

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL FRISO SOBRE LA VELOCIDAD DE PULSO
ULTRASONICO “VPU” EN CONCRETO SIN REFUERZO.**

WALTER ORLANDO PARADA ACEVEDO

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA
2011**

**EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL FRISO SOBRE LA VELOCIDAD DE PULSO
ULTRASONICO “VPU” EN CONCRETO SIN REFUERZO.**

WALTER ORLANDO PARADA ACEVEDO

Trabajo de grado realizado para optar el título de Ingeniero Metalúrgico

**Director
MSc. LUZ AMPARO QUINTERO**

**Codirector
Ph.D. RICARDO ALFREDO CRUZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIA DE MATERIALES
BUCARAMANGA**

2011

TABLA DE CONTENIDO

	PÁG.
INTRODUCCION.....	16
1. DESCRIPCION DE LA INVESTIGACION.....	17
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.2. OBJETIVOS.....	18
1.2.1. OBJETIVOS GENERAL.....	18
1.2.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS	18
2. MARCO TEÓRICO	19
2.1. GENERALIDADES DEL CONCRETO	19
2.1.1. TIPOS DE CONCRETOS	19
2.1.2. COMPONENTES DEL CONCRETO	19
2.1.3. PROCESO DE FABRICACIÓN DEL CONCRETO.....	22
2.1.3.1. CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA.....	22
2.1.3.2. DISEÑO DE MEZCLA.....	22
2.1.3.3. FRAGUADO	22
2.1.3.4. CURADO	23
2.2. MORTERO.....	23
2.2.1. CARACTERÍSTICAS	24
2.2.2. APLICACIÓN DEL MORTERO	25
2.2.3. TIPOS DE MORTEROS	27
2.3. TÉCNICA DE VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO	28
2.3.1. FACTORES QUE AFECTAN A LA VELOCIDAD DE PULSO	29
2.4. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO	30
2.4.1. FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTENCIA DE UN CONCRETO...30	
2.4.2. FACTORES QUE AFECTAN LA RESISTENCIA DE UN MORTERO ...31	
2.5. ESTIMACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESION CON LA VPU	32
3. METODOLOGÍA.....	32
3.1. REVISIÓN Y ANÁLISIS BIBLIOGRAFICO	32

3.2.	PROCESO DE FABRICACIÓN DEL CONCRETO	34
3.2.1.	ETAPA 1: CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA	34
3.2.2.	ETAPA 2: DISEÑO DE MEZCLA	36
3.2.3.	ETAPA 3: ELABORACIÓN DE LAS PROBEAS	36
3.2.4.	CURADO DE LAS PROBETAS	37
3.3.	CAPACITACIÓN Y PREPARACIÓN DE EQUIPOS	38
3.4.	ENSAYOS ANTES DE APLICACIÓN DEL MORTERO	39
3.5.	ELABORACIÓN Y APLICACIÓN DEL FRISO	40
3.6.	ENSAYOS EXPERIMENTALES	43
3.6.1.	ENSAYO DE INSPECCIÓN VISUAL.....	43
3.6.2.	ENSAYO DE ULTRASONIDO	43
3.6.3.	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	43
3.7.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	43
3.8.	ELABORACIÓN DEL INFORME FINAL	43
4.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	44
4.1.	PROCESO DE FABRICACIÓN DE LAS PROBETAS	44
4.1.1.	CARACTERIZACION DE LA MATERIA PRIMA	44
4.1.2.	DISEÑO DE MEZCLA	45
4.2.	ENSAYOS ANTES DE LA APLICACIÓN DEL MORTERO	46
4.2.1.	INSPECCIÓN VISUAL.....	46
4.2.2.	ENSAYO DE VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO	47
4.2.3.	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	48
4.3.	ENSAYO EXPERIMENTALES.	49
4.3.1.	INSPECCIÓN VISUAL	49
4.3.2.	ENSAYO DE VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO	50
4.3.3.	ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	55
4.4.	ANÁLISIS ESTADISTICO DE LOS DATOS EXPERIMENTALES ...	56
4.4.1.	ANÁLISIS DEL GRÁFICO DE PARETO Y EFECTOS PRINCIPALES PARA LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO	57
4.4.1.1.	CORRELACION MATEMATICA	58

4.4.2. ANÁLISIS DE GRÁFICAS DE PARETO Y EFECTO PRINCIPALES PARA LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	59
4.4.2.1. CORRELACIÓN MATEMÁTICA	60
4.4.3. CORRELACION ENTRE LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN	61
5. CONCLUSIONES	62
6. RECOMENDACIONES	63
BIBLIOGRAFIA.....	64
ANEXO	67

LISTA DE TABLAS

	PÁG.
TABLA 1. TIPOS DE CONCRETO	20
TABLA 2. COMPONENTES DEL CONCRETO	21
TABLA 3. TIPODS DE MORTEROS Y SUS DOSIFICACIONES	27
TABLA 4. PROPIEDADES DEL AGREGADO.....	35
TABLA 5. GRAVEDADES ESPECIFICAS.....	44
TABLA 6. ANÁLISIS GRANULOMETRICA DEL AGREGADO FINO.	44
TABLA 7. CANTIDADES EN PESO Y VOLUMEN PARA UNMETRO CUBICO DE CONCRETO	45
TABLA 8. RESULTADOS DE DIMENSIONES DE PROBETAS	46
TABLA 9. RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYO DE ULTRASONICO (VPU)	47
TABLA 10. RESULTADOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LAS PROBETAS SIN FRISO	48
TABLA 11. RESULTADOS DE VPU DE FRISO DE DOSIFICADO 1:1	50
TABLA 12. RESULTADOS DE VPU DE FRISO DE DOSIFICADO 1:2	51
TABLA 13. RESULTADOS DE VPU DE FRISO DE DOSIFICADO 1:3	52
TABLA 14. DATOS DE VPU DEL ESPESOR DE 1 CM CON DIFERENTES DOSIFICACIONES	53
TABLA 15. DATOS DE VPU DEL ESPESOR DE 2 CM CON DIFERENTES DOSIFICACIONES	54
TABLA 16. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS BLOQUES CON FRISO DE DOSIFICADO 1:1	56
TABLA 17. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS BLOQUES CON FRISO DE DOSIFICADO 1:2	56
TABLA 18. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE LOS BLOQUES CON FRISO DE DOSIFICADO 1:3	56

LISTA DE FIGURAS

	PÁG.
FIGURA 1. COMPOSICIÓN DE ENFOSCADO SOBRE EL MURO EXTERIOR EN MM	26
FIGURA 2. MÉTODOS DE TRANSMISIÓN DE LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO	28
FIGURA 3. ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	33
FIGURA 4. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO Y MICROBIOLÓGICO DEL AGUA UTILIZADA PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PROBETAS.	35
FIGURA 5. PROCESO DE ELABORACIÓN DE LAS PROBETAS.	37
FIGURA 6. EQUIPO DE ULTRASONIDO PUNDIT PLUS.....	38
FIGURA 7. EQUIPO RESISTENCIA COMPRESIÓN DIR-CONTROLS CT-1500	39
FIGURA 8. DIMENSIONES DE LAS PROBETAS Y CUADRICULA PARA MEDIDAS DE VPU	40
FIGURA 9. PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE PARA LA APLICACIÓN DE FRISO	40
FIGURA 10. PROCESO DE APLICACIÓN DEL FRISO. A) PICADO DE SUPERFICIER; B) BASE REFERENCIA; C) SUPERFICIE HUMEDA; D) APLICACIÓN DEL FRISO; E) ACADO FINAL	42
FIGURA 11. ESTADO FÍSICO DE LAS PROBETAS	47
FIGURA 12. COMPARACIÓN DE LA UNIÓN ENTRE EL BLOQUE Y EL FRISO DE LOS DIFERENTES ESPESOR.....	50

LISTA DE GRÁFICAS

	PÁG
GRÁFICA 1. DISTANCIA ~VS~ VPU DE BLOQUES SIN FRISO	48
GRÁFICA 2. COMPARACION DE VPU DEL FRISO DE DOSIFICADO 1:1 Y DIFERENTES ESPESORES	51
GRÁFICA 3. COMPARACION DE VPU DEL FRISO DE DOSIFICADON 1:2 Y DIFERENTES ESPESORES	52
GRÁFICA 4. COMPARACION DE VPU DEL FRISO DE DOSIFICADO 1:3 Y DIFERENTES ESPESORES	53
GRÁFICA 5. COMPARACION DE VPU DEL ESPESOR DE 1 CM CON DIFERENTES DOSIFICACIONES	54
GRÁFICA 6. COMPARACION DE VPU DEL ESPESOR DE 2 CM CON DIFERENTES DOSIFICACIONES	55
GRÁFICA 7. INTERACCIÓN ENTRE VARIABLES (DIAGRAMA DE PARETO ESTANDARIZADO) PARA LAS MEDICIONES DE VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO.....	56
GRÁFICA 8. EFECTOS PRINCIPALES (DOSIFICACIÓN, ESPESORES Y DOSIFICACIÓN) SOBRE LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO	58
GRÁFICA 9. INTERACCIÓN ENTRE VARIABLES (DIAGRAMA DE PARETO ESTANDARIZADO) PARA LAS MEDICIONES DE RESISTENCIA A LA COMPRESION	59
GRÁFICA 10. EFECTOS PRINCIPALES (DOSIFICACIÓN, ESPESORES Y DOSIFICACIÓN) SOBRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESION.....	60
GRÁFICA 11. CORRELACION ENTRE LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO Y LA RESISTENCIA A LA COMPRESION	61

LISTA DE ANEXO

	PÁG
ANEXO A. METODOLOGÍA DEL DISEÑO DE MEZCLA.....	67
ANEXO B. CÁLCULOS DEL DISEÑO DE MEZCLA REALIZADA PARA UNA RELACIÓN DE A/C=0.5.....	70
ANEXO C. TABLA DE CORRELACIÓN ENTRE LAS MEDIDAS DE VELOCIDAD DE PULSO CONTRA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PARA CADA DOSIFICACIÓN Y ESPESOR	71

GLOSARIO

AGREGADO: Es toda aquella partícula de mineral, relativamente inerte que ocupa el mayor volumen de la mezcla de concreto.

AGREGADO FINO: El agregado fino consistirá de arena natural, arena manufacturada o combinación de ambas, que pasa el tamiz N° 4 (4.75mm) y es predominante retenido en el tamiz N°200 (0.075mm). la arena manufacturada consistirá de polvo de piedra en su condición natural o lavado que se ajusta a los requisitos de calidad especificadas.

AGREGADO GRUESO: El agregado grueso consistirá de grava, de piedra o grava quebrada o una mezcla de materiales anteriores, este agregado es retenido en su totalidad en el tamiz N° 4 (4.75mm)

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO: Etapa en la cual se separa una masa de agregado en fracciones de igual tamaño a través de una serie de tamices cuyas características se ajustan según la norma.

CONCRETO: Es la mezcla de una material aglutinante (cemento), agua y aditivos si se prefiere, que al endurecer forma un todo compacto y después de un tiempo desarrolla grandes propiedades mecánicas.

DENSIDAD ABSOLUTA: Es la relación entre el peso de la masa del material y el volumen que ocupa única y exclusivamente la masa sólida, es decir, se excluyen los poros saturables o no saturables.

DENSIDAD APARENTE: Masa promedio de la unidad de volumen de las partículas de agregado, incluyendo los poros saturables y no saturables.

DENSIDAD O PESO ESPECÍFICO: Está definida como la relación entre el peso y el volumen de una masa determinada. Sin embargo, en el caso de los agregados para concreto generalmente se presentan poros que pueden estar vacíos o llenos de agua variando de una u otra manera este valor.

DURABILIDAD DEL CONCRETO: Se define como la resistencia que presenta el concreto a la acción del clima, a los ataques químicos, a la abrasión o a cualquier otro proceso de deterioro.

GRANULOMÉTRIA: Procedimiento mediante el cual se establece las proporciones de las partículas de los diversos tamaños que componen el agregado fino o grueso.

GRAVEDAD ESPECÍFICA: Relación peso/volumen de un cuerpo comparado con la relación peso/volumen del agua.

MODULO DE FINURA: Es un factor empírico que se obtiene al sumar los porcentajes retenidos acumulados desde el tamiz N°4 (4.75mm) hasta el tamiz N°100 (0.150mm) y dividirlos entre 100.

MORTERO: Mezcla de cemento, arena y agua. Él puede tener función estructural o no tenerla.

PASTA: Se refiere a la mezcla de cemento, agua, aire (atrapado o incluido) y aditivos (si se añaden).

RELACIÓN AGUA/CEMENTO: Relación entre las masas de agua (excluyendo el agua absorbida por los agregados) y de cemento en una mezcla de hormigón.

RELACION CEMENTO/ARENA: Los morteros de relación 1:n quiere indicar partes de cemento:arena, donde el cemento permanece constante y la cantidad de arena varía.

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN: Resistencia a la compresión: Se puede definir como la máxima resistencia medida en un espécimen de concreto o de mortero a carga axial. Generalmente se expresa en kilogramos por centímetro cuadrado.

RESUMEN

TÍTULO: EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL FRISO SOBRE LA VELOCIDAD DE PULSO ULTRASÓNICO “VPU” EN CONCRETO SIN REFUERZO.*

AUTOR: PARADA ACEVEDO, WALTER ORLANDO**

PALABRAS CLAVES: Concreto, Morteros, Relación cemento/arena, Velocidad de pulso ultrasónico, resistencia a la compresión.

RESUMEN: Debido a que se han obtenido resultados confiables al utilizar la técnica de VPU como alternativa para evaluar la calidad del concreto, el presente trabajo busca estudiar el efecto del friso sobre la velocidad de pulso ultrasónico “VPU” y la resistencia a la compresión en concreto recubierto con mortero con diferentes dosificaciones y espesores. Para lograr el objetivo se elaboraron 21 probetas cúbicas de concreto cuyas dimensiones fueron (20*20*20 cm) con relación agua/cemento (a/c) de 0.5, las probetas se curaron durante un tiempo de 28 días bajo condiciones estándar de humedad y temperatura. Una vez pasado el tiempo de curado a 18 probetas se les aplicó friso variando la relación cemento/arena (c/a) (1:1, 1:2, 1:3) y variando el espesores de 1 y 2 cm. Los resultados obtenidos mostraron que a la variar la relación a/c y el espesor presentar un influencia negativa sobre VPU. También se observó que no hay un aporte significativo en los valores de resistencia a la compresión por la presencia de friso sobre los bloques de concretos, debido a que se presenta un aumento en el valor de carga aplicado pero a su vez se tiene una mayor área transversal. Por último se hizo una relación de las dos técnicas empleadas para las diferentes relaciones a/c y espesores obteniendo un modelo lineal con una correlación de 0.76.

* Proyecto De Grado

** Facultad de Ingenierías físico químicas, Escuela de Ingeniería Metalúrgica, Directora: Ms.C.Luz Amparo Quintero. Codirector: Ricardo Alfredo Cruz.

ABSTRACT

TITLE: EVALUATION OF THE EFFECT OF FRIEZE ON ULTRASONIC PULSE VELOCITY IN CONCRETE WITHOUT REINFORCEMENT.*

AUTHOR: PARADA ACEVEDO, WALTER ORLANDO**

KEYWORDS: Concrete, mortar, cement / sand ratio, ultrasonic pulse velocity, compressive strength.

ABSTRACT

Due to reliable results have been obtained using the UPV technique as an alternative to assess the quality of concrete, this paper aims to study the effect of the frieze on ultrasonic pulse velocity "UPV" and the compressive strength in concrete coated with mortar and different dosages and thicknesses. To achieve the goal, 21 cubic concrete specimens were elaborated, and their dimensions were (20 * 20 * 20 cm) with water / cement ratio (a / c) 0.5, the specimens were cured for a time of 28 days under standard conditions of humidity and temperature. Once past the curing time at 18 samples were applied frieze varying the cement / sand ratio (c / a) (1:1, 1:2, 1:3) and varying thicknesses of 1 and 2 cm. The results showed that by varying the c / s ratio and thickness, they have a negative influence on the UPV. It was also noted that there is a significant contribution to the values of compressive strength by the presence of a frieze on concrete blocks, because there is an increase in the value of applied load but in turn have a larger transversal area. Finally a relationship between the two techniques used was done for different w / c ratios and thicknesses obtaining a linear model with a correlation coefficient of 0.76.

*Research Work.

** Faculty of Physical Chemistry Engineering. School of Metallurgical Engineering. Director: Luz Amparo Quintero. Codirector: Ricardo Alfredo Cruz.

INTRODUCCION

La velocidad de pulso ultrasónico “VPU” es una prueba no destructiva que consiste en medir el tiempo de vuelo de una onda ultrasónica a través de un espesor conocido como mortero de revestimiento o friso, permitiendo realizar un análisis interno y detallado del material a estudiar.

Debido al carácter heterogéneo que presenta el concreto, el uso de esta técnica no se llegó a considerar hasta 1946 cuando Leslie y Cheesman introdujeron el equipo y la técnica conocida como “Método de Velocidad de Pulso”, logrando que este ensayo se utilizara en la evaluación de estructuras de concreto, teniendo en cuenta las características de la mezcla y la calidad de cada uno de sus componentes.

Malhotra en 1985 desarrolló un criterio de aceptación del concreto basado en su calidad, el cual lo clasifica como excelente, bueno, cuestionable, pobre y muy pobre según los valores de velocidad de pulso. Sin embargo, es el ensayo destructivo de resistencia a la compresión el mecanismo más efectivo en la evaluación de este material.

Los estudios realizados lo único que han hecho es demostrar que el carácter heterogéneo del concreto genera modelos de correlación diferentes debido a que los valores en la velocidad de pulso se ven afectados por múltiples variables como: tipo de agregado, relación agua/cemento y el friso utilizado como recubrimiento, entre otros.

Por lo anterior, el presente trabajo busca estudiar el efecto de la relación cemento/arena (c/a) y el espesor del friso sobre la VPU y la resistencia a la compresión del concreto sin refuerzo con mortero de recubrimiento.

1. DESCRIPCION DE LA INVESTIGACION

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El concreto es un material heterogéneo, durable y resistente, compuesto por varios materiales con diferentes granulometrías y propiedades; dado que se trabaja en forma líquida prácticamente puede adquirir cualquier forma, esta combinación de característica lo convierte en el material más usado en construcción ya que posee una alta resistencia a la compresión pero es uno de los más expuestos a daños producidos por el medio ambiente.

Debido a esto se busca proteger el concreto del medio agresivo que provoca el deterioro, mediante la aplicación de un mortero de revestimiento sobre él. El mortero de revestimiento o también conocido como friso es muy utilizado en la industria de la construcción con el fin de proteger las estructuras de concreto de los agentes que se encuentran presentes en el medio ambiente.

Un método no destructivo empleado en la evaluación y caracterización del concreto es la velocidad de pulso ultrasónico (VPU), este es influenciado de manera significativa por muchos factores como: calidad y tipo de agregado, diseño de la mezcla, porosidad contenido de agua edad del concreto, y la presencia de friso, factor importante que se debe tener en cuenta a la hora de evaluar la calidad del concreto ya que puede afectar notablemente los resultados obtenidos en la VPU.

El friso está constituido por cemento/arena, al variar esta relación y el espesor del mismo, se ocasiona una modificación en la estructura del material que podría influir en los valores de VPU obtenidos.

Por lo anterior, con el desarrollo de esta investigación se pretende mostrar la importancia de estudiar el efecto del concreto revestido con friso sobre la velocidad de pulso ultrasónico y la resistencia a la compresión.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General.

- Evaluar el efecto del friso sobre la velocidad de pulso ultrasónico “VPU” en concreto sin refuerzo.

1.2.2. Objetivo Específicos:

- Determinar el efecto sobre la velocidad de pulso ultrasónico “VPU” y la resistencia a la compresión de la variación de la dosificación cemento/arena del friso, aplicado sobre concreto sin refuerzo con relación agua/cemento de 0.5.
- Evaluar el efecto sobre la velocidad de pulso ultrasónico “VPU” y la resistencia a la compresión de la variación del espesor de un friso aplicado sobre el concreto en estudio.
- Establecer la relación entre la velocidad de pulso ultrasónico “VPU” y la resistencia a la compresión de concreto recubierto con friso (variando dosificaciones y espesores).

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades del Concreto

El concreto es principalmente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. Los agregados normalmente son rocas trituradas las cuales se clasifican en finas y gruesas (arena y grava) y la pasta la forma el agua al reaccionar químicamente con el Cemento.

2.1.1. Tipos de Concretos

El concreto se clasifica de diferentes maneras de acuerdo con sus características o de acuerdo a sus propiedades. Hoy en día se puede encontrar en el mercado concreto para usos estéticos o para alguna aplicación en especial. Sin embargo, para oponer resistencia ante la presencia de agentes agresivos se requieren concretos especiales y que cumplan con determinadas propiedades. Por lo tanto, el concreto se puede clasificar de acuerdo a su diseño y especificaciones en tres grandes grupos: concreto ordinario, de alta resistencia y de alto desempeño (HPC), sin embargo, se pueden hacer sub clasificaciones.

En la Tabla 1, Se presentan los tipos de concretos utilizados sus características y sus propiedades.

2.1.2. Componentes del Concreto

El concreto ordinario es elaborado principalmente de arena, grava, agua y cemento, en donde los materiales que se ocupan para fabricar éste concreto son los más comunes que se puedan encontrar en el mercado [3].

En la Tabla 2, Se presentan las componentes del concreto y sus características.

Tabla 1. Tipos de Concreto

Tipos de Concreto	Características	Propiedades
Concreto Ordinario	<ul style="list-style-type: none"> • Una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. <ol style="list-style-type: none"> 1. Agregado: piedra triturada fina y gruesa (arena y grava). 2. La pasta: Se forma al reaccionar químicamente con el cemento Portland. 	<ul style="list-style-type: none"> • Este tipo de concreto en su composición lleva poca cantidad de cemento. • Es un concreto con mayor permeabilidad. • Terminada su vida útil puedes ser reciclado y utilizado para formar nuevas mezclas. (sin embargo su resistencia es menor).
Concreto de Alta Resistencia	<ul style="list-style-type: none"> • Para alcanzar resistencia elevadas se utilizan agregados especiales como: Materiales de fibras de acero y humo de sílice. • Se debe trabajar con relaciones agua/cemento menores a 0,40. • Se adicionan además súper plastificantes para dar un mayor trabajabilidad ya que hace más fluido el concreto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Puede soportar esfuerzos elevados de más de 40 MPa.
Concreto de Alto Desempeño	<ul style="list-style-type: none"> • Para su fabricación se utiliza una relación agua/cemento baja. • Se puede mezclar escoria granulada de alto horno, ceniza volante, humo de sílice, metacaolín, cascara de arroz y polvo caliza. 	<ul style="list-style-type: none"> • Es resistente a la abrasión. • Tiene mayor durabilidad y le proporciona, mayor vida útil a las estructuras. • Sus propiedades mayores de elasticidad y resistencia y durabilidad permite utilizalo en estructuras de grandes dimensiones.

Fuente. Estimación de coeficiente de difusión de cloruros en concreto utilizando la técnica de velocidad de pulso ultrasónico [1].

Tabla 2. Componentes del Concreto.

Componentes del Concreto	Características
<p style="text-align: center;">Cemento Portland</p>	<ul style="list-style-type: none"> • En su fabricación se utilizan: calizas de diferentes tipos, arcillas, aditivas como el mineral de hierro, materiales silicosos y aluminosas. • Según las ASTM C150 [24].hay 5 tipos de cementos teniendo en cuenta el tipo aplicación que se desea llevar a cabo.
<p style="text-align: center;">Agua</p>	<ul style="list-style-type: none"> • La utilizada en el proceso de mezclado debe ser potable y libre de impurezas [25]. • Cuando está contaminada afecta las propiedades del concreto como son: tiempo de fraguado, resistencia, acabado y resistencia a la degradación.
<p style="text-align: center;">Agregados</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Se exige que un agregado sea de naturaleza inerte, que no presente ningún tipo de reacción química con otros componentes del hormigón o con el medio que lo rodea. • Es indispensable que presente características de resistencia mecánica acordes con las acciones que se le impondrán al hormigón, como también un valor mínimo de adherencia con la pasta. • La geometría del agregado debe tener: contextura superficial, intervalo de variación del tamaño de las partículas, la granulometría, la resistencia y el módulo de elasticidad características propias que pueden afectar la resistencia de concreto (ASTM C33-03) [33]. • Deben estar libres de sulfatos que pueden acelerar el deterioro del concreto mediante la reacción álcali-agregado.

Fuente.Estimación de coeficiente de difusión de cloruros en concreto utilizando la técnica de velocidad de pulso ultrasónico [1].

2.1.3. Proceso de Fabricación del Concreto

Para darle un uso específico al concreto se le debe efectuar una serie de procesos para su fabricación con el fin que este cumpla a cabalidad un uso determinado. A continuación se presentan las etapas que se suelen llevar a cabo para su elaboración:

1. La caracterización de la materia prima.
2. El diseño de la mezcla.
3. Fraguado.
4. Curado.

2.1.3.1. Caracterización de la materia prima

Esta primera etapa hace referencia a la granulometría de los agregados (grueso y fino) y con ella la determinación del tamaño máximo y tamaño máximo nominal en el agregado grueso, el módulo de finura en el agregado fino y las gravedades específicas y reales para cada uno de ellos. Todo lo anterior con el fin de poder llevar a cabo el respectivo diseño de mezcla.

2.1.3.2. Diseño de mezcla

El método para hallar el diseño de mezcla propuesto por la ACI (American Concrete Institute); el cual se basa en tablas empíricas experimentales mediante las cuales se determinan los diferentes componentes de la mezcla [2] [4] [5]. En el anexo A se muestran los pasos a seguir por medio de este método según las especificaciones y variables a conocer:

2.1.3.3. Fraguado

Se le llama fraguado a la fase inicial de hidratación donde ocurre el cambio del estado del fluido al estado sólido de la pasta, perdiendo así su plasticidad y volviéndose difícil de manejar, esta fase es solo una parte del endurecimiento del concreto se conoce fraguado inicial. A medida que se produce el endurecimiento normal de la mezcla, se presenta un nuevo estado en el cual la consistencia ha alcanzado un valor muy apreciable; este estado se denomina fraguado final.

2.1.3.4. Curado

El curado del hormigón es definido por el ACI como: El proceso de mantener un contenido de humedad satisfactorio y una temperatura favorable en el concreto durante la hidratación de los materiales cementantes, de manera que se desarrollen en el concreto las propiedades deseadas [6].

Un buen curado es absolutamente indispensable si se desea obtener hormigón de buena calidad y se quiere aprovechar al máximo la potencialidad del material. Cuando se combinan cemento y agua se produce un proceso químico, denominado hidratación, el cual requiere garantizar una cantidad mínima de agua, durante el tiempo necesario para que se lleve a cabo toda la reacción.

Un buen sistema de curado debe mantener básicamente dos parámetros: a) Contenido de humedad satisfactoria y b) Temperatura favorable. Para hormigones normales la cantidad de agua en el momento de su colocación normalmente es mayor que la necesaria para combinarse químicamente con el cemento, pero esta se pierde, siendo necesario eliminar esa pérdida o restituyendo el agua perdida [6].

2.2. Mortero

El mortero es una pasta formada por una mezcla de cemento, agua y agregado fino como la arena. Él puede tener funciones o no tenerla. Es esencial en construcción ya que es el material con el que se pegan los bloques de construcción como ladrillos, piedras, bloques de hormigón etc. Además, se usa para rellenar los espacios que quedan entre los bloques y para revestir las paredes [7] [21].

Hay muchas clases de morteros, entre los más comunes podemos encontrar el mortero de cemento y arena, que presentan mucha resistencia y se seca y se endurece rápidamente. Su desventaja es que no tiene mucha flexibilidad y se puede resquebrajar con facilidad.

El mortero utilizado como base de revestimiento debe cumplir las siguientes características:

- Buena adherencia
- Resistente
- Elástico
- Impermeable e hidrófobo

Sobre este tipo de revestimientos es recomendable aplicar una pintura exterior que debe ser impermeable al agua y permeable al vapor. Además, se recomienda que sea elástica, para poder puentear pequeñas micro fisuras del revestimiento [8].

2.2.1. Características

Las principales características que debe tener el mortero son: la plasticidad, resistencia a la compresión y adherencia. A continuación se presentan detalles de estas [9].

- **PLASTICIDAD**

Propiedad del mortero fresco de la cual depende la mayor o menor aptitud para poder tenderlos y rellenar completamente las juntas. De la plasticidad depende lograr buena unión entre los elementos constructivos cuando colocamos mampuestos así como disminuir la penetración de agua en los cerramientos terminados [9].

- **RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

Es la propiedad más indicativa del comportamiento del mortero. La resistencia debe ser lo más elevada posible aunque es conveniente que sea inferior a los elementos de albañilería que va a unir.

Las normas tecnológicas de la edificación (NTE) consideran como resistencia óptima de un mortero para muros una resistencia a la compresión a los 28 días de 40 kp/cm² [9].

- **ADHERENCIA**

La adherencia puede entenderse debida a la penetración de la pasta del mortero en el elemento de albañilería provocada por la succión capilar que este ejerce. Le proporciona la capacidad de absorber tensiones normales o tangenciales a la superficie de la interfase mortero / elemento de albañilería.

Los mecanismos de la adherencia actúan en las fases del mortero fresco y del mortero endurecido, tienen que ver con la reología de la pasta en el estado fresco.

En el mortero endurecido la adherencia depende fundamentalmente de la naturaleza de la superficie del soporte, de su porosidad y rugosidad, así como de la granulometría de la arena empleada.

En el comportamiento final del mortero intervienen factores internos: composición del mismo y afinidad con la base y curado externo, las condiciones de humedad de las bases, y los espesores de las juntas.

Cuando se coloca mortero fresco sobre la superficie del soporte, parte del agua de amasado es absorbida por el mismo penetrando en su interior a través de sus poros. El fraguado del mortero ocasiona procesos físico-químicos en su interior, responsables del fenómeno de anclaje con el soporte.

2.2.2. Aplicación del Mortero

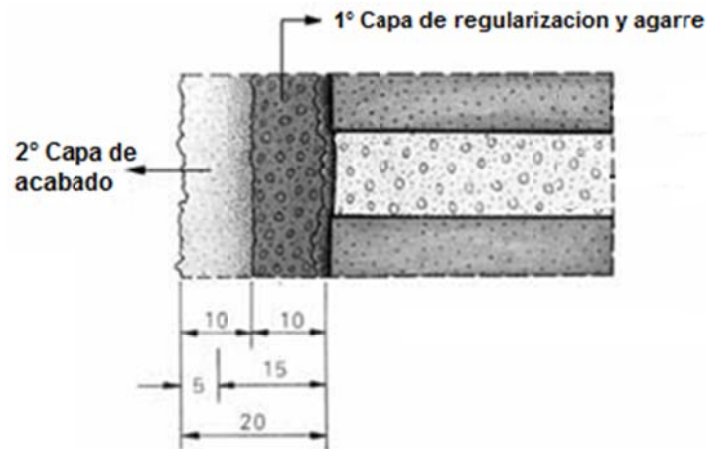
Deben eliminarse posibles rebabas de mortero en el muro, evitando huecos y resaltos respecto del plano exterior de la fachada, también hay que cuidar el tipo de árido, la granulometría y la dosificación del mortero para evitar su cuarteo.

El revestimiento debe realizarse en dos capas, siendo la primera de regularización y agarre, y la segunda no se aplicará hasta que se haya endurecido la primera. Para mejorar la adherencia entre ambas capas, se puede dar rugosidad al enfoscado mediante una tabla con clavos.

En caso de necesitar armadura en el revestimiento, se colocará la malla embebida en la primera capa de regularización y agarre [8].

En relación al espesor total del revestimiento (teniendo en cuenta las dos capas) será de 1,5 a 2 cm y si por necesidades de la obra son necesarios espesores mayores, debe armarse la primera capa, no debiendo superarse en cualquier caso los 2,5 cm de espesor (Ver figura 1). Por otro lado, si el revestimiento fuera muy delgado, no sería capaz de absorber las tensiones debidas a la humedad y diferencias de temperatura.

Figura 1. Composición de enfoscado sobre el muro exterior en mm.



Composición de enfoscado sobre el muro exterior en mm.

Fuente. Revestimiento tradicional con mortero de termoarcilla [8].

La primera capa del revestimiento, se aplica con un espesor de 1 a 1,5 cm. El mortero se aplicará en una sola operación, con el espesor suficiente para que agarre bien y no se deslice hacia abajo.

Conviene que se fragüe lentamente y con suficiente humedad el revestimiento, por lo que no ha de secarse artificialmente. En épocas de calor hay que humedecer adecuadamente los muros termoarcilla del plano de la fachada antes de aplicar el enfoscado para que no absorba demasiado deprisa el agua del mortero, y pueda fraguar correctamente sin aparecer fisuras.

Tras su ejecución, hay que humedecer el revestimiento (si es necesario durante unos días), para conseguir un correcto curado.

Si se quiere conseguir buena adherencia en la fabricación, el mortero se debe aplicar con fuerza desde abajo hacia arriba. Las capas de mortero tienen que solaparse mutuamente [8].

2.2.3. Tipos de Morteros

De acuerdo con la norma ASTM C270 [25], los morteros se clasifican, por sus propiedades, o por sus proporciones en volúmenes. De acuerdo con su dosificación ha sido costumbre hablar de morteros de relación 1:n, queriendo indicar partes de cemento:arena [21].

En la tabla 3, Se presentan los tipos de morteros que hay en la industria de la mampostería según su clasificación por proporción en volúmenes y en que son empleados los diferentes tipos de morteros.

Tabla 3. Tipos de morteros y sus dosificaciones

Morteros de cemento y arena					
Tipo de morteros	Proporción en volumen		Kg cemento por m ³ mortero	Empleo preferente	Resistencia kg/cm ²
	Cemento	Arena			
Ricos	1	1	800	Bruñido y revoques impermeables	160
	1	2	600	Enlucidos, revoque de zócalos, corrido de cornisas	
	1	3	450	Bóvedas tabicadas, muros muy cargadas, enlucidos de pavimento, enfoscados	
Ordinarios	1	4	380	Bóvedas de escaleras, tabiques de rasilla.	130
	1	5	300	Muros cargados, fábrica de ladrillos, enfoscados.	98
Pobres	1	6	250	Fabricas cargas	75
	1	8	200	Muros sin carga	50
	1	10	170	Rellenos para solado	30

Fuente. Tema 9: Morteros [10].

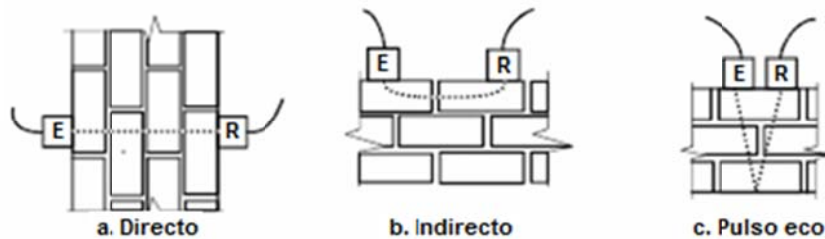
2.3. Técnica de velocidad de pulso ultrasónico (VPU)

La velocidad de pulso ultrasónico es una técnica desarrollada para probar los materiales y se usa como control de calidad. Es una prueba no destructiva y en la actualidad es muy utilizada para evaluar estructuras de concreto debido a su fácil empleo y permite determinar la resistencia a la compresión, el módulo de elasticidad y la relación de Poisson del concreto. La velocidad con que el pulso ultrasónico atraviesa un elemento de concreto depende de la densidad y sus propiedades elásticas; sin embargo, la velocidad se afecta cuando existe alguna discontinuidad o cavidades dentro del concreto [1][11].

La técnica cubre la determinación de la velocidad de propagación de los pulsos de una onda longitudinal a través del material. Las ondas longitudinales normalmente usadas tienen frecuencias entre 20 a 150 KHz, las cuales son bajas comparándolas con las de un acero, por la heterogeneidad del concreto, según lo indica la norma ASTM C 597[31].

La aplicación de dicha técnica se ha implementado por la necesidad de resolver serios problemas que afectan la vida de servicio de una estructura; además, para reparar una estructura se requiere identificar plenamente la localización de una grieta, tamaño, así como defectos o discontinuidades dentro de un material. Actualmente se pueden combinar técnicas hasta encontrar imágenes acerca de las profundidades y anchos de grietas dentro del concreto. Para realizar la prueba de velocidad de pulso ultrasónico en concreto existen tres formas los cuales son por: transmisión directa, indirecta y pulso eco [1][11][12]. Ver figura 2.

Figura 2. Métodos de transmisión de la velocidad de pulso ultrasónico.



Fuente. Rehabilitación de estructuras de mampostería [11].

La forma más recomendable de realizar la prueba es de manera directa ya que presenta grandes ventajas por su gran sensibilidad. En la medición indirecta tiene la desventaja de que las ondas se atenúan rápidamente, ya que sólo una parte viaja paralela a ese plano, y la mayoría se transmite perpendicular al transductor. En la medición eco del pulso es útil para identificar fallas o huecos superficiales.

2.3.1. Factores que Afectan a la Velocidad de Pulso.

Aunque es relativamente fácil de aplicar la prueba de la velocidad del pulso, es importante que la prueba se realice de tal forma que las lecturas de la velocidad del pulso sean reproductivas y que solo sean afectadas por las características del concreto bajo prueba y no por otros factores externos. Algunas de las variables del concreto que la afectan son:

- **Tipo de cemento**

El tipo de cemento no tenía un efecto significativo en la VPU. El índice de la hidratación, sin embargo, es diferente para diversos cementos e influenciará la velocidad del pulso. Pues el grado de hidratación aumenta, el módulo de la elasticidad aumentará y la velocidad del pulso también aumentará [14].

- **Relación Agua/Cemento**

A medida que se aumenta esta relación la velocidad de pulso y la resistencia a la compresión disminuyen, suponiendo que no hay ningún otro cambio en la composición del concreto [14].

- **Tipo de agregados**

La velocidad del pulso de la mezcla del cemento es generalmente más baja que la del agregado. El tipo de agregado no tenía ningún efecto significativo en la relación entre la velocidad del pulso [14].

- **Contacto entre superficies del concreto y transductores.**

Debe haber un esencial contacto acústico; las superficies moldeadas en general no presentan problemas y si presentan alguna rugosidad se puede eliminar frotando con piedra de pulir (piedra esmeril). Los transductores deben estar alineados entre si y nivelarse contra el concreto para mejorar el contacto, se suele colocar una capa de acoplante (vaselina) entre concreto y transductores [14].

2.4. Resistencia a la compresión

El concreto al ser un material estructural se diseña para que tenga una determinada resistencia a la compresión ya que es esta su mayor característica mecánica y suele utilizarse como medio evaluador de su calidad. A partir de esta medida se considera cual puede ser la aplicabilidad de dependiendo de la estructura (Puentes, edificios entre otros) que se va a diseñar. En general, se puede establecer cuál es la mezcla de concreto más adecuada dependiendo de las propiedades mecánicas y de durabilidad que se buscan.

La resistencia a la compresión se determina a partir de la fuerza de ruptura dividida por el área de sección de la probeta y se reporta en unidades de PSI o en MPa. Los requerimientos para la resistencia a la compresión pueden variar desde 17MPa (2500 PSI) para el concreto residencial hasta 28 MPa (4000 PSI) y más para estructuras comerciales. Para determinadas aplicaciones se especifican resistencias superiores hasta de 70 MPa (10000 PSI) y más [16].

2.4.1. Factores que afectan la resistencia de un concreto

Los factores que afectan la resistencia del concreto se pueden dividir en dos:

- Aquellas variables que influyen en el proceso del concreto, como: Mezclado, transporte, colocación, compactación y curado [19].
- Aquellos factores relacionados con la calidad y la cantidad de elementos constitutivos en el concreto, tales como: Agregados, cemento y agua [19].

En resumen en cuanto la cantidad y calidad de los elementos constitutivos en el concreto se sabe que:

Las características del cemento que se utilice en la mezcla de concreto afectan de sobremanera en la resistencia, pues es el elemento más activo de la mezcla. Además se debe tener en cuenta la proporción de cemento en la mezcla ya que a medida que esta aumenta la resistencia del concreto aumenta, pero este contenido no debe exceder de 470Kg/m^3 ya que produce un descenso en la resistencia [17][18].

En cuanto a la relación a/c, se puede decir que esta relación es el factor más importante en la resistencia a la compresión del concreto. Una determinada relación a/c lleva a un valor de resistencia sin embargo está influenciada por el tipo de agregado y el tipo de cemento utilizado [18].

Finalmente la resistencia en el concreto se ve influenciada por propiedades de los agregados tales como: Tamaño máximo del agregado grueso, granulometría, la resistencia y la rigidez de las partículas del agregado [18].

2.4.2. Factores que afectan la resistencia de un mortero

Existen 2 factores que afectan la resistencia de un mortero:

- Calidad y cantidad de los elementos constitutivos del mortero
- Proceso de fabricación.

Respecto al primer factor se identifican el contenido de cemento y relación a/c:

- Contenido del cemento: Ya que el cemento es el elemento más activo de la mezcla, afecta la resistencia en gran proporción. Por lo general, los cementos son de buena calidad, pero se advierte que la edad del cemento disminuye la resistencia. También, tiene importancia en la resistencia de un mortero su proporción de cemento, entre más cemento tenga la mezcla más resistencia tendrá el mortero después de curado, pero se observa disminución de la resistencia si la proporción de cemento es mayor a 470 kg por m^3 . Además la pasta de cemento presenta contracciones que aumentan la posibilidad de fractura y disminuyen la resistencia [20].

- Relación agua/cemento: La cantidad de agua agregada a la mezcla afecta notablemente la resistencia del mortero. La resistencia desciende según los litros de agua agregados a la mezcla. Este fenómeno de reducción de la resistencia es debido a un fenómeno de liberación de agua por las reacciones químicas del cemento, ésta liberación causa una fase dispersa vacía que debilita el mortero y reduce la resistencia [20].
- Calidad de los agregados: Esta afecta la resistencia de muchas maneras. La resistencia del mortero no puede ser mayor que el de los agregados; la textura, la estructura y composición de las partículas del agregado influyen sobre la resistencia. Si los granos de los agregados no están bien cementados unos a otros consecuentemente serán débiles. La resistencia a la compresión del agregado deberá ser tal que permita la resistencia total de la matriz cementante [20].

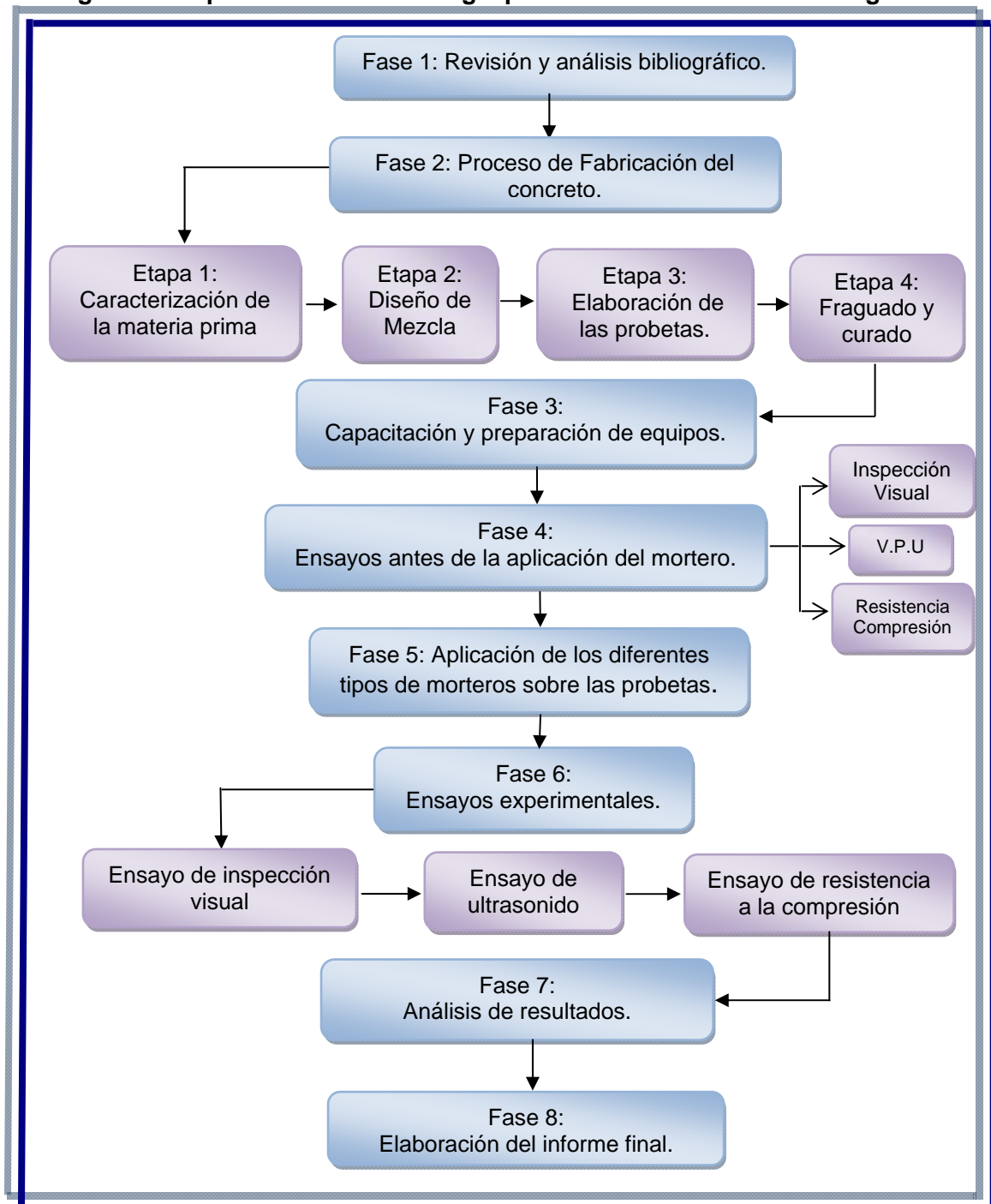
2.5. Estimación de resistencia a la compresión con la VPU

Tanto la calidad del concreto como la del mortero es generalmente evaluada por su resistencia, así mismo la velocidad de pulso ultrasónico está en función de la homogeneidad del material. Sin embargo, la correlación entre estas dos variables se ve afectada por el tipo de agregado, relación agregado/cemento, edad del material, tamaño máximo de agregado y condiciones de curado. La velocidad de pulso ultrasónico como la resistencia a la compresión del concreto disminuyen cuando se incrementa la relación agua/ cemento [1][15].

3. METODOLOGÍA

En la figura 3 se muestran las fases y etapas que se llevaron a cabo para la realización de la presente investigación.

Figura 3. Esquema de la Metodología para el desarrollo de la investigación.



3.1. Revisión y análisis bibliográfico

En esta fase se revisó el material bibliográfico disponible sobre la velocidad de pulso ultrasónico (VPU) de concretos sin refuerzo, así como la preparación del mortero y su aplicación sobre el concreto y sus repercusiones en la medición de velocidad de pulso ultrasónico. Todo lo anterior, con el fin de afianzar conocimientos adquiridos con anterioridad y lograr un mejor desempeño a lo largo del desarrollo del proyecto.

En esta etapa se realizó una recopilación de artículos internacionales, diversas tesis de grado de pregrado, trabajos de grupos de investigación relacionados con el tema, material bibliográfico relacionado con los procesos de curado, propiedades del concreto, y un estudio detallado de los ensayos no destructivos realizados a este tipo de material.

3.2. Proceso de Fabricación del Concreto

En esta fase se llevara a cabo el diseño y elaboración de las probetas a utilizar en cada uno de los ensayos destructivos y no destructivos, teniendo en cuenta principalmente la caracterización de la materia prima, Diseño de Mezcla, elaboración de las probetas, fraguado y curado.

3.2.1. Etapa 1: Caracterización de la materia prima

Para la preparación de las probetas de concreto se caracterizaron los siguientes materiales: Cemento Portland Tipo I, Agua potable y Agregados

- **Cemento Portland Tipo I.** El cemento utilizado en el proyecto fue de uso comercial. Este material cumple con los requisitos obligatorios de las normas NTC 121, NTC 321.
- **Agua potable.** Suministrada por el Acueducto Metropolitano de Bucaramanga y los resultados de los análisis de la calidad del agua son facilitados por la misma entidad y son presentados a continuación en la figura 4.

Figura 4. Análisis fisicoquímico y microbiológico del agua utilizada para la realización de las probetas

No Aplica		CALIDAD FISICOQUIMICA Y MICROBIOLÓGICA PROMEDIO MENSUAL DEL AGUA TRATADA																					
F CC 507-006		RED DE DISTRIBUCION																					
Rev.0		LABORATORIO DE CONTROL CALIDAD AGUAS																					
MUNICIPIO:		BUCARAMANGA		AÑO:		2010																	
PARAMETROS	Parámetros Fisicoquímicos												Parámetros Microbiológicos				I IRCA MENSUAL						
	MES	No. Muestras Fisicoquímicas	Cloro residual mg Cl ₂ /L	Turbiedad UNT	Color Aparato UPC	pH Unidades	Olor y Sabor 0: Aceptable 1: No Aceptable	Aluminio mg AUL	Alcalinidad mg CaCO ₃ /L	Dureza mg CaCO ₃ /L	Cenizas mg Cl/L	Sulfatos mg SO ₄ /L	Hierro mg Fe/L	Nitratos mg NO ₃ /L	Nitros mg NO ₂ /L	No. de Muestras Microbiológicas		Muestras Positivas Coliformes Totales	% Aceptabilidad Coliformes Totales	Muestras positivas E. Coli	% Aceptabilidad E. Coli		
Enero	90	1,02	0,57	3,1	7,70	0	0,05	60,9	74,9	4,9	23,9	0,10	1,0	N.D	180	0	100	0	100	0	100	0	1,00
Febrero	84	0,92	0,58	2,4	7,58	0	0,05	59,6	77,5	4,4	28,9	N.D	0,9	N.D	168	0	100	0	100	0	100	0	1,14
Marzo	93	0,92	0,60	2,8	7,44	0	0,05	57,7	77,3	4,7	31,1	0,10	0,9	N.D	186	0	100	0	100	0	100	0	1,16
Abril	87	0,90	1,08	7,2	7,18	0	0,10	42,1	78,0	3,5	39,9	N.D	1,0	N.D	174	0	100	0	100	0	100	0	1,27
Mayo	93	0,85	0,95	6,1	7,24	0	0,09	48,8	72,2	3,2	32,4	N.D	0,9	N.D	186	0	100	0	100	0	100	0	1,00
Junio	90	0,86	1,48	9,7	7,00	0	0,10	40,0	60,7	2,5	25,4	N.D	1,0	N.D	180	0	100	0	100	0	100	0	1,73
Julio	93	0,90	1,09	6,7	7,20	0	0,08	44,7	61,3	2,5	23,5	N.D	0,8	N.D	186	0	100	0	100	0	100	0	1,00
Agosto	93	0,89	1,25	7,4	7,17	0	0,10	45,4	66,4	2,3	24,7	N.D	0,9	N.D	186	0	100	0	100	0	100	0	1,00
Septiembre	90	0,85	1,05	6,0	7,11	0	0,06	42,2	67,5	2,3	26,6	N.D	1,1	N.D	180	0	100	0	100	0	100	0	1,00
PROMEDIO	90	0,90	0,98	5,7	7,29	0	0,08	49,0	70,6	3,4	28,5	N.D	0,9	N.D	181	0,0	100	0,0	100	0,0	100	0	1,14
RES. 2115/07	3/día	0,3-2,0	≤2	≤15	6,5-9,0	ACEP	0,2	200	300	250	250	0,3	10	0,1	6/día	0	100	0	100	0	100	0	1-5
Convenciones:	mg/L: miligramos por litro UNT: Unidades Nefelométricas de Turbiedad UPC: Unidades de Platino Cobalto IRCA: Índice de Riesgo de Calidad del Agua ND: No Detectable																						
Nota:	El agua distribuida por el amb durante este periodo es APTA para el consumo humano y está conforme con los parámetros ensayados y establecidos por el Gobierno Nacional en la Resolución 2115 de 2007. IRCA entre 0 y 5 AGUA SIN RIESGO, continuar el control y la vigilancia.																						

Elaboró: Leonor Chacón

Revisó y Aprobó:

CARLOS MANUEL PARRA GOMEZ
Jefe de Control Calidad Aguas

Fuente. Acueducto Metropolitano de Bucaramanga

- **Agregados.** Para la preparación de la mezcla se utilizó arena como agregado fino, como agregado grueso se utilizó grava de 3/8”.

Para la caracterización de los agregados se realizaron pruebas granulométricas a fin de determinar el módulo de finura y el tamaño máximo de agregado grueso. Además se determinaron gravedades específicas, pesos específicos y la absorción para cada tipo de agregado basándose en las normas NTC 92^[28], NTC 176^[29] y NTC 237^[30].

Para la granulometría de los mismos se tuvo en cuenta las normas NTC 77^[26], NTC 78^[27], para su caracterización se utilizó la escala de tamices del 4, 8, 16, 30, 50 y 100 en el orden respectivo para el agregado fino, pesando lo que quedó en cada uno de ellos, a su vez se determinó su módulo finura. Para el agregado grueso se tomó el juego de tamices 3/8 y #4 en el orden respectivo, de este modo se toma el agregado grueso que es retenido en la malla número 4, una vez seleccionado el agregado se procedió determinar las gravedades específicas para cada tipo de agregado.

3.2.2. Etapa 2: Diseño de la mezcla

El diseño de mezcla se llevó a cabo siguiendo el procedimiento recomendado por ACI (American Concrete Institute). Ver anexo A.

3.2.3. Etapa 3: Elaboración de las probetas

Las probetas fueron fabricadas en el Centro de Caracterización de Materiales, de la Escuela de Ingeniería Civil, de la Universidad Industrial de Santander, ubicado en el Edificio Álvaro Beltrán Pinzón.

Inicialmente se limpiaron y se sujetaron los moldes de madera triplay, al estar armado su forma interior forma un cubo de 20 cm de lado.

Una vez listos los moldes, se procedió a un paso importante en la realización de las probetas que es engrasar los moldes para que la mezcla no se adhiera a las paredes del molde y así desmoldar fácilmente

Luego se procedió a realizar las mezclas; pesando cada uno de los materiales en la balanza analítica, de acuerdo a los cálculos para el diseño de las mezclas para la relación agua/cemento 0.5.

En la preparación de las mezclas; primero se depositó la arena, seguidamente el cemento, los cuales se mezclaron por un tiempo hasta homogenizar, esta se extendió en forma de círculo para así luego agregar la grava y seguidamente el agua (ver Figura 5. a).

Una vez vertidos todos los materiales en el recipiente, se mezclan hasta obtener una pasta homogénea y manejable (ver Figura 5. b).

Lista la mezcla, ésta se deposita en los moldes en tres capas aproximadas de igual volumen hasta llenarlo. Cada una de las capas se empareja con la mano y se apisona con la varilla compactadora utilizando el extremo semiesférico de ésta, dando 25 golpes distribuidos uniformemente en cada una de las capas, además se dieron unos golpes por fuera del molde para que haya a una mejor compactación de la mezcla. Se debe seguir las recomendaciones de la norma NTC 1377^[32].

Posteriormente, se dejaron entre 18 y 24 horas de fraguado en los moldes a temperatura ambiente y después se procedió al desmoldar las probetas (ver Figura 5. c, d).

3.2.4. Curado de las probetas.

Después de sacarlas del molde, las probetas son sumergidas en una piscina donde quedaron cubiertas por completo de agua, las probetas se dejaron curar bajo estas condiciones durante los días 28 (ver Figura 5. e, f).

Figura 5. Proceso de elaboración de las probetas



a. Preparación Mezcla



b. Homogenización de Mezcla



c. Fraguado



d. Desencofrado



e, Curado



f. Curado

3.3. Capacitación y preparación de equipos

Con fin de llevar a cabo la investigación se realizó capacitación y entrenamiento en el manejo de los equipos así como, su respectiva calibración. Se emplearon en el desarrollo del trabajo los equipos de ultrasonido de baja frecuencia CNS FARNELL Modelo Pundit Plus y Máquina Universal de ensayos marca DIR-Controls CT-1500. El primer equipo se utilizó para valorar tanto el concreto como el mortero y el segundo para medir la resistencia a la compresión. A continuación se presentan algunos detalles de estos equipos.

- **El equipo de ultrasonido CNS FARNELL Modelo Pundit Plus**, de baja frecuencia es especial para la evaluación de materiales heterogéneos como la madera y el concreto. Cuenta con un juego de palpadores que van desde 24 a 250 KHz, un voltaje de entrada que puede establecerse en 250, 500 y 1200 voltios según sea el caso y tres diferentes modos de emisión del pulso ultrasónico que son continuo, retardado y un solo disparo. Además trabaja con dos sistemas de medidas métrico e inglés, también cuenta con una memoria de almacenamiento la cual puede registrar hasta 112 datos obtenidos. Con este equipo se pueden tomar medidas de tiempo de vuelo, velocidad y longitud recorrida por el haz sonoro y además el módulo de elasticidad del material. El equipo fue ajustado cada día antes de realizar las mediciones. Ver figura 6.

Figura 6. Equipo de ultrasonido Pundit Plus



- **Máquina Universal modelo DIR-Controls CT-1500 para Ensayo de Compresión.** La máquina universal de ensayos está diseñada para pruebas de tensión, compresión, pandeo, flexión y doblado. Las medidas son tomadas hidráulicamente por un motor. Además cuenta con un manómetro de presión, el cual está equipado con un dispositivo de contacto que se puede ajustar para mantener la carga constante, así como para frenar los cambios de carga. Así mismo soporta cargas hasta 1500 KN. Ver figura 7.

Figura 7. Equipo Resistencia compresión Dir-Controls CT-1500

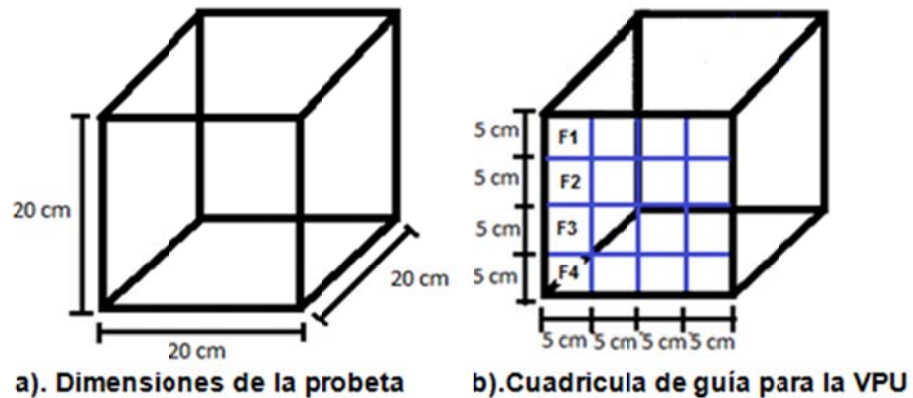


3.4. Ensayos antes de aplicación del mortero

Se realizaron ensayos de inspección visual, medición VPU y resistencia a la compresión de las probetas de concreto antes de la aplicación de friso. Todas es pruebas se realizaron siguiendo las normas técnicas respectivas. Los resultados obtenidos se presentaran en el capítulo siguiente.

Para la toma de datos de VPU fue necesario hacer una cuadrícula 5 cm sobre las caras frontal y posterior de la probetas de 20 cm. Con esta cuadrícula se formaron 16 cuadros de 5 cm de lado sobre el probetas formando 4 filas y 4 columnas. Como se muestra en la siguiente figura 8.

Figura 8. Dimensiones de las probetas y cuadrícula para medidas de VPU

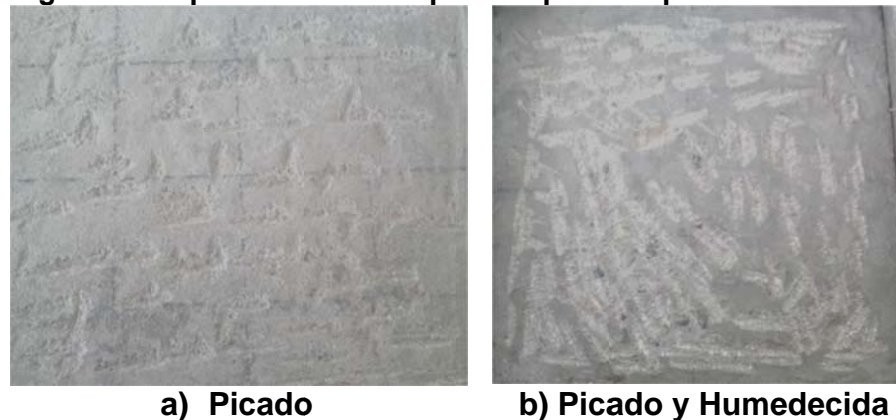


3.5. Aplicación de los diferentes tipos de morteros sobre las probetas.

Se elaboran 3 mezclas diferentes de mortero con dosificaciones cemento/arena 1:1, 1:2, 1:3 ya que son los más utilizados en la mampostería Colombiana como recubrimiento de paredes.

El diseño de mezcla del mortero se realizó teniendo en cuenta la relación volumétrica tanto del cemento como de la arena. Realizada la mezcla, ésta se aplicó sobre una de las caras las probetas de concreto, espesores de 1 cm y 2 cm de mortero de cada dosificación mencionadas anteriormente. Es importante resaltar que para lograr buena adhesión del friso sobre el concreto fue necesario hacer una preparación de la probeta de la superficie que consistió en un picado fino y una vez hecho el picado se procedió a humedecer la superficie. Ver figura 9.

Figura 9. Preparación de la superficie para la aplicación de friso



Esta preparación de la superficie para la aplicación del friso fue necesaria después de haber intentado en dos ocasiones anteriores, la aplicación del friso sin un previ6 picado, presentándose fallas de adherencia del friso sobre las probetas de concreto ocurriendo un despegue muy f6cil del mismo.

Debido a todos los inconvenientes presentados, el procedimiento final establecido para la correcta aplicaci6n del friso consisti6 en: Picado de la superficie, uso de moldes para el control del espesor del friso, mojando de la superficie, aplicaci6n del mismo y acabado final despu6s de un tiempo de secado. En la figura 10, se presentan im6genes de los pasos seguidos durante este proceso

Figura 10. Proceso de aplicación del friso. a) Picado de superficie; b) base de referencia; c) superficie húmeda; d) Aplicación del friso; e) acabado final



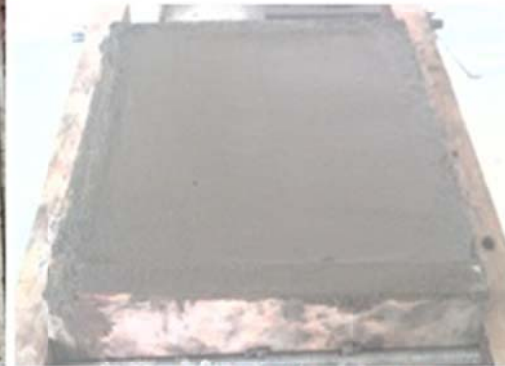
a) Picado de superficie



b) base de referencia



c) superficie húmeda



d) Aplicación del friso



e) acabado final

3.6. Ensayos experimentales

En esta etapa se llevó a cabo los siguientes ensayos: de inspección visual, ultrasonido, resistencia a la compresión.

3.6.1. Ensayo de inspección visual:

La inspección visual se llevara a cabo antes de cualquier otro ensayo con el fin de conocer cuál es el estado superficial de la probeta y detectar posibles defectos.

3.6.2. Ensayo de ultrasonido:

En las superficies planas de cada una de las probetas se midió la velocidad de pulso ultrasónico por medio del equipo de ultrasonido mediante el tiempo de propagación de la onda a través de la pieza. Este ensayo se realizó siguiendo la norma ASTM C 597^[31] “Método de prueba estándar para velocidad de pulso a través de concreto”.

3.6.3. Ensayo de resistencia a la compresión:

Se realizó el ensayo a la resistencia a la compresión a las probetas recubiertas con los diferentes tipos de morteros y espesores del mismo y adicionalmente a probetas sin friso. Este ensayo se realizó siguiendo la norma ASTM C39/C39M-04^[34].

3.7. Análisis de resultados

En esta etapa, se realizó el análisis e interpretación de los diferentes resultados obtenidos en las pruebas y ensayos. Los cuales se presentan en el capítulo siguiente.

3.8. Elaboración del informe final

Finalmente se llevó a cabo la redacción y revisión del libro final y posterior sustentación del trabajo.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se muestran los resultados obtenidos en los procesos de fabricación del concreto, ensayos antes y después de la aplicación del friso y sus respectivo análisis.

4.1. Proceso de fabricación de las probetas

Los resultados obtenidos de la caracterización de los materiales componentes de la mezcla de concreto y el diseño de la mezcla utilizada en esta investigación, se presentan a continuación.

4.1.1. Caracterización de la Materia Prima

En las tablas 4, 5 y 6 se presentan los resultados obtenidos de la caracterización realizada al agregado fino y grueso, indicándose algunas de sus propiedades, gravedades específicas y el módulo de finura del agregado fino.

Tabla 4. Propiedades del Agregado

	Agregado Grueso	Agregado Fino
Peso Unitario suelto	1470,32	1,43
Peso Unitario Compacto	1516,25	1,57
Absorción %	2,16	2,67
Porcentaje de Vacíos	40,5	39,38

Tabla 5. Gravedades Específicas

	Agregado Grueso	Agregado Fino
Real	2,6	2,7
Aparente	2,5	2,18
Aparente SSS	2,55	2,59

Tabla 6. Análisis granulométrico del Agregado Fino

Tamiz	Peso Retenido	% Retenido	%Retenido Acumulado	% Pasante
4	38,3	3,83	3,83	96,17
8	45,2	4,52	8,35	91,65
16	99,5	9,95	18,3	81,7
30	214,9	21,49	39,79	60,21
50	332,9	33,29	79,08	26,92
100	207,1	20,71	93,79	6,21
Fondo	60,8	6,08	99,87	0,13
Total	998,7		Peso Muestra	1000
Módulo de Finura = 2,37				

El módulo de finura del agregado fino cumple con los requisitos establecidos en la norma ASTM C33 [31], en la cual se indica que debe ser mayor de 2.3 y menor de 3.1.

4.1.2. Diseño de Mezcla de Concreto

En la tabla 7 se indican las cantidades en pesos de los diferentes agregados y su equivalente en volumen para un diseño de mezcla de concreto con una relación agua cemento (a/c) 0.5.

Tabla 7. Cantidades en peso y volumen para un metro cúbico de concreto

Material	Peso (Kg)	Volumen (L)
Agua	225	225
Cemento	450	148,5
Agregado Fino	667,15	257,59
Agregado Grueso	987,75	387,35

4.2. Ensayos antes de la aplicación del mortero.

En esta parte se presentan los resultados obtenidos a partir de los ensayos de: inspección visual, velocidad de pulso ultrasónico y resistencia a la compresión, realizados sobre todas las probetas fabricadas.

4.2.1. Inspección visual

Dentro de esta etapa se tuvo en cuenta para el análisis dos aspectos: la medición de las dimensiones de las probetas y el estado físico de las mismas.

- Medición de dimensiones de la probeta

A cada probeta elaborada se le midió sus dimensiones después de 72 horas de su extracción de la piscina de curado, esto con el fin de determinar el área de las probetas a analizar. El valor de los lados de las caras obtenidos fue de 20.2 ± 0.2 cm. Ver tabla 8.

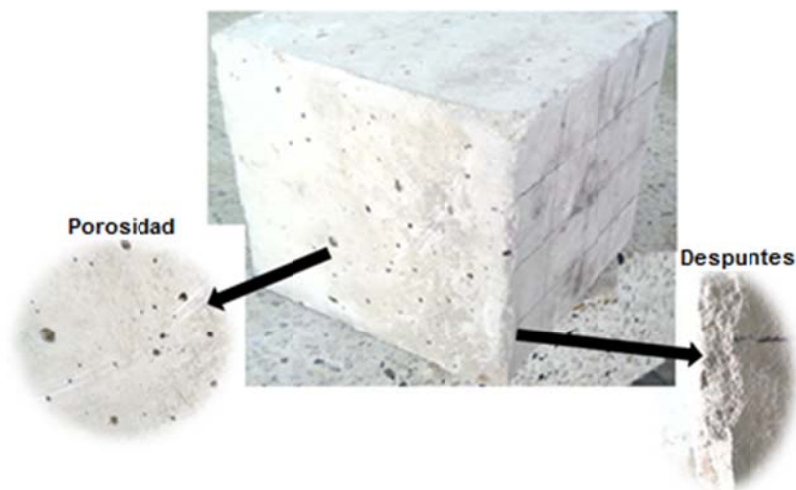
Tabla 8. Resultados de dimensiones de probetas

Dimensiones (cm)		
20	20,4	20,4
20	19,8	20,2
20,2	20,4	20,2
20,4	20	20,1
20	20,3	20,2
Promedio general = 20,2 cm		

- Estado físico de las probetas

Se observó cada probeta con el fin de ver el estado superficial de cada una de sus caras, se pudo apreciar poca rugosidad, buena uniformidad, algunos poros y despuntes en las esquinas, como se observa en la figura 11.

Figura 11. Estado físico de las probetas



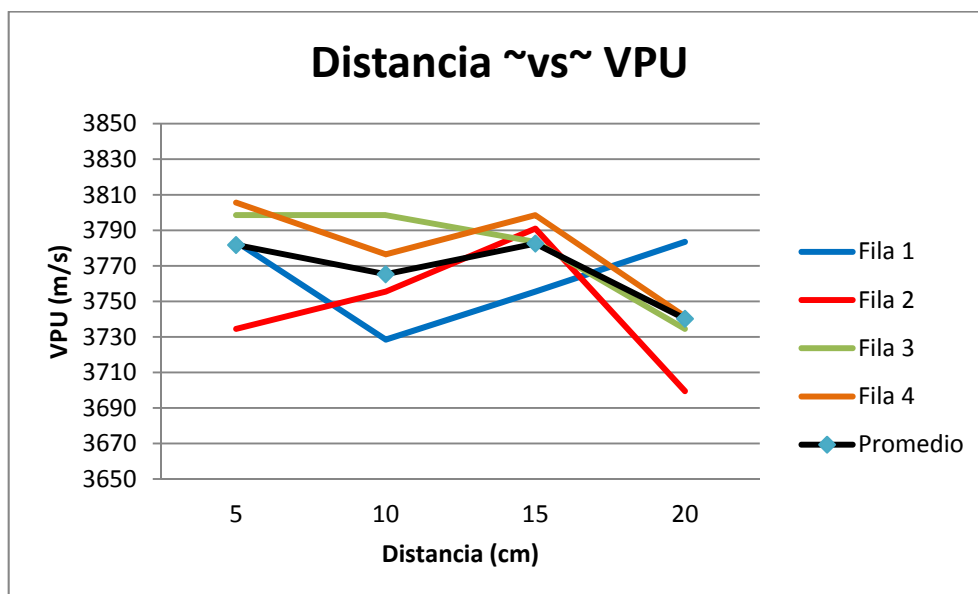
4.2.2. Ensayo de velocidad de pulso ultrasónico.

Los resultados promedios obtenidos de la medición de velocidad de pulso ultrasónico de las 21 probetas sin friso, se presentan en tabla 9.

Tabla9. Resultados obtenidos del ensayo de ultrasonido (VPU)

Distancia (cm)				
Fila	5 (cm)	10 (cm)	15 (cm)	20 (cm)
1	3784	3729	3756	3784
2	3735	3756	3791	3700
3	3799	3799	3784	3735
4	3806	3777	3799	3742
Promedio general	3781	3765,3	3782,5	3740,3

Gráfica.1 Distancia ~vs~ VPU de bloques sin friso



En la Gráfica. 1. se observa las mediciones de VPU obtenidas a través de un barrido hecho por filas en la cara frontal y posterior de cada probeta, así como también la curva del promedio de éstas mediciones. Se observa que los bloques sin frisos tienen una velocidad pulso ultrasónico promedio de 3767.5 ± 31 m/s.

4.2.3. Ensayo de Resistencia a la Compresión

En la tabla 10 se presentan los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión a las probetas antes de aplicar friso sobre ellas.

Tabla 10. Resultados de resistencia a la compresión de las probetas sin friso.

Resistencia a la Compresión de los Bloques sin friso			
Probetas patrón #	Carga (KN)	Resistencia (MPa)	Resistencia promedio (MPa)
1	952,7	23,8	23,5
2	924,2	23,1	
3	943,5	23,6	

En la tabla 10, se observa claramente que los bloques de concreto poseen una resistencia a la compresión de 23.5 ± 0.36 Mpa. Esta resistencia se encuentra por debajo de lo que se había establecido en el diseño de mezcla (25 MPa).

4.3. Ensayos experimentales

En esta parte se presentan los resultados obtenidos de las probetas de concreto después de aplicado el friso, correspondientes a los ensayos de: inspección visual, velocidad de pulso ultrasónico y resistencia a la compresión.

4.3.1. Inspección visual

Durante este análisis se tuvo en cuenta varios factores: medición de dimensiones de la probeta y estado superficial de la misma.

- Medición de dimensiones de la probeta

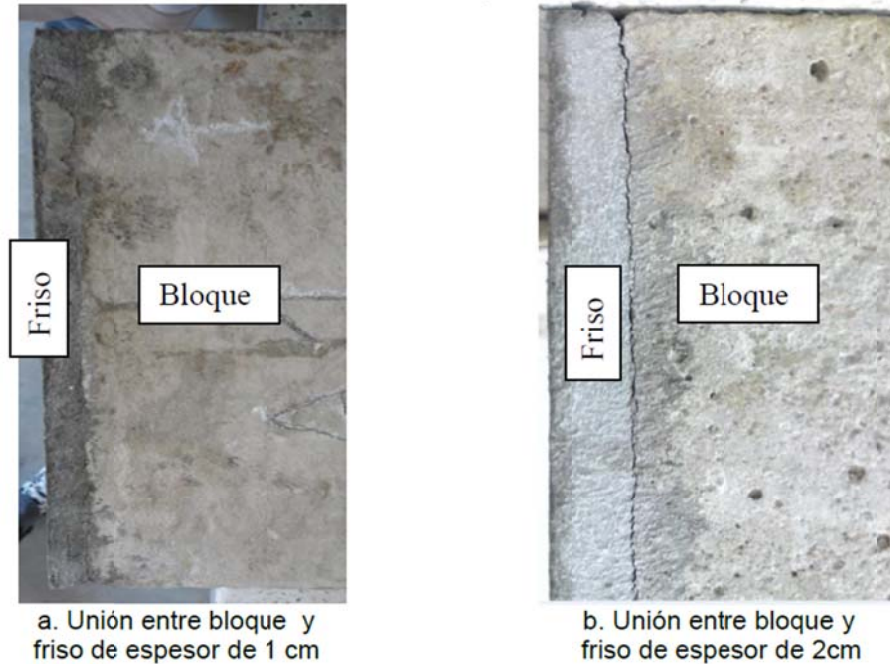
A cada probeta una vez aplicado el friso y su respectivo secado, se le midió sus dimensiones para comprobar si cumplía con las dimensiones establecidas para cada espesor de friso, y así determinar el área de las probetas analizadas.

- Estado superficial

Se observó cada probeta con el fin de ver el estado y acabado superficial del friso aplicado sobre la cara de la probeta de concreto.

De esta inspección se pudo observar en algunos bloques en la interface entre bloque y el friso, la presencia de una separación o falta de unión entre estos dos, la cual se presentó con mayor tendencia y notoriedad en los bloques con espesor de 2 cm como se aprecia en la figura 12 para dos bloques de espesor 1 cm y 2 cm de friso.

Figura 12. Comparación de la unión entre el bloque y el friso de los diferentes espesor.



4.3.2. Ensayo de velocidad de pulso ultrasónico.

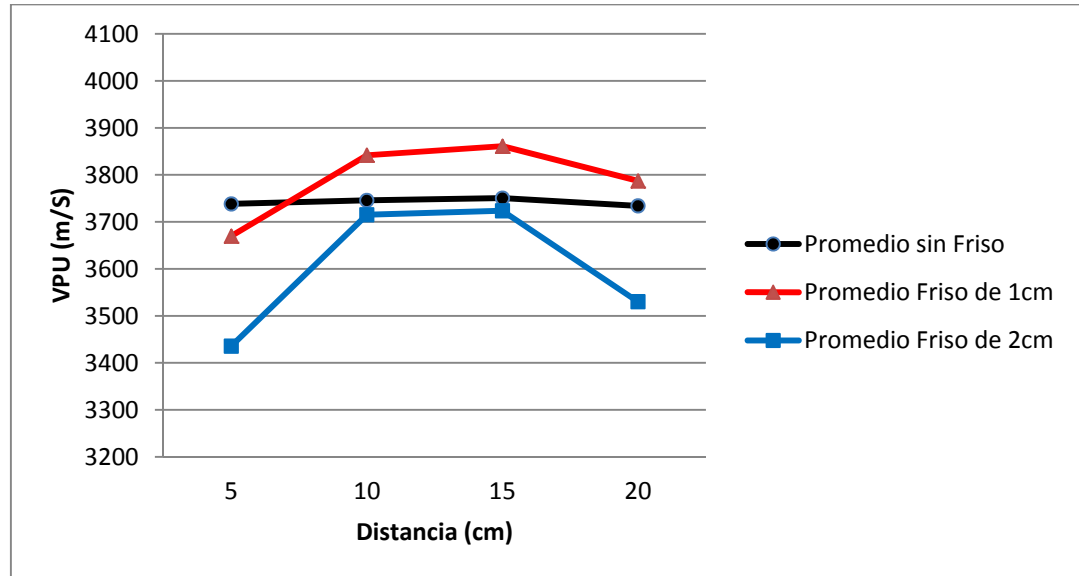
En las tablas 11,12 y 13 se presentan los resultados promedio de la velocidad de pulso ultrasónico, obtenidos a las distancias 5, 10, 15 y 20 cm, de las probetas con friso y sin friso. En su orden se presentan los datos de las diferentes dosificaciones utilizadas (1:1,1:2,1:3) así como los respectivos espesores de friso (1cm, 2cm).

En la tabla 11 y gráfica 2 se presentan los resultados de las probetas con friso con dosificación 1:1 con el fin de observar la variación del VPU de los bloques con friso y sin friso, variando el espesor.

Tabla 11. Resultados de VPU del friso de dosificado 1:1.

Columna	Distancia de lectura (cm)			
	5	10	15	20
Promedio sin Friso	3738,1	3745,5	3750,4	3733,9
Promedio Friso de 1cm	3669,6	3841,8	3861	3787,1
Promedio Friso de 2cm	3435,4	3715	3723,5	3529,9

GRAFICA 2. COMPARACION DE VPU DEL FRISODE DOSIFICADO 1:1 Y DIFERENTES ESPESORES.



En la gráfica 2 se muestra un comportamiento similar para los datos correspondientes a los dos espesores de friso, presentándose una disminución de la velocidad de pulso ultrasónico en los extremos de las probetas, debido a la falta de unión entre el friso y el bloque por retracciones ocurridas en el proceso de secado, o, la presencia de un efecto de borde en las medidas de VPU cercanas a los extremos.

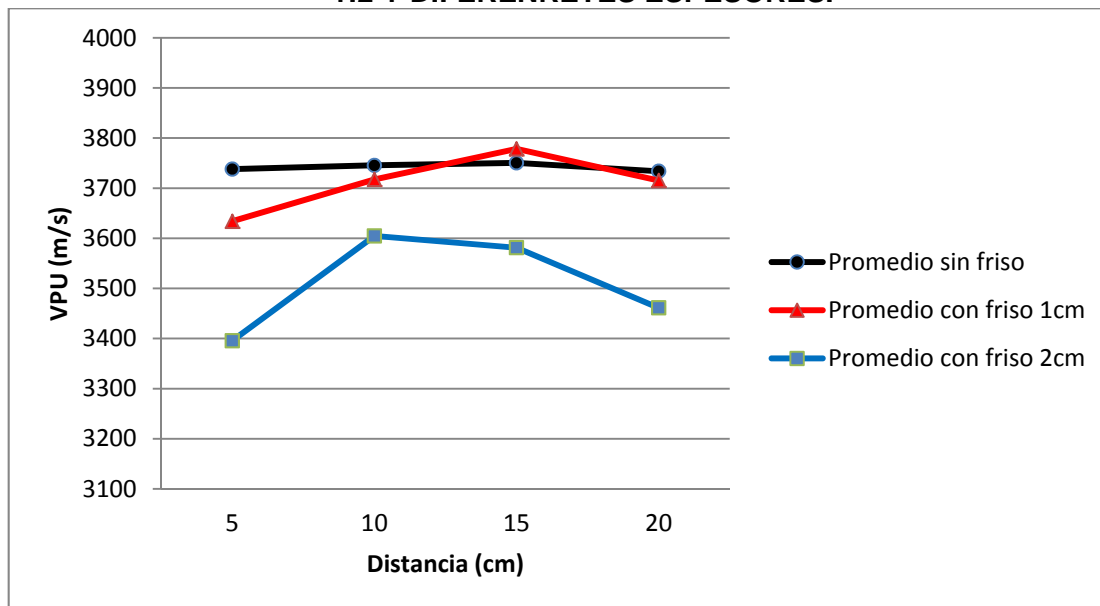
A partir de la gráfica se puede observar el efecto que produce el espesor de friso en las mediciones de VPU, mostrando una disminución en los valores de velocidad a medida que aumenta el grosor de este.

En la tabla 12 y la gráfica 3 se muestran los valores de VPU para la muestra con friso de dosificación 1:2 con el fin de observar la variación del VPU del bloque sin friso, con los dos diferentes espesores.

Tabla 12. Resultados de VPU del friso de dosificado 1:2

	Distancia de lectura (cm)			
Columna	5	10	15	20
Promedio sin friso	3738,1	3745,5	3750,4	3733,9
Promedio friso de 1cm	3634	3717,5	3778,6	3715,3
Promedio friso de 2cm	3395,6	3604,7	3581,2	3461,2

GRÁFICA 3. COMPARACION DE VPU DEL FRISO CON DOSIFICADO 1:2 Y DIFERENTES ESPESORES.



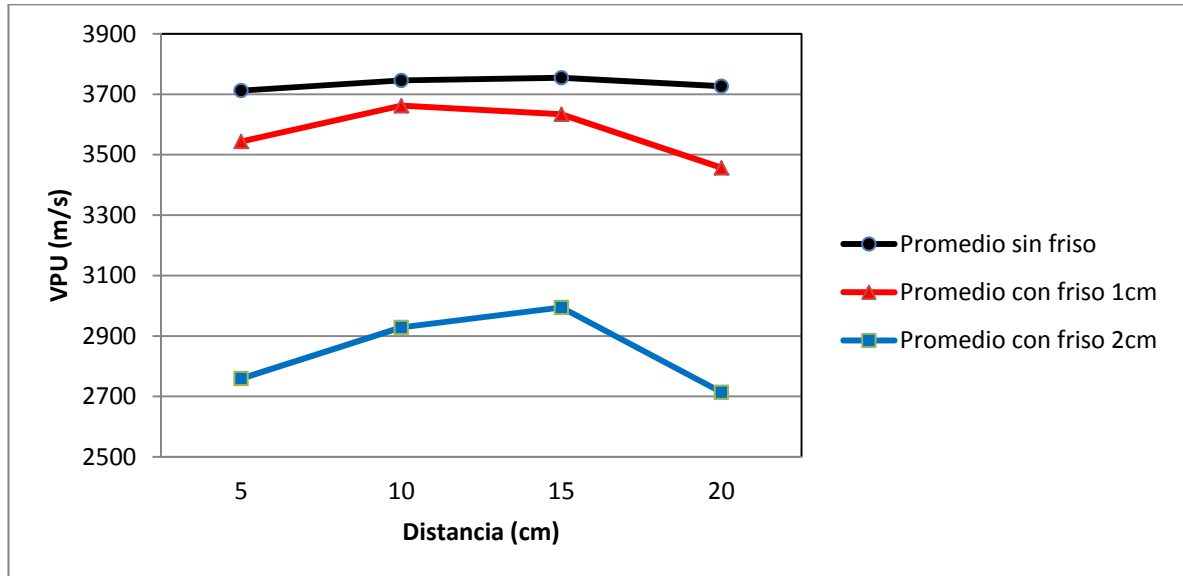
En esta figura se presenta un comportamiento similar al indicado anteriormente.

En la tabla 13 y gráfica 4 se presentan los valores de VPU para las probetas con friso de dosificación 1:3 con el fin de observar la variación del VPU del bloque sin friso, con los dos diferentes espesores.

Tabla 13. Resultados de VPU del friso de dosificado 1:3

Columna	Distancia de lectura (cm)			
	5	10	15	20
Promedio sin friso	3712,1	3745,8	3754,6	3726,4
Promedio friso de 1cm	3543,8	3662,2	3633,9	3456,6
Promedio friso de 2cm	2759	2928,3	2994,5	2713,8

GRÁFICA 4. COMPARACION DE VPU DEL FRISO CON DOSIFICADO 1:3 Y SUS DIFERENTES ESPESORES.



En la gráfica 4 se observa el mismo comportamiento presentado por los dos graficas anteriores de frisos de dosificados 1:1 y 1:2.

Todas estas gráficas permiten observar que al variar el espesor de los frisos y las dosificaciones, se afectan los valores obtenidos en la velocidad de pulso ultrasónico en comparación con los bloques de referencia sin friso. Lo anterior, indica que hay disminución en la velocidad pulso ultrasónico al ir aumentando la cantidad de arena presente en los frisos (dosificaciones 1:1, 1:2, 1:3) y lo mismo ocurre al aumentar el espesor.

En las tablas 14 y 15 y las gráficas 5 y 6 se hace una comparación de los datos obtenidos en referencia a los espesores de 1 cm y 2 cm comparado con las 3 diferentes dosificaciones de friso.

Tabla 14. Datos de VPU del espesor de 1 cm con diferentes dosificaciones

	Distancia de lectura (cm)			
	5	10	15	20
Promedio Friso (1:1) de 1cm	3669,6	3841,8	3861	3787,1
Promedio Friso (1:2) de 1cm	3634	3717,5	3778,6	3715,3
Promedio Friso (1:3) de 1cm	3543,8	3662,2	3633,9	3456,6

Grafica 5. Comparación de VPU del espesor de 1 cm con diferentes dosificaciones

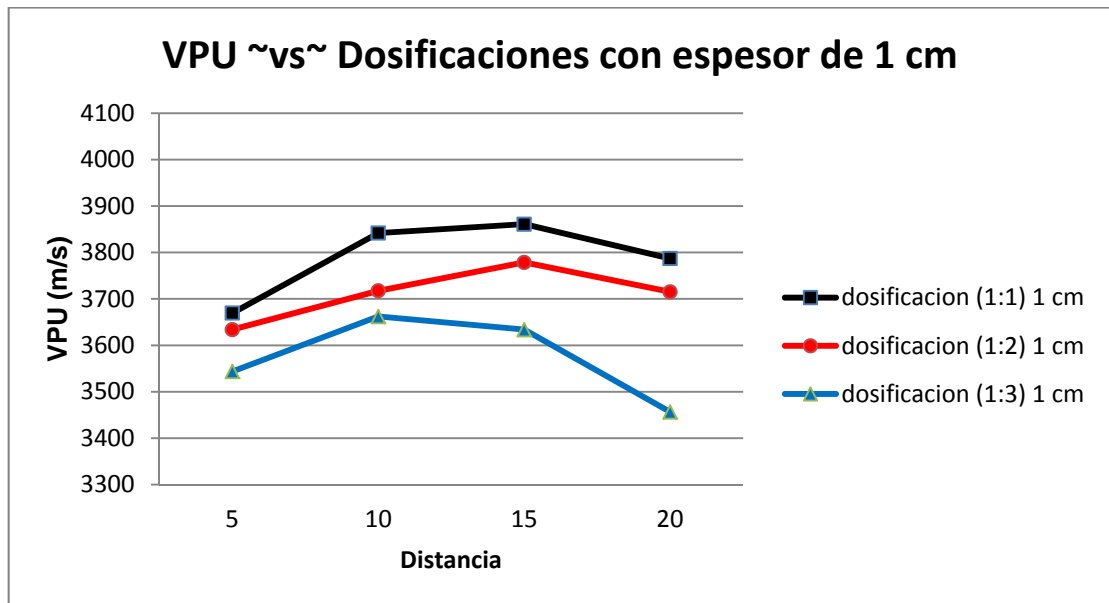
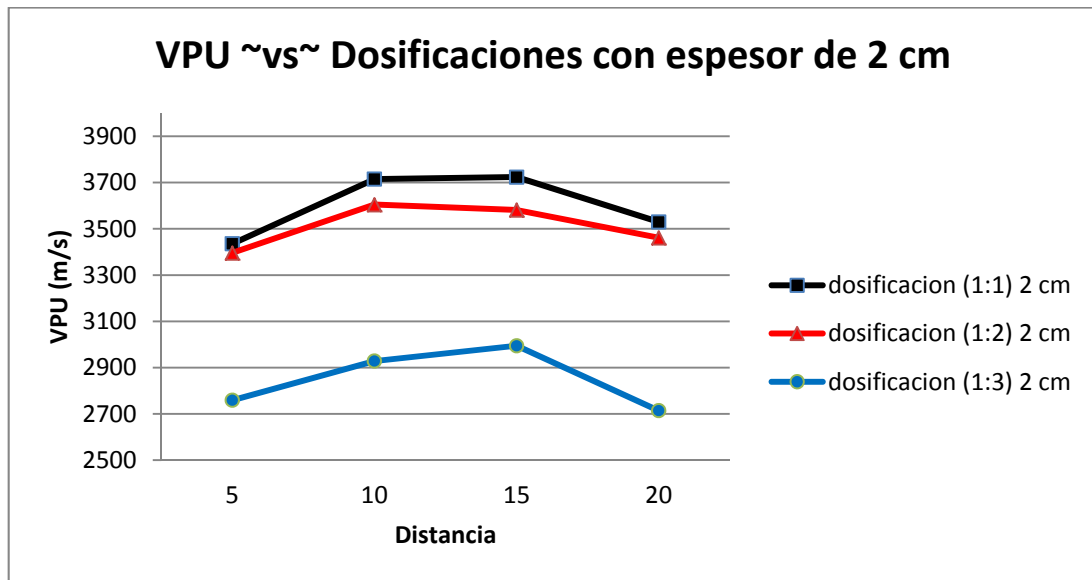


Tabla 15. Datos de VPU del espesor de 2 cm con diferentes dosificaciones

	Distancia de lectura (cm)			
	5	10	15	20
Promedio Friso (1:1) de 2 cm	3435,4	3715	3723,5	3529,9
Promedio Friso (1:2) de 2 cm	3395,6	3604,7	3581,2	3461,2
Promedio friso (1:3) de 2 cm	2759	2928,3	2994,5	2713,8

Grafica 6. Comparación de VPU del espesor de 2 cm con diferentes dosificaciones



A partir de las gráficas 5 y 6 se puede apreciar que al variar las dosificaciones hay una disminución en la velocidad de pulso ultrasónico, debido al aumento de la cantidad de arena presente en el friso.

Dicho aumento ocasiona una disminución en la densidad del mortero y por tanto en la velocidad del mismo. Lo cual coincide con la revisado en la bibliografía [22][23].

4.3.3. Ensayo de Resistencia a la Compresión

Las tablas 16, 17 y 18 se presentan los resultados obtenidos en el ensayo de resistencia a la compresión realizadas a las probetas con friso con sus diferentes dosificaciones (1:1, 1:2 y 1:3) y espesores (1 y 2 cm).

Tabla 16. Resistencia a la Compresión de los Bloques con friso de dosificado 1:1.

Resistencia a la Compresión de los Bloques con friso de dosificación 1:1			
Espesor	Carga (KN)	Resistencia (MPa)	Resistencia promedio (MPa)
1 cm	1017,72	24,2	23,5
	963,92	22,9	
	976,65	23,3	
2 cm	1022,62	23,2	23,3
	1024,36	23,3	
	1033,66	23,5	

Tabla 17. Resistencia a la Compresión de los Bloques con friso de dosificado 1:2.

Resistencia a la Compresión de los Bloques friso de dosificación 1:2			
Espesor	Carga (KN)	Resistencia (MPa)	Resistencia promedio (MPa)
1 cm	1018,89	24,3	23,8
	1012,71	24,1	
	968,65	23,1	
2 cm	1004,68	22,8	23,1
	985,63	23	
	975,65	23,5	

Tabla 18. Resistencia a la Compresión de los Bloques con friso de dosificado 1:3.

Resistencia a la Compresión de los Bloques friso de dosificación 1:3			
Espesor	Carga (KN)	Resistencia (MPa)	Resistencia promedio (MPa)
1 cm	962,09	22,9	23,0
	976,32	23,2	
	965,39	23	
2 cm	993,69	22,6	22,4
	985,36	22,4	
	1012,75	22,2	

A partir de las tablas 16,17 y 18 se puede observar que no hay un aporte significativo en los valores de resistencia a la compresión por la presencia de friso sobre los bloques de concretos, debido a que se presenta un aumento en el valor de carga aplicado pero a su vez se tiene una mayor área transversal.

4.4. Análisis estadístico de los datos experimentales

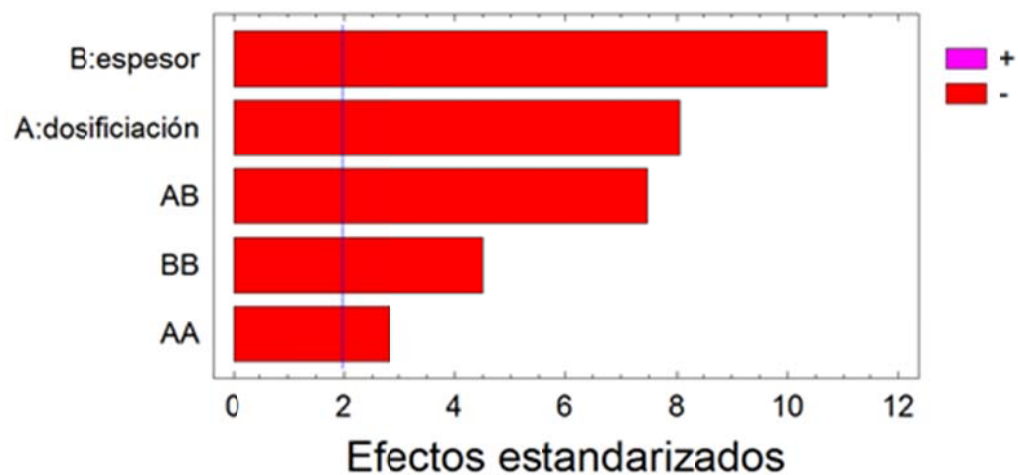
Después de realizar las pruebas y recopilar los datos para cada una de las variables estudiadas, se realizó el análisis estadístico a fin de comprobar la veracidad de los resultados obtenidos, así como la interacción entre las variables y la influencia de las mismas sobre la técnica de ultrasonido y resistencia a la compresión.

Este análisis se realizó con el paquete estadístico STATGRAPHICS obteniendo a partir de él los diagramas de Pareto, gráficas de Efectos principales.

4.4.1. Análisis del graficas de Pareto y Efectos principales para la Velocidad de Pulso Ultrasónico.

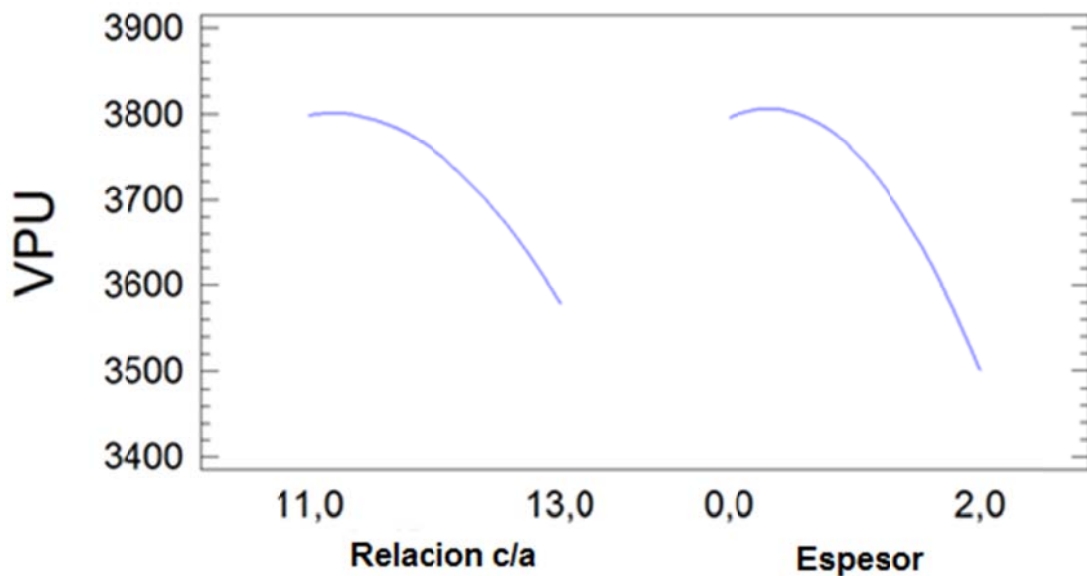
En las gráficas 7 y 8 se muestra de forma ordenada las principales variables que afecta la velocidad de pulso ultrasónico, su magnitud y su influencia sobre ésta.

Gráfica 7. Interacción entre variables (Diagrama de Pareto Estandarizado) para las mediciones de velocidad de pulso ultrasónico.



En la gráfica 7 se puede observar que para las dos variables estudiadas, el espesor tiene mayor influencia negativa sobre la VPU, lo cual confirma lo observado en los resultados ya que al ir aumentando el espesor disminuye la velocidad de pulso ultrasónico. Por otra parte, se observó que la dosificación también tiene una influencia negativa sobre la velocidad, a medida que aumenta la cantidad de arena presente en las dosificaciones del friso la velocidad disminuye considerablemente. Por lo anterior se puede concluir que el espesor tiene una mayor influencia en la disminución de la velocidad.

Gráfica 8. Efectos principales (dosificación y espesores) sobre la velocidad de pulso ultrasónico.



La gráfica 8 muestra los efectos principales, donde se observa el comportamiento de las variables, presentando pendientes negativas en los dos casos.

4.4.1.1. Correlación matemática.

La siguiente expresión es la ecuación ajustada conocida como polinomio respuesta, la cual relaciona la variable respuesta (Velocidad de Pulso Ultrasónico) en función de las dos variables principales (dosificación y espesor) y sus interacciones. El coeficiente de correlación para esta ecuación es $R^2=0.73537$.

La ecuación del modelo ajustado por el paquete estadístico STATGRAPHICS es:

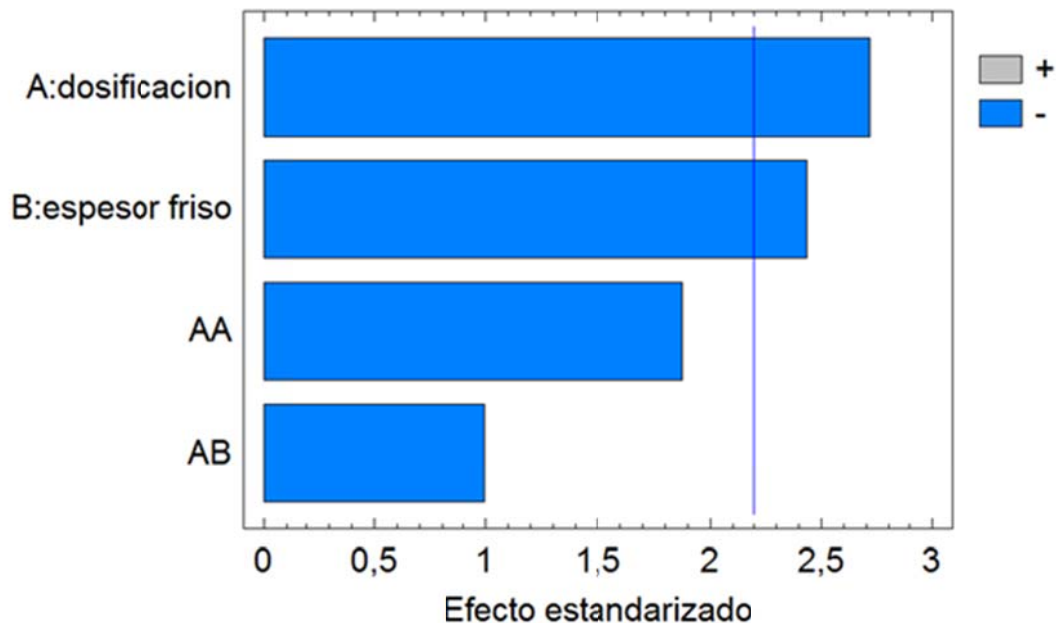
$$VPU (m/s) = -6134.29 + (1639.71 * D) + (1581.91 * E) - (67.6875 * D^2) - (126.172 * D * E) - (107.781 * E^2)$$

Donde: D: Dosificación (donde 11 es para la dosificación 1:1, 1:2=12,1:3=13).
E: Espesor (cm)

4.4.2. Análisis del graficas de Pareto y Efectos principales para la Resistencia a la compresión.

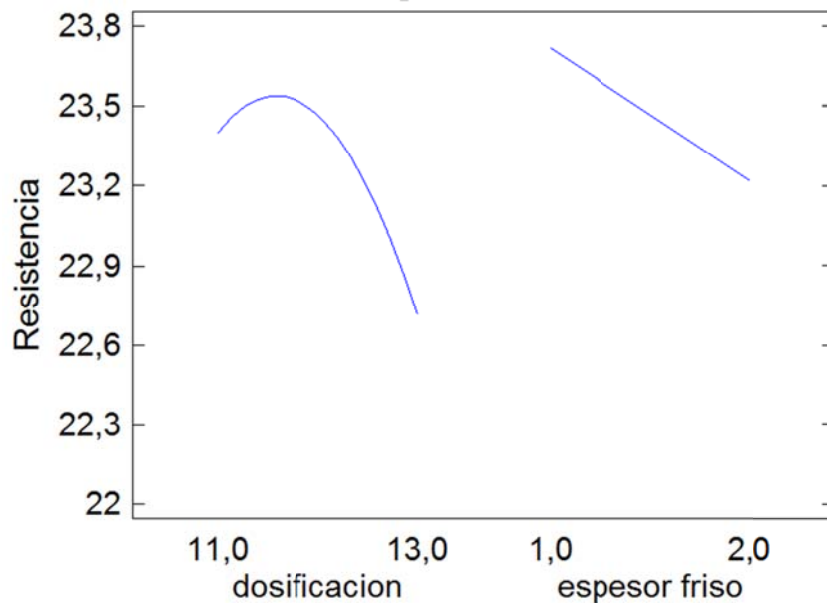
En las gráficas 9 y 10 se muestra de forma ordenada las principales variables que afectan la Resistencia a la compresión, su magnitud y su influencia sobre ésta.

Grafica 9. Interacción entre variables (Diagrama de Pareto Estandarizado) para las mediciones de resistencia a la compresión.



En la gráfica 9 se puede observar que para las dos variables estudiadas, el espesor tiene influencia negativa pequeña sobre la resistencia a la compresión, lo cual confirma lo observado en los resultados ya que al ir aumentando el espesor disminuye muy poco la resistencia. Por otra parte, se observó que la dosificación también tiene una influencia negativa sobre la resistencia, a medida que aumenta la cantidad de arena presente en las dosificaciones del friso la velocidad disminuye considerablemente. Por lo anterior se puede concluir que la dosificación tiene una mayor influencia en la disminución de la resistencia a la compresión.

Gráfica 10. Efectos principales (dosificación y espesores) sobre la resistencia a la compresión.



La gráfica10 muestra los efectos principales, donde se observa el comportamiento de las variables, presentando pendientes negativas en los dos casos.

4.4.2.1. Correlación matemática.

La siguiente expresión es la ecuación ajustada conocida como polinomio respuesta, la cual relaciona la variable respuesta (Resistencia a la Compresión) en función de las dos variables principales (dosificación y espesor) y sus interacciones. El coeficiente de correlación para esta ecuación es $R^2=0.6304$.

La ecuación del modelo ajustado por el paquete estadístico STATGRAPHICS es:

$$Resistencia = -34.9833 + 9.83333 * D + 2.5 * E - 0.40833D^2 - 0.25 * D * E$$

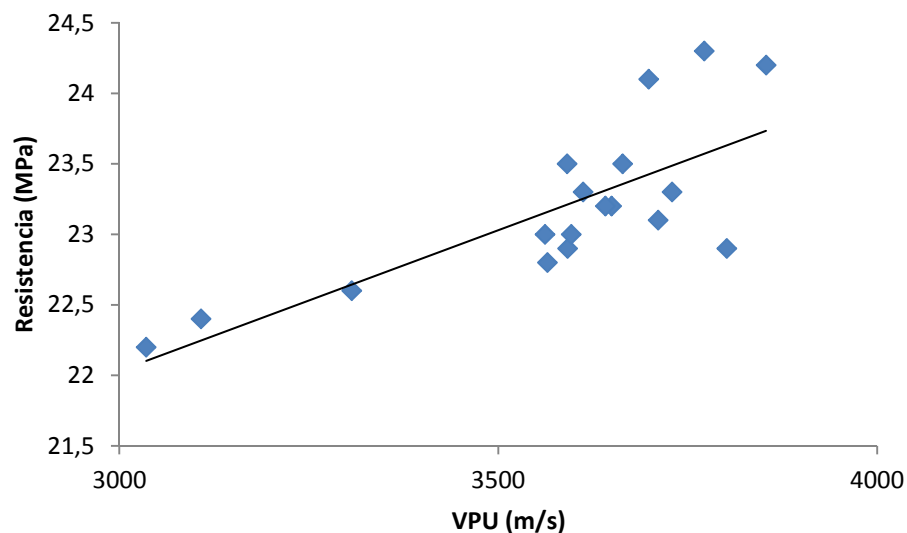
Donde: D: Dosificación.

E: Espesor (cm)

4.4.3. Correlación entre la velocidad de pulso ultrasónico y la resistencia a la compresión

En la gráfica 11 se muestran los resultados obtenidos de resistencia a la compresión versus los valores de velocidad de pulso ultrasónico. La ecuación presentada a continuación se ajusta a un modelo matemático lineal. Donde X representa las medidas de velocidad de pulso ultrasónico (m/s) y Y representa la resistencia a la compresión (MPa), la tabla de esta correlación se encuentra en el anexo C.

Gráfica 11. Correlación entre la velocidad de pulso ultrasónico y resistencia a la compresión



En la gráfica 11, se relaciona la VPU versus la resistencia a la compresión, presenta los datos experimentales y la curva de ajuste lineal obtenida, el coeficiente de $R^2 = 0.763$

$$Resistencia = 16.0483 + 0.00199468 * VPU$$

5. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos experimentalmente en concreto sin refuerzo elaborado en este proyecto con relación agua/cemento de 0.5 al cual se le aplicó friso en una de sus caras con diferentes dosificaciones (1:1, 1:2, 1:3) y espesores (1 y 2 cm), podemos concluir que:

- Al interpretar los valores de velocidad de pulso ultrasónico “VPU” y la resistencia a la compresión en los bloques con friso, se observó que éstos dependen de la relación cemento/arena del friso. Estos valores disminuyeron, cada vez que aumentaba la cantidad de arena y se mantenía constante la cantidad de cemento.
- Al evaluar el efecto sobre la velocidad de pulso ultrasónico “VPU” y la resistencia a la compresión de la variación del espesor de un friso aplicado sobre el concreto en estudio, se encontró que entre ellos existe una relación inversa, de tal manera que, cada vez que cada vez que aumente el espesor del friso menor será la velocidad de pulso ultrasónico “VPU”. Y en lo referente a la resistencia a la compresión se observó que no hay un aporte significativo en los valores de resistencia a la compresión por la presencia de friso sobre los bloques de concreto, debido a que se presenta un aumento en el valor de carga aplicado pero a su vez se tiene una mayor área transversal.
- En cuanto a la relación entre la velocidad de pulso ultrasónico “VPU” y la resistencia a la compresión de concreto recubierto con friso (variando dosificaciones y espesores), se encontró que estas dos variables no tienen un comportamiento similar, ya que mientras una disminuye la otra permanece casi constante. De los resultados obtenidos se muestra una relación lineal entre estas dos, dada por la expresión $Resistencia = 16.0483 + 0.00199468 * VPU$ con un índice de correlación $R^2=0.763$.
- De esta investigación se puede concluir que la presencia de friso sobre el concreto es un factor importante que se debe tener en cuenta a la hora de evaluar la calidad del concreto con base en la VPU, ya que la presencia de este puede afectar notablemente los resultados de VPU, aunque no los de resistencia.
- Finalmente, se debe concluir que a la hora de realizar las diferentes pruebas de “VPU” y de resistencia a la compresión juegan un papel importante tanto la relación cemento/arena y el espesor del friso como la unión bloque-friso.

RECOMENDACIONES

Dada la importancia que tiene el friso en las investigaciones de este tipo, para garantizar su calidad, se debe hacer una buena preparación de la superficie donde se aplicará, con un buen picado y un suficiente humedecimiento de la zona, con el fin de lograr una buena adherencia y por lo tanto resultados satisfactorios.

Aunque en esta investigación no se midió la incidencia que puede tener en los resultados la porosidad de los morteros, para futuras investigaciones vale la pena estudiarlo más fondo dada su repercusión en la velocidad de pulso ultrasónico "VPU".

Continuar los estudios de VPU y resistencia a la compresión en concretos recubiertos con mortero, modificando su composición con aditivos como la cal y el yeso, con el fin de observar su efecto sobre las variables analizadas.

BIBLIOGRAFÍA

1. FLORES GUTIÉRREZ, Jesús. Estimación de coeficiente de difusión de cloruros en concreto utilizando la técnica de velocidad de pulso ultrasónico. Tesis de grado de maestro en ciencias. Sta. Cruz Xoxocotlán, Oaxoxa. Instituto Politécnico Nacional, 2008.
2. TECNOCONCRETO.S.A. Diseño de Mezclas
3. KUMAR MEHTA P, Monteiro, Paulo J.M. Concrete, Microstructure, Properties, and Materials. University of California at Berkeley. 3ra Edition. McGraw Hill.
4. DISEÑO DE MEZCLA INGENIERO JOSE GABRIEL GOMEZ, Capitulo 10. Disponible en: http://www.maestriaenconstrucciones.com.ec/archivos/JOSE-GABRIEL-GOMEZ_cementos.pdf
5. SAMUEL, Laura Huanca. Diseño de Mezclas de Concreto. Puno – Perú: Universidad Nacional del Altiplano. Marzo 2006.
6. DISEÑO DE MEZCLA INGENIERO Jose Gabriel Gomez, Capitulo 8. Disponible en http://www.maestriaenconstrucciones.com.ec/archivos/JOSE-GABRIEL-GOMEZ_cementos.pdf
7. PREPARACIÓN DE MORTEROS. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/56976486/morteros-informe-2-NUEVO>
8. REVESTIMIENTO TRADICIONAL CON MORTERO DE TERMOARCILLAS. Disponible en: http://www.termoarcilla.com/notBoletin.asp?id_rep=1447
9. CARACTERÍSTICAS DE LOS MORTEROS. Disponible en: http://www.construmatica.com/construpedia/Caracter%C3%ADsticas_de_los_Morteros
10. TEMA 9: MORTEROS. Disponible en: www.uclm.es/area/ing_rural/Trans_const/Tema9.pdf
11. ALCOCER.S.M. Rehabilitación estructuras de mampostería. Capitulo11
12. INDUSTRIAL APPLICATIONS AND CHEMISTRY SECTION INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Guidebook on Non-Destructive Testing of Concrete Structures*. Vienna, 2002
13. CHANG, Y. F., WANG, C. Y. (1997). A 3-D Image Detection Method of a Surface Opening Crack in Concrete Using Ultrasonic Transducer Arrays. *Journal of nondestructive Evaluation*. Vol. 16, No. 4, Pp 193-203.

14. PARDO RIAÑO, Francisco y PEREZ GERENA, Eduar. Evaluación del el efecto de las barras de refuerzos del concreto sobre las medidas de velocidad pulso ultrasónico. Trabajo de Grado [Ingeniería metalúrgicos] UIS. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería metalúrgica y ciencias de Materiales.
15. ZEGA J. C., DI MAIO A. A. (2007). Efecto del agregado grueso reciclado sobre las propiedades del hormigón. Universidad nacional de la plata. Laboratorio de entrenamiento multidisciplinario. Caracas. Vol. 45, No. 2
16. CIP35-Prueba de Resistencia a la compresión del concreto. Disponible en: <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/CIP35es.pdf>
17. SANCHEZ DE GUZMAN, Tecnología del Concreto y Mortero, Op. Cit., p. 131.
18. CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO- La resistencia. Disponible en: <http://elconcreto.blogspot.com/>
19. ARIZA DÍAZ, Diana M. y ATUESTA ESPARZA, Javier A. Evaluación del relación agua/cemento, tamaño de agregado y tiempo de curado sobre la velocidad de pulso ultrasónico en concreto sin refuerzo. Trabajo de Grado [Ingeniería metalúrgicos] UIS. Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería metalúrgica y ciencias de Materiales.
20. PAREDES SALAZAR, Marcela. RUIZ HURTADO, Paola. Ortega Arcos, Anyi. Laboratorio: Desarrollo de Resistencia en morteros. Escuela de Ingeniería Industrial, Universidad del Valle. Cali .2010. disponible en: <http://www.buenastareas.com/ensayos/Laboratorio-De-Morteros/405918.html>
21. LA TECNOLOGÍA DE LOS MORTEROS, Disponible en: <http://www.umng.edu.co/www/resources/11art6.pdf>
22. M. MOLERO, I. SEGURA, M.A.G. Izquierdo, Sand/cement ratio evaluation on mortar using neural network and ultrasonic transmission inspection. Ultrasonic 49 (2009) 231-237.
23. GONZÁLEZ AYALA, Vicente. VARGAS, Enrique. Gregor Raúl. Plataforma experimental para inspección de morteros con ultrasonidos (ICONUS). Departamento de Ingeniería Electrónica. Escuela Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla. Sevilla- España.

Normas

24. ASTM C 150- 04 (2004). Standard specification for Portland Cement. United States. ASTM international - American Society for Testing and Materials.
25. ASTM C 94/C 94M – 09: Standard Specification for Ready-Mixed Concrete. ASTM - American Society for Testing and Materials.
26. NTC 77 (1995). Tamizado de materiales granulados (agregados o áridos), Análisis granulométrico. NTC - Norma Técnica Colombiana.
27. NTC 78 (1995). Agregados para hormigón. Determinación del porcentaje de material que pasa por el tamiz ICONTEC 74. Método de lavado. NTC - Norma Técnica Colombiana.
28. NTC 92 (1995). Determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregado compactado. NTC - Norma Técnica Colombiana.
29. NTC 176 (1995). Método de ensayo para determinar la densidad y absorción del agregado grueso. NTC - Norma Técnica Colombiana.
30. NTC 237 (1995). Método para determinar la densidad y absorción de agregados finos. NTC - Norma Técnica Colombiana.
31. ASTM C597: Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. ASTM - American Society of testing for materials.
32. ICONTEC 1377 (1995). Hormigón. Elaboración y curado de muestras en el laboratorio. ICONTEC – Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación.
33. ASTM C 33 – 03. (2003). Standard Specification for Concrete Aggregates. United States. ASTM International
34. ASTM C39/C39M-04 (2004). United States. Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. ASTM international - American Society for Testing and Materials.
35. ASTM C 270-02 (2002). Standard Specification for Mortar for Unit Masonry. ASTM international -American Society for Testing and Materials.

Anexo A. Metodología del Diseño de mezcla

- a. **Selección de la relación agua/cemento.** La relación agua/cemento, también conocida como razón agua/cemento, a/c , es uno de los parámetros más importantes de la tecnología del concreto, pues influye de manera significativa en su durabilidad y resistencia final, también determina la estructura interna de la pasta de cemento endurecida.

$$R = a/c$$

Dónde: R: Relación agua / cemento.

a: Masa del agua del concreto fresco.

c: Masa del cemento del concreto.

- b. **Selección de la consistencia.** Al seleccionar la consistencia adecuada deberá usarse el asentamiento más reducido posible compatible con la adecuada colocación del concreto en obra, y para ello el método entrega una tabla para distintos tipos de construcciones y su asentamiento óptimo. En la tabla 2 se presentan los asentamientos recomendados según el tipo de estructura y condiciones de colocación.

Tabla 1. Asentamientos recomendados para concretos de diferentes grados de manejabilidad.

Consistencia	Asentamiento (cm)	Tipo de estructura y condiciones de colocación
Muy seca	0-2	Vigas prefabricadas de alta resistencia con vibraciones de formaleta.
Seca	2-3.5	Pavimentos con maquina terminadora vibratoria.
Semi-seca	3.5-5	Pavimentos con vibraciones normales. Fundiciones de concreto simple. Construcciones en masas voluminosas. Losas medianamente reforzadas con vibración.
Media	5-10	Pavimentos compactados a mano. Losas medianamente reforzadas, columnas, vigas y muros reforzados con vibración.
Húmeda	10-15	Revestimiento de túneles. Secciones con demasiado refuerzo. Trabajar donde la colocación sea difícil. Nuevamente no es apropiado para compactarlo con demasiado.

- c. **Cantidad de agua necesaria para la mezcla.** La cantidad de agua que se requiere en la mezcla es calculada a partir del asentamiento necesario y del tamaño máximo de agregado como es mostrado en la tabla 3

Tabla 2. Agua en kilogramos por metro cúbico de concreto para los tamaños máximos de agregados indicados.

Concreto sin aire incluido							
Asentamiento (cm)	10 mm.	13 mm.	20 mm.	25 mm.	40 mm.	50 mm.	75 mm.
3 a 5	225	200	185	180	160	155	145
5 a 10	225	215	200	195	175	170	180
15 a 18	240	230	210	205	185	180	170
Contenido de aire (%)	3	2.3	2	1.5	1	0.5	0.3

- d. **Cantidad de cemento para la mezcla.** La cantidad de cemento por unidad de volumen se obtiene a partir de la relación agua/cemento y del contenido de agua; valores previamente determinados, los cuales están relacionados mediante la siguiente ecuación:

$$C = \frac{a}{a/c}$$

- e. **Estimación del contenido de agregado grueso.** El contenido de agregado grueso se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$b = \left(\frac{b}{b_0} \right) * b_0$$

Dónde: b = volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.

b_0 = Volumen seco y compactado de agregado grueso por volumen unitario de concreto.

b/b_0 = Relación entre la masa unitaria seca y compactada y la densidad aparente seca del agregado grueso.

La tabla 4 muestra el valor de la relación entre la masa unitaria seca y compactada y la densidad aparente seca del agregado grueso (b/b_0) de acuerdo al tamaño máximo de agregado y el módulo de finura de la arena.

Tabla 3. Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto.

Tamaño máximo de agregado (mm)	Volumen de agregado grueso, seco y compactado con varilla, por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de arena.			
	2.40	2.60	2.80	3.0
10	0.50	0.48	0.46	0.44
13	0.59	0.57	0.55	0.53
20	0.66	0.64	0.62	0.60
25	0.71	0.69	0.67	0.65
40	0.75	0.73	0.71	0.69
50	0.78	0.76	0.74	0.72
75	0.81	0.79	0.77	0.75
150	0.88	0.85	0.83	0.81

- f. Determinación del contenido de agregado fino.** El contenido de agregado fino puede obtenerse por el método de los volúmenes absolutos o por el de los pesos.

El volumen de agregado fino determina por la diferencia entre el volumen total de la mezcla (1m³) y la suma de los volúmenes de cemento, agua y agregado grueso.

$$V_{af} = 1000 - (V_a + V_c + V_{ag})$$

Dónde: V_{af} = Volumen de agregado fino

V_a = Volumen de agua

V_c = Volumen de cemento

V_{ag} = Volumen de agregado grueso

- g. Cantidad de componentes para el número de muestras.** Se debe tener en cuenta el volumen total necesario para la realización de las muestras, por ello se multiplica la cantidad en gramos de cada componente por el número de probetas, esto con el fin de que al realizar la mezcla no falte, ni se malgaste material.

Anexo B. Cálculos del diseño de mezcla realizada para una relación de $a/c=0.5$

6. Tamaño máximo de agregado = $3/8$ "
7. Agua = 225 Kg (según tabla)
8. Relación agua/cemento $A/C=0.5$
9. Resistencia a la compresión = 250 Kg/cm^2
10. Contenido de cemento

$$C = \frac{\text{agua}}{A/C} = \frac{225}{0.5} = 450 \text{ Kg}$$

- Estimación del contenido agregado grueso

$$b = \frac{b}{b_0} b_0, \quad \frac{b}{b_0} = 0.44$$

$$b = 0.44 \frac{\text{m}^3 \text{ agregado grueso}}{1 \text{ m}^3 \text{ concreto}} * 1516.25 \frac{\text{Kg agregado grueso}}{\text{m}^3 \text{ agregado grueso}} \\ = 667.15 \text{ kg agregado grueso}$$

Determinación de los volúmenes de cada uno de los componentes de mezcla.

- Agua = 225 L
- Cemento = $450/3.03 = 132 \text{ L}$
- Agregado grueso = $667.15/2.55 = 261.63 \text{ L}$
- Agregado fino = $1000 - (225 + 261.63 + 132) = 381.37 \text{ L}$
- Peso agregado fino = $381.37(2.59) = 987.75$

Datos en peso para una probeta de $0.20*0.20*0.20$ de concreto

$$\text{Volumen} = 0.20^3 = 0.008 \text{ m}^3$$

- Agua = $225 \text{ Kg} * (0.008) = 1.8 \text{ Kg}$
- Cemento = $450 \text{ Kg} * (0.008) = 3.6 \text{ Kg}$
- Agregado grueso = $667.15 \text{ Kg} * (0.008) = 5.34 \text{ Kg}$
- Agregado fino = $987 \text{ Kg} * (0.008) = 7.9 \text{ Kg}$

Anexo C. Tabla de correlación entre las medidas de velocidad de pulso contra resistencia a la compresión para cada dosificación y espesor.

Relación	Espesor (cm)	VPU (m/s)	Resistencia (MPa)
1:1	1	3853,4	24,2
1:1	1	3801,6	22,9
1:1	1	3729,3	23,3
1:1	2	3649,4	23,2
1:1	2	3611,9	23,3
1:1	2	3664,1	23,5
1:2	1	3771,8	24,3
1:2	1	3698,5	24,1
1:2	1	3710,9	23,1
1:2	2	3564,8	22,8
1:2	2	3561,6	23
1:2	2	3590,8	23,5
1:3	1	3591,4	22,9
1:3	1	3641,2	23,2
1:3	1	3596,3	23
1:3	2	3306,6	22,6
1:3	2	3107,8	22,4
1:3	2	3035,3	22,2