

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO CIVIL**

**“DISEÑO DE CONCRETO ESTRUCTURAL LIGERO ADICIONANDO  
DESPERDICIOS DE LAS LADRILLERAS DEL DISTRITO DE  
SANTA - 2015”**

**Tesistas:** Bachiller: CARRILLO MORENO, Yulfo Orlando

Bachiller: LÓPEZ MANRIQUE, Carlos Alberto

**Asesor:** Ing. RIVASPLATA DÍAZ, Julio César

**NUEVO CHIMBOTE - PERÚ - 2015**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO CIVIL**

**“DISEÑO DE CONCRETO ESTRUCTURAL LIGERO ADICIONANDO  
DESPERDICIOS DE LAS LADRILLERAS DEL DISTRITO DE  
SANTA - 2015”**

**REVISADO POR:**

---

Ing. RIVASPLATA DÍAZ, Julio César

**ASESOR**

**NUEVO CHIMBOTE - PERÚ - 2015**

# UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SANTA

## FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



### TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**“DISEÑO DE CONCRETO ESTRUCTURAL LIGERO ADICIONANDO  
DESPERDICIOS DE LAS LADRILLERAS DEL DISTRITO DE  
SANTA - 2015”**

**SUSTENTADA Y APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO: EL DÍA 03 DE  
DICIEMBRE DEL 2015**

**Tesistas:**

Bach. Ing. CARRILLO MORENO, Yulfo Orlando

Bach. Ing. LÓPEZ MANRIQUE, Carlos Alberto

---

Ing. SAAVEDRA VEGA, Janet

**Presidenta**

---

Ing. ALVAREZ ASTO, Luz

**Integrante**

---

Ing. RIVASPLATA DÍAZ, Julio

**Integrante**

*A nuestros Padres y familiares por todo el cariño*

*y apoyo incondicional que siempre*

*nos han demostrado.*

*A todas aquellas personas que colaboraron,*

*mediante sus valiosas opiniones, en el*

*desarrollo de este proyecto.*

### **AGRADECIMIENTO**

Al Ing. Julio Rivasplata por su tiempo, sus enseñanzas, su paciencia, su estímulo y el buen ánimo con el cual siempre nos orientó. También a nuestras familias por comprender y apoyarnos en todo el tiempo invertido en la elaboración de este trabajo. Asimismo, no podemos dejar de reconocer los buenos deseos de nuestros amigos, tanto a nuestras amistades inmersas en esta profesión como fuera de ella.

**ÍNDICE**

INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES .....	5
1.1. GENERALIDADES.....	5
1.1.1. TITULO .....	5
1.1.2. PERSONAL INVESTIGADOR.....	5
1.1.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN .....	5
1.1.4. UBICACIÓN DONDE SE REALIZARA EL PROYECTO .....	5
1.1.5. INSTITUCION DONDE SE REALIZARA EL PROYECTO.....	5
1.2. PLAN DE PROYECTO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN .....	6
1.2.1. ANTECEDENTES .....	6
1.2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
1.2.3. JUSTIFICACION DEL PROBLEMA .....	8
1.2.4. IMPORTANCIA .....	9
1.2.5. OBJETIVOS .....	10
1.2.5.1. Objetivos Generales.....	10
1.2.5.2. Objetivos Específicos.....	10
1.2.6. HIPOTESIS .....	10
1.2.7. VARIABLES .....	10
1.2.7.1. Variables dependientes.....	10
1.2.7.2. Variables independientes.....	11
1.2.8. DISEÑO EXPERIMENTAL .....	11
1.2.9. ESTRATEGIA DE TRABAJO .....	11
1.2.9.1. Método de estudio.....	11
1.2.9.2. Población muestral.....	12
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO .....	14
2.1. EL CONCRETO.....	14
2.1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS .....	14
2.1.2. DEFINICION.....	15
2.1.3. IMPORTANCIA .....	16

---

2.1.4.	INGREDIENTES DEL CONCRETO .....	16
2.1.5.	CEMENTANTES EN GENERAL.....	17
2.1.5.1.1.	Cemento Pórtland.....	19
2.1.6.	REQUISITOS DE LAS MEZCLAS .....	22
2.1.7.	COMPOSICIÓN DEL CONCRETO .....	23
2.1.7.1.	La Pasta.....	23
2.1.7.1.1.	Funciones de la pasta.....	24
2.1.7.1.2.	Propiedades de la pasta.....	24
2.1.7.1.3.	Influencia de la pasta de concreto .....	24
2.1.7.2.	El Gel.....	25
2.1.8.	HIDRATACION Y CURADO DEL CONCRETO .....	25
2.1.8.1.	Hidratación .....	25
2.1.8.2.	Curado.....	26
2.1.9.	POROSIDAD DEL CONCRETO.....	26
2.1.9.1.	Poros por aire atrapado.....	26
2.1.9.2.	Poros por aire incorporado .....	27
2.1.9.3.	Poros capilares .....	27
2.1.9.4.	Poros Gel.....	27
2.1.10.	CLASIFICACION DEL CONCRETO .....	28
2.1.10.1.	Por el peso específico: .....	28
2.1.10.2.	Según su aplicación:.....	28
2.1.10.3.	Por su composición:.....	28
2.1.10.4.	Por su resistencia:.....	29
2.2.	CONCRETOS LIGEROS: .....	29
2.2.1.	DEFINICIÓN.....	29
2.2.2.	CLASIFICACION DE LOS CONCRETOS LIGEROS.....	30
2.2.3.	PROPIEDADES FÍSICAS Y MÉCANICAS DE LOS Concretos Ligeros .....	32
2.2.4.	PESO VOLUMÉTRICO DE LOS CONCRETOS LIGEROS .....	34
2.2.5.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN .....	35
2.2.6.	MÓDULO DE ELASTICIDAD .....	36

---

2.2.7.	CONTENIDO AGUA-CEMENTO .....	38
2.2.8.	CONTRACCION Y FLUJO PLÁSTICO.....	39
2.2.9.	DURABILIDAD.....	40
2.2.10.	ABSORCION DE AGUA Y POROSIDAD.....	41
2.2.11.	PROPIEDADES ACUSTICAS.....	42
2.2.12.	AISLAMIENTO TÉRMICO .....	43
2.2.13.	PROTECCION CONTRA EL FUEGO.....	45
2.3.	CONCRETO DE AGREGADOS LIGEROS: .....	45
2.3.1.	GENERALIDADES.....	45
2.3.1.1.	Concreto sin finos:.....	46
2.3.1.2.	Concretos Ligeros con Granulometría Continúa: .....	47
2.3.2.	AGREGADOS PARA CONCRETOS LIGEROS. ....	48
2.3.2.1.	Clinker: .....	49
2.3.2.2.	Escoria Espumosa: .....	49
2.3.2.3.	Concreciones de Cenizas de Combustible Pulverizado: .....	50
2.3.2.4.	Vermiculita Exfoliada: .....	51
2.3.2.5.	Perlita Expandida: .....	52
2.3.2.6.	Pómez: .....	52
2.3.2.7.	Arcillas Expandidas:.....	53
2.4.	DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO .....	55
2.4.1.	GENERALIDADES:.....	55
2.4.2.	DEFINICIÓN:.....	56
2.4.3.	CONSIDERACIONES Y/O CRITERIOS PARA EL Diseño de las Mezclas.....	57
2.4.4.	PARÁMETROS BÁSICOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO... ..	58
2.4.4.1.	La Trabajabilidad .....	58
2.4.4.2.	La resistencia .....	59
2.4.4.3.	Durabilidad .....	59
2.4.5.	MATERIALES QUE INTERVIENEN EN UNA MEZCLA DE CONCRETO.....	60
2.4.5.1.	El Cemento.....	60
2.4.5.2.	El Agua.....	61

---



2.4.5.3.	Los Agregados.....	61
2.4.5.4.	El Aire.....	62
2.4.5.5.	Los Aditivos .....	63
2.4.6.	PASOS BÁSICOS PARA DISEÑAR UNA MEZCLA DE CONCRETO .....	63
CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS.....		69
3.1.	MATERIALES .....	69
3.1.1.	CEMENTO PÓRTLAND TIPO I:.....	69
3.1.1.1.	Propiedades del Cemento tipo I.....	69
3.1.1.2.	Aplicaciones del Cemento tipo I.....	69
3.1.2.	AGUA: .....	69
3.1.3.	AGREGADO FINO:.....	72
3.1.4.	AGREGADO GRUESO:.....	73
3.1.5.	LADRILLO ROCOCOCHO: .....	76
3.1.5.1.	Proceso de obtención de ladrillos Rococho:.....	76
3.2.	MÉTODOS .....	80
3.2.1.	MÉTODO DE GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS .....	80
3.2.2.	MÉTODO DE PROPORCIÓN DE CEMENTO. ....	81
3.2.3.	MÉTODO DE CANTIDAD DE AGUA A Y CONSISTENCIA. ....	81
3.2.4.	MÉTODOS DE MEZCLADO: .....	82
3.2.5.	MÉTODO DE COMPACTACIÓN:.....	82
3.2.6.	MÉTODO DE CURADO:.....	83
3.2.7.	MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS ACI 211 .....	83
3.2.8.	MÉTODO DE PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO.....	87
3.2.8.1.	Resistencia del Concreto .....	90
CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES .....		93
4.1.	RESULTADOS: .....	93
4.1.1.	PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.....	93
4.1.1.1.	Propiedades del Cemento: .....	93
4.1.1.2.	Propiedades del Agua: .....	93

---

4.1.1.3.	Propiedades del Arena Gruesa:.....	93
4.1.1.4.	Propiedades del Piedra:.....	94
4.1.1.5.	Propiedades del Ladrillo Rococho:.....	94
4.1.2.	ESPECIFICACIONES DEL DISEÑO DE MEZCLAS:.....	95
4.1.3.	TRABAJABILIDAD Y CANTIDAD TESTIGOS ELABORADOS:.....	96
4.1.4.	PESOS UNITARIOS EN ESTADO FRESCO:.....	96
4.1.5.	PESOS UNITARIOS EN ESTADO SECO:.....	99
4.1.6.	PESOS ESPECÍFICOS:.....	100
4.1.7.	PORCENTAJES DE POROSIDAD:.....	101
4.1.8.	PORCENTAJES ABSORCIÓN:.....	102
4.1.9.	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO:.....	103
4.1.10.	CALCULO DEL FACTOR DE CORRECCIÓN PARA OBTENER UN CONCRETO DE F´C = 210 KG/CM2 ÓPTIMO:.....	108
4.1.11.	CALCULO DE LA NUEVA DOSIFICACIÓN UTILIZANDO EL FACTOR DE CORRECCIÓN ENCONTRADO:.....	109
4.1.12.	RESISTENCIA DE COMPRESIÓN DEL CONCRETO CORREGIDO:.....	110
4.1.13.	MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO:.....	114
4.1.14.	CALCULO DEL PORCENTAJE DE CEMENTO AUMENTADO PARA EL CONCRETO CORREGIDO:.....	116
4.2.	DISCUSIONES:.....	117
4.2.1.	De las propiedades de los agregados:.....	117
4.2.2.	Del Diseño de Mezclas:.....	118
4.2.3.	De la Trabajabilidad y la cantidad de testigos elaborados:.....	119
4.2.4.	De los Pesos Unitarios en Estado Fresco y en Estado Seco:.....	119
4.2.5.	Del Peso Específico:.....	120
4.2.6.	De la Porosidad y Porcentaje de Absorción del concreto:.....	122
4.2.7.	De la Resistencia a la Compresión del concreto:.....	122
4.2.8.	Del Módulo de Elasticidad del Concreto:.....	125
4.2.9.	Del Porcentaje de cemento aumentado para el Concreto Corregido:.....	126
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		128
5.1.	CONCLUSIONES:.....	128

---

5.2. RECOMENDACIONES: .....	130
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	133
ANEXOS .....	136

### **ÍNDICE DE TABLAS**

<b>Tabla 2.1.</b> Rango de Variación de Pesos Volumétricos de los Agregados Ligeros.....	35
<b>Tabla 2.2.</b> Rango de Variación de la Resistencia a la Compresión de acuerdo al Peso Volumétrico.....	36
<b>Tabla 3.1.</b> Porcentaje que deben Pasar por cada Tamiz para Agregado Fino.....	72
<b>Tabla 3.2.</b> Porcentaje que deben pasar por cada Tamiz, según Tamaño Máximo Nominal para Agregado Grueso.....	74
<b>Tabla 3.3.</b> Resistencia Requerida según la Resistencia de Diseño.....	83
<b>Tabla 3.4.</b> Asentamientos recomendados para diversos tipos de estructuras.....	84
<b>Tabla 3.5.</b> Contenido de Aire Atrapado.....	84
<b>Tabla 3.6.</b> Volumen de agua por metro cubico.....	85
<b>Tabla 3.7.</b> Relación Agua/Cemento por Resistencia.....	85
<b>Tabla 3.8.</b> Relación Agua/Cemento por Durabilidad.....	86
<b>Tabla 3.9.</b> Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto.....	86
<b>Tabla 4.1.</b> Dosificación obtenida del diseño de mezclas.....	95
<b>Tabla 4.2.</b> Slump y testigos sacados por tanda.....	96
<b>Tabla 4.3.</b> Peso Unitario En Estado Fresco del Diseño Patrón.....	96

---

<b>Tabla 4.4.</b> Peso Unitario En Estado Fresco Reemplazando el 25% de Rococho.....	97
<b>Tabla 4.5.</b> Peso Unitario En Estado Fresco Reemplazando el 50% de Rococho.....	97
<b>Tabla 4.6.</b> Peso Unitario En Estado Fresco Reemplazando el 75% de Rococho.....	98
<b>Tabla 4.7.</b> Peso Unitario En Estado Fresco Reemplazando el 100% de Rococho.....	98
<b>Tabla 4.8.</b> Pesos Unitarios En Estado Seco del Concreto con Ladrillo Rococho.....	99
<b>Tabla 4.9.</b> Pesos Específicos del Concreto con Ladrillo Rococho.....	100
<b>Tabla 4.10.</b> Porcentaje de Porosidad de Concreto con Ladrillo Rococho.....	101
<b>Tabla 4.11.</b> Porcentaje de Absorción del Concreto con Ladrillo Rococho.....	102
<b>Tabla 4.12.</b> Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón.....	103
<b>Tabla 4.13.</b> Resistencia a la Compresión del Concreto con 25% de Ladrillo Rococho.....	104
<b>Tabla 4.14.</b> Resistencia a la Compresión del Concreto con 50% de Ladrillo Rococho.....	105
<b>Tabla 4.15.</b> Resistencia a la Compresión del Concreto con 75% de Ladrillo Rococho.....	106
<b>Tabla 4.16.</b> Resistencia a la Compresión del Concreto con 100% de Ladrillo Rococho.....	107

---

<b>Tabla 4.17.</b> Calculo del Cemento con Agua Efectiva manteniendo la Relación Agua/ Cemento = 0.56 por metro cubico.....	108
<b>Tabla 4.18.</b> Calculo de la Relación A/C Corregido.....	109
<b>Tabla 4.19.</b> Calculo del Factor de Corrección.....	109
<b>Tabla 4.20.</b> Dosificación obtenida del diseño de mezclas.....	109
<b>Tabla 4.21.</b> Resistencia a la Compresión del Concreto con 25% de Ladrillo Rococho con Factor de Corrección 182 Kg/cm <sup>2</sup> .....	110
<b>Tabla 4.22.</b> Resistencia a la Compresión del Concreto con 50% de Ladrillo Rococho con Factor de Corrección 182 Kg/cm <sup>2</sup> .....	111
<b>Tabla 4.23.</b> Resistencia a la Compresión del Concreto con 75% de Ladrillo Rococho con Factor de Corrección 182 Kg/cm <sup>2</sup> .....	112
<b>Tabla 4.24</b> Resistencia a la Compresión del Concreto con 100% de Ladrillo Rococho con Factor de Corrección 182 Kg/cm <sup>2</sup> .....	113
<b>Tabla 4.25.</b> Módulo de Elasticidad del Concreto con Rococho según ACI 318: $E = 15000\sqrt{F'c}$ .....	114
<b>Tabla 4.26.</b> Módulo de Elasticidad del Concreto con Rococho según el investigador Schaffler: $E = 6000\sqrt{F'c \times PU^2}$ .....	115
<b>Tabla 4.27.</b> Calculo del Porcentaje del aumento de Cemento por Metro Cubico de Concreto.....	116

## **ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>Figura 2.1.</b> Clasificación de agregados ligeros.....	31
<b>Figura 3.1.</b> Vista de Ladrillo Rococho.....	76
<b>Figura 3.2.</b> Preparación de la mezcla para la elaboración de las unidades de albañilería.....	77
<b>Figura 3.3.</b> Moldeado de unidades de Albañilería.....	78
<b>Figura 3.4.</b> Secado de unidades de Albañilería.....	79
<b>Figura 3.5.</b> Horno para cocción de unidades de Albañilería.....	79
<b>Figura 3.6.</b> Acumulación de Ladrillos Rocochos.....	80
<b>Figura 4.1.</b> Grafica de Pesos Unitarios En Estado Fresco del Concreto con Ladrillo Rococho.....	99
<b>Figura 4.2.</b> Grafica de Pesos Unitarios En Estado Seco del Concreto con Ladrillo Rococho.....	100
<b>Figura 4.3.</b> Grafica de Pesos Específicos del Concreto con Ladrillo Rococho...	101
<b>Figura 4.4.</b> Grafica de Porcentajes de Porosidad del Concreto con Ladrillo Rococho.....	102
<b>Figura 4.5.</b> Grafica de Porcentajes de Absorción del Concreto con Ladrillo Rococho.....	103
<b>Figura 4.6.</b> Grafica de Evolución de la Resistencia del Concreto Patrón.....	104
<b>Figura 4.7.</b> Grafica de Evolución de la Resistencia del Concreto con 25% de Rococho.....	105

<b>Figura 4.8.</b> Grafica de Evolución de la Resistencia del Concreto con 50% de Rococho.....	106
<b>Figura 4.9.</b> Grafica de Evolución de la Resistencia del Concreto con 50% de Rococho.....	107
<b>Figura 4.10.</b> Grafica de Evolución de la Resistencia del Concreto con 100% de Rococho.....	108
<b>Figura 4.11.</b> Grafica de Evolución de la Resistencia del Concreto con 25% de Rococho con Factor de Corrección 182 Kg/cm <sup>2</sup> .....	110
<b>Figura 4.12.</b> Grafica de Evolución de la Resistencia del Concreto con 50% de Rococho con Factor de Corrección 182 Kg/cm <sup>2</sup> .....	111
<b>Figura 4.13.</b> Grafica de Evolución de la Resistencia del Concreto con 75% de Rococho con Factor de Corrección 182 Kg/cm <sup>2</sup> .....	112
<b>Figura 4.14.</b> Grafica de Evolución de la Resistencia del Concreto con 100% de Rococho con Factor de Corrección 182 Kg/cm <sup>2</sup> .....	113
<b>Figura 4.15.</b> Grafica de Módulo de Elasticidad según ACI 318.....	114
<b>Figura 4.16.</b> Grafica de Módulo de Elasticidad según Schaffler.....	115
<b>Figura 4.17.</b> Comparación entre el Peso Unitario del concreto en Estado Fresco y en Estado Compactado.....	120
<b>Figura 4.18.</b> Comparación entre el Peso Específico y el Peso Unitario del concreto en Estado Seco.....	121
<b>Figura 4.19.</b> Comparación de la Evolución de la Resistencia a la Compresión Según el Porcentaje sustituido de Ladrillo Rococho.....	123

---

<b>Figura 4.20.</b> Comparación de la Evolución de la Resistencia a la Compresión Según el Porcentaje sustituido de Ladrillo Rococho.....	125
<b>Figura 4.21.</b> Comparación Módulo de Elasticidad según ACI 318 y según Schaffler.....	126



## **RESUMEN**

La presente tesis consiste es elaborar un diseño de concreto estructural ligero adicionando como reemplazo los desperdicios de las ladrilleras de arcilla ubicadas en el distrito de Santa, unidades de ladrillos conocidos con el nombre de “Ladrillos Rococho”. Este proyecto se desarrollara partiendo de un diseño patrón hecho convencionalmente con  $F'c = 210 \text{ kg/cm}$ , del cual se reemplazara porcentualmente el agregado grueso (Piedra Chancada) por “Ladrillo Rococho” hasta encontrar el concreto Ligero óptimo. Esta investigación nos ayudara a reducir la gran contaminación ambiental que estos desperdicios producen y a la vez proponer una nueva alternativa de diseño de concreto estructural ligero para reducir las cargas muertas de los elementos estructurales de las edificaciones.

### **ABSTRACT**

This thesis consists in developing a lightweight structural concrete design adding waste of clay brick in the district of Santa , brick units known by the name of "Bricks Rococho " . This project was developed based on a pattern design made conventionally with  $F'c = 210 \text{ kg / cm}^2$  , which is a percentage replace the coarse aggregate ( Crushed Stone ) for " Brick Rococho " to find the optimal Lightweight concrete . This research will help us to reduce the great environmental pollution these waste produced while proposing a new alternative design of structural lightweight concrete to reduce the dead load of the structural elements of buildings

## **INTRODUCCIÓN**

Siendo la ingeniería civil una disciplina que tiene como finalidad aplicar conocimientos tecnológicos al desarrollo, utilización y perfeccionamiento de técnicas constructivas en beneficio de la comunidad, se hace necesario que el ingeniero se mantenga al tanto de los últimos avances en dichas técnicas, a fin de lograr aplicar nuevas ideas, nuevos procesos, nuevos materiales al propio desarrollo profesional.

La rama de la construcción, como uno de los pilares de la ingeniería Civil, se apoya en el campo de los materiales de construcción. Estos elementos se encargan de dar forma mediante la aplicación de una tecnología, a todo tipo de construcciones ya sea rudimentaria o perfeccionada, en cuya realización interviene en mayor o menor grado el ingeniero Civil. El concreto a su vez es el material más comúnmente utilizado en construcción, en fechas recientes han aparecido una gran gama de nuevos concretos, especialmente concretos de pesos ligeros que pretenden desplazar a los de uso común como por ejemplo concretos celulares, concretos con espuma de sílice, concretos con arcillas expandidas entre otros.

Adentrándonos más en el campo específico de concretos de baja densidad con arcillas expandidas este proyecto tiene como finalidad principal realizar un diseño de concreto ligero que cumpla las características de concreto estructural, esto se realizara adicionando como reemplazo los desperdicios de las ladrilleras

---

del distrito de Santa, ya que en dicho distrito se concentran la mayor cantidad de ladrilleras de arcillas de toda la provincia; las cuales durante el proceso de cocción de las unidades de albañilería arrojan desperdicios que no son aceptados en obra por su forma deforme que tienen, por ende son botados o acumulados generando contaminación y mal aspecto visual, por esta razón se decidió utilizar estos desperdicios en concreto ligero para así reducir la contaminación que estos producen y a la vez crear una nueva alternativa de concreto estructural ligero con arcillas expandidas.

Esta investigación consta de diferentes capítulos para el desarrollo de la misma. El Capítulo I presenta los aspectos generales del proyecto donde se describen los lineamientos a seguir para su desarrollo, ahí podemos encontrar las razones por el cual se pretende desarrollar el proyecto, la justificación y todos los objetivos que queremos lograr , además de la importancia del proyecto y del lugar donde se desarrollara la misma. El Capítulo II está dedicado a la parte teórica, en donde se recolecto la información necesaria que se debe conocer para lograr comprender el desarrollo del proyecto.

El Capítulo III está comprendido por los Materiales y Métodos usados en el desarrollo del proyecto, ahí se puede encontrar la descripción de los materiales usados con sus respectivas especificaciones así como también los métodos con los cuales se realizó el proceso de elaboración y evaluación de los especímenes de concreto ligero. En el Capítulo IV se presentan los resultados obtenidos al

desarrollar el proyecto además de las discusiones respectivas, se realiza un análisis de los resultados para luego hacer los comentarios respectivos en base a dichos resultados.

Las conclusiones y las recomendaciones que se obtuvieron en el desarrollo de este proyecto se muestran en el Capítulo V, los cuales se obtuvieron después de haber realizado el análisis respectivo de los ensayos en el caso de las conclusiones y los que se obtuvieron durante el proceso de preparación de los agregados usados en el proyecto en el caso de las recomendaciones. Finalmente se encuentran las Referencia Bibliográficas usadas en el proyecto, que comprende Normas técnicas, Libros y revistas además de los Anexos respectivos que lo conforman los datos obtenidos en laboratorio de cada uno de los ensayos y el Panel Fotográfico que muestran algunos de los procesos seguido en el desarrollo del proyecto.

# **CAPÍTULO I**

---

## **ASPECTOS GENERALES**

## **CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES**

### **1.1. GENERALIDADES**

#### **1.1.1. TITULO**

“DISEÑO DE CONCRETO ESTRUCTURAL LIGERO ADICIONANDO  
DESPERDICIOS DE LAS LADRILLERAS DEL DISTRITO DEL SANTA - 2015”

#### **1.1.2. PERSONAL INVESTIGADOR**

TESISTAS:

- ✓ CARRILLO MORENO, Yulfo Orlando
- ✓ LÓPEZ MANRIQUE, Carlos Alberto

ASESOR:

- ✓ Ing. RIVASPLATA DÍAZ, Julio César

#### **1.1.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN**

Aplicativo-Experimental

#### **1.1.4. UBICACIÓN DONDE SE REALIZARA EL PROYECTO**

DISTRITO : Santa

PROVINCIA : Santa

DEPARTAMENTO : Ancash

#### **1.1.5. INSTITUCION DONDE SE REALIZARA EL PROYECTO**

INSTITUCION : Universidad Nacional del Santa

FACULTAD : Ingeniería

ESCUELA : E. A. P. Ingeniería Civil

DIRECCIÓN : Urb. Bellamar, Av. Universitaria s/n

## **1.2. PLAN DE PROYECTO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1. ANTECEDENTES**

Los primeros concretos livianos utilizados por el hombre para construir edificaciones surgieron en el Imperio Romano en el año 25 a.C. En esa época eran el resultado de la mezcla de cementos puzolánicos con materiales de baja densidad como la piedra pómez producidas en los volcanes existentes. Posteriormente fue hacia el año 1917 que Stephen J. Hayde, un fabricante de ladrillos de 54 años en Kansas City, E.E.U.U. desarrolló, en América, un proceso con el cual, mediante un horno tubular giratorio, logró expandir pizarras y arcillas para así obtener un agregado liviano de baja densidad. Con este producto se consiguió por primera vez concretos livianos, con una densidad aproximadamente de 40% menos y con una resistencia similar y hasta incluso un poco mayor a la original. Así a través del tiempo se han ido desarrollando y descubriendo diferentes agregados ligeros para la elaboración de concreto ligero como por ejemplo la escoria de los altos hornos que se introdujo en Inglaterra a mediados de la década de los 30 o los incorporadores de aire y espuma silíceas que son usados actualmente por las grandes potencias.

El uso del concreto ligero en Sudamérica se introdujo en la década de los 90, desde entonces ha alcanzado un buen nivel de aceptación y de producción. En Brasil, Colombia y Venezuela el concreto ligero ha alcanzado un auge importante los últimos años, principalmente en monumentos, estatuas de gran tamaño y viviendas sociales de un nivel. Al igual que en otros países de Sudamérica; en el



Perú se ha utilizado desde ya hace algunos años, pero concretos ligeros hecho a base de incorporadores de aire o incorporadores de espuma silícea más no concreto ligero hecho a base de arcillas expandidas.

### **1.2.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El concreto en la actualidad es el material más usado en la industria de la construcción, sin embargo la alta densidad que poseen los concretos convencionales que fluctúan entre 2300 a 2400 kg/m<sup>3</sup> son un gran inconveniente al momento de realizar diseños arquitectónicos y en la colocación del concreto en obra. Esta alta densidad de concreto hace que las dimensiones de los elementos estructurales tales como vigas, columnas y cimentaciones sean demasiados grandes. Para corregir esta situación, es necesario que las estructuras se construyan con concretos ligeros de bajas densidades.

En la actualidad existen distintas maneras de obtener concreto ligero, una de ellas es usando agregados de pesos ligeros como la piedra pómez, escoria de altos hornos o las arcillas expandidas a altas temperaturas, estas últimas a la vez de su baja densidad y peso volumétrico tienen un alto poder aislante, térmico y acústico. Por otro lado el distrito de Santa es el lugar donde se han concentrado la mayor cantidad de fábricas de ladrillos de arcilla de toda la Provincia, las cuales producen grandes cantidades de desperdicios que contaminan el medio ambiente y dan un mal aspecto al espacio natural, ya que son acumulados y botados en los espacios abiertos de la localidad. Estos desperdicios conocidos popularmente como “ladrillos Rococho” son unidades de arcilla expandidas a altas

temperaturas, los cuales por su irregular forma y tamaño no son aceptados dentro de la industria de la construcción.

Actualmente estas unidades de albañilería no cuentan con una alternativa adecuada para su uso dentro de la localidad de Santa creando una gran contaminación ambiental y visual , ante esta situación y a los inconvenientes de concretos con grandes densidad y pesos volumétricos nos vemos en la necesidad de hacer un estudio a los desperdicios de dichas ladrilleras y preguntarnos:

**¿Serán los desperdicios de las ladrilleras del distrito de santa el material adecuado para la elaboración de concreto estructural ligero?**

### **1.2.3. JUSTIFICACION DEL PROBLEMA**

El concreto ligero como los concretos ordinarios, es un material compuesto por agregados inorgánicos, mortero y agua; a diferencia de los concretos usuales, este material tiene una densidad menores a 2000 Kg/cm<sup>2</sup> y de acuerdo a su diseño y composición de agregados se puede lograr concreto de alta resistencia. Existen diferentes maneras de obtener dicho concreto ligero, una de ellas es hacerlo en base de agregados ligeros que tengan un bajo peso específico y que sean capaces que resistir grandes esfuerzos, entre ellos están las arcillas expandidas ya que por ser calentados a altas temperaturas llegan a ser muy resistentes y a la vez tener un peso reducido.

En nuestro medio, el distrito de Santa es el lugar donde se encuentran localizados gran cantidad de ladrilleras artesanales de arcilla, las cuales producen desperdicios durante en el proceso de cocción y selección. Estas unidades de

albañilería conocidos popularmente como “Ladrillo Rococho” son arcillas expandidas a altas temperaturas las cuales por su irregular forma no son comercializados, convirtiéndose en desperdicios los cuales son acumulados y en el peor de los casos botados como desmonte en espacios naturales dentro de la localidad de Santa, las cuales provocan una gran contaminación ambiental y a la vez dan mal aspecto a los espacios naturales dentro de la zona , en este contexto esta investigación tiene como finalidad principal analizar y probar si estos desperdicios de las ladrilleras de arcilla del distrito de Santa son adecuados para la fabricación de concreto estructural ligero, y así darle una buena alternativa de uso a estos desperdicios para reducir la contaminación ambiental que estos producen y a la vez innovar una nueva alternativa de diseño de concreto estructural ligero usado ya en otros países.

#### **1.2.4. IMPORTANCIA**

Con este proyecto de investigación se pretende crear un nuevo diseño de concreto estructural ligero sustituyendo los desperdicios de las ladrilleras del distrito de Santa por el agregado grueso, unidades de albañilería conocidos popularmente como “Ladrillos Rocochos”, así lograr reducir la gran contaminación ambiental que estos desperdicios producen y a la vez innovar una nueva alternativa de uso de estas unidades, para que estos desperdicios ya no sean acumulados o botados ya que contaminan y dan mal aspecto al espacio natural de la localidad de Santa. Además de eso innovar el uso de concreto estructural ligero hecho a base de arcillas expandidas.

## **1.2.5. OBJETIVOS**

### **1.2.5.1. Objetivos Generales**

- ✓ Diseñar concreto estructural ligero adicionando los desperdicios de las ladrilleras del distrito de Santa (Ladrillo Rococho).

### **1.2.5.2. Objetivos Específicos**

- ✓ Determinar la dosificación de concreto estructural convencional patrón.
- ✓ Determinar las propiedades físicas y estructurales de los desperdicios de las ladrilleras de arcilla del distrito de Santa (Ladrillo Rococho).
- ✓ Determinar la dosificación adecuada para la elaboración de concreto estructural ligero adicionando los desperdicios de las ladrilleras del distrito del Santa (Ladrillo Rococho).
- ✓ Determinar las propiedades físicas y estructurales del concreto estructural ligero adicionando los desperdicios de las ladrilleras del distrito del Santa (Ladrillo Rococho).

## **1.2.6. HIPOTESIS**

Utilizando como sustitución al concreto estructural convencional los desperdicios de las ladrilleras de arcilla del distrito de Santa (Ladrillo Rococho) se obtendrá concreto estructural ligero.

## **1.2.7. VARIABLES**

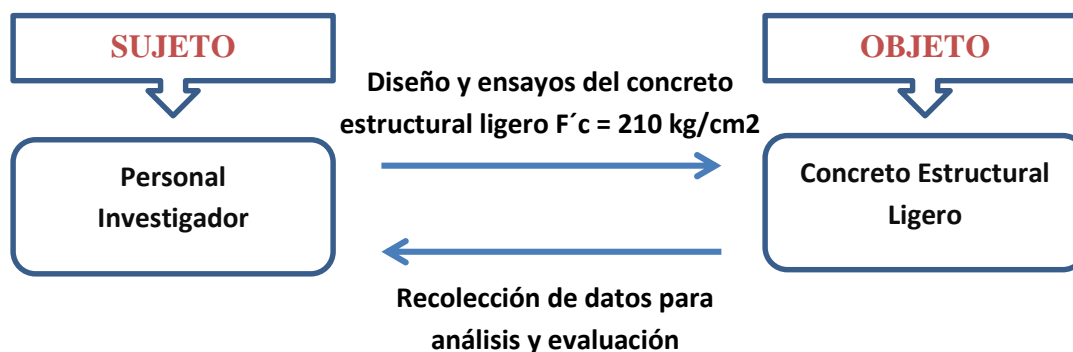
### **1.2.7.1. Variables dependientes**

Resistencia del concreto estructural ligero óptimo.

### 1.2.7.2. Variables independientes

Porcentaje de desperdicios de las ladrilleras de arcilla del distrito del Santa (Ladrillo Rococho) reemplazadas al concreto estructural convencional.

### 1.2.8. DISEÑO EXPERIMENTAL



### 1.2.9. ESTRATEGIA DE TRABAJO

#### 1.2.9.1. Método de estudio

Para la elaboración del presente trabajo se realizará la siguiente secuencia:

- ✓ Se tomara referencia bibliográfica y se buscara información acerca de concreto estructural ligero.
- ✓ Se realizara un estudio de las propiedades físicas y estructurales de los desperdicios de las ladrilleras del distrito de Santa conocido popularmente como “Ladrillo Rococho”.
- ✓ Se realizara los estudios del agregado grueso (Piedra Chancada) y agregado fino (Arena Gruesa).

- ✓ Se elaborara un diseño de mezclas patrón de concreto convencional con resistencia  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ .
- ✓ Partiendo del diseño patrón se ira reemplazando porcentualmente el agregado grueso (Piedra Chancada) por los desperdicios de las ladrilleras de arcilla del distrito de Santa (Ladrillo Rococho) hasta obtener un concreto estructural ligero óptimo con resistencia  $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
- ✓ Se recogerán los datos para ser analizados y evaluados para así finalmente realizar el informe final.

#### **1.2.9.2. Población y muestra**

Población : Ladrilleras del distrito de Santa.

Muestra : Ladrillera San Francisco

## **CAPÍTULO II**

---

### **MARCO TEÓRICO**

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. EL CONCRETO**

#### **2.1.1. ANTECEDENTES HISTÓRICOS**

Se conoce que los egipcios usaron el yeso calcinado para dar al ladrillo o a las estructuras de piedra una capa superficial lisa. Al mismo tiempo en Grecia antigua, una aplicación similar de piedra caliza calcinada fue utilizada por los griegos antiguos.

Los romanos antiguos utilizaron con frecuencia el ladrillo partido como agregado en una mezcla de cal con polvo del ladrillo o cenizas volcánicas. Construyeron una variedad amplia de estructuras, caminos, templos, palacios y acueductos.

También utilizaron losas de concreto en muchas de sus estructuras públicas grandes, como el Coliseo y el Partenón. El concreto también fue utilizado en la pared de la defensa que abarca Roma, en caminos y en los acueductos que todavía existen hoy. Para aligerar el peso de estructuras enormes, encajonaron a menudo tarros de barro vacíos en las paredes. También utilizaron barras de metal como refuerzos en el concreto cuando fueron construidos techos estrechos sobre callejones.

En 1774, John Smeaton, uno de los grandes ingenieros del siglo XVIII, observó que al combinar la cal viva con otros materiales creaba un material extremadamente duro que se podría utilizar para unir juntos otros materiales. Él utilizó este conocimiento para construir la primera estructura de concreto,



construyó el faro de Eddystone en Inglaterra. Los faros anteriores en este punto habían sido destruidos por las tormentas y el sitio estaba expuesto a la extrema fuerza del mar.

En 1825 el primer concreto moderno se produjo en América y fue utilizado en la construcción del canal de Erie. Se utilizó el cemento hecho de la "cal hidráulica" encontrada en los condados de Madison en Nueva York. Primero llamado "La zanja de Clinton", el canal de Erie se puso en servicio en 1825. El éxito comercial fue atribuido al hecho de que el costo de mantenimiento de los pasos de concreto era muy bajo. El volumen del concreto usado en su construcción hizo del proyecto de construcción de concreto más grande de sus días.

### **2.1.2. DEFINICION**

El concreto es un material de uso común, o convencional y se produce mediante la mezcla de tres componentes esenciales, cemento, agua y agregados, a los cuales eventualmente se incorpora un cuarto componente que genéricamente se designa como aditivo.

Al mezclar estos componentes y producir lo que se conoce como concreto, se introduce de manera simultánea un quinto participante representado por el aire. La mezcla de los componentes del concreto convencional produce una masa plástica que puede ser moldeada y compactada con relativa facilidad; pero gradualmente pierde esta característica hasta que al cabo de algunas horas se torna rígida y comienza a adquirir el aspecto, comportamiento y propiedades de un

cuerpo sólido, para convertirse finalmente en el material mecánicamente resistente que es el concreto endurecido.

El concreto convencional en estado fresco, es un conjunto de fragmentos de roca, globalmente definidos como agregados, dispersos en una matriz viscosa constituida por una pasta de cemento de consistencia plástica. Esto significa que en una mezcla así hay muy poco o ningún contacto entre las partículas de los agregados, característica que tiende a permanecer en el concreto ya endurecido. Las características físicas y químicas de este material están definidas por las características de sus componentes.

### **2.1.3. IMPORTANCIA**

Actualmente el concreto es el material de construcción de mayor uso ,sin embargo si bien en su calidad final depende en forma importante del conocimiento profundo del material así como del profesional , las posibilidades de uso del concreto son cada día mayores pudiendo en la actualidad ser utilizados para una amplia variedad de propósitos.

### **2.1.4. INGREDIENTES DEL CONCRETO**

El concreto fresco es una mezcla semilíquida de cemento portland, arena (agregado fino), grava o piedra triturada (agregado grueso) y agua. Mediante un proceso llamado hidratación, las partículas del cemento reaccionan químicamente con el agua y el concreto se endurece y se convierte en un material durable. Cuando se mezcla, se hace el vaciado y se cura de manera apropiada, el concreto forma estructuras sólidas capaces de soportar las temperaturas extremas del

---

invierno y del verano sin requerir de mucho mantenimiento. El material que se utilice en la preparación del concreto afecta la facilidad con que pueda vaciarse y con la que se le pueda dar el acabado; también influye en el tiempo que tarde en endurecer, la resistencia que pueda adquirir, y lo bien que cumpla las funciones para las que fue preparado.

Además de los ingredientes de la mezcla de concreto en sí misma, será necesario un encofrado y refuerzo de acero para construir estructuras sólidas. El encofrado generalmente se construye de madera y puede hacerse con ella desde un sencillo cuadrado hasta formas más complejas, dependiendo de la naturaleza del proyecto. El acero reforzado puede ser de alta o baja resistencia, características que dependerán de las dimensiones y la resistencia que se requieran. El concreto se vacía en los encofrados con la forma deseada y después la superficie se alisa y se le da el acabado con diversas texturas.

#### **2.1.5. CEMENTANTES EN GENERAL**

Los cementantes que se utilizan para la fabricación del concreto son hidráulicos, es decir, fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua, aun estando inmersos en ella, característica que los distingue de los cementantes aéreos que solamente fraguan y endurecen en contacto con el aire.

Los principales cementantes hidráulicos son las cales y cementos hidráulicos, algunas escorias y ciertos materiales con propiedades puzolánicas. De acuerdo con el grado de poder cementante y los requerimientos específicos de las

aplicaciones, estos cementantes pueden utilizarse en forma individual o combinados entre sí.

Al referirse específicamente al concreto convencional, como se emplea en la construcción, resultan excluidas las cales hidráulicas, por lo cual solo consideramos los cementos, las escorias, los materiales puzolánicos y sus respectivas combinaciones.

Por otra parte, bajo la denominación genérica de cementos hidráulicos existen diversas clases de cemento con diferente composición y propiedades, en cuya elaboración intervienen normalmente las materias primas.

El cemento es uno de los ingredientes que se usan en él. Sus primeros usos datan de los inicios de 1800 y, desde entonces, el cemento portland se ha convertido en el cemento más usado en el mundo. Su inventor le dio ese nombre porque el concreto ya curado es del mismo color que una piedra caliza que se obtiene cerca de Portland, Inglaterra. Este tipo de cemento es una mezcla de caliza quemada, hierro, sílice y alúmina, y las fuentes más comunes donde se pueden obtener estos materiales son el barro, la piedra caliza, esquisto y mineral de hierro.

Esta mezcla se mete a un horno y se pulveriza hasta convertirlo en un fino polvo, se empaca y se pone a la venta. Existen cinco tipos de cemento portland, cada uno con características físicas y químicas diferentes.

Consecuentemente con ello, el comportamiento mecánico de este material y su durabilidad en servicio dependen de tres aspectos básicos:

- ✓ Las características, composición y propiedades de la pasta de cemento, o matriz cementante, endurecida.
- ✓ La calidad propia de los agregados, en el sentido más amplio.
- ✓ La afinidad de la matriz cementante con los agregados y su capacidad para trabajar en conjunto.

#### **2.1.5.1.1. Cemento Pórtland**

El Cemento Pórtland, uno de los componentes básicos para la elaboración del concreto, debe su nombre a Joseph Aspdin, un albañil inglés quién en 1824 obtuvo la patente para este producto.

Debido a su semejanza con una caliza natural que se explotaba en la Isla de Pórtland, Inglaterra, lo denominó Cemento Pórtland. Los cementos Pórtland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos de calcio hidráulicos, esto es, fraguan y endurecen al reaccionar químicamente con el agua. En el curso de esta reacción, denominada hidratación, el cemento se combina con el agua para formar una pasta, y cuando le son agregados arena y grava triturada, se forma lo que se conoce como el material más versátil utilizado para la construcción: el CONCRETO.

El Clinker, la materia prima para producir el cemento, se alimenta a los molinos de cemento junto con mineral de yeso, el cual actúa como regulador del fraguado. La molienda conjunta de éstos materiales produce el cemento. Las variables a controlar y los porcentajes y tipos de materiales añadidos, dependerán del tipo de cemento que se requiera producir.

La fabricación del cemento Portland se da en tres fases:

- ✓ Preparación de la mezcla de las materias primas
- ✓ Producción del Clinker
- ✓ Preparación del cemento.

Las materias primas para la producción del portland son minerales que contienen:

- ✓ Óxido de calcio (44 %),
- ✓ Óxido de silicio (14,5 %),
- ✓ Óxido de aluminio (3,5 %),
- ✓ Óxidos de hierro (3 %)
- ✓ Óxido de manganeso (1,6 %).

La extracción de estos minerales se hace en canteras, que preferiblemente deben estar próximas a la fábrica. Con frecuencia los minerales ya tienen la composición deseada; sin embargo en algunos casos es necesario agregar arcilla, o bien carbonato de calcio, o bien minerales de hierro, bauxita, u otros minerales residuales de fundiciones.

La mezcla es calentada en un horno especial, con forma de un gran cilindro (llamado *kiln*) dispuesto casi horizontalmente, con ligera inclinación, que rota lentamente. La temperatura aumenta a lo largo del cilindro hasta llegar a unos 1400 °C, que hace que los minerales se combinen pero sin que se fundan o vitrifiquen.

En la zona de menor temperatura, el carbonato de calcio (calcáreo o caliza) se disocia en óxido de calcio y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). En la zona de alta temperatura el óxido de calcio reacciona con los silicatos y forma silicatos de calcio (Ca<sub>2</sub>Si y Ca<sub>3</sub>Si). Se forma también una pequeña cantidad de aluminato tricálcico (Ca<sub>3</sub>Al) y ferroaluminato tetracálcico (Ca<sub>4</sub>AlFe). El material resultante es denominado clinker. El clinker puede ser conservado durante años antes de proceder a la producción del cemento, con la condición de que no entre en contacto con el agua.

La energía necesaria para producir el clinker es de unos 1700 julios por gramo, pero a causa de las pérdidas de calor el valor es considerablemente más elevado. Esto comporta una gran demanda de energía para la producción del cemento y, por tanto, la liberación de gran cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera, un gas de efecto invernadero.

Para mejorar las características del producto final al clinker se agrega aproximadamente el 2 % de yeso (aljez) y la mezcla es molida finamente. El polvo obtenido es el cemento preparado para su uso.

El cemento obtenido tiene una composición del tipo:

- ✓ 64 % óxido de calcio
- ✓ 21 % óxido de silicio
- ✓ 5,5 % óxido de aluminio
- ✓ 4,5 % óxidos de hierro
- ✓ 2,4 % óxido de magnesio

- ✓ 1,6 % sulfatos
- ✓ 1 % otros materiales, entre los cuales principalmente agua.

Cuando el cemento Portland se mezcla con agua se obtiene un producto de características plásticas con propiedades adherentes que solidifica en algunas horas y endurece progresivamente durante un período de varias semanas hasta adquirir su resistencia característica. El endurecimiento inicial es producido por la reacción del agua, yeso y aluminato tricálcico, formando una estructura cristalina de calcio-aluminio-hidrato, estringita y monosulfato.

El sucesivo endurecimiento y el desarrollo de fuerzas internas de tensión derivan de la reacción más lenta del agua con el silicato tricálcico formando una estructura amorfa llamada calcio-silicato-hidrato. En ambos casos, las estructuras que se forman envuelven y fijan los granos de los materiales presentes en la mezcla. Una última reacción produce el gel de sílice ( $\text{SiO}_2$ ). Las tres reacciones generan calor

#### **2.1.6. REQUISITOS DE LAS MEZCLAS**

Las mezclas de concreto deberán cumplir con los siguientes requisitos básicos:

- ✓ La mezcla recién preparada deberá tener la trabajabilidad, consistencia y cohesividad que permitan su adecuada colocación en los encofrados. Esta mezcla deberá estar libre de segregación y tener exudación mínima.
- ✓ La mezcla endurecida deberá tener las propiedades especificadas en función del uso que se va a dar a la estructura.



- ✓ El costo de la unidad cúbica de concreto endurecido deberá ser el mínimo compatible con la calidad deseada.

## **2.1.7. COMPOSICIÓN DEL CONCRETO**

### **2.1.7.1. La Pasta**

La pasta de cemento (cemento más agua), por su parte, llena los espacios libres entre partículas de áridos, y durante el proceso de fraguado genera cristales hidratados que unen químicamente las partículas de agregados. La formación de estos cristales es una reacción química exotérmica (genera calor) que siempre requiere de agua para que tenga lugar, siendo mucho más intensa la reacción (la creación de los cristales cohesivos) en los primeros días posteriores a la fabricación del hormigón, y luego va disminuyendo progresivamente en su intensidad con el tiempo. Normalmente, dentro del hormigón, una parte del cemento no alcanza a combinarse con el agua, por lo que permanece como cemento no hidratado.

Comprende a cuatro elementos fundamentales:

- ✓ **El Gel**, nombre con el que se conoce al producto resultante de la reacción química e hidratación del cemento. Para asegurar que las reacciones de fraguado continúen, a partir del endurecimiento inicial del hormigón (que normalmente se produce en las primeras doce horas después del mezclado), se requiere dotar continuamente de agua de curado al hormigón, la que sirve para reponer el agua de amasado evaporada por el calor emanado como producto de las reacciones químicas.

- ✓ **Los poros** incluidos en ella
- ✓ **El cemento hidratado** si lo hay
- ✓ **Los cristales de hidróxido de calcio**, o cal libre que pueden haberse formado durante la hidratación del cemento.

#### **2.1.7.1.1. Funciones de la pasta**

- ✓ Contribuir a dar las propiedades requeridas al producto endurecido
- ✓ Separa las partículas del agregado
- ✓ Llenar los vacíos entre las partículas de agregado y adherirse fuertemente a ellas.
- ✓ Proporcionar lubricación a la masa cuando esta aun no ha endurecido.

#### **2.1.7.1.2. Propiedades de la pasta**

Las propiedades de la pasta dependen:

- ✓ Las propiedades físicas y químicas del cemento
- ✓ Las proporciones relativas de cemento y agua en la mezcla
- ✓ El grado de hidratación del cemento dado por la efectividad de la combinación química entre este y el agua.

#### **2.1.7.1.3. Influencia de la pasta de concreto**

El comportamiento del concreto como material de construcción está directamente influenciado por las características de la pasta y las propiedades finales de las mismas; sin desconocer el papel del agregado en las características finales del concreto.

Para un cemento dado, las características y porosidad de la pasta dependen fundamentalmente de la relación agua cemento y del grado de hidratación del cemento, siendo mejores las propiedades del concreto y menor su porosidad cuanto más baja es la relación agua cemento de una mezcla trabajable y cuanto mayor es el grado de hidratación del cemento.

#### **2.1.7.2. El Gel**

Se define como gel a la parte sólida de la pasta la cual es el resultado de la reacción química del cemento con el agua durante el proceso de hidratación.

El gel es una aglomeración porosa de partículas sólidamente entrelazadas en su mayoría escamosas o fibrosas el conjunto de las cuales forma una red eslabonada que contiene material más o menos amorfos.

En su composición el gel comprende: La masa cohesiva de cemento hidratado en su estado de pasta más densa, el hidróxido de calcio cristalino y los poros gel. El gel desempeña el papel más importante en el comportamiento del concreto especialmente en su resistencia mecánica y elasticidad, donde intervienen dos clases de adherencia cohesivas; Atracción física y adherencia química.

#### **2.1.8. HIDRATACION Y CURADO DEL CONCRETO**

##### **2.1.8.1. Hidratación**

Se define como hidratación al proceso de reacción química del cemento en presencia del agua. La hidratación requiere de presencia de humedad condiciones de curado favorables y tiempo.

---

### **2.1.8.2. Curado**

Se define como tiempo de curado al periodo durante el cual el concreto es mantenido en condiciones de humedad y temperatura tales como para lograr la hidratación del cemento en la magnitud que se desea para alcanzar la resistencia seleccionada.

### **2.1.9. POROSIDAD DEL CONCRETO**

Existen vacíos denominados poros los cuales no contienen materia sólida aunque bajo determinadas circunstancias algunos podrían estar totalmente llenos de agua. Se pueden clasificar en cuatro categorías definidas por el origen, tamaño promedio o ubicación, los poros pueden ser:

- ✓ Poros por aire atrapado
- ✓ Poros por aire incorporado
- ✓ Poros capilares
- ✓ Poros Gel.

#### **2.1.9.1. Poros por aire atrapado**

Durante el proceso de mezclado una pequeña cantidad de aire del orden del 1% es aportada por los materiales y queda atrapada en la masa del concreto , no siendo eliminada por los procesos de mezclado ,colocación o compactación .éstos espacios que este aire forma en la masa de concreto son parte inevitable de toda pasta y contribuyen a la disminución en la resistencia y durabilidad del concreto , varían en tamaños desde aquellos que son perceptibles a simple vista hasta aquellos de un centímetro o mas de diámetro .

### **2.1.9.2. Poros por aire incorporado**

Por razones de incremento en la durabilidad del concreto se puede incorporar intencionalmente aire mediante el empleo de aditivos químicos, minúsculas burbujas de aire las cuales se conocen como poros de aire incorporado.

Las burbujas de aire incorporado son de perfil esférico con valores promedio de 0.10 mm su volumen puede ocupar hasta más del 5%. La razón principal del empleo de burbujas incorporadas es que este sistema de poros espaciados permite un incremento significativo de la durabilidad del concreto al crear un gran número de cámaras en las que se puede congelar el agua presente en los poros capilares evitando que las tensiones por expansión contribuyan a agrietar el concreto.

### **2.1.9.3. Poros capilares**

Se define como poros capilares a los espacios originalmente ocupados por el agua en el concreto fresco, los cuales en el proceso de hidratación del cemento no han sido ocupados por el gel.

### **2.1.9.4. Poros Gel**

El gel solo puede desarrollarse en los espacios originalmente llenos de agua. Por tanto si la relación agua-cemento es alta o el curado es pobre la cantidad de espacios ocupables por el gel será durante el proceso de hidratación quedando los espacios residuales en la condición de poros capilares.

La importancia de estos poros radica en:

---

- ✓ Conforme aumentan, disminuyen las resistencias mecánicas de la pasta endurecida.
- ✓ Aumentan la porosidad, permeabilidad y capacidad de absorción de la pasta.

## **2.1.10. CLASIFICACION DEL CONCRETO**

### **2.1.10.1. Por el peso específico:**

- ✓ Ligero, cuyo Peso Unitario se encuentre hasta 2000 Kg/m<sup>3</sup>.
- ✓ Normal, cuyo Peso Unitario se encuentre entre 2000 – 2800 Kg/m<sup>3</sup>.
- ✓ Pesado, cuyo Peso Unitario se encuentre entre >2800 Kg/m<sup>3</sup>.

### **2.1.10.2. Según su aplicación:**

- ✓ Simple: Concreto sin ninguna armadura. Buena resistencia a compresión.
- ✓ Armado: Con acero. Buena resistencia a compresión y a flexión.
- ✓ Pretensado: Resistencia a tracción: viguetas.
- ✓ Postensado: Resistencia a tracción: se introducen fundas.

### **2.1.10.3. Por su composición:**

- ✓ Ordinario.
- ✓ Ciclópeo: con áridos de 50 cm.
- ✓ Cascotes: Hormigón de desechos y ladrillos.
- ✓ Inyectado: en un molde el agregado y le metemos la pasta árido >25 mm.
- ✓ Con aire incorporado: en el hormigón se le inyecta aire >6% V.
- ✓ Refractario: resistente a altas temperaturas (cemento de aluminato cálcico).

#### **2.1.10.4. Por su resistencia:**

- ✓ Convencional: 10% agua, 15% cemento, 35% arena, 40% grava.
- ✓ De alta resistencia: 5% agua, 20% cemento, 28% arena, 41% grava, 2% adiciones, 2% aditivos.

## **2.2. CONCRETOS LIGEROS:**

### **2.2.1. DEFINICIÓN**

El concreto estructural ligero de peso liviano es un concreto que posee una densidad en el orden de 77 a 128.6 lb/pe<sup>2</sup> (1400 a 2000 kg/m<sup>3</sup>) en comparación con el concreto de peso normal que presenta una densidad en el rango de 140 a 150 lb/pe<sup>3</sup> (2240 a 2400 Kg/m<sup>3</sup>). Para aplicaciones estructurales, la resistencia del concreto se elabora con un agregado grueso de peso liviano. En algunos casos, una porción o la totalidad del agregado fino puede ser un producto de peso liviano. Los agregados livianos que se utilizan en el concreto estructural liviano son típicamente materiales expandidos de esquisto, arcilla o pizarra que se han expuesto al fuego en un horno rotatorio de calcinado para que desarrollen una estructura porosa. También se utilizan otros productos como escoria preparada en hornos de fundición. Existen otras clases de concretos no estructurales de peso liviano con menor densidad producidos con otros materiales de agregados y con mayores vacíos de aire en la matriz de pasta de cemento, tales como el concreto celular, las cuales se utilizan típicamente por sus mayores propiedades de aislamiento.

### **2.2.2. CLASIFICACION DE LOS CONCRETOS LIGEROS**

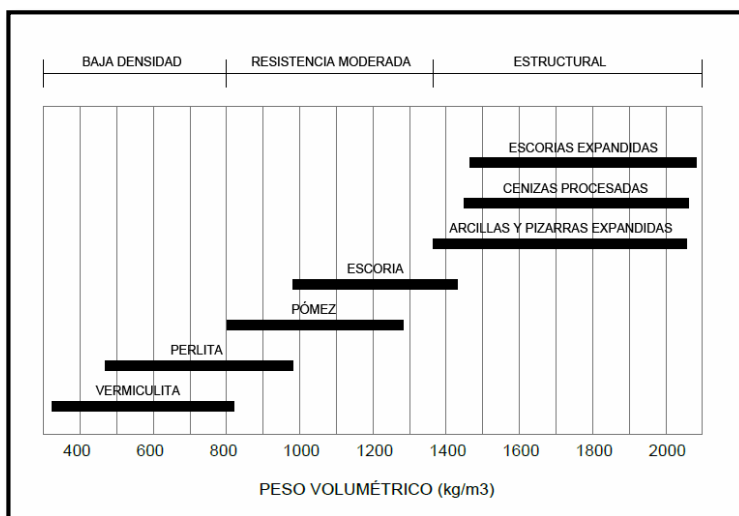
Las clasificaciones comunes de los concretos ligeros se hacen en función de sus propiedades sobresalientes, de sus pesos volumétricos, de los materiales que los integran o de los métodos empleados en su fabricación.

De acuerdo con sus propiedades y pesos Unitario podemos señalar la siguiente clasificación, que refleja la importancia se conoce en algunos países al aislante térmico:

- a. Concretos ligeros de resistencia reducida y propiedades excepcionalmente buenas de aislamiento térmico 280 a 800 kg/m<sup>3</sup>.
- b. Concretos ligeros de resistencia media y características adecuadas de aislamiento térmico: 800 a 1200 kg/cm<sup>3</sup>.
- c. Concretos ligeros de resistencia estructural y limitadas características de aislamiento térmico: 1200 a 2000 kg/m<sup>3</sup>.

En la Figura 2.1 se muestra, de acuerdo con esta clasificación, el rango de aplicación de los concretos en base a su grado de resistencia y peso volumétrico y de acuerdo con los distintos agregados que intervienen en su fabricación.





**Figura 2.1.** Clasificación de agregados ligeros

*Fuente: “Estudios Sobre Concretos Ligeros” / Revista INCYC*

De acuerdo con los materiales que lo integran y los métodos de fabricación, los concretos ligeros pueden clasificarse en:

- a. Concretos sin finos, cuya ligereza se obtiene suprimiendo el agregado fino, produciéndose con ellos numerosos vacíos entre las partículas del agregado grueso, algunos materiales usados son: la grava, piedra triturada, Clinker, cenizas sinterizadas, arcillas o pizarras expandidas, arcilla esquistosa expandida, escoria espumosa y pómez.
- b. Concretos celulares, producidos por la formación de burbujas gaseosas dentro de la masa fluida por una lechada de mortero, también se conocen como concretos aireados, espumosos o gaseosos. Algunos materiales usados son: polvo de aluminio, peróxido de hidrogeno, espuma e intrusión de aire.

c. Concretos de agregados ligeros, obtenidos mediante la utilización de agregados naturales o artificiales de muy bajo peso específico; algunos materiales usados son: Clinker, escoria espumosa, arcilla expandida, pizarra expandida, cenizas sinterizadas, vermiculita exfoliada, perlita expandida, pómez y agregados orgánicos.

Muchos autores consideran a los concretos sin finos dentro de la clasificación de los concretos de agregados ligeros y que de hecho son los mismos agregados los que se utilizan para su fabricación, con la diferencia de que para lograr aún más ligereza, se suprime el agregado fino.

### **2.2.3. PROPIEDADES FÍSICAS Y MÉCANICAS DE LOS CONCRETOS LIGEROS**

Para evaluar técnica y económicamente las ventajas de los concretos ligeros, es necesario examinar cuidadosamente sus características físicas y mecánicas para compararlas, cuando proceda, con las mismas propiedades de los concretos ordinarios.

Generalmente, en el examen de dichas propiedades se utilizan los mismos métodos estándar empleados en los concretos comunes. Sin embargo, es necesario subrayar que para lograr resultados congruentes con la realidad, conviene tomar en la cuenta de los ensayos, el efecto de la forma y tamaño de espécimen, el sentido del colado y compactado del material y el efecto del contenido de humedad.

**a. Efecto del tamaño y forma del espécimen en la resistencia del concreto:**

El ensayo para a la resistencia de los concretos es similar al método empleado para los concretos ordinarios. De acuerdo con algunos investigadores la forma del espécimen no afecta la resistencia de los concretos celulares, por lo que pueden usarse probetas cubicas o cilíndricas. Sin embargo, el comportamiento de estos concretos se ve afectado por el tamaño del molde ya que la resistencia decrece mientras mayor sea éste. En el caso de los concretos de agregados ligeros, la resistencia es directamente proporcional al tamaño de los moldes. Tanto en los concretos airados como los agregados ligeros.

**b. Efecto del contenido de humedad en las propiedades de los concretos ligeros:**

El contenido de humedad está íntimamente relacionado con el peso volumétrico, resistencia y características térmicas del concreto ligero. Dicho contenido de humedad varía de acuerdo con la estructura y porosidad del concreto, en los concretos aireados influye más que en los concretos de agregados ligeros. De acuerdo con las investigaciones realizadas a este respecto, la resistencia de los concretos ligeros saturados alcanza solo un 80% de la que desarrollan los concretos ligeros secos. Por otra parte, la conductividad térmica aumenta con el contenido de agua del concreto.

#### **2.2.4. PESO VOLUMÉTRICO DE LOS CONCRETOS LIGEROS.**

El peso volumétrico de los concretos ligeros depende de la compactación, porosidad, peso específico y granulometría de los agregados y cementantes que intervienen en su facturación, así como de las proporciones de las mezclas. Puede determinarse en especímenes saturados, secos o con determinado contenido de humedad, según el caso de que se trate. El método empleado para su determinación es similar al usar concretos ordinarios.

La porosidad, es un factor que define las características térmicas, la absorción y el contenido de humedad de los concretos ligeros. Los concretos con porosidades pequeñas son preferibles en virtud de que así se logran mayor resistencia y aislamiento térmico. Sin embargo, con este tipo de porosidad se incrementa la absorción de humedad disminuyendo la resistencia y las propiedades aislantes. El factor porosidad se calcula con la ecuación 2.1.

$$p = \left(1 - \frac{\gamma_v}{\gamma_e}\right) \times 100 = (1 - t) \times 100 \dots \dots \dots (2.1)$$

P = porcentaje de porosidad

t = compactación

$\gamma_v = \text{peso volumétrico en } \frac{kg}{m^3}$

$\gamma_e = \text{peso específico en } kg/m^3$

Aun cuando el peso volumétrico de los concretos ligeros es muy variable ya que depende del tipo de concreto en sí, de los agregados que se usen y de los

métodos de fabricación usados, de su colocación, etc., puede definirse un rango de variación entre 400 y 1900 kg/m<sup>3</sup>, como se muestra en la tabla 2.1.

**Tabla 2.1.** Rango de Variación de Pesos Volumétricos de los Agregados Ligeros

TIPO DE CONCRETO LIGERO	PESO VOLUMÉTRICO KG/M <sup>3</sup>
Sin finos ( agregado normal)	1600 -1900
Sin finos ( agregado liegro)	700-1300
Clinker	1000-1600
Escoria espumosa	950-1600
Concreciones de ceniza concombustible	950-1800
Arcilla o pizarra expandida	800-1800
Pomez	700-1100
Vermiculita exfoliada	500-950
Perlita expandida	400-950
Aserrin	650-1300
Celular o aireado	400-1600

*Fuente: “Estudios Sobre Concretos Ligeros” / Revista INCYC*

### **2.2.5. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN**

Para definir la resistencia a la compresión de los concretos ligeros, es necesario referirse a un tipo específico de concreto ya que varía considerablemente de una clase a otra. Inclusive dentro de mismo tipo de concreto ligero existen variaciones en resistencia de dependen de la relación agua-cemento empleada, de su peso volumétrico, de su contenido de humedad y del tipo de fabricación, en donde interviene preponderadamente el sistema de curado. Mientras que en los concretos normales la realicen agua- cemento es índice de su resistencia, en la mayoría de los concretos ligeros no se utiliza como tal, en virtud de la dificultad para cuantificar el agua de hidratación debido sobre todo a la porosidad de los agregados. La base empleada para definir la resistencia está referida al contenido de cemento para su revenimiento determinado.

---

Aun cuando las variaciones de resistencia de los distintos tipos de concretos ligeros son considerables, es conveniente fijar una idea sobre los rangos en que varían de cada grupo considerando relacionándolos con los pesos volumétricos respectivos como se muestra en la Tabla 2.2.

**Tabla 2.2.** Rango de Variación de la Resistencia a la Compresión de acuerdo al Peso Volumétrico.

<b>TIPO DE CONCRETO LIGERO</b>	<b>RESISTENCIA KG/CM<sup>2</sup></b>	<b>PESO VOLUMÉTRICO KG/M<sup>3</sup></b>
Sin finos	50 a 90	1800 a 2000
Agregados Ligeros	70 a 500	500 a 2100
Aereados	15 a 60	400 a 1600

*Fuente: “Estudios Sobre Concretos Ligeros” / Revista INCYC*

Puede apreciarse que los concretos que desarrollan mayor resistencia son elaborados a base de agregados ligeros. Dependiendo del tipo de agregados será la resistencia desarrollada. Generalmente las arcillas y pizarras expandidas son las más apropiadas para efectos de resistencia de resistencia. Esta clase de agregado se utiliza principalmente para la elaboración de concretos ligeros de características estructurales, ya que sea reforzado o prees forzado.

### **2.2.6. MÓDULO DE ELASTICIDAD**

Para una resistencia determinada, el valor del módulo de elasticidad en concretos ligeros reporta valores menores que los correspondientes a concretos ordinarios.

La deformación debida a la compresión o tensión en estos materiales no sigue la ley de Hooke, ya que por lo general esta deformación presenta un

incremento mayor que los esfuerzos que la generan. Por esta razón, el módulo de elasticidad de los concretos ligeros no es constante sino que depende del esfuerzo que se considere.

Las expresiones encontradas por diversos investigadores para definir el módulo de elasticidad inicial en términos de su peso volumétrico y de sus resistencias, son las siguientes.

$$E_0 = 6000\sqrt{k \gamma_D^2} \dots\dots\dots (2.2) \text{ Schaffler}$$

$$E_0 = 1550k^{0.7} \dots\dots\dots (2.3) \text{ Persson y Willen}$$

$$E_0 = 3000\sigma_p \dots\dots\dots (2.4) \text{ Purins}$$

$E_0 =$  *Módulo de Elasticidad en kg/cm<sup>2</sup>*

$\gamma_D =$  *Peso Unitario seco en g/cm<sup>3</sup>*

$k =$  *Resistencia en kg/cm<sup>2</sup>*

$\sigma_p = 0.9k$  *en kg/cm<sup>2</sup>.*

Estas expresiones tienen una aplicación limitada, la fórmula de Schaffler no puede usarse en concretos con pesos volumétricos menores de 600 kg/m<sup>3</sup>. Las otras ecuaciones son válidas para concretos con pesos volumétricos debajo de 1000 kg/m<sup>3</sup> o para resistencias menores de 65 kg/cm<sup>2</sup>.

Para concretos celulares las relaciones entre módulo de elasticidad, pesos volumétricos secos y las relaciones entre módulo de elasticidad, pesos volumétricos en forma de expresiones algebraicas, sino que por lo general se prefiere hacerlo en forma de curvas.

En concretos de agregados ligeros es más difícil definir su módulo de elasticidad ya que este presenta un amplio rango de variación, ya que depende del tipo de agregado que se use, de su peso volumétrico y de su resistencia. Sin embargo, podemos representar gráficamente indicando en el área achurada el rango de variación que presenta.

El conocimiento del módulo de elasticidad es especialmente importante en concretos ligeros estructurales ya que las deformaciones originadas en miembros a flexión tienen una influencia desfavorable en el comportamiento general de la estructura. En lo referente a concreto ligero prees forzado las deformaciones alcanzan solo valores 20% mayores que en concretos ordinarios, aun cuando el módulo de elasticidad es aproximadamente la mitad o las dos terceras partes del correspondiente para concretos normales.

En algunas pruebas realizadas para concretos ligeros en lo referente al módulo de elasticidad, se han incluido mediciones de esfuerzo-deformación en dirección perpendicular a la aplicación de la carga, indicando dichas pruebas que el coeficiente de Poisson para estos concretos es del mismo orden que en los concretos ordinarios, con variaciones entre 0.17 a 0.23, dependiendo del concreto específico que se use.

### **2.2.7. CONTENIDO AGUA-CEMENTO**

El contenido agua-cemento requerido para un revenimiento dado, no constituye propiamente una propiedad mecánica o física del concreto ligero. Sin



embargo, estos factores tienen una influencia considerable en la resistencia, flujo plástico y concentración de estos concretos.

Para desarrollar una resistencia determinada, los concretos ligeros requieren alrededor de una 60% más de cemento que los concretos ordinarios. En algunos casos, sobre todo cuando las resistencias esperadas son del orden de 300 kg/cm<sup>2</sup>, la cantidad de cemento necesaria es la misma en concretos ligeros que en los ordinarios, así mismo, la sustitución del agregado ligero fino por arena, reduce la cantidad de cemento requerida para una resistencia específica. El contenido total de agua, incluyendo la de absorción y la de mezclado, es mayor en los concretos ligeros. Cuando se sustituye el agregado fino por arena, el contenido de agua se reduce bastante pero siempre se mantiene mayor que el requerido para concretos ordinarios.

#### **2.2.8. CONTRACCION Y FLUJO PLÁSTICO.**

Por contracción y flujo plástico se entienden ciertos cambios de cimentaciones de un cuerpo sólido, referidos a las causas que originan dichos cambios. La contracción del concreto es la reducción del volumen asociada con el secado, es decir es la reducción del volumen causada por la pérdida de agua. Por otra parte, el flujo plástico en el concreto representa un cambio con el tiempo de la deformación unitaria que ocurre bajo un esfuerzo debido a una fuerza constante, por lo general aplicada externamente. Esta deformación aun cuando no se presenten variaciones en el contenido de humedad. El flujo plástico, por lo tanto,

puede considerarse como una contracción o expansión inducidas por esfuerzos de compresión o de tensión respectivamente.

Para una misma resistencia la contracción y el flujo plástico en concretos de agregados ligeros es generalmente mayor que en los concretos ordinarios. Cuando las resistencias a la compresión son altas, los efectos del flujo plástico disminuyen notablemente para cualquier tipo de agregados, siendo en algunos casos iguales o menores que en los concretos comunes. Para resistencias menores, el flujo plástico tiende a aumentar considerablemente dependiendo del agregado que se use.

La disminución parcial o total de finos remplazándolos por arena, generalmente reducen la contracción por secado para cualquier tipo de agregados. A diferencia de otros tipos de concretos ligeros, la contracción de los agregados sin finos es muy baja, llegando inclusive a ser menor que la correspondiente a concretos ordinarios hechos con los mismos materiales.

La contracción puede también reducirse mediante el empleo de curado a vapor, variando de 10 a 40% respecto a los valores que se tienen con el curado común.

### **2.2.9. DURABILIDAD**

Aplicada a materiales de construcción, la durabilidad puede definirse como la resistencia de estos a agentes químicos perjudiciales a esfuerzos secundarios originados por congelamiento, contracción o temperatura, o a efectos mecánicos abrasivos. Es en realidad un índice de la resistencia al interperismo.

En lo que corresponde a ataques químicos, específicamente aguas sulfatadas, aire contaminado o reactivos químicos, el concreto ligero no presenta resistencia especial a estos agentes, siendo inclusive, menos resistente que el concreto ordinario.

Sin embargo, en lo referente a resistencias por congelamiento y resistencia al descascara miento originado por cualquier tipo de salinidad, los concretos ligeros cuando el material quedará expuesto a condiciones de congelamiento y acción salina.

La contratación debida al secado produce generalmente grietas en los concretos ligeros si no se toman las debidas precauciones.

En relación a los efectos mecánicos abrasivos, entre menos denso sea el concreto, estos son más notorios. Los concretos muy livianos son generalmente suaves y pueden dañarse con facilidad. En cambio los concretos de alto peso volumétrico presentan resistencias similares a los ordinarios. Igualmente, los concretos de baja resistencia se ven más afectados por otros factores que los concretos de relativamente buenas resistencias. Por esta razón, el contenido de cemento y agua son factores que influyen notoriamente en la durabilidad de los concretos ligeros.

#### **2.2.10. ABSORCION DE AGUA Y POROSIDAD.**

La porosidad de un material puede calcularse en base a su peso volumétrico. La mayoría de los concretos ligeros presentan una porosidad bastante grande y por lo mismo posees una absorción mayor que en los concretos densos. Sin

---

embargo, esto no llega a tener efectos importantes ya que generalmente se protegen con un recubrimiento adicional cuando están sujetos a interperismo. Muchas investigaciones se han mostrado imprecisas en definir la relación existente entre la absorción de agua de los concretos ordinarios que se presentan factores de durabilidad similares a los de los concretos ligeros, tiene, sin embargo, diferente absorción.

Dentro de los distintos tipos de concretos ligeros pueden observarse diferentes grados de absorción. Así, los concretos aireados tienen absorciones mucho mayores que los concretos de agregados ligeros. Esto debe tomarse en consideración cuando se trate de usar el concreto como aislante, pues una absorción considerable de agua puede afectar desventajosamente el aislamiento. En algunos casos se han requerido tratar a los agregados ligeros para hacerlos a prueba de agua, es decir, impermeabilizarlos con objeto de reducir en lo posible la absorción de agua y mantener sus características aislantes. Sin embargo, estos métodos hacen antieconómico en la mayoría de los casos el uso del concreto ligero como aislante.

#### **2.2.11. PROPIEDADES ACUSTICAS.**

El aislamiento acústico reduce el paso del sonido a través de un cuerpo. El principal factor que influye en esta propiedad es la densidad del material. Desde este punto de vista el concreto ligero no posee buenas propiedades acústicas, debido sobre todo a la porosidad de los mismos. Sin embargo, se puede lograr un buen aislamiento acústico aprovechando a las piezas de concreto ligero de un

recubrimiento de pasta de cemento o colocado en vez de una, dos capas o piezas de concreto ligero cuando se aplique.

Por otra parte, la absorción de sonido que se reduce este al ser reflejado por una superficie, es una propiedad si poseen satisfactoriamente los concretos ligeros. Esta propiedad se acentúa cuando la superficie del concreto no ha sido recubierta con pasta. Por esta razón es importante conocer, dentro de la construcción específica que se trate, que es lo que primordialmente se desea, pues en caso de que se requiera aislamiento exterior es conveniente un recubrimiento adicional del concreto; en caso de que se necesita aislamiento interior, este recubrimiento puede ser inconveniente.

### **2.2.12. AISLAMIENTO TÉRMICO**

Es una de las propiedades básicas del concreto ligero. El aislamiento térmico es aproximadamente proporcional al peso volumétrico del material y por ende, en los concretos ligeros, cuyos pesos volumétricos son reducidos, esta propiedad es bastante satisfactoria.

Los índices a través de los cuales se miden las propiedades térmicas de un material, son los siguientes:

- a. Conductividad Térmica (k).** Es la cantidad de calor que pasa a través de una superficie unitaria y homogénea del material, con espesor unitario y cuando la diferencia de temperatura entre ambas caras de la superficie es también unitaria. Generalmente se ha acostumbrado expresar este coeficiente en unidades inglesas:  $\text{pie}^2$ ,  $\text{pulgadas}^2$  y en grados Fahrenheit.

El valor de estos coeficientes depende, por lo tanto, del peso volumétrico del concreto, de su porosidad, de los coeficientes de conductividad de sus componentes y de su contenido humedad. Entre más finos sean la porosidad del concreto, menor es el coeficiente de conductividad térmica. Para concretos de agregados de agregados ligeros este coeficiente varía entre 0.35 a 0.75kCal/hr-m<sup>2</sup>°C. En los concretos normales estos valores son entre 1.4 y 1.5. El contenido de humedad en el material influye considerablemente en el valor k ya que la conductividad térmica del agua que ocupa los vacíos del concreto es 25 veces mayor que la del aire desplazado. De acuerdo con algunas investigadores la relación conductividad térmica-humedad es lineal.

**b. Transmisibilidad Térmica.** Es la cantidad de calor transmitida durante una hora a través de una superficie unitaria de una pared o techo cuando la temperatura del ambiente entre las caras opuestas de la superficie difiere en un grado. El coeficiente de conductividad térmica k se refiere a un material simple, el valor del coeficiente de conductividad k se refiere a un material simple, el valor del coeficiente de transmisibilidad U corresponde a un sistema compuesto de pared, por lo general integrado por varios materiales. Básicamente su valor se calcula considerando los correspondientes individuales para cada material que forma la pared.

En general, el uso de concretos ligeros de peso volumétrico menor que 1600kg/m<sup>3</sup> reduce las pérdidas de calor a través de paredes de un 40 o 50%.

Otros factores que estén relacionados con las propiedades térmicas del concreto ligero y que conviene definir, son:

- ✓ **Resistividad**, que es el recíproco del coeficiente de conductividad térmica.
- ✓ **Resistividad Térmica**, que es la resistencia que presenta un material simple o compuesto al paso del flujo de calor a través de él, independientemente del espesor

### **2.2.13. PROTECCION CONTRA EL FUEGO.**

Es aproximadamente de 20 a 50% mejor que la del concreto normal y se deriva de su mejor resistencia a la transmisión del calor y al hecho de que los concretos ligeros son materiales no combustibles.

En miembros reforzados esta característica depende del recubrimiento que se prevea al acero del refuerzo. En los concretos ligeros este recubrimiento puede ser menor que en los concretos ordinarios. Por otra parte, cuando se somete el material a altas temperaturas se ha observado que se conserva alrededor del 85% de la resistencia original, a diferencia de los concretos normales en los cuales esta resistencia llega a reducirse a un 50%.

## **2.3. CONCRETO DE AGREGADOS LIGEROS:**

### **2.3.1. GENERALIDADES**

A diferencia de los concretos celulares que obtienen su ligereza a base de formas una estructura porosa ya sea por medio de agentes químicos o agentes espumosos mezclados mecánicamente, los concretos de agregados ligeros

---

poseen un peso volumétrico reducido por los agregados mismos que intervienen en su elaboración, los cuales en la mayoría de los casos son elementos con estructura porosa y de muy bajo peso volumétrico. Por otra parte, los elementos que integran el concreto celular están íntimamente relacionados con el fraguado del mismo, cosa que no sucede en los concretos ligeros.

Aunque los procedimientos de producción de concreto de agregados ligeros y concretos ordinarios son similares, las normas y consideraciones de diseño de los concretos comunes no pueden aplicarse a aquellos ya que los agregados porosos son diferentes a los correspondientes para la grava o piedra triturada. Las propiedades de los concretos de agregados ligeros dependen de las que poseen los agregados que los integran y los métodos de elaboración y diseño están en concordancia con el tipo específico de agregado que se use.

Existen dos tipos de concretos de agregados ligeros:

- ✓ Concretos sin finos
- ✓ Concreto con agregados de granulometría continua.

#### **2.3.1.1. Concreto sin finos:**

En los concreto sin finos los componentes únicos son cemento y agregado grueso, omitiéndose la arena con objeto de obtener vacíos en el interior de la masa. El agregado grueso puede ser piedra triturada, escoria de altos hornos, piedra pómez, Clinker, arcillas expandidas, cenizas procesadas de combustible pulverizado, vermiculita, perlita, etc. Generalmente el peso volumétrico alcanzado es aproximadamente 60 por ciento del concreto común. El uso de concretos sin



finos solo es recomendable cuando los agregados que se emplean son altamente resistentes, sin que esta resistencia perjudique la ligereza del material. Las proporciones más usadas para este tipo de concreto son 0.33m<sup>3</sup> de grava pesada o 0.25 m<sup>3</sup> de agregado ligero por saco de cemento. Cuando se usa piedra triturada conviene aumentar ligeramente la cantidad de cemento.

Con el objetivo de lograr que cada partícula de agregado se rodee de pasta de cemento a fin de desarrollar la adherencia, es muy importante controlar la forma adecuada la proporción Agua/Cemento, ya que si se usa mucha agua la pasta de cemento puede asentarse y separarse del agregado; en caso de usarse poca agua no se lograra recubrir las partículas de agregado y se producirá un concreto desmoronable. También es importante considerar un periodo de mezclado suficientemente largo para asegurar que el agregado se recubra en su totalidad. Es recomendable mezclar inicialmente el agregado en condición húmeda con el cemento y posteriormente aplicar el resto del agua.

El aislamiento térmico en este tipo de concreto es alrededor de 25% mayor que el obtenido en concreto denso hecho con el mismo tipo de agregado.

#### **2.3.1.2. Concretos Ligeros con Granulometría Continúa:**

En estos concretos no se suprime la arena y todas las partículas de agregados quedan rodeadas de mortero, no existen por lo tanto espacios vacíos entre dichas partículas. Estos materiales, al igual que los concretos comunes, protegen al acero de refuerzo contra la corrosión y desarrollan resistencias considerables sin requerir buenas calidades de agregados. El cementante

---

requerido es el cemento Portland en la mayoría de los casos. Los agregados pueden ser los mismos mencionados anteriormente para concretos sin finos y en cada caso se obtendrá un tipo de concreto diferente con resistencias y pesos volumétricos distintos que dependerán primordialmente del agregado empleado.

Estos concretos son los más adecuados para usarse con carácter estructural ya sea simplemente reforzado o preesforzado, ya que pueden llegar a desarrollar resistencias hasta de 500 Kg/cm<sup>2</sup> con pesos volumétricos máximos de 2000 Kg/m<sup>3</sup>

### **2.3.2. AGREGADOS PARA CONCRETOS LIGEROS.**

Los agregados usados para concreto ligero pueden ser naturales o artificiales. En la mayoría de los casos estos agregados son inorgánicos, porosos y de muy bajo peso volumétrico.

Las propiedades físicas de estos materiales, como son su peso específico, peso volumétrico, densidad, compacidad, porosidad, contenido de humedad, capacidad de absorción, resistencia, etc., se determinan con los procedimientos convencionales usados en agregados para concreto densos. Cuando se trata de elaborar un concreto ligero con un tipo específico de agregado poroso, es necesario hacer estas determinaciones ya que en cada caso específico las propiedades de los materiales son distintas, aun tratándose del mismo tipo de agregado.

Tipos de agregados:

### **2.3.2.1. Clinker:**

Los agregados de Clinker son de origen mineral y contienen carbón, calcita, caolín y pirita. Su uso se inició a principios del siglo XX en Inglaterra. Los resultados obtenidos han sido satisfactorios, sobre todo cuando es producto residual de hornos con altas temperaturas de combustión y cuando no contiene material combustible, ya que el carbón parcialmente quemado que contenga hace que el agregado se expanda al entrar en contacto con el cemento, disminuyendo la resistencia del concreto y aumentando los cambios de volumen por contracción o humedad. Por esta razón la cantidad de material combustible es conveniente que no exceda de 10%. Cuando se usa agregado de este tipo es recomendable proveer suficiente protección al refuerzo, ya que el contenido de sulfuro que posee puede ser desfavorable para efectos de corrosión en caso de estar en contacto con la humedad ambiente. Cuando se tiene alto contenido de sulfuro es preferible no usar el Clinker como agregado para concreto reforzadas.

### **2.3.2.2. Escoria Espumosa:**

Se obtiene mediante el enfriamiento acelerado de la escoria líquida producto de altos hornos de hierro, utilizando una cantidad limitada de agua. La estructura porosa obtenida través de este procedimiento es similar a la de la piedra pómez natural. Cuando el enfriamiento se efectúa con demasiada cantidad de agua la escoria que se obtiene es granulada y no apta para concreto ligero. Aunque el proceso descrito es el que básicamente se utiliza para la elaboración de escoria

---

espumosa, existen otros procedimientos más elaborados y completos que se derivan del anterior y que obtienen distintos tipos de material. Sin embargo, indeterminadamente del proceso utilizado, el producto final debe ser triturado y tamizado para poder utilizarlo como agregado.

Una propiedad importante de algunas escorias espumosas es su acción cementante desarrollada al entrar en contacto con la cal o cemento Portland y mediante la cual se logra aumentar la resistencia esperada en el concreto.

Primordialmente la escorias espumosas se usan como agregado para bloques de concreto y plantillas de techos, también ha encontrado aplicaciones en la fabricación de unidades reforzadas precoladas para casas y edificios. Como concreto colado en obras también ha tenido bastante aceptación, sobre todo porque la contracción por secado y el movimiento de la humedad son satisfactorios sin necesidad de un curado en autoclave.

### **2.3.2.3. Concreciones de Cenizas de Combustible Pulverizado:**

Las plantas termoeléctricas para generar energía que queman combustible pulverizado dejan como residuo cenizas que pueden usarse como agregado ligero. Estas cenizas se procesan a altas temperaturas en donde por medio de fusión incipiente logran formar concreciones esféricas porosas con considerable resistencia. Pueden obtenerse en tamaño grande, mediano o arena fina.

Empezó a usarse en 1946 con un proceso ideado por Leftwich que mezcla Clinker, escoria y ceniza de combustible pulverizado. Actualmente los métodos de obtención son más elaborados y efectivos logrando procesar cenizas que

producen concretos de 1600 a 1750 kg/m<sup>3</sup> con alta resistencia para usarse en miembros estructurales de concreto reforzado.

En virtud de que las concreciones que se obtienen de cenizas de combustible pulverizado son en forma de partículas esféricas, es factible utilizarlas en la elaboración de concreto sin finos que inclusive puede colarse en obra. Por lo general, en estos casos se emplean para la fabricación de losas para muros o techos o como plantillas.

El aislamiento térmico que posee es 50% mejor que el del concreto normal denso, aumentándose este si se usa una mezcla sin finos. La contracción por secado y los movimientos de humedad observados para los concretos elaborados con este material son similares a los del concreto de arcillas expandidas.

Una observación importante que debe hacerse es que para los concretos obtenidos a base de cenizas de combustible pulverizado presenten calidades satisfactorias, debe tenerse cuidado con los porcentajes de combustible no quemado y los porcentajes de sulfatos, los cuales deben reducirse al mínimo mediante la inclusión de aire durante el proceso de fusión.

#### **2.3.2.4. Vermiculita Exfoliada:**

Es una especie de mica con alto contenido de magnesio que se expande rápidamente al aplicarse calor, formando una estructura escamosa laminar compuesta de partículas blandas y frágiles. El peso volumétrico del producto obtenido es del orden de 65 a 190 Kg/m<sup>3</sup>. Las aplicaciones principales son en enyesados y como relleno en cavidades para dar un aislamiento térmico mayor.

También se usa en acabados de concreto ligero para aislamiento y en bloques y lozas de concretos.

#### **2.3.2.5. Perlita Expandida:**

Es de origen volcánico producto de un enfriamiento rápido de la lava; es de aspecto vidrioso por su alto contenido de sílice. Cuando se calienta rápidamente hasta el punto de fusión, se expande para formar un material poroso muy ligero con peso volumétrico de 90 a 240 Kg/m<sup>3</sup>. Su uso más generalizado es en enyesados, acabados, plantillas y bloques divisorios. La resistencia obtenida en los concretos elaborados a base de perlita es sumamente baja, por lo que no se recomienda para la fabricación de concreto reforzado.

#### **2.3.2.6. Pómez:**

La piedra pómez es un tipo de lava volcánica ligera, de gran porosidad y de estructura vidriosa. Posee un alto contenido de sílice y un bajo contenido de calcio y magnesio. Su porosidad se debe al escape de gases durante el enfriamiento de la lava. La resistencia de las partículas es baja y su elaboración y su absorción es considerablemente alta.

En virtud al agregado pómez esta generalmente mezclado con polvo volcánico y arcilla, después de la trituración y antes de ser usado es necesario cribarlo y lavarlo para remover las partículas extrañas que contenga.

Puede someterse a calentamientos hasta su punto de fusión incipiente con objeto de obtener un material más resistente y de mejores características físicas.

### **2.3.2.7. Arcillas Expandidas:**

Cuando se somete algunos tipos de arcillas y pizarras a un calentamiento rápido a altas temperaturas hasta llegar al estado plástico, incrementa 5 o 6 veces su volumen debido a la formación de gases originados por la reacción de sulfatos y carbonatos al descomponerse los compuestos orgánicos. La estructura celular formada se mantiene al enfriarse y queda constituida por pequeñas celdas separadas por material vitrificado.

El producto obtenido es necesario someterlo a trituración y graduación para poder utilizarlo como agregado, algunas veces, mediante procesos especiales como son los hornos rotatorios, el material que se produce puede presentar una estructura adecuada para usarse directamente en los concretos. Los diferentes procedimientos patentados en Europa y los Estados Unidos para la fabricación de arcillas expandidas datan de 1920 y en cada caso el producto recibe nombres distintos como Haydita, Rocklita, Lytag, Leca, etc.

Como sucede con otros concretos ligeros, el hecho a base de arcillas o pizarras expandidas desarrollan resistencias que dependen no solo de la resistencia de los agregados sino de su compactación, que a su vez depende de la forma y granulometría del mismo.

Con una cuidadosa graduación y una compactación, puede obtenerse resistencias a la compasión bastante buenas, aun usando los agregados más ligeros a base de arcillas expandidas.

La arcilla expandida son producido industrialmente que reemplaza con ventajas tecnológicas a los agregados naturales en la elaboración de concretos estructurales y aislantes para la industria de la construcción. Se elabora con la más moderna tecnología. Su proceso productivo utiliza arcillas naturales seleccionadas y adecuadamente tratadas, que alcanzan en el horno rotativo un estado pirolástico a temperaturas superiores a 1120°C. Obtiene un agregado ligero inerte, formado por pellets que se caracterizan por una estructura interna celular encerrada por una corteza ceramizada sumamente dura y resistente. No contiene sustancias químicamente activas orgánicas o inorgánicas no existiendo riesgos de reacción álcali-agregado ni otro tipo de reacción indeseable con los otros agregados, cemento o aditivos empleados en la elaboración de concretos. Su PH es 7.

La estructura celular interna del pellet encapsulada en una cubierta cerámica clinkerizada es que brinda a este material sus características de material ligero, resistencia mecánica y aislamiento térmico, confiriendo a los concretos una excelente relación entre peso propio y capacidad estructural. Sustituye en forma directa al canto rodado, piedra triturada y las arenas para producir concretos estructurales ligeros de igual resistencia a la compresión y con un 30% menos de peso que los obtenidos con agregados tradicionales.



## **2.4. DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO**

### **2.4.1. GENERALIDADES:**

El diseño de mezclas, consiste en aplicar técnicamente los conocimientos sobre sus componentes para obtener requerimientos particulares del concreto requerido en el Proyecto u Obra.

Como se sabe el Diseño de Mezclas de Concreto ha estado enfocado muy a menudo de acuerdo a las “Normas” que debiera cumplir cada elemento del diseño, pero estas Normas están enfocadas a un cierto número de condiciones específicas que muchas veces, van en contra de las nuevas circunstancias que se generan en el desarrollo de la Tecnología del Concreto a nivel mundial.

En la actualidad una variedad de Métodos de Diseño de Mezclas Normalizados, pero que solamente se usan en circunstancias que necesitamos un certificado que nos dé un organismo a nivel nacional para fines administrativos y técnicos de las obras.

El Método Tradicional como sabemos específica que al mezclar el cemento, el agua, el aire atrapado, el agregado (arena y piedra y/o agregado grueso y agregado fino) y en algunos casos aditivos, obtendremos finalmente un sólo material El CONCRETO. Pero observamos que los agregados son parte del concreto y por lo tanto no tenemos por qué separarlos en su estudio, pero podemos ver sus propiedades independientemente para un mejor control de ellos.

El Módulo de Finura Global está relacionado con los agregados, si logramos que los agregados del concreto cumplan con las especificaciones técnicas

necesarias, entonces nosotros podemos lograr que el concreto pueda ser mezclado por varios equipos mecánicos: mezcladora, trompo, Mixers u otros, y podemos colocarlo mediante carretillas, canaletas, cubetas y bombeo, para lo cual solo cambiamos el Módulo de Finura del Agregado Global y podemos optimizar las propiedades que nosotros queremos, sabiendo que el concreto debe cumplir con las propiedades que sean necesarias para un tipo particular de obra, y además sus propiedades intrínsecas en estado fresco como son su trabajabilidad, su peso unitario, su exudación, su fluidez, etc. y en estado endurecido como son su resistencia, su durabilidad, su elasticidad, etc. y su economía a corto y largo plazo.

Actualmente los concretos que comúnmente se están utilizando son las que tienen relaciones  $a/c$  que nos proporcionarán resistencias a compresión del concreto que varían desde  $f'c$  de 140, 175 y 210  $\text{Kg/cm}^2$  normalmente, esporádicamente concretos con resistencia  $f'c$  de 245, 280, 315  $\text{Kg/cm}^2$  y rara vez concreto de  $f'c$  de 350, 385, 420 o más, estos últimos utilizando muchas veces aditivo.

#### **2.4.2. DEFINICIÓN:**

El diseño de mezclas es la selección de las proporciones de los materiales integrantes de la unidad cúbica de concreto, es definida como el proceso que, en base a la aplicación técnica y práctica de los conocimientos científicos sobre sus componentes y la interacción entre ellos, permite lograr un material que satisfaga de la manera más eficiente y económico los requerimientos particulares del proyecto constructivo.

El concreto es un material heterogéneo, el cual está compuesto por material aglutinante como el cemento Pórtland, material de relleno (agregados naturales o artificiales), agua, aire naturalmente atrapado o intencionalmente incorporado y eventualmente aditivos o adiciones, presentando cada uno de estos componentes propiedades y características que tienen que ser evaluadas así como aquellas que pueden aparecer cuando se combinan desde el momento del mezclado.

#### **2.4.3. CONSIDERACIONES Y/O CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE LAS MEZCLAS**

En necesario enfocar el concepto del diseño de mezcla para producir un buen concreto tan económico como sea posible, que cumpla con los requisitos requeridos para el estado fresco (mezclado, transporte, colocación, compactado y acabado, etc.) y en el estado endurecido (la resistencia a la compresión y durabilidad, etc.).

En general, se piensa que todas las propiedades del concreto endurecido están asociadas a la resistencia y, en muchos casos, es en función del valor de ella que se las califica. Sin embargo, debe siempre recordarse al diseñar una mezcla de concreto que muchos factores ajenos a la resistencia pueden afectar otras propiedades. Es usual suponer que el diseño de mezclas consiste en aplicar ciertas tablas y proporciones ya establecidas que satisfacen prácticamente todas las situaciones normales en las obras, lo cual está muy alejado de la realidad, ya que es en esta etapa del proceso constructivo cuando resulta primordial la labor creativa del responsable de dicho trabajo y en consecuencia el criterio personal.

Finalmente debemos advertir que la etapa de diseño de mezclas de concreto representa sólo el inicio de la búsqueda de la mezcla más adecuada para algún caso particular y que esta necesariamente deberá ser verificada antes reconvertirse en un diseño de obra. Conseguir una mezcla con un mínimo de pasta y volumen de vacíos o espacios entre partículas y consecuentemente cumplir con las propiedades requeridas es lo que la tecnología del concreto busca en un diseño de mezclas.

Antes de dosificar una mezcla se debe tener conocimiento de la siguiente información:

Los materiales.

- ✓ El elemento a vaciar, tamaño y forma de las estructuras.
- ✓ Resistencia a la compresión requerida.
- ✓ Condiciones ambientales durante el vaciado.
- ✓ Condiciones a la que estará expuesta la estructura.

#### **2.4.4. PARÁMETROS BÁSICOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO**

##### **2.4.4.1. La Trabajabilidad**

Es una propiedad del concreto fresco que se refiere a la facilidad con que este puede ser mezclado, manejado, transportado, colocado y terminado sin que pierda su homogeneidad (exude o se segregue). El grado de trabajabilidad apropiado para cada estructura, depende del tamaño y forma del elemento que se vaya a construir, de la disposición y tamaño del refuerzo y de los métodos de

colocación y compactación. Los factores más importantes que influyen en la trabajabilidad de una mezcla son los siguientes:

- ✓ La gradación, la forma y textura de las partículas
- ✓ Las proporciones del agregado
- ✓ La cantidad del cemento
- ✓ El aire incluido
- ✓ Los aditivos y la consistencia de la mezcla.

Un método indirecto para determinar la trabajabilidad de una mezcla consiste en medir su consistencia o fluidez por medio del ensayo de asentamiento con el cono de Abrams. El requisito de agua es mayor cuando los agregados son más angulares y de textura áspera (pero esta desventaja puede compensarse con las mejoras que se producen en otras características, como la adherencia con la pasta de cemento).

#### **2.4.4.2. La resistencia**

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica más importante de un concreto, pero otras como la durabilidad, la permeabilidad y la resistencia al desgaste son a menudo de similar importancia.

#### **2.4.4.3. Durabilidad**

El concreto debe poder soportar aquellas exposiciones que pueden privarlo de su capacidad de servicio tales como congelación y deshielo, ciclos repetidos de mojado y secado, calentamiento y enfriamiento, sustancias químicas, ambiente

marino y otras. La resistencia a algunas de ellas puede fomentarse mediante el uso de ingredientes especiales como:

- ✓ Cemento de bajo contenido de álcalis, puzolanas o agregados seleccionados para prevenir expansiones dañinas debido a la reacción álcalis - agregados que ocurre en algunas zonas cuando el concreto está expuesto a un ambiente húmedo
- ✓ Cementos o puzolanas resistentes a los sulfatos para concretos expuestos al agua de mar o en contacto con suelos que contengan sulfatos; o agregados libres de excesivas partículas suaves, cuando se requiere resistencia a la abrasión superficial.

La utilización de bajas relaciones a/c prolongara la vida útil del concreto reduciendo la penetración de líquidos agresivos.

La resistencia a condiciones severas de intemperie, particularmente a congelación y deshielo y a sales utilizadas para eliminar hielo, se mejora notablemente incorporando aire correctamente distribuido. El aire inyectado debe utilizarse en todo concreto en climas donde se presente la temperatura del punto de congelación.

## **2.4.5. MATERIALES QUE INTERVIENEN EN UNA MEZCLA DE CONCRETO**

### **2.4.5.1. El Cemento**

Es el principal componente del concreto, el cual ocupa entre el 7% y el 15% del volumen de la mezcla, presentando propiedades de adherencia y cohesión, las

cuales permiten unir fragmentos minerales entre sí, formando un sólido compacto con una muy buena resistencia a la compresión así como durabilidad.

El cemento es un elemento hidráulico producido mediante la calcinación de una caliza arcillosa a una temperatura de bajo del punto de sinterización y luego molido hasta polvo fino.

Tiene la propiedad de fraguar y endurecer sólo con la presencia de agua, experimentando con ella una reacción química, proceso llamado hidratación.

#### **2.4.5.2. El Agua**

Componente del concreto en virtud del cual, el cemento experimenta reacciones químicas para producir una pasta eficientemente hidratada, que le otorgan la propiedad de fraguar y endurecer con el tiempo.

Además este componente proporciona a la mezcla una fluidez tal que permita una trabajabilidad adecuada en la etapa del colocado del concreto. Este componente que ocupa entre el 14% y el 18% del volumen de la mezcla.

En una porción de pasta hidrata, el agua se encuentra en dos formas diferentes, como agua de hidratación y agua evaporable.

#### **2.4.5.3. Los Agregados**

Este componente que ocupa entre 60% a 75% del volumen de la mezcla, son esencialmente materiales inertes, de forma granular, naturales o artificiales, las cuales han sido separadas en fracciones finas (arena) y gruesas (piedra), en general provienen de las rocas naturales.

Gran parte de las características del concreto, tanto en estado plástico como endurecido, dependen de las características y propiedades de los agregados, las cuales deben ser estudiadas para obtener concretos de calidad y económicos.

Los agregados bien graduados con mayor tamaño máximo tienen menos vacío que los de menor tamaño máximo; por consiguiente, si el tamaño máximo de los agregados en una mezcla de concreto se aumenta, para un asentamiento dado, los contenidos de cemento y agua disminuirán. En general, el tamaño máximo del agregado deberá ser el mayor económicamente disponible y compatible con las dimensiones de la estructura.

Las partículas de agregado alargadas y chatas tienen efecto negativo sobre la trabajabilidad y obligan a diseñar mezclas más ricas en agregado fino y por consiguiente a emplear mayores cantidades de cemento y agua. Se considera que dentro de este caso están los agregados de perfil angular, los cuales tienen un alto contenido de vacíos y por lo tanto requieren un porcentaje de mortero mayor que el agregado redondeado.

El perfil de las partículas, por si mismo, no es un indicador de que un agregado está sobre o bajo el promedio en su capacidad de producir resistencia.

#### **2.4.5.4. El Aire**

Aire atrapado o natural, usualmente entre 1% a 3% del volumen de la mezcla, están en función a las características de los materiales que intervienen en la mezcla, especialmente de los agregados en donde el tamaño máximo y la



granulometría son fuentes de su variabilidad, también depende del proceso de construcción aplicado durante su colocación y compactación.

También puede contener intencionalmente aire incluido mayormente entre el 3% a 7% del volumen de la mezcla, con el empleo de aditivos. La presencia de aire en las mezclas tiende a reducir la resistencia del concreto por incremento en la porosidad del mismo.

#### **2.4.5.5. Los Aditivos**

El ACI 212 la define como: “un material distinto del agua, agregados y cemento hidráulico, que se usa como ingrediente de concretos y morteros el cual se añade a la mezcla inmediatamente antes o durante su mezclado”.

Su empleo puede radicar por razones de economía o por mejorar puntualmente alguna propiedad del concreto tanto en estado fresco o endurecido como por ejemplo: reducir el calor de hidratación, aumentar la resistencia inicial o final, etc.

#### **2.4.6. PASOS BÁSICOS PARA DISEÑAR UNA MEZCLA DE CONCRETO**

##### **1. Recaudar el siguiente conjunto de información:**

- ✓ Los materiales.
- ✓ Del elemento a vaciar; tamaño y forma de las estructuras.
- ✓ Resistencia a la compresión requerida.
- ✓ Condiciones ambientales durante el vaciado.
- ✓ Condiciones a la que estará expuesta la estructura.

## **2. Determinar la resistencia requerida**

Esta resistencia va estar en función a la experiencia del diseñador o la disponibilidad de información que tenga el mismo, pero siempre vamos a tener que diseñar para algo más de resistencia de tal manera que solo un pequeño porcentaje de las muestras puedan tener resistencias inferiores a la especificada.

## **3. Seleccionar el tamaño máximo nominal del agregado grueso (TNM).**

La mayoría de veces son las características geométricas y las condiciones de refuerzo de las estructuras las que limitan el tamaño máximo del agregado que pueden utilizarse, pero a la vez existen también consideraciones a tomar en cuenta como la producción, el transporte y la colocación del concreto que también pueden influir en limitarlo.

## **4. Selección del asentamiento**

El asentamiento no se encuentra especificado, esto dependerá del tipo de uso que se le dé al concreto, ya que puede variar desde concertó líquido hasta concreto seco.

## **5. Determinación del contenido de aire**

El porcentaje de contenido de aire atrapado en una mezcla de concreto en función del tamaño máximo nominal del agregado grueso.

## **6. Determinación del volumen de agua**

La cantidad de agua (por volumen unitario de concreto) que se requiere para producir un asentamiento dado, depende del tamaño máximo de agregado, de la forma de las partículas y gradación de los agregados y de la cantidad de aire incluido.

## **7. Seleccionar la relación agua/cemento**

La relación a/c requerida se determina no solo por los requisitos de resistencia, sino también por los factores como la durabilidad y propiedades para el acabado. Puesto que distintos agregados y cementos producen generalmente resistencias diferentes con la misma relación a/c, es muy conveniente conocer o desarrollar la relación entre la resistencia y la relación a/c de los materiales que se usaran realmente.

Para condiciones severas de exposición, la relación a/c deberá mantenerse baja, aun cuando los requisitos de resistencia puedan cumplirse con un valor más alto.

## **8. Cálculo del contenido de cemento**

Se obtiene dividiendo los valores hallados en los pasos 6 y 7.

## **9. Cálculo de los pesos de los agregados.**

Está en función del método de diseño específico a emplear o basado puntualmente en alguna teoría de combinación de agregados.

**10. Presentar el diseño de mezcla en condiciones secas.**

**11. Corrección por humedad del diseño de mezcla en estado seco**

Hay que tener en cuenta la humedad de los agregados para pesarlos correctamente. Generalmente los agregados están húmedos y a su peso seco debe sumarse el peso del agua que contienen, tanto absorbida como superficial.

**12. Cálculo del agua efectiva**

El agua a utilizarse en la mezcla de prueba debe incrementarse o reducirse en una cantidad igual a la humedad libre que contiene el agregado, esto es, humedad total menos absorción.

**13. Presentar el diseño de mezcla en condiciones húmedas.**

**14. Realizar los ajustes a las mezclas de pruebas**

Para obtener las proporciones de la mezcla de concreto que cumpla con las características deseadas, con los materiales disponibles se prepara una primera mezcla de prueba con unas proporciones iniciales que se determinan siguiendo los pasos que a continuación se indican.

A esta mezcla de prueba se le mide su consistencia y se compara con la deseada: si difieren, se ajustan las proporciones. Se prepara, luego, una segunda mezcla de prueba con las proporciones ajustadas, que ya garantiza la consistencia deseada; se toman muestras de cilindro de ella y se determina su resistencia a la compresión; se compara con la resistencia deseada y si difieren, se reajustan las proporciones. Se prepara una tercera mezcla de prueba con las proporciones reajustadas que debe cumplir con la consistencia y la resistencia deseada; en el

caso de que no cumpla alguna de las condiciones por algún error cometido o debido a la aleatoriedad misma de los ensayos, se pueden ser ajustes semejantes a los indicados hasta obtener los resultados esperados.

# **CAPÍTULO III**

---

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **CAPITULO III: MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. MATERIALES**

##### **3.1.1. CEMENTO PÓRTLAND TIPO I:**

El cemento Tipo I es un cemento de uso general en la construcción, que se emplea en obras que no requieren propiedades especiales. El cemento utilizado en esta investigación fue de la Marca Pacasmayo Tipo I, la cual se fabrica mediante la molienda conjunta de Clinker Tipo I y yeso, que brindan mayor resistencia inicial y menores tiempos de fraguado.

##### **3.1.1.1. Propiedades del Cemento tipo I**

- Mayores resistencias iniciales
- Menores tiempos de fraguado

##### **3.1.1.2. Aplicaciones del Cemento tipo I**

- Obras de concreto y concreto armado en general
- Estructuras que requieran un rápido desencofrado
- Concreto en clima frío
- Productos prefabricados
- Pavimentos y cimentaciones

##### **3.1.2. AGUA:**

Se define como Agua a aquel elemento líquido que necesita el concreto, especialmente el cemento para poder entrar en proceso de desarrollo. El agua utilizada en el diseño del concreto fue agua potable cuya procedencia es de la red de agua de la Universidad Nacional del Santa.

En relación con su empleo en el concreto, el agua tiene dos diferentes aplicaciones: como ingrediente en la elaboración de las mezclas y como medio de curado de las estructuras recién construidas. En el primer caso es de uso interno como agua de mezclado, y en el segundo se emplea exteriormente, cuando el concreto se cura con agua. Así, normalmente, en las especificaciones para concreto se hace referencia en primer término a los requisitos que debe cumplir el agua para elaborar el concreto, porque sus efectos son más importantes, y después se indica que el agua que se utilice para curarlo debe ser del mismo origen, o similar, para evitar que se subestime esta segunda aplicación y se emplee agua de curado con características inadecuadas.

### **3.1.2.1. Requisitos de calidad del agua para el concreto**

Los requisitos de calidad del agua de mezclado para concreto no tienen ninguna relación obligada con el aspecto bacteriológico (como es el caso de las aguas potables), sino que básicamente se refieren a sus características físico-químicas ya sus efectos sobre el comportamiento y las propiedades del concreto.

### **3.1.2.2. Efectos del agua en el concreto**

Los efectos indeseables que el agua de mezclado de calidad inadecuada puede producir en el concreto, son a corto, mediano y largo plazo. Los efectos a corto plazo normalmente se relacionan con el tiempo de fraguado y las resistencias iniciales, los de mediano plazo con las resistencias posteriores (a 28 días o más) y los de largo plazo pueden consistir en el ataque de sulfatos, la reacción álcali-agregado y la corrosión del acero de refuerzo. La prevención de los

---



efectos a largo plazo se consigue por medio del análisis químico del agua antes de emplearla, verificando que no contenga cantidades excedidas de sulfatos, álcalis, cloruros y dióxido de carbono disuelto, principalmente. Para prevenir los efectos a corto y mediano plazo, se acostumbra precalificar el agua mediante pruebas comparativas de tiempo de fraguado y de resistencia a compresión a 7 y 28 días.

### **3.1.2.3. Verificación de calidad del agua para el concreto**

La verificación de la calidad del agua de uso previsto para elaborar el concreto, debe ser una práctica obligatoria antes de iniciar la construcción de obras importantes. Sin embargo, puede permitirse que esta verificación se omita en las siguientes condiciones:

- El agua procede de la red local de suministro para uso doméstico y no se le aprecia olor, color ni sabor; no obstante que no posea antecedentes de uso en la fabricación de concreto.
- El agua procede de cualquier otra fuente de suministro que cuenta con antecedentes de uso en la fabricación de concreto con buenos resultados, y no se le aprecia olor, color ni sabor.
- El agua para uso industrial por lo común no es potable, no sólo en el aspecto bacteriológico sino también en el aspecto físico-químico, pues frecuentemente proviene del tratamiento de aguas negras o es agua reciclada de procesos industriales, por lo cual puede contener sustancias dañinas al concreto.

### **3.1.3. AGREGADO FINO:**

Se define como Agregado Fino a aquel proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, el cual pasa el tamiz 9.4 mm (3/8”) y cumple con los límites establecidos en las Normas NTP 400.037 o ASTM C 33.

El agregado fino utilizado en el diseño del concreto es Arena Gruesa cuya procedencia es de la Cantera “La Cumbre”. El agregado estará graduado dentro de los límites indicados en la Norma NTP 400.012 o ASTM C33. La granulometría seleccionada será preferentemente uniforme o continua, con valores retenidos en las mallas N° 4 a N° 100 de la serie Tyler. Se recomiendan para el agregado los límites de la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1.** Porcentaje que deben Pasar por cada Tamiz para Agregado Fino

<b>TAMIZ</b>	<b>% QUE PASA</b>
3/8" (9.500mm)	100
N° 4 (4.750mm)	95 – 100
N° 8 (2.360mm)	80 – 100
N° 16 (1.180mm)	50 – 85
N° 30 (600.000um)	25 – 60
N° 50 (300.000um)	10 – 30
N° 100 (150.000um)	2 - 10

*Fuente: ASTM C33*

El porcentaje retenido en dos mallas sucesivas no excederá del 45%. Si el agregado es empleado en concretos con aire incorporado o un contenido de cemento mayor de 255 kg/m<sup>3</sup>; o si una adición mineral aprobada es empleada para suplir las deficiencias en el porcentaje que pasa dichas mallas, el porcentaje

indicado para las mallas N° 50 y N° 100 podrá ser reducido a 5% y 0% respectivamente.

El módulo de fineza no deberá ser menor de 2,3 ni mayor de 3,1 obteniendo ser mantenido dentro de los límites de más o menos 0,2 del valor asumido para la selección de las proporciones de la mezcla. Si se sobrepasa el valor asumido para la selección de las proporciones de la mezcla.

#### **3.1.4. AGREGADO GRUESO:**

Se define como Agregado Grueso al material proveniente de la desintegración natural o artificial, retenido en el tamiz 4,75 mm (N°4) y que cumple con los límites establecidos en la Norma N.T.P. 400.012 o ASTM C 33. Para la siguiente investigación se trabajó con piedra chancada cuya procedencia es de la “Dulong”. Los agregados gruesos utilizados deben cumplir con las siguientes especificaciones técnicas:

- Deberá estar conformado por partículas limpias, de perfil preferentemente angular, duras, compactas, resistentes, y de textura preferentemente rugosa.
- Las partículas deberán ser químicamente estables y deberán estar libres de escamas, tierra, polvo, limo, humus, incrustaciones superficiales, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas.
- Es recomendable tener en consideración lo siguiente: Según NTP400.037 o la Norma ASTM C33:

- 1) La granulometría seleccionada deberá ser de preferencia continua y con porcentajes de retenidos especificados en la Tabla 3.2.
- 2) La granulometría seleccionada deberá permitir obtener la máxima densidad del concreto, con una adecuada trabajabilidad y consistencia en función de las condiciones de colocación de la mezcla.
- 3) La granulometría seleccionada no deberá tener más del 5% del agregado retenido en la malla de 11/2” y nomás del 6% del agregado que pasa la malla de 1/4”.

**Tabla 3.2.** Porcentaje que deben pasar por cada Tamiz, según Tamaño Máximo Nominal para Agregado Grueso

Tamaño nominal	Cantidades mas finas que cada tamiz de laboratorio (aberturas cuadradas), % en peso												
	4” 100 mm	3 1/2” 90 mm	3” 75 mm	2 1/2” 63 mm	2” 50 mm	1 1/2” 37.5 mm	1” 25.0 mm	3/4” 19.0 mm	1/2” 12.5 mm	3/8” 9.5 mm	No. 4 4.75 mm	No. 8 2.36 mm	No. 16 1.18 mm
3 1/2” a 1 1/2”	100	90-100	-	25-60	-	0-15	-	0-5					
2 1/2” a 1 1/2”	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5					
2” a No. 4	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5		
1 1/2” a No. 4	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5		
1” a 3/8”	-	-	-	-	-	100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5		
1” a No. 4	-	-	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5	
3/4” a No. 4	-	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	
2” a 1”	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5				
1 1/2” a 3/4”	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5			
1 a 1/4”	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-10	0-5			
3/4” a 3/8”	-	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5		
1 1/2” a No. 4	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5	
3/4” a No. 8	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	10-30	0-10	0-5

Fuente: ASTM C33

- Las Normas de Diseño Estructural recomiendan que el tamaño nominal máximo del agregado grueso sea el mayor que pueda ser económicamente disponible, siempre que él sea compatible con las dimensiones y características de la estructura. Se considera que, en ningún caso el tamaño nominal máximo del agregado no deberá ser mayor de:

- a)  $1/5$  de la menor dimensión entre las caras de encofrados.
- b)  $3/4$  del espacio libre mínimo entre barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, torones o ductos de presfuerzo.
- c)  $1/3$  del peralte de las losas

Estas limitaciones a menudo se evitan si la trabajabilidad y los métodos de compactación son tales que el concreto puede colocarse sin dejar zonas o vacíos en forma de panal.

- El porcentaje de partículas inconvenientes en el agregado grueso no deberá exceder de los siguientes valores:

Arcilla.....	0.25%
Partículas deleznales.....	5.00%
Material más fino que pasa la malla N ° 200.....	1.00%

- El agregado grueso cuyos límites de partículas perjudiciales excedan a los indicados, podrá ser aceptado siempre que en un concreto preparado con agregado de la misma procedencia; haya dado un servicio satisfactorio cuando ha estado expuesto de manera similar al estudiado; o en ausencia de un registro deservicios siempre que el concreto preparado con el agregado tenga características satisfactorias, cuando es ensayado en el laboratorio.

### **3.1.5. LADRILLO ROCOCHO:**

Ladrillos Rococho son unidades de albañilería hecho de arcillas las cuales son obtenidas luego de un proceso de cocción mucho mayor al de los ladrillos comunes, dichas unidades de albañilería son considerados como desperdicios por las Ladrilleras ya que son deformes, tienen el color más oscuro y negruzco además cuando se les golpea emiten un sonido metálico (Figura 3.1). Cabe recalcar que estas unidades son producidas básicamente por ladrilleras artesanales. Para esta investigación se utilizó unidades de ladrillo Rococho procedente de la “Ladrillera San Francisco”.



**Figura 3.1.** Vista de Ladrillo Rococho  
*Fuente: Los Autores*

#### **3.1.5.1. Proceso de obtención de ladrillos Rocochos:**

Los ladrillos Rocochos al igual que los ladrillos artesanales comunes siguen el mismo proceso de fabricación. A continuación se describe en líneas generales el proceso de selección de estas unidades de albañilería:

1. Ubicación de la cantera y extracción de la materia prima que por lo general se encuentra en el mismo lugar de trabajo. Las impurezas que puedan

presentarse en la materia prima como raíces de plantas, restos de arbustos, son retiradas manualmente en el caso de las unidades artesanales. Para las unidades semi-industriales, la materia prima es trasladada a un molino por medio de fajas, donde es triturada en partículas pequeñas para luego pasar por una zaranda que separa los elementos extraños que pueda tener.

2. Teniendo la materia prima se procede a la preparación de la mezcla, agregando agua que, en algunos casos, la obtienen de los ríos que se encuentran cerca a la ubicación de la cantera, o es transportada al sitio de preparación mediante camiones cisterna. Algunos fabricantes de ladrillos añaden otros materiales como aserrín, cascarilla de arroz, cenizas de cascarilla de arroz o diatomita como en el caso de los ladrillos semi-industriales. En esta etapa se busca formar una pasta húmeda y uniforme con la que se moldearán posteriormente las unidades de albañilería. Esta pasta húmeda se deja reposando por un periodo de 24 horas.



**Figura 3.2.** Preparación de la mezcla para la elaboración de las unidades de albañilería

*Fuente: Los Autores*

3. En la actividad artesanal, el moldeo de las unidades de albañilería se realiza en gaveras hechas de madera o metal, en las que se agrega arena en las paredes del molde para evitar que la mezcla se adhiera. Una vez llenado el molde con la mezcla, se retira el exceso con una regla de madera.



**Figura 3.3.** Moldeo de unidades de Albañilería  
*Fuente: Los Autores*

4. El secado de las unidades se hace a cielo abierto, tanto para la actividad artesanal como semi-industrial, sobre una superficie horizontal, permaneciendo durante 24 horas en una posición y luego cambiando de posición, hasta completar el tiempo de secado.





**Figura 3.4.** Secado de unidades de Albañilería  
*Fuente: Los Autores*

5. Las unidades son llevadas al horno para su cocción. Esta cocción se hace a través de hornos artesanales que funcionan a base de carbón y leña.



**Figura 3.5.** Horno para cocción de unidades de Albañilería  
*Fuente: Los Autores*

6. Después del proceso de cocción, las unidades de albañilería son seleccionadas. Las unidades cocinadas más uniformes y de buena calidad son llevadas al mercado para su comercialización, mientras que las
-

unidades bien cocidas, deformes y desteñidas son acumuladas para luego ser botadas, estas unidades son a los que conocemos popularmente como “Ladrillo Rococho”.



**Figura 3.6.** Acumulación de Ladrillos Rocochos  
*Fuente: Los Autores*

## **3.2. MÉTODOS**

### **3.2.1. MÉTODO DE GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS**

La resistencia de un concreto depende principalmente de los agregados, influyendo en menor grado la forma y textura de partículas, como por ejemplo en los concretos sin finos donde no solo la resistencia, sino el peso volumétrico está regido por estos factores.

La granulometría es otro factor importante que influye también en la resistencia y peso volumétrico del concreto, que disminuyen si se disminuye la porción de agregado fino usado. De acuerdo con investigaciones de laboratorio, puede lograrse buena resistencia en concretos que contengan más del 30% de

agregado fino de 0 a 1 mm. Por esta razón, cuando quiere aumentar la resistencia de un concreto ligero, el agregado fino puede sustituirse parcial o totalmente por arena.

### **3.2.2. MÉTODO DE PROPORCIÓN DE CEMENTO.**

El incremento en resistencia y peso volumétrico de los concretos ligeros no varía en forma lineal con el aumento de cemento. De hecho, pueden obtenerse concretos más resistentes y más ligeros con bajas cantidades de cemento. Por lo general, la resistencia y peso de un concreto dependen del grado de compactación, un concreto con alto contenido de cemento y mala compactación puede ser menos resistentes que otro con mayor cantidad de cemento pero vigorosamente compactado.

### **3.2.3. MÉTODO DE CANTIDAD DE AGUA A Y CONSISTENCIA.**

La trabajabilidad es uno de los factores ms importantes en las mezclas de concreto. Tanto los concretos ordinarios como los de agregados ligeros deben llenar completamente los moldes o formas donde se vacían y deben adaptarse a la forma de estas recubriendo totalmente el refuerzo. Esto se logra solo cuando el concreto elaborado posee una buena consistencia. A diferencia de los concretos ordinarios, en los concretos ligeros no existe un método apropiado para la determinación de la consistencia.

La cantidad de agua afecta la consistencia en menor grado a los concretos ligeros que al ordinario debido al alto grado de absorción de los agregados. Inclusive, la resistencia que se requiera obtener en un concreto ligero no puede lograrse sin

una adecuada cantidad de agua, la cual en la mayoría de los casos es difícil de precisar ya que la absorción de los agregados dificulta su determinación.

En algunos países, la manejabilidad de las mezclas con concretos de agregados ligeros es aumentada la adición de agentes químicos resinosos.

#### **3.2.4. MÉTODOS DE MEZCLADO:**

La resistencia de los concretos de agregados ligeros se ve afectada también por el tipo de mezclado que se use. Cuando se usa una mezcladora de tipo positivo, la resistencia obtenida es de 30 a 100 % mayor que en las mezcladoras tipo gravedad. Este último tipo de mezcladora es adecuada para concretos con bajo contenidos de finos, en cambio las otras son convenientes cuando la cantidad de finos es alrededor de 30 a 50%.

La resistencia final del concreto de agregados ligeros también se ve influida por la secuencia en que se mezclan los materiales que los integran; cuando el cemento se mezcla con los agregados previamente saturados, la resistencia obtenida es mayor. No se recomienda mezclar inicialmente cemento con agregado, ya que en este caso la resistencia puede disminuir hasta en un 20%.

#### **3.2.5. MÉTODO DE COMPACTACIÓN:**

La resistencia y peso volumétrico de los concretos de agregados ligeros depende también de su compactación, la cual a su vez depende de la densidad, contenido de finos, contenido de cemento y consistencia de la mezcla.

Los concretos de granulometría continua son generalmente compactados por vibración; en los concretos sin finos se utiliza varillado o apisonado.

### **3.2.6. MÉTODO DE CURADO:**

Debe tenerse mucho de cuidado en el curado que se le dé a los concretos de agregados ligeros. Los concretos con agregados porosos cuando no se someten a un curado inadecuado pierden su contenido de agua y la hidratación no es completa, produciéndose la desintegración del material. Los concretos frescos son muy afectados por el sol y el viento, por lo que deben ser protegidos por los agentes mediante aspersión de agua, la cual no debe aplicarse prematuramente, pero si debe mantenerse por lo menos durante una semana.

### **3.2.7. MÉTODO DE DISEÑO DE MEZCLAS ACI 211**

Este procedimiento propuesto por el comité ACI 211, está basado en el empleo de tablas confeccionadas por el Comité ACI 211 la cual sigue la siguiente secuencia:

- a. Selección de la resistencia requerida ( $F'_{cr}$ ):** El comité del ACI considera que el cálculo del  $f'c$  será según la Tabla 3.3.

**Tabla 3.3.** Resistencia Requerida según la Resistencia de Diseño

<b><math>F'c</math> Diseño (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b><math>F'_{cr}</math> Requerido (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>
Menores a 210	$F'c + 70$
210 - 350	$F'c + 84$
Mayores a 350	$F'c + 98$

*Fuente: ACI 211*

- b. Selección del Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso:** El TNM del agregado grueso se seleccionara de acuerdo al tipo de elemento estructural o no estructural a realizar.

c. **Selección del asentamiento** según la Tabla 3.4.

**Tabla 3.4.** Asentamientos recomendados para diversos tipos de estructuras

TIPO DE ESTRUCTURA	SLUMP MÁXIMO	SLUMP MÍNIMO
Zapatas y muros de cimentación reforzados	3”	1”
Cimentaciones simples y calzaduras	3”	1”
Vigas y muros armados	4”	1”
Columnas	4”	2”
Muros y pavimentos	3”	1”
Concreto ciclópeo	2”	1”

*Fuente: ACI 211*

d. **Seleccionar el contenido de aire atrapado:** el aire atrapo del concreto se calcula mediante la Tabla 3.5.

**Tabla 3.5.** Contenido de Aire Atrapado

TNM del agregado Grueso	Aire Atrapado %
3/8”	3.0
1/2”	2.5
3/4”	2.0
1”	1.5
1 1/2”	1.0
2”	0.5
3”	0.3
4”	0.2

*Fuente: ACI 211*

e. **Seleccionar el contenido de agua** según la Tabla 3.6.

**Tabla 3.6.** Volumen de agua por metro cubico.

Asentamiento	Agua en lt/m <sup>3</sup> , para TNM agregados y consistencia indicadas							
	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1 1/2"	2"	3"	6"
Concreto sin aire incorporado								
1" a 2"	207	199	190	179	166	154	130	113
3" a 4"	228	216	205	193	181	169	145	124
6" a 7"	243	228	216	202	190	178	160	--
Concreto con aire incorporado								
1" a 2"	181	175	168	160	150	142	122	107
3" a 4"	202	193	184	175	165	157	133	119
6" a 7"	216	205	187	184	174	166	154	--

*Fuente: ACI 211*

f. **Selección de la relación agua/cemento:** sea por resistencia a compresión o por durabilidad según las Tablas 3.7 y 3.8.

**Tabla 3.7.** Relación Agua/Cemento por Resistencia.

f'c Kg/cm <sup>2</sup>	Relación a/c en peso	
	Concreto sin aire incorporado	Concreto con aire incorporado
150	0.8	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	
450	0.38	

*Fuente: ACI 211*



**Tabla 3.8.** Relación Agua/Cemento por Durabilidad.

Condiciones de exposición	Relación a/c máxima, en concretos con agregados de peso normal	Resistencia en compresión mínima en concretos con agregados livianos
Concreto de baja permeabilidad		
Expuesto al agua dulce	0.50	260
Expuesto ala agua de mar o aguas solubles	0.45	
Expuesto a la acción de aguas cloacales	0.45	
Concretos expuestos a procesos de congelación y deshielo en condiciones húmedas		
Sardineles, cunetas, secciones delgadas	0.45	300
Otros elementos	0.50	
Protección contra la corrosión del concreto expuesto a la acción de agua de mar, aguas salubres, neblina o rocío de estas aguas	0.40	325
Si el recubrimiento mínimo se incrementa en 15 mm.	0.45	300

La resistencia f'c no deberá ser menor de 245 Kg/cm<sup>2</sup> por razones de durabilidad

*Fuente: ACI 211*

- g. Cálculo del contenido de cemento:** con la relación Agua/Cemento y con la cantidad de agua.
- h. Seleccionar el peso del agregado grueso** por unidad de volumen según la Tabla 3.9.

**Tabla 3.9.** Peso del agregado grueso por unidad de volumen del concreto

TNM del agregado Grueso	Volumen del agregado grueso seco y compactado por unidad de volumen de concreto para diversos Módulos de fineza del fino (b/bo)			
	2.40	2.60	2.80	3.00
3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
1"	0.71	0.69	0.67	0.65
1 1/2"	0.76	0.74	0.72	0.70
2"	0.78	0.76	0.74	0.72
3"	0.81	0.79	0.77	0.75
6"	0.87	0.85	0.83	0.81

*Fuente: ACI 211*



- i. **Calcular la suma de los volúmenes absolutos** de todos los materiales sin considerar el agregado fino.
- j. **Cálculo del volumen del agregado fino.**
- k. **Cálculo del peso en estado seco del agregado fino.**
- l. **Presentación del diseño en estado seco.**
- m. **Corrección del diseño** por el aporte de humedad de los agregados.
- n. **Presentación del diseño** en estado húmedo.

### **3.2.8. MÉTODO DE PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO**

La resistencia a la compresión simple es la característica mecánica principal del concreto, dada la importancia que reviste esta propiedad, dentro de una estructura convencional de concreto reforzado, la forma de expresarla es, en términos de esfuerzo, generalmente en kg/cm<sup>2</sup> y con alguna frecuencia lb/pulg<sup>2</sup>(p.s.i). La equivalencia que hay entre los dos es que 1 psi es igual a 0.07kg/cm<sup>2</sup>. Aunque hoy en día se ha acogido expresarla en MPa de acuerdo con el sistema internacional de unidades.

La forma de evaluar la resistencia del concreto es mediante pruebas mecánicas que pueden ser destructivas, las cuales permiten probar repetidamente la muestra de manera que se pueda estudiar la variación de la resistencia u otras propiedades con el paso del tiempo. Para las primeras se utilizan tres tipos de muestras: cilindros, cubos y prismas. Para las segundas hay diferentes sistemas.

El ensayo más universalmente reconocido para ejecutar pruebas de resistencia mecánica a la compresión simple es el ensayo de probetas cilíndricas, las cuales se funden en moldes especiales de acero o hierro fundido que tienen 150mm de diámetro por 300mm de altura (relación diámetro: altura 1:2). Los procedimientos relativos a este ensayo se encuentran especificados en las normas NTC 550 y 673 que hacen referencia a la confección de cilindros y al ensayo de resistencia compresión. Una vez que la muestra de concreto fresco ha sido correctamente seleccionada de acuerdo con los procedimientos descritos en la norma NTC 454, de manera que sea representativa de toda la masa, se procede de la siguiente manera:

- Antes de colocar el concreto en el molde, es necesario aceitar el interior del cilindro para evitar que el concreto se adhiera al metal; para hacer esto, es suficiente untar las paredes y el fondo con una brocha impregnada de aceite mineral; la capa de aceite debe ser delgada y en el fondo no debe acumular aceite.
- Los cilindros para pruebas de aceptación deben tener un tamaño de (15x30cm). Se llena en tres capas de igual altura (10cm) y cada capa se apisona con una varilla lisa de 16mm de diámetro con uno de sus extremos redondeados, la cual se introduce 25 veces por capa en diferentes sitios de la superficie del concreto, teniendo en cuenta de que la varilla solo atraviese la capa que se esta compactando, sin pasar a la capa siguiente.

Al final de la compactación se completa el llenado del molde con más mezcla y se alisa la superficie con la ayuda de un palustre o de una regla.

- Una vez que se ha llenado cada capa, se dan unos golpes con la varilla o con un martillo de caucho a las paredes de este, hasta que la superficie del concreto cambie de mate a brillante, con el objeto de eliminar las burbujas de aire que se hayan podido adherir al molde o hayan quedado embebidas en el concreto. Los cilindros recién confeccionados deben quedar en reposo, en sitio cubierto y protegidos de cualquier golpe o vibración y al día siguiente se les quita el molde cuidadosamente. Inmediatamente después de remover el molde, los cilindros deben ser sometidos a un proceso de curado en tanques de agua con cal, o en un cuarto de curado a 23°C, con el fin de evitar la evaporación del agua que contiene el cilindro, por la acción del aire o del sol, y en condiciones estables de temperatura para que el desarrollo de resistencia se lleve a cabo en condiciones constantes a través del tiempo. En estas condiciones los cilindros deben permanecer hasta el día del ensayo.
- La resistencia a la compresión del concreto se mide con una prensa que aplica carga sobre la superficie del cilindro (Norma NTC 673). Generalmente esta superficie es áspera y no plana, lo cual puede conducir a concentraciones de esfuerzo que reducen considerablemente la resistencia real del concreto. Una falta de planicie de 0.25mm puede reducir a un tercio la resistencia. Para remediar esta situación, normalmente se

hace un refrentado o cabeceado de las tapas del cilindro con materiales como yeso o mezclas compuestas de azufre, tal como se especifica en la norma NTC 504. La resistencia a la compresión, se acostumbra a dar en términos de esfuerzo o sea fuerza por unidad de área, en kg/cm<sup>2</sup>

### **3.2.8.1. Resistencia del Concreto**

Los cilindros se deben centrar en la máquina de ensayo de compresión y cargados hasta completar la ruptura. El régimen de carga con maquina hidráulica se debe mantener en un rango de 0.15 a 0.35MPa/s durante la última mitad de la fase de carga. Se debe anotar el tipo de ruptura. La fractura cónica es un patrón común de ruptura.

La resistencia del concreto se calcula dividiendo la máxima carga soportada por la probeta para producir la fractura entre el área promedio de la sección. ASTM C 39 presenta los factores de corrección en caso de que la razón longitud diámetro del cilindro se halle entre 1.75 y 1.00, lo cual es poco común. Se someten a prueba por lo menos dos cilindros de la misma edad y se reporta la resistencia promedio como el resultado de la prueba, al intervalo más próximo de 0.1 MPa.

El técnico que efectúe la prueba debe anotar la fecha en que se recibieron las probetas en el laboratorio, la fecha de la prueba, la identificación de la probeta, el diámetro del cilindro, la edad de los cilindros de prueba, la máxima carga aplicada, el tipo de fractura y todo defecto que presenten los cilindros o su cabeceo. Si se mide, la masa de los cilindros también deberá quedar registrada.

La mayoría de las desviaciones con respecto a los procedimientos estándar para elaborar, curar y realizar el ensayo de las probetas de concreto resultan en una menor resistencia medida.

El rango entre los cilindros compañeros del mismo conjunto y probado a la misma edad deberá ser en promedio de aproximadamente 2 a 3% de la resistencia promedio. Si la diferencia entre los dos cilindros compañeros sobrepasa con demasiada frecuencia 8%, o 9.5% para tres cilindros compañeros, se deberán evaluar y rectificar los procedimientos de ensayo en el laboratorio.

Los informes o reportes sobre las pruebas de resistencia a la compresión son una fuente valiosa de información para el equipo del proyecto para el proyecto actual.

# **CAPÍTULO IV**

---

## **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

## **CAPITULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES**

### **4.1. RESULTADOS:**

#### **4.1.1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES**

##### **4.1.1.1. Propiedades del Cemento:**

Marca : Pacasmayo

Tipo : I

Peso Específico : 3.11 gr/cm<sup>3</sup>

##### **4.1.1.2. Propiedades del Agua:**

Tipo : Potable

Peso Específico : 1000 Kg/m<sup>3</sup>

PH : 7.8 (Agua Potable)

##### **4.1.1.3. Propiedades del Arena Gruesa:**

Cartera : “La Cumbre”

Peso Específico : 2.71 gr/cm<sup>3</sup>

Absorción : 1.11 %

Contenido de Humedad : 0.27 %

Módulo de Fineza : 2.75

Peso unitario Suelto : 1534 Kg/m<sup>3</sup>

#### **4.1.1.4. Propiedades del Piedra:**

Cartera	: “Dulong”
Perfil	: Chancada
Tamaño Máximo nominal	: 3/4" (Elementos estructurales de edificaciones)
Peso Específico	: 2.92 gr/cm <sup>3</sup>
Absorción	: 0.38 %
Contenido de Humedad	: 0.18 %
Peso unitario Compactado	: 1615 Kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario Suelto	: 1480 Kg/m <sup>3</sup>
Abrasión	: 27.6%

#### **4.1.1.5. Propiedades del Ladrillo Rococho:**

Ladrillera	: “San Francisco”
Perfil	: Chancado
Tamaño Máximo nominal	: 3/4"
Peso Específico	: 1.86 gr/cm <sup>3</sup>
Absorción	: 8.61 %

---



Contenido de Humedad : 0.86 %

Peso unitario Compactado : 937 Kg/m<sup>3</sup>

Peso unitario Suelto : 808 Kg/m<sup>3</sup>

Abrasión : 50.2%

#### **4.1.2. ESPECIFICACIONES DEL DISEÑO DE MEZCLAS:**

Resistencia especificada : 210 Kg/cm<sup>2</sup>

Factor de Corrección : 84 Kg/cm<sup>2</sup>

Resistencia Requerida : 294 Kg/cm<sup>2</sup>

Asentamiento : 3” – 4”

Dosificación :

**Tabla 4.1.** Dosificación obtenida del diseño de mezclas.

<b>% Sustituido</b>	<b>Cemento</b>	<b>Arena</b>	<b>Piedra Chancada</b>	<b>Ladrillo Rococho</b>	<b>Agua</b>
<b>Patrón</b>	1	2.31	2.76	0.00	0.58
<b>25%</b>	1	2.31	2.07	0.44	0.62
<b>50%</b>	1	2.31	1.38	0.89	0.65
<b>75%</b>	1	2.31	0.69	1.33	0.68
<b>100%</b>	1	2.31	0.00	1.77	0.72

*Fuente: Los Autores*

#### 4.1.3. TRABAJABILIDAD Y CANTIDAD TESTIGOS ELABORADOS:

**Tabla 4.2.** Slump y testigos sacados por tanda.

<b>% Sustitución</b>	<b>Slump (in)</b>	<b># Testigos D=15cm</b>	<b># Testigos D=10cm</b>
<b>Patrón</b>	2.9	8	2
<b>25%</b>	3.1	8	2
<b>50%</b>	3.0	8	2
<b>75%</b>	3.1	8	2
<b>100%</b>	3.2	8	2

*Fuente: Los Autores*

#### 4.1.4. PESOS UNITARIOS EN ESTADO FRESCO:

**Tabla 4.3.** Peso Unitario En Estado Fresco del Diseño Patrón.

<b>Peso (Kg)</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>PU (Kg/cm<sup>3</sup>)</b>
13.073	15	30.2	2449.60
13.227	15.2	30	2429.76
12.986	15	30.1	2441.39
13.371	15.1	30.1	2480.58
13.135	15.2	30.1	2404.84
13.021	15.2	30.2	2376.08
13.271	15.2	30	2437.84
13.200	15	30.1	2481.62
<b>Promedio =</b>			<b>2437.71</b>

*Fuente: Los Autores*

**Tabla 4.4.** Peso Unitario En Estado Fresco Reemplazando el 25% de Rococho

<b>Peso (Kg)</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>PU (Kg/cm3)</b>
12.784	15.1	30.1	2371.68
12.731	15.2	30	2338.64
12.981	15.2	30	2384.57
12.821	15	30.2	2402.38
12.702	15	30.1	2387.99
12.926	15.2	30.1	2366.58
12.824	15.2	30.2	2340.13
12.854	15	30.1	2416.57
<b>Promedio =</b>			<b>2376.07</b>

*Fuente: Los Autores*

**Tabla 4.5.** Peso Unitario En Estado Fresco Reemplazando el 50% de Rococho

<b>Peso (Kg)</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>PU (Kg/cm3)</b>
12.267	15	30.2	2298.58
12.134	15	30.1	2281.21
12.374	15.2	30	2273.06
12.023	15	30.1	2260.34
12.436	15.2	30.1	2276.86
12.339	15.1	30.1	2289.13
12.367	15.2	30	2271.78
12.154	15.2	30.2	2217.87
<b>Promedio =</b>			<b>2271.10</b>

*Fuente: Los Autores*

**Tabla 4.6.** Peso Unitario En Estado Fresco Reemplazando el 75% de Rococho

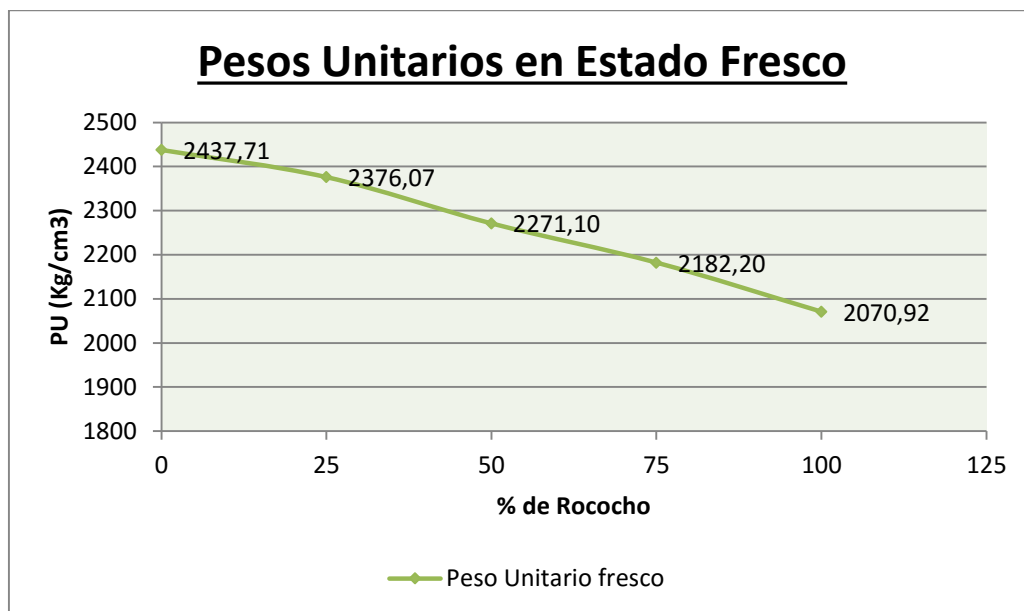
<b>Peso (Kg)</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>PU (Kg/cm3)</b>
11.814	15.2	30	2170.19
11.708	15.1	30.1	2172.06
11.853	15	30.2	2221.00
11.966	15.2	30.2	2183.56
11.713	15.2	30.1	2144.49
11.759	15.2	30	2160.09
11.777	15	30.1	2214.09
11.66	15	30.1	2192.10
<b>Promedio =</b>			<b>2182.20</b>

*Fuente: Los Autores*

**Tabla 4.7.** Peso Unitario En Estado Fresco Reemplazando el 100% de Rococho

<b>Peso (Kg)</b>	<b>Diámetro (cm)</b>	<b>Altura (cm)</b>	<b>PU (Kg/cm3)</b>
11.242	15.2	30.2	2051.44
11.181	15	30.1	2102.04
11.160	15.2	30	2050.06
11.080	15.1	30.1	2055.56
11.169	15.2	30.1	2044.89
11.289	15	30.2	2115.32
11.047	15.2	30	2029.30
11.270	15	30.1	2118.78
<b>Promedio =</b>			<b>2070.92</b>

*Fuente: Los Autores*



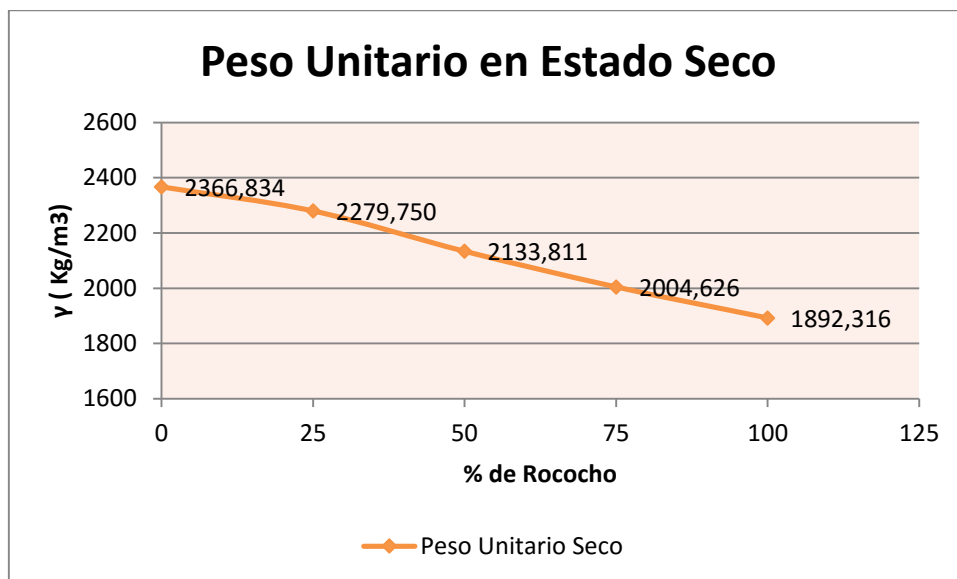
**Figura 4.1.** Grafica de Pesos Unitarios En Estado Fresco del Concreto con Ladrillo Rococho  
*Fuente: Los Autores*

#### 4.1.5. PESOS UNITARIOS EN ESTADO SECO:

**Tabla 4.8.** Pesos Unitarios En Estado Seco del Concreto con Ladrillo Rococho

% Sustitución	Peso (kg)	D (cm)	H (cm)	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )
<b>Patrón</b>	3.974	10.2	20.3	2395.75	<b>2366.834</b>
	3.935	10.3	20.2	2337.92	
<b>25%</b>	3.817	10.3	20.1	2279.09	<b>2313.665</b>
	3.876	10.2	20.2	2348.24	
<b>50%</b>	3.561	10.3	20.2	2115.71	<b>2155.012</b>
	3.604	10.2	20.1	2194.31	
<b>75%</b>	3.342	10.2	20.3	2014.75	<b>2019.267</b>
	3.357	10.2	20.3	2023.79	
<b>100%</b>	3.200	10.2	20.2	1938.69	<b>1911.047</b>
	3.170	10.3	20.2	1883.40	

*Fuente: Los Autores*



**Figura 4.2.** Grafica de Pesos Unitarios En Estado Seco del Concreto con Ladrillo Rococho

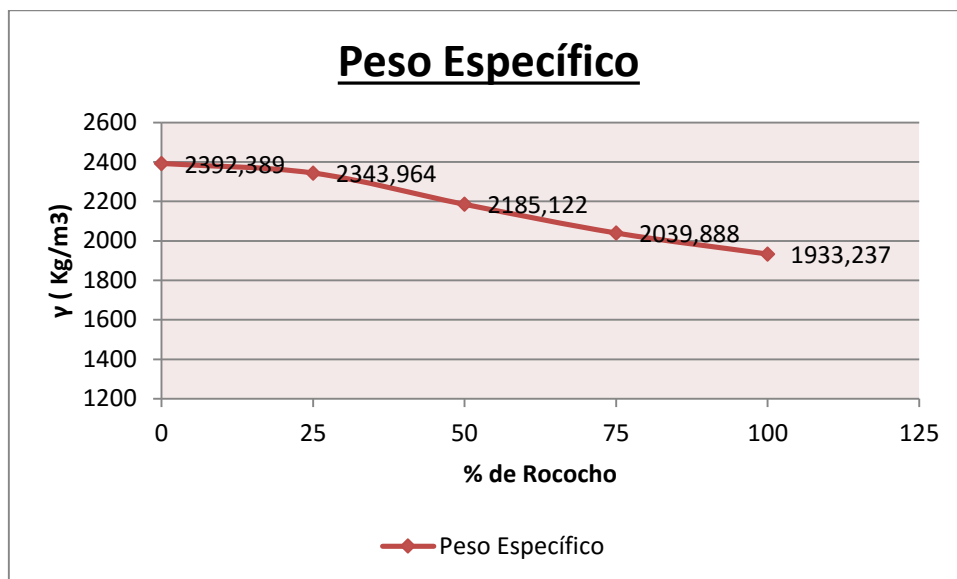
*Fuente: Los Autores*

#### 4.1.6. PESOS ESPECÍFICOS:

**Tabla 4.9.** Pesos Específicos del Concreto con Ladrillo Rococho

% Sustitución	Peso Seco(kg)	Peso Saturado en el agua (Kg)	γ (kg/m <sup>3</sup> )	γ (kg/m <sup>3</sup> )
<b>Patrón</b>	3.974	2.314	2393.98	<b>2392.310</b>
	3.935	2.289	2390.64	
<b>25%</b>	3.857	2.181	2301.31	<b>2311.297</b>
	3.916	2.229	2321.28	
<b>50%</b>	3.591	1.887	2107.39	<b>2168.088</b>
	3.624	1.998	2228.78	
<b>75%</b>	3.342	1.699	2034.08	<b>2039.271</b>
	3.357	1.715	2044.46	
<b>100%</b>	3.229	1.594	1974.92	<b>1929.447</b>
	3.150	1.478	1883.97	

*Fuente: Los Autores*



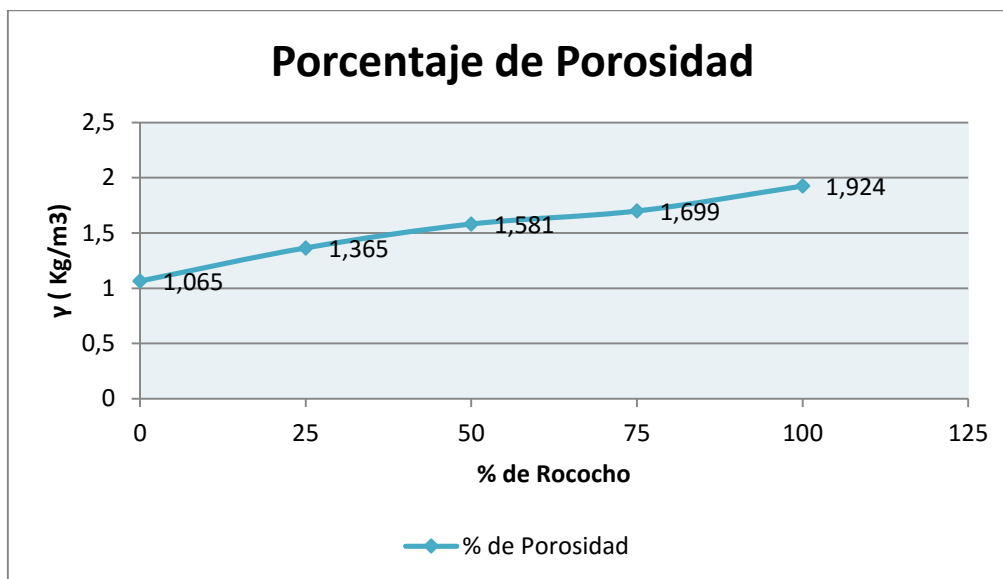
**Figura 4.3.** Grafica de Pesos Específicos del Concreto con Ladrillo Rococho  
*Fuente: Los Autores*

#### 4.1.7. PORCENTAJES DE POROSIDAD:

**Tabla 4.10.** Porcentaje de Porosidad de Concreto con Ladrillo Rococho

% Sustitución	Peso Unitario Seco (Kg/m3)	Peso Específico (Kg/m3)	% Porosidad
<b>Patrón</b>	2366.834	2392.310	<b>1.065</b>
<b>25%</b>	2279.750	2311.297	<b>1.365</b>
<b>50%</b>	2133.811	2168.088	<b>1.581</b>
<b>75%</b>	2004.626	2039.271	<b>1.699</b>
<b>100%</b>	1892.316	1929.447	<b>1.924</b>

*Fuente: Los Autores*



**Figura 4.4.** Grafica de Porcentajes de Porosidad del Concreto con Ladrillo Rococho

*Fuente: Los Autores*

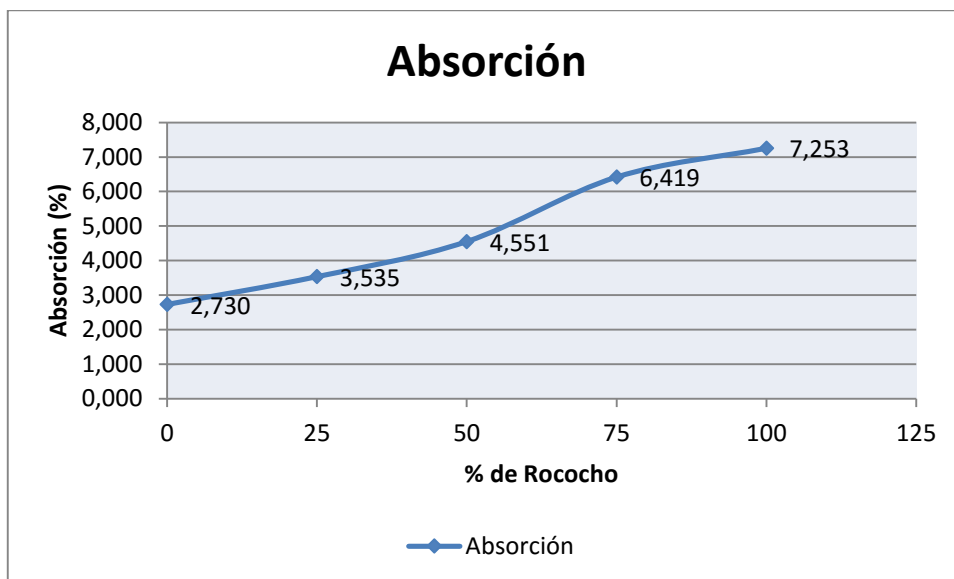
#### 4.1.8. PORCENTAJES ABSORCIÓN:

**Tabla 4.11.** Porcentaje de Absorción del Concreto con Ladrillo Rococho

% Sustitución	Peso Seco (Kg)	Peso Saturado con Superficie Seca (Kg)	Absorción (%)	Absorción (%)
<b>Patrón</b>	3.974	4.081	2.693	<b>2.730</b>
	3.935	4.0439	2.767	
<b>25%</b>	3.817	3.948	3.432	<b>3.535</b>
	3.876	4.017	3.638	
<b>50%</b>	3.561	3.731	4.774	<b>4.551</b>
	3.604	3.76	4.329	
<b>75%</b>	3.342	3.558	6.463	<b>6.419</b>
	3.357	3.571	6.375	
<b>100%</b>	3.200	3.427	7.094	<b>7.253</b>
	3.170	3.405	7.413	

*Fuente: Los Autores*





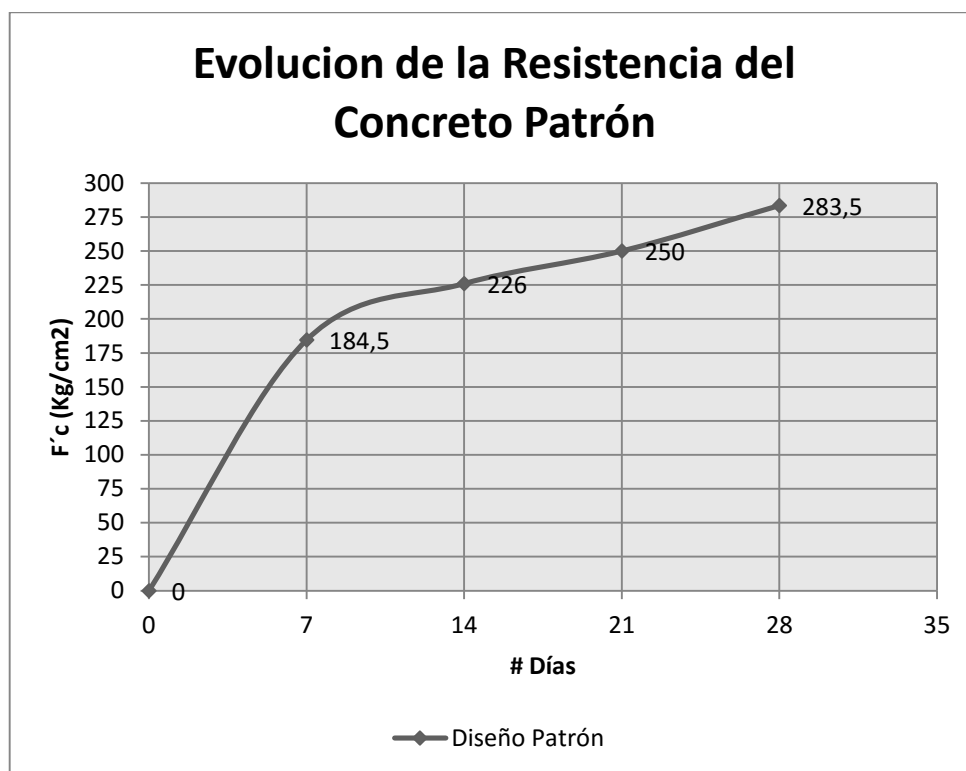
**Figura 4.5.** Grafica de Porcentajes de Absorción del Concreto con Ladrillo Rococho  
*Fuente: Los Autores*

#### 4.1.9. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO:

**Tabla 4.12.** Resistencia a la Compresión del Concreto Patrón

% Sustituido	# Días	P (Kg)	F'c (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c (Kg/cm <sup>2</sup> )
Patrón	7	32660	185	<b>184.5</b>
		32556	184	
	14	39378	223	<b>226</b>
		40542	229	
	21	45769	259	<b>250</b>
		42588	241	
28	51070	289	<b>283.5</b>	
	49126	278		

*Fuente: Los Autores*

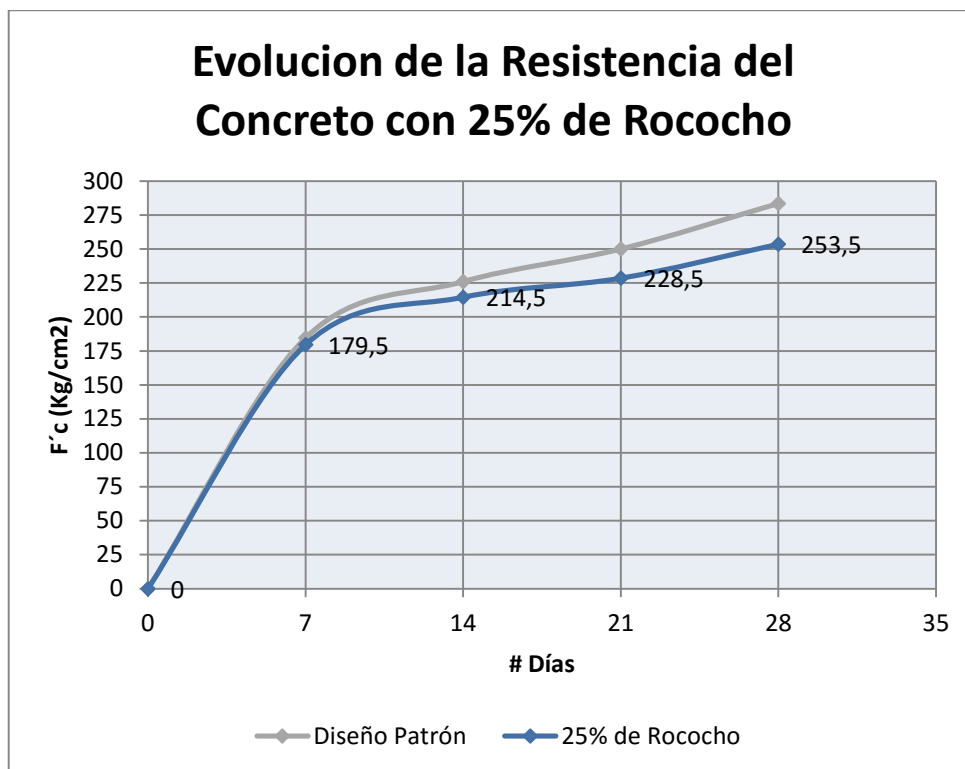


**Figura 4.6.** Grafica de Evolución de la Resistencia del Concreto Patrón  
*Fuente: Los Autores*

**Tabla 4.13.** Resistencia a la Compresión del Concreto con 25% de Ladrillo  
Rococho

% Sustituido	# Días	P (Kg)	F'c (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c (Kg/cm <sup>2</sup> )
<b>25%</b>	7	30925	175	<b>179.5</b>
		32498	184	
	14	39069	221	<b>214.5</b>
		36745	208	
	21	41237	233	<b>228.5</b>
		39659	224	
	28	43681	247	<b>253.5</b>
		45922	260	

*Fuente: Los Autores*

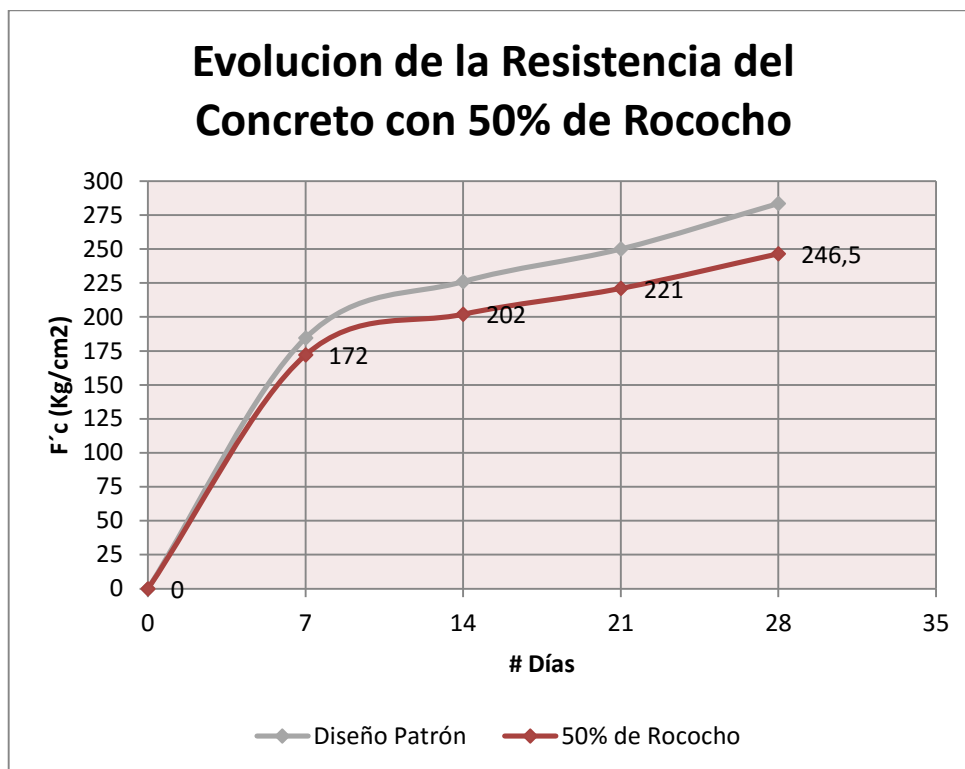


**Figura 4.7.** Grafica de Evolución de la Resistencia del Concreto con 25% de Rococho  
Fuente: Los Autores

**Tabla 4.14.** Resistencia a la Compresión del Concreto con 50% de Ladrillo Rococho

% Sustituido	# Días	P (Kg)	F'c (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c (Kg/cm <sup>2</sup> )
50%	7	29949	169	172
		30930	175	
	14	34852	197	202
		36495	207	
	21	39236	222	221
		38878	220	
	28	42849	242	246.5
		44393	251	

Fuente: Los Autores

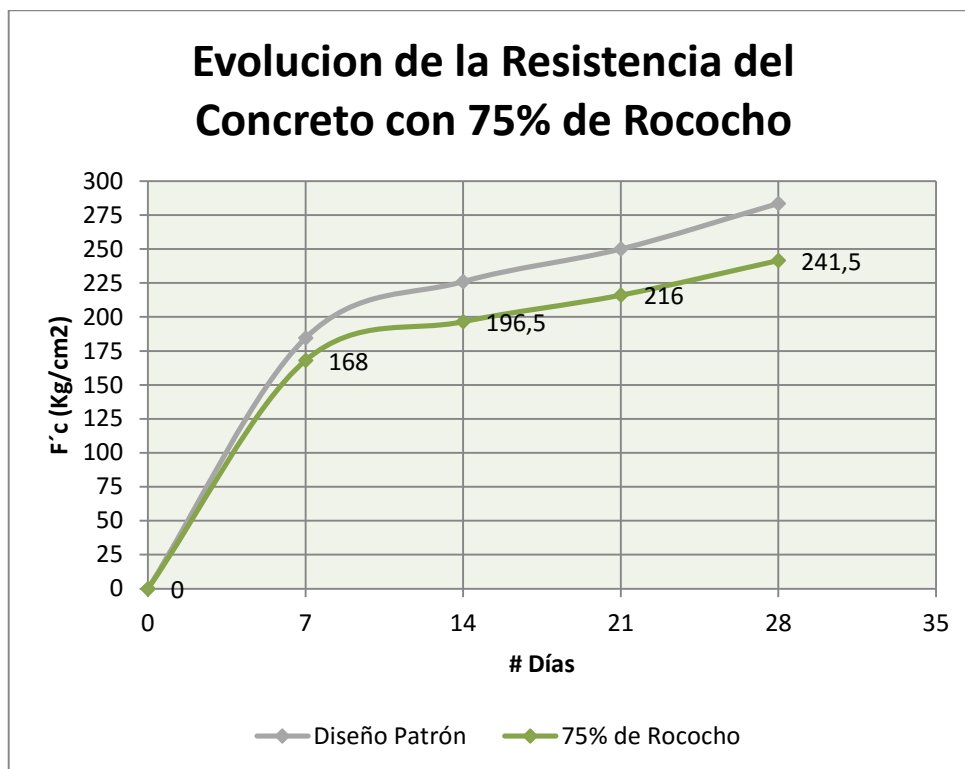


**Figura 4.8.** Grafica de Evolución de la Resistencia del Concreto con 50% de Rococho  
*Fuente: Los Autores*

**Tabla 4.15.** Resistencia a la Compresión del Concreto con 75% de Ladrillo Rococho

% Sustituido	# Días	P (Kg)	F'c (Kg/cm2)	F'c (Kg/cm2)
<b>75%</b>	7	29333	166	<b>168</b>
		30029	170	
	14	33752	191	<b>196.5</b>
		35695	202	
	21	37536	212	<b>216</b>
		38878	220	
	28	43284	245	<b>241.5</b>
		41993	238	

*Fuente: Los Autores*

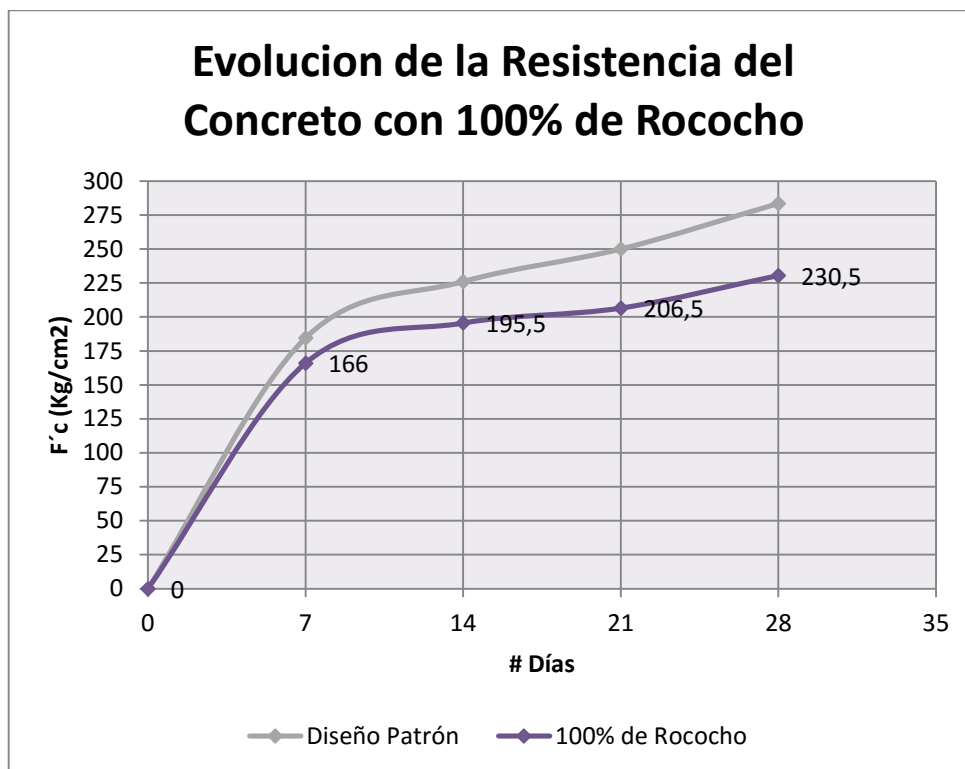


**Figura 4.9.** Grafica de Evolución de la Resistencia del Concreto con 50% de Rococho  
*Fuente: Los Autores*

**Tabla 4.16.** Resistencia a la Compresión del Concreto con 100% de Ladrillo Rococho

% Sustituido	# Días	P (Kg)	F'c (Kg/cm2)	F'c (Kg/cm2)
100%	7	30180	171	166
		28393	161	
	14	34282	194	195.5
		34813	197	
	21	33325	211	206.5
		35629	202	
	28	41472	235	230.5
		34877	226	

*Fuente: Los Autores*



**Figura 4.10.** Grafica de Evolución de la Resistencia del Concreto con 100% de Rococho

*Fuente: Los Autores*

#### 4.1.10. CALCULO DEL FACTOR DE CORRECCIÓN PARA OBTENER UN CONCRETO DE $F'c = 210 \text{ KG/CM}^2$ ÓPTIMO:

**Tabla 4.17.** Calculo del Cemento con Agua Efectiva manteniendo la Relación Agua/ Cemento = 0.56 por metro cubico

<b>% Sustituido</b>	<b>Agua (Lt)</b>	<b>R = A/C</b>	<b>Cemento (Kg)</b>
<b>25%</b>	225.990	0.56	<b>403.554</b>
<b>50%</b>	237.944	0.56	<b>424.900</b>
<b>75%</b>	249.898	0.56	<b>446.246</b>
<b>100%</b>	261.852	0.56	<b>467.593</b>

*Fuente: Los Autores*

**Tabla 4.18.** Calculo de la Relación A/C Corregido

<b>% Sustituido</b>	<b>Cemento (Kg)</b>	<b>Agua por m3 (Lt)</b>	<b>R = A/C Corregido</b>
<b>25%</b>	403.554	205	<b>0.508</b>
<b>50%</b>	424.900	205	<b>0.482</b>
<b>75%</b>	446.246	205	<b>0.459</b>
<b>100%</b>	467.593	205	<b>0.438</b>

*Fuente: Los Autores*

**Tabla 4.19.** Calculo del Factor de Corrección

<b>% Sustituido</b>	<b>R = A/C</b>	<b>F'c Requerido (kg/cm2)</b>	<b>F'c Diseño (kg/cm2)</b>	<b>Factor de Corrección (Kg/cm2)</b>
<b>25%</b>	0.508	330	210	<b>120</b>
<b>50%</b>	0.482	348	210	<b>138</b>
<b>75%</b>	0.459	371	210	<b>161</b>
<b>100%</b>	0.438	392	210	<b>182</b>

*Fuente: Los Autores*

**4.1.11. CALCULO DE LA NUEVA DOSIFICACIÓN UTILIZANDO EL  
 FACTOR DE CORRECCIÓN ENCONTRADO:**

**Tabla 4.20.** Dosificación obtenida del diseño de mezclas.

<b>% Sustituido</b>	<b>F.C. (Kg/cm2)</b>	<b>Cemento</b>	<b>Arena</b>	<b>Piedra Chancada</b>	<b>Ladrillo Rococho</b>	<b>Agua</b>
<b>25%</b>	120	1	2.02	1.88	0.40	0.56
<b>50%</b>	138	1	1.87	1.19	0.76	0.56
<b>75%</b>	161	1	1.74	0.57	1.09	0.56
<b>100%</b>	<b>182</b>	<b>1</b>	<b>1.62</b>	<b>0.00</b>	<b>1.39</b>	<b>0.56</b>

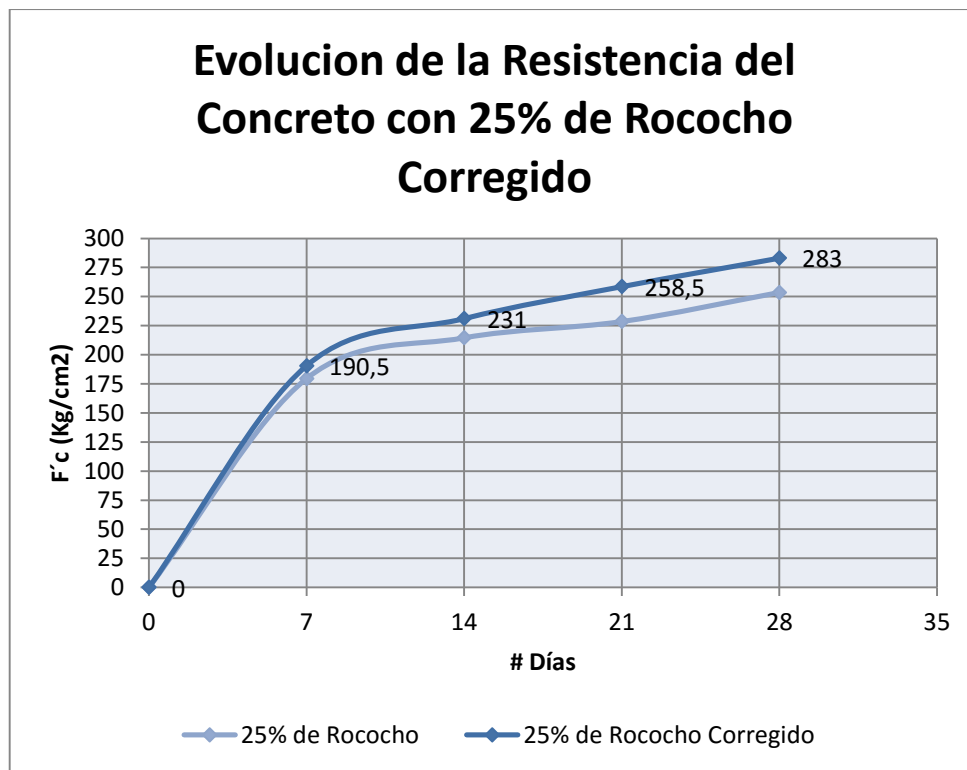
*Fuente: Los Autores*

**4.1.12. RESISTENCIA DE COMPRESIÓN DEL CONCRETO CORREGIDO:**

**Tabla 4.21.** Resistencia a la Compresión del Concreto con 25% de Ladrillo Rococho con Factor de Corrección 182 Kg/cm<sup>2</sup>

% Sustitución	# Días	P (Kg)	F'c (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c (Kg/cm <sup>2</sup> )
25%	7	34989	198	190.5
		32339	183	
	14	40467	229	231
		41175	233	
	21	47006	266	258.5
		44355	251	
28	48950	277	283	
	50010	289		

*Fuente: Los Autores*



**Figura 4.11.** Grafica de Evolución de la Resistencia del Concreto con 25% de Rococho con Factor de Corrección 182 Kg/cm<sup>2</sup>

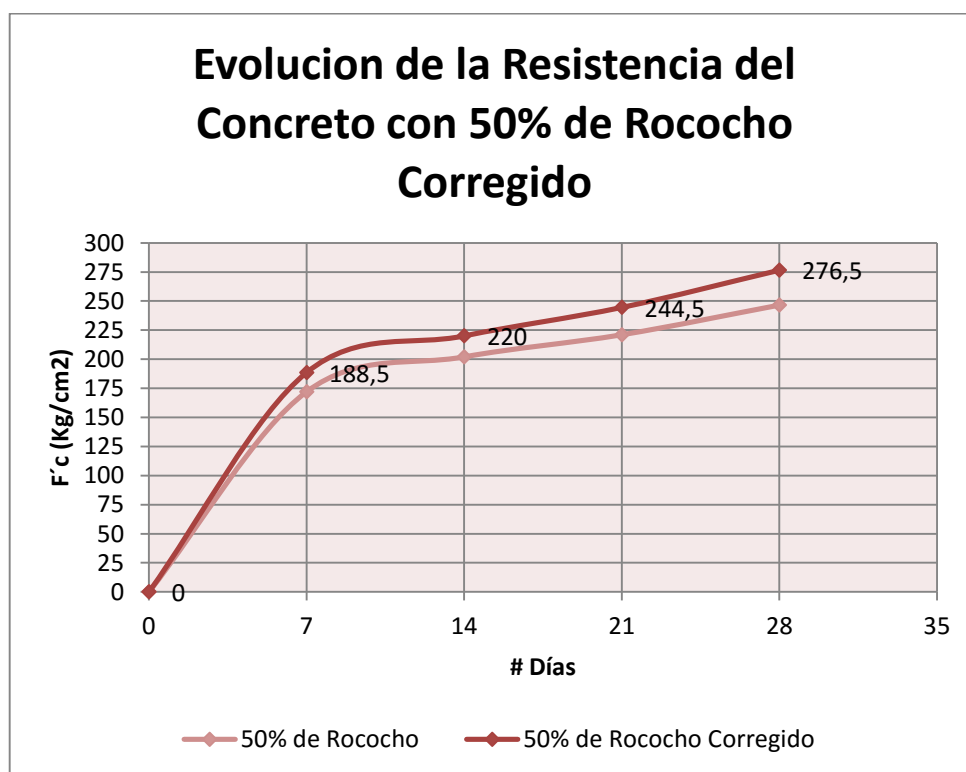
*Fuente: Los Autores*



**Tabla 4.22.** Resistencia a la Compresión del Concreto con 50% de Ladrillo Rococho con Factor de Corrección 182 Kg/cm<sup>2</sup>

% Sustitución	# Días	P (Kg)	F'c (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c (Kg/cm <sup>2</sup> )
50%	7	33752	191	188.5
		32868	186	
	14	37994	215	220
		39761	225	
	21	42235	239	244.5
		44179	250	
	28	47891	271	276.5
		49834	282	

*Fuente: Los Autores*



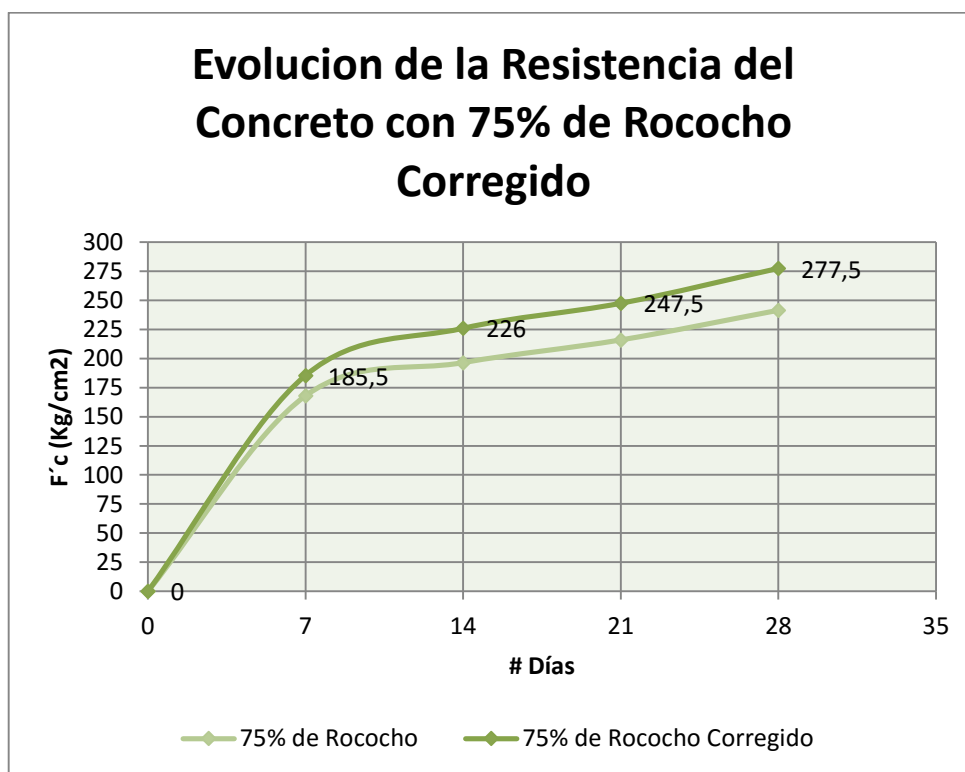
**Figura 4.12.** Grafica de Evolución de la Resistencia del Concreto con 50% de Rococho con Factor de Corrección 182 Kg/cm<sup>2</sup>

*Fuente: Los Autores*

**Tabla 4.23.** Resistencia a la Compresión del Concreto con 75% de Ladrillo Rococho con Factor de Corrección 182 Kg/cm<sup>2</sup>

% Sustitución	# Días	P (Kg)	F'c (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c (Kg/cm <sup>2</sup> )
75%	7	33576	190	185.5
		31985	181	
	14	39407	223	226
		40468	229	
	21	43118	244	247.5
		44355	251	
	28	49836	282	277.5
		48243	273	

*Fuente: Los Autores*



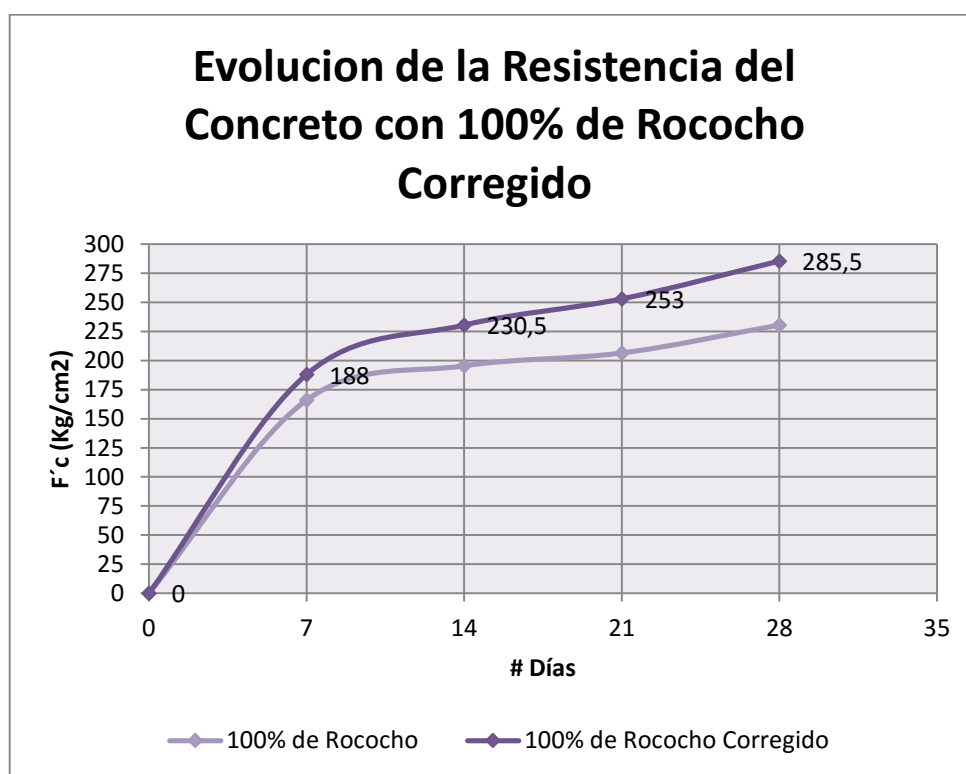
**Figura 4.13.** Grafica de Evolución de la Resistencia del Concreto con 75% de Rococho con Factor de Corrección 182 Kg/cm<sup>2</sup>

*Fuente: Los Autores*

**Tabla 4.24** Resistencia a la Compresión del Concreto con 100% de Ladrillo Rococho con Factor de Corrección 182 Kg/cm<sup>2</sup>

% Sustitución	# Días	P (Kg)	F'c (Kg/cm <sup>2</sup> )	F'c (Kg/cm <sup>2</sup> )
100%	7	34636	196	188
		31809	180	
	14	40115	227	230.5
		41351	234	
	21	43649	247	253
		45769	259	
	28	49834	282	285.5
		51071	289	

*Fuente: Los Autores*



**Figura 4.14.** Grafica de Evolución de la Resistencia del Concreto con 100% de Rococho con Factor de Corrección 182 Kg/cm<sup>2</sup>

*Fuente: Los Autores*

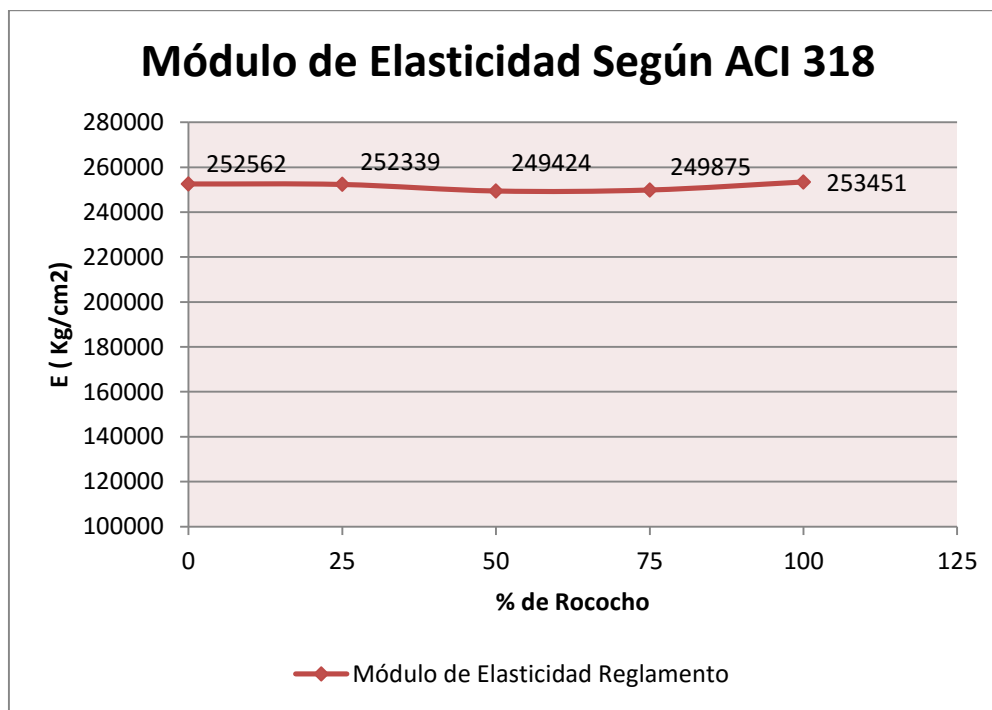
**4.1.13. MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO:**

**Tabla 4.25.** Módulo de Elasticidad del Concreto con Rococho según ACI 318:

$$E = 15000\sqrt{F'c}$$

<b>% Sustituido</b>	<b>F'c (Kg/cm2)</b>	<b>E (Kg/cm2)</b>
<b>Patrón</b>	283.5	<b>252562</b>
<b>25%</b>	283	<b>252339</b>
<b>50%</b>	276.5	<b>249424</b>
<b>75%</b>	277.5	<b>249875</b>
<b>100%</b>	285.5	<b>253451</b>

*Fuente: Los Autores*



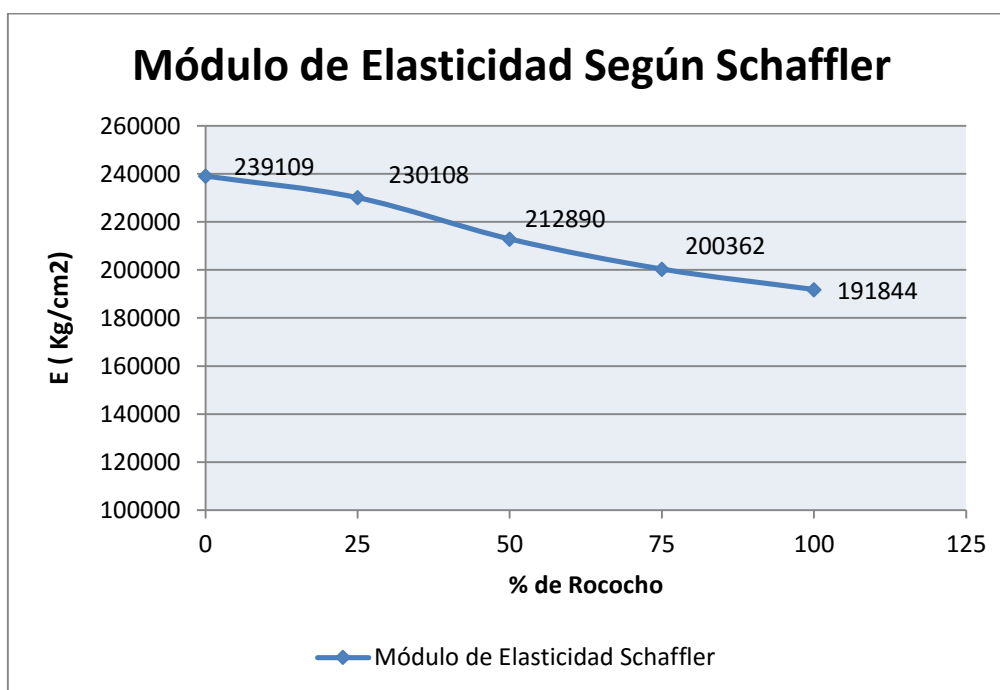
**Figura 4.15.** Grafica de Módulo de Elasticidad según ACI 318

*Fuente: Los Autores*

**Tabla 4.26.** Módulo de Elasticidad del Concreto con Rococho según el investigador Schaffler:  $E = 6000\sqrt{F'c \times PU^2}$

% Sustituido	PU (gr/cm2)	F'c (Kg/cm2)	E (Kg/cm2)
<b>Patrón</b>	2.367	283.5	<b>239109</b>
<b>25%</b>	2.280	283	<b>230108</b>
<b>50%</b>	2.134	276.5	<b>212890</b>
<b>75%</b>	2.005	277.5	<b>200362</b>
<b>100%</b>	1.892	285.5	<b>191844</b>

*Fuente: Los Autores*



**Figura 4.16.** Grafica de Módulo de Elasticidad según Schaffler

*Fuente: Los Autores*

**4.1.14. CALCULO DEL PORCENTAJE DE CEMENTO AUMENTADO  
PARA EL CONCRETO CORREGIDO:**

**Tabla 4.27.** Calculo del Porcentaje del aumento de Cemento por Metro Cubico de Concreto

<b>% Sustituido</b>	<b>Cemento Corregido (Kg)</b>	<b>Cemento Sin Corregir (Kg)</b>	<b>Adición (Kg)</b>	<b>Porcentaje %</b>
<b>25%</b>	403.554	366.07	37.484	<b>9.288</b>
<b>50%</b>	424.900	366.07	58.830	<b>13.846</b>
<b>75%</b>	446.246	366.07	80.176	<b>17.967</b>
<b>100%</b>	467.593	366.07	101.523	<b>21.712</b>

*Fuente: Los Autores*

## **4.2. DISCUSIONES:**

### **4.2.1. De las propiedades de los agregados:**

- Los materiales utilizados en esta investigación como es la piedra chancada y la arena gruesa, cumplen con todos los parámetros estipulados por NTP 400.037 y ASTM C 33, en el caso del “Ladrillo Rococho”, a este material se le dio las características del agregado grueso en el caso de la granulometría.
- “Las características superficiales de las partículas, influyen especialmente sobre la trabajabilidad, fluidez y consistencia del concreto; así como la adherencia entre la pasta y agregado” (Enrique Rivva López, 2000); En la investigación estas características se han mantenido por la granulometría y la textura rugosa de los agregados tanto de los desperdicios de las ladrilleras del distrito de Santa y el agregado grueso de la cantera Dulong, ya que ambos materiales fueron chancados.
- Los desperdicios de las ladrilleras del distrito del Santa tiene un peso específico de 1.86 gr/cm<sup>3</sup>. Como se indica: “Los agregados ligeros, como la esquistosa, la arcilla expandida y la escoria expandida tienen un peso específico menor a 2.5 gr/cm<sup>3</sup>” (Sánchez, 1998); por lo tanto el agregado obtenido de los desperdicios de las ladrilleras del distrito de Santa es considerado como agregado ligero.
- Los pesos específicos de la piedra chancada y los desperdicios de las ladrilleras del distrito del Santa son 2.92 kg/cm<sup>3</sup> y 1.86 kg/cm<sup>3</sup>

respectivamente, a la vez el porcentaje de absorción de la piedra chancada es 0.38% y del ladrillo Rococho 8.61%, en estos valores se puede notar la gran diferencia de absorción que posee el agregado de ladrillo Rococho respecto a la piedra chancada, esto debido a la gran porosidad de este material, por otro lado del ensayo a abrasión realizado a dichos materiales nos dio como resultados de 27.6% para la piedra chancada y 50.2% para el ladrillo Rococho, con lo cual se mostró que la piedra chancada es más resistente que los desperdicios de las ladrilleras del Santa y se llegó a la conclusión que el concreto con ladrillo Rococho no se podría utilizar en pavimentos ya que el Reglamento Nacional de Edificaciones estipula que la abrasión del agregado grueso para pavimentos no debe ser mayor a 50%. También se pudo dar credibilidad a la teoría: “Los pesos específicos bajos de los agregados generalmente indican un material poroso, absorbente y débil” (Enrique Rivva López, 2000).

#### **4.2.2. Del Diseño de Mezclas:**

- De la dosificación obtenida en el diseño de mezcla se puede observar que el concreto estructural ligero con desperdicios de las ladrilleras del distrito de Santa, tiene mayor cantidad de agua que el concreto convencional; debido a la corrección de agua por absorción y contenido de humedad en el diseño de mezcla, esto se puede notar en la Tabla 4.1



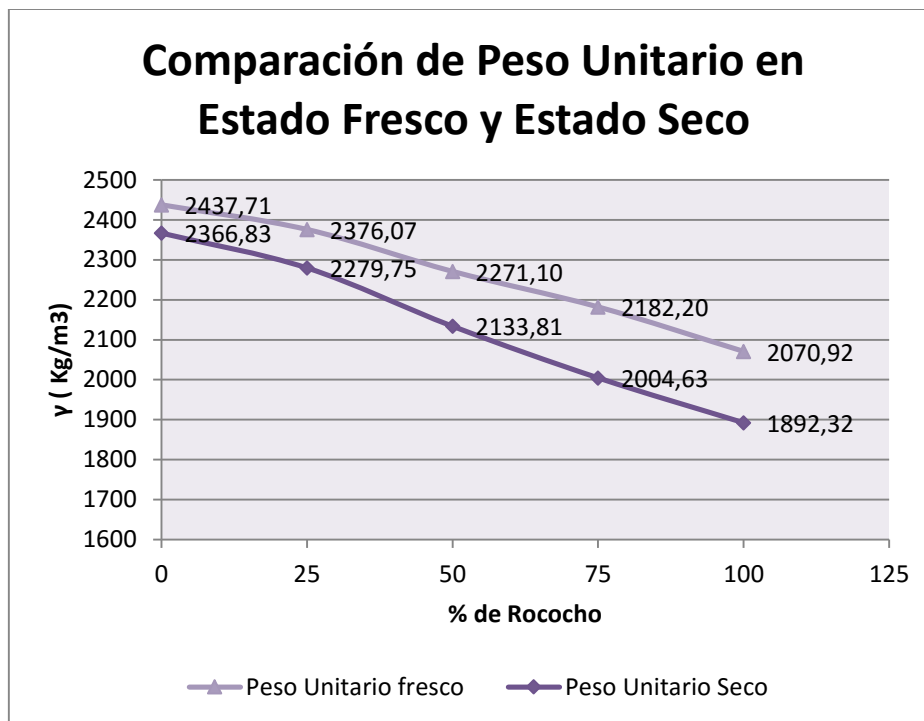
#### **4.2.3. De la Trabajabilidad y la cantidad de testigos elaborados:**

- Las muestras para esta investigación se elaboraron en base a lo indicado en el Manual de Ensayos de Materiales (EM-2000) del MTC, lo cual en el capítulo de concreto especifica que se tomara como mínimo 2 testigos por cada ensayo para así poder hacer la comparación adecuada, es por eso que este proyecto se elaboraron las probetas necesarias como indica la Tabla 4.2, la cuales sirvieron para todos los ensayos realizados.
- Durante la elaboración de las probetas de concreto que sirvieron como testigos, siempre se mantuvo el Slump respectivo, esto a pesar que se aumentó el agua para el concreto con desperdicios de las ladrilleras del distrito del Santa. El agua que se aumento fue producto de su alto porcentaje de absorción del ladrillo Rococho, pero eso no vario el Slump ya que dicha agua aumentada era absorbido por al ladrillo Rococho al momento de iniciar el proceso de mezclado de los elementos. Los valores del Slump se puede ver en la Tabla 4.2.

#### **4.2.4. De los Pesos Unitarios en Estado Fresco y en Estado Seco:**

- Tanto el Peso Unitario en Estado fresco como el Peso Unitario en estado Seco varían de acuerdo a la cantidad reemplazada de ladrillo Rococho y varían en forma descendente, mientras más ladrillo Rococho tengan, menor es el Peso Unitario que tienen, además como se nota en la Figura 4.17 la diferencia entre el Peso unitario en estado Seco y el peso Unitario en estado Fresco va aumentando conforme aumenta el porcentaje

reemplazado, esto debido a la mayor cantidad de agua que posee el Concreto en estado fresco con ladrillo Rococho.



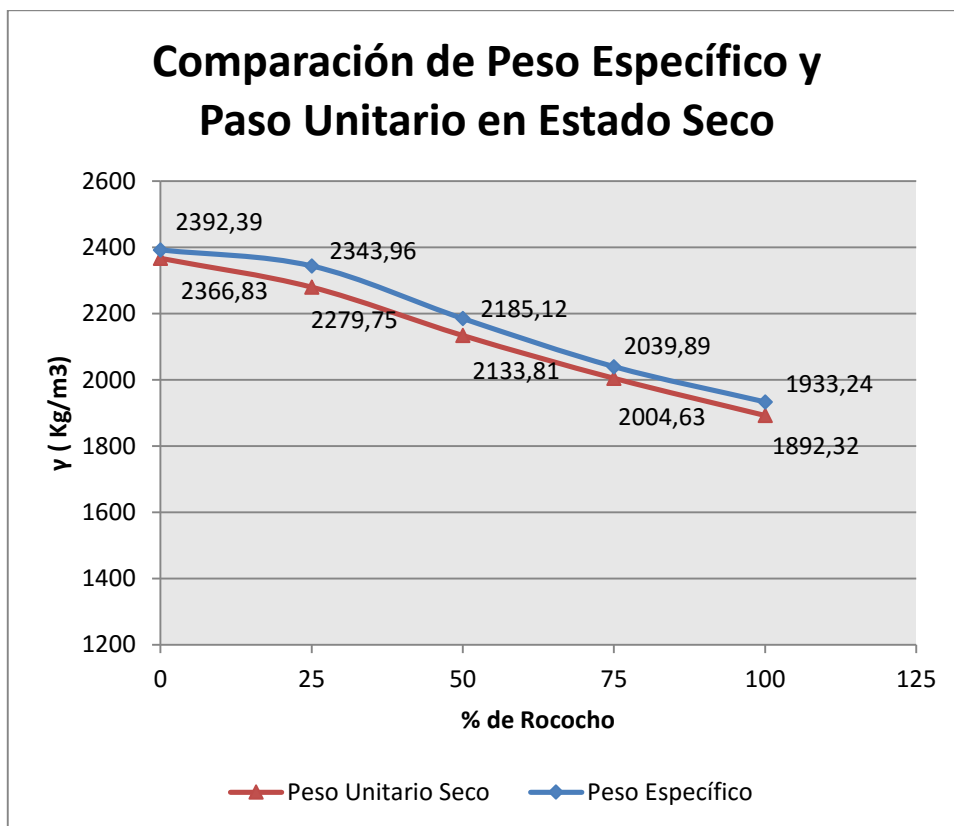
**Figura 4.17.** Comparación entre el Peso Unitario del concreto en Estado Fresco y en Estado Compactado

*Fuente: Los Autores*

#### 4.2.5. Del Peso Específico:

- “El peso unitario del concreto depende del peso específico del agregado, de la cantidad de aire en la mezcla, de las proporciones de esta y de las propiedades del agregado que determinan los requerimientos de agua” (Enrique Rivva López, 2000). Esto se pudo constatar en la investigación, mientras se aumentaba el porcentaje de sustitución del agregado grueso por los desperdicios de las ladrilleras del distrito de Santa tanto el peso

unitario como el Peso Específico del concreto disminuían como se nota en la Figura 4.18, además se puede notar que el Peso Unitario Seco con el Peso específico son proporcionales, eso quiere decir que varían de igual forma conforme se le reemplaza el ladrillo Rococho.



**Figura 4.18.** Comparación entre el Peso Específico y el Peso Unitario del concreto en Estado Seco

*Fuente: Los Autores*

- En esta investigación nosotros buscamos un concreto estructural ligero con los desperdicios de las ladrilleras del distrito de Santa, y como nos podemos dar cuenta en la Figura 4.18, el concreto ligero lo obtenemos al reemplazar el 100% de piedra chancada por ladrillo Rococho, ya que con

esa cantidad reemplazado tenemos un Peso Unitario de 1933.24 kg/cm<sup>3</sup> y un peso específico de 1892.32 kg/cm<sup>3</sup> las cuales son consideradas como concreto ligero según su clasificación.

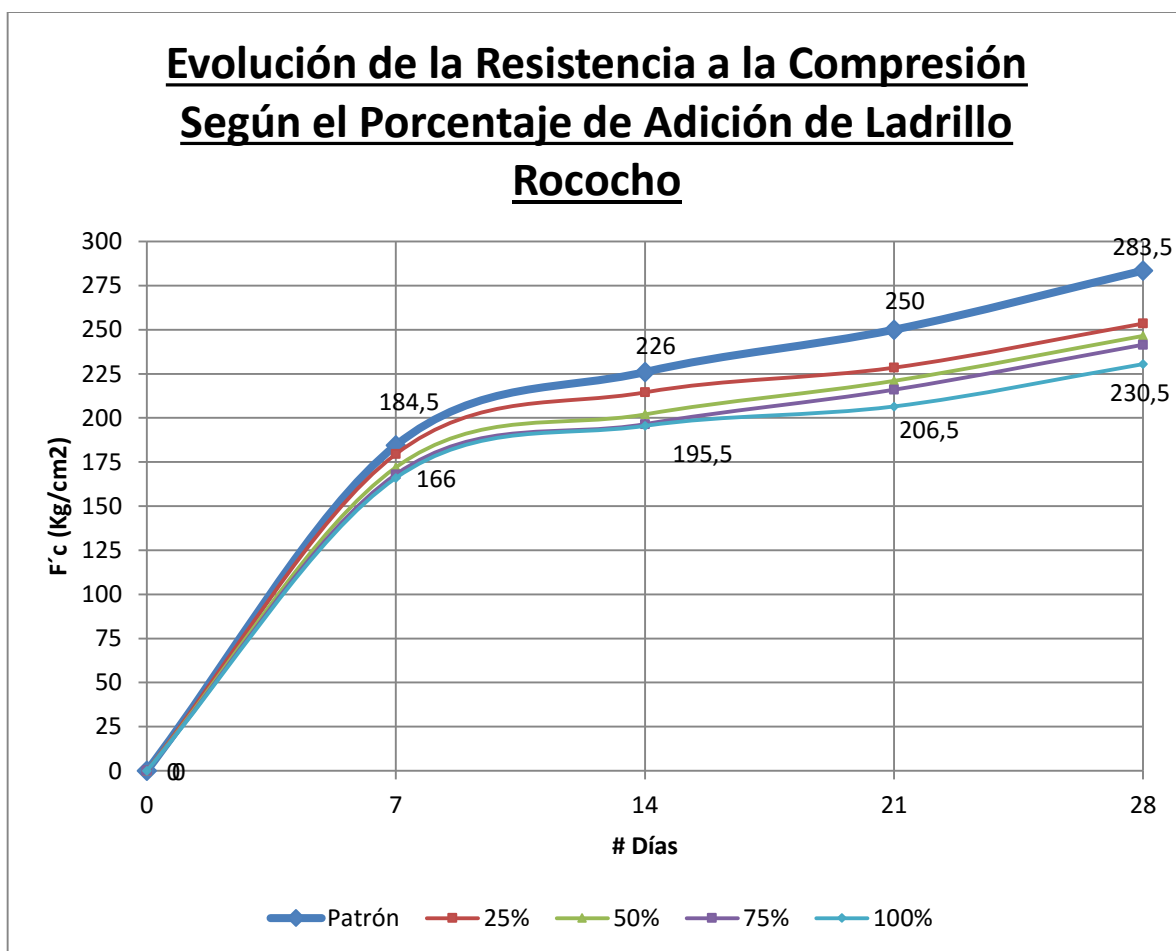
#### **4.2.6. De la Porosidad y Porcentaje de Absorción del concreto:**

- El porcentaje de porosidad de las muestras de concreto varían de acuerdo a la cantidad de los desperdicios de las ladrilleras del distrito del Santa adicionadas, como se puede ver en la Figura 4.4, obteniendo un valor máximo de 1.924 % al reemplazar el 100% de piedra chancada por ladrillo Rococho. Esta porosidad que no es más que el aire atrapado dentro de las probetas, está por debajo del aire atrapado que se tomó en el diseño de mezclas, la cual fue considerado como 2%.
- En esta investigación se obtuvo un porcentaje de absorción de acuerdo a la porosidad de la misma y al porcentaje de ladrillo Rococho adicionado como se puede ver en la Figura 4.5. este porcentaje se debe mayormente al alto nivel de absorción que tienen los desperdicios de las ladrilleras del distrito del Santa, el porcentaje de absorción máximo obtenido fue de 7.253% y pertenece al concreto que fue reemplazado al 100% la cual representa a nuestro concreto ligero obtenido.

#### **4.2.7. De la Resistencia a la Compresión del concreto:**

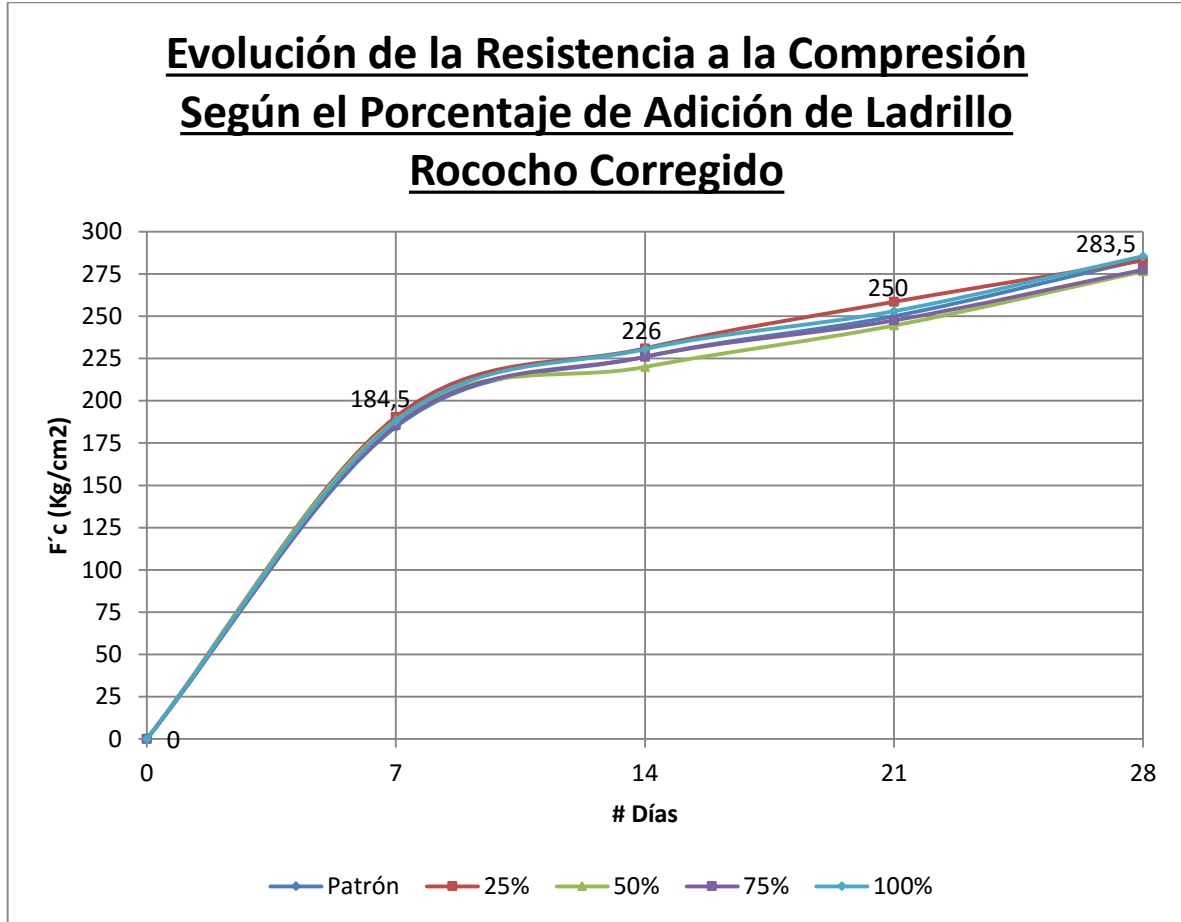
- “La composición de las partículas del agregado, influyen fundamentalmente sobre la resistencia, durabilidad y elasticidad del concreto” (Enrique Rivva López, 2000). En este proyecto se comprobó que la evolución de la

resistencia a la compresión de los testigos de reducía de acuerdo al porcentaje de sustitución de ladrillo Rococho como se puede ver en la Figura 4.18. La diferencia de resistencia entre el concreto patrón con el concreto más ligero obtenido con ladrillo Rococho que es el de 100% reemplazado podemos decir que no es en forma proporcional ya que a los 7 días la diferencia entre resistencias esta por 18.5 kg/cm<sup>2</sup> mientras q a los 28 días esa diferencia aumenta a 56 kg/cm<sup>2</sup>.



**Figura 4.19.** Comparación de la Evolución de la Resistencia a la Compresión Según el Porcentaje sustituido de Ladrillo Rococho  
*Fuente: Los Autores*

- Aunque el diseño principal se realizó para  $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  la cual en todos los porcentajes sustituidos cumplen, realmente el concreto realizado en laboratorio fue de  $294 \text{ kg/cm}^2$  ya que la resistencia  $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  es considerado obra, por esta razón hablando en términos generales no se llegó a la resistencia requerida, por esta razón se realizó una corrección de cemento para así poder llegar a la resistencia requerida, esta corrección se realizó en base al agua adicionada al concreto por absorción, obteniendo un factor de corrección del concreto de  $182 \text{ kg/cm}^2$ , con lo cual el factor de corrección antes obtenido de  $84 \text{ kg/cm}^2$  queda totalmente desechada para este tipo de concreto con ladrillo Rococho.
- También se calcularon los factores de corrección para cada uno de los porcentajes reemplazados de ladrillo Rococho como se muestra en la Tabla 4.19. y con esas correcciones realizadas se llegó a la resistencia semejante a la resistencia del diseño patrón como se muestra en la Figura 4.19.

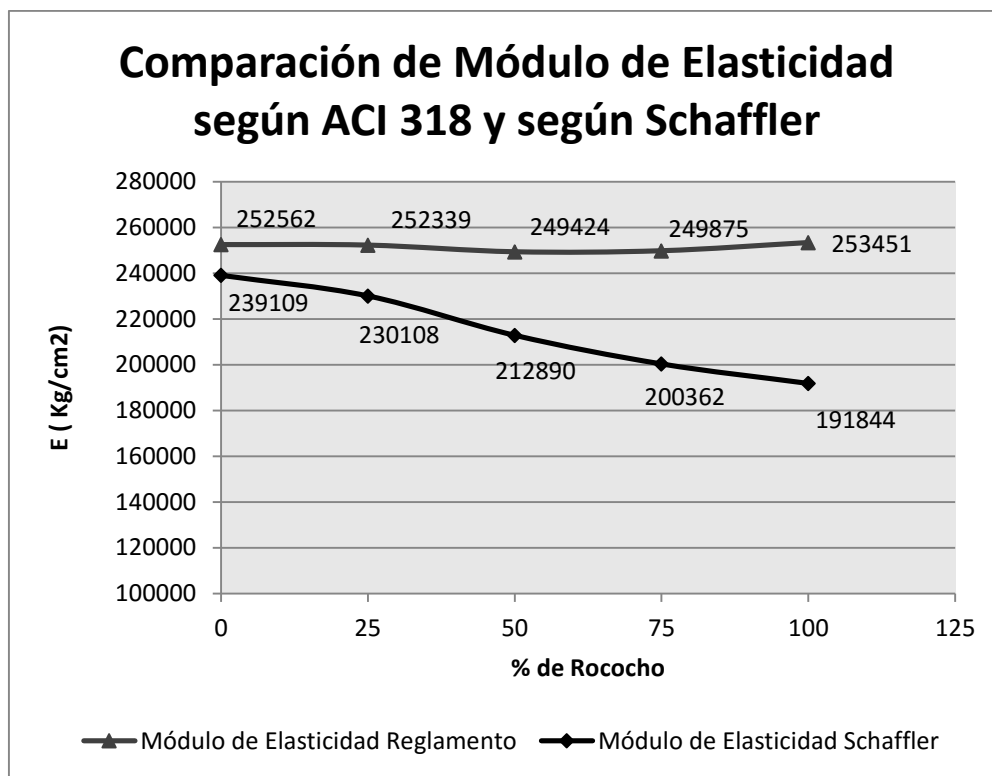


**Figura 4.20.** Comparación de la Evolución de la Resistencia a la Compresión Según el Porcentaje sustituido de Ladrillo Rococho  
*Fuente: Los Autores*

#### 4.2.8. Del Módulo de Elasticidad del Concreto:

- El módulo de elasticidad es un parámetro particularmente importante para el dimensionamiento de estructuras de concreto armado. El valor del mismo se efectuó a partir de la resistencia a compresión, a través de la ecuación establecidas por el ACI 318 que es  $E = 15000\sqrt{F'c}$  y también a partir del Peso Unitario del concreto a través de la fórmula de Schaffler que es  $E =$

$6000\sqrt{F'c} \times PU^2$ . La variación del módulo de elasticidad entre estas dos fórmulas varían en función al porcentaje de ladrillo Rococho reemplazado, como se puede observar en la Figura 4.20. Estos valores obtenidos se tienen que tomar en cuenta al momento de realizar diseños de estructuras, ya que es de suma importancia para el cálculo del acero respectivo.



**Figura 4.21.** Comparación Módulo de Elasticidad según ACI 318 y según Schaffler

*Fuente: Los Autores*

#### 4.2.9. Del Porcentaje de cemento aumentado para el Concreto Corregido:

- Para lograr obtener un concreto con la resistencia a la compresión requerida se tuvo que hacer una corrección de cemento, esta cantidad de cemento agregado dependió del porcentaje de desperdicios de las



ladrilleras agregados, estos valores se pueden notar en la Tabla 4.26. En el caso del 100% de agregado reemplazado por ladrillo Rococho que es nuestro concertó ligero obtenido; el porcentaje agregado de cemento fue de 21.712% que representa aproximadamente 2.4 bolsas de cemento por metro cubico de concreto.

# **CAPÍTULO V**

---

## **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. CONCLUSIONES:**

- Se obtuvo un concreto estructural ligero reemplazando el agregado grueso por los desperdicios de las ladrilleras de arcilla del Santa al 100%; con lo cual se obtuvo un peso específico de 1933.24 Kg/cm<sup>3</sup> y un peso Unitario de 1892.32 Kg/cm<sup>3</sup>.
- La resistencia a compresión final obtenido del concreto ligero con ladrillo Rococho fue de 285.5 kg/cm<sup>2</sup>, pero esta resistencia se obtuvo con el uso del factor de corrección de 182 kg/cm<sup>2</sup>, la cual representa la adición del 21.7% de cemento más que el diseño de concreto convencional patrón.
- Los desperdicios de las ladrilleras de arcilla del Distrito de Santa es el material adecuado para la elaboración de concreto estructural ligero pero para esto se debe modificar el factor de corrección en el diseño de mezcla, cuyo valor no debe ser de 84 kg/cm<sup>2</sup>, sino de 182 kg/cm<sup>2</sup>.
- La dosificación del concreto estructural convencional patrón obtenido fue:

<b>Cemento</b>	<b>Arena</b>	<b>Piedra Chancada</b>	<b>Agua</b>
1	2.31	2.76	0.58

- Las propiedades físicas y estructurales obtenidos de los desperdicios de las ladrilleras del distrito del Santa son las siguientes:

Peso Específico	: 1.86 gr/cm <sup>3</sup>
Absorción	: 8.61 %
Contenido de Humedad	: 0.86 %
Peso unitario Compactado	: 937 Kg/m <sup>3</sup>
Peso unitario Suelto	: 808 Kg/m <sup>3</sup>

Abrasión : 50.2%

- La dosificación final del concreto estructural ligero con desperdicios de la ladrilleras de arcilla del Santa tomando en cuenta el factor de corrección de 182 kg/cm<sup>2</sup> encontrados a través del diseño de mezclas fue con 100% de reemplazo y los valores son los siguientes:

<b>% Sustituido</b>	<b>Cemento</b>	<b>Arena</b>	<b>Ladrillo Rococho</b>	<b>Agua</b>
<b>100%</b>	1	1.62	1.39	0.56

- La porosidad y la absorción del concreto ligero con 100% de ladrillo Rococho son las siguientes:

Absorción : 7.253 %

Porosidad : 1.924 %

- El módulo de Elasticidad del concreto ligero con 100% de reemplazo obtenido es de 191844 kg/cm<sup>2</sup> la cual deberá ser tomado en cuenta cuando se desee realizar diseños con este tipo de concreto.
- Los pesos unitarios, el peso específico, la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad del concreto ligero con desperdicios de las ladrilleras del distrito de Santa son inversamente proporcionales, ya que mientras más ladrillo Rococho se le reemplace, estos valores se reducen.

## **5.2. RECOMENDACIONES:**

- Verificar que después de triturar los desperdicios de las ladrilleras de Santa, no se encuentre partículas menores de la dimensión de la malla N° 200; ya

que este polvo crea adherencia entre el agregado y pasta, la cual es perjudica al concreto en su evolución química.

- El ladrillo rococho se tiene que obtener después de un proceso de chancado ya que en el medio no se encuentra plantas ni fábricas de este material, luego se le tiene que dar el cribado respectivo de acuerdo al tamaño máximo nominal que deseamos y cumpliendo siempre con lo estipulado en las normas del ASTM y el NTP:
- Si la trituración del ladrillo Rococho se hace manualmente se recomienda usar una mascarilla tapa boca, ya que al triturar estos elementos se libera gran cantidad de polvo que es perjudicial para la salud.
- El agregado de ladrillo Rococho debe ser de granulometría continua para así obtener un concreto ligero óptimo.
- No se recomienda usar el concreto estructural ligero obtenido con los desperdicios de las ladrilleras de arcilla del distrito de Santa en pavimentos, ya que al hacer el ensayo de abrasión, se obtuvo un desgaste de 50.2%, la cual es superior a lo estipulado en el Reglamento nacional de Edificaciones.
- El concreto estructural ligero obtenido con adiciones de los desperdicios del distrito de Santa no deberá ser usado en obras hidráulicas ya que posee una gran absorción en comparación con el concreto convencional.
- Hacer una comparación de costos antes de aplicarlo en la construcción de alguna estructura, ya que como se vio en el desarrollo de esta

investigación, para llegar a la resistencia requerida se necesita agregar más cemento que es aproximadamente 2 bolsas por metro cubico.

- Usar este concreto principalmente en viviendas de un nivel, veredas o parques, ya que dichas estructuras no están sometidos a desgaste ni a pesos grandes ya que este concreto posee una baja Elasticidad la cual podría ser desfavorable para construcciones elevadas. Con esto se le dará un buen uso a los desperdicios de las ladrilleras del distrito del Santa y así reducirá la contaminación.
- Usar este tipo de concreto especialmente en la región costa, ya que posee un clima cálido y un índice fluvial bajo. El uso de este concreto en regiones lluviosas podría afectar en el peso unitario del concreto ya que estamos con concreto con un porcentaje de absorción alto.

# **BIBLIOGRAFÍA**

---

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

---

## **1. NORMAS:**

- American Concrete Institute, ACI 211-01.
- American Concrete Institute, ACI 318-01.
- American Society for Testing Materials, ASTM C 29/C 29M-01.
- American Society for Testing Materials, ASTM C 31-03.
- American Society for Testing Materials, ASTM C 33-01.
- American Society for Testing Materials, ASTM C 127-01.
- American Society for Testing Materials, ASTM C 128-01.
- American Society for Testing Materials, ASTM C 566-97.
- American Society for Testing Materials, ASTM C-702-01.
- American Society for Testing Materials, ASTM D 75-03.
- Manual de Ensayo de Materiales, MTC, (EM 2000).
- Reglamento Nacional de Edificación, CE.010 - 2014.
- Reglamento Nacional de Edificación, E.060 - 2014.
- Norma Técnica Peruana, NTP 334.090: 2005.
- Norma Técnica Peruana, NTP 339.033: 2009.
- Norma Técnica Peruana, NTP 339.047:2006.
- Norma Técnica Peruana, NTP 350.001:2006.
- Norma Técnica Peruana, NTP 400.010: 2012.
- Norma Técnica Peruana, NTP 400.011: 2001.
- Norma Técnica Peruana, NTP 400.021: 2006.

## **2. LIBROS:**



- **RIVVA LÓPEZ, Enrique** (1996). *“Diseño de Mezclas”*. Primera Edición. Lima-Perú.
- **ABANTO CASTILLO, Flavio** (1996). *“Tecnología del Concreto”*. Editorial San Marcos. Lima-Perú.
- **PASQUEL CARVAJAL, Enrique** (1998). *“Tópicos de Tecnología del Concreto en el Perú”*. Primera Edición. Lima -Perú.
- **HIGGINSON C, Elmo** (1963). *“Manual del Concreto Ligero”*. Facultad de Ingeniería. Universidad Autónoma de México.
- **RODRÍGUEZ POLANCO, Abraham** (1999). *“Manual de Prácticas de Laboratorio de Tecnología del Concreto”*. Universidad Autónoma de Chihuahua. México.

### **3. REVISTAS**

- **PIÑA ARJONA, Julio F y AGUIRRE A.** (2002). *“Conceptos generales del Concreto”*, Vol. 1, Núm.1, pp.45-53, México
- **NRMCA (National Ready Mixed Concrete Association)** (2007). *“Concreto Estructural de Peso Liviano”*. CIP-36. Núm.1, pp.1-2. EE.UU
- **Revista IMCYC** (1968). *“Tecnología del Concreto Ligero”*, Recuperado el 25 de Abril del 2015 de : <http://www.imcyc.com/ct2009/jul09/tecnologia.htm>
- **TORRE CARRILLO, Ana** (2004). *“Curso Básico de Tecnología del Concreto”*. Vol. 1, Núm.1, pp.42-130, Lima-Perú.

# **ANEXOS**

---

# **ENSAYOS DE MATERIALES**

# **PANEL FOTOGRÁFICO**



**Foto 1.** Selección el Ladrillo Rococho



**Foto 2.** Vista del Ladrillo Rococho



**Foto 3.** Chancado del Ladrillo Rococho



**Foto 4.** Tamizado del Ladrillo Rococho



**Foto 5.** Separación del Ladrillo Rococho para Granulometría



**Foto 6.** Peso Específico del ladrillo Rococho



**Foto 7.** Absorción del Ladrillo Rococho



**Foto 8.** Pesos Unitarios del Ladrillo Rococho



**Foto 9.** Material de Ladrillo Rococho para el Ensayo de Abrasión



**Foto 10.** Ensayo de Abrasión del ladrillo Rococho



**Foto 11.** Ladrillo Rococho después de haber cumplido las 500 vueltas



**Foto 12.** Ladrillo Rococho Retenido en la Malla N°12





**Foto 13.** Cuarteo del Agregado Grueso



**Foto 14.** Pesos Unitarios del Agregado Grueso



**Foto 15.** Absorción del Agregado Grueso



**Foto 16.** Peso Específico del Agregado grueso



**Foto 17.** Ensayo de Abrasión los Ángeles del Agregado Grueso



**Foto 18.** Agregado Grueso después de haber cumplido las 500 vueltas



**Foto 19.** Cuarteo de la Arena Gruesa



**Foto 20.** Peso Específico de la Arena Gruesa



**Foto 21.** Granulometría de la Arena Gruesa



**Foto 22.** Absorción de la Arena Gruesa





**Foto 23.** Materiales para la preparación del concreto



**Foto 24.** Tapado de mezcladora para evitar la salida de los Materiales



**Foto 25.** Vaciado de concreto



**Foto 26.** Elaboración de Probetas



**Foto 27.** Medida de Slump de 3”



**Foto 28.** Slump del concreto



**Foto 29.** Chuseado de probetas de concreto



**Foto 30.** Probetas cubiertas para evitar la evaporación del agua



**Foto 31.** Curado de las Probetas de Concreto



**Foto 32.** Desencofrado de Probetas



**Foto 33.** Peso Específico de Probetas de Concreto



**Foto 34.** Absorción de probetas de concreto



**Foto 35.** Peso Volumétrico de probetas de concreto



**Foto 36.** Ruptura de Probetas



**Foto 37.** Ruptura de Probetas



**Foto 37.** Probetas después del ensayo a compresión





**Foto 38.** Ruptura de Probetas



**Foto 39.** Vista de Probetas Rotas



**Foto 40.** Vista interior de probetas



**Foto 41.** Prueba a la compresión de probetas