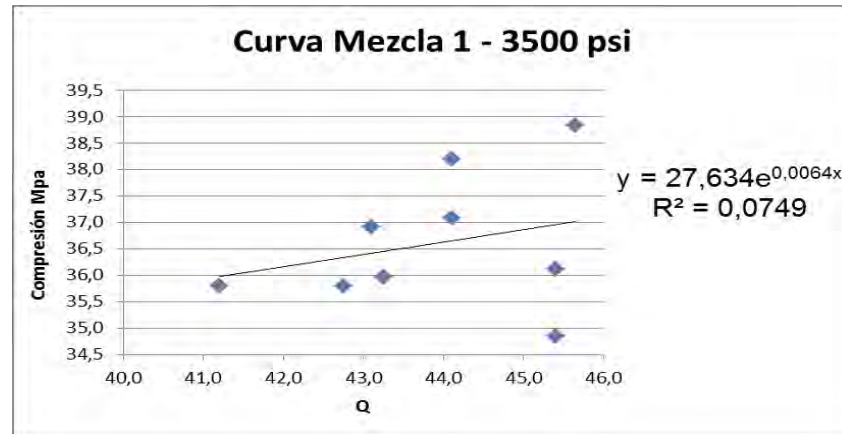


Figura 23. Curva de tendencia para mezcla 1 a 3500 psi

En esta curva se observa un rango más grande de dispersión que en las anteriores curvas, obteniéndose un grado de confiabilidad del modelo de 7.49%. Se aclara que para esta mezcla ya se utilizó la cantidad de aditivo especificada por el fabricante. (Ver Figura 23)

- MEZCLA 1 A 4000 psi

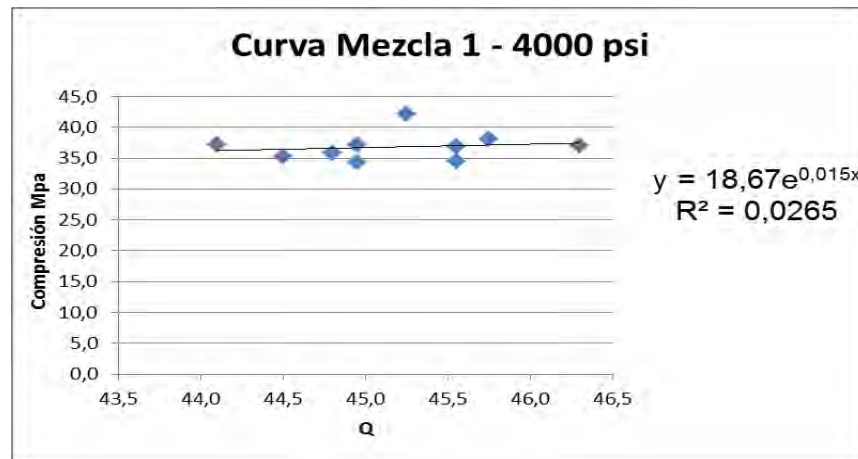


Figura 24. Curva de tendencia para mezcla 1 a 4000 psi

En esta curva se observa que el grado de dispersión de los datos en la ordenada no es muy significativo en comparación con la dispersión observada en la abscisa, debido a esto el grado de relación entre los datos no es muy confiable debido a la cantidad de resultados graficados y a la dispersión en estos. El grado de confiabilidad en esta curva es de 2.65%. (Ver Figura 24)

4.2 ANALISIS DE RESULTADOS PARA MEZCLA 2 A 28 DIAS

- MEZCLA 2 A 2500 psi

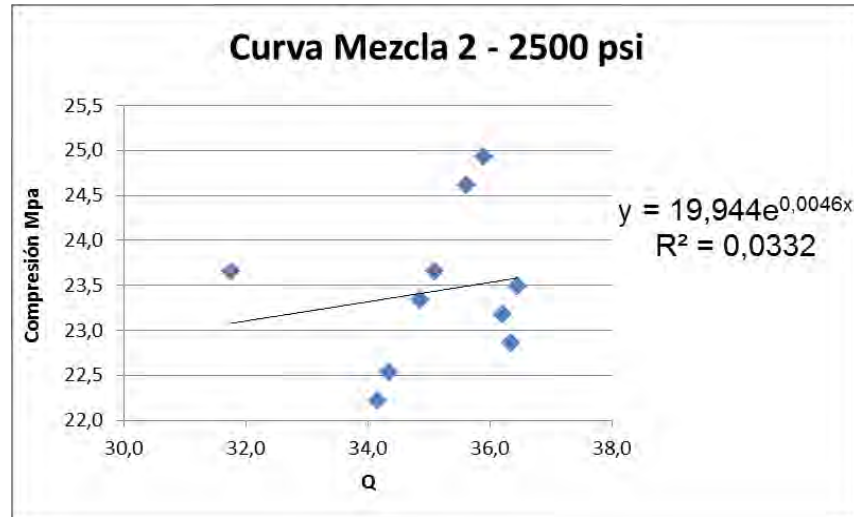


Figura 25. Curva de tendencia para mezcla 2 a 2500 psi

En este modelo se observa una gran dispersión en los datos tanto en X como en Y. El grado de confiabilidad del modelo es de 3.32% (Ver Figura 25).

- MEZCLA 2 A 3000 psi

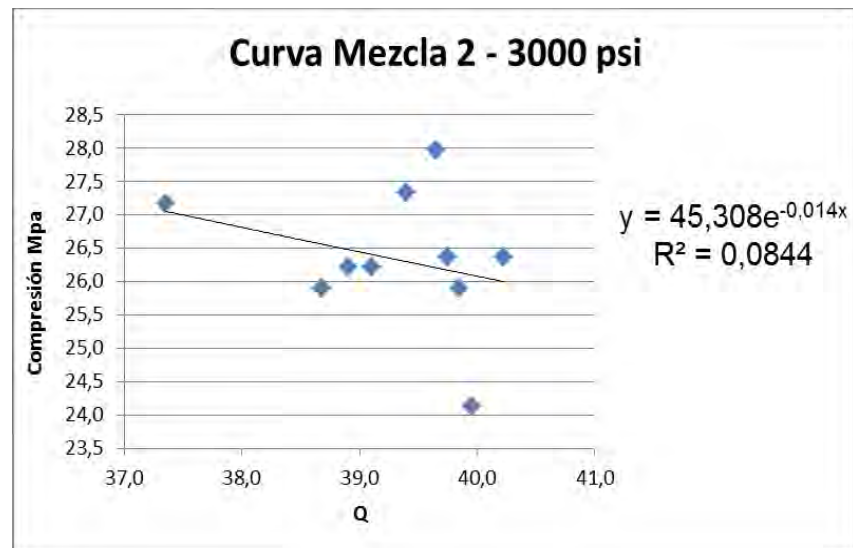


Figura 26. Curva de tendencia para mezcla 2 a 3000 psi

En esta curva se observa como la dirección de la curva se invierte y decae, esto se debe a que existe un punto que determina el vector de la curva, sin embargo este punto fue analizado estadísticamente, y se determinó que no se debía quitar

porque estaba dentro de una distribución normal y no representaba un dato atípico. El grado de confiabilidad de este modelo es de 8.44% (Ver Figura 26).

- MEZCLA 2 A 3500 psi

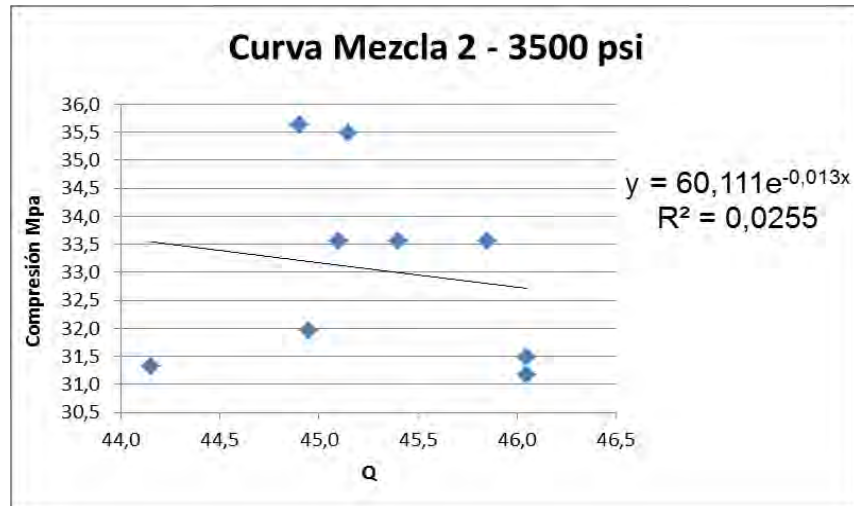


Figura 27. Curva de tendencia para mezcla 2 a 3500 psi

En esta figura también se invierte la dirección de la curva debido a la forma en que se dispersan los puntos, sin embargo todos estos se encuentran dentro de una distribución normal y no representan datos atípicos, el grado de confiabilidad es de 2.55% (Ver Figura 27).

- MEZCLA 2 A 4000 psi

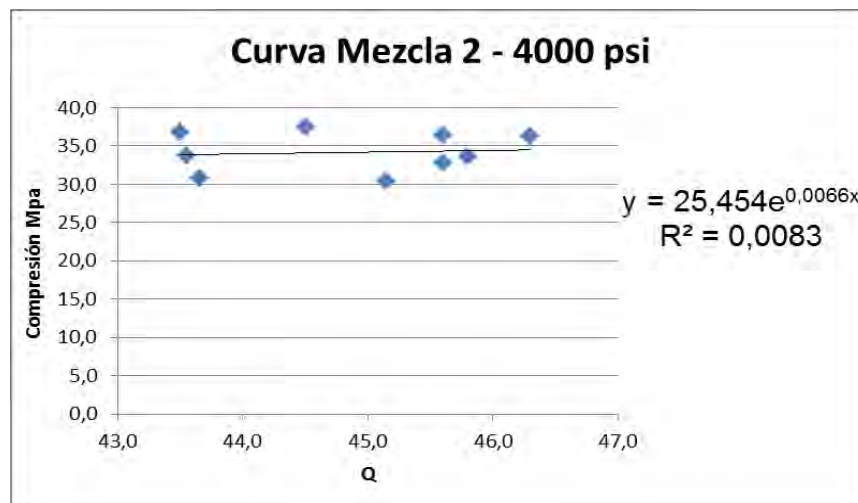


Figura 28. Curva de tendencia para mezcla 2 a 4000 psi

Haciendo un análisis de este modelo se observa que hay dispersión de los datos

en el eje esclerometria. El grado de confiabilidad del modelo es de 0.83% (Ver Figura 28).

4.3 ANALISIS DE RESULTADOS PARA MEZCLA 1 A 7 y 14 DIAS CON ACELERANTE

- MEZCLA 1 A 2500 psi

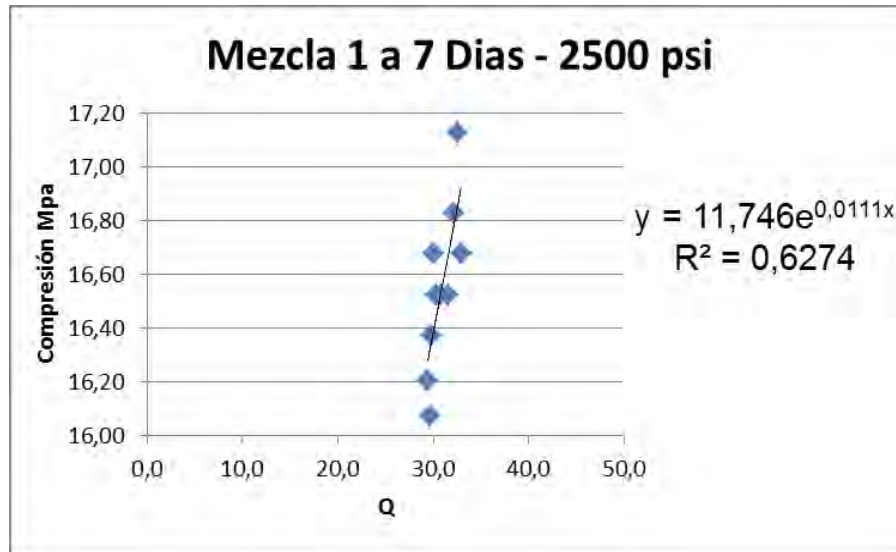


Figura 29. Curva de tendencia para mezcla 1 a 7 días - 2500 psi

Este modelo tiene un comportamiento diferente a las curvas anteriores, puesto que hay una gran variabilidad en los valores que se presentan en los datos obtenidos a partir de la compresión simple. Sin embargo, no representan datos atípicos estadísticamente hablando. El grado de confiabilidad de este modelo es del 62.74%, bastante grande en comparación con los modelos anteriores (Ver Figura 29).

- MEZCLA 1 A 3000 psi

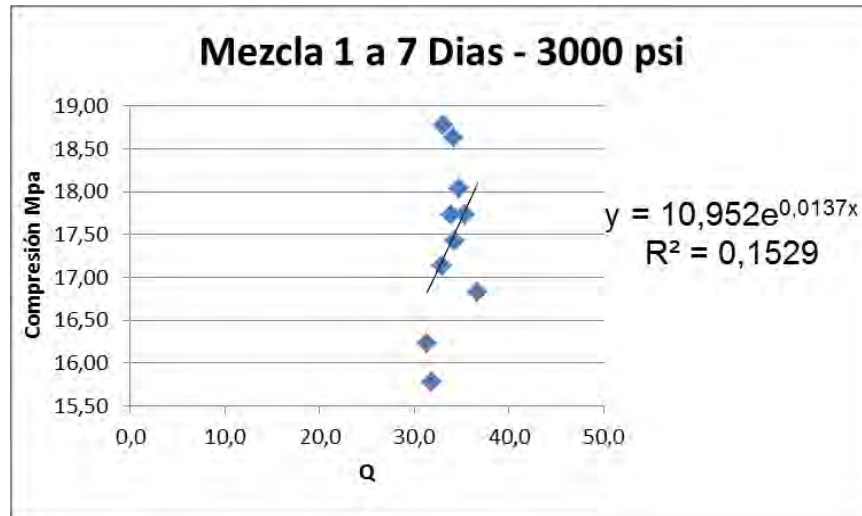


Figura 30. Curva de tendencia para mezcla 1 a 7 días - 3000 psi

En esta curva se observa una tendencia ascendente definida, y tiene un grado de confiabilidad del 15.29 % (Ver Figura 30).

- MEZCLA 1 A 3500 psi

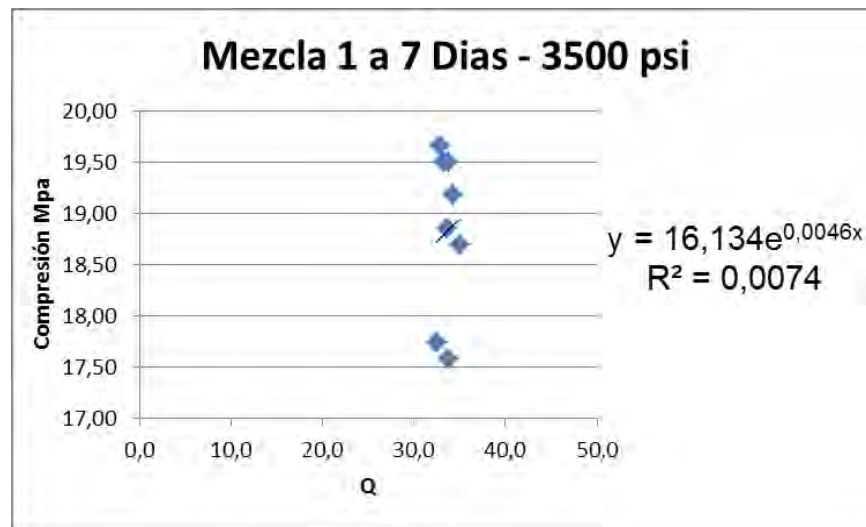


Figura 31. Curva de tendencia para mezcla 1 a 7 días - 3500 psi

En este modelo se observa un caso particular en el que los rangos de valores en X no son lo suficientemente grandes para graficar una curva más significativa, es por esto que representa un grado de confiabilidad del modelo de 0.74% (Ver Figura 31).

- MEZCLA 1 A 4000 psi

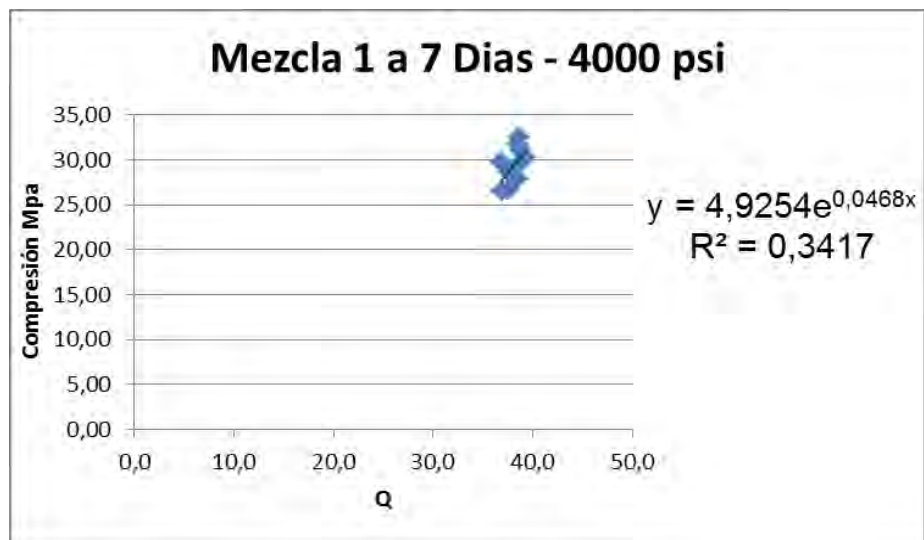


Figura 32. Curva de tendencia para mezcla 1 a 7 días - 4000 psi

En esta curva se observa una tendencia ascendente definida, y tiene un grado de confiabilidad del 34.17 % (Ver Figura 32).

- MEZCLA 1 A 2500 psi

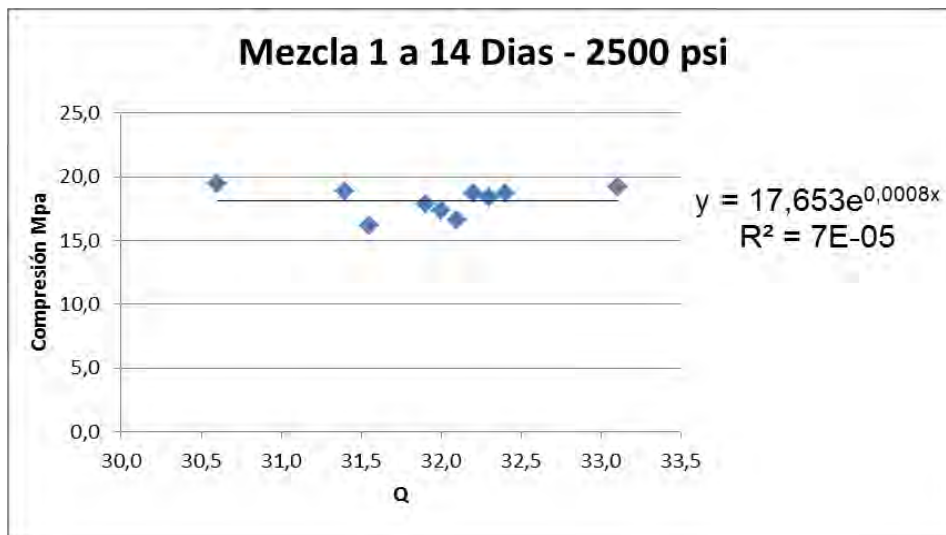


Figura 33. Curva de tendencia para mezcla 1 a 14 días - 2500 psi

Este es un modelo con un grado de dispersión de los datos grande. Tiene un grado de confiabilidad de 0.007%. (Ver Figura 33)

- MEZCLA 1 A 3000 psi

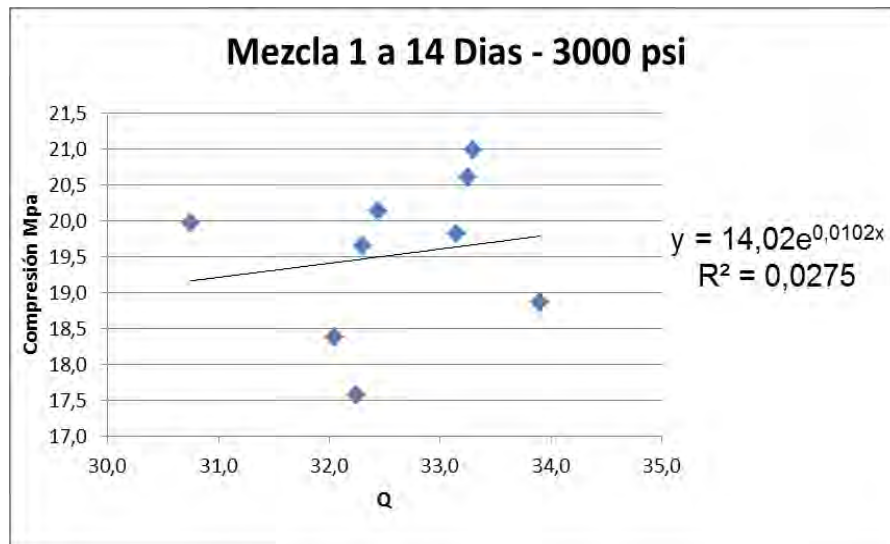


Figura 34. Curva de tendencia para mezcla 1 a 14 días - 3000 psi

Este es un modelo con un grado de dispersión de los datos grande. Tiene un grado de confiabilidad de 2.75%. (Ver Figura 34)

- MEZCLA 1 A 3500 psi

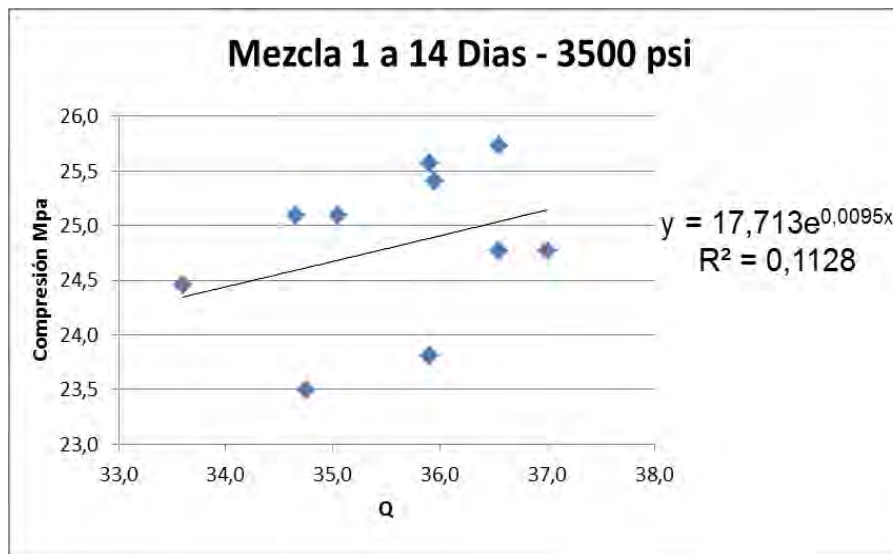


Figura 35. Curva de tendencia para mezcla 1 a 14 días - 3500 psi

En esta curva se observa una tendencia lineal para los datos de 3500 psi y evidencia un cambio uniforme tanto en los datos de compresión, como en los de esclerometria. Tiene un grado de confiabilidad del 11.28% (Ver Figura 35).

- MEZCLA 1 A 4000 psi

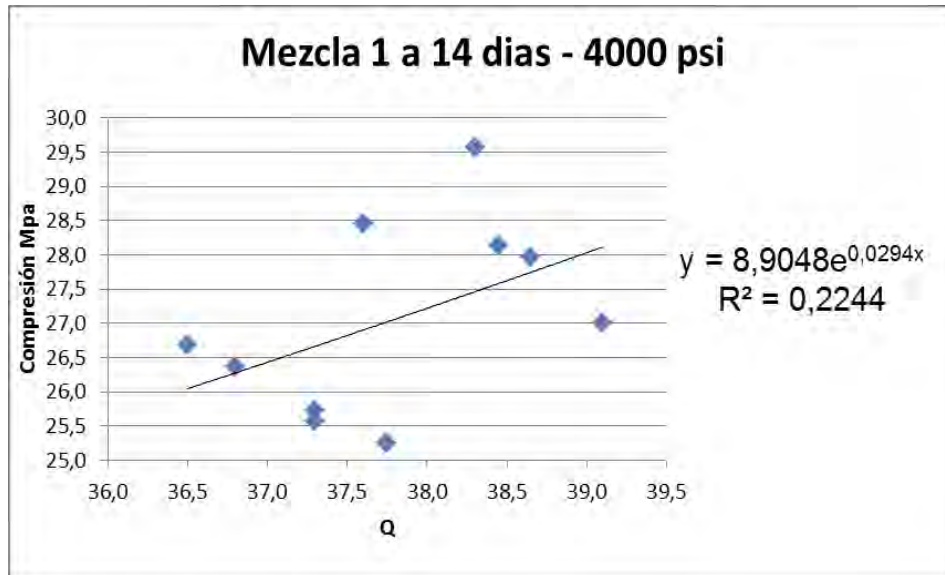


Figura 36. Curva de tendencia para mezcla 1 a 14 días - 4000 psi

Al igual que algunas de las curvas anteriores, se presenta una tendencia lineal con un grado de dispersión de los datos moderado y tiene un porcentaje de confiabilidad del modelo de 22.44 % (Ver Figura 36).

4.4 RESULTADOS GENERALES PARA MEZCLAS A 28 DIAS, 7 DIAS CON ACELERANTE Y 14 DIAS CON ACELERANTE EN RANGOS DE 2500 A 4000 psi

Las curvas individuales que se presentaron anteriormente, representan cada una un solo punto en la curva general, puesto que cada una solo representa puntos dispersos alrededor de una sola resistencia, debido a esto se presentaban grados de confiabilidad de los modelos tan bajos. El grado de confiabilidad de un modelo depende de la cantidad de puntos, el grado de relación entre las variables "X" (esclerometría) y "Y" (Compresión), y además en este caso, de la variabilidad de los datos o de las resistencias evaluadas.

Se aclara que para evaluar un concreto no se deben utilizar las curvas individuales presentadas anteriormente. Se debe utilizar las curvas generales que se presentan a continuación, las cuales representan la totalidad de los datos y grafican puntos para diferentes resistencias, estas relacionan de una mejor manera las variables.

- CURVA GENERAL MEZCLA 1

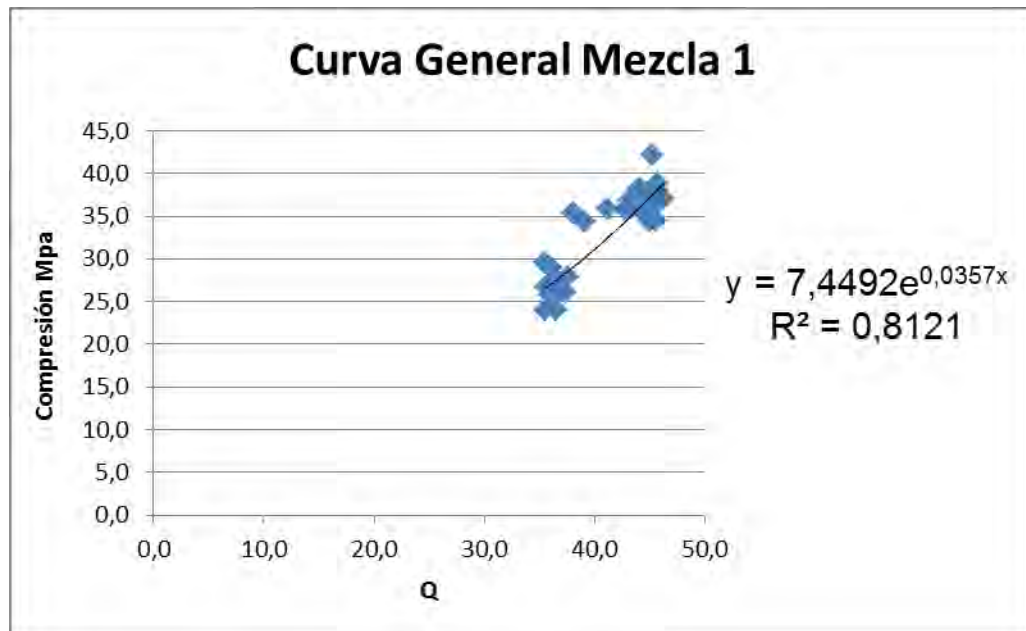


Figura 37. Curva general mezcla 1 a 28 días.

En esta curva general, se relacionan los grupos de resistencias graficados anteriormente y los resultados de esclerometría, se presenta una tendencia con una leve curva que representa un grado de confiabilidad del modelo de 81%. Es decir que se puede tener un 81% de certeza que al evaluar un concreto con esclerometría, puede caer dentro de la gráfica y es posible predecir su resistencia a la compresión con ese grado de confiabilidad.

Por otro lado, siguiendo la metodología explicada anteriormente del esclerómetro SILVER SCHMIDT, se observa que hay una curva de forma exponencial, que representa de una mejor manera la dispersión de los datos. Por esta razón se obtiene una fórmula de la curva expresada así:

$$\text{Resistencia máxima a la compresión} = 7.4492 e^{0.0357 Q}$$

Donde Q, es el índice de rebote obtenido a partir de las pruebas de esclerometría (Ver Figura 37).

- CURVA GENERAL MEZCLA 2

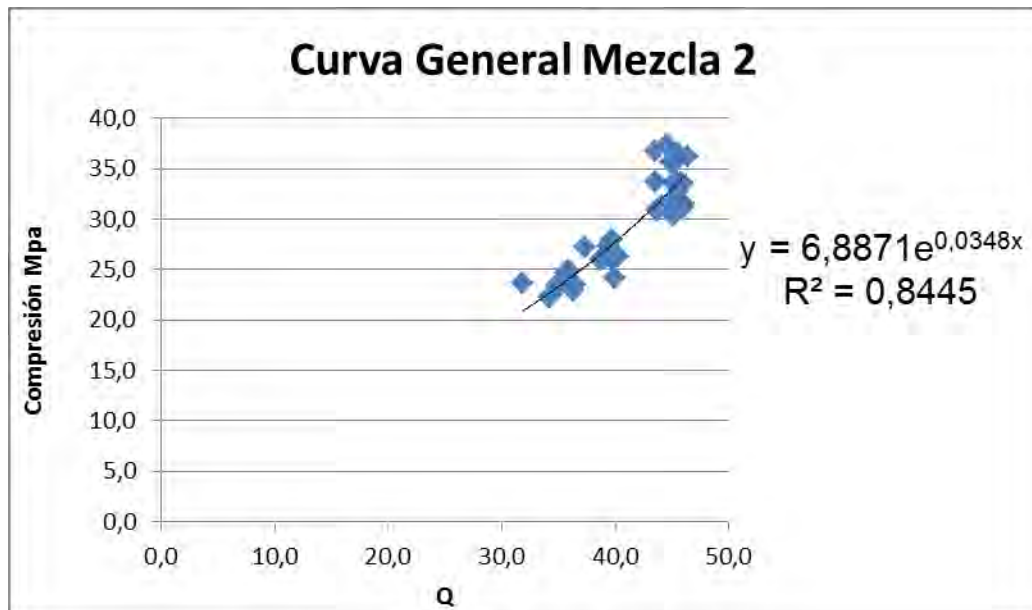


Figura 38. Curva general mezcla 2 a 28 días.

Este modelo tiene una dispersión de los datos más uniforme que el anterior, sin embargo, tiene un grado de confiabilidad similar al anterior, con un 84%.

Por otro lado, siguiendo la metodología explicada anteriormente del esclerómetro SILVER SCHMIDT, se observa que hay una curva de forma exponencial, que representa de una mejor manera la dispersión de los datos. Por esta razón se obtiene una fórmula de la curva expresada así:

$$\text{Resistencia máxima a la compresión} = 6.8871 e^{0.0348 Q}$$

Donde Q, es el índice de rebote obtenido a partir de las pruebas de esclerometría (Ver Figura 38).

- CURVA GENERAL MEZCLA 1 A 7 DIAS CON ACELERANTE

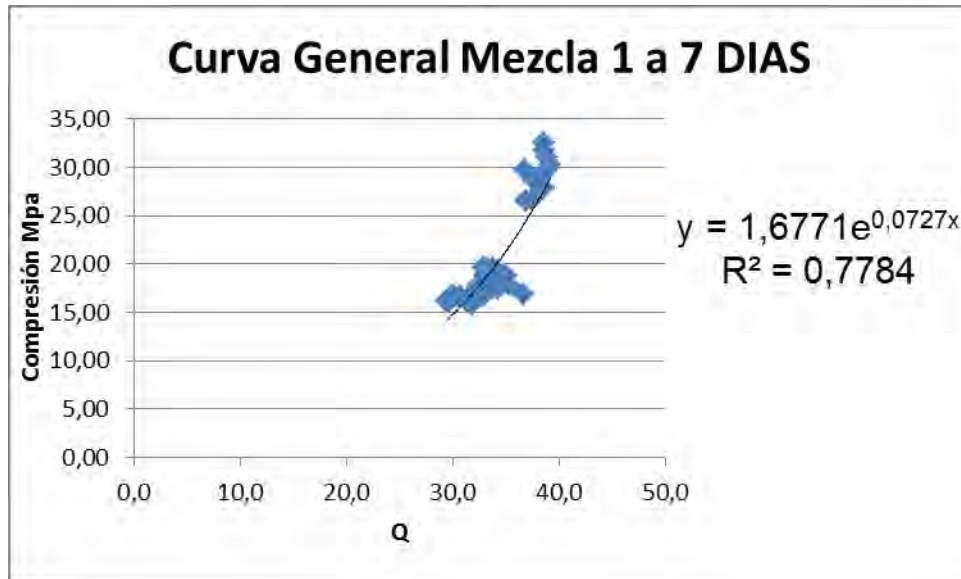


Figura 39. Curva general mezcla 1 a 7 días con acelerante

Este modelo tiene un grado de confiabilidad de casi el 78%, y se observa que hay una diferencia considerable entre los datos de los rangos de resistencias de 2500 psi a 3500 psi y los datos de 4000 psi. Tomando en cuenta que para las mezclas de 3500 psi y 4000 psi se usó, además del aditivo fluidificante, un acelerante. Esta mezcla puede haber influido en la resistencia final del concreto obtenido, puesto que las dosificaciones para cada concreto eran diferentes y eran las recomendadas por el fabricante, sin embargo, el fabricante no especificaba con exactitud en qué medida se incrementaba la resistencia.

Por otro lado, siguiendo la metodología explicada anteriormente del esclerómetro Silver SCHMIDT, se observa que hay una curva de la forma exponencial, que representa de una mejor manera la dispersión de los datos. Por esta razón se obtiene una fórmula de la curva expresada así:

$$\text{Resistencia máxima a la compresión} = 1.6771 e^{0.0727 Q}$$

Donde Q, es el índice de rebote obtenido a partir de las pruebas de esclerometría. (Ver Figura 39)

- CURVA GENERAL MEZCLA 1 A 14 DIAS CON ACELERANTE

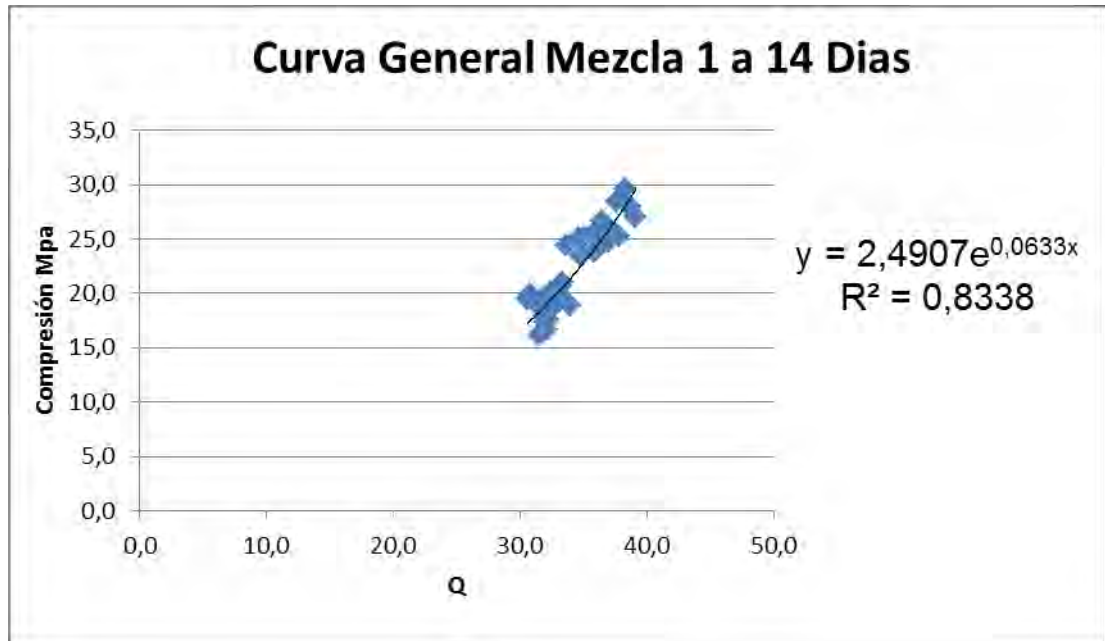


Figura 40. Curva general mezcla 1 a 14 días con acelerante

Este modelo tiene un grado de confiabilidad del 83%, y a diferencia de la gráfica anterior para 7 días de fraguado con acelerante, se observa una dispersión de los datos uniforme en todo el rango de resistencias. Sin embargo, al igual que para las resistencias a los 7 días con acelerante, también se aclara que para las mezclas de 3500 psi y 4000 psi se usó además del aditivo fluidificante, también un acelerante. Esta mezcla puede haber influido en la resistencia final del concreto obtenido, puesto que las dosificaciones para cada concreto eran diferentes y eran las recomendadas por el fabricante, no obstante el fabricante no especificaba con exactitud en qué medida se incrementaba la resistencia.

Por otro lado siguiendo la metodología explicada anteriormente del esclerómetro Silver SCHMIDT, se observa que hay una curva de la forma exponencial, que representa de una mejor manera la dispersión de los datos. Por esta razón se obtiene una fórmula de la curva expresada así:

$$\text{Resistencia máxima a la compresión} = 2.4907 e^{0.0633 Q}$$

Donde Q, es el índice de rebote obtenido a partir de las pruebas de esclerometría (Ver Figura 40).

4.5 ANALISIS COMPARATIVO ENTRE CILINDROS SOMETIDOS SOLO A COMPRESION Y CILINDROS SOMETIDOS A ESCLEROMETRIA Y COMPRESIÓN

Al revisar los resultados obtenidos a partir del análisis estadístico descrito anteriormente y al observar los resultados, en donde se define el tipo de hipótesis, sea nula o alternativa, descrito en el análisis estadístico, en su mayoría para casi la totalidad de las mezclas, y para los dos tipos de pruebas t-Student y f-Snedecor que comparan medias y desviaciones estándar, respectivamente, se presentó, en su mayoría, hipótesis nulas para las dos pruebas, las cuales representan medias y desviaciones estándar similares y con variaciones mínimas, sin embargo, para la mezcla 1 a 28 días en la resistencia de 2500 psi y para la mezcla 1 a 7 días con acelerante para esta misma resistencia, se presentó una hipótesis alternativa para la prueba f-Snedecor que evalúa las variaciones entre las desviaciones estándar. Definiendo el concepto de desviación estándar, es una medida del grado de dispersión de los datos con respecto al valor promedio. Dicho de otra manera, la desviación estándar es simplemente el "promedio" o variación esperada con respecto a la media aritmética. Por esta razón se define que para estas dos resistencias que presentaron hipótesis alternativa en la prueba f-Snedecor y teniendo en cuenta que las medias son similares, se concluye que se puede desprestigiar el resultado de la prueba F, además porque cada mezcla tiene propiedades diferentes y es posible que haya resultados de ensayos que estén muy dispersos del grupo normal.

Por otro lado, para la mezcla 1 a 7 días con acelerante en la resistencia de 3500 psi, se obtuvo que el análisis estadístico favoreció hipótesis alternativas tanto para la prueba t como para la prueba f. Esto que significa, que estadísticamente los dos resultados no son similares. Sin embargo, como se puede apreciar en las resistencias de 2500 y 3000 psi, para esa misma mezcla, no hubo variaciones considerables, y tomando una idea anterior, la dispersión de los datos puede ser distinta, al igual que la media de los ensayos, pero al observar el Anexo C, se puede observar que las diferencias entre las medias no es grande y que hay resultados tanto en las pruebas de solo compresión y de las pruebas de esclerometria mas compresión, que son similares. Por esto y basándose en los resultados obtenidos para las otras mezclas con esa misma resistencia, y por opinión de los investigadores de la presente, las pruebas de esclerometria hechas a los cilindros de concreto no influyen, ni cambian sus propiedades y mucho menos la resistencia medida posteriormente a compresión.

5. ANALISIS ECONOMICO

A continuación, se presenta un análisis de costos de fabricación de cada mezcla de concreto para cada resistencia. Cabe aclarar que el costo final de concreto no incluye colocación ni compactación en obra, únicamente el costo de la fabricación del mismo (Ver Tablas 13 a 20).

5.1 MEZCLA 1 TRITURADO PABON+ARENA ESPINO

- CONCRETO 2500 psi

MEZCLA CONCRETO 1:2:3,5 2500 psi - 17,5 Mpa					Unidad: M3
					ITEM:
DESCRIPCION	UND	CANT.	DESP. %	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
AGUA	LTS	165	0	16,00	2.640,00
ARENA ESPINO	M3	0,52	0	60.000,00	31.200,00
GRAVA TRITURADA DE 1"	M3	0,91	0	60.000,00	54.600,00
GASOLINA CORRIENTE	GLN	0,1	0	8.700,00	870,00
CEMENTO GRIS	KLS	325	0	480,00	156.000,00
ACEITE MOTOR 4 TIEMPOS	GLN	0,006	0	70.000,00	420,00
SUBTOTAL MATERIALES					245.730,00
MANO DE OBRA					
M.O. ALBANILERIA 2 AYUDANTE	HC	1,1	0	12.248,00	13.472,80
SUBTOTAL MANO DE OBRA					13.472,80
EQUIPO					
MEZCLADORA DE 9 PIES CUBICOS	DIA	0,06	0	38.800,00	2.328,00
HERRAMIENTA MENOR	GLB	2,4	0	1.400,00	3.360,00
SUBTOTAL EQUIPO					5.688,00
OTROS					
SUBTOTAL OTROS					-
COSTO DIRECTO					\$ 264.890,80

Tabla 13. Valor m3 de concreto de 2500 psi

- CONCRETO 3000 psi

MEZCLA CONCRETO 1:2,5:2,5 3000 psi - 21,0 Mpa					Unidad: M3
					ITEM:
DESCRIPCION	UND	CANT.	DESP. %	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
AGUA	LTS	170	0	16,00	2.720,00
ARENA ESPINO	M3	0,7	0	60.000,00	42.000,00
GRAVA TRITURADA DE 1"	M3	0,7	0	60.000,00	42.000,00
GASOLINA CORRIENTE	GLN	0,1	0	8.700,00	870,00
CEMENTO GRIS	KLS	350	0	480,00	168.000,00
ACEITE MOTOR 4 TIEMPOS	GLN	0,006	0	70.000,00	420,00
SUBTOTAL MATERIALES					256.010,00
MANO DE OBRA					
M.O. ALBANILERIA 2 AYUDANTE	HC	1,1	0	12.248,00	13.472,80
SUBTOTAL MANO DE OBRA					13.472,80
EQUIPO					
MEZCLADORA DE 9 PIES CUBICOS	DIA	0,06	0	38.800,00	2.328,00
HERRAMIENTA MENOR	GLB	2,7	0	1.400,00	3.780,00
SUBTOTAL EQUIPO					6.108,00
OTROS					
SUBTOTAL OTROS					-
COSTO DIRECTO					\$ 275.590,80

Tabla 14. Valor m3 de concreto 3000 psi

- CONCRETO 3500 psi

MEZCLA CONCRETO 1:2:2 3500 psi - 24,5 Mpa					Unidad: M3
					ITEM:
DESCRIPCION	UND	CANT.	DESP. %	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
AGUA	LTS	190	0	16,00	3.040,00
ARENA ESPINO	M3	0,67	0	60.000,00	40.200,00
GRAVA TRITURADA DE 1"	M3	0,67	0	60.000,00	40.200,00
GASOLINA CORRIENTE	GLN	0,1	0	8.700,00	870,00
CEMENTO GRIS	KLS	420	0	480,00	201.600,00
ADITIVO SIKAFUID	KLS	4,2	0	5.800,00	24.360,00
ACEITE MOTOR 4 TIEMPOS	GLN	0,006	0	70.000,00	420,00
SUBTOTAL MATERIALES					310.690,00
MANO DE OBRA					
M.O. ALBANILERIA 2 AYUDANTE	HC	1,1	0	12.248,00	13.472,80
SUBTOTAL MANO DE OBRA					13.472,80
EQUIPO					
MEZCLADORA DE 9 PIES CUBICOS	DIA	0,06	0	38.800,00	2.328,00
HERRAMIENTA MENOR	GLB	3	0	1.400,00	4.200,00
SUBTOTAL EQUIPO					6.528,00
OTROS					
SUBTOTAL OTROS					-
COSTO DIRECTO					\$ 330.690,80

Tabla 15. Valor m3 de concreto 3500 psi

- CONCRETO 4000 psi

MEZCLA CONCRETO 1:2:2 4000 psi - 28 Mpa					Unidad: M3
					ITEM:
DESCRIPCION	UND	CANT.	DESP. %	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
AGUA	LTS	168	0	16,00	2.688,00
ARENA ESPINO	M3	0,67	0	60.000,00	40.200,00
GRAVA TRITURADA DE 1"	M3	0,67	0	60.000,00	40.200,00
GASOLINA CORRIENTE	GLN	0,1	0	8.700,00	870,00
CEMENTO GRIS	KLS	420	0	480,00	201.600,00
ADITIVO SIKAFUID	KLS	4,2	0	5.800,00	24.360,00
ACEITE MOTOR 4 TIEMPOS	GLN	0,006	0	70.000,00	420,00
SUBTOTAL MATERIALES					310.338,00
MANO DE OBRA					
M.O. ALBANILERIA 2 AYUDANTE	HC	1,5	0	12.248,00	18.372,00
SUBTOTAL MANO DE OBRA					18.372,00
EQUIPO					
MEZCLADORA DE 9 PIES CUBICOS	DIA	0,06	0	38.800,00	2.328,00
HERRAMIENTA MENOR	GLB	3	0	1.400,00	4.200,00
SUBTOTAL EQUIPO					6.528,00
OTROS					
SUBTOTAL OTROS					-
COSTO DIRECTO					\$ 335.238,00

Tabla 16. Valor m3 de concreto 4000 psi

5.2 MEZCLA 2

- CONCRETO 2500 psi

MEZCLA CONCRETO 1:2:3,5 2500 psi - 17,5 Mpa					Unidad: M3
					ITEM:
DESCRIPCION	UND	CANT.	DESP. %	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
AGUA	LTS	165	0	16,00	2.640,00
ARENA ESPINO	M3	0,52	0	60.000,00	31.200,00
GRAVA TRITURADA DE 1"	M3	0,91	0	70.000,00	63.700,00
GASOLINA CORRIENTE	GLN	0,1	0	8.700,00	870,00
CEMENTO GRIS	KLS	325	0	480,00	156.000,00
ACEITE MOTOR 4 TIEMPOS	GLN	0,006	0	70.000,00	420,00
SUBTOTAL MATERIALES					254.830,00
MANO DE OBRA					
M.O. ALBANILERIA 2 AYUDANTE	HC	1,1	0	12.248,00	13.472,80
SUBTOTAL MANO DE OBRA					13.472,80
EQUIPO					
MEZCLADORA DE 9 PIES CUBICOS	DIA	0,06	0	38.800,00	2.328,00
HERRAMIENTA MENOR	GLB	2,4	0	1.400,00	3.360,00
SUBTOTAL EQUIPO					5.688,00
OTROS					
SUBTOTAL OTROS					-
COSTO DIRECTO					\$ 273.990,80

Tabla 17. Valor m3 de concreto de 2500 psi

- CONCRETO 3000 psi

MEZCLA CONCRETO 1:2,5:2,5 3000 psi - 21,0 Mpa					Unidad: M3
					ITEM:
DESCRIPCION	UND	CANT.	DESP. %	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
AGUA	LTS	170	0	16,00	2.720,00
ARENA ESPINO	M3	0,7	0	60.000,00	42.000,00
GRAVA TRITURADA DE 1"	M3	0,7	0	70.000,00	49.000,00
GASOLINA CORRIENTE	GLN	0,1	0	8.700,00	870,00
CEMENTO GRIS	KLS	350	0	480,00	168.000,00
ACEITE MOTOR 4 TIEMPOS	GLN	0,006	0	70.000,00	420,00
SUBTOTAL MATERIALES					263.010,00
MANO DE OBRA					
M.O. ALBANILERIA 2 AYUDANTE	HC	1,1	0	12.248,00	13.472,80
SUBTOTAL MANO DE OBRA					13.472,80
EQUIPO					
MEZCLADORA DE 9 PIES CUBICOS	DIA	0,06	0	38.800,00	2.328,00
HERRAMIENTA MENOR	GLB	2,7	0	1.400,00	3.780,00
SUBTOTAL EQUIPO					6.108,00
OTROS					
SUBTOTAL OTROS					-
COSTO DIRECTO					\$ 282.590,80

Tabla 18. Valor m3 de concreto de 3000 psi

- CONCRETO 3500 psi

MEZCLA CONCRETO 1:2:2 3500 psi - 24,5 Mpa					Unidad: M3
					ITEM:
DESCRIPCION	UND	CANT.	DESP. %	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
AGUA	LTS	190	0	16,00	3.040,00
ARENA ESPINO	M3	0,67	0	60.000,00	40.200,00
GRAVA TRITURADA DE 1"	M3	0,67	0	70.000,00	46.900,00
GASOLINA CORRIENTE	GLN	0,1	0	8.700,00	870,00
CEMENTO GRIS	KLS	420	0	480,00	201.600,00
ADITIVO SIKAFUID	KLS	4,2	0	5.800,00	24.360,00
ACEITE MOTOR 4 TIEMPOS	GLN	0,006	0	70.000,00	420,00
SUBTOTAL MATERIALES					317.390,00
MANO DE OBRA					
M.O. ALBANILERIA 2 AYUDANTE	HC	1,1	0	12.248,00	13.472,80
SUBTOTAL MANO DE OBRA					13.472,80
EQUIPO					
MEZCLADORA DE 9 PIES CUBICOS	DIA	0,06	0	38.800,00	2.328,00
HERRAMIENTA MENOR	GLB	3	0	1.400,00	4.200,00
SUBTOTAL EQUIPO					6.528,00
OTROS					
SUBTOTAL OTROS					-
COSTO DIRECTO					\$ 337.390,80

Tabla 19. Valor m3 de concreto de 3500 psi

- CONCRETO 4000 psi

MEZCLA CONCRETO 1:2:2 4000 psi - 28 Mpa					Unidad: M3
					ITEM:
DESCRIPCION	UND	CANT.	DESP.%	PRECIO UNIT	VALOR TOTAL
MATERIALES					
AGUA	LTS	168	0	16,00	2.688,00
ARENA ESPINO	M3	0,67	0	60.000,00	40.200,00
GRAVA TRITURADA DE 1"	M3	0,67	0	70.000,00	46.900,00
GASOLINA CORRIENTE	GLN	0,1	0	8.700,00	870,00
CEMENTO GRIS	KLS	420	0	480,00	201.600,00
ADITIVO SIKAFUID	KLS	4,2	0	5.800,00	24.360,00
ACEITE MOTOR 4 TIEMPOS	GLN	0,006	0	70.000,00	420,00
SUBTOTAL MATERIALES					317.038,00
MANO DE OBRA					
M.O. ALBANILERIA 2 AYUDANTE	HC	1,5	0	12.248,00	18.372,00
SUBTOTAL MANO DE OBRA					18.372,00
EQUIPO					
MEZCLADORA DE 9 PIES CUBICOS	DIA	0,06	0	38.800,00	2.328,00
HERRAMIENTA MENOR	GLB	3	0	1.400,00	4.200,00
SUBTOTAL EQUIPO					6.528,00
OTROS					
SUBTOTAL OTROS					-
COSTO DIRECTO					\$ 341.938,00

Tabla 20. Valor de m3 de concreto de 4000 PSI

5.3 EXTRACCION DE NUCLEOS

Para hacer una extracción de un núcleo, se debe hacer un análisis de ultrasonido para saber dónde está el acero de refuerzo, puesto que no se pueden extraer núcleos con acero, además el ensayo de compresión no tendría validez.

VALOR DE EXTRACCIÓN DE UN NUCLEO DE CONCRETO = 250,000 PESOS.

5.4 ALQUILER ESCLEROMETRIA

El ensayo de esclerometria se cobra por puntos, cada punto incluye 10 disparos.

VALOR PUNTO CON ESCLEROMETRO = 50,000 PESOS.

5.5 COMPARACION ECONOMICA EXTRACCION DE NUCLEOS Y ENSAYO DE ESCLEROMETRIA

Es evidente que el valor de la extracción de núcleos es 5 veces mayor al ensayo de esclerometria. Sumado a esto a la extracción de núcleos debe sumarse el resane de la porción de concreto que fue extraída. Esto es aproximadamente 6 veces el valor que cuesta alquilar un esclerómetro y hacer el ensayo por cada punto.

6. CONCLUSIONES

Se puede predecir la resistencia a la compresión de un concreto fabricado con materiales de la cantera Pabón y la mina del Espino (mezcla 1), con un grado de confiabilidad del 81% con el método de esclerometría.

Se puede predecir la resistencia a la compresión de un concreto fabricado con materiales de la cantera Pilcuan y la mina del Espino (mezcla 2), con un grado de confiabilidad del 84% con el método de esclerometría.

Se puede predecir la resistencia de un concreto a 7 días de la mezcla 1 con acelerante al 3% del peso del cemento con un grado de confiabilidad del 78%.

Se puede predecir la resistencia de un concreto a 14 días de la mezcla 1 con acelerante al 2% del peso del cemento con un grado de confiabilidad del 83%.

Las pruebas de esclerometría hechas a cilindros a partir de la NTC 3692, no afectaron la resistencia a compresión obtenida posteriormente de hacer las pruebas de esclerometría, esto quiere decir que el impacto hecho por el esclerómetro no afecta la resistencia de un concreto.

La expresión que permite encontrar la resistencia máxima a la compresión que soporta un concreto a los 28 días de fraguado de la mezcla 1 es:

$$\text{Resistencia máxima a la compresión} = 7.4492 e^{0.0357 Q}$$

La expresión que permite encontrar la resistencia máxima a la compresión que soporta un concreto a los 28 días de fraguado de la mezcla 2 es:

$$\text{Resistencia máxima a la compresión} = 6.8871 e^{0.0348 Q}$$

La expresión que permite encontrar la resistencia máxima a la compresión que soporta un concreto a los 7 días de fraguado con acelerante de la mezcla 1 es:

$$\text{Resistencia máxima a la compresión} = 1.6771 e^{0.0727 Q}$$

La expresión que permite encontrar la resistencia máxima a la compresión que soporta un concreto a los 14 días de fraguado con acelerante de la mezcla 1 es:

$$\text{Resistencia máxima a la compresión} = 2.4907 e^{0.0633 Q}$$

El material de la cantera Pabón es muy poroso y de forma angular, por lo cual al fabricar concretos con este material, absorbía una mayor cantidad de agua lo que

hacia la mezcla bastante seca y su manejabilidad era mala, lo que aumentaba la energía de vibrado que se necesitaba en el laboratorio.

Las mezclas con acelerante a 7 días con resistencias de 2500, 3000 y 3500 PSI, alcanzaron al menos el 80 % de la resistencia de diseño a los 7 días

Las mezclas con acelerante a 14 días con resistencias de 2500 y 3000 PSI, alcanzaron el 85% de la resistencia de diseño a los 14 días

La mezcla con acelerante a 7 días con resistencia de 4000 PSI sobrepaso la resistencia de diseño a los 7 días.

Las mezclas con acelerante a 14 días con resistencias de 3500 y 4000 PSI, sobrepasaron la resistencia de diseño a los 14 días.

El uso de fluidificante influyó bastante en la manejabilidad de las mezclas de concreto además de incrementar su resistencia.

La colocación de las mezclas de concreto de 2500 y 3000 PSI al carecer de aditivo fluidificante dificultó su colocación y vibrado debido a que estas mezclas eran secas, requiriendo así una mayor energía de vibrado.

El enrasado final de las probetas cilíndricas es muy importante para que la calidad de los resultados sea buena. Las dos caras del cilindro deben estar paralelas entre si y perpendiculares al tronco del cilindro.

Es importante aplicar de manera exacta según las normas NTC cada ensayo, para que la calidad de sus resultados sea la adecuada.

Los materiales utilizados en esta investigación son de excelentes calidades puesto que las resistencias obtenidas sobrepasaron las resistencias de diseño, además de tener buenas características físico-mecánicas.

Los ensayos de esclerometría representan una quinta parte del costo que implica hacer la extracción de un núcleo.

Los ensayos de esclerometría se pueden hacer en cualquier superficie o parte de la sección del elemento estructural sin importar en que parte hay refuerzo de acero, a diferencia de la extracción de núcleo en la cual hay secciones de concreto en los cuales no se puede extraer núcleos debido a que el acero de refuerzo impide la perforación.

Los ensayos de esclerometría permiten agilidad para hacer un control de calidad y reducen considerablemente costos en comparación con ensayos destructivos.

7. RECOMENDACIONES

Obtener más puntos de comparación entre el ensayo de esclerometría y el de compresión, dado que así el coeficiente de correlación R cuadrado aumenta, brindando un mejor grado de confiabilidad del modelo.

Utilizar esclerómetro Silver SCHMIDT o similar, ya que en otros modelos influye mucho el ángulo y el sentido en los que se hace el impacto, lo cual llevaría a producir datos con un mayor margen de error.

Utilizar el esclerómetro con los resultados obtenidos en esta investigación únicamente para concretos fabricados con los mismos materiales aquí utilizados, ya que los resultados pueden variar por las características de los agregados.

Tener muy en cuenta la carbonatación del concreto en la estructura o elementos de concreto donde se utilice el esclerómetro ya que esta puede conducir a errores en la medición. Para esto se recomienda obtener el índice de carbonatación, el cual se puede introducir en el sistema del esclerómetro Silver SCHMIDT, y así evitar este tipo de errores. Los concretos fabricados en esta investigación, utilizaban relaciones A/C muy bajas en algunos casos, que en laboratorio eran fáciles de manejar aunque se presentaban manejabilidades del concreto muy malas, sin embargo, para pequeñas cantidades se pudieron tratar satisfactoriamente en laboratorio. No obstante en obra puede darse el caso que dependiendo del grado de manejabilidad del concreto deseado, estas relaciones se modifiquen según el caso.

BIBLIOGRAFIA

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. 2010. Normas Colombianas de diseño y construcción sismo resistente NSR-10: decreto número 1030 de 2010

CONCRETO SIMPLE. Ing. Gerardo A. Rivera. Capítulo 8. Dosificación de mezclas de concreto. www.propisos.com/MEZCLASCONCRETOPROPISOS:PDF

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

HARMSSEN, Teodoro. Diseño de estructuras de concreto armado. Fondo editorial, 2005

LEGARDA, Paulo Y AUGUSTO, James. Correlación entre el módulo de rotura y la resistencia a la compresión del concreto fabricado con materiales pétreos de la mina Las Terrazas y cantera La Victoria del municipio de Pasto. Pasto: Universidad de Nariño: 2011.

MANUAL SILVERSCHMIDT.PROCEQ

NEVILLE, A.M. Y BROOKS J.J. Tecnología del concreto: México DF: Trillas. 1998. 329p

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

SANCHEZ DE GUZMAN, Diego. Tecnología del concreto y del mortero: Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. Bhandar Editores Ltda. 2001. 349p

www.cemexcolombia.com.