

EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN CILINDROS DE
CONCRETO MEDIANTE EL ENSAYO DESTRUCTIVO NTC 673 Y PULSO
ULTRASONICO NTC 4325

ERNESTO ALBERTO MENDOZA PICO

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2014

EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN CILINDROS DE
CONCRETO MEDIANTE EL ENSAYO DESTRUCTIVO NTC 673 Y PULSO
ULTRASONICO NTC 4325

ERNESTO ALBERTO MENDOZA PICO

PROYECTO DE GRADO PARA OPTAR
AL TITULO DE INGENIERO CIVIL

DIRECTOR
ING. LUZ MARINA TORRADO GÓMEZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA SECCIONAL BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA

2014

Nota de aceptación

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

Bucaramanga, Abril de 2014

A Dios, a mis padres, hermanos, mis hijos
y a todas las personas que hacen parte de
mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme sabiduría, entendimiento y sobre todo ser mi guía hacia el camino del éxito.

A mis padres ERNESTINA PICO Y TOMAS MENDOZA por brindarme su apoyo incondicional, por su amor, por cada palabra, por cada consejo y estar en cada momento de mi vida.

A mis hermanos por TOMAS, RICARDO, ENEIDA Y TOMAS ALBERTO por cada palabra de aliento en cada momento de dificultad en este proyecto de vida.

A mis hijos ALEJANDRO y KATY SOFIA por ser mi motor y mi motivo de lucha cada día.

A KAREN DE LA HOZ GARCIA, por ser incondicional en mi vida, por su apoyo y amor.

A la ingeniera LUZ MARINA TORRADO GOMEZ por ayudarme a sacar este proyecto adelante y trasmitirme sus conocimientos para el mejoramiento de este.

A IMT quienes me apoyaron y colaboraron con el pulso ultrasónico para así lograr la terminación de mi proyecto.

A la familia BOLIVARIANA por su apoyo, sus enseñanzas, la transmisión de conocimientos a través de sus docentes, y todas esas personas que hicieron posible la realización de este proyecto.

Y cada una de las personas que me han estado apoyándome incondicionalmente sin importar los obstáculos durante todo este camino.

Ernesto Mendoza

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCION	12
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
3. OBJETIVOS	15
3.1 Objetivo General	15
3.2 Objetivos Específicos	15
4. JUSTIFICACION	16
5. ALCANCE	17
6. MARCO TEORICO	18
6.1 Generalidades del Pulso Ultrasónico	18
6.1.1 Transmisión Directa	21
6.1.2 Transmisión Semidirecta	21
6.1.3 Transmisión Indirecta	21
6.2 Generalidades del Concreto	23
6.2.1 Definición	24
6.2.2 Propiedades del Concreto	25
6.2.2.1 Manejabilidad	25
6.2.2.2 Consistencia	26
6.2.2.3 Plasticidad	26
6.3 Resistencia a la Compresión	27
7. METODOLOGÍA	28
8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	48
9. CONCLUSION Y RECOMENDACIONES	49
BIBLIOGRAFIA	50
ANEXOS	51

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Análisis granulométrico del triturado	31
Tabla 2. Masa unitaria suelta y compacta del triturado	31
Tabla 3. Peso específico y absorción del triturado	33
Tabla 4. Análisis granulométrico de la arena	33
Tabla 5. Masa unitaria suelta y compacta de la arena	34
Tabla 6. Peso específico y absorción de la arena	35
Tabla 7. Diseño de mezcla de concreto por el método ACI	36
Tabla 8. Diseño de mezcla de concreto por el método AC	37
Tabla 9. Diseño de mezcla disminuyendo la relación a/c	39
Tabla 10. Pruebas de pulso ultrasónico	40
Tabla 11. Pruebas de pulso ultrasónico	41
Tabla 12. Pruebas de pulso ultrasónico	42
Tabla 13. Pruebas de resistencia a la compresión	43
Tabla 14. Resistencia a la compresión	44
Tabla 15. Resistencia a la compresión	45

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Operación del pulso ultrasónico	19
Figura 2. Esquemas del funcionamiento del pulso ultrasónico	22
Figura 3. Muestras de Concreto	29
Figura 4. Muestras de concreto en agua	29
Figura 5. Tomando la velocidad de pulso ultrasónico	30
Figura 6. Pulso ultrasónico y la muestra a fallar	30
Figura 7. Resistencia a la compresión	30
Figura 8. Resistencia a la compresión	30
Figura 9. Muestras realizadas con el diseño de mezcla principal.	46
Figura 10. Muestras realizadas con el diseño de mezcla aumentando la relación agua – cemento.	46
Figura 11. Muestras realizadas con el diseño de mezcla disminuyendo la relación agua – cemento.	47

LISTA DE ANEXOS

		Pág.
Anexo 1.	Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación.	51
Anexo 2.	Radio medio de los espacios entre varillas	52
Anexo 3.	Tamaños máximos de agregados según el tipo de Construcción.	52
Anexo 4.	Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregados, con partículas de forma angular y textura rugosa, en concreto sin aire incluido.	53
Anexo 5.	Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregados, con partículas de forma redondeada y textura lisa, en concreto con aire incluido.	53
Anexo 6.	Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado, con partículas de forma redondeada y textura lisa, en concreto sin aire incluido	54
Anexo 7.	Cantidad aproximada de aire esperado en concreto sin aire incluido y niveles de aire incluido para diferentes tamaños máximos de agregado (a).	54
Anexo 8.	Correspondencia entre la resistencia a compresión y la relación agua-cemento para los cementos colombianos, Portlan tipo I en concretos sin aire incluido.	55

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN CILINDROS DE CONCRETO MEDIANTE EL ENSAYO DESTRUCTIVO NTC 673 Y PULSO ULTRASONICO NTC 4325.

AUTOR(ES): ERNESTO ALBERTO MENDOZA PICO.

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR(A): ING. LUZ MARINA TORRADO GÓMEZ.

RESUMEN

Existe varios métodos que permiten determinar la calidad del concreto, en esta investigación se desarrollan dos métodos en particular, uno de ellos es conocido con el nombre de "Resistencia a la Compresión", arrojando como resultado la resistencia que posee una probeta de concreto al ser sometida a carga axial hasta que ocurra la falla (sucede cuando la muestra fractura y no soporta más carga). Por otro lado surge la necesidad de implementar nuevas formas para desarrollar técnicas que faciliten y hagan eficiente el sector de la construcción donde se emplee el concreto, aparece un dispositivo electrónico denominado "Pulso Ultrasónico", por medio del que se emiten señales, ondas que viajan a través de las probetas de concreto desplazándose desde el extremo inferior hasta el extremo superior dando como resultado la velocidad de propagación de la onda. La medición de la velocidad del pulso ultrasónico da viabilidad a nuevas formas para obtener resultados acerca de la calidad del concreto, es un método no destructivo, de fácil y rápida aplicación, además no genera residuos sólidos por lo que se le considera ambientalmente sostenible. Con estos métodos se realizaron pruebas de laboratorio en muestras de concreto con tres diseños de mezclas de diferente relación agua cemento, para posteriormente hacer un análisis comparativo entre estos métodos y observar el comportamiento de la resistencia a la compresión con relación a la velocidad de pulso.

PALABRAS CLAVES:

PULSO ULTRASÓNICO, RESISTENCIA A LA COMPRESION

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: COMPRESSIVE STRENGTH EVALUATION OF CONCRETE CYLINDERS BY EMPLOYING THE DESTRUCTIVE TEST NTC 673 AND THE ULTRASONIC PULSE TEST NTC 4325.

AUTHOR(S): ERNESTO ALBERTO MENDOZA PICO.

FACULTY: Facultad de Ingeniería Civil

DIRECTOR: ING. LUZ MARINA TORRADO GÓMEZ.

ABSTRACT

There are various methods that allow for determining the quality of concrete; in this investigation, two methods are developed. One of them is the "compressive strength method", which yields the compressive strength of a concrete sample subjected to an axial load until failure occurs (it takes place when the specimen fractures and no longer withstand load). On the other hand, there is a need to develop new techniques to facilitate and to make efficient all applications of the construction industry where concrete is employed. With that comes into play an electronic device called "ultrasonic pulser/sensors". Ultrasonic waves are emitted from this device and travel through the sample from bottom to top yielding the velocity of propagation of the wave. The measurement of this velocity sets the framework to allow for new ways of assessing the quality of concrete. This is a non-destructive method, of straightforward and rapid application and in addition to that, it does not produce solid waste, for which it is considered environmentally sustainable. These methods of laboratory testing of concrete samples were applied to three different concrete mixture designs of different water to cement ratio, with the goal of performing a comparative analysis between them and determining the relationship between the compressive strength and the velocity of propagation of the wave.

KEYWORDS:

ULTRASONIC PULSE, COMPRESSIVE STRENGTH

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCION

El concreto es una mezcla a base de diversos componentes, tales como cemento, triturado, arena y agua, que al endurecerse forma un todo compacto (piedra artificial) y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos a compresión pero no a tensión.¹ Las proporciones son definidas por el diseñador según la resistencia que se requiera en obra; en determinadas circunstancias se utiliza un quinto componente llamado “*aditivos*”, siendo útiles para acelerar o retardar el fraguado; aumentar la resistencia; soportar el congelamiento y deshielo, etc.

*Mediante pruebas de laboratorio reguladas por la norma colombiana NTC 673 “Resistencia a la compresión” se puede determinar la resistencia a la aplicación de una carga axial por unidad de área de concreto, arrojando como resultado la resistencia que posee una probeta de dimensiones estandarizadas (15cm diámetro x 30cm altura) al ser sometida a carga axial de compresión hasta que ocurra la falla, para garantizar la vida útil en una estructura y el confort de los usuarios del producto terminado llámese viviendas, vías, sistema de acueducto o alcantarillado en donde se esté empleando, teniendo en cuenta que el compromiso de los ingenieros civiles es satisfacer las necesidades de la comunidad en general (en la búsqueda de optimizar tiempo, materiales y recursos económicos) surge la necesidad de implementar nuevas formas para desarrollar técnicas que faciliten y hagan eficiente el sector de la construcción donde se emplee el concreto u hormigón, aparece un dispositivo electrónico denominado “*pulso ultrasónico*” **NTC 4325**, por medio del que se emiten señales, ondas que viajan a través de las probetas de concreto desplazándose desde el extremo*

¹ SÁNCHEZ DE GUZMÁN Diego, Tecnología del Concreto y el Mortero. Bogotá D.C. Universidad Pontificia Javeriana. 2001.

inferior hasta el superior dando como resultado la velocidad de propagación de la onda.

La medición de la velocidad del pulso ultrasónico da viabilidad a nuevas formas para obtener resultados acerca de la calidad del concreto, es un método no destructivo, de fácil y rápida aplicación, además no genera residuos sólidos por lo que se le considera ambientalmente sostenible.

Este método consiste en medir el tiempo en que una onda ultrasónica atraviesa el concreto, en este caso particular se trata de concreto no reforzado, para que este método fuese posible se partió de un principio físico en el que las ondas sonoras se pueden propagar en cualquier medio donde existan átomos o moléculas que puedan vibrar estáticamente. Desde la unidad central se transmite un impulso electrónico a un transductor emisor donde excita un bloque de cristales, el transductor a través del bloque emite un impulso ultrasónico que viaja por el concreto hasta el transductor receptor y al ser recibido se transforma en pulsos eléctrico. El transductor es un dispositivo capaz de convertir o transformar un tipo de energía de entrada en otra diferente a la salida.²

² SÁNCHEZ DE GUZMÁN Diego, Tecnología del Concreto y el Mortero. Bogotá D.C. Universidad Pontificia Javeriana. 2001..

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Debido al alto interés por mejorar la calidad del concreto utilizado en obras de construcción en el país, cada día se implementan nuevas técnicas y métodos para lograr la optimización de recursos. Es de gran importancia tener en cuenta la fuente de los materiales y la calidad de estos agregados que harán parte fundamental del concreto en estudio, porque este es uno de los factores que afecta de forma directa la resistencia del concreto, al igual que el tipo de cemento y la proporción de agua empleada en la mezcla.

En la actualidad surge la necesidad por generar conocimientos que permitan obtener una relación de la resistencia a compresión del concreto y la velocidad del pulso ultrasónico, de forma rápida, segura y confiable, por lo que generan las siguientes dudas: ¿Es posible determinar la resistencia del concreto por medio de la velocidad del pulso ultrasónico?, ¿Cómo se relacionan la resistencia a la compresión del concreto y la velocidad del pulso ultrasónico?

Este método fue usado para analizar las propiedades mecánicas de los materiales, como los agregados y a su vez el comportamiento de la mezcla para formar el concreto, es una prueba no destructiva para evaluar la calidad del concreto conocido como pulso ultrasónico, los aparatos consisten, esencialmente, de un generador eléctrico de pulsos, un par de transductores, un amplificador y un controlador electrónico de tiempo que permite medir el intervalo de tiempo entre la salida de un pulso del transductor emisor y la llegada al transductor receptor. Existen dos tipos de controladores, de tiempo y de pantallas, uno que usa un tubo de rayos catódicos y permite ver en la pantalla el pulso recibido en una escala dada de tiempo, el otro usa un medidor de intervalos de tiempo y una pantalla en la cual aparece directamente la lectura en forma digital.³

³ SÁNCHEZ DE GUZMÁN Diego, Tecnología del Concreto y el Mortero. Bogotá D.C. Universidad Pontificia Javeriana. 2001.

2. OBJETIVOS

3.1 Objetivo General

- Realizar el Análisis comparativo de la resistencia a la compresión del concreto y la velocidad del pulso ultrasónico.

2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar los agregados por medio de los respectivos ensayos de laboratorio.
- Determinar la resistencia a la compresión del concreto.
- Determinar la velocidad del pulso medida en el concreto.
- Establecer una correlación entre la resistencia a compresión del concreto ($f'c$) versus la velocidad del pulso.

3. JUSTIFICACIÓN

Los ingenieros civiles tienen el deber y la responsabilidad social de desarrollar ciudades sostenibles, que garanticen el confort para todos sus habitantes y vayan de la mano con el medio ambiente, es por esta razón, que cada día se somete a prueba para ser analizado con los diferentes métodos, determinar su comportamiento, establecer las propiedades mecánicas de cada uno de sus componentes que permitan mejorar la calidad del concreto; ya que en todas las obras de construcción hace parte esencial para la elaboración de cada uno de los elementos estructurales hechos con este material (concreto).

Al desarrollar esta investigación se pretende continuar un lineamiento que permita obtener la resistencia del concreto, por medio de una relación entre un método tradicional, destructivo y un método innovador, no destructivo, que no genera residuos sólidos. En comparación con los ensayos de resistencia mecánica hechos sobre cubos o cilindros, las mediciones de la velocidad del pulso tienen la ventaja que están directamente relacionadas con el concreto de la estructura y no con muestras que a menudo no son representativas del concreto en sitio.

El método utilizado para la medición de la velocidad es el “Pulso Ultrasónico”, consiste en medir la velocidad con la que viaja una onda por medio del tiempo que tarda en atravesar una distancia, desde el extremo superior hasta el inferior de una muestra de concreto de forma cilíndrica (10 x 20 cm).

4. ALCANCE

El presente estudio tuvo como alcance la determinación de las propiedades mecánicas de los agregados y del cementante que se utilizó para la elaboración de tres tipos de mezclas preparadas con diferentes relaciones de A/C y un total de noventa (90) especímenes, a los cuales se les determino parámetros tales como, la relación agua cemento, la velocidad de pulso y la resistencia a la compresión, las cuales fueron fundamentales para conocer las condiciones en que se encontraba el concreto.

Con los resultados obtenidos se determinó la correlación existente entre los parámetros de resistencia a la compresión y la velocidad del pulso ultrasónico, con el fin de obtener la reducción en el tiempo empleado en tomar las muestras y al mismo tiempo la reducción de los costos de construcción.

Este trabajo lo apoyo la línea de investigación de nuevos materiales del grupo de investigación DECOR y lo que busca este proyecto es determinar la confiabilidad del ensayo de pulso ultrasónico adquirido en un proyecto de investigación del mismo grupo.

5. MARCO TEÓRICO

Para abordar el objetivo principal de la investigación es necesario indagar un poco sobre el funcionamiento, características, comportamiento de los ultrasonidos para entender con claridad como es el funcionamiento del dispositivo que permite obtener la velocidad de pulso ultrasónico.

6.1. GENERALIDADES DEL PULSO ULTRASÓNICO

Antes de la segunda guerra mundial aparece el Sonar, técnica en la que envían ondas a través del agua para observar los ecos emitidos y así caracterizar objetos sumergidos, fue el precursor de la técnica de medición de la velocidad de pulso ultrasónico para el ensayo de estructuras de concreto, poco después de la segunda guerra mundial investigadores de Japón empezaron a indagar las posibilidades para emplear los ultrasonidos en el diagnóstico médico. Entre 1946 y 1950 se fue ideado en Canadá por J.R. Leslie y W.J. Cheesman la experimentación del método ultrasónico aplicado al concreto, al mismo tiempo en Inglaterra por R. Jones quien se encarga de perfeccionar este instrumento que en la época era conocido como probador ultrasónico para concreto.⁴

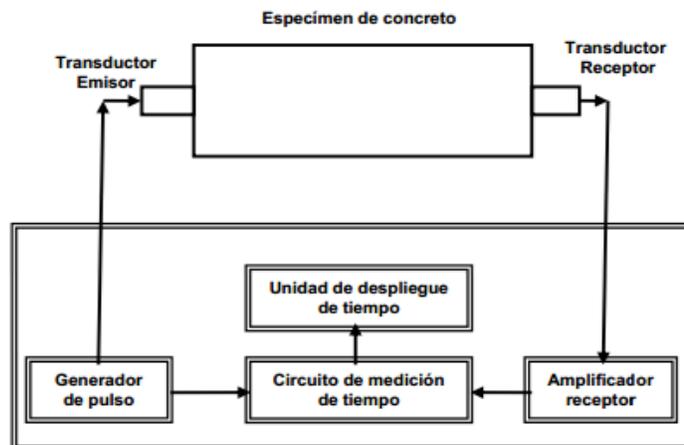
Los ultrasonidos son antes que nada “sonido”, exactamente igual que los percibidos por cualquier persona, salvo que tienen frecuencias mayores que la máxima audible por el oído humano. Esta comienza desde unos 16 Hz y tiene un límite superior de aproximadamente 20 KHz, mientras que las utilizadas en estos dispositivos electrónicos que ofrece actualmente la tecnología tienen sonido con una frecuencia de 40 KHz, a este tipo de sonidos es a los que se denomina Ultrasonidos. El funcionamiento básico de los ultrasonidos como medidores de distancia, es donde se tiene un transmisor que emite un pulso de ultrasonido y

⁴ Revista Académica de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, México 2004, volumen 8, número 002.

rebota sobre un determinado objeto, la reflexión de ese pulso es detectada por un receptor de ultrasonidos, es a través de este fenómeno que se hace posible el desarrollo de nuevas formas para determinar la calidad del concreto.⁵

La medición de la velocidad del pulso ultrasónico da viabilidad a nuevas formas para obtener resultados acerca de la calidad del concreto, es un método no destructivo de fácil y rápida aplicación, además no genera residuos sólidos, esto hace que sea ambientalmente sostenible.

Este método consiste en medir el tiempo en que una onda ultrasónica atraviesa el concreto, en este caso en particular se trata de concreto no reforzado, para que este método fuese posible, se partió de un principio físico en el que las ondas sonoras se pueden propagar en cualquier medio donde existan átomos o moléculas que puedan vibrar estáticamente. A través del transductor se emiten impulsos ultrasónicos que viajan por el concreto hasta el transductor receptor y al ser recibido se transforma en pulsos eléctricos. El transductor es un dispositivo capaz de convertir o transformar un tipo de energía de entrada en otra diferente a la salida.⁶



Fuente Tecnología del concreto y del mortero

Figura 1. Operación del pulso ultrasónico.

⁵ Pérez Diego, Sensores de Distancia por Ultrasonido

⁶ Sánchez de Guzmán, Diego. Tecnología del Concreto y el Mortero. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá. P 210. 2001

Al indagar en la Norma Técnica Colombia 4325 la medición de la velocidad de pulso ultrasónico de vibración longitudinal es aplicable a: Determinación de la uniformidad del concreto, esta se logra por medio de la velocidad de pulso, a lo largo de un elemento estructural, dependiendo que tan dispersos estén los resultados de los datos medidos se establece el criterio sobre qué tan homogénea fue la mezcla de concreto empleada en dicha estructura, entre más parecidos sean los datos se dice que la mezcla empleada es uniforme; al mirar desde otra perspectiva se considera que la heterogeneidad en el concreto causa variaciones en la velocidad del pulso y a su vez están relacionadas con las variaciones en la calidad.⁷ Es posible detectar los defectos en el concreto, cuando hay presencia de grietas, vacíos, la onda al viajar por el concreto presenta una transmisión de energía nula, ocasionando una obstrucción en la señal ultrasónica directa.

Los métodos de ensayo no destructivos se aplican en el campo de la construcción por ciertas razones principales:

- ▶ Control de calidad de las nuevas construcciones.
- ▶ Revisión y solución de problemas que se presenten con la nueva construcción.
- ▶ La evaluación del estado del concreto con mayor edad con fines de rehabilitación, y garantía de calidad de las reparaciones de concreto.

Existen tres formas diferentes para tomar la velocidad de pulso y acorde a la necesidad se selecciona la más adecuada para determinado trabajo, vale la pena resaltar que en estos casos el método lo hace de forma longitudinal.⁸

⁷ NTC 4325, volumen actual.

⁸ SÁNCHEZ DE GUZMÁN Diego, Tecnología del Concreto y el Mortero. Bogotá D.C. Universidad Pontificia Javeriana. 2001.

6.1.1. Transmisión Directa

En la transmisión directa los transductores se posicionan en caras opuestas y quedando enfrentados en ángulo perpendicular respecto al hormigón, en la cual la trayectoria de la onda es recta entre los dos transductores con una mayor energía, determinando de forma precisa la longitud de recorrido de la onda, este ensayo da resultados muy fiables.⁹

6.1.2. Transmisión Semidirecta

En este método los transductores están situados en dos caras adyacentes, las cuales forman en general un ángulo recto, puede ser satisfactorio si la longitud de recorrido no es demasiada larga. La longitud de recorrido no se define bien dado al tamaño finito del transductor, pero es usual medir esta longitud desde el centro del emisor hasta el centro del receptor.¹⁰

6.1.3. Transmisión Indirecta

En la transmisión indirecta o superficial los transductores se disponen en la misma cara del elemento que se ensaya, se debe hacer hipótesis en cuanto a la trayectoria de las ondas, es decir la longitud de recorrido. Además sólo el 3 % de la amplitud de la señal es transmitido: existe una dispersión de las ondas y atenuación de su amplitud a causa de las discontinuidades en el hormigón, y esos fenómenos reducen la calidad del impulso recibido.

Estas medidas dependen mucho del estado superficial (grietas, heterogeneidad, coqueas) de la probeta o del elemento estructural de concreto a ensayar, por esta razón considerada como poco fiable.¹¹

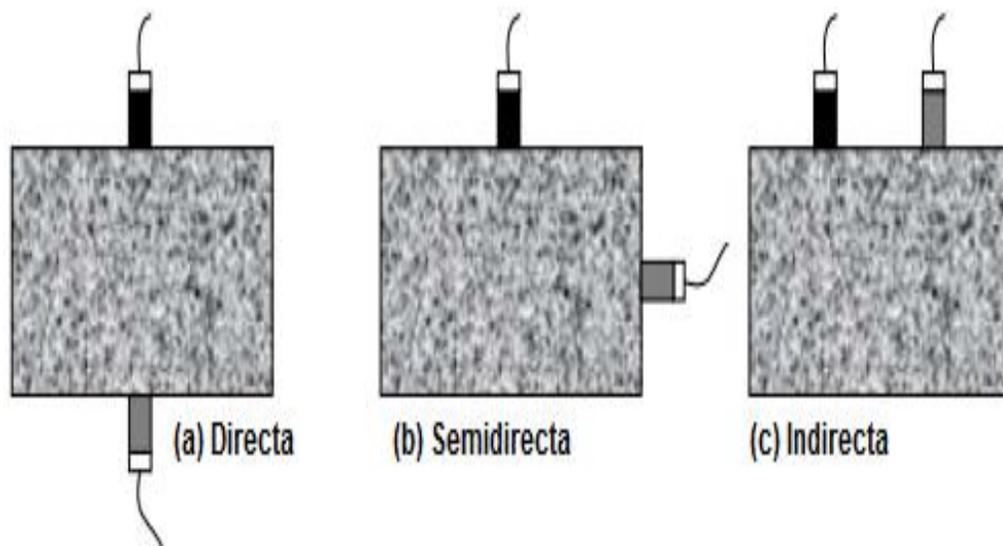
⁹ SÁNCHEZ DE GUZMÁN Diego, Tecnología del Concreto y el Mortero. Bogotá D.C. Universidad Pontificia Javeriana. 2001.

¹⁰ SÁNCHEZ DE GUZMÁN Diego, Tecnología del Concreto y el Mortero. Bogotá D.C. Universidad Pontificia Javeriana. 2001.

¹¹ SÁNCHEZ DE GUZMÁN Diego, Tecnología del Concreto y el Mortero. Bogotá D.C. Universidad Pontificia Javeriana. 2001.

En cualquier de estos tres casos es común adoptar como medida de tiempo de recorrido del impulso ultrasónico el valor medio de dos determinaciones, correspondientes a un intercambio de la posición relativa del emisor y del receptor.

En efecto en la medición en campo, al estar la superficie de concreto rugosa e irregular, puede variar el espesor de acoplamiento entre los dos transductores, esta diferencia puede generar cambios, fenómenos de difracción o reflexión entre las dos determinaciones.



Fuente <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/467/46780204.pdf>

Figura 2. Esquemas del funcionamiento del pulso ultrasónico

Según estudios realizados por las diferentes empresas pioneras en este tipo de investigación en el departamento de Santander, se determinó que para elementos con dimensiones pequeñas, es preferible emplear transductores de alta frecuencia, mientras para elementos con mayor longitud se debe utilizar transductores con frecuencias bajas. En este caso se plantea utilizar el método de “*Transmisión Directa*” para medir la velocidad de pulso ultrasónico en el que se genera un impulso de vibración longitudinal, ya que arroja resultados de mayor

precisión y más cercanos a la realidad debido a que la energía entre los transductores está en su máximo.

6.2. GENERALIDADES DEL CONCRETO

Probablemente la historia de los cementantes es tan antigua como la propia humanidad. Su empleo se remonta a las épocas en que el hombre se vio en la necesidad de construir su propia habitación utilizando arcilla o una mezcla de cal y arena para mantener juntas las paredes o ladrillos de éstas. No hay forma de saber con precisión cuándo se descubrió por primera vez un material aglomerante, pero seguro fue después del primer uso inteligente del fuego. Uno puede imaginarse al hombre primitivo encendiendo fuego en un hoyo rodeado de piedras caliza y yeso; el calor descarbonata o deshidrata una parte de las piedras, que caen convertidas en polvo entre las otras restantes. Una ligera lluvia por la noche moja este polvo y los trozos de piedra quedan sólidamente unidos, formándose la primera mampostería.

Tal vez el dato más exacto de empleo de materiales cementantes se remonta hacia el año 2690 A.C., cuando los egipcios construyeron la primera pirámide de Gizeh, en donde los bloques de piedra de esta obra de cuarenta pisos fueron pegados con un mortero hecho de yeso calcinado impuro y arena; a esta obra siguieron las que aún hoy en día se encuentran a lo largo del río Nilo.

Más tarde en Grecia y Roma se produjeron morteros hechos a base de pasta de caliza calcinada (cal viva) y agua, a la cual se adicionaba arena, para unir las estructuras de piedra y ladrillo. Posteriormente a estas mezclas se incorporaron piedra triturada, tejas rotas o ladrillo, dando origen al primer concreto de la historia.

Debido a que los morteros de cal viva no resistían muy bien la acción del agua durante periodos largos, se presume que a esta mezcla se incorporaron toda clase

de agregados en una u otra época y pronto se descubrió que la arena proveniente de ciertas rocas volcánicas tenía mayor resistencia y duración tanto en aguas dulces como en saladas. Igualmente sucedió con la arcilla quemada que era finalmente triturada e incorporada al mortero.

La mala calidad de los morteros usados en la Edad Media se debe al parecer a una cocción incompleta de la cal, descuido en la mano de obra y carencia de tobas volcánicas.¹²

6.2.1 Definición.

En términos generales, el concreto u hormigón puede definirse como la mezcla de un material aglutinante (Cemento Portland Hidráulico), un material de relleno (agregados), agua y eventualmente aditivos, que al endurecerse forman un todo compacto (piedra artificial) y después de cierto tiempo es capaz de soportar grandes esfuerzos de compresión.¹³

Las propiedades del concreto se estudian primordialmente con la finalidad de determinar el diseño de mezcla, el cual se define como el proceso para seleccionar los ingredientes adecuados y determinar sus cantidades relativas. Los factores que se deben tener en cuenta al hacer un diseño de mezcla de concreto son los siguientes:

- Economía
- Facilidad de colocación y consolidación
- Velocidad de fraguado
- Resistencia
- Durabilidad

¹² SÁNCHEZ DE GUZMÁN Diego, Tecnología del Concreto y el Mortero. Bogotá D.C. Universidad Pontificia Javeriana. 2001.

¹³ SÁNCHEZ DE GUZMÁN Diego, Tecnología del Concreto y el Mortero. Bogotá D.C. Universidad Pontificia Javeriana. 2001.

- Impermeabilidad
- Peso unitario
- Estabilidad volumétrica
- Apariencia adecuada

Estos factores o características requeridas están determinados por el uso al que estará destinado el concreto y por las condiciones esperadas en el momento de su colocación.

6.2.2 Propiedades del concreto

Debido que todas las propiedades del concreto en estado endurecido dependen en mayor grado de sus características en estado fresco, especialmente en lo que se refiere a los procesos de mezclado, transporte, colocación, compactación y terminado, es de gran importancia conocer algunos fenómenos que se presentan en el concreto en estado fresco como son la segregación, la exudación y la temperatura.¹⁴

6.2.2.1 Manejabilidad

Conocida también como trabajabilidad, se considera como aquella propiedad del concreto mediante la cual se determina su capacidad para ser colocado, consolidado apropiadamente y para ser terminado sin agregación alguna.

El Road Research Laboratory, de la Gran Bretaña, define la manejabilidad en términos de capacidad de compactación, ya que al consolidar la mezcla dentro de una formaleta, hay que vencer la fricción interna que se presenta entre las distintas partículas de los materiales que lo componen y una fricción externa o

¹⁴ SÁNCHEZ DE GUZMÁN Diego, Tecnología del Concreto y el Mortero. Bogotá D.C. Universidad Pontificia Javeriana. 2001.

superficial entre el concreto y la superficie de la cimbra o del refuerzo, con el fin de extraer e aire naturalmente atrapado y lograr la mayor densidad posible.¹⁵

De acuerdo a lo anterior la manejabilidad queda definida como la cantidad de trabajo interno útil y necesario para producir una compactación completa, debido a que la fricción interna es una propiedad intrínseca de la mezcla y no depende de un tipo o sistema particular de construcción.

6.2.2.2 Consistencia

Otro término para caracterizar el estado plástico del concreto es la “consistencia”, que aunque está relacionada con el concepto de manejabilidad, no es su sinónimo. En términos generales, la consistencia se refiere a su estado de fluidez, es decir, que tan dura o blanda es una mezcla de concreto cuando se encuentra en estado plástico, por lo cual se dice que es el grado de humedad de la mezcla.¹⁶

6.2.2.3 Plasticidad

Se denomina como plasticidad a una consistencia del concreto tal que pueda ser fácilmente moldeado, pero que le permita al concreto fresco cambiar de forma lentamente si se saca el molde. Por tal razón, no puede considerarse como mezclas de consistencias plásticas ni las muy secas ni las muy fluidas.

En términos generales, la resistencia del concreto se determina por la cantidad neta de agua utilizada por cantidad unitaria de cemento, para un conjunto dado de materiales y de condiciones. Esto es lo que se conoce hoy en día como relación “*agua-cemento*”, la cual está dada en peso.

¹⁵ SÁNCHEZ DE GUZMÁN Diego, Tecnología del Concreto y el Mortero. Bogotá D.C. Universidad Pontificia Javeriana. 2001.

¹⁶ SÁNCHEZ DE GUZMÁN Diego, Tecnología del Concreto y el Mortero. Bogotá D.C. Universidad Pontificia Javeriana. 2001.

Como la finalidad de este estudio es encontrar la correlación existente entre la resistencia a la compresión del concreto y la velocidad de pulso ultrasónico, es indispensable conocer la resistencia a la compresión.¹⁷

6.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Se puede definir como la máxima carga axial que puede resistir un cilindro de concreto al momento de fallar, es uno de los parámetros fundamentales para establecer la calidad del concreto empleado en obra, es un método destructivo y en la actualidad el que más se utiliza para determinar este parámetro, el cual depende a su vez de la calidad de los materiales que lo conforman (agregados, cemento, agua). Es la característica mecánica principal del concreto, una forma tradicional de medir y apreciar la calidad del concreto; en los diseños estructurales se contempla la posibilidad que la estructura se agriete, fracture, pero que no colapse, dando la posibilidad de evacuación en caso de una emergencia. Se expresa en términos de esfuerzo en kg/cm² y con alguna frecuencia en libras por pulgadas cuadradas (P.S.I.), la equivalencia que hay entre los dos es que **1 P.S.I.** es igual a **0.07 kg/cm²**; en las NTC 673 y NTC 550 se describen los procedimientos para fabricar las muestras de concreto y su respectivo curado.¹⁸

¹⁷ SÁNCHEZ DE GUZMÁN Diego, Tecnología del Concreto y el Mortero. Bogotá D.C. Universidad Pontificia Javeriana. 2001.

¹⁸ SÁNCHEZ DE GUZMÁN Diego, Tecnología del Concreto y el Mortero. Bogotá D.C. Universidad Pontificia Javeriana. 2001.

7 METODOLOGÍA

Inicialmente se hizo la caracterización de cada uno de los materiales que conforman el concreto (cemento, arena, triturado, agua) a través de los diferentes ensayos de laboratorio, al conocer las propiedades de cada uno de los materiales a utilizar en esta investigación se puede prever un mal comportamiento de las muestras y aprovechar al máximo estas propiedades físicas y mecánicas para obtener un concreto con alta calidad. Mediante los ensayos de laboratorio tales como análisis granulométrico de los agregados mediante la norma INVE-213-07, peso específico y absorción de los agregados de acuerdo a la norma técnica INVE-222 y 223 , masas unitarias sueltas y compactas INVE-217. El material cementante a utilizar será el cemento Portland Hidráulico Tipo 1 marca Diamante, al cual se le realizarán los ensayos de peso específico por el método de Le Chatelier, finura Blaine, Consistencia normal del cemento y Tiempos de fraguado.

Se procede con el diseño de mezcla que permite determinar las proporciones o cantidades necesarias de cemento, arena, triturado y agua que se deben emplear para hacer determinado número de muestras; a partir de un diseño principal se hicieron dos diseños más, uno en donde se aumenta la relación a/c y el otro en donde se disminuye la relación a/c en una proporción de 0.1; partiendo en el diseño principal de una relación a/c de 0.48; el método de diseño empleado fue el A.C.I. Se utilizó como libro guía "*Tecnología del Concreto*" cuyo autor es el ingeniero Diego Sánchez de Guzmán, quinta edición, por medio de este fue posible calcular los diferentes diseños de mezclas necesarios en este estudio.

En la siguiente etapa se fabrican las muestras cilíndricas de concreto de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura, teniendo en cuenta el procedimiento previo a seguir para la elaboración de cada espécimen; se pesan las cantidades de cada uno de los materiales para hacer la mezcla de concreto, mezclar hasta lograr una pasta homogénea, luego se funden las probetas teniendo en cuenta el procedimiento, las recomendaciones y observaciones pertinentes para obtener unos especímenes

con dicha resistencia de diseño prevista, al transcurrir 24 hora de fundida las muestras se desencofran y se sumergen en agua para un excelente proceso de curado.



Fuente MENDOZA PICO, Ernesto

Figura 3. Muestras de Concreto



Fuente MENDOZA PICO, Ernesto

Figura 4. Muestras de concreto en agua

Durante 28 días de estar sumergidos en agua, secan a temperatura ambiente y se disponen para hacerles la prueba de pulso ultrasónico, esta consiste en emitir a través del dispositivo electrónico una onda la cuál viaja a través del concreto arrojando como resultado de esta prueba la velocidad de pulso ultrasónico. Siguiendo los procedimientos y recomendaciones señalados en la NTC 4325 para realizar estas pruebas de laboratorio.



Fuente MENDOZA PICO, Ernesto



Fuente MENDOZA PICO, Ernesto

Figura 5. Tomando la velocidad de pulso ultrasónico *Figura 6. Pulso ultrasónico y la muestra a fallar*

Luego se realiza la prueba de resistencia a la compresión, se llevan los cilindros de concreto a la prensa universal y se les aplica carga axial hasta que la muestra fracture, arrojando como resultado la carga en kilonewton (KN). Siguiendo los procedimientos y recomendaciones señalados en la NTC 673 para realizar estas pruebas de laboratorio.



Fuente MENDOZA PICO, Ernesto

Figura 7. Resistencia a la compresión



Fuente MENDOZA PICO, Ernesto

Figura 8. Resistencia a la compresión

TABLA DE LA CARACTERIZACION DE LOS MATERIALES

Tabla 1. Análisis granulométrico del triturado

Abertura(mm)	Tamiz	Peso Ret (g)	% Ret	% Ret Acum.	% pasa
25,4	1"	0	0,0	0	100
19,05	3/4"	582	10,2	10	89,8
12,7	1/2"	3013,4	52,7	63	37,1
9,52	3/8"	940,8	16,5	79	20,6
4,75	No. 4	702,8	12,3	92	8,3
2,36	8	85,4	1,5	93	6,8
2	10	0	0,0	93	6,8
1,18	16	49	0,9	94	5,9
Fondo	-----	339,6	5,9	100	0,0

Fuente MENDOZA PICO, Ernesto

Peso triturado seco inicial = 5713 g

Peso triturado seco lavado final = 5475.4 g

Tabla 2. Masa unitaria suelta y compacta del triturado

h =	18,6	Cm
ϕ =	18,5	Cm
PESO CILINDRO	3085	Gr
VOLUMEN CILINDRO	4999,7	cm ³

Fuente MENDOZA PICO, Ernesto

MASA UNITARIA SUELTA		
PESO TRITURADO SUELTO + CILINDRO	9998	gr
PESO TRITURADO SUELTO + CILINDRO	10083	gr
PESO TRITURADO SUELTO + CILINDRO	9970	gr

Fuente MENDOZA PICO, Ernesto

PESO TRITURADO	6913	Gr
PESO TRITURADO	6998	Gr
PESO TRITURADO	6885	Gr
PROMEDIO		
	6932	Gr

MASA UNITARIA SUELTA TRITURADO	1,386 gr/cm³
---------------------------------------	--

Fuente MENDOZA PICO, Ernesto

MASA UNITARIA COMPACTA		
PESO TRITURADO COMPACTO + CILINDRO	10736	gr
PESO TRITURADO COMPACTO + CILINDRO	10935	gr
PESO TRITURADO COMPACTO + CILINDRO	10776	gr

PESO TRITURADO COMPACTO	7651	gr
PESO TRITURADO COMPACTO	7850	gr
PESO TRITURADO COMPACTO	7691	gr
PROMEDIO		
	7731	Gr

MASA UNITARIA COMPACTA TRITURADO	1,546	gr/cm³
---	--------------	--------------------------

Fuente MENDOZA PICO, Ernesto

Tabla 3. Peso específico y absorción del triturado

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL TRIRURADO			
PESO SECO HORNO		4988	gr
PESO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO		5055	gr
PESO SUMERGIDO		3026	gr
PESO ESPECÍFICO TRITURADO			
		2,458	q UNIDADES
% ABSORCIÓN			
		1,34	%

Fuente MENDOZA PICO, Ernesto

Tabla 4. Análisis granulométrico de la arena

Peso arena seco inicial = 1692.4 g

Peso arena seco lavado final = 1682.6 g

Abertura(mm)	Tamiz	Peso Ret (g)	% Ret	% Ret Acum.	% pasa
12,7	1/2"	0	0	0	100
9,52	3/8"	14,4	0,85	0,85	99
4,75	No. 4	40,6	2,40	3,25	96,8
2,36	8	106,9	6,32	9,57	90,4
1,18	16	270,6	15,99	25,56	74,4
4,75	30	663	39,18	64,73	35,3
2,36	50	425,4	25,14	89,87	10,1
2	100	134,4	7,94	97,81	2,2
0,074	200	25,6	1,51	99,32	0,7
Fondo	-----	11,5	0,68	100,00	0,0
	Total	1692,4	100,00		

MODULO FINURA	2,916
----------------------	--------------

Fuente MENDOZA PICO, Ernesto

Tabla 5. Masa unitaria suelta y compacta de la arena

h =	18,6	Cm
Φ =	18,5	Cm
PESO CILINDRO	3085	Gr
VOLUMEN CILINDRO	4999,7	cm ³

MASA UNITARIA SUELTA		
PESO ARENA SUELTA + CILINDRO	10597	gr
PESO ARENA SUELTA + CILINDRO	10696	gr
PESO ARENA SUELTA + CILINDRO	10657	gr

PESO ARENA	7512	Gr
PESO ARENA	7611	Gr
PESO ARENA	7572	Gr

PROMEDIO	7565	Gr
-----------------	-------------	-----------

MASA UNITARIA SUELTA ARENA	1,513	gr/cm³
-----------------------------------	--------------	--------------------------

Fuente MENDOZA PICO, Ernesto

MASA UNITARIA COMPACTA		
PESO ARENA COMPACTA + CILINDRO	11482	gr
PESO ARENA COMPACTA + CILINDRO	11381	gr
PESO ARENA COMPACTA + CILINDRO	11514	gr

PESO ARENA COMPACTA	8397	Gr
PESO ARENA COMPACTA	8296	Gr
PESO ARENA COMPACTA	8429	Gr

PROMEDIO	8374	
MASA UNITARIA COMPACTA ARENA	1,675	gr/cm³

Fuente MENDOZA PICO, Ernesto

Tabla 6. Peso específico y absorción de la arena

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE LA ARENA		
PESO SECO HORNO	492	gr
PESO PICNÓMETRO +AGUA	638	gr
PESO PICNÓMETRO + ARENA +AGUA	945	gr
PESO ARENA SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA	500	gr
PESO ESPECÍFICO ARENA	2,549	gr/cm³

% ABSORCIÓN	1,63	%
PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO		
PESO CEMENTO	64	Gr
TEMPERATURA KEROSENE	24	°C
LECTURA INICIAL	0,1	cm ³
LECTURA FINAL	22	cm ³
PESO ESPECÍFICO CEMENTO	2,922	gr/cm³

Fuente MENDOZA PICO, Ernesto

Tabla 7. Diseño de mezcla de concreto por el método ACI

DISEÑO DE MEZCLA PRINCIPAL

Para el diseño de mezcla principal se emplea una relación a/c igual a 0.48%

CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES

AGREGADO GRUESO	
MASA UNIT SUELTA	1386
MASA INIT COMPACTA	1546
TAMAÑO MAXIMO	1"
TAMAÑO MAXIMO NIMINAL	3/4"
PESO ESPECÍFICO	2458
ABSORCIÓN (%)	1,34
b/b₀ (TABLA)	0,612
b₀	0,629

Fuente MENDOZA PICO, Ernesto

AGREGADO FINO	
MASA UNIT SUELTA	1513
MASA INIT COMPACTA	1675
MODULO DE FINURA	2,92
PESO ESPECÍFICO	2549
ABSORCIÓN (%)	1,63

CEMENTO	
PESO ESPECÍFICO	2922

ASENTAMIENTO	ENTRE 50 - 100	75	Mm
TAMANO MAXIMO	ENTRE 3/4" - 1/2"	1"	Pulg
AIRE (%)	-----	2	%
AGUA	-----	188	Kg/m ³
RESISTENCIA	-----	280	Kg/cm ²
RELACIÓN a/c (TABLA)	-----	0,48	%
CONTENIDO CEMENTO	-----	392	Kg

MENDOZA PICO, Ernesto

MATERIAL	DENSIDAD (Kg/m³)	CANTIDAD (Kg)	VOLUMEN (m³)
CEMENTO	2922	392	0,1340
AGUA	1000	188	0,1880
AIRE	-----	-----	0,02
ARENA	2549	696	0,2730
TRITURADO	2458	946	0,3849

Cantidad necesaria para hacer un metro cubico de concreto de 3000 PSI

VOL CILINDRO 10 X 20	0,059	m³ PARA 30 MUESTRAS
----------------------	--------------	---------------------------------------

CEMENTO	1	m ³ de concreto	392	Kg CEMENTO
	0,059	m ³ de concreto	X =	23

AGUA	1	m ³ de concreto	188	Kg AGUA
	0,059	m ³ de concreto	X =	11

ARENA	1	m ³ de concreto	696	Kg ARENA
	0,059	m ³ de concreto	X =	41

TRITURADO	1	m ³ de concreto	946	Kg TRITURADO
	0,059	m ³ de concreto	X =	56

Tabla 8. Diseño de mezcla aumentando la relación a/c

Para realizar este diseño de mezcla se emplea una relación a/c igual a 0.58%, es decir que se aumenta en una proporción de 0.1%.

1	ASENTAMIENTO	ENTRE 50 - 100	75	Mm
2	TAMANO MAXIMO	ENTRE 3/4" - 1/2"	1"	Pulg
3	AIRE		2	%
4	AGUA		188	Kg/m ³
5	RESISTENCIA		210	Kg/cm ²
6	RELACIÓN a/c (TABLA)		0,58	%
7	CONTENIDO CEMENTO		324	Kg

MATERIAL	DENSIDAD (Kg/m ³)	CANTIDAD (Kg)	VOLUMEN (m ³)
CEMENTO	2922	324	0,1109
AGUA	1000	188	0,1880
AIRE	0	0	0,02
ARENA	2549	755	0,2961
TRITURADO	2458	946	0,3849

Cantidad necesaria para hacer un metro cubico de concreto de 3000 PSI

VOL CILINDRO 10 X 20		0,059	m³ PARA 30 MUESTRAS	
CEMENTO	1	m ³ de concreto	324	Kg CEMENTO
	0,059	m ³ de concreto	X =	19

AGUA	1	m ³ de concreto	188	Kg AGUA
	0,059	m ³ de concreto	X =	11

ARENA	1	m ³ de concreto	755	Kg ARENA
	0,059	m ³ de concreto	X =	44

TRITURADO	1	m ³ de concreto	946	Kg TRITURADO
	0,059	m ³ de concreto	X =	56

Tabla 9. Diseño de mezcla disminuyendo la relación A/C

Para realizar este diseño de mezcla se emplea una relación a/c igual a 0.38%, es decir disminuye en una proporción de 0.1%.

1	ASENTAMIENTO	ENTRE 50 - 100	75	Mm
2	TAMANO MAXIMO	ENTRE 3/4" - 1/2"	1"	Pulg
3	AIRE (%)	-----	2	%
4	AGUA	-----	188	Kg/m ³
5	RESISTENCIA	-----		Kg/cm ²
6	RELACIÓN a/c (TABLA)	-----	0,38	%
7	CONTENIDO CEMENTO	-----	495	Kg

MATERIAL	DENSIDAD (Kg/m ³)	CANTIDAD (Kg)	VOLUMEN (m ³)
CEMENTO	2922	495	0,1693
AGUA	1000	188	0,1880
AIRE	0	0	0,02
ARENA	2549	606	0,2378
TRITURADO	2458	946	0,3849

Cantidad necesaria para hacer un metro cubico de concreto de 3000 PSI

VOL CILINDRO 10 X 20	0,059	m ³ PARA 30 MUESTRAS
----------------------	--------------	---------------------------------

CEMENTO	1	m ³ de concreto	495	Kg CEMENTO
	0,059	m ³ de concreto	X =	29

AGUA	1	m ³ de concreto	188	Kg AGUA
	0,059	m ³ de concreto	X =	11

ARENA	1	m ³ de concreto	606	Kg ARENA
	0,059	m ³ de concreto	X =	36

TRITURADO	1	m ³ de concreto	946	Kg TRITURADO
	0,059	m ³ de concreto	X =	56

Tabla 10. Pruebas de pulso ultrasónico

ENSAYO DE PULSO ULTRASÓNICO		
DISEÑO DE MEZCLA PRINCIPAL RELACION A/C DE 0.48%		
MUESTRA N.º	T (us)	V (m/s)
1	49,8	4020
2	49,7	4020
3	51,8	3860
4	57,8	3460
5	51,6	3880
6	51,8	3860
7	50,8	3940
8	51,8	3860
9	51,6	3880
10	51,8	3860
11	53,6	3730
12	52,8	3790
13	52,8	3790
14	58,9	3400
15	53,8	3720
16	59,8	3378
17	59,1	3418
18	57,2	3531
19	58,8	3452
20	58,7	3424
21	58	3483
22	58,8	3469
23	58,1	3477
24	58,5	3436
25	50,3	4036
26	52,7	3871
27	51,4	3930
28	52,3	3862
29	51,9	3911

Fuente MENDOZA PICO, Ernesto

Velocidad	
Desviación	225,41
Media	3715,49
Mínimo	3377,93
Máxima	4035,79

Tabla 11. Pruebas de pulso ultrasónico

ENSAYO DE PULSO ULTRASÓNICO		
DISEÑO DE MEZCLA AUMENTANDO A/C DE 0.58%		
MUESTRA N°	T (us)	V (m/s)
1	59	3441
2	56,6	3569
3	58,1	3477
4	57,3	3543
5	58,7	3492
6	58,5	3487
7	56,1	3636
8	57	3596
9	56,7	3580
10	59,1	3452
11	58,3	3516
12	58,3	3482
13	56,5	3611
14	51,2	3965
15	51,2	3965
16	52,4	3950
17	50,2	3960
18	51,9	3948
19	51,9	3952
20	50,9	3940
21	51,9	3931
22	50,8	4016
23	51,7	3965
24	51,7	3926
25	51	3960
26	51,1	4001
27	51,3	3957
28	51,1	3992

Fuente MENDOZA PICO, Ernesto

Velocidad	
Desviación	224,44
Media	3761,09
Mínimo	3440,68
Máxima	4015,75

TABLA 12. PRUEBAS DE PULSO ULTRASÓNICO

ENSAYO DE PULSO ULTRASÓNICO		
DISEÑO DE MEZCLA DISMINUYENDO A/C DE 0.38%		
MUESTRA N°	T (us)	V (m/s)
1	59,8	3411
2	59,1	3469
3	57,2	3549
4	58,8	3486
5	58,7	3475
6	58	3517
7	58,8	3469
8	58,1	3528
90	58,5	3487
10	50,3	4076
11	52,7	3890
12	51,4	3969
13	52,3	3939
14	51,9	3950
15	51,8	3958
16	59,8	3411
17	59,1	3469
18	57,2	3549
19	58,8	3486
20	58,7	3475
21	58	3517
22	58,8	3469
23	58,1	3528
24	58,5	3487
25	50,3	4076
26	52,7	3890
27	51,4	3969
28	52,3	3939
29	51,9	3950
30	51,8	3958

Fuente MENDOZA PICO, Ernesto

Velocidad	
Desviación	241,4
Media	3678,24
Mínimo	3411,37
Máxima	4075,55

Tabla 13. Pruebas de resistencia a la compresión

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN					
DISEÑO DE MEZCLA PRINCIPAL RELACION A/C DE 0.48%					
MUESTRA N.	D (mm)	H (mm)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (Psi)	RESISTENCIA (Kg/cm2)
1	103	202	198,23	3450	242,60
2	102	202	208,78	3706	260,54
3	103	202	170,46	2967	208,61
4	101	205	188,28	3408	239,64
5	103	201	179,37	3122	219,52
6	101	202	176,55	3196	224,71
7	101	204	168,1	3043	213,95
8	100	202	179,54	3315	233,10
9	101	201	181,02	3277	230,40
10	102	203	211,73	3758	264,22
11	102	204	203,07	3604	253,42
12	101	202	195	3530	248,19
13	102	202	187,94	3336	234,54
14	101	203	199,84	3618	254,35
15	102	201	205,66	3650	256,65
16	102	0,202	209,65	3721	261,63
17	101	0,202	210,57	3812	268,01
18	103	0,202	216,11	3762	264,48
19	101	0,203	217,49	3937	276,81
20	103	0,201	205,95	3585	252,04
21	102	0,202	222,17	3943	277,25
22	101	0,204	216,98	3928	276,16
23	100	0,202	201,49	3721	261,60
24	101	0,201	210,5	3811	267,92
25	102	0,203	211,41	3752	263,82
26	103	0,204	188,2	3276	230,32
27	101	0,202	203,14	3677	258,55
28	102	0,202	203,76	3617	254,28
29	102	0,203	211,7	3757	264,19

Fuente MENDOZA PICO, Ernesto

Resistencia	
Desviación	1,87
Media	24,56
Mínimo	20,46
Máxima	27,19

Tabla 14. Resistencia a la compresión

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN					
DISEÑO DE MEZCLA AUMENTANDO RELACION A/C DE 0.58%					
MUESTRA N°	D (mm)	H (m)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (Psi)	RESISTENCIA (Kg/cm2)
1	102	0,203	87,38	1551	109,04
2	104	0,202	119,59	2042	143,55
3	103	0,202	85,41	1487	104,53
4	104	0,203	117,01	1998	140,46
5	103	0,205	85,82	1494	105,03
6	103	0,204	104,97	1827	128,46
7	104	0,204	111,02	1895	133,27
8	104	0,205	81,08	1384	97,33
9	104	0,203	123,61	2110	148,38
10	103	0,204	86,68	1509	106,08
11	104	0,205	88,98	1519	106,81
12	103	0,203	88,94	1548	108,85
13	104	0,204	103,93	1774	124,76
14	103	0,203	227,61	3962	278,55
15	102	0,203	219,57	3897	274,01
16	103	0,202	212,12	3692	259,60
17	104	0,202	215,1	3672	258,20
18	103	0,202	196,11	3413	240,00
19	104	0,203	215,85	3685	259,10
20	103	0,205	214,49	3733	262,50
21	103	0,204	222,39	3871	272,16
22	104	0,204	230,57	3936	276,77
23	104	0,205	212,79	3633	255,43
24	104	0,203	202,56	3458	243,15
25	103	0,204	218,12	3797	266,94
26	104	0,205	222,87	3805	267,53
27	103	0,203	222,65	3875	272,48
28	104	0,204	210,15	3588	252,26

Fuente MENDOZA PICO, Ernesto

Resistencia	
Desviación	7,25
Media	19,25
Mínimo	9,54
Máxima	27,32

Tabla 15. Resistencia a la compresión

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN					
DISEÑO DE MEZCLA DISMINUYENDO RELACION A/C DE 0.38%					
MUESTRA N°	D (mm)	H (m)	CARGA (KN)	RESISTENCIA (Psi)	RESISTENCIA (Kg/cm2)
1	102	0,204	293,77	5214	366,60
2	103	0,205	287,67	5007	352,05
3	104	0,203	319,85	5461	383,95
4	103	0,205	310,92	5412	380,51
5	103	0,204	301,98	5256	369,57
6	102	0,204	312,83	5552	390,39
7	103	0,204	287,14	4998	351,41
8	103	0,205	283,36	4932	346,78
9	104	0,204	295,9	5052	355,20
10	104	0,205	293,73	5015	352,59
11	104	0,205	300,39	5129	360,59
12	104	0,204	297,33	5076	356,91
13	103	0,206	290,41	5055	355,41
14	103	0,205	298,13	5189	364,86
15	102	0,205	295,83	5251	369,17
16	103	0,204	373,08	6494	456,58
17	104	0,205	323,44	5522	388,25
18	103	0,203	355,69	6191	435,30
19	104	0,205	353,39	6033	424,21
20	104	0,204	402,07	6865	482,64
21	105	0,204	360,56	6039	424,61
22	105	0,204	371,85	6228	437,90
23	104	0,205	370,1	6319	444,26
24	103	0,204	343,08	5972	419,87
25	105	0,205	358,1	5998	421,71
26	104	0,205	372,19	6354	446,77
27	105	0,204	363,67	6091	428,27
28	105	0,206	369,93	6196	435,64
29	105	0,205	331,75	5557	390,68
30	103	0,205	378,77	6593	463,54

Fuente MENDOZA PICO, Ernesto

Resistencia	
Desviación	3,96
Media	39,08
Mínimo	34,01
Máxima	47,33

TABLAS DE FIGURAS

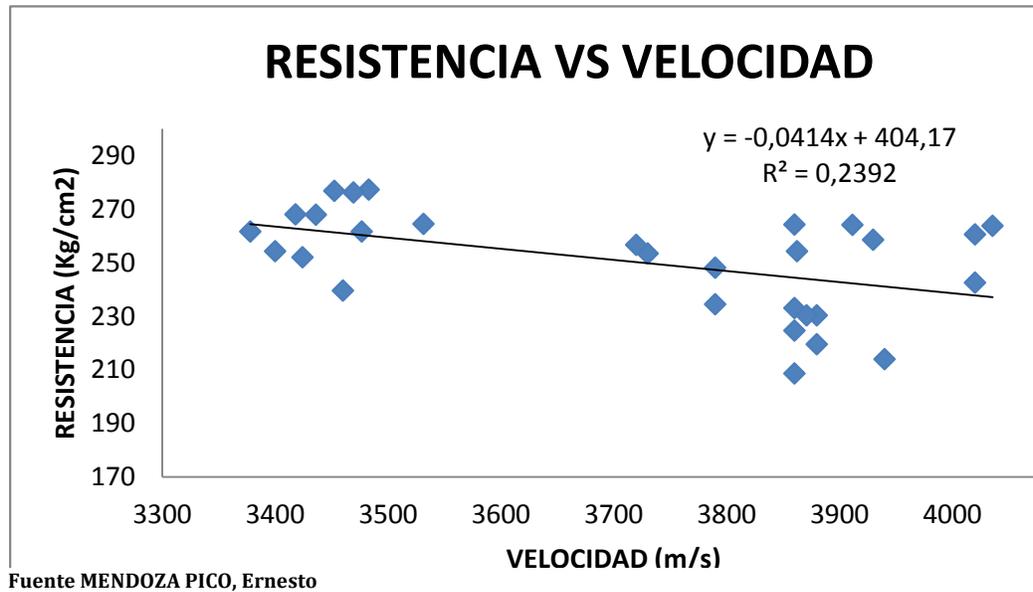


Figura 9. Muestras realizadas con el diseño de mezcla principal cuya relación A/C es de 0.48%.

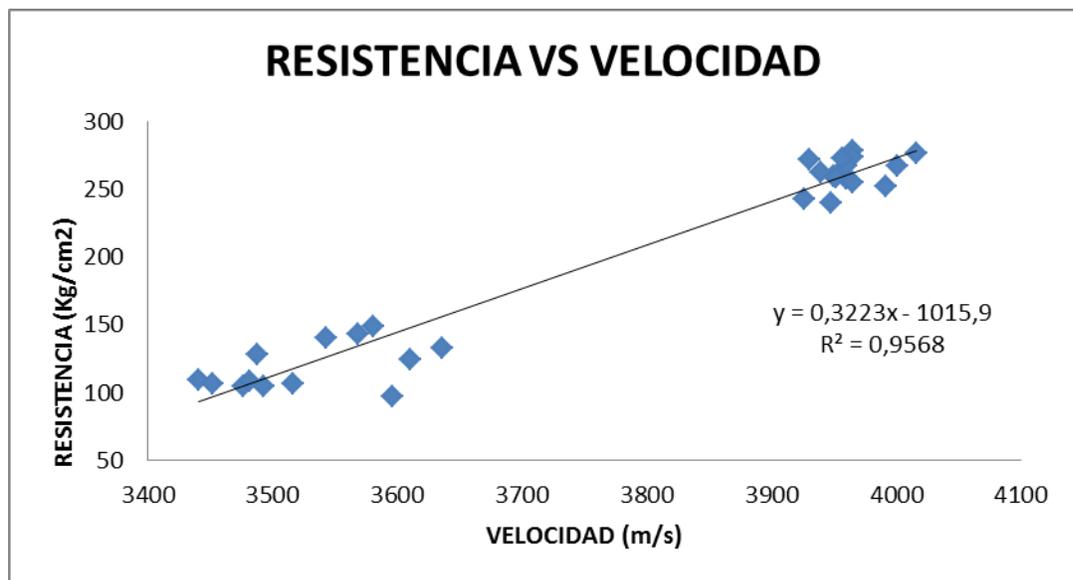


Figura 10. Muestras realizadas con el diseño de mezcla aumentando la relación A/C 0.58%.

8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

Sobre la resistencia a la compresión se puede inferir que los valores arrojados fueron los esperados o previstos por los diseños de mezclas realizados para cada una de las diferentes relaciones agua cemento mencionadas anteriormente, en la cual se ven reflejados los resultados de las figuras 9, 10 y 11.

La Figura No. 9 representa los resultados obtenidos de los ensayos de la resistencia a la compresión vs la velocidad de pulso ultrasónico, en la cual se muestran una tendencia decreciente entre la resistencia y la velocidad, esta presentó una ecuación lineal $Y = -0.0414X + 404.17$ con un $R^2 = 0.2392$.

Por otro lado en la Figura No. 10 los resultados obtenidos demarcan que al aumentar la Resistencia, la Velocidad aumenta presentando de igual manera una tendencia lineal cuya ecuación es $Y = 0.3223X - 1015.9$ con un $R^2 = 0.9568$, demostrando un valor cercano a 1, el cual indica una buena calidad del resultado.

Por último, en la Figura No. 11 se puede apreciar que los resultados obtenidos entre Resistencia y Velocidad se comportan de forma muy inconsistente, obteniendo una ecuación lineal $Y = -0.0118X + 442$ con un $R^2 = 0.005$. Nótese que el R^2 presentado para estas muestras fue demasiado bajo, para lo cual los datos obtenidos carecerían de valor poco confiable.

En síntesis, al analizar todos los resultados, estos varían de acuerdo a la relación agua – cemento y estos se ven reflejados en los resultados obtenidos entre Resistencia y Velocidad.

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Al desarrollar esta investigación se puede inferir que la relación entre la resistencia a la compresión y la velocidad del pulso ultrasónico varían de acuerdo a la relación agua cemento empleada. Al aumentar la relación a/c automáticamente disminuye la resistencia, es decir estas son inversamente proporcionales.

Se comprueba que existe una relación directa entre la velocidad de pulso y la resistencia a la compresión, pero que para el caso de este proyecto las tendencias no se ajustan a resultados confiables, para lo cual se recomienda ampliar el campo muestral a fin de poder comprobar los resultados encontrados en el presente proyecto.

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que las muestras representadas en la figura No 10 explicada en el análisis de resultados, conformada por relación a/c de 0.58 fue la que arrojó resultados más confiables, ya que su tendencia fue lineal cercano a 1, lo que demuestra que para esta investigación la ecuación que se debe tener en cuenta para correlacionar la velocidad con la resistencia arrojando calidad en los resultados es:

$Y = 0.3223X - 1015.9$. Sin embargo, se recomienda en futuras investigaciones realizar tomas de muestras en mayor proporción, para comprobar la eficiencia de la ecuación estudiada.

A su vez, para próximas investigaciones es importante tener en cuenta dentro de los imprevistos, el daño de la maquinaria; ya que en el momento de la toma de datos en la investigación el pulso ultrasónico de la universidad se averió, por lo cual se recurrió al alquiler del dispositivo en otro establecimiento, esto no garantizó que los datos obtenidos en este proyecto sean confiables ya que la calibración y el tipo de equipo utilizado es de una tecnología menos avanzada, afectando de forma directa los resultados obtenidos.

BIBLIOGRAFIA

GONZALEZ SALCEDO Luis Octavio, Modulo para Asignaturas, Palmira – Valle. Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Facultad de Ingeniera y Administración 2008.

NORMA TECNICA COLOMBIANA NTC 4325. Tercera actualización. Métodos de Ensayo para la Determinación de la Velocidad de Pulso Ultrasónico a Través del Concreto. Bogotá D.C. ICONTEC 1997. NTC 4325

NORMA TECNICA COLOMBIANA. Tercera actualización. Ensayo de Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto Bogotá D.C. ICONTEC 2010. NTC 673

PONCE CABALLERO María del C., Ingeniería Revista Académica de la Universidad Autónoma de Yucatán, México 2004, vol 8, n° 002. ISSN 1665-529X.

SÁNCHEZ DE GUZMÁN Diego, Tecnología del Concreto y el Mortero. Bogotá D.C. Universidad Pontificia Javeriana. 2001.

ARTÍCULOS BAJADOS DE INTERNET

SOLÍS CARCAÑO Romel G, MORENO Eric Ivan, CASTILLO PAK William R, “Predicción de la resistencia del concreto con base en la velocidad de pulso ultrasónico y un índice de calidad de los agregados” (<http://redalyc.uaemex.mx/pdf/467/46780204.pdf>.)

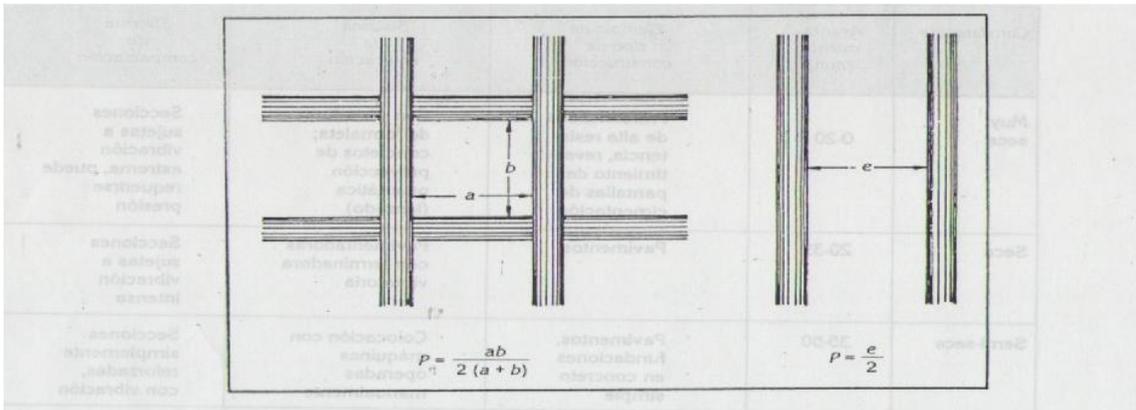
Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto. “Pruebas de Resistencia a la Comprensión del Concreto” (<http://www.imcyc.com/ct2006/junio06/PROBLEMAS.pdf>)

ANEXOS

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

Fuente Tecnología del concreto y del mortero

Anexo 1. Asentamientos recomendados para diversos tipos de construcción y sistemas de colocación y compactación.



Fuente Tecnología del concreto y del mortero

D= Tamaño máximo del agregado

R= Radio medio de los espacios entre varillas de refuerzo.

Anexo 2. Radio medio de los espacios entre varillas

Dimensión mínima de la sección (cm)	Tamaños máximos de agregados según el tipo de construcción			
	Muros reforzados vigas y columnas	Muros sin refuerzo	Losas muy reforzadas	Losas sin refuerzo o poco reforzadas
6 - 15	¾"(12)-¾"(19)	¾"(19)	¾"(19)-1"(25)	¾"(19)-1¼"(38)
19 - 29	¾"(19)-1¼"(38)	1¼"(38)	1¼"(38)	1¼"(38)-3"(76)
30 - 74	1¼"(38)-3"(76)	3"(76)	1¼"(38)-3"(76)	3"(76)
75 o más	1¼"(38)-3"(76)	6"(152)	1¼"(38)-3"(76)	3"(76)-6"(152)

Fuente Tecnología del concreto y del mortero

Anexo 3. Tamaños máximos de agregados según el tipo de construcción.

Asentamiento		Tamaño máximo del agregado, en mm (pulg.)							
		9.51 ¾"	12.7 ½"	19.0 ¾"	25.4 1"	38.1 1½"	50.8 2"	64.0 2½"	76.1 3"
mm	pulg	Agua de mezclado, en Kg/m³ de concreto							
0	0	223	201	186	171	158	147	141	132
25	1	231	208	194	178	164	154	147	138
50	2	236	214	199	183	170	159	151	144
75	3	241	218	203	188	175	164	156	148
100	4	244	221	207	192	179	168	159	151
125	5	247	225	210	196	183	172	162	153
150	6	251	230	214	200	187	176	165	157
175	7	256	235	218	205	192	181	170	163
200	8	260	240	224	210	197	186	176	168

Fuente Tecnología del concreto y del mortero

Anexo 4. Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregados, con partículas de forma angular y textura rugosa, en concreto sin aire incluido.

Asentamiento		Tamaño máximo del agregado, en mm (pulg.)							
		9.51 ¾"	12.7 ½"	19.0 ¾"	25.4 1"	38.1 1½"	50.8 2"	64.0 2½"	76.1 3"
mm	pulg	Agua de mezclado, en Kg/m³ de concreto							
0	0	188	161	151	134	129	121	119	113
25	1	193	167	157	141	135	127	124	117
50	2	197	172	163	147	140	131	128	122
75	3	200	176	167	152	145	135	132	125
100	4	203	179	169	155	148	137	134	128
125	5	205	183	172	158	151	140	137	130
150	6	208	188	176	162	155	144	141	134
175	7	213	194	181	167	161	150	146	139
200	8	219	201	186	174	167	156	152	144

Fuente Tecnología del concreto y del mortero

Anexo 5. Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregados, con partículas de forma redondeada y textura lisa, en concreto con aire incluido.

Asentamiento		9.51 ¾"	12.7 ½"	19.0 ¾"	25.4 1"	38.1 1½"	50.8 2"	64.0 2½"	76.1 3"
mm	pulg	Agua de mezclado, en Kg/m ³ de concreto							
0	0	213	185	171	154	144	136	129	123
25	1	218	192	177	161	150	142	134	128
50	2	222	197	183	167	155	146	138	132
75	3	226	202	187	172	160	150	141	136
100	4	229	205	191	176	164	154	144	139
125	5	231	208	194	179	168	156	146	141
150	6	233	212	195	182	172	159	150	143
175	7	237	216	200	187	176	165	156	148
200	8	244	222	206	195	182	171	162	154

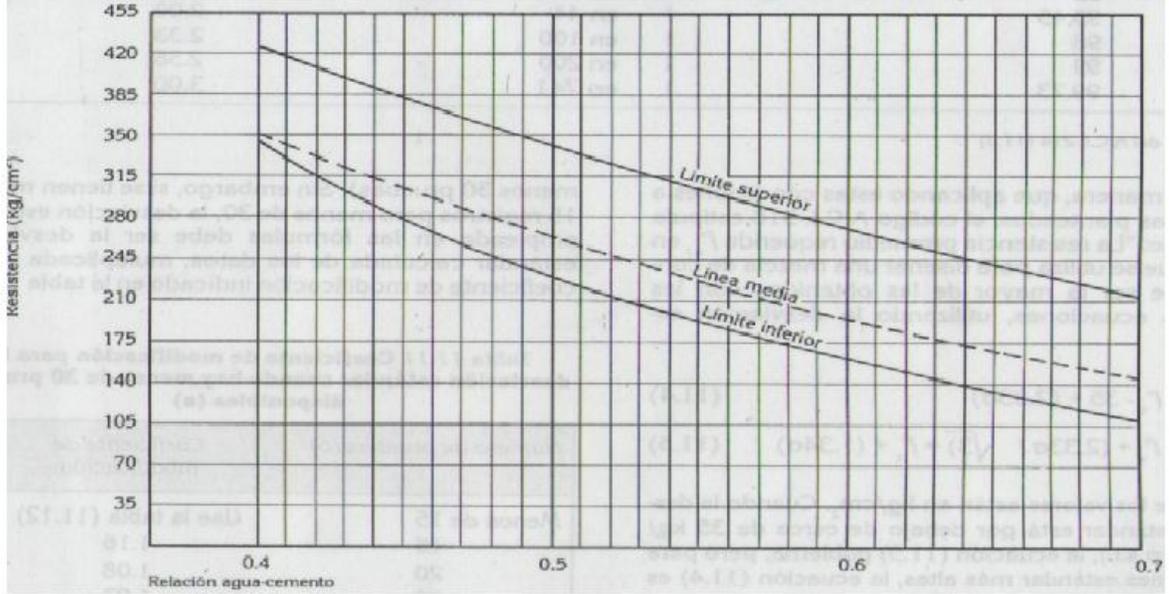
Fuente Tecnología del concreto y del mortero

Anexo 6. Requerimiento aproximado de agua de mezclado para diferentes asentamientos y tamaños máximos de agregado, con partículas de forma redondeada y textura lisa, en concreto sin aire incluido.

Tamaño máximo nominal del agregado		Contenido de aire en porcentaje (por volumen)			
		Naturalmente atrapado	Exposición ligera	Exposición moderada	Exposición severa
9.51	¾"	3.0	4.5	6.0	7.5
12.7	½"	2.5	4.0	5.5	7.0
19.0	¾"	2.0	3.5	5.0	6.0
25.4	1"	1.5	3.0	4.5	6.0
38.1	1½"	1.0	2.5	4.5	5.5
50.8	2"	0.5	2.0	4.0	5.0
76.1	3"	0.3	1.5	3.5	4.5
152.0	6"	0.2	1.0	3.0	4.0

Fuente Tecnología del concreto y del mortero

Anexo 7. Cantidad aproximada de aire esperado en concreto sin aire incluido y niveles de aire incluido para diferentes tamaños máximos de agregado (a).



Fuente Tecnología del concreto y del mortero

Anexo 8. Correspondencia entre la resistencia a compresión y la relación agua-cemento para los cementos Colombianos, portland tipo I en concretos sin aire incluido.