

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“EFECTO DE LOS AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO  
EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SOBRE EL CONCRETO  
 $F' c=210 \text{ Kg/cm}^2$ ”**

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

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:  
ASENCIO SANGAY ARMANDO RÉGULO**

**ASESOR:  
Mg. Ing. HÉCTOR PÉREZ LOAYZA**

**CAJAMARCA - PERÚ  
2014**

## **AGRADECIMIENTO**

**A MIS PADRES:**

**Sra. LOYOLA JESÚS SANGAY BARDALES y Sr. ELMER IDELMO ASENCIO  
FERNÁNDEZ.**

POR RECIBIRME ES ESTE MUNDO  
CON INMENSA ALEGRÍA, POR TODO EL  
AMOR QUE ME HAN DADO, POR LA ILUSIÓN  
EN SU EXISTENCIA DE FORMARME EN UNA PERSONA  
DE PROVECHO, POR BRINDARME SU PROTECCIÓN, SU APOYO  
SU CONFIANZA, CONSEJOS, POR ESTAR CONMIGO EN LOS MOMENTOS  
BUENOS Y MALOS, A ELLOS MIS PADRES LES DEDICO ESTE TRABAJO QUE  
TAMBIÉN ES SUYO. CON AMOR, ADMIRACIÓN Y RESPETO SINCERAMENTE GRACIAS...

**A MIS HERMANOS:**

**Srta. TEODELINDA ASENCIO SANGAY y Sr. LUIS FERNANDO ASENCIO SANGAY**  
POR ESTAR CONMIGO,  
POR TODO EL APOYO QUE ME DIERON,  
POR DEMOSTRARME SU CARÍÑO Y AMISTAD  
LES DEDICO ESTE TRABAJO CON CARÍÑO, ADMIRACIÓN Y RESPETO

**A MIS AMIGOS:**

**ING. JEANPIERRE ZAFRA RABANAL, ING. INFANTE CHAVEZ SEGUNDO PERCY,  
M.CS. ING CRISTHIAN GERMAN SAUCEDO ABANTO, ING. EDUAR ERNESTO  
MARTOS SÁNCHEZ, ING. IRVING ROYBERT FERNÁNDEZ GÁLVEZ, ING. PERCY  
CHÁVEZ HUAMÁN, ING. CARMEN GISSELA PÉREZ VILLAR, ING. LIDMAN  
ALBARRÁN TIRADO, ING. WALTER DEYVI VÁSQUEZ TIRADO, DR. ALEXANDER  
RODRÍGUEZ CABANILLAS.**

**POR EL APOYO, EL CARIÑO, LA AMISTAD,  
POR LA HONESTIDAD, POR APOYARME EN LOS  
MOMENTOS BUENOS Y EN LOS MOMENTOS MALOS,  
POR CONVIVIR Y ACOMPAÑARME DURANTE MI CARRERA,  
A TODOS USTEDES, GRACIAS.....**

**A MI ASESOR M.CS. ING. HÉCTOR PÉREZ LOAYZA**

**POR LA ORIENTACIÓN Y LA AYUDA  
QUE ME BRINDO PARA LA REALIZACIÓN DE LA PRESENTE TESIS,  
POR SU APOYO Y AMISTAD QU E ME PERMITIERON EMPRENDER MUCHO MÁS  
QUE LO ESTUDIADO EN EL PROYECTO.**

**A LA FAMILIA ACOSTA**

**POR EL APOYO INCONDICIONAL,  
EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LOS  
AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO, Y LA DONACIÓN DE  
AGREGADOS NATURALES DE ORIGEN ALUVIAL.**

## **DEDICATORIA**

### **A MI FAMILIA**

*Benigno, Dalmiro, Elvira, y Cristhian.*

Que siempre han estado a mi lado apoyándome, y aportando toda su sabiduría para que pudiera escoger el camino correcto. Por sus días, tardes y noches que pasaron a mi lado buscando la solución a problemas que se me han presentado, y sobre todo por el infinito amor que han demostrado tenerme y ese extra que se siente al entrar a nuestra casa, gracias.

### **A MIS PROFESORES.**

*M.Cs. Ing. Héctor Pérez Loayza, M.Cs. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre, Ing. Jose Lazaro Lezama Leyva, Ing. Jaime Raúl Valera Guerra, Ing. Marco Wilder Hoyos Saucedo Ing. Gaspar Virilo Mendez Cruz, Ing. Lucio Marcial Sifuentes Inostroza, Dr. Ing. Santos Oswaldo Ortiz Vera, Ing. Luis Vásquez Ramírez, Ing. Hermes Roberto Mosqueira Ramírez, Ing. Miguel Ángel Mosqueira Moreno, Ing. Marco Silva Silva, Ing. Rosa Haydee Llique Mondragón, Y Otros.*

Por esa paciencia infinita, y ese enorme deseo de transmitir

tanto sus conocimientos profesionales como personales y sobre todo por formar parte importante en mi estancia dentro de la universidad, y a todos aquellos profesores que llegamos a decepcionar les agradezco más, porque aun con todo estuvieron al pie del cañón día y noche.

### **A MIS AMIGOS.**

*Promoción 2008*

*Todos aquellos que estuvieron durante esos 5 años, y que siempre mostraron un interés en crecer cada día, de verdad se los agradezco.*

### **A LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA.**

Por haberme dado la oportunidad de estar en sus aulas, laboratorios, canchas, y cualquier anexo de esta, así como poder conocer aun sin número de personas que son y serán importantes en mi vida Académica, personal, no puedo decir más que:

**GRACIAS**

## CONTENIDO

AGRADECIMIENTO.....	1
DEDICATORIA.....	3
CONTENIDO.....	4
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	8
RESUMEN.....	10
ABSTRACT.....	11
<b>CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>12</b>
<b>CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>15</b>
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS.....	15
2.1.1. REUTILIZACIÓN DEL CONCRETO.....	15
2.1.2. INFLUENCIA DE LOS AGREGADOS RECICLADOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO.....	16
2.1.3. INFLUENCIA DE LOS AGREGADOS RECICLADOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.....	18
2.2. BASES TEÓRICAS.....	24
2.2.1. MANEJO DE RESIDUOS DE LA ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN (NTP 400.050).....	24
2.2.2. AGREGADOS.....	28
2.2.3. EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO.....	36
2.3. PROPIEDADES DEL CONCRETO.....	55
2.3.1. PROPIEDADES PRINCIPALES DEL CONCRETO FRESCO.....	55
2.3.2. PROPIEDADES PRINCIPALES DEL CONCRETO ENDURECIDO.....	59
2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	63
<b>CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>66</b>
3.1. PROCEDIMIENTO.....	66
3.1.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	66
3.1.2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	68
3.1.3. CARACTERIZACIÓN DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....	69
3.1.4. CARACTERIZACIÓN DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.....	70
3.1.5. CONTROL DE CALIDAD DE LOS DATOS.....	71
3.1.6. ORIGEN DE AGREGADOS.....	74

3.2. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	75
3.2.1. DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO CON AGREGADOS NATURALES .....	75
3.2.2. DOSIFICACIÓN DE MEZCLA DE CONCRETO CON AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO.....	75
3.2.3. ENSAYOS PARA CONCRETO ENDURECIDO (NTP 339.034:2013).....	76
3.2.4. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON ESCLERÓMETRO DEL CONCRETO RECICLADO.....	91
<b>CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>92</b>
4.1. RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN.....	92
4.2. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.....	95
4.3. COMPORTAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO DEL CONCRETO.....	99
4.4. ANÁLISIS DE COSTOS.....	101
4.5. CONTRATACIÓN DE LA HIPÓTESIS .....	102
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RESULTADOS.....</b>	<b>103</b>
5.1. CONCLUSIONES .....	103
5.2. RECOMENDACIONES .....	104
<b>CAPÍTULO VI. ANEXOS.....</b>	<b>105</b>
6.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO.....	105
6.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS NATURALES.....	118
6.3 DISEÑO DE MEZCLAS DE F'C=210 Kg/cm <sup>2</sup> CON AGREGADOS NATURALES.....	131
6.4 DISEÑO DE MEZCLAS DE F'C=210 Kg/cm <sup>2</sup> CON AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO.....	140
6.5 GRÁFICAS.....	149
6.6 PANEL FOTOGRÁFICO.....	152
6.7 ANÁLISIS QUÍMICO DE AGREGADOS.....	164
6.8 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CEMENTO PORTLAND COMPUESTO TIPO ICO.....	168
6.9 CERTIFICADO DEL LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES .....	169
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>170</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 2.1.1 REDUCCIÓN DE LA RESISTENCIA AL USAR AGREGADOS RECICLADOS SEGÚN DIVERSOS AUTORES .....	19
TABLA 2.1.2 CLASIFICACIÓN DE AGREGADOS RECICLADOS SEGÚN ESTÁNDARES COREANOS .....	20
TABLA 2.2.1 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO, NTP 400.037.2002.....	30
TABLA 2.2.2 FACTOR DE CORRECCIÓN .....	42
TABLA 2.2.3 AC I318: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO .....	43
TABLA 2.2.4 ASENTAMIENTO O SLUMP.....	43
TABLA 2.2.5 SLUMP SEGÚN TIPO DE CONSTRUCCIÓN.....	44
TABLA 2.2.6 ESTIMACIÓN DEL AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE .....	46
TABLA 2.2.7 E.) ESTIMACIÓN DEL AGUA DE MEZCLADO Y CONTENIDO DE AIRE .....	47
TABLA 2.2.8 RELACIÓN AGUA/CEMENTO Y RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO.....	48
TABLA 2.2.9 MÁXIMA RELACIÓN AGUA/CEMENTO PERMISIBLE PARA CONCRETOS SOMETIDA A CONDICIONES ESPECIALES DE EXPOSICIÓN. ....	49
TABLA 2.2.10 MÓDULO DE FINEZA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS. ....	51
TABLA 3.1.1 MATRIZ EXPERIMENTAL DE DISEÑO Y NIVELES DE LA VARIABLE DE ESTUDIO. ....	67
TABLA 3.2.1 MATERIALES PARA ENSAYO 1 .....	75
TABLA 3.2.2 MATERIALES PARA ENSAYO 2 .....	75
TABLA 3.2.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CON AGREGADO NATURAL (7DIAS).....	76
TABLA 3.2.4 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CON AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO (7DIAS).....	78
TABLA 3.2.5 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CON AGREGADO NATURAL (14 DIAS).....	81
TABLA 3.2.6 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CON AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO (14DIAS) .....	84
TABLA 3.2.7 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CON AGREGADO NATURAL (28DIAS).....	86
TABLA 3.2.8 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CON AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO (28DIAS) .....	89
TABLA 3.2.9 ESTIMACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON ESCLERÓMETRO DEL CONCRETO RECICLADO.....	91
TABLA 4.1.1 RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS DE EDAD. ....	92
TABLA 4.1.2 RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS DE EDAD. ....	93
TABLA 4.1.3 RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS DE EDAD. ....	94
TABLA 4.2.1 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS DE EDAD. ....	95
TABLA 4.2.2 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS DE EDAD. ....	96
TABLA 4.2.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS DE EDAD. ....	97
TABLA 4.2.4 ANÁLISIS COMPARATIVO ACUMULADO DE LA RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN. .	98
TABLA 4.4.1 COSTO DE M <sup>3</sup> DE CONCRETO CON AGREGADOS NATURALES (101.5%F'c).....	101
TABLA 4.4.2 COSTO DE M <sup>3</sup> DE AGREGADO RECICLADO. ....	101
TABLA 4.4.3 COSTO DE M <sup>3</sup> DE CONCRETO CON AGREGADOS RECICLADOS (85.78%F'c). ....	101
TABLA 4.4.4 COSTO DE M <sup>3</sup> DE CONCRETO CON AGREGADOS RECICLADOS (100%F'c). ....	102
TABLA 6.1.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA AGREGADO FINO DE CONCRETO RECICLADO CORRESPONDIENTE AL ENSAYO 1 .....	105

TABLA 6.1.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA AGREGADO FINO DE CONCRETO RECICLADO CORRESPONDIENTE AL ENSAYO 2 .....	106
TABLA 6.1.3 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA AGREGADO FINO DE CONCRETO RECICLADO CORRESPONDIENTE AL ENSAYO 3 .....	107
TABLA 6.1.4 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA AGREGADO GRUESO DE CONCRETO RECICLADO CORRESPONDIENTE AL ENSAYO 1 .....	108
TABLA 6.1.5 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA AGREGADO GRUESO DE CONCRETO RECICLADO CORRESPONDIENTE AL ENSAYO 2 .....	109
TABLA 6.1.6 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA AGREGADO GRUESO DE CONCRETO RECICLADO CORRESPONDIENTE AL ENSAYO 3 .....	110
TABLA 6.1.7 PESO UNITARIO SUELTO DE AGREGADO FINO RECICLADO .....	113
TABLA 6.1.8 PESO UNITARIO SUELTO DE AGREGADO GRUESO RECICLADO .....	113
TABLA 6.1.9 PESO UNITARIO COMPACTADO DE AGREGADO FINO RECICLADO .....	114
TABLA 6.1.10 PESO UNITARIO COMPACTADO DE AGREGADO GRUESO RECICLADO .....	114
TABLA 6.1.11 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO RECICLADO .....	115
TABLA 6.1.12 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO RECICLADO .....	115
TABLA 6.1.13 CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO FINO RECICLADO .....	116
TABLA 6.1.14 CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO GRUESO RECICLADO .....	116
TABLA 6.1.15 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO RECICLADO .....	117
TABLA 6.2.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA AGREGADO FINO NATURAL CORRESPONDIENTE AL ENSAYO 1 .....	118
TABLA 6.2.2 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA AGREGADO FINO NATURAL CORRESPONDIENTE AL ENSAYO 2 .....	119
TABLA 6.2.3 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA AGREGADO FINO NATURAL CORRESPONDIENTE AL ENSAYO 3 .....	120
TABLA 6.2.4 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA AGREGADO GRUESO NATURAL CORRESPONDIENTE AL ENSAYO 1 .....	121
TABLA 6.2.5 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA AGREGADO GRUESO NATURAL CORRESPONDIENTE AL ENSAYO 2 .....	122
TABLA 6.2.6 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA AGREGADO GRUESO NATURAL CORRESPONDIENTE AL ENSAYO 3 .....	123
TABLA 6.2.7 PESO UNITARIO SUELTO DE AGREGADO FINO NATURAL .....	126
TABLA 6.2.8 PESO UNITARIO SUELTO DE AGREGADO GRUESO NATURAL .....	126
TABLA 6.2.9 PESO UNITARIO COMPACTADO DE AGREGADO FINO NATURAL .....	127
TABLA 6.2.10 PESO UNITARIO COMPACTADO DE AGREGADO GRUESO NATURAL .....	127
TABLA 6.2.11 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO FINO NATURAL .....	128
TABLA 6.2.12 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO NATURAL .....	128
TABLA 6.2.13 CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO FINO NATURAL .....	129
TABLA 6.2.14 CONTENIDO DE HUMEDAD DE AGREGADO GRUESO NATURAL .....	129
TABLA 6.2.15 RESISTENCIA A LA ABRASIÓN DEL AGREGADO GRUESO NATURAL .....	130
TABLA 6.3.1 DATOS DE DISEÑO 1 .....	131
TABLA 6.3.2 SEGÚN ACI 318: .....	131
TABLA 6.3.3 MATERIALES PARA PRIMERA PRUEBA 1 .....	134
TABLA 6.3.4 DATOS DE LABORATORIO DE PRIMERA PRUEBA 1 .....	135
TABLA 6.3.5 MATERIALES PARA PRUEBA 1(FINAL) .....	139
TABLA 6.4.1 DATOS DE DISEÑO 2 .....	140
TABLA 6.4.2 SEGÚN ACI 318: .....	140
TABLA 6.4.3 MATERIALES PARA PRIMERA PRUEBA 2 .....	144
TABLA 6.4.4 DATOS DE LABORATORIO DE PRIMERA PRUEBA 2 .....	144
TABLA 6.4.5 MATERIALES PARA PRUEBA 2 (FINAL) .....	148

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 2.1.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN VS. EDAD SEGÚN TIPO Y PORCENTAJE DE REMPLAZO DE AGREGADO.....	21
ILUSTRACIÓN 2.2.1 CLASIFICACIÓN Y OPCIONES DE MANEJO DE LOS RESIDUOS DE LA ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN .....	26
ILUSTRACIÓN 2.2.2 OPCIONES DE APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE LA ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN.....	27
ILUSTRACIÓN 2.2.3 COMPONENTES DEL CONCRETO .....	28
ILUSTRACIÓN 2.2.4 EJEMPLO DE LA DETERMINACIÓN DE LAS PROPORCIONES DE AGREGADO FINO Y AGREGADO GRUESO EN RELACIÓN AL VOLUMEN TOTAL DE AGREGADOS POR METRO CÚBICO DE CONCRETO. ....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
ILUSTRACIÓN 2.3.1 CARACTERÍSTIAS DEL EQUIPO PARA MEDIR EL FACTOR DE COMPACIDAD .....	57
ILUSTRACIÓN 2.3.2 CURVA TÍPICA ESFUERZO-DEFORMACIÓN PARA EL CONCRETO BAJO COMPRESIÓN, Y PUNTOS PARA DEFINIR EL MÓDULO DE ELASTICIDAD SEGÚN ASTM C-469 .....	60
ILUSTRACIÓN 3.1.1 DIAGRAMA DEL CIRCUITO EXPERIMENTAL PARA LA EVALUACIÓN DEL CONCRETO CON AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO .....	68
ILUSTRACIÓN 3.2.1 TIPO DE FALLA DE LAS ESPECÍMENES DE CONCRETO CON AGREGADO NATURAL (7 DÍAS).....	78
ILUSTRACIÓN 3.2.2 TIPO DE FALLA DE LAS ESPECÍMENES DE CONCRETO CON AGREGADO RECICLADO (7 DÍAS).....	80
ILUSTRACIÓN 3.2.3 TIPO DE FALLA DE LAS ESPECÍMENES DE CONCRETO CON AGREGADO NATURAL (14 DÍAS).....	83
ILUSTRACIÓN 3.2.4 TIPO DE FALLA DE LAS ESPECÍMENES DE CONCRETO CON AGREGADO RECICLADO (14 DÍAS).....	85
ILUSTRACIÓN 3.2.5 TIPO DE FALLA DE LAS ESPECÍMENES DE CONCRETO CON AGREGADO NATURAL (28 DÍAS).....	88
ILUSTRACIÓN 3.2.6 TIPO DE FALLA DE LAS ESPECÍMENES DE CONCRETO CON AGREGADO RECICLADO (28 DÍAS).....	90
ILUSTRACIÓN 4.1.1 RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS DE EDAD. ....	92
ILUSTRACIÓN 4.1.2 RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS DE EDAD. ....	93
ILUSTRACIÓN 4.1.3 RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS DE EDAD. ....	94
ILUSTRACIÓN 4.2.1 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS DE EDAD. ....	95
ILUSTRACIÓN 4.2.2 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS DE EDAD. ....	96
ILUSTRACIÓN 4.2.3 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS DE EDAD. ....	97
ILUSTRACIÓN 4.2.4 ANÁLISIS COMPARATIVO ACUMULADO DE LA RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN. ....	98
ILUSTRACIÓN 4.2.5 VARIACIÓN DE LA RESISTENCIA.....	98
ILUSTRACIÓN 4.3.1 CURVA PROMEDIO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CONCRETO CON AGREGADOS NATURALES.....	99
ILUSTRACIÓN 4.3.2 CURVA PROMEDIO DE RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CONCRETO CON AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO .....	100
ILUSTRACIÓN 6.1.1 CURVA GRANULOMÉTRICA PARA AGREGADO FINO RECICLADO CORRESPONDIENTE AL ENSAYO 1.....	106
ILUSTRACIÓN 6.1.2 CURVA GRANULOMÉTRICA PARA AGREGADO FINO RECICLADO CORRESPONDIENTE AL ENSAYO 2.....	107

ILUSTRACIÓN 6.1.3 CURVA GRANULOMÉTRICA PARA AGREGADO FINO RECICLADO CORRESPONDIENTE AL ENSAYO 3 .....	108
ILUSTRACIÓN 6.1.4 CURVA GRANULOMÉTRICA PARA AGREGADO GRUESO RECICLADO CORRESPONDIENTE AL ENSAYO 1 .....	109
ILUSTRACIÓN 6.1.5 CURVA GRANULOMÉTRICA PARA AGREGADO GRUESO RECICLADO CORRESPONDIENTE AL ENSAYO 2 .....	110
ILUSTRACIÓN 6.1.6 CURVA GRANULOMÉTRICA PARA AGREGADO GRUESO RECICLADO CORRESPONDIENTE AL ENSAYO 3 .....	111
ILUSTRACIÓN 6.2.1 CURVA GRANULOMÉTRICA PARA FINO NATURAL CORRESPONDIENTE AL ENSAYO 1.	119
ILUSTRACIÓN 6.2.2 CURVA GRANULOMÉTRICA PARA FINO NATURAL CORRESPONDIENTE AL ENSAYO 2.	120
ILUSTRACIÓN 6.2.3 CURVA GRANULOMÉTRICA PARA GRUESO NATURAL CORRESPONDIENTE AL ENSAYO 3 .....	121
ILUSTRACIÓN 6.2.4 CURVA GRANULOMÉTRICA PARA GRUESO NATURAL CORRESPONDIENTE AL ENSAYO 1 .....	122
ILUSTRACIÓN 6.2.5 CURVA GRANULOMÉTRICA PARA GRUESO NATURAL CORRESPONDIENTE AL ENSAYO 2 .....	123
ILUSTRACIÓN 6.2.6 CURVA GRANULOMÉTRICA PARA GRUESO NATURAL CORRESPONDIENTE AL ENSAYO 3 .....	124
ILUSTRACIÓN 6.5.1 DEFORMACIÓN UNITARIA VS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (C°- AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO) .....	149
ILUSTRACIÓN 6.5.2 DEFORMACIÓN UNITARIA VS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (C°- AGREGADOS NATURALES) .....	149
ILUSTRACIÓN 6.5.3 DEFORMACIÓN UNITARIA VS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (C°- AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO) .....	150
ILUSTRACIÓN 6.5.4 DEFORMACIÓN UNITARIA VS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (C°- AGREGADOS NATURALES) .....	150
ILUSTRACIÓN 6.5.5 DEFORMACIÓN UNITARIA VS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (C°- AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO) .....	151
ILUSTRACIÓN 6.5.6 DEFORMACIÓN UNITARIA VS RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN (C°- AGREGADOS NATURALES) .....	151

## RESUMEN

En Cajamarca existe gran cantidad de residuos de concreto que se arrojan como escombros, los mismos que se convierten en un impacto ambiental que necesita solución, estos residuos de concreto pueden ser utilizados para fabricar agregados reciclados, pudiendo estos sustituir a los agregados de origen aluvial, ya que se presume que los agregados de origen aluvial se están agotando debido a la gran demanda de la construcción. En este trabajo se presenta el efecto de los agregados de concreto reciclado en la resistencia a la compresión sobre el concreto de  $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ , obtenidos a partir de la elaboración de especímenes estándar según norma NTP 339.183:2013 o ASTM C 192, con agregados de concreto reciclado y agregados naturales para un  $F'_c=210 \text{ Kg/cm}^2$  de diseño a los 28 días de edad. Los resultados experimentales mostraron que la resistencia a la compresión del concreto de  $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con agregados de concreto reciclado es 15.49% menor que el concreto de  $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con agregados naturales.

**Palabras clave:** Agregado de concreto reciclado, concreto, resistencia a la compresión del concreto.

## **ABSTRACT**

In Cajamarca there is lot of waste concrete is cast as rubble, the same that become an environmental impact that needs solving, this waste concrete can be used to make recycled aggregates, may replace these aggregates alluvial presumably because alluvial aggregates are running out due to the high demand for construction. 2013 or ASTM C192: In this paper the effect of recycled aggregates in concrete compressive strength on concrete  $f_c = 210 \text{ kg / cm}^2$ , obtained from the development of standard specimens according to EN 339 183 NTP presents with recycled concrete aggregates and natural aggregates for  $F'c = 210 \text{ Kg / cm}^2$  design at 28 days of age. The experimental results showed that the compressive strength of concrete  $f_c = 210 \text{ kg / cm}^2$  made with recycled concrete aggregate is 15.49% lower than the concrete  $f_c = 210 \text{ kg / cm}^2$  made with natural aggregates.

**Keywords:** Added recycled concrete, concrete, compressive strength of concrete.

## CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

La utilización de agregados provenientes del reciclado de RCD (Residuos de Construcción y Demolición) constituye una práctica que en los últimos años ha cobrado mucha relevancia. Sobre todo porque en si misma constituye una estrategia bastante efectiva para abordar el tema de la gestión de RCD y consecuentemente para dar respuesta al problema del impacto ambiental que tales residuos generan.

En México el reciclaje de concreto para fabricar agregados y sustituir a los naturales ya es una práctica que ha empezado a realizarse, ya que la disponibilidad de bancos de materiales pétreos es cada día más escasa. (Martínez y Mendoza 2005).

En la ciudad de Cajamarca existe gran cantidad de concreto dañado que se arroja como escombros a causa de demoliciones de estructuras, desastres naturales, etc. los cuales se convierten en un impacto ambiental negativo.

Además por el aumento de la construcción en Cajamarca se presume que está conllevando al agotamiento de los agregados de origen aluvial y los de ladera, generando una gran demanda de dichos materiales naturales principales en la construcción.

En Europa el uso del agregado de concreto reciclado se incorpora hasta el 30% en una mezcla con agregados naturales, sin hacer modificaciones a los diseños habituales. Y a partir de ahí, realizan las modificaciones de mezclas en la proporción de agua/cemento. En tales casos, no se han encontrado diferencias en la durabilidad y resistencia del concreto. (Mukesh Limbachiya 2003).

En Cajamarca se desconoce el uso del concreto reciclado por lo que no se podría utilizar el mismo porcentaje (30% de agregado reciclado), puesto que los concretos en Europa son muy diferentes a los de nuestra localidad ya que son de alta resistencia  $f_c > 400 \text{ kg/cm}^2$  y sus agregados son de diferente naturaleza a los nuestros; consecuencia de ello el agregado obtenido a base de concreto reciclado tendría mejores propiedades físicas y mecánicas en comparación al agregado obtenido a base de concreto reciclado de nuestra localidad.

En consecuencia, consideramos de importancia iniciar el desarrollo de experiencias orientadas a la utilización de agregados reciclados de RCD en la elaboración de concreto de  $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ , puesto que en Cajamarca el concreto más usado para las estructuras de concreto es el concreto de  $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ ; con el propósito de intensificar sus aplicaciones del concreto reciclado en Cajamarca.

Esta investigación se propone estudiar el efecto de los agregados de concreto reciclado en la resistencia a la compresión del concreto de  $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ , y el estudio de las propiedades físicas y mecánicas necesarias de los agregados de concreto reciclado para el diseño del concreto de  $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ .

La pregunta que se deriva de la problemática descrita es:

¿Cuál es el efecto de los agregados de concreto reciclado en la resistencia a la compresión sobre el concreto de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ ?, para lo cual se planteó hipótesis La resistencia a la compresión del concreto de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con agregados de concreto reciclado es 30% menor que el concreto de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ .

En Cajamarca no existe un estudio del efecto de los agregados de concreto reciclado en la resistencia a la compresión sobre el concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ . Se desconoce cuál es la resistencia del concreto de  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con agregados de concreto reciclado, a falta de esta información no podemos utilizar los concretos dañados (RCD) para obtener un nuevo agregado (agregados de concreto reciclado) para elaborar concretos; así afrontar el agotamiento de agregados naturales y disminuir el impacto ambiental debido a la frecuente producción de RCD en Cajamarca.

Por consiguiente es necesario conocer efecto de los agregados de concreto reciclado en la resistencia a la compresión sobre el concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  y sobre todo saber cuál es la variación en la resistencia a la compresión del concreto  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$  elaborado con agregados de concreto reciclado.

Esta información será de utilidad para ser tomada como referencia en futuras investigaciones relacionadas con la elaboración de concreto con agregados de concreto reciclados.

La presente investigación se limitara a realizar el estudio efecto de los agregados de concreto reciclado en la resistencia a la compresión sobre el concreto  $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$ , para lo cual se hará un previo estudio de las propiedades necesarias de los agregados (agregado fino y agregado grueso) obtenidos a partir del concreto reciclado para hacer el diseño respectivo del concreto  $F_c=210 \text{ Kg/cm}^2$ .

El concreto reciclado que se utilizará en la presente investigación para la obtención del agregado de concreto reciclado (agregado fino y agregado grueso) será de pavimentos rígidos existentes en la ciudad de Cajamarca.

La presente investigación tiene por objetivo determinar el efecto de los agregados de concreto reciclado en la resistencia a la compresión sobre el concreto de  $f_c=210 \text{ kg/cm}^2$

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS**

#### **2.1.1. REUTILIZACIÓN DEL CONCRETO**

##### **REUTILIZACIÓN DEL CONCRETO EN EUROPA.**

Mukesh Limbachiya (2003). Debido a las implicancias económicas y ambientales, la industria de la construcción de Europa experimenta una gran presión para superar la elevada producción de RCD.

##### **REUTILIZACIÓN DEL CONCRETO EN MEXICO.**

Cruz y Lázquez (2004) dice que el reciclaje del concreto demolido posee importantes atractivos frente a la utilización de materias primas naturales, la gran ventaja es que soluciona paralelamente la eliminación de estos materiales (material de demolición) y que por medio del aprovechamiento de estos materiales se reduce la cantidad de recursos naturales primarios a extraer.

Martínez y Mendoza 2005 revelo que los agregados de concreto reciclado con granulometría adecuada producen mezclas de buena calidad y con un comportamiento mecánico similar al de los concretos naturales.

##### **REUTILIZACIÓN DEL CONCRETO EN ECUADOR.**

Montrone et al 2008, concluyen que las propiedades de los concretos reciclados, se encuentran en función a la calidad y nivel de reemplazo de los agregados reciclados.

La calidad de los agregados reciclados son dependientes de su porcentaje de absorción: A menor absorción, mejor será su calidad.

## 2.1.2. INFLUENCIA DE LOS AGREGADOS RECICLADOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO.

### Trabajabilidad

La trabajabilidad es uno de los factores más críticos en los concretos fabricados con agregados reciclados. Si bien es cierto, el asentamiento inicial del concreto en estado fresco decrece levemente con el aumento del nivel de reemplazo de agregados reciclados, difícilmente es afectado por el tipo de agregado

Yang y Kim demostraron que la pérdida relativa de asentamiento del concreto fresco contra el tiempo transcurrido, puede ser aproximadamente expresada con la siguiente ecuación:

$$\frac{S_t}{(S_t)_i} = kT + 1$$

Donde  $(S_t)_i$  es el asentamiento inicial en mm medido inmediatamente después del mezclado;  $S_t$  es el asentamiento medido a T minutos y k es la razón de pérdida de asentamiento en mm/minuto.

### Peso unitario

Los agregados reciclados poseen una menor densidad, pero las variantes de densidad no son tan marcadas como las que se tienen en absorción. Una menor densidad de los agregados resultará, lógicamente, en un concreto de menor peso unitario. Torben Hansen señala que un concreto con agregados reciclados posee una densidad 5% menor.

## **Exudación**

Kim et al. Concluyó que la exudación del concreto disminuye a medida que aumenta el porcentaje de reemplazo de agregado grueso reciclado, debido a que el agua de sangrado es absorbida por la pasta de cemento en la superficie de los agregados.

Los resultados obtenidos por Yang et al. Ratifican esta tendencia. Según dicho estudio, la exudación en concretos con agregados reciclados de alta absorción, podría empezar a desarrollarse pasadas las dos horas de mezclado, mientras que un concreto con agregado natural, iniciaría el sangrado a los treinta minutos aproximadamente.

Este factor implicaría un mayor cuidado en la hidratación del concreto, debido a que ante una evaporación del agua superficial rápida, una baja velocidad de exudación podría generar fisuras por contracción plástica.

### **2.1.3. INFLUENCIA DE LOS AGREGADOS RECICLADOS EN EL COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO**

#### **Resistencia a la compresión**

Jorge Muñoz en 1975, afirmó que es posible obtener concretos aceptables de buena calidad usando desechos de concreto como agregado grueso cuya resistencia será del orden de 90% de la que se obtendría con un agregado normal para una relación agua/cemento determinada. Dicha afirmación se basó en ensayos realizados con un agregado grueso reciclado de 6.06 % de absorción.

En 1983, Torben C. Hansen en su investigación "Strength of concrete made from crushed concrete coarse aggregate" afirmaba que técnicamente era factible producir concretos de baja resistencia sin importar la fuente de concreto de la cual se obtuvo el agregado reciclado, y que incluso se podía producir concretos de mayor resistencia que el concreto original, aunque aumentando ligeramente el contenido de cemento.

Rahal, corroborando lo señalado por Muñoz, también llegó a que la resistencia a compresión de un concreto usando agregado reciclado grueso, en este caso en base a una absorción de 3.47%, era del orden de 90% de uno hecho con agregado natural.

Yang y Chung, sostienen que para concretos reciclados fabricados con agregados de alta absorción, a edades tempranas se alcanzaba solo un 60 a 80% de la resistencia de un concreto normal, lo cual variaba levemente en los siguientes días.

En su publicación, Frondistou-yannas (apud Romero, H.) asegura que la resistencia a la compresión del concreto con agregado reciclado es del orden de un 64% a 100% que la del concreto con agregado convencional, mientras que Ramamurthy y Gumaste (apud Romero, H.) indican que el porcentaje de reducción de resistencia se encuentra entre el 5 y el 32%.

En un análisis comparativo en el que se analizó el comportamiento de concreto con agregado grueso de concreto reciclado y agregado grueso de albañilería reciclada, Montrone y Quispe llegaron a que para el primer caso la pérdida de resistencia es menor al 5% y para el segundo, la diferencia llegaba al orden del 20%.

Así sucesivamente, decenas de autores sostienen diversas variaciones entre las resistencias de los concretos reciclados y concretos convencionales; algunos de ellos se muestran en la Tabla siguiente.

**Tabla 2.1.1 Reducción de la resistencia al usar agregados reciclados según diversos autores**

<b>FUENTE</b>	<b>REDUCCIÓN DE RESISTENCIA</b>
(Jorge Muñoz, 1975)	10%
(Frondistou-Yannas, 1981)	0 - 36%
(Ramamurthy y Gumaste, 1998)	5% - 32%
(ACI committee 555, 2001)	15% - 40%
(Puig, 2003)	15%
(Romero, 2004)	0% - 30%
(Martinez y Mendoza, 2005)	2% - 7%
(ABOU-ZEID, M. et al., 2005)	10% - 20%
(Rahal, 2007)	10%
(Montrone y Quispe, 2007)	5%-20%
(Yang et al., 2008)	0 - 40%

Puede observarse que existe una gran incertidumbre al tratar de predecir la resistencia de un determinado diseño de concreto reciclado, basándose en estos resultados heterogéneos.

Ha sido demostrado por diversos autores, que la resistencia de un concreto reciclado en relación a un concreto convencional, depende de las características del agregado madre: La propiedad principal es la absorción.

Como queda demostrado por Yang et al., la absorción de los agregados reciclados son en gran parte dependientes del contenido de pasta de cemento en su superficie, de modo que a mayor contenido de pasta de cemento, mayor será la absorción.

Es a partir de este parámetro que finalmente se puede realizar una tipificación de los agregados que permita clasificarlos de acuerdo al tipo de concreto en el que pueden ser empleados para obtener un comportamiento aceptable y predecible.

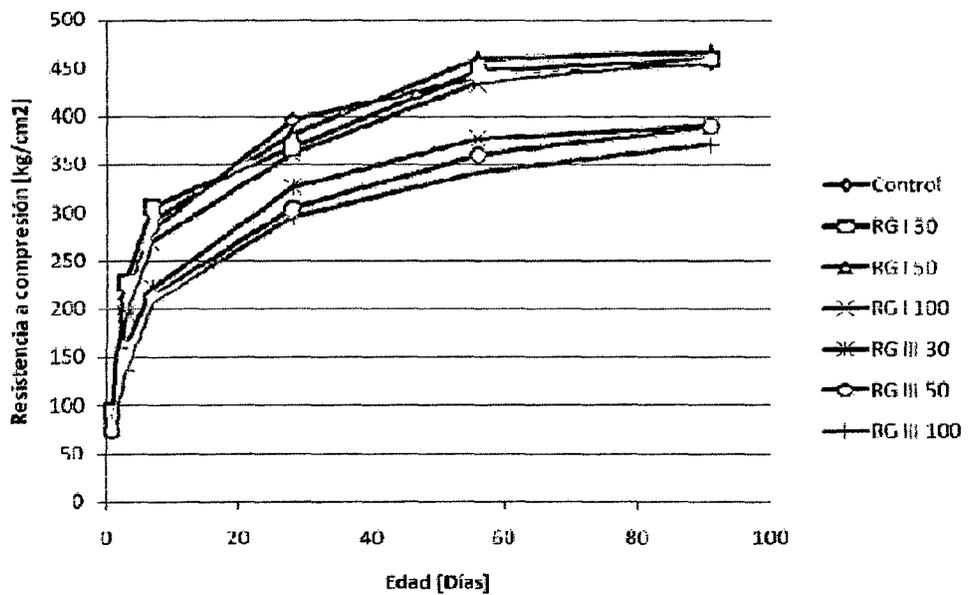
Yang et al en su investigación publicada en el ACI Materials Journal, clasifican los agregados reciclados según las Normas Industriales Coreanas para ensayos de concreto. Dichos estándares clasifican a los agregados gruesos en tres grupos, y a los finos en dos grupos, según su porcentaje de absorción, como lo muestra la Tabla siguiente:

**Tabla 2.1.2 Clasificación de agregados reciclados según Estándares Coreanos**

AGREGADO	TIPO	ABSORCIÓN	APLICACIÓN
<b>GRUESO</b>	I	<3%	Concreto Estructural
	II	<5%	Concreto No-Estructural
	III	<7%	Concreto No-Estructural o filler para construcción de pavimentos
<b>FINO</b>	I	<5%	Concreto Estructural
	II	<10%	Concreto No-Estructural

A partir de esta clasificación, realizaron ensayos de concretos reciclados de diferentes tipos, y en diferentes porcentajes de reemplazo, y se compararon los resultados con el concreto patrón, obteniéndose los resultados mostrados en el SIGUIENTE Gráfico.

(RG I 30 representa un concreto con un 30% de reemplazo de agregado tipo I.)



**Ilustración 2.1.1 Resistencia a la compresión vs. Edad según tipo y porcentaje de remplazo de agregado**

Se observa en el gráfico que para los agregados de baja absorción, la resistencia a los 28 días se reduce en un 10%, pero que pasados a los 60 días, alcanza una resistencia igual a la del diseño de control, demostrando la resistencia en un concreto de agregados reciclados de este tipo, la resistencia no se reduce, sino que tarda más en desarrollarse.

Por el otro lado, en agregados de alta absorción, el concreto experimenta pérdidas de 20% a más.

Romero en su estudio, señala que hasta con un 40% de reemplazo la disminución en la resistencia es mínima, ya que se alcanza casi el 100% de la mezcla control, mientras que con un 100% de reemplazo, se alcanza solo un 70% de la resistencia de la mezcla control.

## **Módulo de elasticidad**

Según Frondistou-Yannas el Módulo de elasticidad del concreto depende en gran medida del módulo de sus agregados, y el módulo de elasticidad es menor en los agregados reciclados comparados con los convencionales. Por tal razón, se ha encontrado que el valor de dicha propiedad en concreto con agregados reciclados se encuentra entre un 60 y 100% del resultado de un concreto con agregado convencional y composición similar.

Cuando solo se reemplaza el agregado grueso la pérdida en el valor del módulo se reduce a solamente de 10% a 33%.

Muñoz determinó que el módulo de elasticidad en concretos con agregado grueso reciclado disminuye en 25% a 30%.

Por su parte, Hansen señala que dentro del rango de concretos normalmente usados para construcciones, los concretos fabricados con agregados reciclados gruesos tienen un módulo de elasticidad entre 15 y 30% menor que un concreto convencional. Asimismo, para agregados reciclados con altos contenidos de pasta de cemento, y por ende alta absorción, el módulo de elasticidad del concreto puede llegar a ser hasta 50% menor que en un concreto convencional.

Se puede observar que el comportamiento elástico, por el momento, es una incógnita. Aunque dicho está que definitivamente su magnitud es menor a la del concreto convencional.

Esto indica que al emplear un concreto reciclado, al variar sus propiedades elásticas, tendría que tenerse especial cuidado al calcular las deformaciones, que por la naturaleza de sus agregados, generarán deformaciones mayores.

## **Contracción**

Yang et al. sostiene que la contracción en concretos reciclados es menor durante los 10 primeros días, pero a largo plazo resulta bastante mayor.

Tavakoli sustenta que los concretos reciclados muestran una mayor contracción de secado comparado al concreto con agregado natural. La magnitud de este aumento depende de las características del concreto original, la fuente y características del agregado reciclado, y las características del concreto reciclado.

Se debe principalmente a la pasta del cemento adherida a la superficie del agregado. La absorción es un indicador de la cantidad de pasta, por tanto una mayor absorción del agregado, producirá mayor contracción

Hansen, T obtuvo que este valor varía entre más del 40 y 60% de la contracción del concreto convencional, y al emplearse agregados de alta absorción, puede volverse varias veces mayor.

### **Permeabilidad**

El uso de la combinación de agregado fino y agregado grueso producto del reciclaje, en mezclas de concreto, generalmente puede causar un incremento en la porosidad del concreto, aumentando su permeabilidad, permitiendo una alta tasa de difusión de gases, lo cual impide una protección adecuada del refuerzo, frente a la corrosión (Nagataki et al. apud Romero, H.

Abou-Zeid, reitera el aumento de permeabilidad, además de afirmar que puede llegar a aumentar hasta en cuatro veces la permeabilidad del concreto convencional.

Según Ryu (apud Romero, H.) la calidad de la pasta de cemento del concreto original que se encuentra adherida al agregado reciclado juega un papel importante en el desempeño del nuevo concreto. Cuando se aumenta la relación a/c, de un nuevo concreto, la permeabilidad se incrementa y la adhesión entre el mortero y el agregado reciclado disminuye, perjudicando otras propiedades del concreto.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. MANEJO DE RESIDUOS DE LA ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN (NTP 400.050).**

La Norma Técnica Peruana (NTP) se aplica a los residuos de la actividad de la construcción, los cuales son todos aquellos residuos generados en el proceso constructivo o después de la remoción, levantamiento, demolición, reparación y/o reforzamiento o adecuación para cambio de uso en general.

Se recomiendan opciones de manejo con énfasis en las opciones de reutilización y de reciclaje de estos materiales, como en la construcción de obras civiles y carreteras.

Los residuos peligrosos y de tipo doméstico que resulten de las actividades antes mencionadas están sujetos a las regulaciones correspondientes vigentes no incluidas en esta norma.

### **PRINCIPIOS GENERALES**

Las actividades de la construcción se deben desarrollar en base de criterios que armonicen el crecimiento económico del sector, la protección ambiental y el control sanitario de las operaciones, así como el mantenimiento o mejoramiento de la calidad de vida de la población.

Estos criterios de gestión de los residuos de la actividad de la construcción, se deben plasmar en la adopción, alternativa o complementaria, de las siguientes medidas según el orden de prioridad indicado:

1era. Opción: La minimización de los volúmenes y las características de peligrosidad de los residuos de la actividad de la construcción.

2da. Opción: El aprovechamiento de los residuos generados mediante prácticas de reutilización y reciclaje.

3ra. Opción: La disposición final sanitaria y ambientalmente adecuada de los residuos generados, previo tratamiento cuando éste sea requerido.

## **COMPONENTES DEL MANEJO DE RESIDUOS DE LA ACTIVIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN**

La reutilización y el reciclaje de los residuos deben realizarse sobre la base de los mayores volúmenes de residuos y de las alternativas cuyas exigencias técnicas sean lo más elevadas posibles, para lo cual debe procurarse que los materiales recuperados de los residuos de la actividad de la construcción resulten con las mismas o similares características de los materiales de origen. Esto se logra a través de un desmontaje selectivo y de la clasificación y separación de los materiales. Las mezclas que sean inadecuadas para un reciclaje, bajo los criterios técnicos y ambientales, deben ser previamente retiradas y tratadas conformes a las normas respectivas.

### **a) Recolección:**

La recolección debe realizarse selectivamente teniendo en cuenta el destino de los residuos obtenidos, ya sea su reutilización, reciclaje o disposición final, y de acuerdo a las Normas Técnicas respectivas.

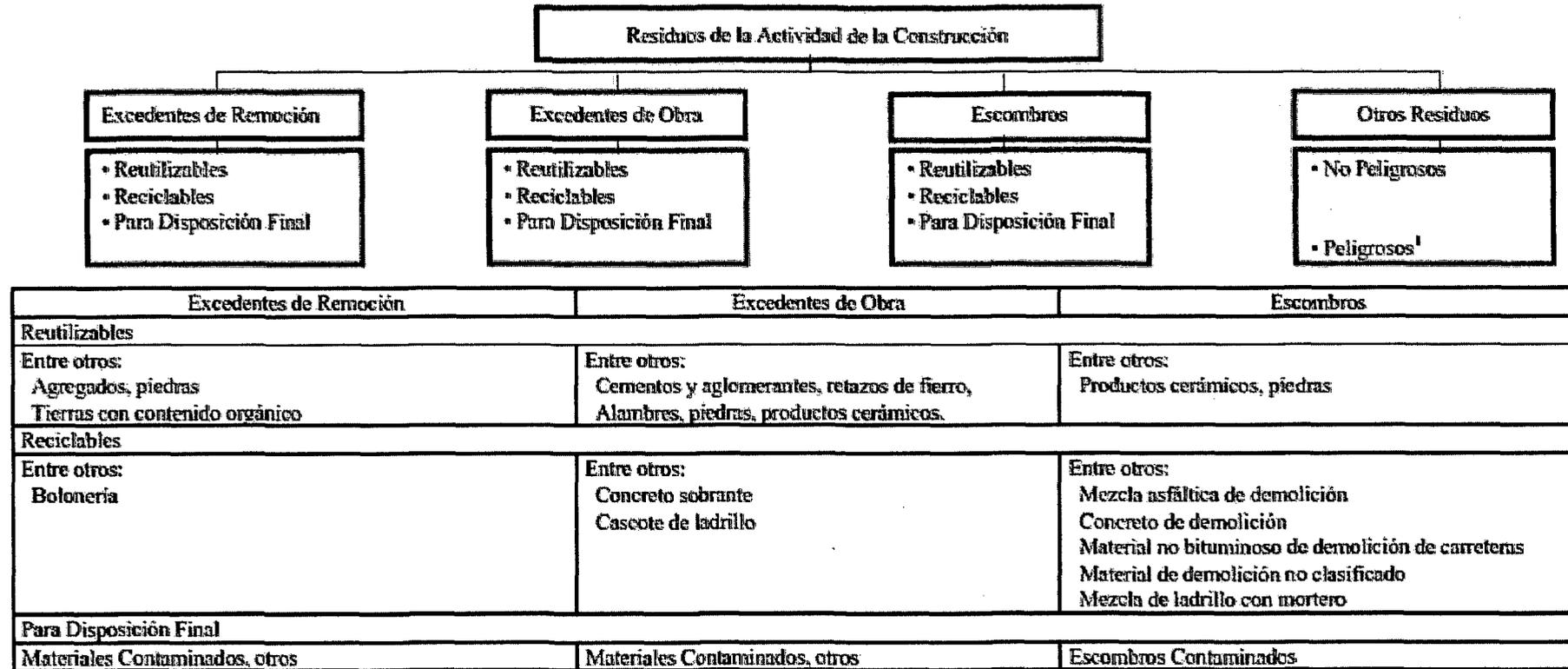
### **b) Transporte:**

El transporte debe realizarse con equipos y/o vehículos en horarios y rutas según las Normas Técnicas respectivas.

### **c) Aprovechamiento (reutilización y reciclaje de materiales):**

En la Tabla1 siguiente se muestra un cuadro sinóptico donde aparecen las diferentes fracciones de los residuos de la actividad de la construcción, los materiales secundarios y sus usos posibles.

Las fracciones obtenidas deben ser tratadas para obtener materiales secundarios que permitan su reciclaje en opciones cuyas exigencias técnicas sean las más elevadas posibles, con el fin de minimizar una pérdida de calidad del material por reciclaje.



**Ilustración 2.2.1 Clasificación y opciones de manejo de los residuos de la actividad de la construcción**

*Fuente: NTP. 400.050*

Fracciones de Residuos Información Relevante	Mezcla Asfáltica de Demolición PNTP 400.051		Materiales no Bituminosos de Demolición de Carreteras PNTP 400.052	Concreto de Demolición PNTP 400.053	Materiales de Demolición no Clasificados PNTP 400.054	Excedentes de Remoción PNTP 400.055	
	Procedencia:	Carpetas asfálticas	Tratamiento asfáltico superficial	Bases y subbases granuladas no tratadas de pavimentos	Losas de Concreto	Edificaciones, carreteras, canales	Suelos a remover
Proceso de Obtención de Fracciones de los Residuos	Fresado	Levantamiento / fresado	Remoción / fresado	Levantamiento / fresado	Demolición selectiva	Demolición	Levantamiento
Proceso de Obtención de Materiales Secundarios	-	Chancado	Chancado	Chancado / selección	Chancado / selección	Chancado / selección	-
Materiales Secundarios Obtenidos	Granulado de Asfalto		Granulado no Bituminoso de Carreteras	Granulado de Concreto	Granulado no clasificado		-
Usos	Nivel de Recomendación						
Tipo I	Carpeta Asfáltica	1					
	Losas de Concreto				1		
	Maderos		2				
	Concreto		2		1	1	
	Ladrillos		1		1	1	
Tipo II	Bases sin Aglomerante	2	1		2	2	
	Sub-base	2	1		2		
	Capa Sub-rasante *	2	1		2	2	
Tipo III	Rellenos no portantes	3	3		3	3	1
	Faludes contra ruido	3	3		3	3	1
	Rellenos Sanitarios		3		3	3	1

**Leyenda:**

- Usos:
- Tipo I: Opciones con uso de aglomerantes (cemento y asfalto).
  - Tipo II: Opciones sin necesidad de aglomerantes con mayor exigencia técnica.
  - Tipo III: Opciones sin necesidad de aglomerantes con mínima exigencia técnica.

- Niveles de Recomendación:
- 1: Uso óptimo bajo el criterio de uso de materiales con la opción de mayor exigencia técnica posible.
  - 2: Uso posible asumiendo pérdida en el potencial de reciclaje de la obra realizada con este material secundario.
  - 3: Opción menos recomendable.
  - No recomendable

\* capa de espesor h ubicada debajo del nivel de sub-rasante

### Ilustración 2.2.2 Opciones de aprovechamiento de los Residuos de la Actividad de la Construcción

Fuente: NTP. 400.050



## 2.2.2. AGREGADOS

Rivva López (1996) y Flavio Abanto (2001)

### DEFINICIONES

Llamados también áridos, son un conjunto de partículas de origen natural o artificial; que pueden ser tratados o elaborados y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la Norma Técnica Peruana 400.011.2008.

Los agregados pueden constituir hasta las tres cuartas partes en volumen, de una mezcla típica de concreto; razón por la cual haremos un análisis minucioso y detenido de los agregados utilizados en la zona.

AIRE	1% – 3%
CEMENTO	7% – 15%
AGUA	15% – 22%
AGREGADOS	60% – 75%

### **Ilustración 2.2.3 Componentes del concreto**

**Los agregados deberán cumplir con los siguientes requerimientos:**

Los agregados empleados en la preparación de los concretos de peso normal ( $2200$  a  $2500 \text{ kg/m}^3$ ) deberán cumplir con los requisitos de la NTP 400.037.2002 o de la Norma ASTM C 33, así como los de las especificaciones del proyecto.

Los agregados fino y gruesos deberán ser manejados como materiales independientes. Si se emplea con autorización del Proyectista, el agregado integral denominado “hormigón” deberá cumplir como lo indica la Norma E.060.

Los agregados seleccionados deberán ser procesados, transportados manipulados, almacenados y dosificados de manera tal de garantizar:

- 1) Que la pérdida de finos sea mínima;
- 2) Se mantendrá la uniformidad del agregado;
- 3) No se producirá contaminación con sustancias extrañas;
- 4) No se producirá rotura o segregación importante en ellos.

**Dependiendo de sus dimensiones la Norma Técnica Peruana, clasifica y denomina a los agregados en:**

**a) AGREGADO FINO**

Se define como agregado fino al proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa el tamiz 9.51 mm. (3/8") y queda retenido en el tamiz 74 um (N°200) que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037.2002.

El agregado fino deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

- ✓ El agregado fino puede consistir de arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas. Sus partículas serán limpias, de perfil preferentemente angular, duro, compacto y resistente.
- ✓ El agregado fino deberá estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales, u otras sustancias dañinas.
- ✓ El agregado fino deberá estar graduado dentro de los límites indicados en la NTP 400.037.2002

**Tabla 2.2.1 GRANULOMETRIA DEL AGREGADO FINO, NTP  
400.037.2002**

<b>TAMIZ</b>	<b>PORCENTAJE DE PESO (MASA) QUE PASA</b>
<b>9.5 mm (3/8)</b>	100
<b>4.75 mm (N°4)</b>	95 – 100
<b>2.36 mm (N°8)</b>	80 – 100
<b>1.18 mm (N°16)</b>	50 – 85
<b>600 um (N°30)</b>	25 – 60
<b>300 um (N°50)</b>	05 – 30
<b>150 um (N°100)</b>	2 – 10

- ✓ El módulo de fineza del agregado fino se mantendrá dentro del límite de  $\pm 0.2$  del valor asumido para la selección de las proporciones del concreto; siendo recomendable que el valor asumido esté entre 2.3 y 3.1.
- ✓ El agregado fino no deberá indicar presencia de materia orgánica cuando ella es determinada de acuerdo a los requisitos de la NTP 400.013.2013.

**b) AGREGADO GRUESO**

Se define como agregado grueso al material retenido en el tamiz 4.75 mm. (N° 4) y cumple los límites establecidos en la NTP 400.037.

El agregado grueso podrá consistir de grava natural o triturada, piedra partida, o agregados metálicos naturales o artificiales. El agregado grueso empleado en la preparación de concretos livianos podrá ser natural o artificial.

El agregado grueso deberá cumplir con los siguientes requerimientos:

- 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 ó la Norma ASTM C33
  - 1) La granulometría seleccionada deberá ser de preferencia continua.
  - 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 1 1/2" y no más del 6% del agregado que pasa la malla de 1/4"
- El agregado grueso debería estar graduado dentro de los límites especificados en la NTP 400.037.2002

**c) TAMAÑO NOMINAL MAXIMO DEL AGREGADO GRUESO**

La NTP 400.011.2008 lo define como la abertura de la malla del tamiz que indica la Norma de malla menor, por lo cual el agregado grueso pasa del 95% al 100%.

**d) MODULO DE FINEZA**

El denominado módulo de fineza, representa un tamaño promedio ponderado de la muestra de arena, pero no representa la distribución de las partículas.

Es un factor empírico obtenido por la suma dividida por cien de los porcentajes retenidos acumulados de los siguientes tamices NTP: 149 um (Nº 100), 297 um (Nº 50), 595um (Nº 30), 1.19mm (Nº 16), 2.38 mm (Nº 8), 4.76 mm (Nº4), 9.51 mm (3/8"), 19.00mm (3/4"), 38.1mm (1 1/2"), 76.2 mm (3") y mayores incrementando en la relación de 2 a 1.

**e) MATERIAL QUE PASA Y MATERIAL RETENIDO**

La NTP 400.012.2013 considera que un agregado “pasa” por un tamiz, siempre que éste no retenga más de un 5% en peso del material tamizado. Se dice que un agregado es “retenido” por un tamiz cuando éste no deja pasar más de un 5% en peso del material tamizado.

**f) PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN (NTP 400.021 - NTP 400.022)**

• **Peso específico**

El peso específico de los agregados es un indicador de calidad, en cuanto que los valores elevados corresponden a materiales de buen comportamiento, mientras que para bajos valores generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles.

**PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO (NTP 400.022)**

La presente norma establece el método de ensayo para determinar el peso específico (densidad); peso específico saturado con superficie seca, el peso específico aparente y la absorción después de 24 horas en agua del agregado fino.

Las definiciones que se sugieren en la presente norma son:

- **PESO ESPECÍFICO**

Es la relación a una temperatura estable, de la masa de un volumen unitario de material, a la masa del mismo volumen de agua destilada libre de gas.

- **PESO ESPECÍFICO APARENTE**

Es la relación a una temperatura estable, de la masa en el aire, de un volumen unitario de material, a la masa en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gas, si el material es un sólido, el volumen es igual a la porción impermeable.

- **PESO ESPECÍFICO DE MASA**

Es la relación, a una temperatura estable, de la masa en el aire de un volumen unitario de material (incluyendo los poros permeables e impermeables naturales

del material); a la masa en el aire de la misma densidad, de un volumen igual de agua destilada libre de gas.

- **PESO ESPECIFICO DE MASA SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO**

Es lo mismo que el peso específico de masa, excepto que la masa incluye el agua en los poros permeables.

Nota: El peso específico anteriormente definido está referido a la densidad del material, conforme al Sistema Internacional de Unidades.

**PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO (NTP 400.021)**

Es la relación a una temperatura estable de la masa en el aire de un volumen unitario de material, a la masa en el aire de igual densidad de un volumen igual de agua destilada libre de gas.

• **ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO (NTP 400.022)**

La presente norma, establece el método de ensayo para determinar el porcentaje de absorción (después de 24 horas en el agua).

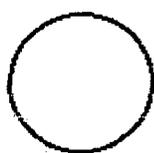
Podemos definir la absorción, como la cantidad de agua absorbida por el agregado sumergido en el agua durante 24 horas. Se expresa como un porcentaje del peso del material seco, que es capaz de absorber, de modo que se encuentre el material saturado superficialmente seco.

La absorción del agregado grueso se determina por la NTP 400.021.

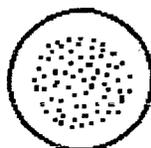
**g) CONTENIDO DE HUMEDAD (NTP 339.185)**

La presente norma, establece el método de ensayo para determinar el contenido de humedad del agregado fino y grueso.

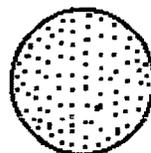
Los agregados se presentan en los siguientes estados: seco al aire, saturado superficialmente seco y húmedos; en los cálculos para el proporcionamiento de los componentes del concreto, se considera al agregado en condiciones de saturado y superficialmente seco, es decir con todos sus poros abiertos llenos de



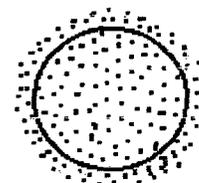
SECO EN  
LABORATORIO



SECO AL  
AIRE



SATURADO Y  
SUPERFICIALMENTE  
SECO



HUMEDO

agua y libre de humedad superficial.

Los estados de saturación del agregado son como sigue:

**h) PESO VOLUMETRICO UNITARIO (NTP 400.017)**

La norma establece el método para determinar el peso unitario de agregados finos y gruesos.

Se denomina peso volumétrico del agregado, al peso que alcanza un determinado volumen unitario. Generalmente se expresa en kilos por metro cúbico. Este valor es requerido cuando se trata de agregados ligeros o pesados y para convertir cantidades en volumen y viceversa, cuando el agregado se maneja en volumen.

**i) FORMA Y TEXTURA SUPERFICIAL**

La forma y textura de las partículas de agregados influyen grandemente en los resultados a obtenerse en las propiedades del concreto. Existiendo un efecto de anclaje mecánico que resulta más o menos favorable en relación con el tamaño, la forma, la textura superficial y el acomodo entre ellas, también se producen

fenómenos de adherencia entre la pasta de cemento y los agregados, condicionados por estos factores; que contribuyen en el comportamiento de resistencia y durabilidad del concreto.

- **FORMA**

Por naturaleza los agregados tienen una forma irregularmente geométrica, compuesta por combinaciones aleatorias de caras redondeadas y angularidades.

En términos meramente descriptivos, la forma de los agregados se define en:

Angular : Poca evidencia de desgaste en caras y bordes.

Subangular : Evidencia de algo de desgaste en caras y bordes.

Subredondeada : Bordes casi eliminados.

Muy redondeadas: Sin caras ni bordes.

- **TEXTURA**

Representa qué tan lisa o rugosa es la superficie del agregado. Es una característica ligada a la absorción, pues los agregados muy rugosos tienen mayor absorción que los lisos; además que producen concretos menos plásticos pues se incrementan la fricción entre partículas dificultando el desplazamiento de la masa.

### **2.2.3. EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO**

Es un proceso que consiste en calcular las proporciones de los elementos que forman el concreto, con el fin de obtener los mejores resultados.

Existen diferentes métodos de Diseños de Mezcla; algunos pueden ser muy complejos como consecuencia a la existencia de múltiples variables de las que dependen los resultados de dichos métodos, aun así, se desconoce el método que ofrezca resultados perfectos, sin embargo, existe la posibilidad de seleccionar alguno según sea la ocasión.

#### **a) PARÁMETROS BÁSICOS:**

##### **a) EL PRINCIPIO DE LOS VOLÚMENES ABSOLUTOS.-**

Todos los métodos de diseño de mezclas exactos, se basan en el principio de considerar en el cálculo, los volúmenes de los componentes sin incluir los vacíos entre ellos, de manera que sumados conjuntamente con el aire que atrapa el concreto suministren la unidad de medida que se esté adoptando, que usualmente es  $1\text{m}^3$ .

En consecuencia, se trabaja en los cálculos con el peso específico de los sólidos, también llamado gravedad específica o peso específico de masa, sea en condición seca o saturada superficialmente seca, para obtener los volúmenes sólidos de los componente de modo de dosificarlos adecuadamente para lograr la unidad volumétrica de medida.

##### **b) LA RESISTENCIA EN COMPRESIÓN Y LA RELACIÓN AGUA/CEMENTO**

Dado que por lo general la resistencia en compresión es un requisito fundamental que emana del proyecto estructural, o en algunas ocasiones el proyectista exige consideraciones especiales de durabilidad, se deriva entonces que un parámetro ineludible en el diseño de mezclas es la relación Agua/Cemento, pues como ya hemos visto al evaluar los conceptos sobre los materiales en el concreto, este parámetro regula dicho comportamiento.

En ciertas ocasiones, las condiciones de durabilidad de las estructuras de concreto por circunstancias de exposición y agresividad extrema al medio ambiente y las características de operatividad o uso, motivan que independientemente del  $f_{cR}$  que ya conocemos, se deba asumir una relación Agua/Cemento muy baja que optimice la impermeabilidad, la resistencia a la abrasión y el desgaste, la resistencia a la agresión química etc. y que estará asociada consecuentemente a una resistencia en compresión generalmente superior a la necesaria por requerimientos estructurales.

Siendo el tema de la durabilidad bastante amplio, se trata en profundidad y se establecen una serie de criterios para elegir la relación Agua/Cemento más recomendable para cada caso particular, y así tener alternativas de decisión al respecto cuando las condiciones particulares así lo exijan.

### **c) LA GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS Y EL TAMAÑO MÁXIMO DE LA PIEDRA.-**

Está generalizado mundialmente el criterio de utilizar las granulometrías o gradaciones de agregados que provean el mejor acomodo entre las partículas creando una estructura muy densa, resistente e impermeable y favoreciendo la trabajabilidad.

En este sentido existen una gran variedad de opciones en cuanto a cómo evaluar dichas gradaciones y como combinarlas, que dependen de la mayor o menor confiabilidad que se le asigne al sustento técnico de cada una, por lo que esta etapa es la que diferencia un método de diseño de otro.

Dentro de la granulometría, un factor importante, es el Tamaño Máximo del agregado y su forma. Está justificado experimentalmente que este factor influya en la cantidad de agua que requiere la mezcla para satisfacer condiciones de trabajabilidad, y así cuanto mayor sea el Tamaño del agregado y más redondeado, menor será el requerimiento de agua.

Cuanto más fino y anguloso es el agregado supone mayor cantidad de partículas y una mayor área a ser cubierta por el agua para fines de trabajabilidad, y cuanto más grueso y redondeado, se reduce consecuentemente la cantidad de partículas y el área involucrada.

El tamaño máximo está además muy relacionado con la disposición y facilidades de colocación del concreto en los encofrados así como el tipo de estructura, por lo que se recomienda usualmente que no sea más de  $1/3$  del espesor de las losas,  $1/5$  de la mínima dimensión de los encofrados, ni más de  $3/4$  del espacio mínimo en el acero de refuerzo, pero esto no es limitativo si se puede demostrar en obra la eficiencia de diseños con tamaño mayor.

#### **d) LA TRABAJABILIDAD Y SU TRASCENDENCIA.-**

La trabajabilidad constituye el parámetro más manejado por los que diseñan, producen y colocan concreto, sin embargo es el más difícil de definir, evaluar y cuantificar en términos absolutos.

Se define como el mayor o menor trabajo que hay que aportar al concreto en estado fresco en los diferentes procesos de fabricación, transporte, colocación, compactación y acabado.

Usualmente recurrimos al slump como evaluación de esta característica, pero la experiencia demuestra que es una manera sumamente limitada de evaluarla pues sólo resulta un indicador de la cantidad de agua en la mezcla.

#### **E) ECONOMÍA**

El costo del concreto es la suma del costo de los materiales, de la mano de obra empleada y el equipamiento. Sin embargo excepto para algunos concretos especiales, el costo de la mano de obra y el equipamiento son muy independientes del tipo y calidad del concreto producido. Por lo tanto los costos de los materiales son los más importantes y los que se deben tomar en cuenta para comparar mezclas diferentes. Debido a que el cemento es más costoso que

los agregados, es claro que minimizar el contenido del cemento en el concreto es el factor más importante para reducir el costo del concreto. En general, esto puede ser echo del siguiente modo:

- Utilizando el menor slump que permita una adecuada colocación.
- Utilizando el mayor tamaño máximo del agregado (respetando las limitaciones indicadas en el capítulo anterior).
- Utilizando una relación óptima del agregado grueso al agregado fino.
- Y cuando sea necesario utilizando un aditivo conveniente.

#### **f) INFORMACION REQUERIDA PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS**

- Análisis granulométrico de los agregados
- Peso unitario compactado de lo agregados (fino y grueso)
- Peso específico de los agregados (fino y grueso)
- Contenido de humedad y porcentaje de absorción de los agregados (fino y grueso)
- Perfil y textura de los agregados
- Tipo y marca del cemento
- Peso específico del cemento
- Relaciones entre resistencia y la relación agua/cemento, para combinaciones posibles de cemento y agregados.

#### **b) PASOS PARA EL PROPORCIONAMIENTO.**

Podemos resumir la secuencia del diseño de mezclas de la siguiente manera

- Estudio detallado de los planos y especificaciones técnicas de obra.
- Elección de la resistencia promedio ( $f_{cr}$ ).

- Elección del Asentamiento (Slump).
- Selección del tamaño máximo del agregado grueso.
- Estimación del agua de mezclado y contenido de aire.
- Selección de la relación agua/cemento (a/c).
- Cálculo del contenido de cemento.
- Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino.
- Ajustes por humedad y absorción.
- Cálculo de proporciones en peso.
- Cálculo de proporciones en volumen.
- Cálculo de cantidades por tanda.

#### **a.) Especificaciones técnicas**

Antes de diseñar una mezcla de concreto debemos tener en mente, primero, el revisar los planos y las especificaciones técnicas de obra, donde podremos encontrar todos los requisitos que fijó el ingeniero proyectista para que la obra pueda cumplir ciertos requisitos durante su vida útil.

#### **b.) Elección de la resistencia promedio ( $f'_{cr}$ ) (ACI 318)**

##### **Cálculo de la desviación estándar**

##### **Método 1**

Si se posee un registro de resultados de ensayos de obras anteriores deberá calcularse la desviación estándar. El registro deberá:

a) Representar materiales, procedimientos de control de calidad y condiciones similares a aquellos que se espera en la obra que se va a iniciar.

b) Representar a concretos preparados para alcanzar una resistencia de diseño  $f'_c$  que este dentro del rango de  $\pm 7.0$  MPa de la especificada para el trabajo a iniciar.

Si se posee un registro de 3 ensayos consecutivos la desviación estándar se calculará aplicando la siguiente fórmula:

$$s_s = \sqrt{\frac{\sum(x_i + \bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (1)$$

Dónde:

$s_s$  = Desviación estándar, en MPa

$x_i$  = Resistencia de la probeta de concreto, en MPa

$\bar{x}$  = Resistencia promedio de n especímenes, en MPa

n = Número de ensayos consecutivos de resistencia.

c) Consistir de por lo menos 30 ensayos consecutivos o dos grupos de ensayos consecutivos que totalicen por lo menos 30 ensayos.

Si se posee dos grupos de ensayos consecutivos que totalicen por lo menos un registro de 30 ensayos consecutivos, la desviación estándar promedio se calculará con la siguiente fórmula:

$$\bar{s}_s = \sqrt{\frac{\sum(n-1)^2(s_{1s})^2 + (n_2-1)(s_{2s})^2}{n_1+n_2-2}} \dots\dots\dots (2)$$

Dónde:

$\bar{s}_s$  = Desviación estándar promedio en kg/cm<sup>2</sup>.

$s_{1s}$  y  $s_{2s}$  = Desviación estándar calculada para los grupos 1 y 2 respectivamente en MPa.

$n_1$  y  $n_2$  = Número de ensayos en cada grupos, respectivamente.

**Método 2**

Si solo se posee un registro de 15 a 29 ensayos consecutivos, se calculara la desviación estándar “ $s_s$ ” correspondiente a dichos ensayos y se multiplicara por el factor de corrección indicado en la tabla 2..2.2 para obtener el nuevo valor de “ $s$ ”.

El registro de ensayos a que se hace referencia en este Método deberá cumplir con los requisitos a), b) del método 1 y representar un registro de ensayos consecutivos que comprenda un periodo de no menos de 45 días calendario.

**Tabla 2.2.2 Factor de corrección**

MUESTRAS	FACTOR DE CORRECCION
menos de 15	Usar tabla siguiente
15	1.16
20	1.08
25	1.03
30	1.00

**Cálculo de la resistencia promedio requerida**

Una vez que la desviación estándar ha sido calculada, la resistencia a compresión promedio requerida  $f'_{cr}$  se obtiene como el mayor valor de las ecuaciones (1) y (2). La ecuación (1) proporciona una probabilidad de 1 en 100 que el promedio de tres ensayos consecutivos estará por debajo de la resistencia especificada  $f'_c$ . La ecuación (2) proporciona una probabilidad de similar de que ensayos individuales estén 3.5 MPa por debajo de la resistencia especificada  $f'_c$ .

a) Si la desviación estándar se ha calculado de acuerdo a lo indicado en el Método 1 o el Método 2, la resistencia promedio requerida será el mayor de los valores determinados por las formulas siguientes usando la desviación estándar "s<sub>s</sub>" calculada.

**Para:  $f'_c \leq 35MPa$**

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34s_s \dots \dots \dots (3)$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2.33s_s - 3.5 \dots \dots \dots (4)$$

Para:  $f'_c > 35\text{MPa}$

$$f'_{cr} = f'_c + 1.34s_s \dots \dots \dots (3)$$

$$f'_{cr} = 0.9f'_c + 2.33s_s \dots \dots \dots (4)$$

Dónde:

$s_s$  = Desviación estándar, en MPa

b) Si se desconoce el valor de la desviación estándar, se utilizara la Tabla siguiente para la determinación de la resistencia promedio requerida.

**Tabla 2.2.3 AC I318: resistencia a la compresión promedio.**

Resistencia especificada a la compresión: $f'_c$ MPa	Resistencia pro medio requerida a la compresión: $f'_{cr}$ (MPa)
$f'_c < 20$	$f'_c + 7.0$
$20 \leq f'_c \leq 35$	$f'_c + 8.5$
$f'_c > 35$	$1.1f'_c + 5$

**c.) Elección del Asentamiento (Slump).**

❖ Si las especificaciones técnicas de obra requieren que el concreto tenga una determinada consistencia, el asentamiento puede ser elegido de la siguiente tabla:

**Tabla 2.2.4 Asentamiento o Slump**

Consistencia	Asentamiento
Seca	0" (0mm) a 2" (50mm)
Plástica	3" (75mm) a 4" (100mm)
Fluida	$\geq 5"$ (125mm)

- ❖ Si las especificaciones de obra no indican la consistencia, ni asentamiento requeridos para la mezcla a ser diseñada, utilizando la tabla siguiente podemos seleccionar un valor adecuado para un determinado trabajo que se va a realizar. Se deberán usar las mezclas de la consistencia más densa que puedan ser colocadas eficientemente.

**Tabla 2.2.5 Slump según tipo de construcción**

TIPOS DE CONSTRUCCION	REVENIMIENTO (cm)	
	MAXIMO	MINIMO
- Zapatas y muros de cimentación reforzados	8	2
- Zapatas simples, cajones y muros de subestructura	8	2
- Vigas y muros reforzados	10	2
- Columnas	10	2
- Pavimentos y losas	8	2
- Concreto ciclópeo y masivo	5	2

**d.) Selección del tamaño máximo del agregado grueso.**

Las Normas de Diseño Estructural recomiendan que el tamaño máximo nominal del agregado grueso sea el mayor que sea económicamente disponible, siempre que sea compatible con las dimensiones y características de la estructura.

La Norma Técnica de Edificación E. 060 prescribe que el agregado grueso no deberá ser mayor de:

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

El tamaño máximo nominal determinado aquí, será usado también como tamaño máximo simplemente.

Se considera que, cuando se incrementa el tamaño máximo del agregado, se reducen los requerimientos del agua de mezcla, incrementándose la resistencia del concreto. En general este principio es válido con agregados hasta 40mm ( $1\frac{1}{2}$ " ). En tamaños mayores, sólo es aplicable a concretos con bajo contenido de cemento.

**e.) Estimación del agua de mezclado y contenido de aire.**

La tabla siguiente, preparada en base a las recomendaciones del Comité 211 del ACI, nos proporciona una primera estimación del agua de mezclado para concretos hechos con diferentes tamaños máximos de agregado con o sin aire incorporado.

**Tabla 2.2.6 Estimación del agua de mezclado y contenido de aire**

ASENTAMIENTO O SLUMP (mm)	Agua en $lit/m^3$ de concreto para los tamaños máximos de agregados gruesos y consistencia indicados.								
	10mm (3/8")	12.5mm (1/2")	20mm (3/4")	25mm (1")	40mm (1 1/2")	50mm (2")	70mm (3")	150mm (6")	
<b>CONCRETOS SIN AIRE INCORPORADO</b>									
30 a 50 (1" a 2")	205	200	185	180	160	155	145	125	
80 a 100 (3" a 4")	225	215	200	195	175	170	160	140	
150 a 180 (6" a 7")	240	230	210	205	185	180	170	---	
Cantidad aproximada de aire atrapado (%).	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2	
<b>CONCRETOS CON AIRE INCORPORADO</b>									
30 a 50 (1" a 2")	180	175	165	160	145	140	135	120	
80 a 100 (3" a 4")	200	190	180	175	160	155	150	135	
150 a 180 (6" a 7")	215	205	190	185	170	165	160	---	
Contenido total de aire incorporado (%), en función del grado de exposición.	Exposición suave	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.0	1.5*	1.0*
	Exposición moderada	6.0	5.5	5.0	4.5	4.5	4.0	3.5*	3.0*
	Exposición severa	7.5	7.0	6.0	6.0	5.5	5.0	4.5*	4.0*

Los valores del asentamiento para concreto con agregado más grande que 40mm (1 1/2") se basan en las pruebas de Slump hechas después de retirar las partículas mayores de 40mm (1 1/2") por tamizado húmedo.

Estos contenidos de agua de mezclado son valores máximos para agregado grueso angular y bien formado, y cuya granulometría está dentro de las especificaciones aceptadas (ASTM C 33 o NTP 400.037).

\* Para concreto que contiene agregado grande será tamizado húmedo por una malla de 40mm (1 1/2") antes de evaluar el contenido de aire, el porcentaje de aire esperado en material más pequeño que 40mm (1 1/2") debe ser el tabulado en la columna de 40mm (1 1/2"). Sin embargo, los cálculos iniciales de las proporciones deben basarse en el contenido de aire como un porcentaje de la mezcla completa.

\*\* Estos valores se basan en el criterio de que se necesita un 9% del contenido de aire en la fase de mortero del concreto.

Como se observa, la tabla anterior no toma en cuenta para la estimación del agua de mezclado las incidencias del perfil, textura y granulometría de los agregados. Debemos hacer presente que estos valores tabulados son lo

suficientemente aproximados para una primera estimación y que dependiendo del perfil, textura y granulometría de los agregados, los valores requeridos de agua de mezclado pueden estar algo por encima o por debajo de dichos valores.

Al mismo tiempo, podemos usar la tabla 5.2 para calcular la cantidad de agua de mezcla tomando en consideración, además de la consistencia y tamaño máximo del agregado, el perfil del mismo. Los valores de la tabla siguiente corresponden a mezclas sin aire incorporado.

**Tabla 2.2.7 e.) Estimación del agua de mezclado y contenido de aire.**

Tamaño máximo nominal del agregado grueso		Contenido de agua en el concreto, expresado en $lt/m^3$ , para los asentamientos y perfiles de agregado grueso indicados.					
		25mm a 50mm (1"-2")		75mm a 100mm (3"-4")		150mm a 175mm (6"-7")	
mm.	Pulg.	Agregado redondeado	Agregado anguloso	Agregado redondeado	Agregado anguloso	Agregado redondeado	Agregado anguloso
9.5	3/8"	185	212	201	227	230	250
12.7	1/2"	182	201	197	216	219	238
19.1	3/4"	170	189	185	204	208	227
25.4	1"	163	182	178	197	197	216
38.1	1½"	155	170	170	185	185	204
50.8	2"	148	163	163	178	178	197
76.2	3"	136	151	151	167	163	182

**f.) Selección de la relación agua/cemento (a/c).**

Existen dos criterios (por resistencia, y por durabilidad) para la selección de la relación a/c, de los cuales se elegirá el menor de los valores, con lo cual se garantiza el cumplimiento de los requisitos de las especificaciones. Es importante que la relación a/c seleccionada con base en la resistencia satisfaga también los requerimientos de durabilidad.

**Por resistencia**

Para concretos preparados con cemento Pórtland tipo 1 o cementos comunes, puede tomarse la relación a/c de la tabla siguiente.

**Tabla 2.2.8 Relación agua/cemento y resistencia a la compresión del concreto.**

RESISTENCIA A LA COMPRESION A LOS 28 DIAS (f'cr) (kg/cm2)*	RELACION AGUA/CEMENTO DE DISEÑO EN PESO	
	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.40
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.70	0.61
150	0.80	0.71

Los valores corresponden a resistencias promedio estimadas para concretos que no contengan más del porcentaje de aire mostrado en la tabla 5.1. Para una relación agua/cemento constante, la resistencia del concreto se reduce conforme aumenta el contenido de aire.

#### **Por durabilidad**

La Norma Técnica de Edificación E.060 prescribe que si se desea un concreto de baja permeabilidad, o el concreto ha de estar sometido a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda. Se deberá cumplir con los requisitos indicados en la tabla siguiente.

**Tabla 2.2.9 Máxima relación agua/cemento permisible para concretos sometida a condiciones especiales de exposición.**

CONDICIONES DE EXPOSICION	RELACIÓN AGUA/CEMENTO MÁXIMA.
<p>Concreto de baja permeabilidad:</p> <p>a) Expuesto a agua dulce.</p> <p>b) Expuesto a agua de mar o aguas salobres.</p> <p>c) Expuesto a la acción de aguas cloacales. (*)</p>	<p>0.50</p> <p>0.45</p> <p>0.45</p>
<p>Concreto expuesto a procesos de congelación y deshielo en condición húmeda:</p> <p>a) Sardineles, cunetas, secciones delgadas.</p> <p>b) Otros elementos.</p>	<p>0.45</p> <p>0.50</p>
<p>Protección contra la corrosión de concreto expuesto a la acción de agua de mar, aguas salobres, neblina o rocío de esta agua.</p>	<p>0.40</p>
<p>Si el recubrimiento mínimo se incrementa en 15 mm.</p>	<p>0.45</p>

(\*) La resistencia  $f_c$  no deberá ser menor de 245 kg/cm<sup>2</sup> por razones de durabilidad.

### **g.) Cálculo del contenido de cemento.**

Una vez que la cantidad de agua y la relación a/c han sido estimadas, la cantidad de cemento por unidad de volumen del concreto es determinada dividiendo la cantidad de agua por la relación a/c. Sin embargo es posible que las especificaciones del proyecto establezcan una cantidad de cemento mínima. Tales requerimientos podrían ser especificados para asegurar un acabado satisfactorio, determinada calidad de la superficie vertical de los elementos o trabajabilidad.

$$\text{Contenido de cemento } \left( \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \right) = \frac{\text{contenido de agua de mezclado} \left( \frac{\text{L}}{\text{m}^3} \right)}{\text{Relación a/c}} \dots \dots \dots (5)$$

### **h.) Estimación del contenido de agregado grueso y agregado fino.**

#### **METODO DEL MODULO DE FINEZA DE LA COMBINACION DE AGREGADOS:**

Las investigaciones realizadas en la Universidad de Maryland han permitido establecer que la combinación de los agregados fino y grueso, cuando éstos tienen granulometrías comprendidas dentro de los límites que establece la Norma ASTM C 33, debe producir un concreto trabajable en condiciones ordinarias, si el módulo de fineza de la combinación de agregados se aproxima a los valores indicados en la tabla siguiente.

**Tabla 2.2.10 Módulo de fineza de la combinación de agregados.**

Tamaño Máximo Nominal del Agregado Grueso		Módulo de fineza de la combinación de agregados que da las mejores condiciones de trabajabilidad para contenidos de cemento en sacos/metro cúbico indicados.				
mm.	Pulg.	5	6	7	8	9
10	3/8	3.88	3.96	4.04	4.11	4.19
12.5	1/2	4.38	4.46	4.54	4.61	4.69
20	3/4	4.88	4.96	5.04	5.11	5.19
25	1	5.18	5.26	5.34	5.41	5.49
40	1 1/2	5.48	5.56	5.64	5.71	5.79
50	2	5.78	5.86	5.94	6.01	6.09
70	3	6.08	6.16	6.24	6.31	6.39

\* Los valores de la Tabla están referidos a agregado grueso de perfil angular y adecuadamente graduado, con un contenido de vacíos del orden del 35%. Los valores indicados deben incrementarse o disminuirse en 0.1 por cada 5% de disminución o incremento en el porcentaje de vacíos.

\*\* Los valores de la Tabla pueden dar mezclas ligeramente sobrearenosas para pavimentos o estructuras ciclópeas. Para condiciones de colocación favorables pueden ser incrementados en 0.2.

De la tabla anterior obtenemos el módulo de fineza de la combinación de agregados ( $m_c$ ), al mismo tiempo contamos, previamente, con valores de los módulos de fineza del agregado fino ( $m_f$ ) y del agregado grueso ( $m_g$ ), de los cuales haremos uso para obtener el porcentaje de agregado fino respecto al volumen total de agregados mediante la siguiente fórmula:

$$r_f = \frac{m_g - m_c}{m_g - m_f} \times 100 \quad \dots (6)$$

Dónde:

$r_f$  : Porcentaje del volumen de agregado fino con respecto al volumen total de agregados.

Entonces los volúmenes de agregado fino y agregado grueso por metro cúbico de concreto son:

$$Vol. total de agregados = 1 - (Vol. agua + Vol. aire. + Vol. cemento.) \dots (7)$$

$$\text{Vol. Agregado fino} = \frac{r_f}{100} (\text{Vol. total Agregados}) \dots\dots\dots (8)$$

$$\text{Vol. Agregado grueso} = \text{Vol. total Agregados} - \text{Vol. Agregado fino} \dots\dots (9)$$

**i.) Ajustes por humedad y absorción.**

El contenido de agua añadida para formar la pasta será afectada por el contenido de humedad de los agregados. Si ellos están secos al aire absorberán agua y disminuirán la relación a/c y la trabajabilidad. Por otro lado si ellos tienen humedad libre en su superficie (agregados mojados) aportarán algo de esta agua a la pasta aumentando la relación a/c, la trabajabilidad y disminuyendo la resistencia a compresión. Por lo tanto estos efectos deben ser tomados en cuenta y la mezcla debe ser ajustada tomándolos en cuenta.

Por lo tanto:

Si:

$$\text{Agregado grueso} \left\{ \begin{array}{l} \text{Humedad} = \%W_g \\ \% \text{Absorción} = \%a_g \end{array} \right.$$

$$\text{Agregado fino} \left\{ \begin{array}{l} \text{Humedad} = \%W_f \\ \% \text{Absorción} = \%a_f \end{array} \right.$$

**Pesos de agregados húmedos**

$$\text{Peso A. grueso húmedo} = (\text{peso. A. grueso seco}) \times \left(1 + \frac{\%W_g}{100}\right) \dots\dots (10)$$

$$\text{Peso A. fino húmedo} = (\text{peso. A. fino seco}) \times \left(1 + \frac{\%W_f}{100}\right) \dots\dots (11)$$

**Agua Efectiva:**

$$\text{Agua en agregado grueso} = (\text{peso. A. grueso seco}) \times \left(\frac{\%W_g - \%a_g}{100}\right) = X \dots\dots (12)$$

$$\text{Agua en agregado fino} = (\text{peso. A. fino seco}) \times \left(\frac{\%W_f - \%a_f}{100}\right) = Y \dots\dots (13)$$

$$\text{Agua efectiva} = \text{Agua de diseño} - (X + Y) \dots\dots (14)$$

**j.) Cálculo de proporciones en peso.**

$$\begin{array}{cccc}
 \text{Cemento:} & \text{Agregado fino :} & \text{Agregado} & \text{/ Agua} \\
 & & \text{grueso} & \\
 \\
 \frac{P. \text{ cemento}}{\text{Peso cemento}} & \frac{P. \text{ A.F. Humedo}}{\text{Peso cemento}} & \frac{P. \text{ A.G. Humedo}}{\text{Peso cemento}} & \frac{P. \text{ Agua.Efectiva}}{\text{Peso cemento}}
 \end{array}$$

**k.) Cálculo de proporciones en volumen.**

$$\begin{array}{cccc}
 \text{Cemento} & : & \text{Agregado fino} & : & \text{Agregado grueso} & & / & \text{Agua} \\
 \\
 \frac{\text{Vol. cemento}}{\text{Vol. cemento}} & & \frac{\text{Vol. A.Fino Humedo}}{\text{Vol. cemento}} & & \frac{\text{Vol. A. Grueso Humedo}}{\text{Vol. cemento}} & & & \frac{\text{Vol. Agua.Efectiva}}{\text{Vol. cemento}} \\
 \text{C} & & \text{F} & & \text{G} & & & \text{/ A}
 \end{array}$$

**l.) Cálculo de cantidades por tanda.**

**Datos necesarios:**

- Capacidad de la mezcladora.
- Proporciones en volumen.

**Cantidad de bolsas de cemento requerido:**

$$\text{Cant. de bolsas requeridas} = \frac{(\text{capacidad mezcladora}(\text{pie}^3)(0.0283\text{m}^3(\text{Peso cemento}(\text{Kg})))}{\text{Peso de cemento por bolsa}(42.5\text{Kg})} \dots (15)$$

### **Eficiencia de la mezcladora:**

Debido a que la mezcladora debe ser abastecida por un número entero de bolsas de cemento, la cantidad de bolsas de cemento por tanda será igual a un número entero menor a la cantidad de bolsas requerida por la mezcladora.

$$\text{Eficiencia(\%)} = \frac{\text{cantidad de bolsas de cemento por tanda}}{\text{cantidad de bolsas requerido}} \times 100 \dots \dots \dots (16)$$

### **Volumen de concreto por tanda:**

$$\text{Vol. de c}^\circ \text{ por tanda} = \text{capacidad mezcladora}(\text{pie}^3)(0.0283\text{m}^3) \left( \frac{\text{Eficiencia(\%)}}{100} \right) \dots \dots \dots (17)$$

### **Cantidades de materiales por tanda:**

Teniendo las proporciones en volumen (C: F: G/A), calculamos las cantidades de materiales por tanda:

- ❖ Cemento :  $1x2 = 2$  bolsas
- ❖ Agregado fino :  $Fx2 =$  Cantidad de A. fino en m<sup>3</sup>
- ❖ Agregado grueso :  $Gx2 =$  Cantidad de A. grueso en m<sup>3</sup>
- ❖ Agua efectiva :  $Ax2 =$  Cantidad de agua en L

## **2.3. PROPIEDADES DEL CONCRETO.**

Flavio Abanto (2001)

### **2.3.1. PROPIEDADES PRINCIPALES DEL CONCRETO FRESCO**

#### **a) Trabajabilidad**

Está definida por la mayor o menor dificultad para el mezclado, transporte, colocación y compactación del concreto. Su evaluación es relativa, por cuanto depende realmente de las facilidades manuales o mecánicas de que se disponga durante las etapas del proceso, ya que un concreto que puede ser trabajable bajo ciertas condiciones de colocación y compactación, no necesariamente resulta tal si dichas condiciones cambian.

Está influenciada principalmente por la pasta, el contenido de agua y el equilibrio adecuado entre gruesos y finos, que produce en el caso óptimo una suerte de continuidad en el desplazamiento natural y/o inducido de la masa.

Por lo general un concreto es trabajable en la mayoría de circunstancias, cuando durante su desplazamiento mantiene siempre una película de mortero de al menos  $\frac{1}{4}$ " sobre el agregado grueso.

El método tradicional de medir la trabajabilidad ha sido desde hace muchos años el "Slump" o asentamiento con el cono de Abrams, ya que permite una aproximación numérica a esta propiedad del concreto, sin embargo debe tenerse clara la idea que es más una prueba de uniformidad que de trabajabilidad, pues es fácilmente demostrable que se pueden obtener concretos con igual slump pero trabajabilidades notablemente diferentes para las mismas condiciones de trabajo.

#### **1) Estabilidad**

Es el desplazamiento o flujo que se produce en el concreto sin mediar la aplicación de fuerzas externas.

Se cuantifica por medio de la exudación y la segregación, evaluada con métodos standard que permiten comparar dichas características entre varios diseños, siendo obvio que se debe buscar obtener los valores mínimos.

Es interesante notar que ambos fenómenos no dependen expresamente del exceso de agua en la mezcla sino del contenido de finos y de las propiedades adherentes de la pasta.

## **2) Compactabilidad**

Es la medida de la facilidad con que puede compactarse el concreto fresco. Existen varios métodos que establecen el denominado "Factor de compactación", que evalúa la cantidad de trabajo que se necesita para la compactación total, y que consiste en el cociente entre la densidad suelta del concreto en la prueba, dividido entre la densidad del concreto compactado.

La prueba consiste en llenar el cono superior con concreto depositándolo sin dejarlo caer, para que no haya compactación adicional.

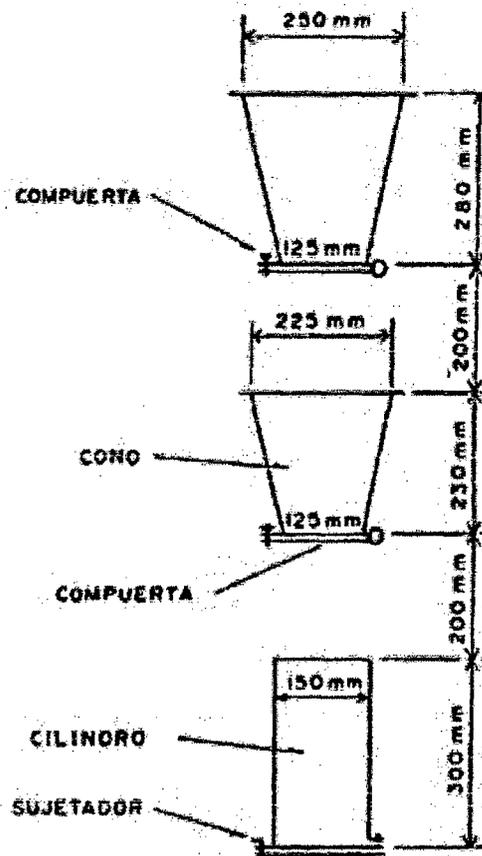
A continuación se abre la compuerta inferior para que caiga por su peso propio y llene el segundo cono con lo que se estandariza la condición de compactación inicial.

Finalmente luego de enrasar el cono se abre la segunda compuerta y el concreto cae por su peso propio para llenar un molde cilíndrico estándar.

Se obtiene el peso unitario del concreto en el molde y el valor se divide entre el peso unitario obtenido con la prueba estándar en tres capas con 25 golpes cada una.

Ilustración 2.3.1 se pueden observar valores de revenimiento o slump comparados con mediciones de factor de compactación para diferentes condiciones de trabajabilidad.

Aún no contamos con suficiente cantidad de pruebas para establecer conclusiones estadísticas válidas pero las tendencias indican que con esta variante se podría reflejar variaciones pequeñas en gradación o en las consecuencias del empleo de aditivos plastificantes.



**Ilustración 2.3.1 Características del equipo para medir el factor de compactación**

### 3) Movilidad

Es la facilidad del concreto a ser desplazado mediante la aplicación de trabajo externo. Se evalúan en función de la viscosidad, cohesión y resistencia interna al corte.

La viscosidad viene dada por la fricción entre las capas de la pasta de cemento, la cohesión es la fuerza de adherencia entre la pasta de cemento y los agregados, y la resistencia interna al corte la provee la habilidad de las partículas de agregados a rotar y desplazarse dentro de la pasta.

## **b) Segregación**

Las diferencia de densidades entre los componentes del concreto provocan una tendencia natural a que las partículas más pesadas descendan, pero en general, la densidad de la pasta con los agregados finos es sólo un 20% menor que la de los gruesos (para agregados normales) lo cual sumado a su viscosidad produce que el agregado grueso quede suspendido e inmerso en la matriz.

Cuando la viscosidad del mortero se reduce por insuficiente concentración la pasta, mala distribución de las partículas o granulometría deficiente, las partículas gruesas se separan del mortero y se produce lo que se conoce como segregación. En los concretos con contenidos de piedra > del 55% en peso con respecto al peso total de agregados, es frecuente confundir la segregación con la apariencia normal de estos concretos, lo cual es muy simple de verificar obteniendo dos muestras de concreto fresco de sitios diferentes y comparar el contenido de gruesos por lavado, que no deben diferir en más de 6%.

## **c) Exudación**

Propiedad por la cual una parte del agua de mezcla se separa de la masa y sube hacia la superficie del concreto.

Es un caso típico de sedimentación en que los sólidos se asientan dentro de la masa plástica. El fenómeno está gobernado por las leyes físicas del flujo de un líquido en un sistema capilar, antes que el efecto de la viscosidad y la diferencia de densidades.

Está influenciada por la cantidad de finos en los agregados y la finura del cemento, por lo que cuanto más fina es la molienda de este y mayor es el porcentaje de material menor que la malla N° 100, la exudación será menor pues se retiene el agua de mezcla.

La exudación se produce inevitablemente en el concreto, pues es una propiedad inherente a su estructura, luego lo importante es evaluarla y controlarla en cuanto a los efectos negativos que pudiera tener.

No debe caerse en el error de considerar que la exudación es una condición anormal del concreto, ni en la práctica usual de "secar" el concreto espolvoreando cemento en la superficie ya que si esto se ejecuta mientras aún hay exudación, se crea una capa

superficial muy delgada de pasta que en la parte inferior tiene una interfase de agua que la aísla de la masa original. En estas condiciones, al producirse la contracción por secado o cambios volumétricos por temperatura esta película delgada de pasta se agrieta, produciéndose el patrón de fisuración tipo panal de abeja, que los norteamericanos denominan "crazing".

#### **d) Contracción**

Es una de las propiedades más importantes en función de los problemas de fisuración que acarrea con frecuencia.

Ya hemos visto que la pasta de cemento necesariamente se contrae debido a la reducción del volumen original de agua por combinación química, y a esto se le llama contracción intrínseca que es un proceso irreversible.

Pero además existe otro tipo de contracción inherente también a la pasta de cemento y es la llamada contracción por secado, que es la responsable de la mayor parte de los problemas de fisuración, dado que ocurre tanto en el estado plástico como en el endurecido si se permite la pérdida de agua en la mezcla.

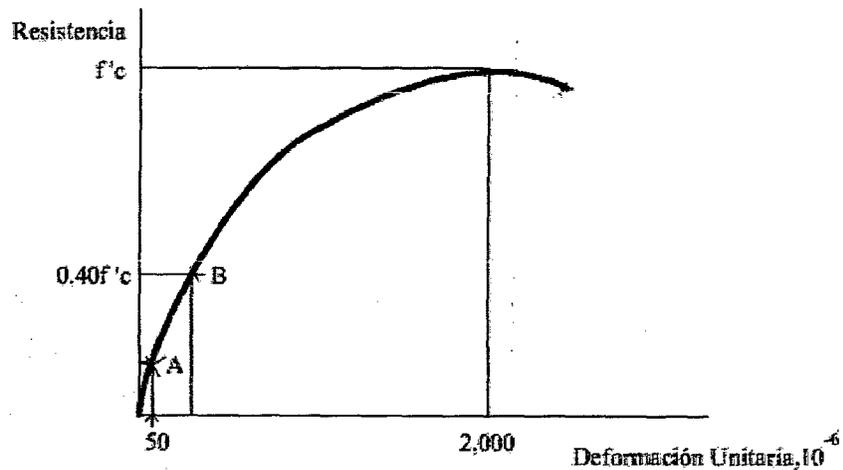
Este proceso no es irreversible, ya que si se repone el agua perdida por secado, se recupera gran parte de la contracción acaecida.

### **2.3.2. PROPIEDADES PRINCIPALES DEL CONCRETO ENDURECIDO**

#### **a) Elasticidad**

En general, es la capacidad del concreto de deformarse bajo carga, sin tener deformación permanente.

El concreto no es un material eminentemente elástico, esto se puede observar fácilmente si se somete a un espécimen a esfuerzos de compresión crecientes hasta llevarlo a la falla, si para cada nivel de esfuerzo se registra la deformación unitaria del material, se podría dibujar la curva que relaciona estos parámetros, la ilustración 2.3.2 muestra la curva esfuerzo-deformación (expresada en ocasiones como la curva).



**Ilustración 2.3.2 Curva Típica Esfuerzo-Deformación para el Concreto Bajo Compresión, y Puntos para Definir el Módulo de Elasticidad según ASTM C-469**

De la Ilustración 2.3.2, y de acuerdo a la norma ASTM C-469, el módulo de elasticidad ( $E_c$ ) se obtiene calculando la pendiente del segmento de recta que pasa por los puntos A y B, para lo cual es necesario obtener del trazo de la curva (o en el transcurso de la prueba) la ordenada correspondiente a las 50 microdeformaciones y la abscisa correspondiente al esfuerzo  $0.40f'c$ . De la figura se observa también que la deformación que corresponde a la resistencia del concreto es 0.002 cm/cm, que corresponde a 2,000 microdeformaciones. Aún después de que el concreto alcanza su resistencia máxima, y si la carga se sostiene (el esfuerzo disminuye) hasta lograr la falla total (el concreto truena), se puede medir la deformación última que soporta el material, ésta deformación es de 0.035 cm/cm.

Pruebas como la del módulo de elasticidad del concreto son bastante tediosas si se realizan con instrumentaciones anticuadas, ya que el factor humano es determinante para la toma secuencial de lecturas tanto de carga como de deformaciones, por ese motivo se aconseja emplear una instrumentación adecuada como la mostrada en la Figura 9.16, donde se observa que se han conectado al cilindro de prueba un medidor de deformaciones electrónico conocido LVDT (Linear Variable Differential Transformer) con el cual se miden las deformaciones verticales, estas deformaciones se registran automáticamente por medio de una computadora conectada al medidor, y por medio de un programa se puede graficar la curva  $\sigma - \epsilon$  y calcular al mismo tiempo el módulo de elasticidad.

El módulo de elasticidad es un parámetro muy importante en el análisis de las estructuras de concreto ya que se emplea en el cálculo de la rigidez de los elementos estructurales, por lo tanto ahora, además de la  $f'_c$  se debe garantizar  $E_c$ . En algunos estructuristas existe la tendencia a suponer valores de  $E_c$ , para lo cual emplean fórmulas sugeridas por diversas instituciones, por ejemplo el Comité Aci-318 sugiere en su reglamento la siguiente ecuación para concretos de 90 a 155 lb/pie<sup>3</sup>:

$$E_c = w_c^{1.5} \cdot 33 \sqrt{f'_c}$$

Donde:

$E_c$  = módulo de elasticidad del concreto, lb/pulg<sup>2</sup>

$w_c$  = peso volumétrico del concreto, lb/pie<sup>3</sup>

$f'_c$  = resistencia a compresión, lb/ pulg<sup>2</sup>

El Reglamento de Construcciones del Distrito Federal sugiere las siguientes expresiones:

$$E_c = 14,000 \sqrt{f'_c} \quad (\text{concreto clase 1, con peso volumétrico de } 2,200 \text{ kg/m}^3)$$

$$E_c = 8,000 \sqrt{f'_c} \quad (\text{concreto clase 2, con peso volumétrico de } 1,900 \text{ a } 2,200 \text{ kg/m}^3)$$

Donde:

$E_c$  y  $f'_c$  están en kg/cm<sup>2</sup>.

Cualquiera que sea la expresión que se use, no se debe perder de vista que el valor que se obtenga es útil solamente a nivel de anteproyecto, para el proyecto final de una obra se debe emplear el módulo de elasticidad del concreto que realmente estará en la obra, esto sólo es posible si el estructurista tiene el cuidado de recabar la información del productor local del concreto, o en su defecto se deben cotizar las pruebas respectivas con cargo al trabajo de análisis y diseño. Es muy peligroso para la seguridad de la estructura emplear indiscriminadamente fórmulas cuando se desconocen las características elásticas del concreto que se puede fabricar en la zona donde se construirá la obra.

## **b) Resistencia**

Esta propiedad se determina de acuerdo a la norma NTP 339.034.2013. HORMIGÓN. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas.

Es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos, siendo su mejor comportamiento en compresión en comparación con la tracción, debido a las propiedades adherentes de la pasta de cemento.

Depende principalmente de la concentración de la pasta de cemento, que se acostumbra expresar en términos de la relación Agua/Cemento en peso.

La afectan además los mismos factores que influyen en las características resistentes de la pasta, como son la temperatura y el tiempo, aunados a otros elementos adicionales constituidos por el tipo y características resistentes del cemento en particular que se use y de la calidad de los agregados, que complementan la estructura del concreto.

Un factor indirecto pero no por eso menos importante en la resistencia, lo constituye el curado ya que es el complemento del proceso de hidratación sin el cual no se llegan a desarrollar completamente las características resistentes del concreto.

Los concretos normales usualmente tienen resistencias en compresión del orden de 100 a 400 kg/cm<sup>2</sup>, habiéndose logrado optimizaciones de diseños sin aditivos que han permitido obtener resistencia sobre 700 kg/cm<sup>2</sup>.

## **c) Extensibilidad**

Es la propiedad del concreto de deformarse sin agrietarse. Se define en función de la deformación unitaria máxima que puede asumir el concreto sin que ocurran fisuraciones.

Depende de la elasticidad y del denominado flujo plástico, constituido por la deformación que tiene el concreto bajo carga constante en el tiempo.

El flujo plástico tiene la particularidad de ser parcialmente recuperable, estando relacionado también con la contracción, pese a ser dos fenómenos nominalmente independientes.

La microfisuración aparece normalmente alrededor del 60% del esfuerzo último, y a una deformación unitaria de 0.0012, y en condiciones normales la fisuración visible aparece para 0.003 de deformación unitaria.

## 2.4. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

**CEMENTO** Material pulverizado que por adición de una cantidad conveniente de agua forma una pasta aglomerante capaz de endurecer, tanto bajo el agua como en el aire. Quedan excluidas las cales hidráulicas, las cales aéreas y los yesos.  
NORMA NTP 334.001.

**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.

**AGREGADO:** Conjunto de partículas de origen natural o artificial, que pueden ser tratadas o elaboradas y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por la Norma NTP 400.037.

**AGREGADO FINO:** Agregado proveniente de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz ITINTEC 9,5 mm (3/8") y que cumple con los límites establecidos en la Norma NTP 400.037.

**AGREGADO GRUESO:** Agregado retenido en el tamiz ITINTEC 4,75 mm (N°4), proveniente de la desintegración natural o mecánica de las rocas y que cumple con los límites establecidos en la Norma NTP 400.037.

**CONCRETO:** Es la mezcla constituida por cemento, agregados, agua y eventualmente aditivos, en proporciones adecuadas para obtener las propiedades prefijadas.

**CONCRETO RECICLADO:** La Norma Técnica Peruana NTP 400.053 define el concreto reciclado como aquel concreto cuyos agregados provengan parcial o completamente de granulados de concreto, gravas y arenas de reciclaje.

**AGREGADO RECICLADO:** Material graduado según especificaciones resultante del procesamiento de materiales de construcción recuperados y complementados con otros faltantes. Norma NTP 400.050.

**AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO:** La Norma Técnica Peruana 400.053 lo llama Granulado de concreto y lo define como el material secundario de construcción proveniente del tratamiento del concreto y mortero de demolición hasta llevarlo a partículas de tamaño similar al de los agregados.

**ABSORCIÓN:** la absorción mide la cantidad de agua expresada en % del peso del material seco que es capaz de absorber un material.

**ACI:** American Concrete Institute, ACI

**NTP:** Norma Técnica Peruana

**ASTM:** Asociación Estándar American Of Materials.

**AGLOMERANTE:** agregación natural de sustancias minerales.

**AGREGADO:** material granular, el cual puede ser arena, grava, piedra triturada o escoria, empleado con un medio cementante para formar concreto o mortero.

**AGREGADOS INERTES:** estos agregados inertes se denominan inertes finos y gruesos, son de tipo mineral y ocupan aproximadamente el 70 % del volumen total de la mezcla de concreto.

**CEMENTO PÓRTLAND:** es el conglomerado hidráulico que resulta de la pulverización del Clinker frío, a un grado de finura determinado, al cual se le adicionan sulfatos de calcio natural, o agua y sulfato de calcio natural.

**DENSIDAD:** calidad de denso, relación entre la masa de un cuerpo y la del agua o del aire que ocupa el mismo volumen.

**DOSIFICACIÓN:** Dosis, cantidades que se toman para preparar algo.

**EQUIPO:** Elementos auxiliares para la realización de un trabajo.

**FRAGUADO:** Endurecido del concreto.

**MEZCLA:** la mezcla tiene como objetivo recubrir todas las partículas de agregado

con la pasta de cemento y combinar todos los componentes del concreto hasta lograr una masa uniforme.

**PESO ESPECIFICO:** indica las veces que un cuerpo o material cualquiera es más o menos pesado que el agua.

**PRUEBA DE REVENIMIENTO o SLUMP:** la prueba de revenimiento es útil para detectar las variaciones de uniformidad de una mezcla de proporciones determinadas.

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

**RECICLAJE:** Proceso de extraer materiales del flujo de residuos y transformarlos para ser reincorporados como insumos de otros productos.

## **CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.**

La presente investigación se realizó en el laboratorio de ensayo de materiales de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, distrito, provincia y departamento de Cajamarca; cuyas características geográficas son las siguientes: altitud 2680 msnm, 7° 10' latitud sur, 78° 30' longitud oeste, temperatura media 14° C, humedad relativa 65%, precipitación promedio anual 650 mm/año.

Así mismo la presente investigación se realizó el mes de septiembre del año 2014.

### **3.1. PROCEDIMIENTO**

#### **3.1.1. TIPO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.**

##### **3.1.1.1. Tipo de investigación**

El tipo de investigación que se ha desarrollado es experimental aplicada.

##### **3.1.1.2. Diseño de la investigación.**

Se aplica el diseño experimental, del tipo unifactorial, donde:

- Variable independiente : tipo de agregado utilizado en la elaboración de concreto ( Agregado natural y agregado reciclado )
- Variable dependiente: Resistencia a la compresión medida en estado endurecido.

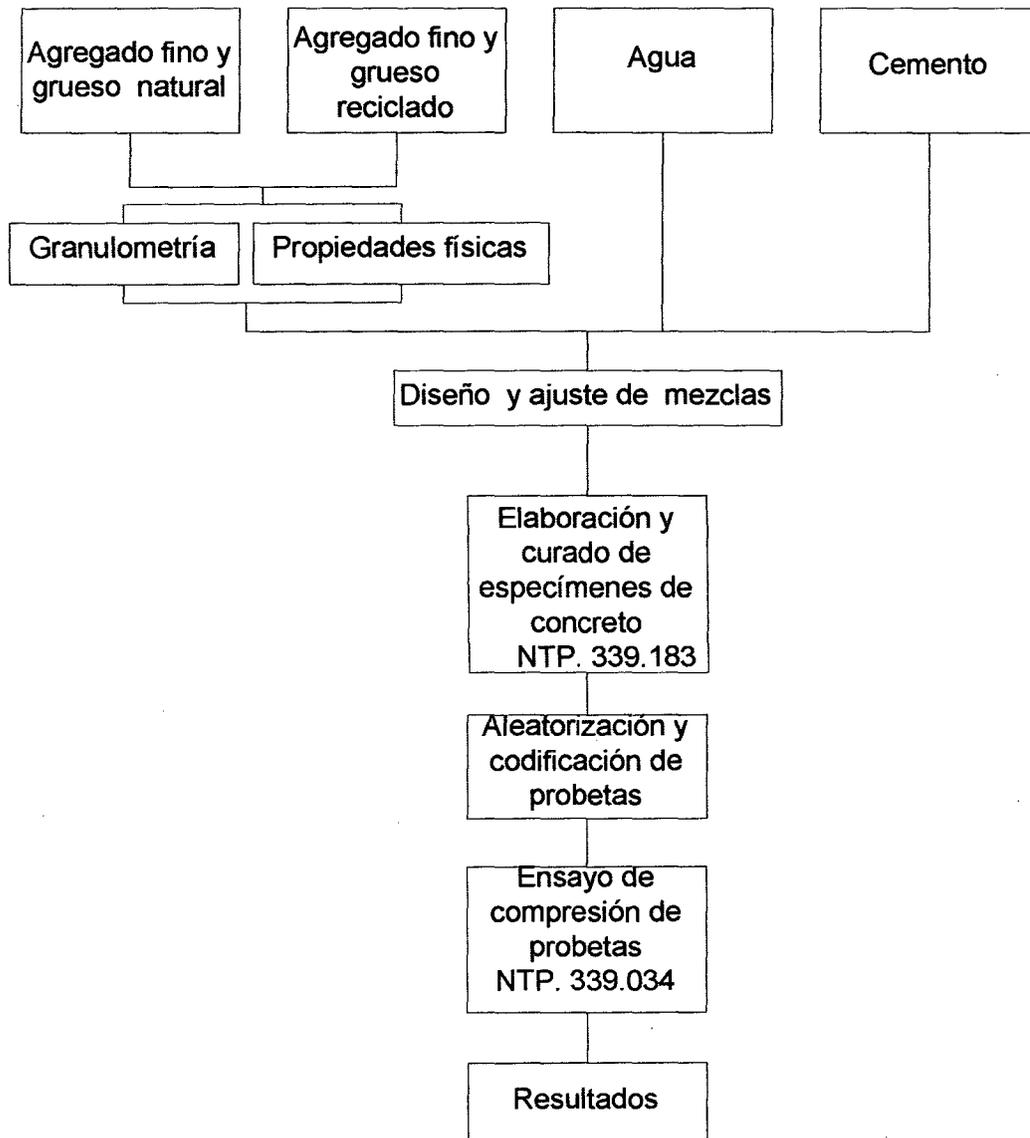
Número total de pruebas realizadas en estado endurecido del concreto es igual a:

$$3 \times (6+10) = 48 \text{ ensayos en estado endurecido de concreto.}$$

**Tabla 3.1.1 Matriz experimental de diseño y niveles de la variable de estudio.**

RESPUESTA		FACTOR "P": AGREGADOS	
		Agregados naturales (Pn)	Agregados reciclados (Pr)
Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	7 días	Pn1	Pr1
			Pr2
		Pn2	Pr3
			Pr4
		Pn3	Pr5
			Pr6
	Pn4	Pr7	
		Pr8	
	Pn5	Pr9	
		Pn6	Pr10
	14 días	Pn7	Pr11
			Pr12
		Pn8	Pr13
			Pr14
		Pn9	Pr15
			Pr16
	Pn10	Pr17	
		Pr18	
	Pn11	Pr19	
		Pn12	Pr20
	28 días	Pn13	Pr21
			Pr22
		Pn14	Pr23
			Pr24
		Pn15	Pr25
			Pr26
	Pn16	Pr27	
		Pr28	
	Pn17	Pr29	
	Pn18	Pr30	

### 3.1.2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL



**Ilustración 3.1.1 Diagrama del circuito experimental para la evaluación del concreto con agregados de concreto reciclado**

Fuente: Elaboración propia

### **3.1.3. CARACTERIZACIÓN DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO**

Una vez obtenida la mezcla se procedió a determinar la trabajabilidad del concreto en estado fresco, Que consistió en:

- De requieren 6 litros de concreto para realizar el ensayo, que se toman como muestra de manera normal.
- Comprobar que la superficie plana o base está firme y perfectamente horizontal.
- Humedecer con un paño, teniendo especial cuidado en no dejar agua libre en el interior del cono y colocar sobre la base.
- Sujetar firmemente el cono y rellenarlo vertiendo en concreto en forma continua, y compactar en tres capas con 25 golpes en cada capa con una varilla lisa de 5/8 " .
- Luego con sumo cuidado levantar el cono y medir el asentamiento de la mezcla con una reglilla.

### **3.1.4. CARACTERIZACIÓN DEL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.**

#### **3.1.3.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN:**

Una vez obtenidas los especímenes de concreto mediante la norma NTP 339.183 se procedió a determinar la resistencia mecánica a la compresión del concreto en estado endurecido, según la norma NTP 339.034, para lo cual se siguió el siguiente procedimiento.

- Previo al ensayo se debe haber secado la probeta durante 24 horas.
- Pesar la probeta en estado endurecido.
- Medir la altura de la probeta en cm.
- Medir el diámetro de la probeta mediante un calibrador micrométrico (vernier)
- Colocar las almohadillas de neopreno en ambas bases.
- Aplicar la velocidad de la carga continua y constante, desde el inicio hasta producir la rotura de la probeta registrando el valor de la carga máxima.
- Luego calcular la resistencia a la compresión.

### **3.1.5. CONTROL DE CALIDAD DE LOS DATOS.**

#### **3.1.5.1. Materiales utilizados para la elaboración de la mezcla del concreto.**

- Cemento Pacasmayo Extraforte-Cemento Portland Compuesto tipo ICo.
- Agregado fino natural (arena gruesa).
- Agregado fino de concreto reciclado. (Arena gruesa).
- Agregado grueso natural (TMN. 1").
- Agregado grueso de concreto reciclado. (TMN. 1").
- Agua de la ciudad universitaria (Cajamarca.)

Una vez tomada la muestra, se procedió al análisis granulométrico respectivo de cada uno de los agregados. Posteriormente se realizaron otros tipos de ensayos físicos y mecánicos como: peso unitario, peso específico, porcentaje de absorción, contenido de humedad y resistencia a la abrasión, además de los ensayos tanto para concreto en estado seco así como también en estado endurecido teniendo en cuenta para ello la normatividad vigente, NTP, ASTM, ACI.

##### **3.1.5.1.1. Características físicas de los agregados.**

###### **3.1.5.1.1.1. Forma y textura superficial**

###### **a) Forma**

El agregado grueso utilizado se caracteriza por el porcentaje de partículas de forma sub angular y angular, formas que son adquiridas luego de ser chancado el material para obtener un T.M.N de 1" (20mm)

## **b) Textura**

Los agregados gruesos presentan una textura lisa y rugosa, al igual que el agregado fino o arena gruesa.

### **3.1.5.1.2. Análisis granulométrico.**

Realizado de acuerdo a la norma NTP 400.012.2013 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global

Ver resultados en 6.1.1 y 6.2.1

### **3.1.5.1.3. Tamaño máximo de los agregados.**

Realizados de acuerdo a la norma NTP 400.012.2013 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global, y NTP 400.037.2002 AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón

Ver resultados en 6.1.1 y 6.2.1

### **3.1.5.1.4. Módulo de finura.**

Realizados de acuerdo a la norma Realizados de acuerdo a la norma NTP 400.012.2013 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global, y NTP 400.037.2002 AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón

Ver resultados en 6.1.1 y 6.2.1

### **3.1.5.1.5. Peso específico y absorción**

Realizado de acuerdo a la norma NTP 400.021.2013 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (Peso específico) y absorción del agregado grueso; y NTP 400.022.2013 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la

densidad, densidad relativa (Peso específico) y absorción del agregado fino.

Ver resultados en 6.1.3 y 6.2.3

**3.1.5.1.6. Contenido de humedad.**

Realizado de acuerdo a la norma NTP 400.185.2013 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable en agregados por secado.

Ver resultado en 6.1.4 y 6.2.4

**3.1.5.1.7. Peso unitario.**

Realizado de acuerdo a la norma NTP 400.017.2013 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (peso unitario) y los vacíos en los agregados.

Ver resultado en 6.1.2 y 6.2.2

**3.1.5.1.8. Resistencia a la abrasión.**

Realizado de acuerdo a la norma NTP 400.019.2013 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores para abrasión e impacto en la máquina de los ángeles

Ver resultados en 6.1.5 y 6.2.5

### **3.1.6. ORIGEN DE AGREGADOS**

#### **3.1.6.1. Agregados naturales.**

**Ubicación:** Baños Del Inca – Cajamarca

**Procedencia:** origen aluvial - chancada.

**Cantera:** Acosta (Rio Chonta)

#### **3.1.6.2. Agregados de concreto reciclado.**

**Ubicación:** Cajamarca

**Procedencia:** Concreto reciclado de pavimento rígido de  $F'c = 219$  kg/cm<sup>2</sup> aproximadamente según ensayo con esclerómetro, posteriormente chancada.

**Cantera:** Acosta

### 3.2. TRATAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.

#### 3.2.1. DOSIFICACIÓN DE MEZCLAS DE CONCRETO CON AGREGADOS NATURALES

Proporciones en peso en obra (Final).

**1 : 3.1 : 2.4 / 0.56L/Kg**

<b>Tabla 3.2.1 MATERIALES PARA ENSAYO 1</b>	
Cemento:	328 Kg/m <sup>3</sup>
Agregado fino:	1005 Kg/m <sup>3</sup>
Agregado Grueso:	788 Kg/m <sup>3</sup>
Agua efectiva:	183 Kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso total</b>	<b>2304Kg/m<sup>3</sup></b>

#### 3.2.2. DOSIFICACIÓN DE MEZCLA DE CONCRETO CON AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO.

Proporciones en peso en obra

**1 : 2.7 : 2.3 / 0.61L/Kg**

<b>Tabla 3.2.2 MATERIALES PARA ENSAYO 2</b>	
Cemento:	328 Kg/m <sup>3</sup>
Agregado fino:	888 Kg/m <sup>3</sup>
Agregado Grueso:	742 Kg/m <sup>3</sup>
Agua efectiva:	202 Kg/m <sup>3</sup>
<b>Peso total</b>	<b>2160Kg/m<sup>3</sup></b>

De la tabla 3.2.1 y tabla 3.2.2 se aprecia que el concreto elaborado con agregados de concreto reciclado es 144 kg/m<sup>3</sup> más liviano que el concreto elaborado con agregados naturales.

### 3.2.3. ENSAYOS PARA CONCRETO ENDURECIDO (NTP 339.034:2013)

#### ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 7 DÍAS

Tabla 3.2.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CON AGREGADO NATURAL (7DIAS)

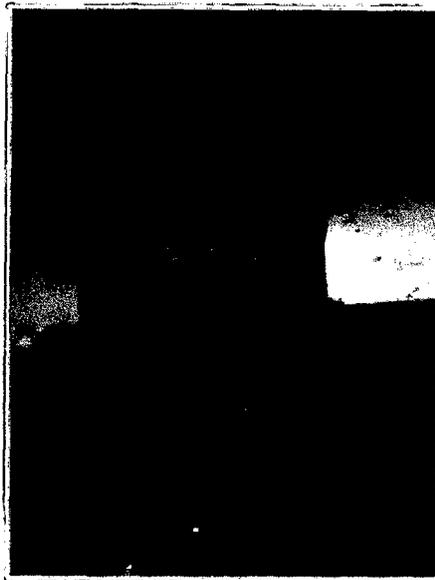
Código	Pn1	Pn2	Pn3	Pn4	Pn5	Pn6	
Diámetro (cm)	15.1	15.1	15.1	15.05	15	15.1	
Área(cm <sup>2</sup> )	179.1	179.1	179.1	177.9	176.7	179.1	
Alto(cm)	30.6	30.1	30.5	30.4	30.3	30.3	
Carga ultima(Ton)	37	34	36	36	32	37	
Resistencia(Kg/cm <sup>2</sup> )	206.6	189.9	201	202.4	181.1	206.6	
Tipo de Falla	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 4	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 4	
Modo de Falla	súbita	súbita	súbita	súbita	súbita	súbita	
Mod. Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	219929	195698	208037	223411	210743	211195	
Def. Unit. Rotura (10 <sup>-3</sup> )	1.26	1.15	1.26	1.24	1.02	1.27	
Deformación Unitaria	carga (T)	$\Delta L(10^{-3})$					
	1	0.030	0.030	0.020	0.040	0.032	0.021
	2	0.050	0.050	0.030	0.050	0.050	0.032
	3	0.060	0.070	0.040	0.080	0.051	0.050
	4	0.086	0.086	0.096	0.106	0.066	0.070
	5	0.100	0.120	0.090	0.111	0.090	0.080
	6	0.107	0.133	0.107	0.127	0.110	0.097
	7	0.144	0.150	0.154	0.164	0.134	0.124
	8	0.170	0.170	0.160	0.160	0.160	0.160
	9	0.190	0.190	0.210	0.180	0.200	0.170
	10	0.220	0.230	0.210	0.240	0.250	0.251
	11	0.240	0.240	0.260	0.240	0.280	0.230
	12	0.280	0.290	0.260	0.290	0.340	0.290
	13	0.330	0.381	0.330	0.350	0.362	0.350
	14	0.375	0.390	0.356	0.362	0.381	0.362
15	0.380	0.400	0.370	0.370	0.390	0.392	

16	0.400	0.410	0.420	0.380	0.390	0.420
17	0.415	0.422	0.425	0.395	0.415	0.435
18	0.436	0.435	0.426	0.446	0.436	0.416
19	0.440	0.450	0.430	0.440	0.420	0.450
20	0.485	0.485	0.475	0.475	0.475	0.485
21	0.491	0.501	0.481	0.491	0.501	0.481
22	0.569	0.549	0.569	0.589	0.559	0.549
23	0.568	0.558	0.588	0.558	0.568	0.548
24	0.619	0.629	0.599	0.629	0.609	0.609
25	0.671	0.671	0.661	0.691	0.671	0.651
26	0.694	0.694	0.674	0.694	0.694	0.674
27	0.788	0.778	0.788	0.788	0.768	0.768
28	0.794	0.774	0.774	0.814	0.794	0.804
29	0.841	0.841	0.821	0.841	0.841	0.851
30	0.900	0.910	0.890	0.880	0.890	0.890
31	0.970	0.950	0.980	0.950	0.980	0.970
32	1.021	1.001	1.001	1.041	1.021	1.041
33	1.044	1.024	1.024	1.024		1.054
34	1.138	1.148	1.128	1.138		1.148
35	1.18		1.163	1.203		1.203
36	1.25		1.260	1.240		1.230
37	1.26					1.268

El módulo de elasticidad se calculó acuerdo a la norma ASTM C-469, calculando la pendiente de la recta formada por los puntos:

$$(0.000005, Y_{0.000005}), (X_{0.40f_c}, 0.40f_c)$$

Para lo cual utilizamos la gráfica de cada ensayo ubicado del apéndice 6.2 GRÁFICAS



**Ilustración 3.2.1 Tipo de falla de las especímenes de concreto con agregado natural (7 días)**

**Tabla 3.2.4 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CON AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO (7DIAS)**

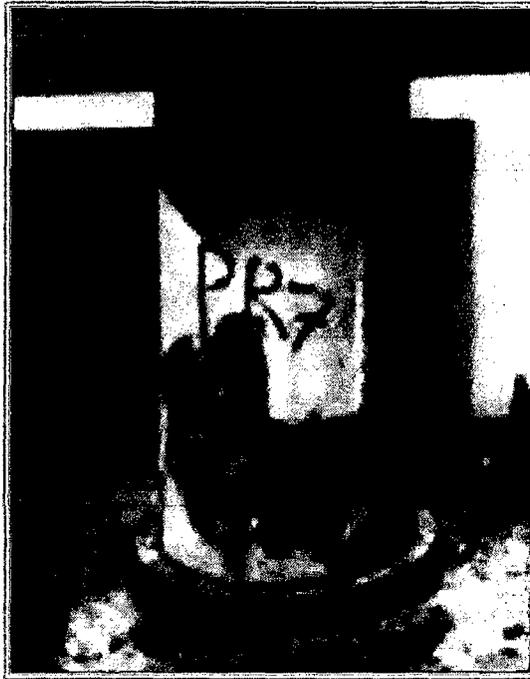
Código	Pr1	Pr2	Pr3	Pr4	Pr5	Pr6	Pr7	Pr8	Pr9	Pr10	
diámetro (cm)	15.3	15.3	15.2	15.2	15.25	15.3	15.3	15.3	15.3	15.1	
Área(cm <sup>2</sup> )	183.9	183.9	181.5	181.5	182.7	183.9	183.9	183.9	183.9	179.1	
Alto(cm)	30.5	30.1	30.2	30.4	30.3	30	30.5	30.3	30.6	30.4	
Carga ultima(Tn)	33	34	32	34	34	33	34	35	36	33	
Resistencia(Kg/cm <sup>2</sup> )	179.5	184.9	176.3	187.4	186.1	179.5	184.9	190.4	195.8	184.3	
Mod. Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	200388	207545	213625	210285	196520	200388	201773	184093	204378	194599	
Tipo de Falla	Tipo 5	Tipo 5	Tipo 4	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 4	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 4	Tipo5	
Modo de Falla	súbita	súbita	súbita	súbita	súbita	súbita	súbita	súbita	súbita	súbita	
Def. Unit. Rotura (10 <sup>-3</sup> )	1.34	1.23	1.00	1.06	1.05	1.05	1.03	1.19	1.24	1.02	
<b>Deformación Unitaria</b>	carga (T)	$\Delta l(10^{-3})$									
	1	0.035	0.044	0.034	0.028	0.043	0.027	0.021	0.036	0.026	0.020
	2	0.050	0.048	0.041	0.045	0.041	0.035	0.047	0.039	0.037	0.046
	3	0.063	0.055	0.058	0.066	0.050	0.058	0.066	0.047	0.063	0.068
	4	0.076	0.067	0.085	0.073	0.062	0.081	0.070	0.063	0.085	0.069
	5	0.111	0.111	0.093	0.108	0.109	0.094	0.106	0.107	0.097	0.106
	6	0.127	0.127	0.110	0.120	0.127	0.114	0.124	0.127	0.108	0.121
	7	0.158	0.167	0.167	0.158	0.175	0.184	0.193	0.193	0.193	0.201
	8	0.198	0.198	0.181	0.189	0.198	0.189	0.198	0.198	0.207	0.224
	9	0.245	0.236	0.228	0.245	0.262	0.280	0.271	0.271	0.288	0.297
	10	0.282	0.282	0.265	0.247	0.256	0.247	0.265	0.247	0.265	0.282

11	0.315	0.298	0.315	0.315	0.298	0.280	0.289	0.289	0.280	0.280
12	0.346	0.337	0.329	0.311	0.294	0.294	0.311	0.329	0.370	0.337
13	0.354	0.354	0.345	0.354	0.345	0.354	0.363	0.356	0.389	0.371
14	0.368	0.377	0.394	0.403	0.403	0.420	0.403	0.375	0.380	0.420
15	0.390	0.390	0.373	0.373	0.364	0.364	0.381	0.389	0.390	0.381
16	0.410	0.427	0.436	0.453	0.436	0.445	0.436	0.410	0.453	0.471
17	0.450	0.450	0.441	0.450	0.433	0.441	0.433	0.450	0.450	0.433
18	0.470	0.441	0.441	0.424	0.415	0.398	0.380	0.470	0.407	0.415
19	0.480	0.471	0.471	0.463	0.445	0.428	0.445	0.480	0.471	0.471
20	0.520	0.529	0.529	0.529	0.511	0.529	0.546	0.520	0.555	0.563
21	0.541	0.559	0.541	0.541	0.524	0.507	0.498	0.541	0.463	0.454
22	0.549	0.549	0.541	0.532	0.549	0.532	0.514	0.549	0.497	0.506
23	0.598	0.590	0.598	0.598	0.616	0.624	0.616	0.607	0.624	0.607
24	0.599	0.590	0.608	0.599	0.608	0.625	0.625	0.642	0.642	0.634
25	0.651	0.651	0.633	0.642	0.651	0.633	0.651	0.651	0.633	0.616
26	0.714	0.714	0.714	0.731	0.714	0.731	0.714	0.714	0.705	0.696
27	0.738	0.730	0.712	0.695	0.712	0.695	0.677	0.677	0.695	0.704
28	0.794	0.786	0.777	0.768	0.768	0.786	0.794	0.794	0.812	0.829
29	0.871	0.889	0.889	0.880	0.898	0.898	0.889	0.898	0.880	0.863
30	0.890	0.873	0.873	0.890	0.873	0.873	0.873	0.864	0.873	0.855
31	0.960	0.951	0.934	0.917	0.917	0.899	0.890	0.890	0.899	0.882
32	0.991	1.000	1.000	1.017	1.000	1.000	1.009	1.009	1.000	0.983
33	1.054	1.063		1.054	1.045	1.045	1.028	1.045	1.037	1.019
34	1.098	1.089		1.063	1.054		1.020	1.037	1.028	
35	1.153	1.162						1.188	1.171	
36	1.250	1.233							1.241	
37	1.29									
38	1.34									

El módulo de elasticidad se calculó acuerdo a la norma ASTM C-469, calculando la pendiente de la recta formada por los puntos:

$$(0.000005, Y_{0.000005}), (X_{0.40F_c}, 0.40F_c)$$

Para lo cual utilizamos la gráfica de cada ensayo ubicado del apéndice 6.2 GRÁFICAS



**Ilustración 3.2.2 Tipo de falla de las especímenes de concreto con agregado reciclado (7 días)**

## ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 14 DÍAS

**Tabla 3.2.5 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CON AGREGADO NATURAL (14 DIAS)**

Código	Pn7	Pn8	Pn9	Pn10	Pn11	Pn12	
Diámetro (cm)	15.1	15.1	15.1	15.05	15	15.1	
Área(cm <sup>2</sup> )	<b>179.1</b>	<b>179.1</b>	<b>179.1</b>	<b>177.9</b>	<b>176.7</b>	<b>179.1</b>	
Alto(cm)	<b>30.6</b>	<b>30.1</b>	<b>30.5</b>	<b>30.4</b>	<b>30.3</b>	<b>30.3</b>	
Carga ultima(Tn)	47	45.5	44.5	47.5	45	46	
Resistencia(Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>262.5</b>	<b>254.1</b>	<b>248.5</b>	<b>267</b>	<b>254.6</b>	<b>256.9</b>	
Mod. Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	<b>243546</b>	<b>240472</b>	<b>246878</b>	<b>252959</b>	<b>243545</b>	<b>236985</b>	
Tipo de Falla	Tipo 5	Tipo 4	Tipo 4	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 4	
Modo de Falla	súbita	súbita	súbita	súbita	súbita	súbita	
Def. Unit. Rotura (10 <sup>-3</sup> )	<b>2.00</b>	<b>1.99</b>	<b>2.00</b>	<b>1.99</b>	<b>2.01</b>	<b>2.00</b>	
<b>Deformación Unitaria</b>	<b>carga (T)</b>	<b>ΔL(10<sup>-3</sup>)</b>	<b>ΔL(10<sup>-3</sup>)</b>	<b>ΔL(10<sup>-3</sup>)</b>	<b>ΔL(10<sup>-3</sup>)</b>	<b>ΔL(10<sup>-3</sup>)</b>	<b>ΔL(10<sup>-3</sup>)</b>
	1	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
	2	0.04	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06
	3	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.06
	4	0.08	0.09	0.09	0.09	0.08	0.08
	5	0.09	0.10	0.09	0.09	0.08	0.08
	6	0.11	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10
	7	0.14	0.14	0.15	0.14	0.15	0.15
	8	0.18	0.18	0.19	0.19	0.19	0.19
	9	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19
	10	0.21	0.20	0.21	0.21	0.21	0.20
	11	0.20	0.21	0.20	0.20	0.20	0.20
	12	0.24	0.25	0.25	0.25	0.25	0.26
	13	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27	0.27
	14	0.30	0.29	0.29	0.29	0.29	0.32
	15	0.34	0.34	0.33	0.34	0.33	0.37
16	0.36	0.37	0.37	0.36	0.38	0.41	

17	0.40	0.37	0.43	0.39	0.41	0.44
18	0.44	0.43	0.44	0.45	0.45	0.46
19	0.46	0.45	0.45	0.47	0.47	0.51
20	0.47	0.48	0.50	0.52	0.52	0.54
21	0.50	0.49	0.47	0.49	0.48	0.48
22	0.57	0.57	0.55	0.54	0.56	0.56
23	0.59	0.58	0.58	0.58	0.59	0.58
24	0.62	0.61	0.61	0.59	0.61	0.59
25	0.67	0.65	0.64	0.65	0.64	0.67
26	0.70	0.71	0.69	0.67	0.69	0.69
27	0.80	0.79	0.77	0.79	0.79	0.78
28	0.82	0.84	0.82	0.81	0.80	0.82
29	0.83	0.82	0.84	0.84	0.85	0.84
30	0.90	0.92	0.90	0.92	0.92	0.94
31	0.98	0.98	0.99	0.97	0.98	0.99
32	1.01	1.00	0.98	0.97	0.98	0.98
33	1.04	1.04	1.04	1.02	1.04	1.03
34	1.13	1.11	1.10	1.08	1.09	1.08
35	1.19	1.19	1.19	1.20	1.18	1.19
36	1.24	1.24	1.23	1.24	1.25	1.26
37	1.27	1.27	1.28	1.30	1.32	1.31
38	1.32	1.30	1.28	1.27	1.25	1.25
39	1.43	1.41	1.40	1.40	1.38	1.37
40	1.47	1.46	1.48	1.48	1.47	1.47
41	1.52	1.52	1.49	1.50	1.48	1.46
42	1.60	1.59	1.57	1.55	1.56	1.54
43	1.69	1.71	1.73	1.71	1.72	1.72
44	1.75	1.77	1.78	1.78	1.78	1.78
45	1.82	1.79	1.79	1.79	1.78	1.77
46	1.85	1.85		1.83		1.82
47	1.94			1.95		
48				1.99		

El módulo de elasticidad se calculó acuerdo a la norma ASTM C-469, calculando la pendiente de la recta formada por los puntos:

$$(0.000005, Y_{0.000005}), (X_{0.40f_c}, 0.40f_c)$$

Para lo cual utilizamos la gráfica de cada ensayo ubicado del apéndice 6.2 GRÁFICAS



**Ilustración 3.2.3 Tipo de falla de las especímenes de concreto con agregado natural (14 días)**

**Tabla 3.2.6 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CON AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO (14DIAS)**

Código	Pr11	Pr12	Pr13	Pr14	Pr15	Pr16	Pr17	Pr18	Pr19	Pr20
Diámetro (cm)	15.25	15.3	15.3	15.2	15.25	15.25	15.2	15.3	15.3	15.15
Área(cm <sup>2</sup> )	182.7	183.9	183.9	181.5	182.7	182.7	181.5	183.9	183.9	180.3
Alto(cm)	30.4	30.5	30.2	30.3	30.1	30	30.2	30.1	30.3	30.4
Carga ultima(Tn)	40.5	42	41.5	43.5	43	44	42	41.5	43	42.5
Resistencia(Kg/cm <sup>2</sup> )	221.7	228.4	225.7	239.7	235.4	240.9	231.5	225.7	233.9	235.8
Mod. Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	224912	207402	205752	219192	210677	230126	229046	216320	211675	219506
Tipo de Falla	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 4	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 4	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 4	Tipo4
Modo de Falla	súbita	súbita	súbita	súbita	súbita	súbita	súbita	súbita	súbita	súbita
Def. Unit. Rotura (10 <sup>-3</sup> )	1.54	1.61	1.58	1.74	1.66	1.74	1.61	1.55	1.59	1.67
<b>Deformación Unitaria</b>	carga (T)	$\Delta L(10^{-3})$								
	1	0.043	0.044	0.037	0.037	0.043	0.043	0.048	0.046	0.030
	2	0.051	0.041	0.049	0.057	0.047	0.055	0.052	0.049	0.046
	3	0.073	0.091	0.065	0.086	0.064	0.061	0.062	0.078	0.076
	4	0.086	0.104	0.092	0.095	0.101	0.099	0.080	0.078	0.079
	5	0.081	0.081	0.087	0.076	0.073	0.091	0.097	0.084	0.092
	6	0.117	0.118	0.114	0.115	0.129	0.130	0.118	0.122	0.132
	7	0.144	0.160	0.135	0.161	0.142	0.132	0.134	0.134	0.162
	8	0.150	0.143	0.155	0.146	0.151	0.144	0.149	0.167	0.159
	9	0.164	0.159	0.168	0.163	0.162	0.171	0.162	0.162	0.150
	10	0.175	0.166	0.176	0.179	0.179	0.190	0.167	0.177	0.190
	11	0.220	0.217	0.215	0.235	0.217	0.237	0.231	0.209	0.223
	12	0.250	0.237	0.259	0.238	0.250	0.248	0.260	0.238	0.243
	13	0.320	0.309	0.329	0.316	0.311	0.320	0.326	0.312	0.333
	14	0.340	0.337	0.328	0.331	0.337	0.356	0.355	0.338	0.357
	15	0.390	0.388	0.384	0.391	0.394	0.388	0.407	0.378	0.399
	16	0.420	0.438	0.436	0.412	0.415	0.433	0.430	0.417	0.416
	17	0.450	0.451	0.446	0.462	0.445	0.445	0.446	0.438	0.441
	18	0.480	0.471	0.471	0.486	0.470	0.489	0.473	0.498	0.489
	19	0.500	0.511	0.506	0.496	0.507	0.497	0.517	0.509	0.517
	20	0.510	0.503	0.506	0.497	0.499	0.514	0.513	0.505	0.507
	21	0.531	0.537	0.544	0.518	0.523	0.537	0.518	0.547	0.545
	22	0.559	0.568	0.561	0.550	0.548	0.566	0.574	0.550	0.555
	23	0.598	0.589	0.607	0.608	0.591	0.590	0.606	0.616	0.615
	24	0.609	0.623	0.618	0.623	0.617	0.599	0.620	0.601	0.618
	25	0.661	0.666	0.664	0.659	0.675	0.659	0.655	0.679	0.670
	26	0.714	0.712	0.729	0.702	0.707	0.724	0.704	0.726	0.709
	27	0.748	0.737	0.749	0.743	0.751	0.738	0.737	0.757	0.740
	28	0.814	0.818	0.819	0.815	0.824	0.804	0.827	0.811	0.819
	29	0.851	0.839	0.849	0.869	0.867	0.858	0.847	0.849	0.857
30	0.900	0.916	0.915	0.914	0.900	0.895	0.893	0.899	0.915	

31	0.970	0.968	0.983	0.984	0.957	0.988	0.961	0.973	0.982	0.972
32	1.001	0.993	0.996	1.000	1.009	0.991	1.006	0.998	0.988	0.997
33	1.044	1.061	1.053	1.049	1.056	1.058	1.060	1.059	1.061	1.040
34	1.098	1.106	1.094	1.095	1.110	1.094	1.091	1.086	1.112	1.099
35	1.153	1.169	1.144	1.169	1.160	1.158	1.149	1.159	1.142	1.159
36	1.240	1.244	1.241	1.249	1.228	1.245	1.251	1.238	1.248	1.248
37	1.268	1.255	1.257	1.270	1.285	1.283	1.260	1.286	1.256	1.285
38	1.337	1.352	1.325	1.329	1.331	1.350	1.332	1.347	1.354	1.337
39	1.378	1.387	1.381	1.372	1.391	1.380	1.388	1.367	1.377	1.379
40	1.440	1.439	1.444	1.455	1.443	1.445	1.456	1.435	1.439	1.429
41	1.544	1.550	1.561	1.542	1.541	1.531	1.553	1.552	1.562	1.557
42		1.606	1.585	1.582	1.595	1.594	1.605		1.594	1.581
43				1.683	1.660	1.657				1.670
44				1.743		1.744				

El módulo de elasticidad se calculó acuerdo a la norma ASTM C-469, calculando la pendiente de la recta formada por los puntos:

$$(0.000005, Y_{0.000005}), (X_{0.40f_c}, 0.40f_c)$$

Para lo cual utilizamos la gráfica de cada ensayo ubicado del apéndice 6.2 GRÁFICAS



**Ilustración 3.2.4 Tipo de falla de las especímenes de concreto con agregado reciclado (14 días)**

## ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS

**Tabla 3.2.7 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CON AGREGADO NATURAL (28DIAS)**

Código	Pn13	Pn14	Pn15	Pn16	Pn17	Pn18	
Diámetro (cm)	15.15	15.1	14.8	15	15.1	15.1	
Área(cm <sup>2</sup> )	<b>180.3</b>	<b>179.1</b>	<b>172</b>	<b>176.7</b>	<b>179.1</b>	<b>179.1</b>	
Alto(cm)	<b>30.6</b>	<b>30.1</b>	<b>30.5</b>	<b>30.4</b>	<b>30.3</b>	<b>30.3</b>	
Carga ultima(Ton)	50.5	51	49.5	51.5	49	51.5	
Resistencia(Kg/cm <sup>2</sup> )	<b>280.1</b>	<b>284.8</b>	<b>287.7</b>	<b>291.4</b>	<b>273.6</b>	<b>287.6</b>	
Mod. Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )	<b>244851</b>	<b>241763</b>	<b>280265</b>	<b>241967</b>	<b>280776</b>	<b>238773</b>	
Tipo de Falla	Tipo 4	Tipo 4	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 5	Tipo 4	
Modo de Falla	súbita	súbita	súbita	súbita	súbita	súbita	
Def. Unit. Rotura (10 <sup>-3</sup> )	<b>2.09</b>	<b>2.10</b>	<b>2.11</b>	<b>2.20</b>	<b>2.11</b>	<b>2.09</b>	
<b>Deformación Unitaria</b>	<b>carga (T)</b>	<b>ΔL(10<sup>-3</sup>)</b>	<b>ΔL(10<sup>-3</sup>)</b>	<b>ΔL(10<sup>-3</sup>)</b>	<b>ΔL(10<sup>-3</sup>)</b>	<b>ΔL(10<sup>-3</sup>)</b>	<b>ΔL(10<sup>-3</sup>)</b>
	1	0.05	0.06	0.05	0.03	0.05	0.03
	2	0.06	0.07	0.07	0.04	0.08	0.05
	3	0.07	0.08	0.08	0.06	0.09	0.06
	4	0.09	0.09	0.10	0.08	0.11	0.09
	5	0.10	0.11	0.12	0.08	0.12	0.10
	6	0.12	0.12	0.13	0.11	0.11	0.11
	7	0.13	0.13	0.13	0.11	0.11	0.14
	8	0.15	0.14	0.17	0.16	0.15	0.17
	9	0.17	0.14	0.14	0.15	0.19	0.19
	10	0.20	0.22	0.19	0.18	0.17	0.22
	11	0.22	0.19	0.19	0.22	0.24	0.21
	12	0.24	0.23	0.24	0.25	0.21	0.24
	13	0.27	0.26	0.29	0.26	0.29	0.27
	14	0.29	0.30	0.26	0.28	0.26	0.29
	15	0.32	0.30	0.30	0.31	0.32	0.34
	16	0.35	0.35	0.37	0.36	0.37	0.35
17	0.38	0.36	0.36	0.36	0.37	0.39	

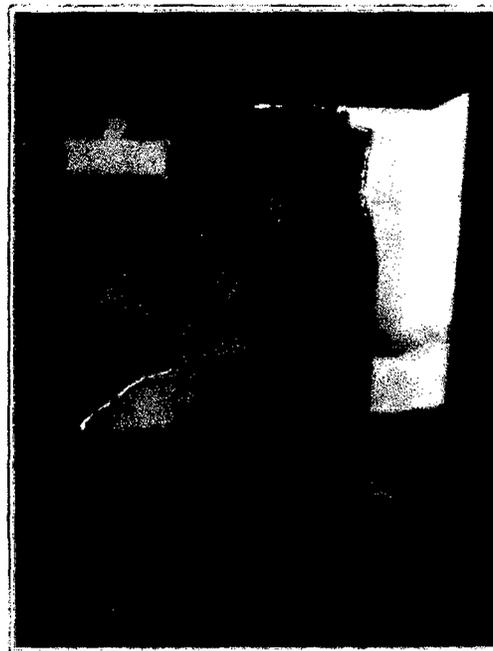
18	0.42	0.43	0.44	0.41	0.40	0.44
19	0.45	0.43	0.44	0.45	0.42	0.46
20	0.48	0.47	0.49	0.48	0.49	0.48
21	0.52	0.52	0.50	0.52	0.54	0.49
22	0.56	0.57	0.58	0.58	0.57	0.57
23	0.60	0.57	0.57	0.57	0.60	0.59
24	0.64	0.64	0.66	0.62	0.61	0.62
25	0.68	0.66	0.65	0.66	0.67	0.67
26	0.72	0.73	0.73	0.70	0.73	0.69
27	0.77	0.75	0.75	0.74	0.74	0.79
28	0.81	0.79	0.79	0.83	0.80	0.81
29	0.86	0.85	0.85	0.85	0.87	0.84
30	0.91	0.90	0.89	0.92	0.89	0.90
31	0.96	0.94	0.95	0.93	0.97	0.97
32	1.01	1.01	1.03	1.02	0.99	1.02
33	1.06	1.04	1.06	1.06	1.05	1.04
34	1.12	1.09	1.11	1.11	1.12	1.14
35	1.17	1.18	1.14	1.16	1.15	1.18
36	1.23	1.23	1.21	1.21	1.24	1.25
37	1.29	1.26	1.30	1.31	1.29	1.26
38	1.35	1.35	1.36	1.34	1.36	1.32
39	1.41	1.42	1.42	1.39	1.40	1.43
40	1.47	1.45	1.45	1.48	1.44	1.46
41	1.53	1.53	1.50	1.52	1.54	1.53
42	1.60	1.57	1.62	1.60	1.58	1.60
43	1.66	1.67	1.64	1.68	1.67	1.68
44	1.73	1.71	1.71	1.70	1.71	1.75
45	1.80	1.77	1.80	1.79	1.82	1.80
46	1.87	1.84	1.86	1.85	1.85	1.84
47	1.94	1.92	1.91	1.92	1.91	1.94
48	2.02	2.01	1.99	2.04	2.00	2.01
49	2.09	2.10	2.09	2.06	2.11	2.11
50		2.10	2.11	2.13		2.13

	51		2.10		2.17		2.17
	52				2.20		2.19

El módulo de elasticidad se calculó acuerdo a la norma ASTM C-469, calculando la pendiente de la recta formada por los puntos:

$$(0.000005, Y_{0.000005}), (X_{0.40f_c}, 0.40f_c)$$

Para lo cual utilizamos la gráfica de cada ensayo ubicado del apéndice 6.2 GRÁFICAS



**Ilustración 3.2.5 Tipo de falla de las especímenes de concreto con agregado natural (28 días)**

**Tabla 3.2.8 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE ESPECÍMENES CON AGREGADO DE CONCRETO RECICLADO (28DIAS)**

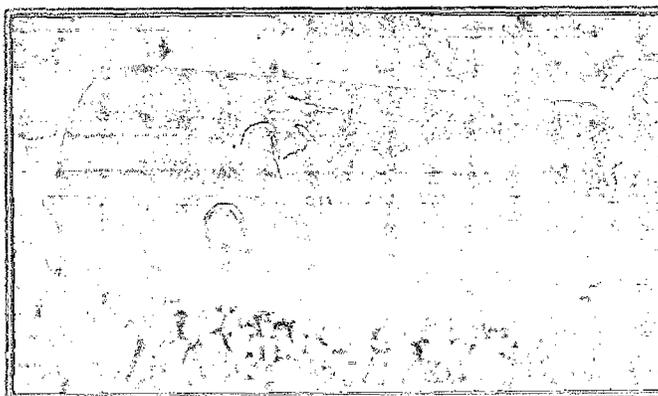
Código	Pr21	Pr22	Pr23	Pr24	Pr25	Pr26	Pr27	Pr28	Pr29	Pr30	
Diámetro (cm)	15.3	15.2	15.35	15.2	15.2	15.35	15.4	15.3	15.3	15.3	
Área(cm2)	183.9	181.5	185.1	181.5	181.5	185.1	186.3	183.9	183.9	183.9	
Alto(cm)	30.4	30.5	30.2	30.3	30.1	30	30.2	30.1	30.3	30.4	
Carga ultima(Tn)	44	43	44.5	45	44	43.5	44.5	43	44	45.5	
Resistencia(Kg/cm2)	239.3	237	240.5	248	242.5	235.1	238.9	233.9	239.3	247.5	
Mod. Elasticidad (kg/cm2)	225723	220436	213447	220436	226237	208043	231267	238144	223289	209794	
Tipo de Falla	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 5	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 5	Tipo 4	Tipo4	
Modo de Falla	súbita	súbita	súbita	súbita	súbita	súbita	súbita	súbita	súbita	súbita	
Def. Unit. Rotura ( $10^{-3}$ )	1.73	1.66	1.74	1.72	1.68	1.76	1.71	1.67	1.74	1.73	
<b>Deformación Unitaria</b>	carga (T)	$\Delta L(10^{-3})$									
	1	0.05	0.03	0.04	0.02	0.03	0.03	0.05	0.04	0.03	0.04
	2	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.05	0.06	0.05	0.05	0.05
	3	0.07	0.07	0.07	0.06	0.07	0.07	0.07	0.08	0.08	0.06
	4	0.10	0.09	0.09	0.08	0.07	0.08	0.09	0.10	0.09	0.07
	5	0.11	0.08	0.08	0.11	0.11	0.10	0.10	0.08	0.10	0.09
	6	0.12	0.10	0.12	0.13	0.10	0.10	0.12	0.10	0.11	0.11
	7	0.14	0.13	0.14	0.13	0.12	0.12	0.13	0.13	0.14	0.11
	8	0.13	0.14	0.15	0.16	0.13	0.16	0.15	0.13	0.16	0.13
	9	0.16	0.16	0.16	0.15	0.18	0.16	0.17	0.18	0.17	0.16
	10	0.21	0.19	0.18	0.20	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.21
	11	0.23	0.24	0.22	0.25	0.23	0.25	0.24	0.22	0.24	0.23
	12	0.27	0.26	0.25	0.28	0.26	0.27	0.27	0.27	0.28	0.25
	13	0.29	0.31	0.32	0.30	0.30	0.31	0.31	0.30	0.32	0.31
	14	0.34	0.36	0.34	0.37	0.35	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
	15	0.39	0.39	0.39	0.39	0.40	0.39	0.40	0.39	0.38	0.39
	16	0.42	0.43	0.42	0.41	0.43	0.40	0.42	0.41	0.40	0.43
	17	0.45	0.43	0.45	0.45	0.43	0.45	0.44	0.42	0.43	0.44
	18	0.47	0.46	0.48	0.45	0.48	0.47	0.47	0.48	0.45	0.47
	19	0.49	0.47	0.50	0.48	0.50	0.47	0.49	0.48	0.50	0.50
	20	0.49	0.51	0.51	0.52	0.52	0.49	0.51	0.50	0.51	0.51
	21	0.55	0.54	0.53	0.54	0.54	0.52	0.54	0.54	0.55	0.55
	22	0.57	0.55	0.56	0.55	0.55	0.55	0.57	0.57	0.57	0.56
	23	0.59	0.60	0.60	0.60	0.59	0.58	0.60	0.59	0.61	0.60
	24	0.59	0.61	0.61	0.60	0.61	0.62	0.61	0.60	0.61	0.59
	25	0.67	0.68	0.66	0.65	0.65	0.67	0.67	0.66	0.67	0.66
	26	0.74	0.71	0.71	0.71	0.72	0.73	0.73	0.73	0.74	0.71
	27	0.74	0.75	0.75	0.74	0.74	0.75	0.74	0.75	0.73	0.72
	28	0.79	0.81	0.81	0.79	0.79	0.78	0.80	0.80	0.81	0.81
	29	0.85	0.85	0.85	0.87	0.86	0.87	0.87	0.87	0.85	0.86
30	0.90	0.89	0.90	0.89	0.89	0.89	0.89	0.87	0.88	0.89	

31	0.97	0.95	0.97	0.96	0.96	0.98	0.97	0.97	0.98	0.95
32	1.00	0.98	1.00	0.99	0.98	1.00	0.99	0.99	1.00	0.97
33	1.04	1.05	1.04	1.04	1.06	1.05	1.05	1.05	1.04	1.06
34	1.12	1.13	1.10	1.10	1.11	1.10	1.12	1.12	1.11	1.12
35	1.14	1.16	1.15	1.13	1.13	1.15	1.15	1.15	1.13	1.15
36	1.23	1.24	1.24	1.24	1.25	1.25	1.24	1.25	1.23	1.25
37	1.30	1.27	1.27	1.30	1.28	1.29	1.29	1.30	1.30	1.30
38	1.36	1.36	1.34	1.34	1.37	1.34	1.36	1.37	1.34	1.37
39	1.38	1.40	1.38	1.40	1.39	1.41	1.40	1.41	1.40	1.39
40	1.44	1.44	1.44	1.42	1.45	1.44	1.44	1.44	1.43	1.45
41	1.55	1.54	1.54	1.54	1.53	1.54	1.54	1.52	1.53	1.55
42	1.57	1.57	1.59	1.58	1.57	1.57	1.58	1.57	1.56	1.59
43	1.67	1.66	1.66	1.65	1.68	1.68	1.67	1.67	1.68	1.67
44	1.73		1.74	1.72	1.64	1.76	1.71		1.74	1.73
45			1.87	1.88			1.82			1.85
46										1.89
47										

El módulo de elasticidad se calculó acuerdo a la norma ASTM C-469, calculando la pendiente de la recta formada por los puntos:

$$(0.000005, Y_{0.000005}), (X_{0.40f_c}, 0.40f_c)$$

Para lo cual utilizamos la gráfica de cada ensayo ubicado del apéndice 6.2 GRÁFICAS



**Ilustración 3.2.6 Tipo de falla de las especímenes de concreto con agregado reciclado (28 días)**

**3.2.4. ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN CON  
ESCLERÓMETRO DEL CONCRETO RECICLADO  
(NTP 339.181:2013 y ASTM C805)**

**Tabla 3.2.9 Estimación de la resistencia a la compresión con esclerómetro del concreto reciclado.**

<b>Ensayo 1</b>											
<i>N° Lectura</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Ang. Lectura</i>	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°
<i>Lectura I.R</i>	23	23	24	24	24	25	25	25	26	27	27
<i>I.R</i>	25										
<i>Resistencia (Kg/m2)</i>	220										
<b>Ensayo 2</b>											
<i>N° Lectura</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Ang. Lectura</i>	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°
<i>Lectura I.R</i>	24	24	25	25	25	26	26	27	27	27	28
<i>I.R</i>	26										
<i>Resistencia (Kg/m2)</i>	225										
<b>Ensayo 3</b>											
<i>N° Lectura</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Ang. Lectura</i>	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°
<i>Lectura I.R</i>	23	23	24	24	24	24	25	25	26	26	26
<i>I.R</i>	24										
<i>Resistencia (Kg/m2)</i>	200										
<b>Ensayo 4</b>											
<i>N° Lectura</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Ang. Lectura</i>	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°
<i>Lectura I.R</i>	23	24	24	24	25	26	26	26	27	27	27
<i>I.R</i>	26										
<i>Resistencia (Kg/m2)</i>	210										
<b>Ensayo 5</b>											
<i>N° Lectura</i>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
<i>Ang. Lectura</i>	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°	-90°
<i>Lectura I.R</i>	27	27	27	27	28	28	29	29	29	30	30
<i>I.R</i>	28										
<i>Resistencia (Kg/m2)</i>	240										
<b>Resistencia Promedio (Kg/m2)</b>	<b>219</b>										

La resistencia a la compresión estimada del concreto reciclado utilizado para la elaboración de agregados reciclados es de 219 Kg/m2.

## CAPÍTULO IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.

### 4.1.RESISTENCIA PROMEDIO A LA COMPRESIÓN.

#### RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO A LOS 7 DÍAS

Tabla 4.1.1 Resistencia promedio a la compresión a los 7 días de edad.

Tipo de Concreto	Carga ultima (Tn)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. Rotura (10 <sup>-3</sup> )	Módulo. Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )
Pr( A. Reciclado)	33.800	182.777	184.916	1.121	201359.314
Pn(A. Natural)	35.333	178.487	197.928	1.199	211502.095

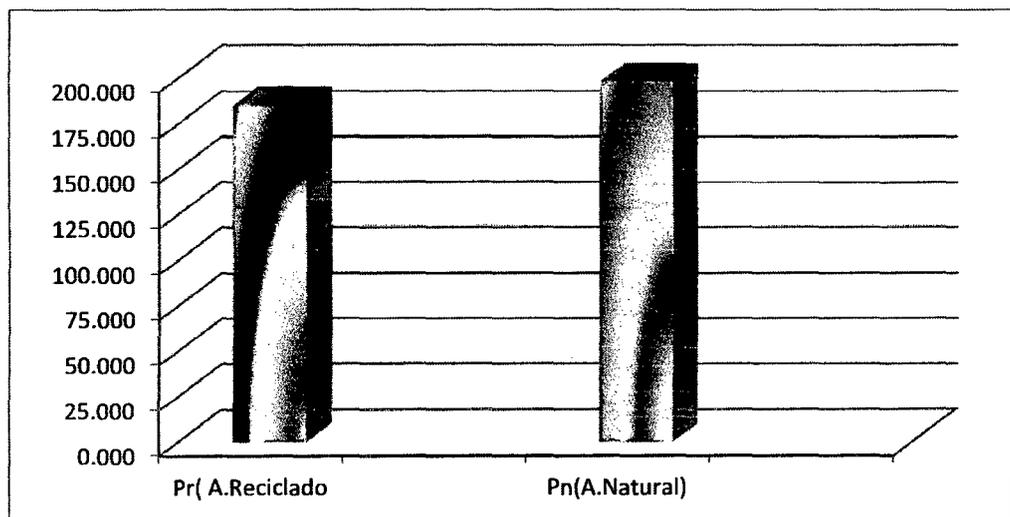
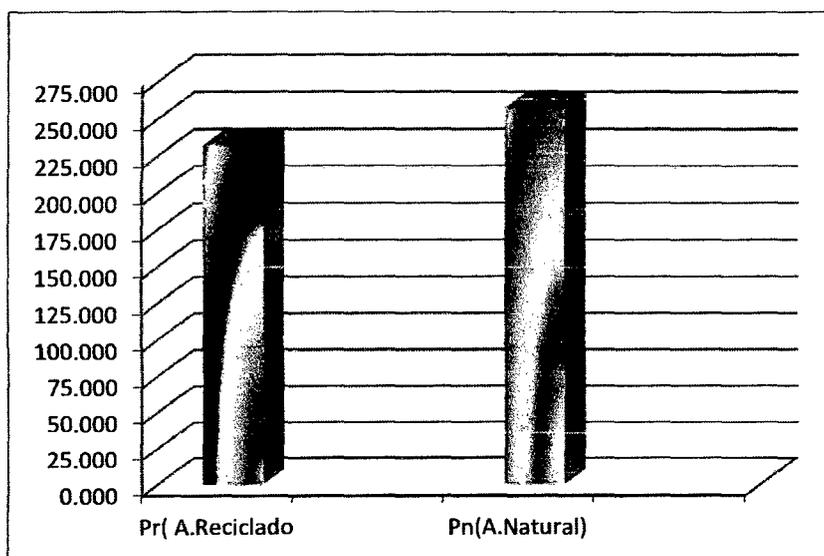


Ilustración 4.1.1 Resistencia promedio a la compresión a los 7 días de edad.

## RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO A LOS 14 DÍAS

**Tabla 4.1.2 Resistencia promedio a la compresión a los 14 días de edad.**

Tipo de Concreto	Carga ultima (Tn)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. Rotura (10-3)	Módulo. Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )
<b>Pr( A. Reciclado)</b>	42.350	182.656	231.875	1.746	217460.692
<b>Pn(A. Natural)</b>	45.917	178.487	257.260	1.999	244064.307



**Ilustración 4.1.2 Resistencia promedio a la compresión a los 14 días de edad.**

## RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO A LOS 28 DÍAS

Tabla 4.1.3 Resistencia promedio a la compresión a los 28 días de edad.

Tipo de Concreto	Carga ultima (Tn)	Área (cm <sup>2</sup> )	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. Rotura (10-3)	Módulo. Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )
Pr( A. Reciclado)	44.100	183.617	240.188	1.722	221681.777
Pn(A. Natural)	50.500	177.708	284.217	2.117	254732.375

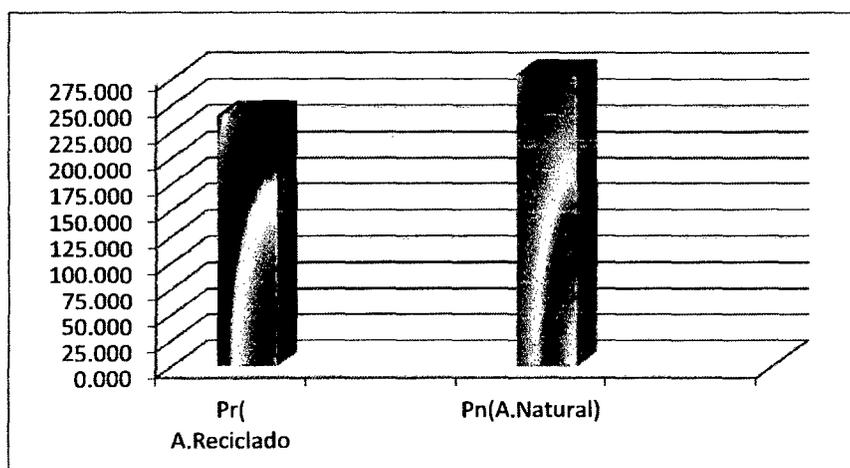
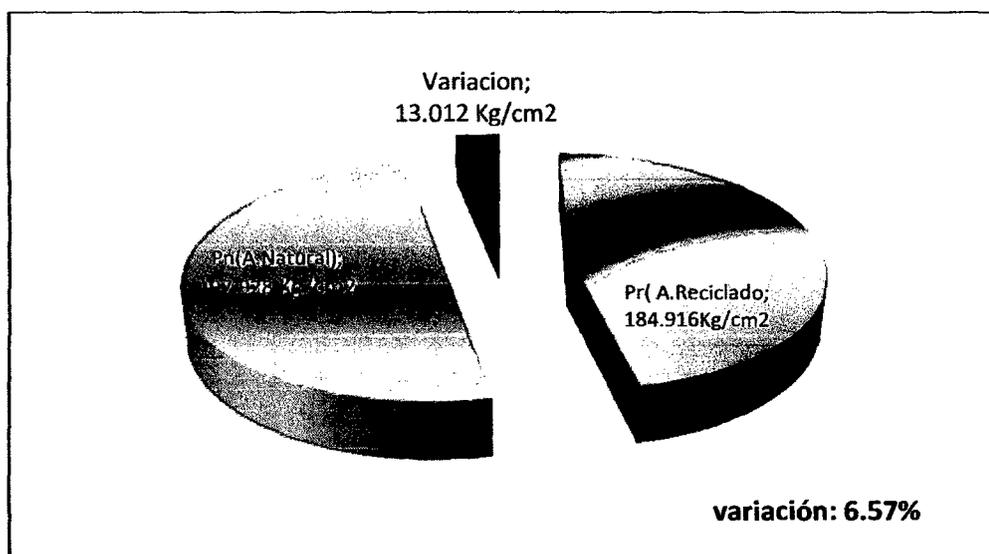


Ilustración 4.1.3 Resistencia promedio a la compresión a los 28 días de edad.

## 4.2. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN.

**Tabla 4.2.1 Análisis comparativo de la Resistencia promedio a la compresión a los 7 días de edad.**

Tipo de Concreto	Carga última (Tn)	Resistencia (Kg/cm <sup>2</sup> )	Def. Unit. Rotura (10-3)	Módulo. Elasticidad (kg/cm <sup>2</sup> )
Pr( A. Reciclado)	33.800	184.916	1.121	201359.314
Pn(A. Natural)	35.333	197.928	1.199	211502.095
<b>Variación</b>	<b>1.533</b>	<b>13.012</b>	<b>0.078</b>	<b>10142.781</b>
<b>Variación %</b>	<b>4.34%</b>	<b>6.57%</b>	<b>6.53%</b>	<b>4.80%</b>

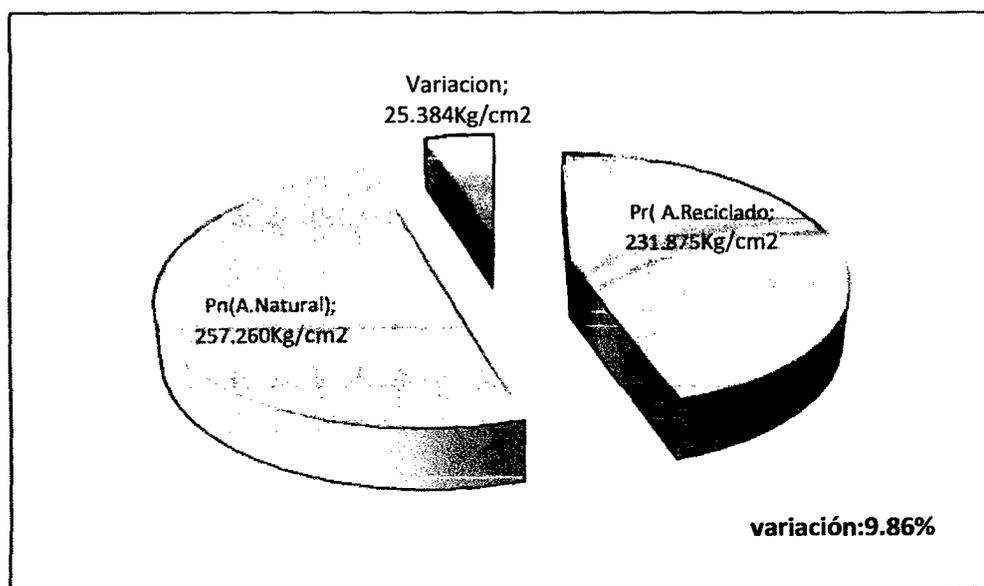


**Ilustración 4.2.1 Análisis comparativo de la Resistencia promedio a la compresión a los 7 días de edad.**

A los 7 días de edad la resistencia a la compresión del concreto elaborado con agregados de concreto reciclado es 6.57% menor que la Resistencia a la compresión del concreto elaborado con agregados naturales.

**Tabla 4.2.2 Análisis comparativo de la Resistencia promedio a la compresión a los 14 días de edad.**

<b>Tipo de Concreto</b>	<b>Carga ultima (Tn)</b>	<b>Resistencia (Kg/cm2)</b>	<b>Def. Unit. Rotura (10-3)</b>	<b>Módulo. Elasticidad (kg/cm2)</b>
<b>Pr( A. Reciclado)</b>	42.350	231.875	1.746	217460.692
<b>Pn(A. Natural)</b>	45.917	257.260	1.999	244064.307
<b>Variación</b>	<b>3.567</b>	<b>25.384</b>	<b>0.253</b>	<b>26603.615</b>
<b>Variación %</b>	<b>7.768</b>	<b>9.867</b>	<b>12.654</b>	<b>10.900</b>

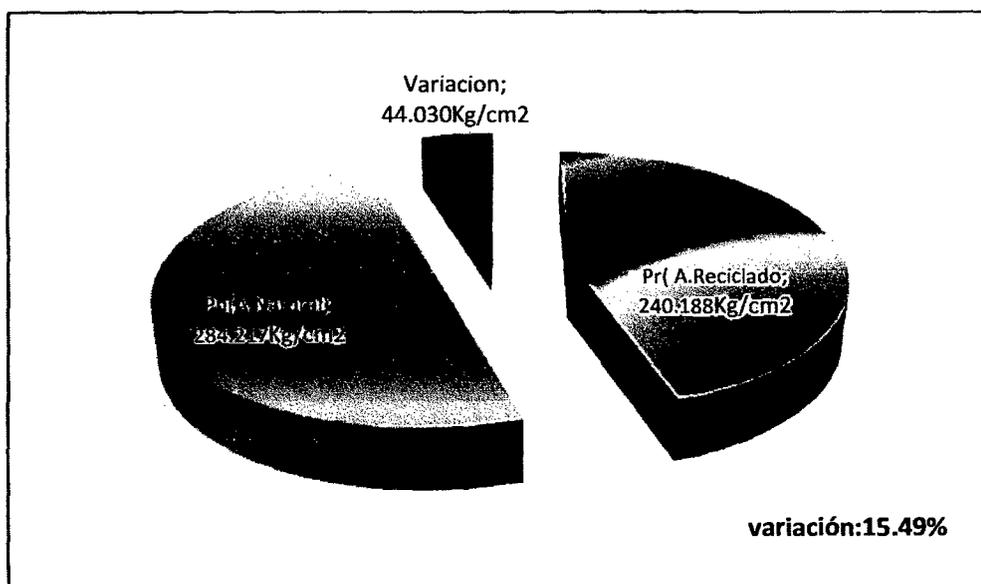


**Ilustración 4.2.2 Análisis comparativo de la Resistencia promedio a la compresión a los 14 días de edad.**

A los 14 días de edad la resistencia a la compresión del concreto elaborado con agregados de concreto reciclado es 9.86% menor que la Resistencia a la compresión del concreto elaborado con agregados naturales, como se puede observar la variación aumenta en 3.3%.

**Tabla 4.2.3 Análisis comparativo de la Resistencia promedio a la compresión a los 28 días de edad.**

Tipo de Concreto	Carga ultima (Tn)	Resistencia (Kg/cm2)	Def. Unit. Rotura ( $10^{-3}$ )	Modulo. Elasticidad (kg/cm2)
Pr(A. Reciclado)	44.100	240.188	1.720	221681.777
Pn(A. Natural)	50.500	284.217	2.117	254732.375
<b>Variación</b>	<b>6.400</b>	<b>44.030</b>	<b>0.397</b>	<b>33050.598</b>
<b>Variación %</b>	<b>12.673</b>	<b>15.492</b>	<b>18.742</b>	<b>12.975</b>

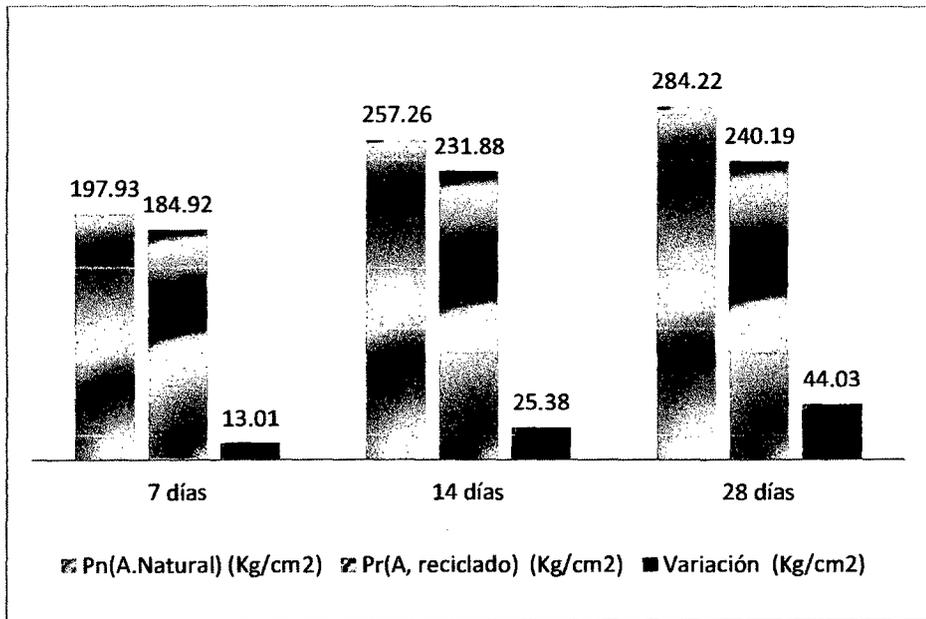


**Ilustración 4.2.3 Análisis comparativo de la Resistencia promedio a la compresión a los 28 días de edad.**

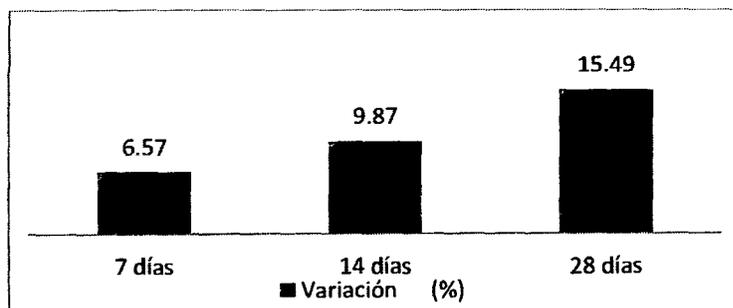
A los 28 días de edad la resistencia a la compresión del concreto elaborado con agregados de concreto reciclado es 15.49% menor que la resistencia a la compresión del concreto elaborado con agregados naturales, la variación aumenta en 5.6% con respecto a la variación de los 14 días.

**Tabla 4.2.4 Análisis comparativo acumulado de la Resistencia promedio a la compresión.**

Edad	Pn(A. Natural) (Kg/cm2)	Pr(A, reciclado) (Kg/cm2)	Variación (Kg/cm2)	Variación (%)
7 días	197.93	184.92	13.01	6.57
14 días	257.26	231.88	25.38	9.87
28 días	284.22	240.19	44.03	15.49



**Ilustración 4.2.4 Análisis comparativo acumulado de la Resistencia promedio a la compresión.**



**Ilustración 4.2.5 Variación de la resistencia**

### 4.3.COMPORTAMIENTO DE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO DEL CONCRETO.

#### Concreto Con Agregados Naturales

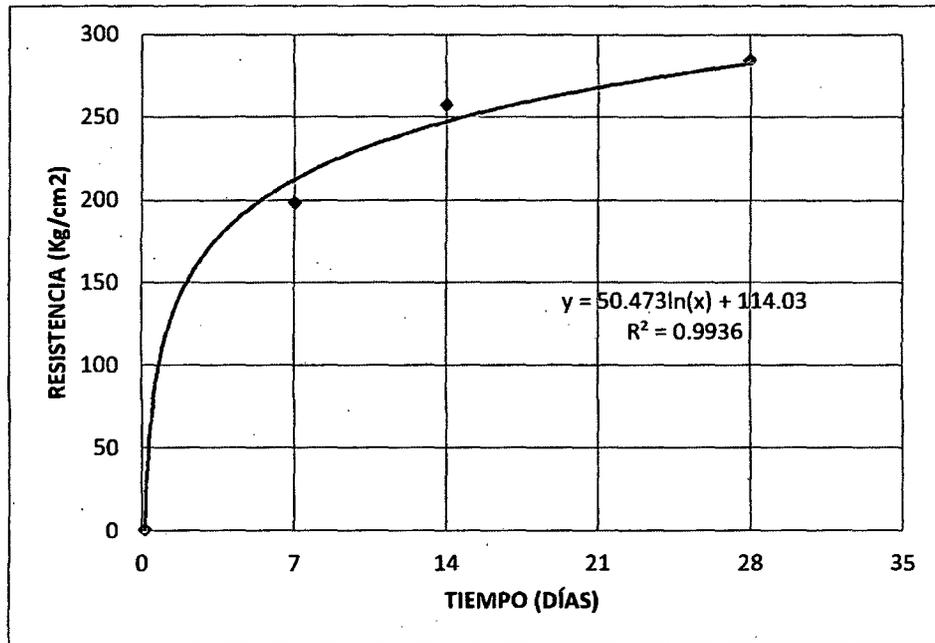
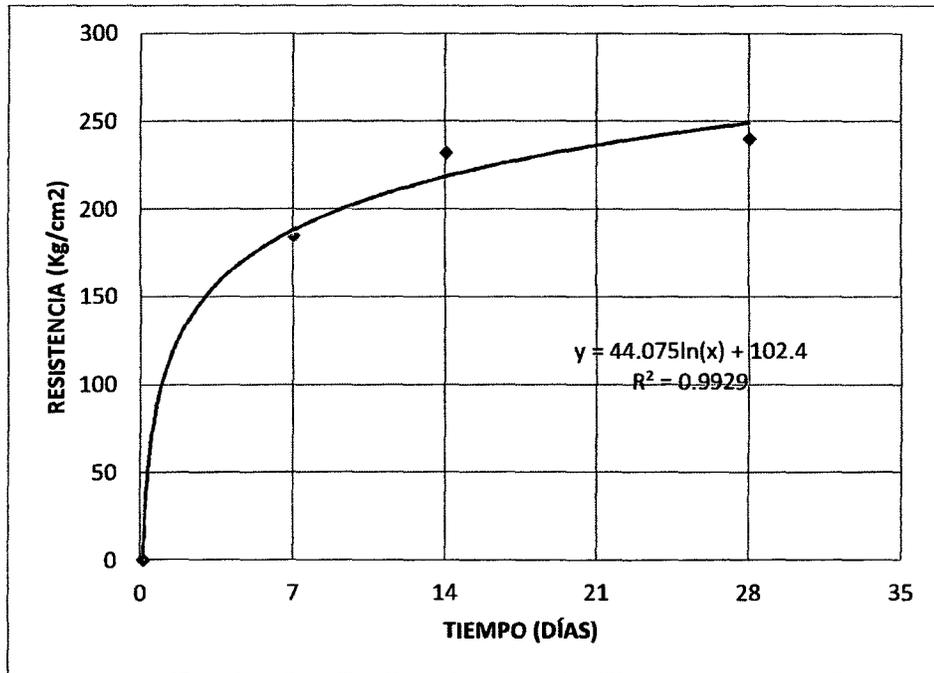


Ilustración 4.3.1 Curva promedio de resistencia a compresión de concreto con agregados naturales

En la ilustración 4.3.1 podemos apreciar que a los 7 días el concreto alcanza una resistencia a la compresión promedio de 197 kg/cm<sup>2</sup> (70.68%), a los 14 días 257.26Kg/cm<sup>2</sup> (91.87%) y a los 28 días 284.22 Kg/cm<sup>2</sup> (101.51%)

### Concreto Con Agregados Reciclados



**Ilustración 4.3.2 Curva promedio de resistencia a compresión de concreto con agregados de concreto reciclado**

En la ilustración 4.3.2 podemos apreciar que a los 7 días el concreto alcanza una resistencia a la compresión promedio de 184.92 kg/cm<sup>2</sup> (66.04%), a los 14 días 231.88Kg/cm<sup>2</sup> (82.81%) y a los 28 días 240.19 Kg/cm<sup>2</sup> (85.78%)

#### 4.4. ANÁLISIS DE COSTOS.

##### Concreto Con Agregados Naturales

**Tabla 4.4.1 Costo de m3 de concreto con agregados naturales  
(101.5%f'c).**

<b>Materiales</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P.U (S./)</b>	<b>Parcial</b>
Cemento Portland Compuesto tipo ICo.	BLS	7.73	22	170.06
Agua	m3	0.18304	2	0.36
Agregado Fino	m3	0.5794	55	31.86
Agregado Grueso	m3	0.5311	55	29.21
<b>COSTO POR M<sup>3</sup> DE CONCRETO (S./)</b>				<b>231.50</b>

##### Concreto Con Agregados Reciclados

**Tabla 4.4.2 Costo de m3 de agregado reciclado.**

<b>Actividad</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P.U(S./)</b>	<b>Parcial</b>	<b>P.U De A. Reciclado</b>
Transporte de material reciclado	m3	4	10	40.0	<b>S/. 38.57</b>
Chancacado y tamizado	m3	4	15	60.0	
Transporte de agregado fino	m3	1	10	10.0	
Transporte agregado grueso	m3	2.5	10	25.0	

**Tabla 4.4.3 Costo de m3 de concreto con agregados Reciclados  
(85.78%f'c).**

<b>Materiales</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P.U (S./)</b>	<b>Parcial</b>
Cemento Portland Compuesto tipo ICo.	BLS	7.73	22	170.06
Agua	M3	0.20187	2	0.403
Agregado Fino	M3	0.6021	38.57	23.22
Agregado Grueso	M3	0.5863	38.57	22.61
<b>COSTO POR M<sup>3</sup> DE CONCRETO (S./)</b>				<b>216.30</b>

**Tabla 4.4.4 Costo de m<sup>3</sup> de concreto con agregados Reciclados (100%*f*'<sub>c</sub>).**

<b>Materiales</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>P.U (S./)</b>	<b>Parcial</b>
Cemento Portland Compuesto tipo ICo.	BLS	8.8	22	193.6
Agua	M3	0.21534	2	0.430
Agregado Fino	M3	0.584549	38.57	22.546
Agregado Grueso	M3	0.55675	38.57	21.474
<b>COSTO POR M<sup>3</sup> DE CONCRETO (S./)</b>				<b>238.05</b>

De las tablas 4.4.1 y 4.4.3, tenemos que el concreto elaborado con agregados de concreto reciclado es relativamente más económico en un 6.5 % que el concreto elaborado con agregados naturales, al utilizar la misma relación *a/c* y cantidad de cemento. Vale recalcar que los costos de ambos concretos se calcularon con un coeficiente de desperdicio de 1.15.

De las tablas 4.4.1 y 4.4.4, tenemos que para llegar a la resistencia requerida ( $f'_c=210\text{kg/cm}^2$ ) del concreto elaborado con agregados de concreto reciclado, se necesita 1 bolsa/m<sup>3</sup> más de cemento, lo cual hace que el costo sea 2.8% más caro que el que el concreto elaborado con agregados naturales. Vale recalcar que los costos de ambos concretos se calcularon con un coeficiente de desperdicio de 1.15.

#### **4.5.CONTRATACIÓN DE LA HIPÓTESIS**

Según el planteamiento de la hipótesis se pudo verificar que la resistencia a la compresión del concreto de  $f'_c=210\text{ kg/cm}^2$  elaborado con agregados de concreto reciclado es menor que el concreto de  $f'_c=210\text{ kg/cm}^2$ , pero en un 15.49 % a los 28 días de edad del concreto.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RESULTADOS.

### 5.1. CONCLUSIONES

- El concreto elaborado con agregado de concreto reciclado de pavimento rígido de  $f_c=210\text{kg/cm}^2$  resiste un 15.49% menos que el concreto elaborado con agregados naturales a los 28 días.
- El concreto elaborado con agregado de concreto reciclado de pavimento rígido de  $f_c=210\text{kg/cm}^2$  es más liviano en 147 kg/m<sup>3</sup> que el concreto elaborado con agregados naturales.
- La deformación y módulo de elasticidad del concreto elaborado con agregados de concreto reciclado es menor en 18.7 % y 12.98% respectivamente que del concreto elaborado con agregados naturales a los 28 días.
- Para llegar a la resistencia requerida ( $f_c=210\text{kg/cm}^2$ ), el concreto elaborado con agregados de concreto reciclado, necesita 1 bolsa/m<sup>3</sup> más de cemento, lo cual hace que el costo sea 2.8% más caro que el que el concreto elaborado con agregados naturales
- El concreto elaborado con agregados de concreto reciclado es relativamente más económico en un 6.5% que el concreto elaborado con agregados naturales.
- El reciclaje de concreto para fabricar agregados y sustituir al natural es una práctica que debe empezar a realizarse a la brevedad posible en Cajamarca, ya que la disponibilidad de canteras de materiales pétreos de origen aluvial es cada día más escasa.

## 5.2.RECOMENDACIONES.

- Realizar investigaciones de elaboración de concreto con agregados de concreto reciclado para otros F'c de diseño.
- Realizar investigaciones de elaboración de concreto con agregados de concreto reciclado de otro tipo de concreto reciclado, diferente al concreto reciclado de pavimentos rígidos.
- Realizar investigaciones de otras propiedades físicas y mecánicas del concreto con agregados de concreto.
- Realizar diseño de mezclas con agregados de concreto reciclado provenientes de otras estructuras diferentes a pavimentos rígidos.
- Realizar diseño de mezclas combinando los agregados de concreto reciclado y naturales, y obtener la dosificación óptima de estos donde no afecte la resistencia de diseño.
- Dar uso a los agregados de concreto reciclado en la construcción, en estructuras donde las propiedades de este cumplan con los parámetros establecidos por las diferentes normas y reglamentos.
- Fomentar el uso de agregados de concreto reciclado, y así disminuir el impacto ambiental producido por los residuos sólidos de concreto.
- Realizar el ensayo a la compresión del concreto reciclado mediante el ensayo de extracción o diamantina (ASTM C42).

## CAPÍTULO VI. ANEXOS

### 6.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO

#### 6.1.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (NTP 400.012:2013)

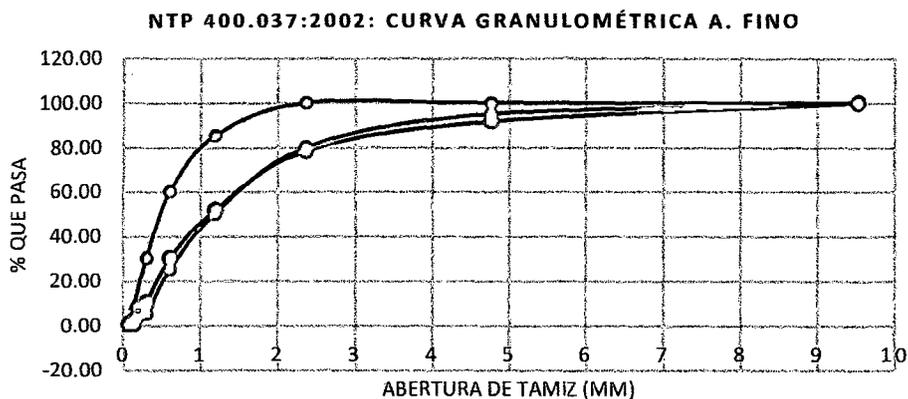
**Agregado Fino.**

**Ensayo 1**

**Tabla 6.1.1 Análisis granulométrico para agregado fino de concreto reciclado correspondiente al ensayo 1**

*Peso de Muestra :* 600.00 g

<b>Malla</b>				<b>Porcentaje</b>	
<b>N°</b>	<b>(mm)</b>	<b>Peso Retenido (g)</b>	<b>Porcentaje Retenido (%)</b>	<b>Retenido. Acumulado. (%)</b>	<b>Porcentaje que pasa (%)</b>
3/8	9.52	0.00	0.00	0.00	100.00
4	4.76	44.00	7.33	7.33	92.67
8	2.36	83.00	13.83	21.17	78.83
16	1.18	165.00	27.50	48.67	51.33
30	0.6	125.00	20.83	69.50	30.50
50	0.3	120.00	20.00	89.50	10.50
100	0.15	48.00	8.00	97.50	2.50
200	0.075	10.00	1.67	99.17	0.83
Cazoleta		5.00	0.83	100.00	0.00
<b>Módulo de Finura</b>		<b>3.34</b>			



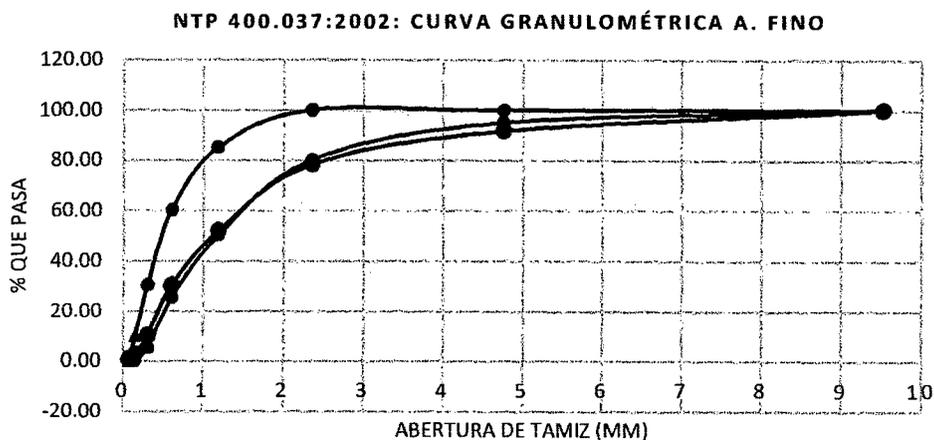
**Ilustración 6.1.1 Curva granulométrica para agregado fino reciclado correspondiente al ensayo 1**

**Ensayo 2**

**Tabla 6.1.2 Análisis granulométrico para agregado fino de concreto reciclado correspondiente al ensayo 2**

*Peso de Muestra :*            **600.00 g**

Malla		Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido. Acumulado. (%)	Porcentaje que pasa (%)
N°	(mm)				
3/8	9.52	0	0.00	0.00	100.00
4	4.76	46.00	7.67	7.67	92.33
8	2.36	86.00	14.33	22.00	78.00
16	1.18	158.00	26.33	48.33	51.67
30	0.6	130.00	21.67	70.00	30.00
50	0.3	120.00	20.00	90.00	10.00
100	0.15	45.00	7.50	97.50	2.50
200	0.075	10.00	1.67	99.17	0.83
Cazoleta		5.00	0.83	100.00	0.00
<b>Módulo de Finura</b>		<b>3.36</b>			



**Ilustración 6.1.2 Curva granulométrica para agregado fino reciclado correspondiente al ensayo 2**

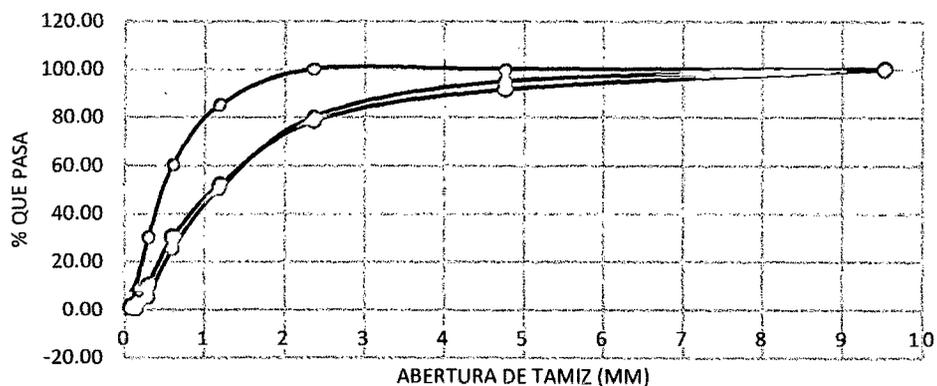
**Ensayo 3**

**Tabla 6.1.3 Análisis granulométrico para agregado fino de concreto reciclado correspondiente al ensayo 3**

*Peso de Muestra :*            **600.00 g**

<b>Malla</b>				<b>Porcentaje</b>	
<b>N°</b>	<b>(mm)</b>	<b>Peso Retenido (g)</b>	<b>Porcentaje Retenido (%)</b>	<b>Retenido. Acumulado. (%)</b>	<b>Porcentaje que pasa (%)</b>
3/8	9.52	0	0.00	0.00	100.00
4	4.76	48.00	8.00	8.00	92.00
8	2.36	91.00	15.17	23.17	76.83
16	1.18	160.00	26.67	49.83	50.17
30	0.6	125.00	20.83	70.67	29.33
50	0.3	120.00	20.00	90.67	9.33
100	0.15	43.00	7.17	97.83	2.17
200	0.075	4.00	0.67	98.50	1.50
Cazoleta		9.00	1.50	100.00	0.00
<b>Módulo de Finura</b>		<b>3.40</b>			

NTP 400.037:2002: CURVA GRANULOMÉTRICA A. FINO



**Ilustración 6.1.3 Curva granulométrica para agregado fino reciclado correspondiente al ensayo 3**

**Agregado Grueso.**

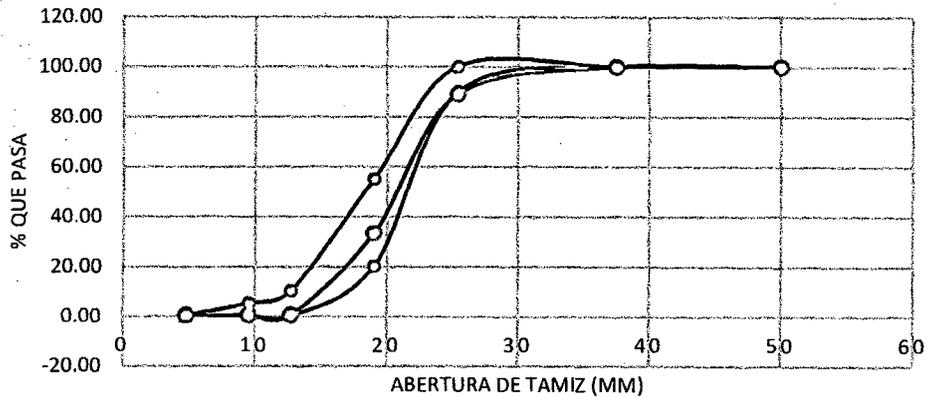
**Ensayo 1**

**Tabla 6.1.4 Análisis granulométrico para agregado grueso de concreto reciclado correspondiente al ensayo 1**

*Peso de Muestra :* 11190.00 g

Malla				Porcentaje	
N°	(mm)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Retenido. Acumulado. (%)	Porcentaje que pasa (%)
2	50	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00
1	25.4	1224.40	10.94	10.94	89.06
3/4	19	6255.40	55.90	66.84	33.16
1/2	12.7	3672.20	32.82	99.66	0.34
3/8	9.5	15.00	0.13	99.79	0.21
N° 4	4.76	19.30	0.17	99.97	0.03
Cazoleta		3.70	0.03	100.00	0.00
<b>Módulo de Finura</b>		<b>7.67</b>			

NTP 400.037:2002 "HUSO 5 ": CURVA GRANULOMÉTRICA A.  
GRUESO



**Ilustración 6.1.4 Curva granulométrica para agregado grueso reciclado correspondiente al ensayo 1**

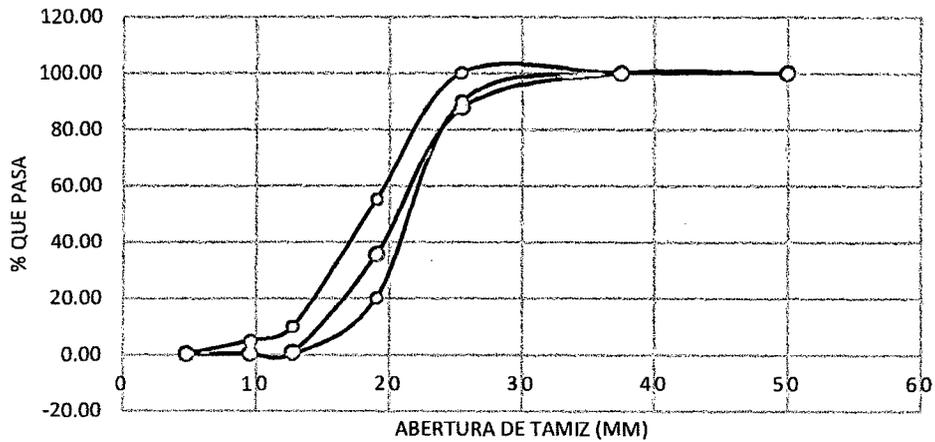
**ENSAYO 2**

**Tabla 6.1.5 Análisis granulométrico para agregado grueso de concreto reciclado correspondiente al ensayo 2**

Peso de Muestra : 10620.00 g

Malla		Peso Retenido	Porcentaje Retenido	Porcentaje Retenido. Acumulado.	Porcentaje que pasa
N°	(mm)	(g)	(%)	(%)	(%)
2	50	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00
1	25.4	1334.80	12.57	12.57	87.43
3/4	19	5516.40	51.94	64.51	35.49
1/2	12.7	3690.00	34.75	99.26	0.74
3/8	9.5	59.20	0.56	99.82	0.18
N° 4	4.76	16.00	0.15	99.97	0.03
Cazoleta		3.60	0.03	100.00	0.00
<b>Módulo de Finura</b>		<b>7.64</b>			

NTP 400.037:2002 "HUSO 5 ": CURVA GRANULOMÉTRICA A.  
GRUESO



**Ilustración 6.1.5 Curva granulométrica para agregado grueso reciclado correspondiente al ensayo 2**

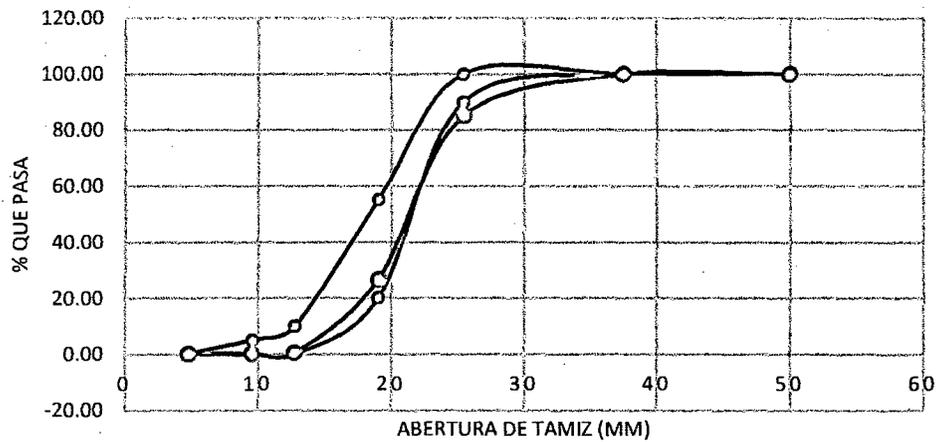
**Ensayo 3**

**Tabla 6.1.6 Análisis granulométrico para agregado grueso de concreto reciclado correspondiente al ensayo 3**

Peso de Muestra : 10636.50 g

Malla				Porcentaje Retenido.	Porcentaje
N°	(mm)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Acumulado. (%)	que pasa (%)
2	50	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00
1	25.4	1604.60	15.09	15.09	84.91
3/4	19	6215.70	58.44	73.52	26.48
1/2	12.7	2753.40	25.89	99.41	0.59
3/8	9.5	57.50	0.54	99.95	0.05
N° 4	4.76	0.20	0.00	99.95	0.05
Cazoleta		5.10	0.05	100.00	0.00
<b>Módulo de Finura</b>		<b>7.73</b>			

NTP 400.037:2002 "HUSO 5 ":CURVA GRANULOMÉTRICA A.  
GRUESO



**Ilustración 6.1.6 Curva granulométrica para agregado grueso reciclado correspondiente al ensayo 3**

**\*Tamaño máximo nominal**

TMN= 1 pulg

**\*Módulo de Finura**

**Agregado Fino. (mf)**

mf= **3.36**

**Agregado Grueso. (mg)**

mg= **7.68**

### 6.1.2 PESO UNITARIO (NTP 400.017:2011)

#### *Cálculo de Factor (f)*

Peso de fiola:	212.80 g
Peso de fiola +agua:	710.70 g
Peso específico de agua:	<b>0.9958 g/cm<sup>3</sup></b>
Peso de recipiente + vidrio+ grasa:	5151.00 g
Peso de recipiente + vidrio+ grasa+agua:	14850.00 g
Volumen de recipiente:	<b>9739.91 cm<sup>3</sup></b>
Peso de recipiente	4.22 Kg
→ <b>Factor (f):</b>	<b>102.67/m<sup>3</sup></b>

**\*PESO UNITARIO SUELTO**

**Tabla 6.1.7 Peso unitario suelto de agregado fino reciclado.**

<b>ENSAYO N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del Recipiente(g)	4.22 Kg	4.22 Kg	4.22 Kg
Peso del Recipiente + Muestra (g)	17.22	17.17	17.23
Peso de la Muestra (g)	13.00	12.95	13.01
Factor(f)	102.67	102.67	102.67
Peso unitario suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	1334.71	1329.58	1335.74
<b>Peso unitario suelto Promedio (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1333.35 Kg/m<sup>3</sup></b>		

**Tabla 6.1.8 Peso unitario suelto de agregado grueso reciclado.**

<b>ENSAYO N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del Recipiente(g)	4.22 Kg	4.22 Kg	4.22 Kg
Peso del Recipiente + Muestra (g)	16.06	16.01	16.08
Peso de la Muestra (g)	11.84	11.79	11.86
Factor(f)	102.67	102.67	102.67
Peso unitario suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	1215.62	1210.48	1217.67
<b>Peso unitario suelto Promedio (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1214.59 Kg/m<sup>3</sup></b>		

**\*PESO UNITARIO COMPACTADO****Tabla 6.1.9 Peso unitario compactado de agregado fino reciclado.**

<b>ENSAYO N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del Recipiente(g)	4.22 Kg	4.22 Kg	4.22 Kg
Peso del Recipiente + Muestra (g)	18.565	18.575	18.58
Peso de la Muestra (g)	14.35	14.36	14.36
Factor(f)	102.67	102.67	102.67
Peso unitario suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	1472.81	1473.83	1474.35
<b>Peso unitario suelto Promedio (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1473.66 Kg/m<sup>3</sup></b>		

**Tabla 6.1.10 Peso unitario compactado de agregado grueso reciclado.**

<b>ENSAYO N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del Recipiente(g)	4.22 Kg	4.22 Kg	4.22 Kg
Peso del Recipiente + Muestra (g)	17.59	17.97	17.975
Peso de la Muestra (g)	13.37	13.75	13.76
Factor(f)	102.67	102.67	102.67
Peso unitario suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	1372.70	1411.72	1412.23
<b>Peso unitario suelto Promedio (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1398.88 Kg/m<sup>3</sup></b>		

### 6.1.3. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN (NTP 400.022:2013 Y NTP 400.022:2013).

**Tabla 6.1.11 Peso específico y absorción de agregado fino reciclado.**

ENSAYO N°	1	2	3	Promedio
Peso de muestra seca al horno(g)	461.60	461.70	461.50	.....
Peso de picnómetro lleno de agua (g)	710.7	710.7	710.7	.....
Peso de Picnómetro +muestra +agua (g)	999.70	999.90	999.60	.....
Peso de Muestra sat. superf. Seca(g)	500.00	500.00	500.00	.....
<b>Peso específico de masa (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.19	2.19	2.19	<b>2.19</b>
<b>Peso específico de masa s.s.s (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.37	2.37	2.37	<b>2.37</b>
<b>Peso específico aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.67	2.68	2.67	<b>2.67</b>
<b>Absorción (%)</b>	8.32	8.30	8.34	<b>8.32</b>

**Tabla 6.1.12 Peso específico y absorción de agregado grueso reciclado.**

ENSAYO N°	1	2	3	Promedio
Peso muestra seca al horno, en aire(g)	3816.30	3854.10	3793.60	.....
Peso muestra sat. sup. Sec. en el aire(g)	4053.1	4112.2	4040.7	.....
Peso muestra saturada, en el agua(g)	2355.00	2410.00	2345.00	.....
<b>Peso específico de masa (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.25	2.26	2.24	<b>2.25</b>
<b>Peso específico de masa s.s.s (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.39	2.42	2.38	<b>2.40</b>
<b>Peso específico aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.61	2.67	2.62	<b>2.63</b>
<b>Absorción (%)</b>	6.20	6.70	6.51	<b>6.47</b>

#### 6.1.4. CONTENIDO DE HUMEDAD (NTP 339.185:2013).

**Tabla 6.1.13 Contenido de humedad de agregado fino reciclado**

<b>ENSAYO N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del Recipiente(g)	26.30	27.10	26.80
Peso del Recipiente + Muestr. Hum.(g)	278.00	274.00	268.20
Peso del Recipiente + Muestr.Seca.(g)	253.50	251.00	245.00
Peso del agua (g).	24.50	23.00	23.20
Peso de Muestra Seca. (g).	227.20	223.90	218.20
Contenido de Humedad. (%)	10.78	10.27	10.63
<b>Contenido de Humedad Promedio (%)</b>	<b>10.56</b>		

**Tabla 6.1.14 Contenido de humedad de agregado grueso reciclado.**

<b>ENSAYO N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del Recipiente(g)	38.80	39.20	39.00
Peso del Recipiente + Muestr. Hum.(g)	453.80	466.90	441.40
Peso del Recipiente + Muestr.Seca.(g)	438.20	448.40	426.00
Peso del agua (g).	15.60	18.50	15.40
Peso de Muestra Seca. (g).	399.40	409.20	387.00
Contenido de Humedad. (%)	3.91	4.52	3.98
<b>Contenido de Humedad Promedio (%)</b>	<b>4.14</b>		

**6.1.5. RESISTENCIA A LA ABRASIÓN (NTP 400.019:2002 y 400.020:2002).**

**Tabla 6.1.15 Resistencia a la abrasión del agregado grueso reciclado.**

<b>TAMAÑO DE TAMICES NTP (ABERTURAS CUADRADADAS)</b>				<b>A</b>
<b>PASA</b>		<b>RETENIDO EN</b>		
<b>N°</b>	<b>(mm)</b>	<b>N°</b>	<b>(mm)</b>	
1 1/2	37.5	1	25.4	1234.90
1	25.4	3/4	19	1258.50
3/4	19	1/2	12.7	1269.10
1/2	12.7	3/8	9.51	1384.60
Total de muestra Inicial (g)				5147.10
Total de muestra Final (g)				3059.00
<b>Porcentaje de Desgaste (%)</b>				<b>40.57</b>

## 6.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS NATURALES

### 3.2.2.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO (NTP 400.012:2013)

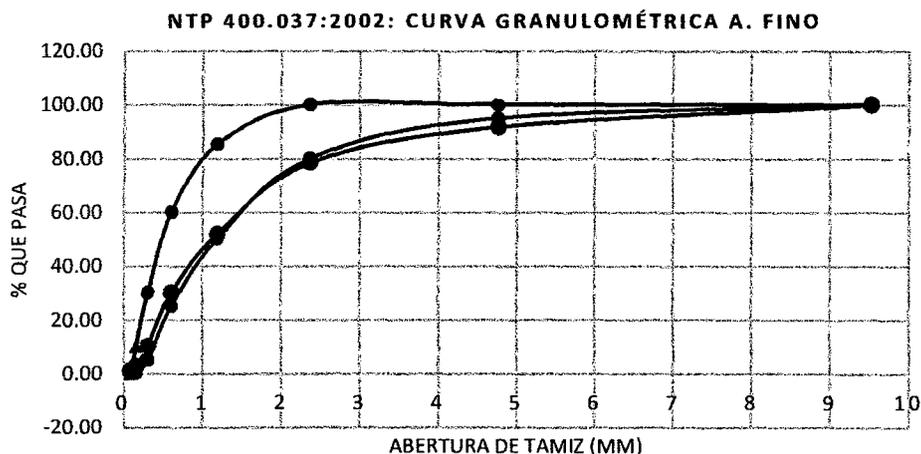
**Agregado Fino.**

#### ENSAYO 1

**Tabla 6.2.1 Análisis granulométrico para agregado fino natural correspondiente al ensayo 1**

*Peso de Muestra :*            *600.00 g*

<b>Malla</b>				<b>Porcentaje</b>	
<b>N°</b>	<b>(mm)</b>	<b>Peso Retenido (g)</b>	<b>Porcentaje Retenido (%)</b>	<b>Retenido. Acumulado. (%)</b>	<b>Porcentaje que pasa (%)</b>
3/8	9.52	0.00	0.00	0.00	100.00
4	4.76	31.00	5.17	5.17	94.83
8	2.36	87.00	14.50	19.67	80.33
16	1.18	170.00	28.33	48.00	52.00
30	0.6	132.00	22.00	70.00	30.00
50	0.3	120.00	20.00	90.00	10.00
100	0.15	41.00	6.83	96.83	3.17
200	0.075	9.00	1.50	98.33	1.67
Cazoleta		10.00	1.67	100.00	0.00
<b>Módulo de Finura</b>		<b>3.30</b>			



**Ilustración 6.2.1 Curva granulométrica para fino natural correspondiente al ensayo 1**

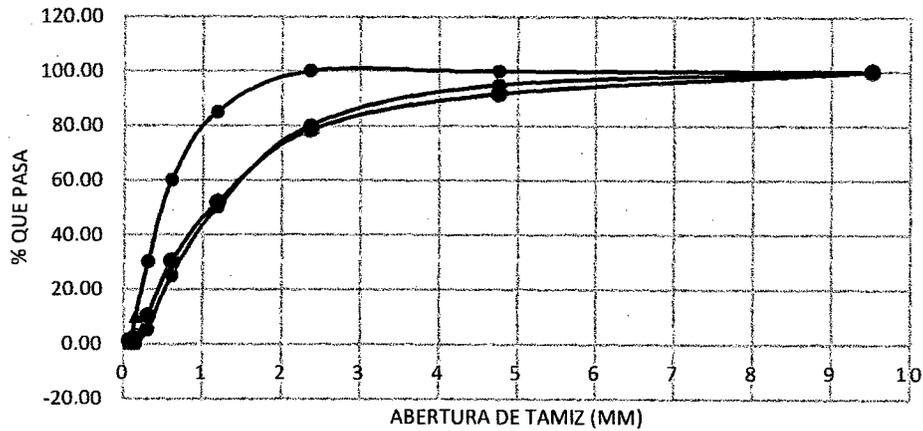
**Ensayo 2**

**Tabla 6.2.2 Análisis granulométrico para agregado fino natural correspondiente al ensayo 2**

*Peso de Muestra :*                    **600.00 g**

<b>Malla</b>				<b>Porcentaje</b>	
<b>N°</b>	<b>(mm)</b>	<b>Peso Retenido (g)</b>	<b>Porcentaje Retenido (%)</b>	<b>Retenido. Acumulado. (%)</b>	<b>Porcentaje que pasa (%)</b>
3/8	9.52	0	0.00	0.00	100.00
4	4.76	49.00	8.17	8.17	91.83
8	2.36	76.00	12.67	20.83	79.17
16	1.18	146.00	24.33	45.17	54.83
30	0.6	132.00	22.00	67.17	32.83
50	0.3	115.00	19.17	86.33	13.67
100	0.15	65.00	10.83	97.17	2.83
200	0.075	13.00	2.17	99.33	0.67
Cazoleta		4.00	0.67	100.00	0.00
<b>Módulo de Finura</b>		<b>3.25</b>			

NTP 400.037:2002: CURVA GRANULOMÉTRICA A. FINO



**Ilustración 6.2.2 Curva granulométrica para fino natural correspondiente al ensayo 2**

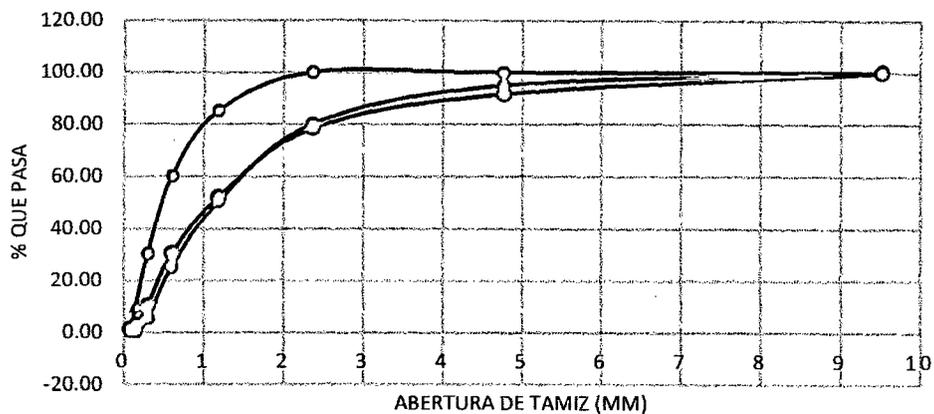
**Ensayo 3**

**Tabla 6.2.3 Análisis granulométrico para agregado fino natural correspondiente al ensayo 3**

Peso de Muestra : 600.00 g

Malla				Porcentaje	
N°	(mm)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Retenido. Acumulado. (%)	Porcentaje que pasa (%)
3/8	9.52	0	0.00	0.00	100.00
4	4.76	65.00	10.83	10.83	89.17
8	2.36	75.00	12.50	23.33	76.67
16	1.18	178.00	29.67	53.00	47.00
30	0.6	133.00	22.17	75.17	24.83
50	0.3	115.00	19.17	94.33	5.67
100	0.15	25.00	4.17	98.50	1.50
200	0.075	4.00	0.67	99.17	0.83
Cazoleta		5.00	0.83	100.00	0.00
<b>Módulo de Finura</b>		<b>3.55</b>			

NTP 400.037:2002: CURVA GRANULOMÉTRICA A. FINO



**Ilustración 6.2.3 Curva granulométrica para grueso natural correspondiente al ensayo 3**

**Agregado Grueso.**

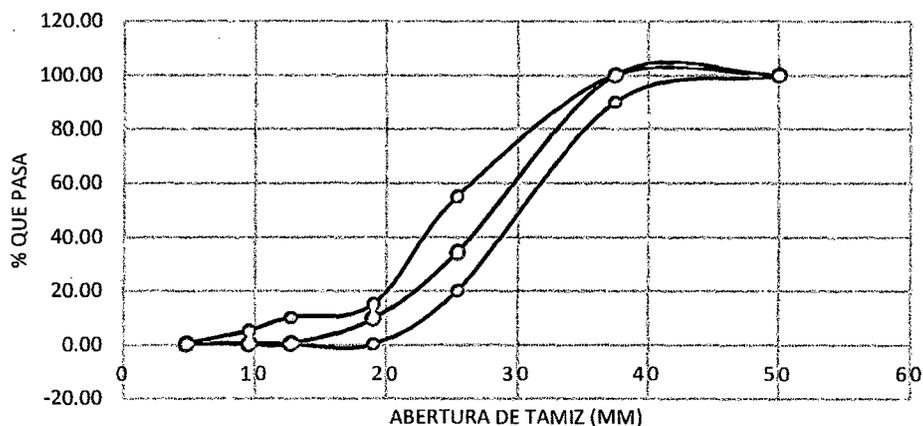
**Ensayo 1**

**Tabla 6.2.4 Análisis granulométrico para agregado grueso natural correspondiente al ensayo 1**

*Peso de Muestra :* 10900.00 g

Malla		Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Porcentaje Retenido. Acumulado. (%)	Porcentaje que pasa (%)
N°	(mm)				
2	50	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00
1	25.4	7171.30	65.79	65.79	34.21
3/4	19	2687.10	24.65	90.44	9.56
1/2	12.7	1011.70	9.28	99.73	0.27
3/8	9.5	25.70	0.24	99.96	0.04
N° 4	4.76	2.10	0.02	99.98	0.02
Cazoleta		2.10	0.02	100.00	0.00
<b>Módulo de Finura</b>		<b>7.90</b>			

**NTP 400.037:2002 "HUSO 5 ": CURVA GRANULOMÉTRICA A.  
GRUESO**



**Ilustración 6.2.4 Curva granulométrica para grueso natural correspondiente al ensayo 1**

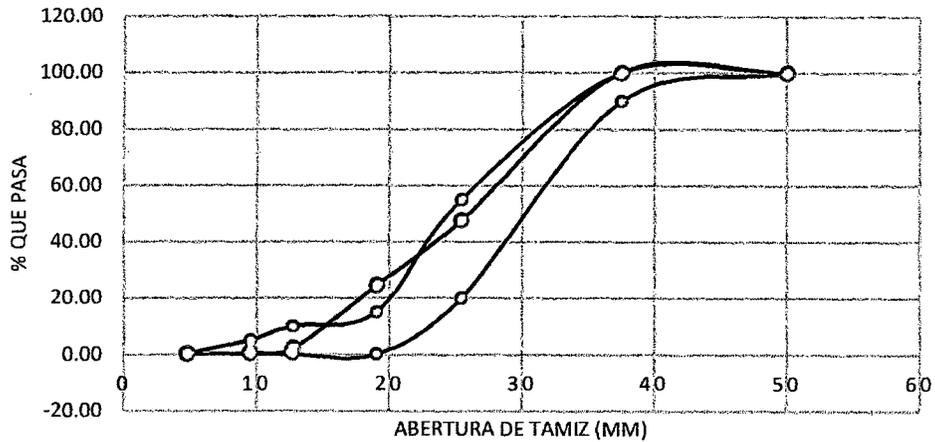
**Ensayo 2**

**Tabla 6.2.5 Análisis granulométrico para agregado grueso natural correspondiente al ensayo 2**

*Peso de Muestra :*            10777.00 g

<b>Malla</b>				<b>Porcentaje</b>	
<b>N°</b>	<b>(mm)</b>	<b>Peso Retenido (g)</b>	<b>Porcentaje Retenido (%)</b>	<b>Ret. Acum. (%)</b>	<b>Porcentaje que pasa (%)</b>
2	50	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00
1	25.4	5659.00	52.51	52.51	47.49
3/4	19	2497.50	23.17	75.68	24.32
1/2	12.7	2399.50	22.27	97.95	2.05
3/8	9.5	187.50	1.74	99.69	0.31
N° 4	4.76	26.00	0.24	99.93	0.07
Cazoleta		7.50	0.07	100.00	0.00
<b>Módulo de Finura</b>		<b>7.75</b>			

NTP 400.037:2002 "HUSO 5 ": CURVA GRANULOMÉTRICA A.  
GRUESO



**Ilustración 6.2.5 Curva granulométrica para grueso natural correspondiente al ensayo 2**

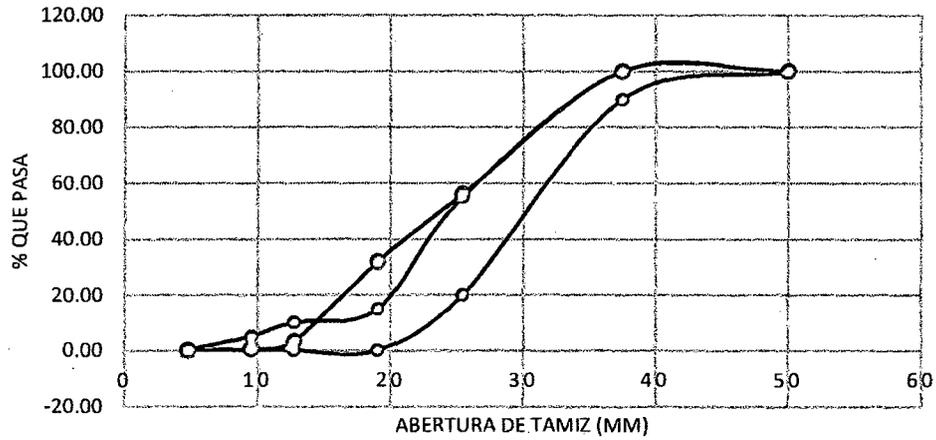
**Ensayo 3**

**Tabla 6.2.6 Análisis granulométrico para agregado grueso natural correspondiente al ensayo 3**

Peso de Muestra : 10695.00 g

Malla				Porcentaje	
N°	(mm)	Peso Retenido (g)	Porcentaje Retenido (%)	Ret. Acum. (%)	Porcentaje que pasa (%)
2	50	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2	37.5	0.00	0.00	0.00	100.00
1	25.4	4712.70	44.06	44.06	55.94
3/4	19	2588.80	24.21	68.27	31.73
1/2	12.7	3050.60	28.52	96.79	3.21
3/8	9.5	289.70	2.71	99.50	0.50
N° 4	4.76	45.00	0.42	99.92	0.08
Cazoleta		8.20	0.08	100.00	0.00
<b>Módulo de Finura</b>		<b>7.68</b>			

**NTP 400.037:2002 "HUSO 5 ": CURVA GRANULOMÉTRICA A.  
GRUESO**



**Ilustración 6.2.6 Curva granulométrica para grueso natural correspondiente al ensayo 3**

**\*Tamaño máximo nominal**

TMN= 

<b>1 pulg</b>
---------------

**\*Módulo de Finura**

**Agregado Fino. (mf)**

mf= **3.37**

**Agregado Grueso. (mg)**

mg= **7.78**

## 6.2.2.PESO UNITARIO (NTP 400.017:2011)

### *Cálculo de Factor (f)*

Peso de fiola:	212.80 g
Peso de fiola +agua:	710.70 g
Peso específico de agua:	<b>0.9958 g/cm<sup>3</sup></b>
Peso de recipiente + vidrio+ grasa:	5151.00 g
Peso de recipiente + vidrio+ grasa+agua:	14850.00 g
Volumen de recipiente:	<b>9739.91 cm<sup>3</sup></b>
Peso de recipiente	4.22 Kg
→ <b>Factor (f):</b>	<b>102.67/m<sup>3</sup></b>

**\*PESO UNITARIO SUELTO**

**Tabla 6.2.7 Peso unitario suelto de agregado fino natural.**

<b>ENSAYO N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del Recipiente(g)	4.22 Kg	4.22 Kg	4.22 Kg
Peso del Recipiente + Muestra (g)	20.535	20.51	20.56
Peso de la Muestra (g)	16.32	16.29	16.34
Factor(f)	102.67	102.67	102.67
Peso unitario suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	1675.07	1672.50	1677.63
<b>Peso unitario suelto Promedio (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1675.07 Kg/m<sup>3</sup></b>		

**Tabla 6.2.8 Peso unitario suelto de agregado grueso natural.**

<b>ENSAYO N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del Recipiente(g)	4.22 Kg	4.22 Kg	4.22 Kg
Peso del Recipiente + Muestra (g)	18.485	18.49	18.47
Peso de la Muestra (g)	14.27	14.27	14.25
Factor(f)	102.67	102.67	102.67
Peso unitario suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	1464.59	1465.11	1463.05
<b>Peso unitario suelto Promedio (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1464.25 Kg/m<sup>3</sup></b>		

**\*PESO UNITARIO COMPACTADO**

**Tabla 6.2.9 Peso unitario compactado de agregado fino natural.**

<b>ENSAYO N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del Recipiente(g)	4.22 Kg	4.22 Kg	4.22 Kg
Peso del Recipiente + Muestra (g)	22.04	22.015	22.045
Peso de la Muestra (g)	17.82	17.80	17.83
Factor(f)	102.67	102.67	102.67
Peso unitario suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	1829.59	1827.02	1830.10
<b>Peso unitario suelto Promedio (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1828.90 Kg/m<sup>3</sup></b>		

**Tabla 6.2.10 Peso unitario compactado de agregado grueso natural.**

<b>ENSAYO N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del Recipiente(g)	4.22 Kg	4.22 Kg	4.22 Kg
Peso del Recipiente + Muestra (g)	19.83	19.84	19.825
Peso de la Muestra (g)	15.61	15.62	15.61
Factor(f)	102.67	102.67	102.67
Peso unitario suelto (Kg/m <sup>3</sup> )	1602.68	1603.71	1602.17
<b>Peso unitario suelto Promedio (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>1602.86 Kg/m<sup>3</sup></b>		

### 6.2.3. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN (NTP 400.022:2013 Y NTP 400.021:2013)

**Tabla 6.2.11 Peso específico y absorción de agregado fino natural.**

ENSAYO N°	1	2	3	Promedio
Peso de muestra seca al horno(g)	493.50	493.80	494.30	.....
Peso de picnómetro lleno de agua (g)	710.7	710.7	710.7	.....
Peso de Picnometro +muestra +agua (g)	1020.10	1020.50	1020.80	.....
Peso de Muestra sat. superf. Seca(g)	500.00	500.00	500.00	.....
<b>Peso específico de masa (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.59	2.60	2.60	<b>2.60</b>
<b>Peso específico de masa s.s.s (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.62	2.63	2.63	<b>2.63</b>
<b>Peso específico aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.68	2.68	2.68	<b>2.68</b>
<b>Absorción (%)</b>	1.32	1.26	1.15	<b>1.24</b>

**Tabla 6.2.12 Peso específico y absorción de agregado grueso natural.**

ENSAYO N°	1	2	3	Promedio
Peso muestra seca al horno, en aire(g)	4023.40	4143.00	4041.40	.....
Peso muestra sat. sup. Sec, en el aire(g)	4076.50	4198.10	4095.50	.....
Peso muestra saturada, en el agua(g)	2516.50	2575.00	2526.00	.....
<b>Peso específico de masa (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.58	2.55	2.57	<b>2.57</b>
<b>Peso específico de masa s.s.s (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.61	2.59	2.61	<b>2.60</b>
<b>Peso específico aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	2.67	2.64	2.67	<b>2.66</b>
<b>Absorción (%)</b>	1.32	1.33	1.34	<b>1.33</b>

#### 6.2.4. CONTENIDO DE HUMEDAD (NTP 339.185.2013).

**Tabla 6.2.13 Contenido de humedad de agregado fino natural.**

<b>ENSAYO N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del Recipiente(g)	26.10	26.70	27.00
Peso del Recipiente + Muestr. Hum.(g)	333.90	316.00	338.60
Peso del Recipiente + Muestr.Seca.(g)	323.50	304.90	329.00
Peso del agua (g).	10.40	11.10	9.60
Peso de Muestra Seca. (g).	297.40	278.20	302.00
Contenido de Humedad. (%)	3.50	3.99	3.18
<b>Contenido de Humedad Promedio (%)</b>	<b>3.56</b>		

**Tabla 6.2.14 Contenido de humedad de agregado grueso natural.**

<b>ENSAYO N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Peso del Recipiente(g)	39.70	47.80	39.10
Peso del Recipiente + Muestr. Hum.(g)	358.20	386.90	336.30
Peso del Recipiente + Muestr.Seca.(g)	354.70	383.10	333.30
Peso del agua (g).	3.50	3.80	3.00
Peso de Muestra Seca. (g).	315.00	335.30	294.20
Contenido de Humedad. (%)	1.11	1.13	1.02
<b>Contenido de Humedad Promedio (%)</b>	<b>1.09</b>		

**6.2.5. RESISTENCIA A LA ABRASIÓN (NTP 400.019 y NTP 400.020:2002).**

**Tabla 6.2.15 Resistencia a la abrasión del agregado grueso natural**

<b>TAMAÑO DE TAMICES NTP (ABERTURAS CUADRADADAS)</b>				<b>A</b>
<b>PASA</b>		<b>RETENIDO EN</b>		
<b>N°</b>	<b>(mm)</b>	<b>N°</b>	<b>(mm)</b>	
1 1/2	37.5	1	25.4	1266.20
1	25.4	3/4	19	1259.70
3/4	19	1/2	12.7	1253.80
1/2	12.7	3/8	9.51	1245.70
Total de muestra Inicial (g)				5025.40
Total de muestra Final (g)				3678.50
<b>Porcentaje de Desgaste (%)</b>				<b>26.80</b>

**6.3 DISEÑO DE MEZCLAS DE F'C=210 Kg/cm<sup>2</sup> CON AGREGADOS NATURALES.**

(MÉTODO DEL MÓDULO DE FINURA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS)

**Tabla 6.3.1 DATOS DE DISEÑO 1.**

Propiedades de los agregados.	Agregados.	
	Fino	Grueso
Peso específico de masa(g/cm <sup>3</sup> )	2.60	2.57
Peso unitario suelto(g/cm <sup>3</sup> )	1.675	1.464
Peso unitario compactado seco(g/cm <sup>3</sup> )	1.829	1.603
Contenido de humedad (%)	3.555	1.088
Absorción (%)	1.24	1.33
Desgaste a la abrasión (%)	.....	26.802
Módulo de finura	3.37	7.78
Tamaño máximo nomina (pulg)	.....	1
<b>Propiedades de Cemento</b>		
Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )		2.99
<b>Requerimientos del Concreto</b>		
Resistencia a la compresion a los 28 dias - F'c (Kg/cm <sup>2</sup> )		210.00
Slump o Revenimiento (pulg)		4.00

**6.3.1. Resistencia promedio F'cr.**

Tabla 6.3.2 Según ACI 318:

F'c(MPa)	F'cr(Mpa)
$f_c < 20$	$f_c + 7.0$
$20 \leq f_c \leq 35$	$f_c + 8.5$
$f_c > 35$	$1.1f_c + 5$

$$\rightarrow F'_{cr} = F'_c + 7.0$$

$$F'_{cr} = 210 \text{ kg/cm}^2 + 7 \text{ MPa}$$

$$F'_{cr} = 280 \text{ Kg/cm}^2$$

### **6.3.2. Tamaño Máximo nominal.**

$$\text{TMN} = 1 \text{ pulg}$$

### **6.3.3. Asentamiento o Slump.**

$$\text{Slump} = 4 \text{ pulg}$$

### **6.3.4. Contenido de agua de mezclado.**

Concreto sin aire incorporado.

Agua de Mezclado: 195.00 L

Aire atrapado: 1.50%

### **6.3.5. Relación agua cemento.**

#### **3.2.4.5.1 Por resistencia**

$$A/C = 0.58$$

#### **3.2.4.5.2. Por durabilidad.**

$$A/C = 0.50$$

### **6.3.6. Factor cemento.**

Cemento = 336.21 Kg/m<sup>3</sup>

Cemento = 7.91 Bolsas/m<sup>3</sup>

### 6.3.7. Módulo de finura de la combinación de agregados (mc).

$$mc = 5.34$$

Luego:

$$r_f = \frac{m_g - mc}{m_g - m_f}$$

$$m_g = 7.78 \quad \text{y} \quad m_f = 3.37$$

$$\rightarrow r_f = 0.5525$$

También:

$$r_f = \frac{\text{Volumen absoluto de agregado fino}}{\text{Volumen absoluto de agregados.}}$$

### 6.3.8. Volumen absoluto de materiales.

Volumen absoluto cemento:	0.1124438 m3
Volumen absoluto agua:	0.1950000 m3
Volumen absoluto aire:	0.0150000 m3
Volumen absoluto de agregados:	0.6775562 m3

### 6.3.9. Volumen absoluto de Agregado Fino y Grueso.

Volumen absoluto de Agregado Fino:	0.3743658 m3
Volumen absoluto de Agregado Grueso:	0.3031905 m3

**6.3.10. Peso de los materiales secos.**

Cemento:	336.21 Kg/m <sup>3</sup>
Agua de mezcla:	195.00 L/m <sup>3</sup>
Agregado fino:	971.90 Kg/m <sup>3</sup>
Agregado Grueso:	778.85 Kg/m <sup>3</sup>

**6.3.11. Corrección por humedad de los materiales por m<sup>3</sup> de concreto.**

Cemento:	336 Kg/m <sup>3</sup>
Agregado fino:	1006 Kg/m <sup>3</sup>
Agregado Grueso:	789Kg/m <sup>3</sup>
Agua efectiva:	174 L/m <sup>3</sup>

**6.3.12. Proporciones en peso en obra.**

<b>1 : 3 : 2.3 / 0.52L/Kg</b>
-------------------------------

**6.4.13. COLADA PARA 3 ESPECÍMENES ESTÁNDAR EN OBRA PARA PRIMERA PRUEBA.**

Número de especímenes estándar:	3
Volumen de colada:	0.02 m <sup>3</sup>

<b>Tabla 6.3.3 MATERIALES PARA PRIMERA PRUEBA 1</b>	
Cemento:	6.7 Kg
Agregado fino:	20.1 Kg
Agregado Grueso:	15.8 Kg
Agua efectiva:	3.5 L
Peso total de colada:	46.1 Kg

#### 6.4.14. AJUSTE DE MEZCLA DE PRUEBA.

<b>Tabla 6.3.4 DATOS DE LABORATORIO DE PRIMERA PRUEBA 1</b>	
Slump	10.50cm
Peso unitario del concreto fresco	2246 Kg/m <sup>3</sup>
Agua adicional	190.00cm <sup>3</sup>
Apariencia	buena
Resistencia a la compresión los 7 días	242 Kg/cm <sup>2</sup>

##### 6.3.14.1. Rendimiento de la mezcla.

$$\text{Rendimiento} = \frac{46.3 \text{ Kg}}{2246 \text{ Kg/m}^3}$$

$$\text{Rendimiento} = 0.020020 \text{ m}^3$$

##### 6.3.14.2. Agua de mezcla por tanda.

>> Agua de mezcla por tanda: 4.090 L

>> Agua de mezcla por m<sup>3</sup> con el mismo asentamiento de la tanda de ensayo: 204.29 L/m<sup>3</sup>

>> Corrección por asentamiento:

Variación del asentamiento: -0.34 cm  
Agua adicional : -0.68 L/m<sup>3</sup>  
→ Nueva agua de mezcla: **203.61 L/m<sup>3</sup>**

##### 6.3.14.3. Nuevo contenido de cemento.

→ Nuevo cemento: 351.06 Kg/m<sup>3</sup>

#### **6.3.14.4. Volumen absoluto en ensayo original sin considerar aire.**

Volumen absoluto cemento:	0.0022489 m <sup>3</sup>
Volumen absoluto agua:	0.0040900 m <sup>3</sup>
Volumen absoluto de agregado fino:	0.0074873 m <sup>3</sup>
Volumen absoluto de agregado grueso:	0.0060638 m <sup>3</sup>
→ Aire:	1.0%

#### **6.3.14.5. Volumen absoluto de materiales (ajustados)**

Volumen absoluto cemento:	0.1174100 m <sup>3</sup>
Volumen absoluto agua:	0.2036124 m <sup>3</sup>
Volumen absoluto de aire:	0.0010000 m <sup>3</sup>
Volumen absoluto de agregado fino:	0.3745986 m <sup>3</sup>
Volumen absoluto de agregado grueso:	0.3033790 m <sup>3</sup>

#### **6.3.14.6. Peso de los materiales secos (ajustados).**

Cemento:	351.06 Kg/m <sup>3</sup>
Agua de mezcla:	203.61 L/m <sup>3</sup>
Agregado fino:	972.50 Kg/m <sup>3</sup>
Agregado Grueso:	779.34 Kg/m <sup>3</sup>

### 6.3.14.7. Corrección por humedad de los materiales por m3 de concreto (ajustados).

Cemento:	351 Kg/m3
Agregado fino:	1007 Kg/m3
Agregado Grueso:	788Kg/m3
Agua efectiva:	183 L/m3

### 6.3.14.8. Proporciones en peso en obra (ajustados).

1 : 2.9 : 2.2 / 0.52L/Kg
--------------------------

### 6.3.14.9. CORRECCIÓN POR RESISTENCIA (POWERS)

#### datos

Resistencia en laboratorio:	320.00 Kg/cm2
Resistencia de diseño:	280.00 Kg/cm2
a/c de diseño :	0.58

Empleando el desarrollo matemático de Power tenemos:

$$\text{Para } f'c=320, \quad a/c=0.58 \quad \text{y} \quad 320=2380 x^3$$

$$x= 0.51230$$

$$\alpha= 61.45\%$$

$$\text{Para } f'c=280, \quad \alpha=0.61 \quad \text{y} \quad 280=2380 x^3$$

$$x= 0.490$$

$$a/c= 0.62$$

Luego con  $a/c=0.62$ , manteniendo la cantidad de agua ajustada de  $203.61 \text{ L/m}^3$  y el mismo  $rf=0.5525$  realizamos los siguientes cálculos para obtener la dosificación final.

#### **6.3.14.9.1. Volumen absoluto de materiales (Final).**

Volumen absoluto cemento:	0.1098339 m3
Volumen absoluto agua:	0.2036100 m3
Volumen absoluto aire:	0.0100000 m3
Volumen absoluto de agregados:	0.6765561 m3

#### **6.3. 14.9.2 Volumen absoluto de Agregado Fino y Grueso (Final).**

Volumen absoluto de Agregado Fino:	0.3738132 m3
Volumen absoluto de Agregado Grueso:	0.3027429 m3

#### **6.3. 14.9.3 Peso de los materiales secos (Final).**

Cemento:	328.40 Kg/m3
Agua de mezcla:	203.61 L/m3
Agregado fino:	970.46 Kg/m3
Agregado Grueso:	777.70 Kg/m3

#### **6.3. 14.9.4. Corrección por humedad de los materiales por m3 de concreto (Final).**

Cemento:	328 Kg/m3
Agregado fino:	1005 Kg/m3
Agregado Grueso:	788 Kg/m3
Agua efectiva:	183 L/m3

**6.3. 14.9.5. Proporciones en peso en obra (Final).**

**1 : 3.1 : 2.4 / 0.56L/Kg**

**6.3. 14.9.6. Colada para 20 especímenes estándar en obra (Final).**

Número de especímenes estándar: 20  
Volumen de colada: 0.11 m<sup>3</sup>

<b>Tabla 6.3.5 MATERIALES PARA PRUEBA 1(FINAL)</b>	
Cemento:	36.1 Kg
Agregado fino:	110.5 Kg
Agregado Grueso:	86.7 Kg
Agua efectiva:	20.1 L
Peso total de colada:	253.5 Kg

## 6.4 DISEÑO DE MEZCLAS DE $F'C=210 \text{ Kg/cm}^2$ CON AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO

(MÉTODO DEL MÓDULO DE FINURA DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS)

**Tabla 6.4.1 DATOS DE DISEÑO 2.**

Propiedades de los agregados.	Agregados.	
	Fino	Grueso
Peso específico de masa(g/cm <sup>3</sup> )	2.188	2.250
Peso unitario suelto(g/cm <sup>3</sup> )	1.333	1.215
Peso unitario compactado seco(g/cm <sup>3</sup> )	1.474	1.399
Contenido de humedad (%)	10.563	4.135
Absorción (%)	8.319	6.472
Desgaste a la abrasión (%)	.....	40.568
Módulo de finura	3.364	7.681
Tamaño máximo nomina (pulg)	.....	1
<b>Propiedades de Cemento</b>		
Peso específico (g/cm <sup>3</sup> )	2.99	
<b>Requerimientos del Concreto</b>		
Resistencia a la compresión a los 28 días - F'c (Kg/cm <sup>2</sup> )	210.000	
Slump o Revenimiento (pulg)	4.000	

### 6.4.1. Resistencia promedio F'cr.

**Tabla 6.4.2 Según ACI 318:**

F'c(MPa)	F'cr(Mpa)
$f_c < 20$	$f_c + 7.0$
$20 \leq f_c \leq 35$	$f_c + 8.5$
$f_c > 35$	$1.1f_c + 5$

$$\rightarrow F'_{cr} = F'_c + 7.0$$

$$F'_{cr} = 210 \text{ Kg/cm}^2 + 7.0 \text{ MPa}$$

$$F'_{cr} = 280 \text{ Kg/cm}^2$$

#### **6.4.2. Tamaño Máximo nominal.**

$$\text{TMN} = 1 \text{ pulg}$$

#### **6.4.3. Asentamiento o Slump.**

$$\text{Slump} = 4 \text{ pulg}$$

#### **6.4.4. Contenido de agua de mezclado.**

Concreto sin aire incorporado.

Agua de Mezclado: 195.00 L

Aire atrapado: 1.50%

#### **6.4.5. Relación agua cemento.**

3.2.3.5.1 Por resistencia

$$A/C = 0.58$$

3.2.3.5.2. Por durabilidad.

$$A/C = 0.50$$

#### 6.4.6. Factor cemento.

Cemento = 336.21 Kg/m<sup>3</sup>

Cemento = 7.91 Bolsas/m<sup>3</sup>

#### 6.4.7. Módulo de finura de la combinación de agregados (mc).

mc = 5.34

Luego:

$$rf = \frac{mg - mc}{mg - mf}$$

mg= 7.68 y mf= 3.36

→ rf= 0.5423

También:

$$rf = \frac{\text{Volumen absoluto de agregado fino}}{\text{Volumen absoluto de agregados.}}$$

#### 6.4.8. Volumen absoluto de materiales.

Volumen absoluto cemento: 0.1124438 m<sup>3</sup>

Volumen absoluto agua: 0.1950000 m<sup>3</sup>

Volumen absoluto aire: 0.0150000 m<sup>3</sup>

Volumen absoluto de agregados: 0.6775562 m<sup>3</sup>

#### 6.4.9. Volumen absoluto de Agregado Fino y Grueso.

Volumen absoluto de Agregado Fino: 0.3674653m<sup>3</sup>

Volumen absoluto de Agregado Grueso: 0.3100910 m<sup>3</sup>

#### **6.4.10. Peso de los materiales secos.**

Cemento:	336.21 Kg/m <sup>3</sup>
Agua de mezcla:	195.00 L/m <sup>3</sup>
Agregado fino:	804.02 Kg/m <sup>3</sup>
Agregado Grueso:	697.58 Kg/m <sup>3</sup>

#### **6.4.11. Corrección por humedad de los materiales por m<sup>3</sup> de concreto.**

Cemento:	336 Kg/m <sup>3</sup>
Agregado fino:	889 Kg/m <sup>3</sup>
Agregado Grueso:	743 Kg/m <sup>3</sup>
Agua efectiva:	193 L/m <sup>3</sup>

#### **6.4.12. Proporciones en peso en obra.**

**1: 2.6: 2.2 / 0.57L/Kg**

**6.4.13. COLADA PARA 3 ESPECÍMENES ESTÁNDAR EN OBRA PARA PRIMERA PRUEBA.**

Número de especímenes estándar: 3  
 Volumen de colada: 0.02 m3

<b>Tabla 6.4.3 MATERIALES PARA PRIMERA PRUEBA 2</b>	
Cemento:	6.7 Kg
Agregado fino:	17.8 Kg
Agregado Grueso:	14.9 Kg
Agua efectiva:	3.9 L
Peso total de colada:	43.2 Kg

**6.4.14. AJUSTE DE MEZCLA DE PRUEBA.**

<b>Tabla 6.4.4 DATOS DE LABORATORIO DE PRIMERA PRUEBA 2</b>	
Slump	4.20cm
Peso unitario del concreto fresco	2157 Kg/m3
Agua adicional	210.00cm3
Apariencia	buena
Resistencia a la compresión los 7 días	207 Kg/cm2

**6.4.14.1. Rendimiento de la mezcla.**

$$\text{Rendimiento} = \frac{43.4 \text{ Kg}}{2157 \text{ Kg/m}^3}$$

$$\text{Rendimiento} = 0.020037 \text{ m}^3$$

#### **6.4.14.2. Agua de mezcla por tanda.**

>> Agua de mezcla por tanda:	4.11 L
>> Agua de mezcla por m <sup>3</sup> con el mismo asentamiento de la tanda de ensayo:	205.12 L/m <sup>3</sup>
>> Corrección por asentamiento:	
Variación del asentamiento:	5.96 cm
Agua adicional :	11.92 L/m <sup>3</sup>
→ Nueva agua de mezcla:	<b>217.04L/m<sup>3</sup></b>

#### **6.4.14.3. Nuevo contenido de cemento.**

→ Nuevo cemento:	374.20 Kg/m <sup>3</sup>
------------------	--------------------------

#### **6.4.14.4. Volumen absoluto en ensayo original sin considerar aire.**

Volumen absoluto cemento:	0.0022489 m <sup>3</sup>
Volumen absoluto agua:	0.0041100 m <sup>3</sup>
Volumen absoluto de agregado fino:	0.0073493 m <sup>3</sup>
Volumen absoluto de agregado grueso:	0.0062018 m <sup>3</sup>
→ Aire:	1.0%

#### **6.4.14.5. Volumen absoluto de materiales (ajustados)**

Volumen absoluto cemento:	0.1251508 m <sup>3</sup>
Volumen absoluto agua:	0.2170366 m <sup>3</sup>
Volumen absoluto de aire:	0.0010000 m <sup>3</sup>
Volumen absoluto de agregado fino:	0.3562152 m <sup>3</sup>
Volumen absoluto de agregado grueso:	0.3000597 m <sup>3</sup>

#### **6.4.14.6. Peso de los materiales secos (ajustados).**

Cemento:	374.20 Kg/m <sup>3</sup>
Agua de mezcla:	217.04 L/m <sup>3</sup>
Agregado fino:	779.41 Kg/m <sup>3</sup>
Agregado Grueso:	676.22 Kg/m <sup>3</sup>

**6.4.14.7. Corrección por humedad de los materiales por m<sup>3</sup> de concreto (ajustados).**

Cemento:	374Kg/m <sup>3</sup>
Agregado fino:	862 Kg/m <sup>3</sup>
Agregado Grueso:	704 Kg/m <sup>3</sup>
Agua efectiva:	215 L/m <sup>3</sup>

**6.4.14.8. Proporciones en peso en obra (ajustados).**

1 : 2.3 : 1.9 / 0.58L/Kg
--------------------------

**6.4.14.9. CORRECCIÓN POR RESISTENCIA (POWERS)**

Empleando la misma relación agua – cemento  $a/c=0.62$  obtenido del desarrollo matemático de Power del ajuste de la mezcla de concreto con agregados naturales tenemos, manteniendo la cantidad de agua ajustada de **203.61 L/m<sup>3</sup>** del concreto con agregados naturales y el mismo  $rf=0.5423$  realizamos los siguientes cálculos para obtener la dosificación final del concreto con agregados reciclados, para así obtener la variación de la resistencia entre ambos concretos.

#### **6.4.14.9.1. Volumen absoluto de materiales (Final).**

Volumen absoluto cemento:	0.1098339 m3
Volumen absoluto agua:	0.2036100 m3
Volumen absoluto aire:	0.0100000 m3
Volumen absoluto de agregados:	0.67565561 m3

#### **6.4. 14.9.2 Volumen absoluto de Agregado Fino y Grueso (Final).**

Volumen absoluto de Agregado Fino:	0.3669229 m3
Volumen absoluto de Agregado Grueso:	0.03096333 m3

#### **6.4. 14.9.3 Peso de los materiales secos (Final).**

Cemento:	328.40Kg/m3
Agua de mezcla:	203.61 L/m3
Agregado fino:	802.84 Kg/m3
Agregado Grueso:	696.55 Kg/m3

#### **6.4. 14.9.4. Corrección por humedad de los materiales por m3 de concreto (Final).**

Cemento:	328 Kg/m3
Agregado fino:	888Kg/m3
Agregado Grueso:	742 Kg/m3
Agua efectiva:	202 L/m3

**6.4. 14.9.5. Proporciones en peso en obra (Final).**

**1 : 2.7 : 2.3 / 0.61L/Kg**

**6.4. 14.9.6. Colada para 35 especímenes estándar en obra (Final).**

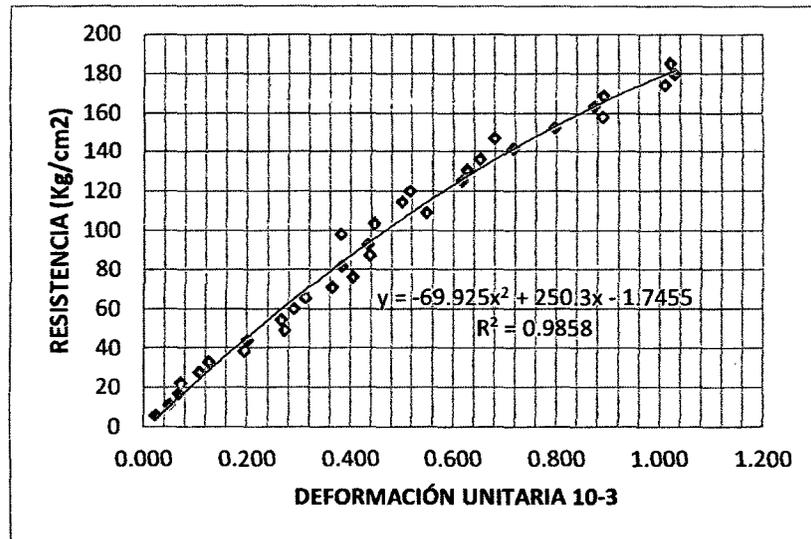
Número de especímenes estándar: 35  
Volumen de colada: 0.119m3

<b>Tabla 6.4.5 MATERIALES PARA PRUEBA 2 (FINAL)</b>	
Cemento:	62.4 Kg
Agregado fino:	168.7 Kg
Agregado Grueso:	140.9 Kg
Agua efectiva:	38.4 L
Peso total de colada:	410.3 Kg

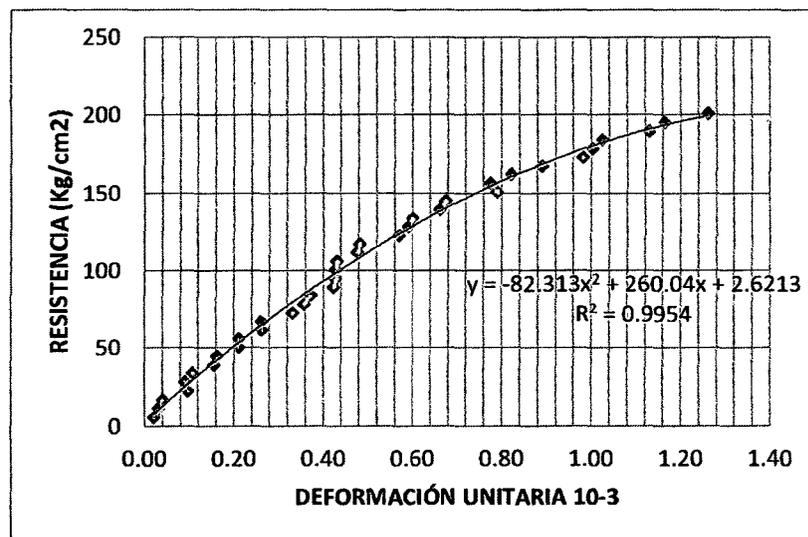
## 6.5 GRÁFICAS

### 6.5.1 ENSAYOS DE CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.

#### RESISTENCIA AL COMPRESIÓN PROMEDIO A LOS 7 DÍAS.

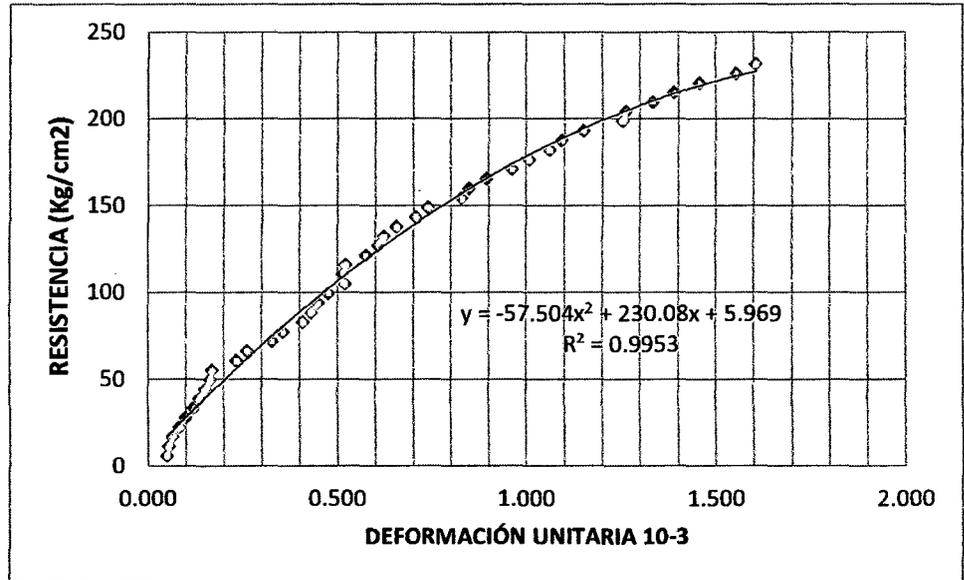


**Ilustración 6.5.1 Deformación unitaria vs Resistencia a la compresión (C°- Agregados de concreto reciclado).**

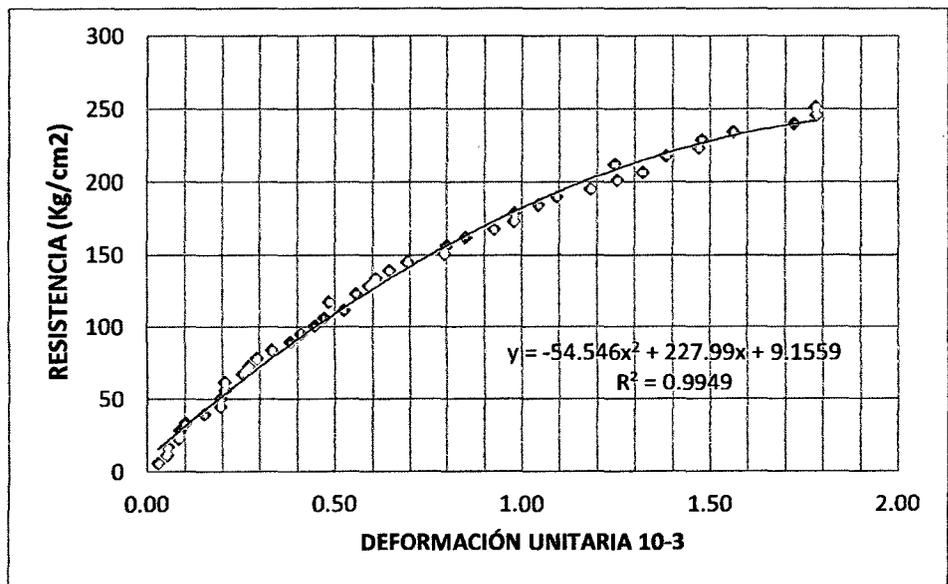


**Ilustración 6.5.2 Deformación unitaria vs Resistencia a la compresión (C°- Agregados Naturales).**

**RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN PROMEDIO A LOS 14 DÍAS.**

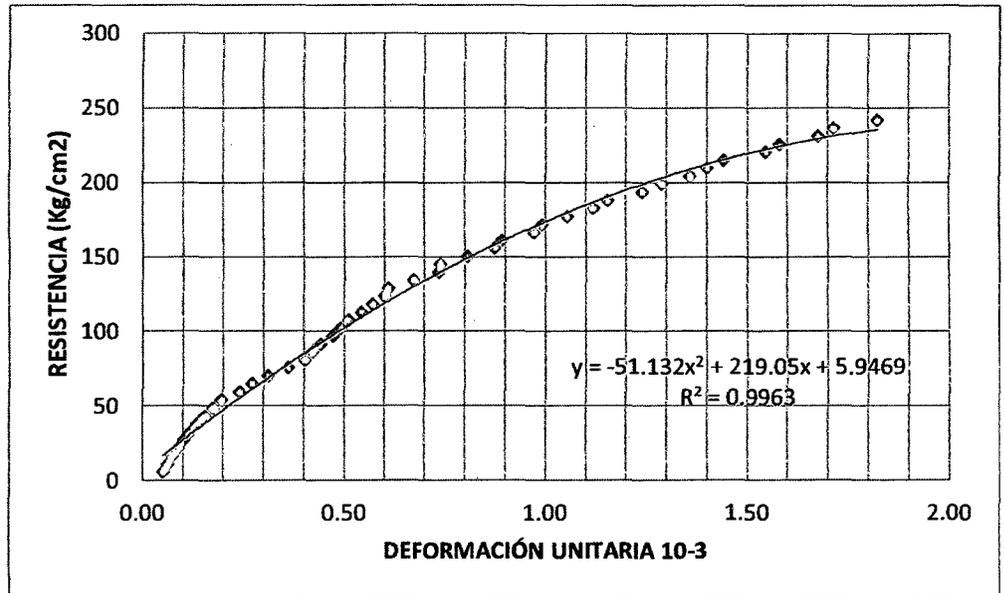


**Ilustración 6.5.3 Deformación unitaria vs Resistencia a la compresión (C°- Agregados de concreto reciclado).**

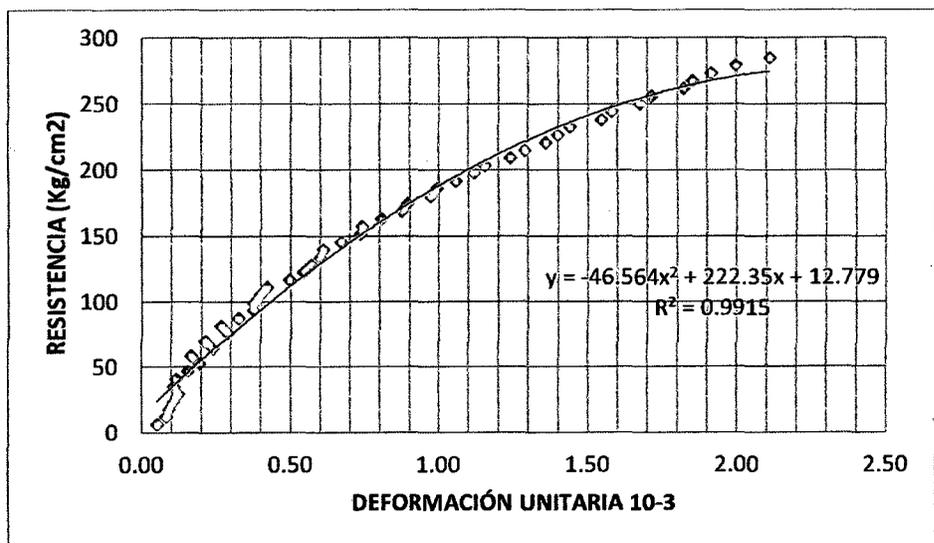


**Ilustración 6.5.4 Deformación unitaria vs Resistencia a la compresión (C°- Agregados Naturales).**

## RESISTENCIA AL COMPRESIÓN PROMEDIO A LOS 28 DÍAS.



**Ilustración 6.5.5 Deformación unitaria vs Resistencia a la compresión (C°- Agregados de concreto reciclado).**



**Ilustración 6.5.6 Deformación unitaria vs Resistencia a la compresión (C°- Agregados Naturales).**

## 6.6 PANEL FOTOGRÁFICO.

### 7.1.1. Obtención de agregados.



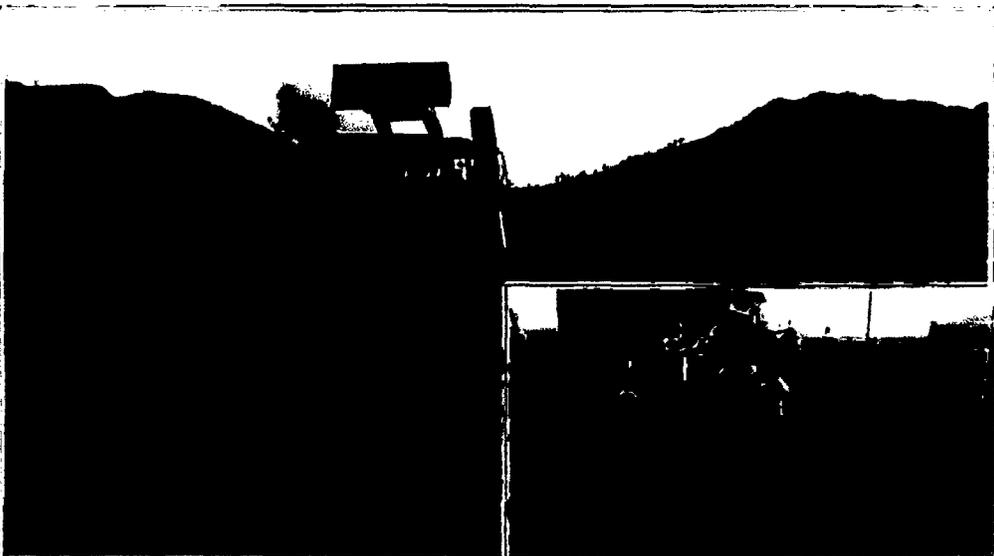
**FOTO 7.1:** recolección del concreto reciclado de pavimento rígido, arrojado como desmonte, ubicado a 15 min de la ciudad



**FOTO 7.2:** Carguío del concreto reciclado al volquete de 4 m<sup>3</sup>, para ser llevado a la chancadora.



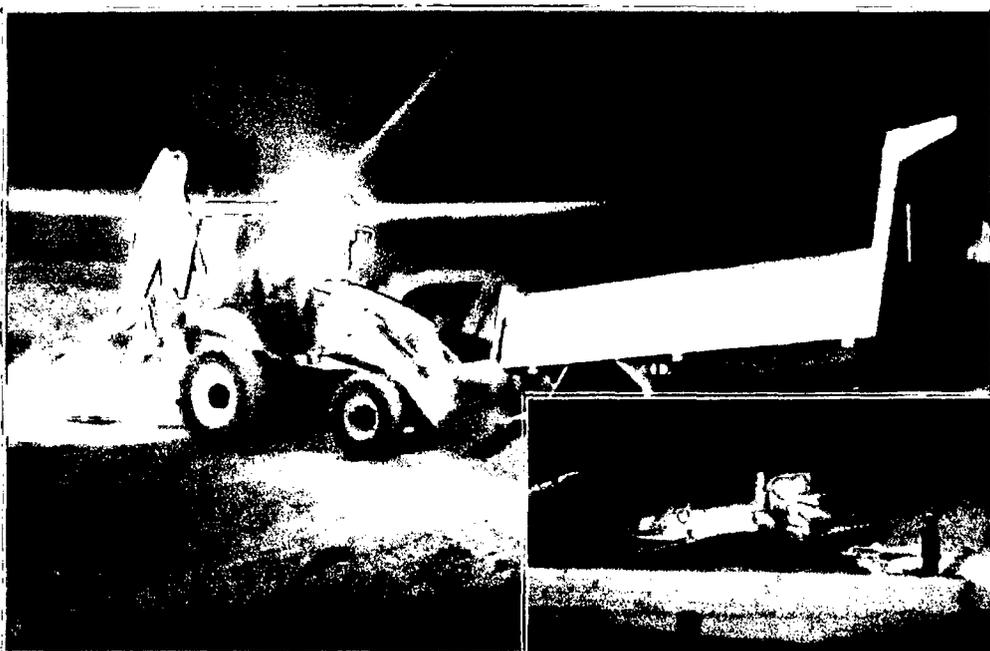
**FOTO 7.3:** Llegada de concreto reciclado a la cantera Acosta



**FOTO 7.4:** carguío de concreto reciclado a la chancadora de quijada (primaria )



**FOTO 7.5:** obtención de concreto triturado por la chancadora primaria, para luego ser llevada a la chancadora de cono (secundaria)



**FOTO 7.6:** carguío de concreto reciclado triturado a la chancadora de cono (secundaria), para ser chancada por segunda vez y posteriormente seleccionando mediante los tamices estándar según requerimiento para el diseño.

### 7.1.2. Ensayos de laboratorio.



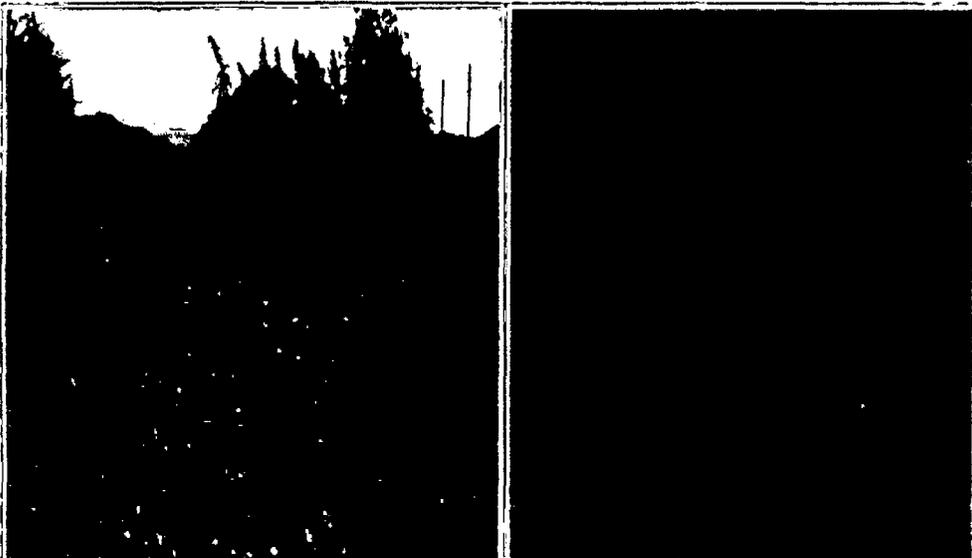
**FOTO 7.7:** obtención del agregado de concreto reciclado, ya seleccionado por la chancadora de cono (secundaria)



**FOTO 7.8** Agregado grueso de concreto reciclado de tamaño máximo nominal de 1pulgada



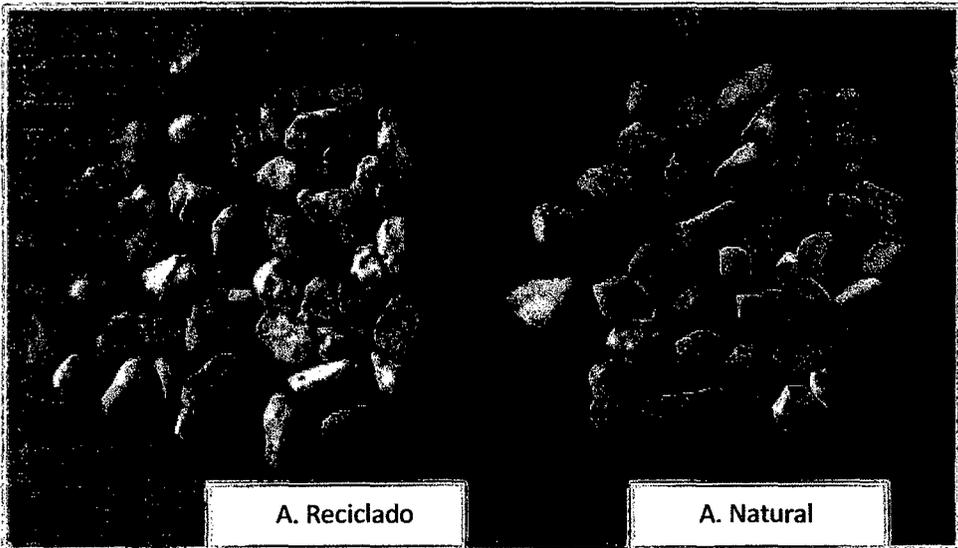
**FOTO 7.9** Agregado fino de concreto reciclado



**FOTO 7.10** Agregado grueso y fino chancada de origen aluvial del rio chonta, procesada en la cantera Acosta

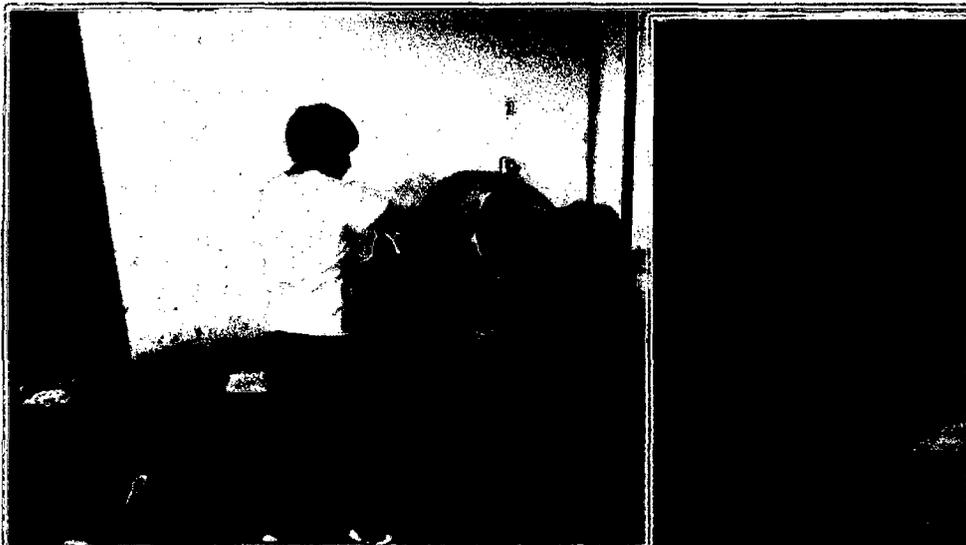


**FOTO 7.11** Traslado de los agregados desde la cantera Acosta hacia el laboratorio de ensayo de materiales de la E.A.P.I.C - UNC.



**FOTO 7.12** comparación entre agregado grueso reciclado y el natural respectivamente.

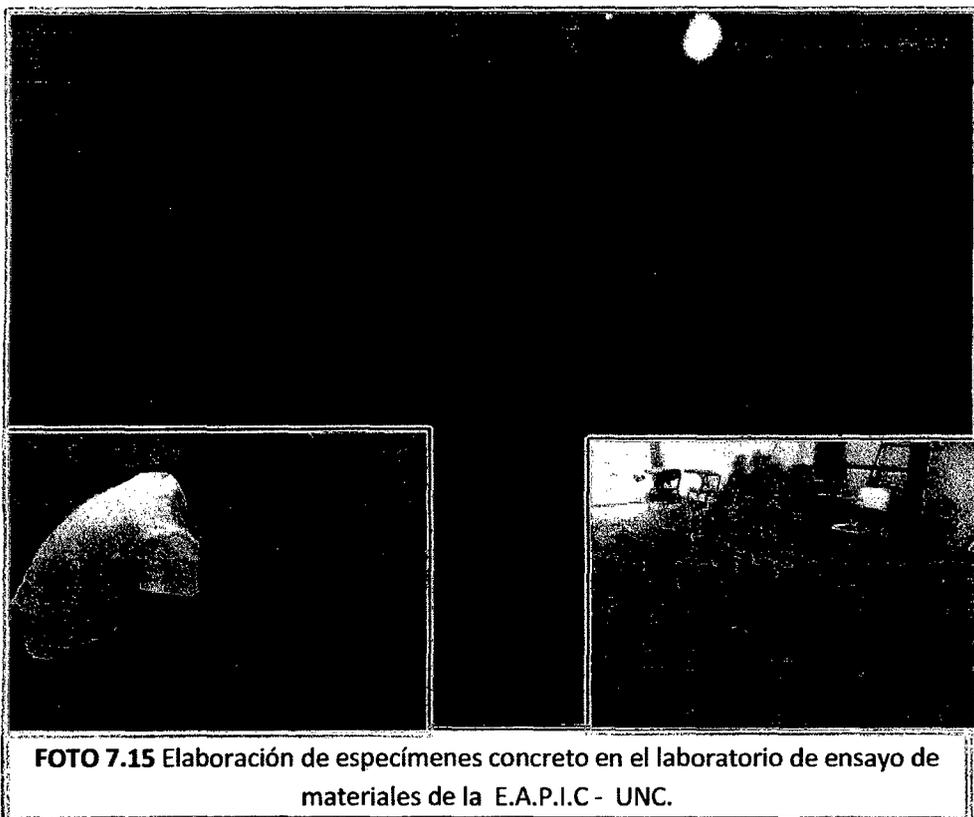
### 7.1.2. Ensayos de laboratorio



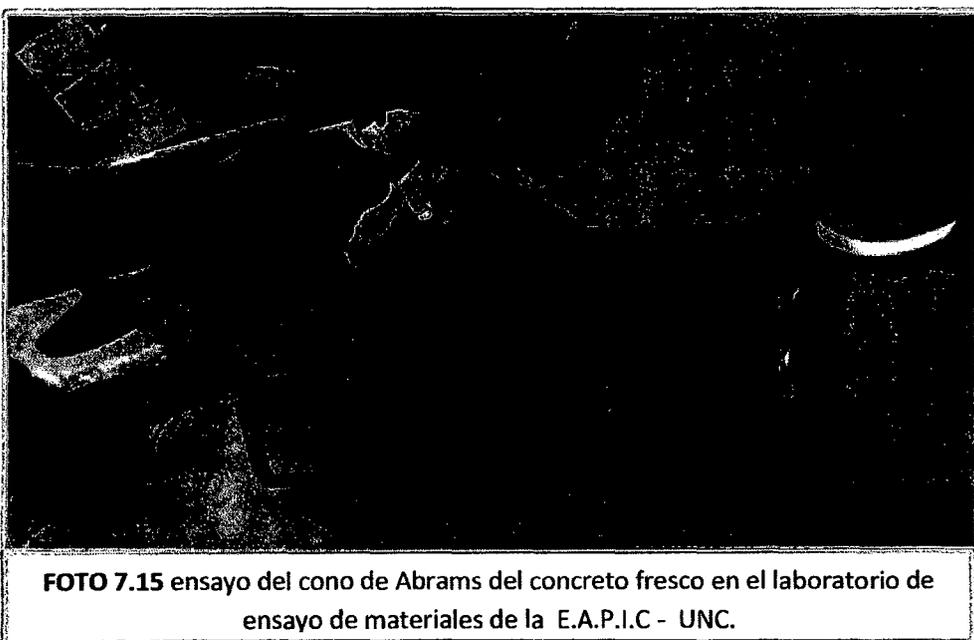
**FOTO 7.15** Realizando la mezcla del concreto en el laboratorio de ensayo de materiales de la E.A.P.I.C - UNC.



**FOTO 7.15** varillado del concreto para obtener un mejor acomodo de las componentes del concreto en el molde.



**FOTO 7.15** Elaboración de especímenes concreto en el laboratorio de ensayo de materiales de la E.A.P.I.C - UNC.



**FOTO 7.15** ensayo del cono de Abrams del concreto fresco en el laboratorio de ensayo de materiales de la E.A.P.I.C - UNC.



**FOTO 7.16** desmoldado o desencofrado de especímenes concreto en el laboratorio de ensayo de materiales de la E.A.P.I.C - UNC.



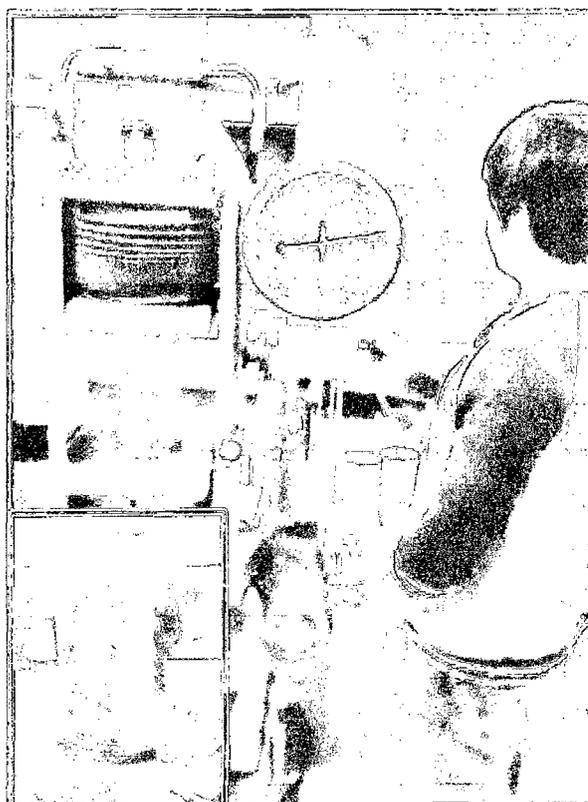
**FOTO 7.16** curado de especímenes en la posa del laboratorio de ensayo de materiales de la E.A.P.I.C - UNC.



**FOTO 7.16** Ensayo para obtener la deformación unitaria del concreto en el laboratorio de ensayo de materiales de la E.A.P.I.C - UNC.



**FOTO 7.16** Ensayo de resistencias a la compresión de especímenes concreto con agregados de concreto reciclado a los 7 días de edad.



**FOTO 7.16** Ensayo de resistencias a la compresión de especímenes concreto con agregados naturales a los 7 días de edad



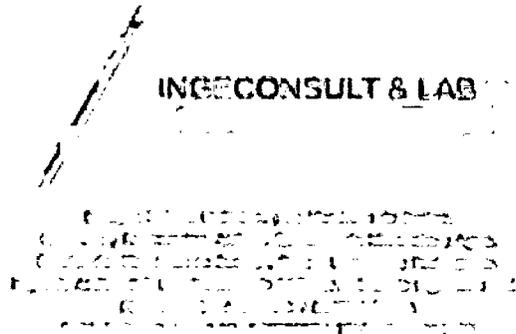
**FOTO 7.16** Ensayo de resistencias a la compresión de especímenes concreto con agregados reciclados a los 28 días de edad



**FOTO 7.16** Ensayo de resistencias a la compresión de especímenes concreto con agregados naturales a los 28 días de edad

## 6.7 ANÁLISIS QUÍMICO DE AGREGADOS.

### 6.3.1. Análisis De Ph, Sulfatos Y Cloruros Del Agregado Grueso Natural.



#### ANÁLISIS DE PH, SULFATOS Y CLORUROS DE UNA MUESTRA DE AGREGADO (NTP 339.176, AASITO T290)

TESISISTA : AYMENDO SANGAY, ARMANDO REYES  
 TESIS : EFECTO DE LOS AGREGADOS DE CONTROL RELACIONADO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO (E 21) RQ/10/14  
 ESCUELA : INGENIERIA CIVIL  
 MUESTRA : N° 2  
 FECHA : 16/10/2014

#### RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO

MUESTRA	pH	SULFATOS (SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup>	CLORUROS (Cl <sup>-</sup> )	TEMPERATURA
		ppm	ppm	°C
AGREGADO	9.57	7295	1251	20.0

NOTA: la muestra fue el azulejo por el laboratorio, a este laboratorio para su análisis respectivo.

6.3.2. Análisis De Ph, Sulfatos Y Cloruros Del Agregado Grueso Reciclado



**INGECONSULT & LAB S.A.S.**

Industria, Minería, Cementos y de Materiales de Construcción  
 Laboratorio y Proveedores: Análisis Químicos de Minería y Agua  
 Estudios de Manejo de Suelos y Rocas, Cementos y Materiales  
 Suelos y Rocas, Construcción de Edificios, Obras de Ingeniería Civil  
 PROYECTOS - ANÁLISIS Y CONTROL FORMA  
 OFICINA: BOGOTÁ, COLOMBIA TELÉFONO: 3047211

**ANÁLISIS DE pH, SULFATOS Y CLORUROS DE UNA MUESTRA DE AGREGADO (NTP 339.176, AASITO T290)**

TESISTA : ASENCCI SANGAY, ARMANDO REGILLO  
 TESIS : "EFECTO DE LOS AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO (C<sub>c</sub> > 210 Kg/cm<sup>2</sup>)"  
 ESCUELA : INGENIERIA CIVIL  
 MUESTRA : M-1  
 FECHA : 14/10/2014

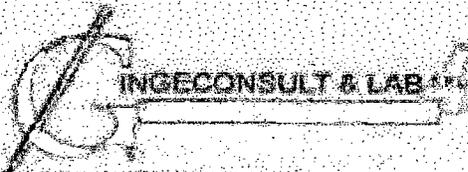
**RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO**

MUESTRA	pH	SULFATOS (SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup> ppm	CLORUROS Cl <sup>-</sup> ppm	TEMPERATURA °C
AGREGADO	9.54	7830	1440	20.1

NOTA: La muestra fue alcanzada por el interesado, a este laboratorio para su análisis respectivo.

*U. Esquivel*  
 Ing. Mónica Estrella  
 Lic. Química  
 C.C. CP 2768

**6.3.3. Análisis de impurezas orgánicas totales de Agregado grueso Reciclado**



INGECONSULT & LAB.  
 Ingeniería Civil, Construcción y Perfeccionamiento de Obras,  
 Construcción y Perfeccionamiento, Análisis Químico de Sólidos y Líquidos,  
 Análisis de Materiales de Construcción y Obras, Construcción y Perfeccionamiento,  
 Ingeniería de Obras, Construcción de Edificios, Obras de Infraestructura Civil,  
 Perfeccionamiento y Reparación y Mantenimiento,  
 Obras de Infraestructura, Construcción y Perfeccionamiento.

**ANÁLISIS DE IMPUREZAS ORGÁNICAS TOTALES DE UNA MUESTRA DE AGREGADO GRUESO**

**NORMA MYC E 213**

TESISTA	:	ASENCIO SANGAY, ARMANDO REGULO
TESIS	:	EFFECTO DE LOS AGREGADOS DE CONCRETO REICLADO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESION DEL CONCRETO Fc=210 Kg/cm <sup>2</sup>
ESCUELA	:	INGENIERIA CIVIL
MUESTRA	:	M-1
FECHA	:	14/10/2011

**MÉTODO COLORIMÉTRICO (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)**

1. Muestra de Ensayo : 100 gr. De muestra
2. Color estándar de referencia : Decimante de potasio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) en presencia de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)
3. Resultado : El color del líquido de la muestra del ensayo es menos oscuro que el color estándar de referencia por lo tanto no hay presencia de materia orgánica en la muestra de estudio.

**NOTA:** La muestra fue alcanzada por el interesado, a este laboratorio para su análisis respectivo

**CONCLUSIÓN:** De acuerdo a los resultados obtenidos, la muestra de ensayo no supera el color estándar de referencia, por lo tanto, no hay presencia de materia orgánica en la muestra de estudio

*[Handwritten Signature]*  
 Ing. Armand Regulo  
 Director General  
 Ing. Civil  
 10.02.2011

**6.3.4. Análisis de impurezas orgánicas totales de Agregado grueso Natural**



**INGECONSULT & LAB S.A.S.**

INGECONSULT & LAB S.A.S. es una empresa dedicada a la prestación de servicios de consultoría e ingeniería en el campo de la construcción, con especialización en el área de control de calidad y gestión de proyectos.

**ANÁLISIS DE IMPUREZAS ORGÁNICAS TOTALES DE UNA MUESTRA DE AGREGADO FINO**

**NORMA NTC 5213**

<b>TESISTA</b>	:	ASCENCIO SANGAY ARMANDO REGILLO
<b>TESIS</b>	:	"EFECTO DE LOS AGREGADOS DE CONCRETO REICLADOS EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CONCRETO C <sub>25</sub> F <sub>4</sub> (15%)"
<b>ESCUELA</b>	:	INGENIERÍA CIVIL
<b>MUESTRA</b>	:	M-2
<b>FECHA</b>	:	14/10/2014

**MÉTODO COLORIMÉTRICO (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>)**

- Muestra de Ensayo** : 100 gr. de muestra
- Color estándar de referencia** : Decimatos de potasio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) en presencia de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)
- Resultado** : El color de la muestra de la muestra de ensayo es menor que el color estándar de referencia, por lo tanto no hay presencia de materia orgánica en la muestra de ensayo.

**NOTA:** La muestra fue enviada por el interesado, a esta laboratorio para su análisis respectivo

**CONCLUSIÓN:** De acuerdo a los resultados obtenidos, la muestra de ensayo no supera el color estándar de referencia, por lo tanto no hay presencia de materia orgánica en la muestra de ensayo.

*(Handwritten signature and stamp)*

## **6.8 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL CEMENTO PORTLAND COMPUESTO TIPO ICO.**

## 6.9 CERTIFICADO DEL LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

### LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES.

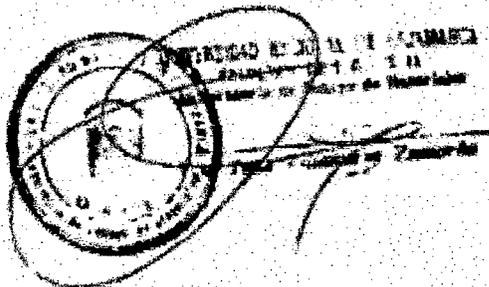
EL QUE SUSCRIBE JEFE DEL LABORATORIO DE ENSAYOS DE  
MATERIALES DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA DE LA UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CAJAMARCA.

## CERTIFICA

Que el bachiller en Ingeniería Civil: **ASENCIO SANGAY ARMANDO REGULO** con D.N.I.N° 45977372, ex alumno de la Facultad de Ingeniería, Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Cajamarca, ha registrado su asistencia en este laboratorio desde los periodos de agosto del 2014 – diciembre del 2014, desarrollando los ensayos correspondientes al capítulo de ensayo de materiales de la tesis profesional denominada: "EFECTO DE LOS AGREGADOS DE CONCRETO RECICLADO EN LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SOBRE EL CONCRETO DE  $F'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ ", cuyos resultados obran en este laboratorio.

Se expide el presente, a la solicitud del interesado para los fines que estime por conveniente.

Cajamarca diciembre del 2014



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

### ARTÍCULOS

- M. Suarez, C. Defagot, M. F. Carrasco, A. Marcipar, R. Miretti, H. Saus. 2006. Estudio de hormigones elaborados con residuos de ladrillerías y de demolición. *Ingeniería de la construcción* 20(12):220-234.
- I.E. Martínez-Soto y C.J. Mendoza -Escobedo. 2006. Comportamiento mecánico de concreto fabricado con agregados reciclados. *Ingeniería Investigación Y Tecnología* 7(3):151-164.

### TESIS

- *Mukesh Limbachiya (Kingston University, United Kingdom). Construction and Demolition Waste Recycling [or Reuse as Aggregate in Concrete Production. Kingston University. Day Group Open Day. 15 April 2003- Reino Unido)*
- *Jorge Arturo Cruz García Y Ramón Velázquez Yáñez. 2004. Concreto reciclado. Bachiller en Ingeniería Civil. Zacatenco, México D.F. I Instituto Politécnico Nacional. 15p*

### CONGRESOS Y CONFERENCIAS

- V Congreso Latinoamericano de Estudiantes de Ingeniería Civil. 2008. Loja – Ecuador. 2009. Miguel Ángel Montrone Pisculich, Abel Tupac Quispe Cotrina, Ing. Ana Torre Carrillo. Lima- Perú. Universidad Nacional de Ingeniería. 20p

### LIBROS

- Enrique Riva López. 1992. *Diseño de Mezclas*. Editorial HOZLO S.CR.L. Primera edición. Lima-Perú. Editorial HOZLO S.CR.L. 234p.
- Flavio Abanto Castillo, *Tecnología del Concreto*. Editorial San Marcos. Lima – Perú.
- American Concrete Institute – Capítulo Peruano. *Tecnología del Concreto*. 1998.
- ASOCEM. *Boletines Técnicos*. Lima – Perú.
- Neville, A.M. y Brooks, J.J. *Tecnología del Concreto*. Editorial Trillas. México D.F. 1998.

- Rivva López, Enrique. Diseño de Mezclas. Lima – Perú. 1996.
- Sandoval Ocaña, Guillermo. Apuntes de Clase del Curso de Tecnología del Concreto. Universidad de Piura. Piura – Perú.
- COMISIÓN DE REGLAMENTOS TÉCNICOS Y COMERCIALES (1999) “Manejo de Residuos de la actividad de la construcción. Generalidades NTP 400.050”. INDECOPI, Perú.
- COMISIÓN DE REGLAMENTOS TÉCNICOS Y COMERCIALES (1999) “Manejo de Residuos de la actividad de la construcción. Reciclaje de concreto de demolición NTP 400.053”. INDECOPI, Perú.
- MONTRONE, M y QUISPE, A. (2007) “Desarrollo sostenible mediante el reciclaje y reutilización del desmonte como agregado del concreto en la construcción de viviendas” en “XV congreso nacional de estudiantes de ingeniería civil”. Puno, Perú.
- MUÑOZ, J. (1975). “Utilización de desechos de concreto como agregado grueso”. Tesis de pregrado. Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- HANSEN, T. (1983) “Strength of recycled concrete made from crushed concrete coarse aggregate”. Concrete International – January 1983, pp. 7983, EEUU.
- RAHAL, K. (2007) “Mechanical properties of concrete with recycled Coarse aggregate” en Building and Environment, V. 42, pág. 407.
- RASHWAN, M. y ABOURIZK, S. (1997) “The properties of recycled concrete” en Concrete International, July 1997, pág. 59.
- ROMERO, H. (2004) “Viabilidad técnica y económica del uso del concreto reciclado como agregado”. Universidad de los Andes. Colombia.
- TAVAKOLI, M. y SOROUSHIAN, P. (1996) “Drying shrinkage behavior of recycled aggregate concrete” en Concrete International, November 1996, pág. 61.
- YANG, K.; CHUNG, H. y ASHOUR, A. (2008) “Influence of type and replacement level of recycled aggregates on concrete properties”. Materials Journal May/June 2008. pp. 289-296, EEUU.

## **NORMAS**

- Norma NTP 400.012.2013 AGREGADOS. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. 2ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI
- Norma NTP 400.037.2002 AGREGADOS. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón 2ª. Ed. R. 2002-CRT-INDECOPI.
- Norma NTP 400.021.2013 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (Peso específico) y absorción del agregado grueso. 2ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- Norma NTP 400.022.2013 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la densidad, densidad relativa (Peso específico) y absorción del agregado fino. 2ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- Norma NTP 400.185.2013 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable en agregados por secado. 2ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- Norma NTP 400.017.2013 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para determinar la masa por unidad de volumen o densidad (peso unitario) y los vacíos en los agregados. 2ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- Norma NTP 400.019.2013 AGREGADOS. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la degradación en agregados gruesos de tamaños menores para abrasión e impacto en la máquina de los ángeles. 2ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- Norma NTP 339.034.2013. HORMIGÓN. Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la compresión del concreto, en muestras cilíndricas. 2ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- Norma NTP 339.046.2013. HORMIGÓN. Método de ensayo normalizado para determinar la densidad (peso unitario), rendimiento y contenido de aire (método gravimétrico) del hormigón (concreto). 2ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- Norma NTP 339.183.2013. HORMIGÓN. Práctica normalizada para la elaboración y curado de especímenes de concreto en el laboratorio. 2ª. Ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.

- Norma NTP 339.181:2013. HORMIGÓN.. Método de ensayo para determinar el número de rebote del hormigón (concreto) endurecido (esclerometría). 2a. ed. R. 2013-CRT-INDECOPI.
- Norma ASTM C 469. Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression.
- Norma ASTM C805. Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete.
- Norma ACI 318. Requisitos de reglamento para concreto estructural y comentario. 2005.