

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**ESTUDIO DEL CONCRETO RECICLADO DE MEDIANA A
BAJA RESISTENCIA, UTILIZANDO CEMENTO PORTLAND
TIPO I.**

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

CESAR PAULINO PONCE PORTOCARRERO

Lima - Perú

2014

Digitalizado por:

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

© 2014, Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados
**“El autor autoriza a la UNI a reproducir la tesis en su totalidad o en parte,
con fines estrictamente académicos.”**

Correo electrónico: cesar_pp@yahoo.com
Cel: 947-989629

DEDICATORIA

En recuerdo a mi padres (†), a quienes dedico la elaboración de esta tesis.

A mi hermano Julián, por el apoyo brindado durante la etapa de laboratorio.

A mi hermana Nimia, que admiro y quiero.

A mi hermano Max, quien siempre será una incógnita en mi vida.

A mis sobrinas, por su compañía y afecto.

A mi esposa e hijo, por su apoyo y paciencia.

A la UNI.

AGRADECIMIENTO

Un agradecimiento especial a mi asesor Ing. Carlos Armando Barzola Gastelú, por su apoyo y orientación en la elaboración de la presente tesis.

Al Laboratorio de Ensayo de Materiales de la UNI por su colaboración, así como a las personas que me apoyaron en los ensayos.

ÍNDICE

	Pág.
ÍNDICE.....	1
RESUMEN.....	6
LISTA DE CUADROS.....	7
LISTA DE GRÁFICOS.....	10
LISTA DE FIGURAS.....	13
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGNOS.....	14
INTRODUCCIÓN.....	16
 CAPÍTULO I: NATURALEZA DEL CONCRETO.	
1.1 DEFINICIÓN DEL CONCRETO.....	17
1.2 CEMENTO.....	17
1.2.1 Cemento Portland.....	17
1.2.2 Tipos de cemento Portland.....	17
1.2.3 Componentes principales de la materia prima.....	18
1.2.4 Compuestos principales del clinker.....	19
1.2.5 Compuestos secundarios.....	20
1.2.6 Otros compuestos secundarios.....	21
1.2.7 Propiedades físicas.....	22
1.3 AGREGADO.....	26
1.3.1 Especificaciones que deben cumplir los agregados.....	26
1.3.2 Clasificación del agregado.....	27
1.3.3 Características físicas del agregado.....	31
1.3.4 Características geométricas y morfológicas.....	36
1.4 AGUA.....	37
1.4.1 Agua para mezcla.....	37
1.4.2 Agua para curado.....	39
1.4.3 Pruebas al agua.....	39
1.5 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....	40
1.5.1 Peso unitario compactado.....	40
1.5.2 Consistencia.....	40
1.5.3 Fluidez.....	42
1.5.4 Tiempo de fragua.....	43
1.5.5 Exudación.....	45

1.6	PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO.....	47
1.6.1	Resistencia a la compresión axial.....	48
1.6.2	Resistencia a la tensión.....	49
1.6.3	Absorción.....	50

CAPÍTULO II: RECICLADO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

2.1	GENERALIDADES.....	52
2.2	RECICLADO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.....	52
2.2.1	Reciclado de los residuos de la construcción y demolición (RCD) en Europa.....	52
2.2.2	Distintas Normativas sobre los agregados reciclados.....	55
2.3	TIPOS DE RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN	61
2.3.1	Residuos inertes limpios.....	61
2.3.2	Residuos inertes mezclados.....	62
2.3.3	Residuos topo tipo.....	62
2.4	ÁRIDOS RECICLADOS.....	62
2.5	APLICACIONES DE LOS ÁRIDOS RECICLADOS.....	63
2.6	ENSAYOS APLICABLES A LOS ÁRIDOS RECICLADOS.....	63
2.7	OBRAS DONDE SE EMPLEARON CONCRETO RECICLADO...	64
2.7.1	Puente Marina Seca - Barcelona (España).....	64
2.7.2	Puente atirantado sobre el Rio Turia (España).....	64
2.7.3	Construcción Línea 12 del Metro (México).....	65
2.7.4	Puerto de Antwerp (Bélgica).....	65
2.8	NORMATIVA PERUANA PARA LA CLASIFICACIÓN, TRATAMIENTO Y UTILIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE LA CONSTRUCCION Y DEMOLICIÓN.....	66

CAPÍTULO III: CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS DE CAMPO.

3.1	GENERALIDADES.....	69
3.2	CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO PATRÓN.....	69
3.2.1	Granulometría del agregado patrón.....	69
3.2.2	Módulo de finura del agregado patrón.....	71
3.2.3	Superficie específica del agregado patrón.....	72

3.2.4	Peso unitario suelto y compactado del agregado patrón.....	72
3.2.5	Contenido de humedad del agregado patrón.....	73
3.2.6	Peso específico del agregado patrón.....	73
3.2.7	Porcentaje de absorción del agregado patrón.....	74
3.2.8	Cantidad de materia que pasa la malla N° 200 del agregado patrón.....	74
3.2.9	Características geométricas y morfológicas del agregado patrón.	75
3.3	CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO RECICLADO.....	76
3.3.1	Granulometría del agregado reciclado.....	77
3.3.2	Módulo de finura del agregado reciclado.....	79
3.3.3	Superficie específica del agregado reciclado.....	79
3.3.4	Peso unitario suelto y compactado del agregado reciclado.....	79
3.3.5	Contenido de humedad del agregado reciclado.....	80
3.3.6	Peso específico del agregado reciclado.....	80
3.3.7	Porcentaje de absorción del agregado reciclado.....	81
3.3.8	Cantidad de materia que pasa la malla N° 200 del agregado reciclado.....	81
3.3.9	Características geométricas y morfológicas del agregado reciclado.....	82
3.4	AGREGADO GLOBAL.....	83
3.4.1	Determinación de la combinación más óptima de agregados.....	84
 CAPÍTULO IV: DISEÑO DE MEZCLA.		
4.1	GENERALIDADES.....	88
4.2	DEFINICIÓN.....	88
4.3	CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLA.....	88
4.4	MÉTODOS DE DISEÑO DE MEZCLA.....	89
4.5	SELECCIÓN DEL MÉTODO DE DISEÑO.....	89
4.6	DISEÑO DE LA MUESTRA PATRÓN.....	89
4.6.1	Selección de las proporciones de los agregados para muestra patrón.....	89
4.6.2	Diseño de mezcla del concreto patrón para la obtención de la máxima resistencia.....	90
4.6.3	Diseño definitivo del concreto patrón.....	91
4.7	DISEÑO DE LA MUESTRA RECICLADA.....	92

4.7.1 Selección de las proporciones de los agregados para muestra reciclada.....	92
4.7.2 Diseño de mezcla del concreto reciclado para la obtención de la máxima resistencia.....	93
4.7.3 Diseño definitivo del concreto reciclado.....	94

CAPÍTULO V: DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO.

5.1 GENERALIDADES.....	97
5.2 CONSISTENCIA.....	97
5.3 PESO UNITARIO.....	98
5.4 FLUIDEZ.....	99
5.5 TIEMPO DE FRAGUA.....	100
5.6 EXUDACIÓN.....	102

CAPÍTULO VI: DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO.

6.1 GENERALIDADES.....	105
6.2 RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA COMPRESIÓN AXIAL.....	105
6.3 RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL.....	109
6.4 ABSORCIÓN DE AGUA.....	111

CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE RESULTADOS.

7.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A LOS AGREGADOS.....	113
7.1.1 Granulometría del agregado.....	113
7.1.2 Módulo de finura.....	116
7.1.3 Superficie específica.....	117
7.1.4 Peso unitario de los agregados.....	118
7.1.5 Peso específico de los agregados.....	119
7.1.6 Absorción.....	121
7.1.7 Material fino que pasa la malla N° 200.....	122
7.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.....	123

7.2.1 Consistencia.....	123
7.2.2 Peso unitario volumétrico.....	123
7.2.3 Fluidez.....	124
7.2.4 Exudación.....	125
7.2.5 Tiempo de fragua.....	127
7.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.....	128
7.3.1 Resistencia a la compresión axial.....	128
7.3.2 Resistencia a la tracción por compresión diametral.....	130
7.3.3 Absorción.....	131
CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	
8.1 CONCLUSIONES.....	133
8.2 RECOMENDACIONES.....	137
BIBLIOGRAFÍA.....	139
ANEXOS.....	141

RESUMEN

El presente documento trata el estudio de las características físicas del concreto reciclado.

En los últimos años, el sector de la construcción ha alcanzado unos índices de actividad muy elevados configurándose como una de las claves del crecimiento de la economía. Esta situación ha provocado un auge extraordinario de la generación de residuos procedentes tanto de la construcción de infraestructuras, así como demoliciones. Dichos residuos forman la categoría denominada "residuos de construcción y demolición". Estos residuos son la fuente de donde se extrae mediante ciertos procedimientos, el agregado reciclado.

La causa principal por la que no se usa masivamente el árido reciclado, son las propiedades ligeramente menos eficaces que presenta frente al árido natural, lo que conlleva unas menores prestaciones del concreto reciclado.

Los materiales usados en la presenta investigación son: cemento Sol tipo I, los agregados naturales utilizados fueron: arena y agregado grueso, ambos para la muestra patrón. Los agregados reciclados se obtuvieron de la trituración de probetas cilíndricas de concreto.

La etapa experimental incluyó el ensayo de agregados, fluidez, tiempo de fragua, asentamiento, densidad del concreto fresco, resistencia a compresión axial y absorción de agua.

Los principales resultados se mencionan a continuación:

El peso volumétrico del concreto reciclado fresco tiene 8% menos que la muestra patrón. También, la exudación y tiempo de fragua fueron mayores que las elaboradas con agregado natural y presenta menor trabajabilidad.

El concreto endurecido de la muestra reciclada tuvo 15% menos de resistencia a la compresión axial que la muestra patrón, para una edad de 28 días. La resistencia a la tracción por compresión diametral fue 14% menos que el patrón. Así como 70% más en absorción de agua.

	Pág.
Cuadro N° 1.1: Composición de la materia prima del cemento.....	18
Cuadro N° 1.2: Composición del clinker del cemento.....	19
Cuadro N° 1.3: Características físicas del cemento Sol.....	25
Cuadro N° 1.4: Límites establecidos por la NTP sobre los máximos valores permitidos de sustancias dañinas.....	26
Cuadro N° 1.5: Análisis granulométricos del agregado grueso.....	29
Cuadro N° 1.6: Límites granulométricos del agregado fino.....	30
Cuadro N° 1.7: Análisis granulométrico del agregado global.....	31
Cuadro N° 1.8: Determinación del módulo de finura.....	32
Cuadro N° 1.9: Determinación de la superficie específica del agregado...	33
Cuadro N° 1.10: Límites permisibles de la calidad del agua para su uso en mezcla y curado según Norma NTP 339.088.....	39
Cuadro N° 2.1: Normas técnicas para la gestión de los residuos de la construcción civil (RCC) en Brasil.....	58
Cuadro N° 2.2: Clasificación de los residuos de la construcción y demolición en México.....	59
Cuadro N° 2.3: Clasificación de los residuos de la construcción y demolición según NTP.....	67
Cuadro N° 2.4: Obtención del granulado reciclado en función del uso previsto.....	68
Cuadro N° 3.1: Procedencia del agregado – Muestra patrón.....	69
Cuadro N° 3.2: Granulometría del agregado fino – Muestra patrón.....	70
Cuadro N° 3.3: Granulometría del agregado grueso – Muestra patrón....	71
Cuadro N° 3.4: Módulo de finura del agregado – Muestra patrón.....	71
Cuadro N° 3.5: Superficie específica del agregado – Muestra patrón.....	72
Cuadro N° 3.6: Peso unitario suelto y compactado del agregado – Muestra patrón.....	72
Cuadro N° 3.7: Contenido de humedad del agregado – Muestra patrón..	73
Cuadro N° 3.8: Peso específico del agregado – Muestra patrón.....	73
Cuadro N° 3.9: Porcentaje de absorción del agregado – Muestra patrón.	74
Cuadro N° 3.10: Contenido de material fino que pasa la malla N° 200 en el agregado fino – Muestra patrón.....	74

Cuadro N° 3.11: Procedencia del agregado – Muestra reciclada.....	76
Cuadro N° 3.12: Granulometría del agregado fino – Muestra reciclada...	78
Cuadro N° 3.13: Granulometría del agregado grueso – Muestra reciclada.....	78
Cuadro N° 3.14: Módulo de finura del agregado – Muestra reciclada.....	79
Cuadro N° 3.15: Superficie específica del agregado – Muestra reciclada.....	79
Cuadro N° 3.16: Peso unitario suelto y compactado del agregado – Muestra reciclada.....	80
Cuadro N° 3.17: Contenido de humedad del agregado – Muestra reciclada.....	80
Cuadro N° 3.18: Peso específico del agregado – Muestra reciclada.....	81
Cuadro N° 3.19: Porcentaje de absorción del agregado – Muestra reciclada.....	81
Cuadro N° 3.20: Contenido de material fino que pasa la malla N° 200 en el agregado fino – Muestra reciclada.....	82
Cuadro N° 3.21: Composición del agregado en la mezcla previo al ensayo de compactación – Muestra patrón.....	84
Cuadro N° 3.22: Máximo peso unitario compactado – Muestra patrón....	84
Cuadro N° 3.23: Composición del agregado fino y grueso en el diseño de mezcla preliminar – Muestra patrón.....	85
Cuadro N° 3.24: Composición del agregado en la mezcla previo al ensayo de compactación – Muestra reciclada.....	86
Cuadro N° 3.25: Máximo peso unitario compactado – Muestra reciclada.	86
Cuadro N° 3.26: Composición del agregado fino y grueso en el diseño de mezcla preliminar – Muestra reciclada.....	87
Cuadro N° 4.1: Resistencia a la compresión axial según el contenido de agregado fino – Muestra patrón.....	90
Cuadro N° 4.2: Diseño definitivo de la muestra patrón para una relación agua/cemento=0.60.....	91
Cuadro N° 4.3: Diseño definitivo de la muestra patrón para una relación agua/cemento=0.70.....	91
Cuadro N° 4.4: Diseño definitivo de la muestra patrón para una relación agua/cemento=0.80.....	92
Cuadro N° 4.5: Cantidad de cemento por cada diseño definitivo –	

Muestra patrón.....	92
Cuadro N° 4.6: Resistencia a la compresión axial según el contenido de agregado fino – Muestra reciclada.....	93
Cuadro N° 4.7: Proporción final del agregado fino y grueso – Muestra reciclada.....	94
Cuadro N° 4.8: Diseño definitivo de la muestra reciclada para un contenido de cemento = 358.33 kg/m ³	95
Cuadro N° 4.9: Diseño definitivo de la muestra reciclada para un contenido de cemento = 300.00 kg/m ³	95
Cuadro N° 4.10: Diseño definitivo de la muestra reciclada para un contenido de cemento = 260.00 kg/m ³	96
Cuadro N° 5.1: Asentamiento del concreto fresco – Muestra patrón y reciclada.....	97
Cuadro N° 5.2: Peso volumétrico del concreto fresco – Muestra patrón y reciclado.....	98
Cuadro N° 5.3: Fluidez del concreto fresco – Muestra patrón y reciclada.....	100
Cuadro N° 5.4: Tiempo de fragua de concreto fresco – Muestra patrón.....	101
Cuadro N° 5.5: Tiempo de fragua de concreto fresco – Muestra reciclada.....	101
Cuadro N° 5.6: Exudación del concreto fresco – Muestra patrón y reciclada.....	103
Cuadro N° 6.1: Resistencia a la compresión axial – Muestra patrón.....	105
Cuadro N° 6.2: Resistencia a la compresión axial – Muestra reciclada....	105
Cuadro N° 6.3: Resistencia a la tracción por compresión diametral – Muestra patrón.....	109
Cuadro N° 6.4: Resistencia a la tracción por compresión diametral – Muestra reciclada.....	110
Cuadro N° 6.5: Relación entre la resistencia a la tracción por compresión diametral y la resistencia a la compresión axial – Muestra patrón.....	110
Cuadro N° 6.6: Relación entre la resistencia a la tracción por compresión diametral y la resistencia a la compresión axial – Muestra reciclada.....	111
Cuadro N° 6.7: Valores de la absorción de agua para diferentes contenidos de cemento – Muestra patrón y reciclada.....	112

LISTA DE GRÁFICOS

	Pág.
Gráfico N° 1.1: Consistencia del concreto fresco.....	41
Gráfico N° 1.2: Evolución de la resistencia axial del concreto.....	44
Gráfico N° 1.3: Exudación del concreto en estado fresco.....	46
Gráfico N° 2.1: Producción de residuos de construcción y demolición en la Unión Europea en el año 2002.....	53
Gráfico N° 2.2: Reutilización o reciclado de residuos de construcción y demolición en la Unión Europea en el año 2002.....	54
Gráfico N° 3.1: Máxima compacidad del agregado global – Muestra patrón.....	85
Gráfico N° 3.2: Máxima compacidad del agregado global – Muestra reciclada.....	86
Gráfico N° 4.1: Máxima resistencia a la compresión axial – Muestra patrón.....	90
Gráfico N° 4.2: Máxima resistencia a la compresión axial – Muestra reciclada.....	93
Gráfico N° 5.1: Asentamiento del concreto fresco – Muestra patrón y reciclada.....	98
Gráfico N° 5.2: Peso volumétrico del concreto fresco – Muestra patrón y reciclada.....	99
Gráfico N° 5.3: Fluidez del concreto fresco - Muestra patrón y reciclada.....	100
Gráfico N° 5.4: Tiempos de fragua del concreto fresco – Muestra patrón y reciclada.....	102
Gráfico N° 5.5: Exudación del concreto fresco para diferentes contenidos de cemento – Muestra patrón y reciclada.....	103
Gráfico N° 5.6: Exudación del concreto fresco – Muestra patrón y reciclada.....	104
Gráfico N° 6.1: Evolución de la resistencia a la compresión axial para un contenido de cemento de 260.00 kg/m ³ – Muestra patrón y reciclada.....	106
Gráfico N° 6.2: Evolución de la resistencia a la compresión axial para un contenido de cemento de 300.00 kg/m ³ – Muestra patrón y reciclada.....	106
Gráfico N° 6.3: Evolución de la resistencia a la compresión axial para un contenido de cemento de 358.33 kg/m ³ – Muestra patrón y reciclada.....	106

Gráfico N° 6.4: Resistencia a la compresión axial para una edad de curado 7 días – Muestra patrón y reciclada.....	107
Gráfico N° 6.5: Resistencia a la compresión axial para una edad de curado de 14 días – Muestra patrón y reciclada.....	108
Gráfico N° 6.6: Resistencia a la compresión axial para una edad de curado de 28 días – Muestra patrón y reciclada.....	108
Gráfico N° 6.7: Resistencia a la compresión axial para una edad de curado de 56 días – Muestra patrón y reciclada.....	109
Gráfico N° 6.8: Resistencia a la tracción por compresión diametral – Muestra patrón y reciclada.....	110
Gráfico N° 6.9: Relación resistencia a la compresión axial y resistencia a la tracción por compresión diametral – Muestra patrón y reciclada.....	111
Gráfico N° 6.10: Absorción de agua para diferentes contenidos de cemento – Muestra patrón y reciclada.....	112
Gráfico N° 7.1: Comparativa agregado fino vs Huso NTP “C”.....	113
Gráfico N° 7.2: Comparativa agregado grueso vs Huso ASTM.....	114
Gráfico N° 7.3: Comparativa agregado global vs DIN 1045.....	115
Gráfico N° 7.4: Comparativa agregado global vs NTP.....	116
Gráfico N° 7.5: Comparativa del módulo de finura.....	117
Gráfico N° 7.6: Comparativa de la superficie específica del agregado fino.....	117
Gráfico N° 7.7: Comparativa de la superficie específica del agregado grueso.....	118
Gráfico N° 7.8: Comparativa del peso unitario del agregado fino.....	118
Gráfico N° 7.9: Comparativa del peso unitario del agregado grueso.....	119
Gráfico N° 7.10: Comparativa del peso específico del agregado fino.....	120
Gráfico N° 7.11: Comparativa del peso específico del agregado grueso...	120
Gráfico N° 7.12: Comparativa de la absorción.....	122
Gráfico N° 7.13: Comparativa del material fino que pasa la malla N° 200.....	122
Gráfico N° 7.14: Comparativa del asentamiento.....	123
Gráfico N° 7.15: Comparativa del peso unitario volumétrico.....	124
Gráfico N° 7.16: Comparativa de la fluidez.....	125
Gráfico N° 7.17: Evolución del agua extraída.....	126

Gráfico N° 7.18: Comparativa del volumen de agua extraída.....	126
Gráfico N° 7.19: Comparativa de la exudación.....	127
Gráfico N° 7.20: Comparativa del tiempo de fragua.....	128
Gráfico N° 7.21: Comparativa de la resistencia a la compresión axial del concreto con contenido de cemento = 260.00 kg/m ³ – Muestra patrón y reciclado.....	129
Gráfico N° 7.22: Comparativa de la resistencia a la compresión axial del concreto con contenido de cemento = 300.00 kg/m ³ – Muestra patrón y reciclado.....	129
Gráfico N° 7.23: Comparativa de la resistencia a la compresión axial del concreto con contenido de cemento = 358.33 kg/m ³ – Muestra patrón y reciclado.....	130
Gráfico N° 7.24: Comparativa de la resistencia a la tracción por compresión diametral – Muestra patrón y reciclado.....	131
Gráfico N° 7.25: Comparativa de la absorción – Muestra patrón y reciclado.....	132

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura N° 1.1: Grados de humedad posible en una partícula del agregado.....	35
Figura N° 1.2: Tipos de revenimiento.....	42
Figura N° 1.3: Resistencia a la tracción (tensión) por compresión diametral.....	50
Figura N° 2.1: Puente atirantado sobre el Rio Turia.....	65
Figura N° 2.2: Diagrama de flujo para la obtención de concreto de demolición y granulado de concreto.....	68

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

SÍMBOLO:

%:	Porcentaje.
σ :	Desviación estándar.
":	Pulgada.
+/-:	Más o menos.
Σ :	Suma

SIGLA :

a/c:	Relación agua/cemento en peso.
ACI:	American Concrete Institute.
ASTM:	American Society for Testing and Materials.
cal:	Calorías.
cc:	Centímetro cúbico.
cm.:	Centímetros.
cm ² :	Centímetros cuadrados.
CV:	Coefficiente de variación.
d:	Diámetro.
f'c:	Resistencia a la compresión.
gr:	Gramo.
hr.:	Hora.
kg.:	Kilogramo.
kg/cm ² :	Kilogramo por centímetro cuadrado.
kg/m ³ :	Kilogramo por metro cubico.
Log.	Logaritmo.
lb/pulg ² :	Libra por pulgada cuadrada.
L :	Longitud.
Max:	Máximo.
Min.	Mínimo.
m ³ :	Metro cúbico.
ml:	Mililitro.
min.:	Minutos

mm.:	Milímetros.
NTP:	Norma Técnica Peruana.
P:	Carga de rotura.
ppm:	Partes por millón.
P.U.S:	Peso Unitario suelto.
P.U.C.:	Peso Unitario Compactado.
pulg ² :	Pulgadas cuadradas.
RCD:	Residuos de la construcción y demolición.
seg.:	Segundos.
t:	Tiempo.
T.F.I.:	Tiempo de fragua inicial.
T.F.F.:	Tiempo de fragua final.
°C:	Grados centígrados.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación está orientada al estudio del comportamiento del concreto en estado fresco y endurecido tanto para la muestra patrón así como reciclado.

Se sabe que la industria de la construcción genera residuos sólidos provenientes de la demolición de estructuras existentes y nuevas, los cuales son transportados desde el lugar de origen hacia áreas destinadas para el acopio, generando campos de desmonte, y constituyendo una forma de contaminación ambiental sin contar la depredación de los recursos naturales (agregado fino, agregado grueso) que es cada vez más frecuente y notorio.

En la actualidad el reciclaje es una aplicación real en países como: Bélgica, Dinamarca, Finlandia, Austria, Reino Unido, Japón, EEUU, México, Brasil. Donde se alcanzan porcentajes hasta 40%, el cual irá en aumento debido a una mayor severidad en la legislación medioambiental.

Para la realización del tema se ha dividido en 8 capítulos: el capítulo I y II, aborda los conceptos teóricos del concreto y el reciclado de materiales de construcción, respectivamente. El capítulo III, expone las características físicas de los agregados de campo de la muestra patrón, así como del reciclado. El capítulo IV, presenta los diseños preliminares y definitivos de la muestra patrón y reciclado. El capítulo V, resume las características físicas de la muestra patrón y reciclada del concreto en estado fresco tales como: consistencia, fluidez, peso unitario volumétrico y tiempo de fragua. El capítulo VI, hace una descripción de las propiedades del concreto en estado endurecido, tales como: resistencia a la compresión axial, resistencia a la tracción por compresión diametral y absorción de agua. En el capítulo VII, se realiza el análisis comparativo entre la muestra patrón y reciclado a partir de los resultados encontrados.

Por último, el capítulo VIII, las conclusiones y recomendaciones a las cuales se llega, a partir de la experiencia realizada.

Todos los ensayos se efectuaron en el Laboratorio de Ensayos de Materiales de la FIC-UNI.

Capítulo I

NATURALEZA DEL CONCRETO

CAPÍTULO I: NATURALEZA DEL CONCRETO.

1.1 DEFINICIÓN DE CONCRETO.

El concreto es un producto artificial que consiste de un medio ligante denominado pasta, dentro del cual se encuentra embebidas partículas de un medio ligado denominado agregado. Los materiales que participan en la fabricación del concreto son: Agregado pétreo, agua y cemento. Excepcionalmente pueden requerir aditivos y el cual está en función al uso final del concreto en estado endurecido.²⁸

1.2 CEMENTO.

Se define como cemento a los materiales pulverizados que poseen la propiedad que por adición de una cantidad conveniente de agua, forman una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo agua así como aire y formar compuestos estables.²⁸

1.2.1 Cemento Portland.

Es el producto obtenido por la pulverización del clinker Pórtland con la adición eventual del sulfato de calcio. El clinker Pórtland es una combinación de una fuente de cal (como las calizas), una fuente de sílice y alúmina (como las arcillas), y una fuente de óxido de hierro (como el mineral de hierro). Esta mezcla en proporciones adecuadas es finamente molida y luego calentada alrededor de 1500°C, a fin que se produzcan las reacciones entre los componentes.²⁸

1.2.2 Tipos de cemento Portland.

El cemento Pórtland se puede clasificar de la siguiente forma:

-Tipo I: Es el cemento fabricado para un uso general con finura 280 m²/kg mínimo.

-Tipo II: Fabricado para una moderada resistencia a los sulfatos, y con un bajo calor de hidratación.

-Tipo III: Empleado cuando se requiera una alta resistencia inicial, produce un elevado calor de hidratación o en construcciones a baja temperatura. Es un cemento similar al tipo I, desarrolla su resistencia rápidamente, debido a su mayor contenido de C3S (hasta 70%) y a su mayor finura (325 m²/kg mínimo).

-Tipo IV: Empleado cuando se necesite un bajo calor de hidratación, además de evitar dilataciones durante el fraguado. Debido al contenido más bajo de C3S y

C3A, hay un desarrollo de resistencia más lento que el cemento Pórtland ordinario, aunque la resistencia final no es afectada. La finura no debe ser menor de 320 m²/kg para asegurar un índice suficiente de aumento de resistencia.

-*Tipo V*: Este cemento tiene un bajo contenido de C3A, para evitar el ataque de sulfatos desde el exterior del concreto.

1.2.3 Componentes principales de la materia prima.

Se entiende como componentes a los minerales u óxidos aportados por la materia prima, reaccionan entre si en el horno y forman productos mas complejos; denominados compuesto primarios y secundarios; estos fueron establecidos por primera vez por Le Chatelier (1852) y son los que definen el comportamiento del cemento hidratado. Estos compuestos, en forma de óxidos, son básicamente cuatro los cuales se muestran en el cuadro N° 1.1.

Cuadro N° 1.1: Composición de la materia prima del cemento.

ID.	COMPONENTE QUÍMICO	PROCEDENCIA USUAL		PORCENTAJE
1	Óxido de calcio (CaO)	Rocas calizas	60% al 67%	95%
2	Óxido de sílice (SiO ₂)	Areniscas	17% al 25%	
3	Óxido de aluminio (Al ₂ O ₃)	Arcillas	3% al 8%	
4	Óxido de hierro (Fe ₂ O ₃)	Arcillas, minerales de hierro, pirita	0.5% al 6%	
5	Óxido de magnesio, sodio, potasio, titanio, azufre, fosforo y manganeso.	Minerales varios		5%

Fuente: Enrique Rivva López, "Naturaleza y materiales del concreto", Lima, 2000.²⁸

➤ *Cal (CaO)*. Proviene de la roca caliza o carbonaticas (alto contenido en CaCO₃). También puede obtenerse a partir de margas, que es una mezcla de caliza y arcilla, cuya ventaja es que poseen el material calcáreo y arcilloso de forma homogenizada. La cal tiene efectos importantes en las propiedades del cemento, el exceso ocasiona retardo del fraguado. Muy poca cal puede producir cementos poco resistentes, y si no fuese calcinada correctamente, produce un cemento con fraguado rápido.

➤ *Sílice (SiO₂)*. Proviene mayor parte de la arenisca, cuarcita, arena de cuarzo. La sílice, es un material muy resistente al ataque de los sulfatos e insoluble en el agua. Un contenido alto de sílice, el cual usualmente esta

acompañado de un contenido bajo de alúmina, produce cemento de alta resistencia, fraguado lento y mejora la resistencia contra el ataque químico.

➤ *Alúmina (Al_2O_3)*. Proviene de la arcilla (Illita, caolinita, montmorillonita) que contiene dicho oxido en cantidades considerables. Un alto contenido de alúmina y bajo de sílice produce un cemento de fraguado rápido y también alta resistencia.

➤ *Óxido férrico (Fe_2O_3)*. El color gris en el cemento se debe a este oxido. Es necesaria la presencia del oxido férrico, en muy pequeña cantidad, para evitar dificultades en la fabricación del cemento dado que el Fe_2O_3 actúa como fundente.

1.2.4 Compuestos principales del clinker.

La materia prima caliza y arcilla, mezcla y muele hasta reducirla en un polvo fino, y pasa a un horno rotatorio donde es calentado lentamente. Cuando el crudo se va desplazando hacia abajo en el horno, experimenta una serie de transformaciones químicas y físicas en función del aumento de la temperatura, la cual llega a alcanzar $1500^{\circ}C$. Luego el material se evacua hacia el enfriador.

Durante el proceso de cocción, los cuatro elementos mayoritarios presentes en el crudo: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 y CaO , se combinan para dar lugar a la formación de cuatro fases principales que se muestran en el cuadro N° 1.2.

Cuadro N° 1.2: Composición del clinker del cemento.

ID.	NOMBRE	COMPOSICIÓN	FORMULA ABREVIADA	PARTICIPACIÓN	NOMBRE DEL MINERAL
1	Silicato tricálcico	$3CaO, SiO_2$	C_3S	30% a 60%	Alita
2	Silicato bicálcico	$2CaO, SiO_2$	C_2S	15% a 37%	Belita
3	Aluminato tricálcico	$3CaO, Al_2O_3$	C_3A	7% a 15%	Celita
4	Ferro aluminato tetracálcico	$4CaO, Al_2O_3, Fe_2O_3$	C_4AF	8% a 10%	

Fuente: Enrique Rivva López, "Naturaleza y materiales del concreto", Lima, 2000.²⁸

➤ *Silicato Tricálcico (C_3S)*. Es el mineral principal y decisivo, por sus cualidades resistentes, cuando se hidrata. Es inestable por debajo de los $1300^{\circ}C$, razón por la cual el clinker debe enfriarse rápidamente.

➤ *Silicato Bicálcico (C_2S)*. Aunque se endurece mucho más lentamente que la alita, a largo plazo alcanza casi la misma resistencia.

➤ *Aluminato Tricálcico (C_3A)*. Este compuesto reacciona muy rápidamente con el agua, por lo que se debe retrasar su actividad empleando yeso. Eleva la resistencia inicial del cemento en combinación con los silicatos.

➤ *Ferro Aluminato Tetracálcico (C_4AF)*. Al conjunto de esta fase y al aluminato tricálcico se le denomina Celita. Constituye una fase de cristales mixtos que se obtiene en el clinker cuando hay menos alúmina que óxido de hierro. Es responsable del color gris verdoso de los cementos normales.

1.2.5 Compuestos secundarios.

Los cuatro compuestos del clinker suponen del 90% al 95% del total. El porcentaje restante corresponde a los llamados compuestos secundarios, los cuales son referidos a continuación:²⁵

➤ *Cal libre*. Es un componente accidental, aparece en forma de pequeños gránulos redondeados, pudiendo deberse a un exceso en el contenido de carbonato de calcio en el crudo; un defecto de dosificación aun cuando la clinkerización haya sido correcta; o un defecto de clinkerización. También se puede encontrar cal libre que habiendo estado fijada en forma de Silicato Tricálcico, queda libre por descomposición del mismo en la citada cal y Silicato Bicálcico. Esta descomposición se produce durante el enfriamiento del clinker.

La cal libre, en presencia de aguas o de sustancias ácidas, forman sales de calcio las cuales dan origen a expansiones, agrietamientos y desmoronamiento del concreto. Para determinar si un cemento contiene por encima del 0.8% que es el máximo permisible se realiza el ensayo de estabilidad de volumen por expansión en el autoclave, realizado de acuerdo a la Norma ASTM C-151.

➤ *Óxido de Magnesio*. El óxido de magnesio, es una sustancia que frecuentemente acompaña al óxido de calcio. Puede provenir de las calizas o de las arcillas. Actúa como fundente en la formación del clinker, y en

concentraciones por encima del 2.5% y en contacto con el agua se hidrata y aumenta volumen, permitiendo dilatación y agrietamientos del mortero.

➤ *Óxido de Sodio y Potasio*. Conocidos también como álcalis, son acompañantes inevitables de la materia prima del cemento, especialmente de la arcilla. Se consideran inocuos en pequeñas concentraciones, pero cuando se sobrepasan en determinados porcentajes, pueden ser nocivos por su capacidad de reaccionar con determinados compuestos presentes en algunos agregados. Esta reacción da origen a expansión con posterior destrucción del concreto.

La norma ASTM C-150 indica que el cemento Pórtland normal no deberá contener álcalis mas del 0.6 % en peso del cemento.

1.2.6 Otros compuestos secundarios.

Pueden presentarse en el análisis químico de un cemento otros compuestos secundarios los cuales carecen, en general, de importancia tanto cualitativa como cuantitativa. Estos compuestos suelen ser:

➤ *Óxido Ferroso (FeO)*. Este compuesto se encuentra rara vez en el clinker, salvo una cocción defectuosa.

➤ *Bióxido de Titanio (TiO₂) y Anhídrido Fosfórico (P₂O₅)*. Salvo en el caso de determinación analítica especial de estos componentes, el análisis ordinario quedan incluidos en la alúmina.

➤ *Óxido Mangánico (Mn₂O₃)*. Incluido y expresado como oxido férrico.

➤ *Óxido de Estroncio (SrO)*. Incluido en la determinación de la cal total.

➤ *Azufre (S)*. Puede provenir de los combustibles empleados en la cocción.

➤ *Pérdida por calcinación*. Es la disminución en el peso de una muestra de cemento la cual ha sido calentada a una temperatura de 1000 °C. Esta pérdida de peso se debe a que durante este calentamiento se liberan vapor de agua y

anhídrido carbónico. A la temperatura indicada se consigue la descarbonatación del CaCO_3 que eventualmente puede estar presente en el cemento.

Según la norma ASTM C-150 el cemento debe tener una pérdida por calcinación máxima del orden del 3% para todos los tipos de cemento, exceptuando el tipo V donde la pérdida por calcinación deberá tener un valor máximo de 2.3%. Valores mayores hacen perder al cemento sus cualidades hidráulicas y perjudican sustancialmente la resistencia en relación con la edad.

➤ *Residuos insolubles.* Es aquella porción del cemento que no puede ser disuelta mediante un ataque por ácido clorhídrico (HCl) al 10% en ebullición durante unos minutos. Estos residuos insolubles pueden corresponder a pequeñas porciones de las materias primas del crudo que por su naturaleza no han podido reaccionar durante la clinkerización. Al aumentar el residuo insoluble disminuyen la resistencia.

La norma ASTM C establece que para el tipo I y los Pórtland con incorporador de aire, los residuos insolubles deben tener como máximo 0.75%. Mientras que para los cementos Pórtland con escoria de alto horno el máximo se eleva a 1%. Para los cementos puzolanicos no establece limitación alguna.

➤ *Anhídrido sulfúrico.* Proviene del yeso añadido al clinker. El contenido de anhídrido sulfúrico (SO_3) decide la calidad del cemento cuando su valor esta fuera de un estrecho margen, entre el 2% y 4%, afecta al tiempo de fraguado. Cuando es menor disminuye el efecto retardador del fraguado. Si el contenido varía entre 6% y 10%, inhibe el fraguado, no existiendo entonces endurecimiento. Cuando el contenido de SO_3 sobre pasa el 4%, puede haber un exceso de $\text{SO}_4\text{Ca} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ libre en el concreto provocando un intenso efecto corrosivo a las armaduras.

1.2.7 Propiedades físicas.

El conocimiento del significado de las principales propiedades físicas y mecánicas del cemento Pórtland será provechoso para interpretar los resultados de las pruebas con el cemento, y son los siguientes:

1.2.7.1 Peso específico (Norma NTP 334.005).

Normalmente está comprendido entre 3.00 a 3.20. No es indicativo de calidad del mismo, básicamente usado en la relación con el control y diseño de mezcla.

Cuando el cemento contiene adiciones minerales que lo convierten en un cemento combinado, con una densidad menor a la del clinker puro, los valores indicados descienden notablemente, del orden de 2.97 para los cementos Tipo IP y IPM.

1.2.7.2 Finura (Norma NTP 334.02).

La finura de un cemento es función del grado de molienda del mismo, afecta la rapidez de la hidratación, la resistencia inicial y el calor generado. Al aumentar la finura del cemento aumenta la rapidez a la que se hidrata el cemento, acelerando la adquisición de resistencia. Los efectos del aumento de finura en la resistencia se manifiestan durante los primeros 7 días.

La fragua de los cementos es más rápida y el agrietamiento más temprano conforme son más finos. Igualmente, a igualdad de relación agua:cemento, el flujo es menor para los cementos más finos; la exudación disminuye conforme la finura se incrementa.

La finura en el cemento se mide en términos de superficie específica, la cual está dada por la suma de las áreas en cm^2 de los granos contenidos en un gramo de cemento y es determinado por el permeabilímetro de Blaine.

1.2.7.3 Consistencia normal (Norma NTP 334.006).

La cantidad de agua que se requiera para obtener una pasta de consistencia normal; se expresa como porcentaje en el peso del cemento utilizado. El conocimiento de esta propiedad es la base para la determinación del tiempo de fraguado de los cementos.

1.2.7.4 Tiempo de fraguado (Norma NTP 334.006).

El fraguado podemos interpretarlo como el paso del material del estado fluido al estado sólido. En el transcurrir de este tiempo se puede encontrar dos fases, la primera fragua inicial y la segunda fragua final. El fraguado inicial corresponde a

un incremento rápido, y el fraguado final a la temperatura pico. Se dice que la pasta de cemento ha fraguado cuando logra una rigidez suficiente como para soportar una presión determinada de tipo arbitrario, ejercidos por agujas pertenecientes a los aparatos de Gilmore y Vicat.

1.2.7.5 Calor de hidratación (Norma NTP 334.064).

Es el generado cuando reacción el cemento y el agua., denominándose calor de hidratación a la cantidad de calor en calorías por gramo de cemento. Este calor de hidratación, depende principalmente de la composición química del cemento; y es afectado por la finura y temperatura de curado, así como por la composición química.

En algunas estructuras, como aquellas de gran masa, la rapidez y la cantidad de calor generado son importantes. Si no se disipa este calor rápidamente, puede ocurrir una importante elevación de temperatura en el concreto y puede estar acompañada de dilatación térmica. El enfriamiento posterior del concreto endurecido a la temperatura ambiente puede crear esfuerzos perjudiciales.

1.2.7.6 Resistencia a la compresión (Norma NTP 334.051).

La resistencia a la compresión del cemento Pórtland, según lo especifican la ASTM, Normas NTP y otras, es la obtenida en pruebas cubos estándar de 2 pulgadas de arista. Las resistencias a las diferentes edades son indicadores de las características del cemento para adquirir resistencia, pero no pueden usarse para predecir las resistencias del concreto con precisión a causa de las muchas variables que intervienen en las mezclas del concreto.

1.2.7.7 Estabilidad de volumen (Norma NTP 334.054).

La determinación de variaciones nos indica la capacidad del cambio de volumen de los elementos estructurales previéndole entonces la posibilidad de agrietamientos o descascaramientos cuando estos cambios son importantes. Este cambio de volumen depende de factores tales como la humedad relativa del ambiente, de la constitución de la pasta, del tipo de cemento.

Por otro lado, el cuadro N° 1.3, muestra el resumen de las características del cemento utilizado en el presente estudio.

Cuadro N° 1.3: Características físicas del cemento Sol.

ANÁLISIS QUÍMICO	VALOR	NTP 334.009, ASTM C 150 Cemento Portland Requisitos
Dióxido de Sílice (SiO ₂) %.	19.28%	
Óxido de Aluminio (Al ₂ O ₃) %.	5.75%	
Óxido de Hierro (Fe ₂ O ₃) %.	3.01%	
Óxido de Calcio (CaO) %.	62.05%	
Óxido de Magnesio (MgO) %.	3.05%	Máx. 6.0%
Trióxido de Azufre (SO ₃) %.	2.73%	Máx. 3.5%
Óxido de Potasio (K ₂ O) %.	0.80%	
Óxido de Sodio (Na ₂ O) %.	0.22%	
Otros (%).	0.62%	
Pérdida por ignición (P.I) %.	2.14%	Máx. 3.0%
Insolubles (%).	0.71%	Máx. 0.75%
Álcalis totales (%).	0.75%	
Álcalis solubles en agua (%).	0.63%	
Cal libre (CaO) %.	0.33%	
CO ₂ %.	1.31%	
Fases mineralógicas (según Bogue)		
C3S.	48.56	
C2S.	18.64	
C3A.	10.14	
ENSAYOS FÍSICOS		
Retenido malla 100.	0.13%	
Retenido malla 200.	0.82%	
Retenido malla 325.	6.51%	
Superficie específica Blaine.	323 m ² /kg	Mín. 280 m ² /kg.
Contenido de aire.	7.15%	Máx. 12%
Expansión autoclave.	0.11%	Máx. 0.80%
Densidad.	3.13 gr/cm ³	
Fraguado Vicat inicial.	129 min	Mín. 45 min.
Fraguado Vicat final.	297 min	Máx. 375 min.
Calor de hidratación 7 días.	79.5 cal/gr	
Resistencia a la compresión.		
24 hr.	153 kg/cm ²	
3 días.	269 kg/cm ²	Mín. 122 kg/cm ² .
7 días.	331 kg/cm ²	Mín. 194 kg/cm ² .
28 días.	392 kg/cm ²	

Fuente: Cementos Lima S.A., "Información de Control de Calidad del Cemento Sol", Lima, 2011.⁴

1.3 AGREGADO.

Según la norma NTP 400.011, se define como agregado al conjunto de partículas, de origen natural o artificial, que pueden ser tratados o elaborados y cuyas dimensiones están comprendidas entre los límites fijados por esta Norma.

1.3.1 Especificaciones que deben cumplir los agregados.

Las propiedades del agregado pueden afectar enormemente la durabilidad y desempeño del concreto. Por tanto es necesario conocer ciertas limitaciones que deben cumplir los agregados para ser usados en la fabricación de concreto.

Respecto a los requerimientos, las partículas deben ser limpias, de perfil preferentemente angular, duras compactas y resistentes. Los agregados, de los cuales no se tengan registro sobre su buen comportamiento, deberán probarse para ver, si cumplen con los requisitos mínimos establecidos en las Normas para ser aceptados.

El cuadro N° 1.4, muestra los límites establecidos por la Norma Técnica Peruana.

Cuadro N° 1.4: Límites establecidos por la NTP sobre los máximos valores permitidos de sustancias dañinas.

ENSAYOS	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
Partículas deleznable, máximo porcentaje:	3	3
Material más fino que el tamiz normalizado 75 µm (N° 200), máximo porcentaje		
- Concreto sujeto a abrasión:	3 (A)	1
- Otros concretos:	5 (A)	1
Carbón y lignito, máximo porcentaje:	0.5	0.5
Impurezas orgánicas.	El agregado fino que no demuestre presencia nociva de materia orgánica, cuando se determine según lo estipulado por la NTP 400.024, se deberá considerar satisfactorio. El agregado fino que no cumpla con el ensayo anterior, podrá ser utilizado si al determinarse el efecto de las impurezas orgánicas sobre la resistencia de morteros, según lo estipulado en la NTP 400.013, la resistencia relativa a lo 7 días no será menor de 95%.	

(A) En el caso de arena manufacturada, si el material está libre de limos y arcillas, estos límites podrán ser aumentados a 5% y 7% respectivamente.

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.037. ¹⁹

1.3.2 Clasificación del agregado.

Las clasificaciones que se describe no necesariamente son únicas si no responden a la necesidad de establecer un orden:

1.3.2.1 Clasificación según su procedencia.

➤ *Agregado natural.* Es el agregado formado por los procesos geológicos naturales y que son extraídos, seleccionados y procesados para optimizar su empleo en la producción de concretos. Se pueden encontrar en diferentes ambientes de sedimentación, existiendo por tanto un abanico de opciones bastante amplio para su obtención: eluviales, coluviales, abanicos aluviales, eólicos, playeros. En cuanto a su composición suele ser silíceo además con presencia en ciertos casos de componentes calcáreos.³

Para el uso en mezclas de concreto, el agregado requiere un tratamiento que incluye el lavado y la clasificación.

➤ *Agregado triturado.* Cuando no hay disponibilidad de agregados naturales, se acude a los agregados triturados que se obtienen en canteras, normalmente mediante voladuras, y que posteriormente, deben ser dimensionados de forma adecuada mediante trituración.³

➤ *Agregado artificial.* Se obtienen como sub producto de diferentes procesos industriales, como son las escorias siderúrgicas, cenizas volantes de las centrales térmicas, estériles mineros.

Las escorias siderúrgicas se emplean con buen resultado en la construcción de carreteras, incluso para el aglomerado bituminoso de la capa de rodadura. Las cenizas de combustión pulverizadas o cenizas volantes, formados por un polvo fino de silicatos de aluminio, es un componente utilizado en la producción de bloques de construcción ligeros (Smith y Collis, 1993).

En cuanto a los estériles mineros, sus diferentes tipos (estériles de la explotación directa o los que se generan en la planta de tratamiento) presentan muy diferentes aplicaciones. Así, los estériles procedentes de las labores de preparación, tanto en minería interior o de superficie, puede considerarse como

una fuente importante de agregados, sobre todo para su utilización como materia prima. Los residuos que se producen en las plantas de tratamiento del mineral son, generalmente de tamaño fino, sobre todo en la fase de concentración, por lo que pueden ser utilizados, como ocurre con los finos del carbón, como base para la obtención de áridos ligeros artificiales.³

➤ *Agregado reciclado.* Definido en la NTP 400.037 como aquel agregado procedente del tratamiento de materiales inorgánicos usados en construcción. Estos agregados son los que se generan con la demolición de estructuras previas: edificios, pavimentos antiguos. Este tipo de agregados debido a la gran cantidad de desechos que se producen, está recibiendo un notable interés, pero aun es más futuro que presente, aunque su participación necesariamente irá en aumento debido a una legislación medioambiental cada vez más severa.

1.3.2.2 Clasificación por su gradación.

La gradación es la distribución volumétrica de las partículas. Se ha establecido convencionalmente la clasificación entre agregado grueso (piedra) y agregado fino (arena) en función de las partículas mayores y de las menores de 4.75 mm (malla estándar ASTM N° 4).²⁶

➤ *Agregado grueso.* La NTP 400.037 define como agregado grueso, aquel retenido en el tamiz normalizado 4.75 mm (N° 4), proveniente de la desintegración natural o artificial de la roca, y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037.

Según la NTP el agregado grueso deberá estar comprendido según los límites que se muestran en el cuadro N° 1.5.

Cuadro N° 1.5: Análisis granulométrico del agregado grueso.

N° ASTM	Tamaño Nominal	% QUE PASA POR LOS TAMICES NORMALIZADOS													
		100mm	90mm	75mm	63mm	50mm	37.5mm	25mm	19mm	12.5mm	9.5mm	4.75mm	2.36mm	1.18mm	
		(4")	(3 1/2")	(3")	(2 1/2")	(2")	(1 1/2")	(1")	(3/4")	(1/2")	(3/8")	(N°4)	(N°8)	(N°16)	
1	3 1/2" a 1 1/2"	100	90 a 100		25 a 60		0 a 15		0 a 5						
2	2 1/2" a 1 1/2"			100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5						
3	2" a 1"				100	90 a 100	35 a 70	0 a 15		0 a 5					
357	2" a N°4				100	95 a 100		35 a 70		10 a 30		0 a 5			
4	1 1/2" a 3/4"					100	90 a 100	20 a 55	0 a 15		0 a 5				
467	1 1/2" a N°4					100	95 a 100		35 a 70		10 a 30	0 a 5			
5	1" a 1/2"						100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5				
56	1" a 3/8"						100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5			
57	1" a N°4						100	95 a 100		25 a 60		0 a 10	0 a 5		
6	3/4" a 3/8"							100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5			
67	3/4" a N°4							100	90 a 100		20 a 55	0 a 10	0 a 5		
7	1/2" a N°4								100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5		
8	3/8" a N°8									100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.037.¹⁹

De acuerdo a los límites en tabla anterior se deberá tener en cuenta lo siguiente:
-La granulometría seleccionada será preferentemente continua, no deberá tener más del 5% retenido en la malla 1.1/2" y no más del 6% del agregado que pasa la malla de 1/4".

-El tamaño máximo nominal, el cual es aquella malla que tiene el primer retenido, no deberá ser mayor de: Un quinto de la menor dimensión entre caras de encofrado; o un tercio del peralte de la losa; o tres cuartos del espacio libre mínimo entre barras, torones o ductos de pre esfuerzo.

➤ *Agregado fino.* La NTP 400.037 define como agregado fino aquel proveniente de la desintegración natural o artificial, que pasa el tamiz normalizado 9.5mm (3/8 pulg.) y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037, el cual se establece en el cuadro N° 1.6.

Cuadro N° 1.6: Límites granulométrico del agregado fino.

Tamiz	Porcentaje que pasa (%)
9.5 mm (3/8 pulg.)	100
4.75 mm (No. 4)	95 a 100
2.36 mm (No. 8)	80 a 100
1.18 mm (No. 16)	50 a 85
600 µm (No.30)	25 a 60
300 µm (No. 50)	5 a 30
150 µm (No. 100)	0 a 10

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.037.¹⁹

Según el cuadro N° 1.6, la granulometría deberá ser preferentemente continua con valores retenidos en las mallas N° 4, a N° 100. No deberá retener más del 45% en dos tamices consecutivos cualesquiera.

➤ *Agregado global.* Es una mezcla de agregado fino y agregado grueso, normalizado por una granulometría. Deberá cumplir también la mayoría de las exigencias tanto para agregado fino como grueso.

El cuadro N° 1.7, muestra los límites que fija la NTP.

Cuadro N° 1.7: Análisis granulométrico del agregado global.

Tamiz	Porcentaje que pasa por los tamices normalizados		
	Tamaño máximo nominal		
	37.5 mm (1 ½ pulg)	19.0 mm (¾ pulg)	9.5 mm (3/8 pulg)
50 mm (2 pulg)	100		
37.5 mm (1 ½ pulg)	95 a 100	100	
19.0 mm (¾ pulg)	45 a 80	95 a 100	
12.5 mm (1/2 pulg)			100
9.5 mm (3/8 pulg)			95 a 100
4.75 mm (No. 4)	25 a 50	35 a 55	30 a 65
2.36 mm (No. 8)			20 a 50
1.18 mm (No. 16)			15 a 40
600 µm (No. 30)	8 a 30	10 a 35	10 a 30
300 µm (No. 50)			5 a 15
150 µm (No. 100)	0 a 8*	0 a 8*	0 a 8*

*Incrementar 10 % para finos de roca triturada

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.037.¹⁹

1.3.2.3 Clasificación por su densidad.

Entendiendo la densidad como su gravedad específica (G_e), es decir el peso entre el volumen de sólidos referido a la densidad del agua, se acostumbra clasificarlos en Normales con $G_e=2.5$ a 2.75 , Ligeros con $G_e<2.5$ y Pesados con $G_e>2.75$. Cada uno marca comportamientos diversos en relación al concreto.²⁶

1.3.3 Características físicas del agregado.

Para la determinación de ciertas características necesarias para los diseños de mezcla, se efectúan diversos ensayos de laboratorio. Es importante tener claros los conceptos y sus expresiones numéricas:

1.3.3.1 Granulometría del agregado (Norma NTP 400.012).

El proceso para dividir una muestra de agregado en partes de igual tamaño de partícula, se conoce como análisis granulométrico. Con este procedimiento se busca averiguar la distribución del agregado, con relación a los diferentes diámetros de sus partículas.

Los tamices estándar usados para determinar la gradación de los agregados son: 1½", 1", ¾", ½", 3/8", ¼", N° 4, 8, 16, 30, 50 y 100.

Se considera que las granulometrías continuas son las más satisfactorias. Pero es posible obtener concretos de calidad empleando agregados con granulometrías discontinuas.

El agregado que no cumpla con los requisitos establecidos en la NTP podrá ser usado si comparando con un concreto patrón demuestra un registro de servicio satisfactorio.

1.3.3.2 Módulo de finura (NORMA NTP 400.012).

Es un indicador de la finura de un agregado; cuanto mayor sea el módulo de finura, más grueso es el agregado y menor la demanda de agua por área superficial.

El módulo de finura es un factor empírico y se determina según el cuadro N° 1.8.

Cuadro N° 1.8: Determinación del módulo de finura.

ID.	MALLA N°	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO RETENIDO %	PESO RETENIDO ACUMULADO (%)
1	1½"	38.1	√	√	√
2	¾"	19	√	√	√
3	3/8"	9.5	√	√	√
4	4	4.76	√	√	√
5	8	2.38	√	√	√
6	16	1.19	√	√	√
7	30	595 μm	√	√	√
8	50	297 μm	√	√	√
9	100	149 μm	√	√	√

S

Fuente: Enrique Rivva López, "Naturaleza y materiales del concreto", Lima, 2000.²⁸

El módulo de finura se calcula según la fórmula:

$$\text{Módulo de finura} = \frac{S}{100}$$

En general se recomienda, que el agregado fino, tenga un valor que se encuentre entre los límites de 2.3 y 3.1.

1.3.3.3 Superficie específica (Norma NTP 400.012).

Es un índice de cuanto cemento se necesita para cubrir el área total del agregado que se esté usando. Al usar un agregado fino se incrementa la superficie específica, aumentando la cantidad de cemento que se utilizara para cubrir las partículas finas. Para la determinación de la superficie específica se debe tener en cuenta dos suposiciones:

- Que todas las partículas son esféricas.
- El tamaño medio de las partículas que pasa un tamiz y quedan retenidas en otro, es igual al promedio de las dos aberturas.

El cuadro N° 1.9, muestra como se determina la superficie específica:

Cuadro N° 1.9: Determinación de la superficie específica del agregado.

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO (A)	DIAMETRO MEDIO (B)	SUPERFICIE ESPECÍFICA POR TAMIZ (A/B)
1.1/2"	38.1	√	√	√	√
1"	25.4	√	√	√	√
3/4"	19	√	√	√	√
1/2"	12.7	√	√	√	√
3/8"	9.5	√	√	√	√
1/4"	6.35	√	√	√	√
N° 4	4.76	√	√	√	√
N° 8	2.38	√	√	√	√
N° 16	1.19	√	√	√	√
N° 30	595 μm	√	√	√	√
N° 50	297 μm	√	√	√	√
N° 100	149 μm	√	√	√	√

SUMA DE LAS SUPERFICIES ESPECÍFICAS = S

Fuente: Enrique Rivva López, "Naturaleza y materiales del concreto", Lima, 2000.²⁸

La superficie específica se calcula según la fórmula:

$$\text{Superficie específica} = \frac{S}{\text{Gravedad específica}} \times 0.06$$

1.3.3.4 Peso unitario (Norma NTP 400.017).

Se define como peso unitario el peso que alcanza un determinado volumen unitario. Está influenciado por su gravedad específica, su granulometría, su perfil y textura superficial, humedad y grado de compactación. Cuanto más alto la gravedad específica del agregado mayor será su peso unitario. Así mismo los agregados redondeados con texturas suavizadas, tiene mayor peso unitario que aquellas partículas de perfil angular y textura rugosa.

El peso unitario de los agregados varía entre los 1500 y 1700 kg/m³. La Norma NTP, admite dos tipos de pesos unitarios:

-Peso unitario suelto, también denominado peso volumétrico unitario, porque se trata del volumen ocupado por el agregado y los huecos. Se determina según la siguiente relación:

$$\text{PUS} = \frac{\text{Peso suelto del agregado}}{\text{Volumen unitario}}$$

-Peso unitario compactado, a diferencia del peso unitario suelto, el peso unitario compactado establece que el peso del material debe tener un cierto grado de compactación.

$$\text{PUC} = \frac{\text{Peso compactado del agregado}}{\text{Volumen unitario}}$$

1.3.3.5 Contenido de humedad (Norma NTP 339.185).

Los agregados presentan poros internos y son accesibles al agua o humedad externa, diferenciándose de aquellos poros cerrados. Por tanto un agregado puede presentar humedad. Entonces se entiende por contenido de humedad a la cantidad de agua que contiene el agregado en su estado natural.

La figura N° 1.1, muestra los estados de humedad de una partícula.

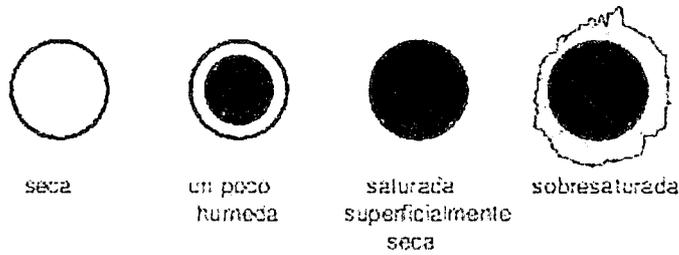


Figura 1.1: Grados de humedad posible en una partícula del agregado.

Fuente: <http://www.elconstructorcivil.com/2010/12/relaciones-volumetricas-y-gravimetricas.html>.

La humedad se determina de la siguiente manera:

$$\% \text{Humedad} = \frac{\text{Peso original de la muestra} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

Donde:

Peso original de la muestra: Peso de la muestra en estado ambiental.

Peso seco: Peso de la muestra secado al horno.

1.3.3.6 Peso específico (Norma NTP 400.022).

El peso específico de un agregado es la relación de su peso al peso de un volumen igual de agua. Se usa en los cálculos para el control y diseño de mezcla. Es también indicador de la calidad del agregado pero no determinante. Si el peso específico es bajo generalmente corresponde a agregados absorbentes y débiles y en caso de tener un peso específico alto corresponde a agregados densos de buena calidad. Este parámetro se puede calcular de la siguiente manera:

$$Pe = \frac{W_o}{V - V_a}$$

Donde:

Pe: Peso específico de masa.

Wo: Peso en el aire de la muestra secada al horno.

V: Volumen del frasco.

Va: Volumen añadida al frasco.

1.3.3.7 Porcentaje de absorción (Norma NTP 400.021 y NTP 400.022).

La absorción es la propiedad que tienen los agregados de incorporar agua a su estructura interna, teniendo como consecuencia un aumento de peso. Está representada por el porcentaje de agua que le es necesaria para llegar a la condición de saturada superficialmente seca (condición de equilibrio).

La absorción de los agregados debe determinarse, de manera que la proporción de agua en el concreto puede controlarse y se pueden determinar los pesos correctos de la mezcla.

El porcentaje de absorción de una muestra se determina de la siguiente manera:

$$\% \text{ de absorción} = \frac{\text{Psss} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \times 100$$

Donde:

Psss: Peso de la muestra saturado superficialmente seco.

Peso seco: Peso de la muestra secado al horno.

1.3.3.8 Cantidad de material que pasa la malla N° 200. (Norma NTP 400.018).

Suele constituirse por arcilla y limos. Se sabe que un moderado porcentaje de finos mejora la trabajabilidad de la mezcla pero un exceso de este material, reduce la resistencia del concreto debido a que aumenta la superficie que debe recubrir el cemento.

Las Norma NTP 400.037 recomienda que el contenido de material fino que pasa la malla N° 200 no deba excederse del 3% para casos en que el concreto va a ser usado en procesos abrasivos. Mientras que en otro tipo de concretos el contenido de finos pueden incrementarse hasta un 5%. Para agregados gruesos el máximo permisible es de 1%, y se acepta hasta un máximo de 1.5% cuando el agregado grueso es triturado.

1.3.4 Características geométricas y morfológicas (Norma NTP 400.011).

La forma y textura de las partículas del agregado influyen en las propiedades del concreto. Existe 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. Por otro, se producen fenómenos de adherencia entre la pasta de cemento y los agregados, condicionados también por estos factores, que redundan en el comportamiento resistente y en la durabilidad del concreto.²⁶

1.3.4.1 Forma.

Por su naturaleza los agregados tienen unas formas irregularmente geométricas compuestas por combinaciones aleatorias de caras redondeadas y angulosidades. En términos meramente descriptivos, la forma de los agregados se define en:²⁶

- Angular: poca evidencia de desgaste en caras y bordes.
- Sub angular: evidencia de algo de desgaste en caras y bordes.
- Sub redondeada: considerable desgaste en caras y bordes.
- Redondeada: Bordes casi eliminados.
- Muy redondeadas: Sin caras ni bordes.

1.3.4.2 Textura.

Representa que tan lisa o rugosa es la superficie del agregado. Es una característica ligada a la absorción, pues agregado muy rugosos tiene mayor absorción que los lisos. Además que producen concretos menos plásticos pues se incrementan la fricción entre partículas dificultándolos el desplazamiento de la masa.²⁶

1.4 AGUA.

Es una sustancia esencial para todo tipo de vida y actividad humana. Su uso se ha extendido en gran magnitud, tal que todas las industrias hacen uso de ella de manera directa o indirecta. Por tanto, la industria de la construcción no es ajena y emplea este elemento durante la elaboración del concreto, de dos formas: como agua para el proceso de mezcla e hidratación y como agua para el proceso de curado.

1.4.1 Agua para mezcla.

En muchas especificaciones, la calidad del agua se considera en una cláusula que establece que esta debe ser apta para beber. Esta agua muy rara vez contendrá sólidos disueltos por sobre las 2000 ppm y por lo general 1000 ppm para una relación agua/cemento de 0.5 por masa, el segundo contenido

corresponde a una cantidad de sólidos igual a 0.05% de la masa de cemento; así cualquier efecto de los sólidos comunes (considerados como agregado) sería pequeño. Si el contenido de sedimentos es mayor de 2000 ppm, puede reducirse permitiendo que el agua permanezca en un depósito para que se asiente. También el agua empleada para lavar las mezcladoras es satisfactoria para mezcla debido a que los sólidos que contienen son ingredientes adecuados para el concreto, a condición que haya sido adecuada desde el principio. La Norma ASTM C 94-83 permite el uso de agua de lavado, pero, desde luego, los cementos y aditivos diferentes para mezcla no deben revolveerse.

El criterio de potabilidad de agua no es absoluto: el agua para beber debe ser adecuada para mezcla cuando tenga concentración alta de sodio o potasio, por el peligro de una reacción álcali-agregado.

El agua potable es por lo general segura, pero también la no potable suele ser adecuada para elaborar mortero. Como regla, cualquier agua con un pH de 6.0 a 8.0, que no sepa salada o salobre es útil; el color oscuro o un cierto olor no indican necesariamente la presencia de sustancias deletéreas.

Las aguas naturales ligeramente acidas son inofensivas, pero las que contengan ácido húmico u otros ácidos orgánicos pueden afectar negativamente el endurecimiento del concreto; estas aguas, así como las muy alcalinas, deben ser probadas previamente.

El agua de mezcla en el concreto tiene tres²⁶ funciones principales:

- Reaccionar con el cemento para hidratarlo.
- Actuar como lubricante para contribuir a la trabajabilidad del conjunto.
- Procurar la estructura de vacíos necesaria en la pasta para que los productos de hidratación tengan espacios para desarrollarse.

Por lo tanto, la cantidad de agua que interviene en la mezcla del concreto es normalmente por razones de trabajabilidad, mayor de la necesaria para la hidratación del cemento.

El cuadro N° 1.10, muestra los valores permisibles para el agua de mezcla o curado.

Cuadro N° 1.10: Límites permisibles de la calidad del agua para su uso en mezclas y curado según la Norma NTP 339.088.

ID.	DESCRIPCIÓN	LIMITE PERMISIBLE (MÁXIMO)
1	Sólidos en suspensión	5000 p.p.m
2	Materia orgánica	3 p.p.m
3	Alcalinidad (NaHCO ₃)	1000 p.p.m
4	Sulfatos (Ión SO ₄)	600 p.p.m
5	Cloruros (Ión Cl ⁻)	1000 p.p.m
6	PH	5 a 8

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 339.088.¹¹

1.4.2 Agua para curado.

En general, los mismos requisitos que se exigen para el agua de mezcla deben ser cumplidos por las aguas para curado, sin embargo, el hierro y la materia orgánica pueden ocasionar manchas especialmente si el agua fluye lentamente sobre el concreto y se evapora con rapidez. En algunos casos la decoloración es insignificante y cualquier agua adecuada para mezcla, incluso de calidad ligeramente menor, es adecuada para curado, es esencial que este libre de sustancias que ataquen al concreto endurecido, por ejemplo el CO₂ libre. El flujar de agua pura proveniente del deshielo o de condensación, con poco CO₂, disuelve el Ca(OH)₂ y provoca erosión de la superficie.²⁵

No obstante lo mencionado, el agua para curado permanece relativamente poco tiempo en contacto con el concreto por lo que las limitaciones pueden ser menos exigentes que el agua para mezcla, pudiendo aceptarse reducirlas a la mitad en la mayoría de los casos.

1.4.3 Pruebas al agua.

Una forma simple para determinar la conveniencia de emplear cierta agua para mezcla consiste en comparar el tiempo de fraguado del cemento como la resistencia de cubos de mortero hechos empleando esa agua, con los resultados correspondientes empleando agua conocida "adecuada" o destilada. No hay diferencias significativas entre el comportamiento del agua destilada y el agua

potable común. La Norma NTP 339.088 sugiere una tolerancia de 10%, que permita variaciones en la resistencia y 25% en el tiempo de fraguado.

Mediante análisis químico no se puede determinarse si se produciría manchado debido a impurezas del agua para curado lo cual debe confirmarse con una prueba de funcionamiento que incluya mojado simulado y evaporación.²⁵

1.5 PROPIEDADES DEL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.

Durante la etapa de fabricación del concreto, es también importante mantener un control sobre la calidad de la mezcla, es decir determinar las propiedades del concreto en estado fresco tales como: peso unitario, consistencia, fluidez, tiempo de fragua y exudación.¹

1.5.1 Peso unitario compactado (NTP 339.046).

El peso unitario del concreto compactado, es el peso por unidad de volumen en estado fresco. Varía según el grado de compactación de la mezcla, del peso específico de los componentes, del porcentaje de aire o de vacíos. Un concreto normal, empleado en construcciones en general varía el peso unitario desde los 2240 y 2400 kg/m³¹. El peso unitario compactado se determina según la fórmula:

$$PUC = \frac{\text{Peso compactado del agregado}}{\text{Volumen unitario}}$$

1.5.2 Consistencia (NTP 339.035).

Se define como su capacidad para fluir. Para medir el grado de consistencia no existe un procedimiento de aceptación general. En la práctica se recurre normalmente a dos modos para expresar los grados de consistencia de las mezclas de concreto:

-En términos descriptivo, basado en la apariencia de la mezcla de concreto y el comportamiento que exhibe al ser manipulado. En tal caso se dice que la mezcla es fluida, plástica o dura.

-En términos cuantitativos, expresados como base en los resultados de alguna prueba específica, por ejemplo, mediante el ensayo de revenimiento o compactación con el aparato de Vebe.

El gráfico N° 1.1, muestra la consistencia del concreto en estado fresco en función al revenimiento obtenido.

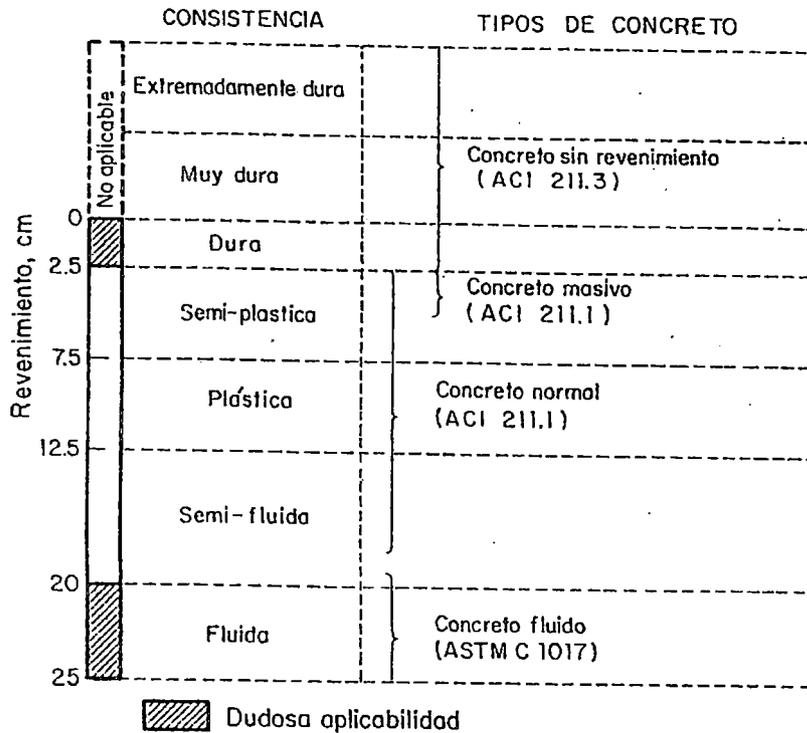


Gráfico N° 1.1: Consistencia del concreto fresco. Fuente: Comisión Federal de Electricidad, "Manual de tecnología del concreto", México, 2004.⁵

Según lo descrito en el gráfico definimos lo siguiente:

Concreto fluido: es el concreto que se produce mediante la incorporación de aditivos plastificantes sin perder su naturaleza cohesiva. Por tanto se obtendría revenimientos mayores a 8".

-**Concreto normal, o convencional:** Para el diseño de estas mezclas se requiere revenimientos que puedan variar entre 1" y 5", en consecuencia abarca las zonas de consistencia semifluida, plástica y semi plástica.

-**Concreto masivo:** Se recomienda revenimientos entre 1" y 2", por consiguiente le corresponde situarse en la zona de consistencia semi plástica.

-**Concreto sin revenimiento:** En el cual el revenimiento es como máximo 1". Por consiguiente le corresponde ubicarse en la zona de consistencia dura, muy dura y extremadamente dura.

En la determinación de la consistencia, usualmente se establecen tres tipos de revenimiento:

-Normal o verdadero: el cual es propio de una mezcla rica y con una adecuada cantidad de agua. El concreto no sufre grandes deformaciones, sus componentes se mantienen unidos debido a las propiedades cohesivas del cemento.

-Corte: esta forma de asentarse es producto de la deficiencia de cohesividad. Esta mezcla de concreto, puede manifestar tendencia a segregar.

-Derrumbamiento: el cual se produce cuando la mezcla del concreto tiene exceso de agua y poca cantidad de agregado fino. Por tanto la mezcla sufre un revenimiento brusco.

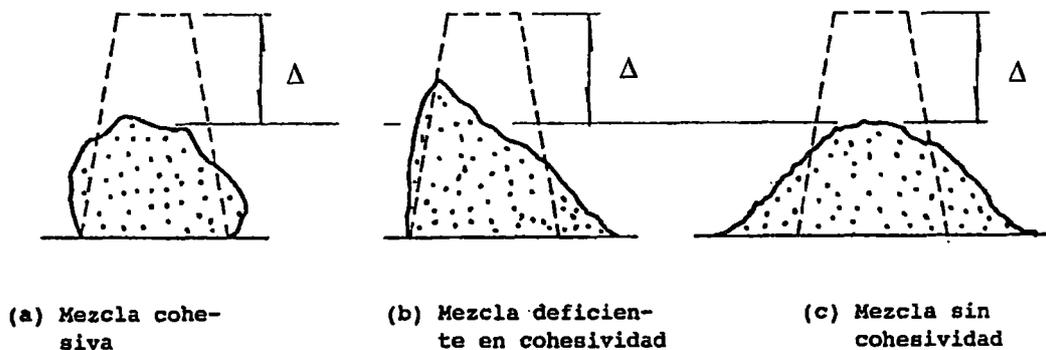


Figura N° 1.2: Tipos de revenimiento. Fuente: Comisión Federal de Electricidad, "Manual de tecnología del concreto", México, 2004.⁵

Se debe tomar en cuenta que el ensayo de revenimiento solo es aplicable a mezclas plásticas, con revenimientos verdaderos por consiguiente no son aplicables en los siguientes casos:

- Tamaño máximo del agregado grueso es mayor a 2.1/2".
- Diseño con cantidad de cemento menor a 250 kg/m³ y/o 160 lt/m³.
- En mezclas de concreto de alta resistencia.

1.5.3 Fluidez (NTP 339.046).

Es la capacidad que tiene el concreto para comportarse como un fluido en determinadas circunstancias. Se determina experimentalmente mediante el ensayo conocido como mesa de sacudidas.

Para ejecutar el ensayo se coloca un molde troncocónico con mezcla compactada al ras sobre la mesa. El cual una vez retirado el molde en forma vertical se le aplica 15 sacudida en 15 segundos. Terminado el proceso se verá la mezcla dependiendo de su grado de fluidez, una masa extendida. El cual deberá compararse con el diámetro original. Se considera que el concreto es fluido si el diámetro extendido es 2.5 veces su diámetro inicial, y conforme a la Norma inglesa BS 1881, este diámetro es equivalente a un revenimiento del orden de 7".

1.5.4 Tiempo de fragua (NTP 339.082).

El concreto recién elaborado, es un material que en pocas horas se transforma y cambia de estado, desde su condición inicial de masa blanda uniforme hasta la de un cuerpo rígido que toma la forma del molde que lo contiene. Después continúa evolucionando para adquirir con el tiempo sus propiedades definitivas.

En el proceso evolutivo se distinguen tres principales etapas:

- El lapso anterior al fraguado, durante el cual se manifiesta como una mezcla relativamente blanda y moldeable, en función de la consistencia con que se elabora.
- El lapso de fraguado, en cuyo curso la mezcla aumenta progresivamente de consistencia, para convertirse en una masa rígida que ya no es moldeable, pero que aun no adquiere resistencia mecánica apreciable.
- El lapso posterior al fraguado, que corresponde a la etapa de endurecimiento propiamente dicho, en la que el concreto evoluciona para adquirir la resistencia mecánica.

Dado que estos cambios de estado son consecuencia de un proceso único, designado como hidratación del cemento y que en condiciones normales evoluciona sin pausas, no es posible precisar los límites de las etapas mencionadas más aun entre la segunda y tercera etapa.

Al seguir el proceso de rigidización del concreto en sus dos primeras etapas por el método de las agujas de penetración (ASTM C403) se obtiene una evolución según el gráfico N° 1.2.

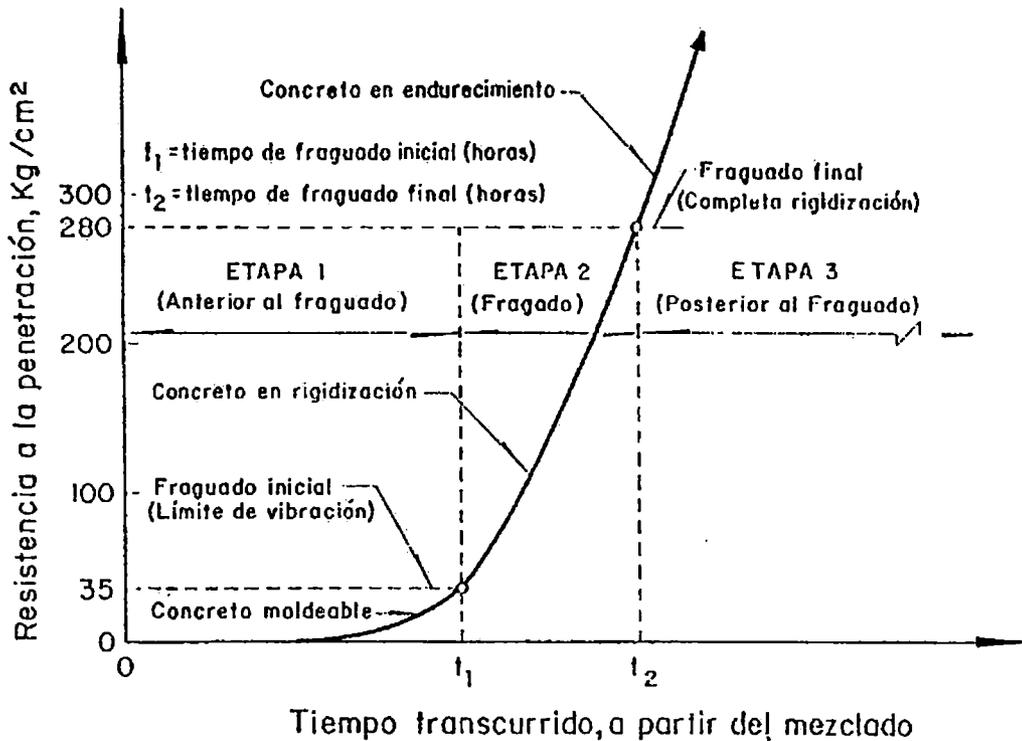


Gráfico N° 1.2: Evolución de la resistencia axial del concreto. Fuente: Comisión Federal de Electricidad, "Manual de tecnología del concreto", México, 2004.⁵

En el trabajo experimental que sirvió como base para el desarrollo del método de las agujas, estableció que el concreto puede ser moldeado o re moldeado a un grado de consistencia menor al estado definido por una resistencia a la penetración de 35 kg/cm² (500lb/pulg²), el cual se designa como estado de fraguado inicial. De esta manera, la adquisición de dicha resistencia a la penetración representa el final de la primera etapa y el inicio de la segunda. Si se sigue el mismo método, se considera que cuando el concreto alcanza una resistencia a la penetración de 280 kg/cm² (4000lb/pulg²), es síntoma de haber llegado a un completo estado de rigidización que se designa como fraguado final en el cual su resistencia a la compresión es muy reducida pues suele alcanzar el orden de los 7 kg/cm². Para fines prácticos se considera que esta resistencia a la compresión es nula y que la adquisición de una resistencia a la penetración igual a 280 kg/cm² representa el estado en que el concreto comienza a adquirir endurecimiento propiamente dicho.

Respecto a los factores que influyen en el desarrollo del fraguado del concreto tenemos al tipo de cemento, la relación agua/cemento, el empleo de aditivos, temperatura del medio ambiente.

1.5.5 Exudación (NTP 339.077).

Cuando la mezcla compactada se encuentra en reposo, se inicia un proceso físico de reacomodo de sus componentes por efectos de la fuerza de gravedad, según el cual los más pesados tienden a descender y los más ligeros permanecen en su posición o son forzados a ascender hacia la masa superior del concreto.

La exudación es un hecho natural que puede ser o no perjudicial, dependiendo de su cuantía, de las características geométricas de la estructura y de las condiciones ambientales.

Para que la utilidad del sangrado sea efectiva, es necesario que la velocidad con que se produzca el sangrado no resulte menor que la velocidad con que se evapora el agua en la superficie del concreto.

Existe un tipo de sangrado anormal que se produce cuando existe exceso de agua libre que al ser forzada a ascender a través del concreto, forma hendiduras o canalizaciones en el contacto del agregado y la pasta por donde emerge hacia la superficie arrastrando partículas de cemento y que al depositarse en la superficie se genera una costra fácilmente desprendible. También es frecuente que una parte del exceso de agua quede atrapada entre el agregado y el refuerzo de acero, formando bolsas que impiden la correcta adherencia entre la pasta y el acero. Como consecuencia el concreto endurecido resulta afectado en su mayor impermeabilidad, resistencia mecánica, resistencia superficial y durabilidad general.

El gráfico N° 1.3, muestra cómo evoluciona normalmente el proceso de sangrado, a partir del momento en que el concreto termina de ser compactado y queda en estado de reposo, y en ella se muestra tres aspectos que permiten caracterizar y evaluar dicho proceso:

- La velocidad con que emerge el agua en la superficie.
- La capacidad de sangrado representada por la cantidad total de agua emergida por unidad de superficie.
- La duración del sangrado que corresponde al lapso en que permanece aflorando el agua en la superficie.

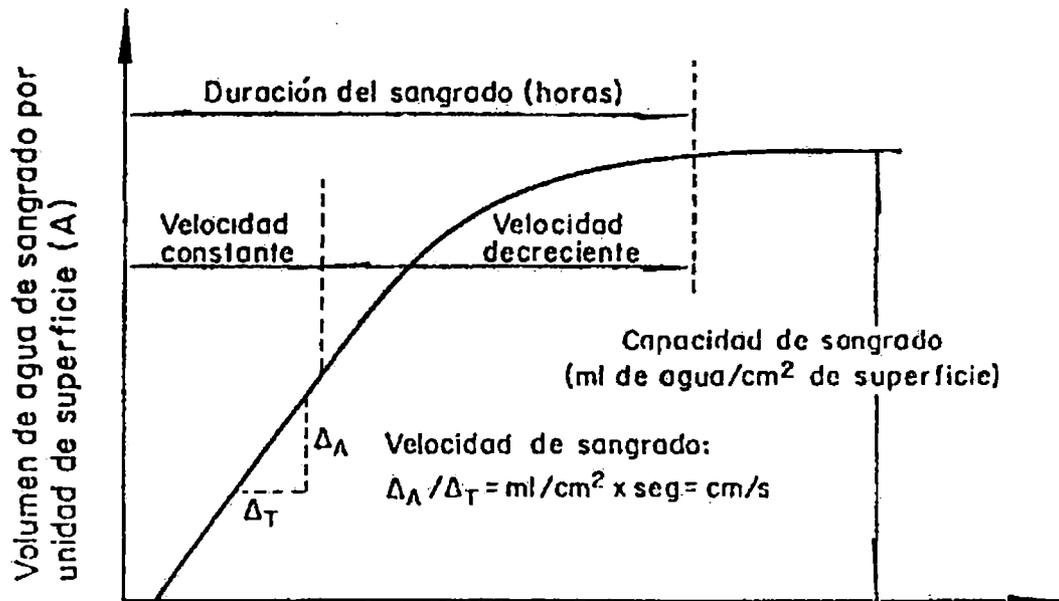


Gráfico N° 1.3: Exudación del concreto en estado fresco. Fuente: Comisión Federal de Electricidad, "Manual de tecnología del concreto", México, 2004.⁵

Del gráfico N° 1.3, se advierte que hay un periodo inicial en que el volumen de agua de sangrado es proporcional al tiempo transcurrido, definiéndose así una velocidad constante de sangrado, a continuación hay un segundo periodo en que la velocidad de sangrado decrece paulatinamente hasta volverse nula, es decir hasta que cesa completamente el afloramiento de agua en la superficie. Se menciona que para concretos de consistencia plástica, la velocidad de sangrado normal puede variar entre 20 y 120×10^{-6} cm/seg, en tanto que la velocidad de evaporación del agua para condiciones usuales de temperatura y humedad ambiente y de velocidad del viento, suele fluctuar entre cero y 100×10^{-6} cm/seg.

Para corregir el exceso de sangrado suelen tomarse las siguientes medidas:

- Empleo de cementos de alta finura, como el Portland tipo I o puzolanico.
- Incrementar el consumo unitario de cemento, si las condiciones técnicas y económicas lo permiten.

- Disminuir el contenido unitario de agua en la mezcla, ya sea disminuyendo el revenimiento y/o el uso de aditivo reductor de agua.
- Incluir aire intencionalmente en la mezcla de concreto, en proporción adecuada, empleando un aditivo inclusor de aire.
- Aumentar la proporción de agregado fino en la mezcla.
- Corregir la granulometría del agregado fino, empleando o combinando con un agregado más fino.

1.6 PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO.

La resistencia del concreto es comúnmente considerada como la característica más valiosa, aunque en muchos casos son otras, como la durabilidad, impermeabilidad y estabilidad de volumen, las que pueden también ser importantes.

La resistencia del concreto está íntimamente relacionada con la presencia de grietas, discontinuidades y poros. También se acepta que la resistencia del concreto varía en función a los siguientes:

- La marca, tipo, antigüedad, superficie específica y composición química del cemento.
- La calidad del agua.
- La dureza, resistencia, perfil, textura superficial, porosidad, limpieza, granulometría, tamaño máximo y superficie específica del agregado.
- Las adiciones minerales empleadas.
- Los aditivos químicos empleados.
- La resistencia de la pasta.
- La relación del agua libre de la mezcla al material cementante.
- La relación material agua/cemento.
- La relación del agregado fino al agregado grueso.
- La relación de la pasta a la superficie específica del agregado.
- La porosidad de la pasta.
- La permeabilidad del concreto.
- El grado de hidratación del cemento.
- Las condiciones del proceso de puesta en obra.

En 1919, Duff Abrams estableció experimentalmente que la resistencia a la compresión es función de la relación agua/cemento en forma más significativa

que otras variables como la calidad de los agregados, la compacidad. A su vez aumenta con el tiempo y depende del estado de humedad durante el tiempo de depósito.

1.6.1 Resistencia a la compresión axial (NTP 339.034).

La resistencia mecánica del concreto frecuentemente se identifica con su resistencia a compresión, porque esta representa la condición de carga en que el concreto exhibe su mayor capacidad para soportar esfuerzos, de modo que la mayoría de las veces los elementos estructurales se diseñan con el fin de utilizar esta propiedad del concreto.

Esta determinación se efectúa mediante el ensayo hasta la ruptura de especímenes representativos, con tres finalidades principalmente:

- Comprobar si las previsiones que se hacen la diseñar una mezcla de concreto son adecuadas para cumplir con la resistencia del proyecto.
- Controlar la uniformidad de las resistencias y ajustarlas al nivel requerido durante la producción del concreto, y
- Verificar la resistencia del concreto como se encuentra en la estructura.

Las dos formas geométricas que normalmente se utilizan en los especímenes que se elaboran para determinar la resistencia a la compresión son la cubica y la cilíndrica. El cubo es la forma geométrica que se usa en varios países de Europa, mientras que en países como EEUU, Canadá, México y otros, se emplean el espécimen cilíndrico con una altura igual al doble del diámetro.

En cuanto a las dimensiones del espécimen, La Norma ASTM C31, señala que el uso del cilindro cuyas dimensiones son las siguientes: Diámetro = 6" y Altura = 12". Siempre en cuando el agregado grueso tenga un tamaño máximo de 2" y en caso que el agregado supere tal tamaño deberá los especímenes tener mayores dimensiones.

La resistencia a la compresión se puede definir como la máxima resistencia medida de un espécimen de concreto o de mortero a carga axial.

$$\text{Resistencia a la compresión axial del concreto} = \frac{P}{A}$$

Donde

P: Carga de rotura máxima, en kg.

A: Área de la sección, en cm².

1.6.2 Resistencia a la tensión (NTP 339.084).

El concreto endurecido se manifiesta en los ensayos bajo carga de corta duración como un material de tendencia frágil, pues su ruptura se produce con una deformación unitaria relativamente reducida: entre 100 y 200 millonésimas a tensión o tracción, y entre 2000 y 4000 millonésimas a compresión, según su grado de resistencia; y esta diferente deformación a tensión y compresión puede verse como una manifestación de lo heterogéneo de su composición que le confiere el carácter de cuerpo anisotrópico.

Tomando estas consideraciones, al diseñar las estructuras se procura que el concreto no trabaje a tensión directa; sin embargo casi siempre es inevitable que el concreto de la estructura deba soportar ciertos esfuerzos a tensión, ya sea como consecuencia de determinadas condiciones de carga que involucren flexión y cortante, o como resultado de las contracciones que se producen en el concreto por secado o por temperatura, en condiciones que la restringen.

Para determinar la resistencia del concreto a la tensión se aplica hasta tres tipos de pruebas.

-Prueba de tensión directa, el cual se realiza a especímenes cilíndrico o prismáticos, bajo una carga de tensión axial.

-Prueba de tensión indirecta, el cual se realiza a especímenes cilíndricos, bajo una carga de compresión diametral.

-Prueba de tensión por flexión, el cual se realiza a especímenes prismáticos (vigas), bajo una carga concentrada en el centro del claro, o con dos cargas concentradas iguales aplicadas en los tercios del claro.

Para determinar la resistencia del concreto a la tensión en el presente trabajo, se aplicara la prueba a la tensión indirecta según la figura N° 1.3.

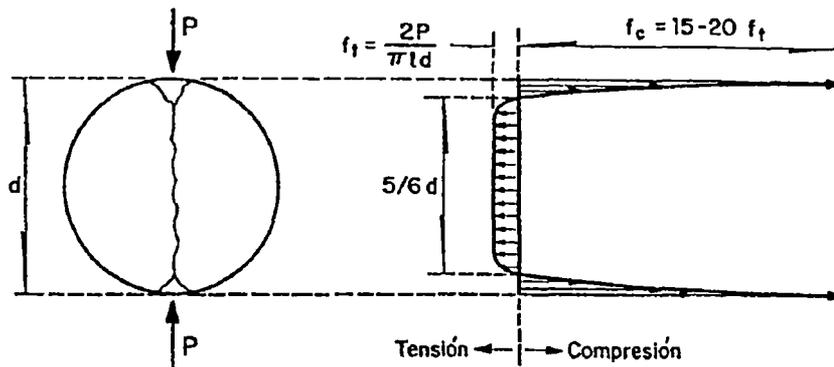


Figura N° 1.3: Resistencia a la tracción por compresión diametral. Fuente: Comisión Federal de Electricidad, "Manual de tecnología del concreto", México, 2004.⁵

En los agregados de peso y calidad normal suelen estar constituidos por fragmentos de rocas cuya resistencia mecánica (a compresión y tensión) es superior a la que se pretende en el concreto convencional, por tal motivo, en la ruptura del concreto por esfuerzo de tensión es usual que la falla ocurra a través de la pasta de cemento y/o en el contacto de esta con el agregado.

Un factor importante que tiende a producir variaciones significativas en la determinación de la resistencia del concreto a tensión, es el grado de humedad del concreto en el momento del ensayo. El concreto completamente seco manifiesta mayor resistencia a tensión que en estado saturado, tanto si se le ensaya a tensión directa como a tensión por flexión, pero que hallándose parcialmente seco puede disminuir hasta un 40% de su resistencia a tensión en estado saturado. Por consiguiente es necesario que los especímenes tuvieran similares condiciones de humedad.

La determinación de la resistencia a tensión puede conducir a resultados diferentes. En condiciones comparables, la prueba de tensión directa produce una resistencia más baja y la prueba de tensión por flexión la más alta resistencia. Mientras que la resistencia indirecta queda en una posición intermedia.

1.6.3 Absorción (NTP 339.187).

La absorción, ocurre principalmente por la acción capilar. Un gran número de factores influyen en la absorción, como el número de poros de cara a la fuente de agua: a mayor número también será mayor la absorción. El tamaño y la

interconexión de los poros. También la propia naturaleza absorbente de las partículas del agregado así como la pasta de cemento.

Es conveniente hacer constar que la saturación de un material poroso no implica necesariamente que todas las cavidades se hayan llenado de agua. Entre otras cosas, porque es imposible que el agua penetre en los poros cerrados. Por otra parte la distribución de poros puede hacer que algunos de estos poros queden llenos de aire, imposibilitando la entrada de agua.

Es importante observar que cuando se examinan en laboratorio la saturación de un material, se emplea varios métodos para extraer todo el aire (excepto el aire de los poros cerrados).

Todos los materiales con cierto grado de porosidad contienen cavidades o espacios de aire. La estructura real y en cierto grado el comportamiento físico del material, viene determinados por la distribución de los poros que varía mucho de unos a otros materiales. El concreto tiene poros irregulares en forma, en tamaño y en número. Una importante característica es que los poros en casi todos los materiales tienden a formar capilares irregulares.

La influencia de los poros es tal que la densidad volumétrica, así como el peso específico y la resistencia, dependen de la cantidad de vacíos presentes. De tal forma que si se incrementa la porosidad disminuye la densidad volumétrica, el peso específico y la resistencia.

Para determinar la absorción después de la inmersión, se sigue el procedimiento descrito en la NTP 339.187. Se calcula según la fórmula siguiente:

$$\text{Absorción después de la inmersión} = \frac{(B - A)}{A} \times 100\%$$

Donde:

A: Masa de la muestra seca, en kg.

B: Masa de la muestra saturada superficialmente seca, después de la inmersión, en kg.

*Capítulo **II***

**RECICLADO DE MATERIALES
DE CONSTRUCCIÓN**

CAPÍTULO II: RECICLADO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

2.1 GENERALIDADES.

Actualmente es ampliamente conocida la teoría que relaciona el desarrollo económico con el consumo de recursos naturales y la generación de residuos, cuya disposición incontrolada supone una serie de impactos entre los que destacan la afectación al medio natural. Esta teoría es aplicable a casi todos los sectores económicos por tanto la construcción y la demolición no son excepciones.

En el desarrollo de nuevas infraestructuras ha requerido la desaparición de las previamente existentes. Como consecuencia se producen una serie de impactos ambientales tanto desde la perspectiva del consumo de áridos y agua por ejemplo, como de la generación de residuos tales como hormigón, chatarras, madera, plásticos. A partir de esta situación de deterioro gradual, en 1987 ve la luz un informe, dirigido por Gro Harlem Brundtland -Primera Ministra de Noruega- para la comisión mundial sobre medio ambiente y desarrollo, en el que aparece por primera vez el concepto de desarrollo sostenible, es decir, asegurar que se satisfagan las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias. Esta teoría aplicada al ámbito de los residuos, genera la concepción de que un país desarrollado no es aquel que más residuos genera, si no como el que menos genera, o por lo menos, como que el que mejor los trata.

En síntesis se debe practicar una correcta gestión de la provisión y del stock de materiales durante la construcción, retirada previa de los materiales reutilizables, antes de una demolición, correcta separación y gestión de los residuos. La aplicación práctica no es tan sencilla, pero desde hace algunos años algunas iniciativas públicas y privadas empezaron a tomar forma.

2.2 RECICLADO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

2.2.1 Reciclado de los residuos de construcción y demolición (RCD) en Europa.

En Europa, en respuesta a la necesidad de dotación de infraestructura no ha tomado en cuenta recién hasta hace poco sobre la necesidad de gestionar correctamente los residuos provenientes de los construcciones y demoliciones.

La preocupación medioambiental y los principios del ordenamiento, han sido factores claves para que en los últimos años se desarrollen iniciativas encaminadas al reciclado de estos residuos. Los objetivos medioambientales de fomento a la reducción, reutilización, reciclado y valorización de residuos se centran para los residuos de construcción y demolición principalmente en el reciclado, ya que la mayor parte de estos residuos necesitan de procesos y tratamientos previos con tecnologías adecuadas, para lograr que los productos reciclados cumplan con los requisitos técnicos necesarios para su utilización en la construcción.

La actual legislación en materia de residuos producida por los Órganos de la Unión Europea tiene sus cimientos en la Estrategia Comunitaria de Residuos de fecha 7 mayo de 1990 en la que se establecen la política comunitaria sobre residuos.

A continuación, el gráfico N° 2.1, muestra que Alemania produce cerca de 60 millones de toneladas de residuos de la construcción y demolición. Reino Unido, Francia y España, entre 30 y 40 millones. Italia, y Holanda, con 20 millones y 10 millones respectivamente. Cerrando el cuadro están Bélgica, Austria, Portugal, Dinamarca y Otros que van entre 0 a 10 millones de toneladas.

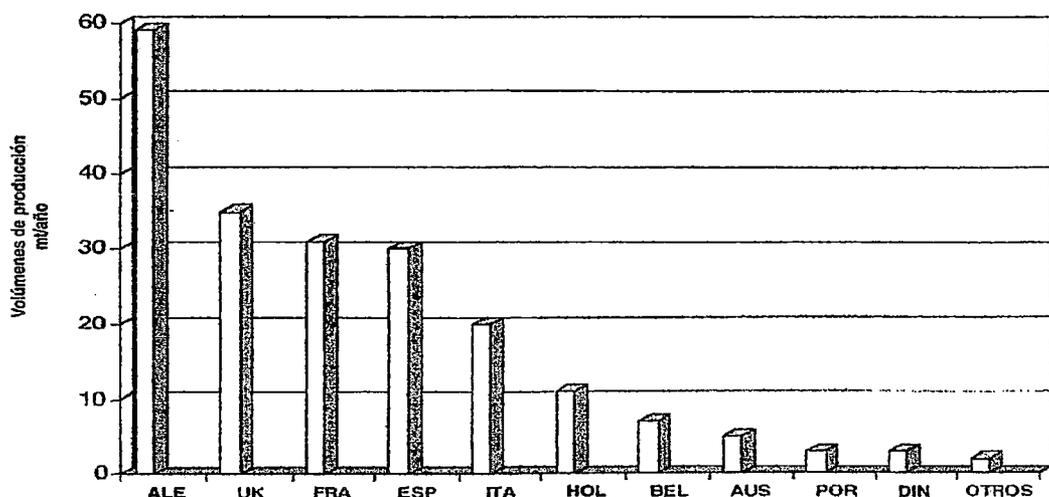


Gráfico N° 2.1: Producción de residuos de la construcción y demolición en el Unión Europea, año 2002. Fuente: Autores varios, "Manual de Demoliciones, Reciclado y Manipulación de materiales", Fuego y editores, Madrid - España, 2008.²

El gráfico N° 2.2, muestra los valores porcentuales del reciclaje con respecto a la producción de residuos de la construcción y demolición:

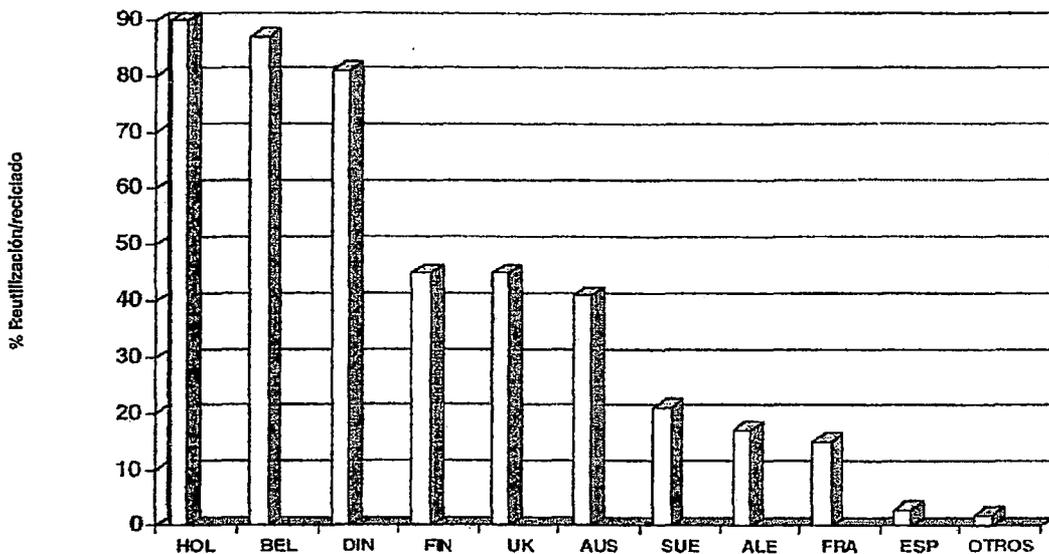


Gráfico N° 2.2: Reutilización o reciclado de residuos de la construcción y demolición en la Unión Europea en el año 2002. Fuente: Autores varios, "Manual de Demoliciones, Reciclado y Manipulación de materiales", Fuego y editores, Madrid - España, 2008.²

En el anterior gráfico, Holanda, Bélgica y Dinamarca, que superan la cifra del 80% de reciclaje para la fracción de hormigón, ladrillos, tejas, dentro de la corriente básica de residuos de la construcción y demolición, y en concreto, Holanda y Bélgica, mantienen este altísimo grado de reciclaje para el resto de las fracciones que componen la corriente de residuos básica, reciclando también el 100% del asfalto procedente del residuo de construcción de carreteras. Este elevado porcentaje de reciclaje se debe principalmente, a la escasez de materias primas para la obtención de áridos vírgenes, y la dificultad de encontrar emplazamientos para vertederos, unidas a otras medidas de carácter legal y económico.

Por otro lado, Finlandia, Austria y el Reino Unido, reciclan el 40 - 45% de los residuos básicos de construcción y demolición y entre el 50% y el 76% (Austria y Finlandia) de la corriente de hormigón, ladrillos, tejas. Los factores que en estos países han impulsado el reciclaje, residen en una política de gestión de residuos que ha utilizado instrumentos de tipo económico (impuestos sobre el vertido) y

legales (obligación de demoler selectivamente, acuerdos voluntarios, planificación y control).

En tanto Suecia, Alemania y Francia, reciclan el 15% - 20% de los residuos básicos de construcción y demolición. La baja cuota de reciclaje en Alemania contrasta con el elevado número de machacadoras operativas que hay en este país (1.000 con capacidad media de triturar 120.000 T/año). Lo contrario sucede con los datos para el Reino Unido, donde se estiman solamente entre 50 -100 machacadoras y sin embargo reciclan en tomo al 45% de los Residuos de la construcción y demolición.

Italia e Irlanda, reciclan entre el 6% y el 9% de los residuos de la construcción y demolición básicos y están impulsando el reciclaje de estos residuos.

Finalmente, Portugal, Grecia y España, presentan una situación de reciclaje que puede calificarse de marginal.

2.2.2 Distintas normativas sobre los agregados reciclados.

El problema ambiental planteado por los residuos de la construcción y demolición se deriva fundamentalmente de dos circunstancias: el creciente volumen de generación y el tratamiento inadecuado que generalmente se les da. Este hecho ha generado que en los últimos años se haya iniciado un impulso legislativo que se encuentra en diferente nivel de desarrollo e implementación dependiendo del país, debido a razones de índole ambiental, económica, política y cultural.

Estados Unidos de Norteamérica.

Aunque no existen normas específicas al respecto si existen otras que se utilizan como base para determinar las propiedades de los agregados reciclados. Actualmente el comité 555 de ACI elabora un documento para normalizar la utilización de agregados reciclados en concreto.

Japón.

Los agregados reciclados se clasifican en tres categorías. El agregado reciclado de mayor calidad se le denomina con la letra H, el de calidad intermedia con la

letra M y el de más baja calidad con la letra L. Regulados, respectivamente, por las normas JIS A 5021, JIS A 5022 y JIS A 5023 puestas en circulación entre los años 2005 y 2007.

Australia.

En 2002, el Ministerio de Medio Ambiente y Patrimonio en colaboración con el CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation) elaboró una guía nacional para la utilización de concreto reciclado. En dicha guía los agregados reciclados se clasifican en agregados reciclados de:

- Clase 1, se utilizan para la fabricación de concreto.
- Clase 2, se utilizan como material de relleno y como bases y sub-bases en carreteras y pavimentación. Se les exige a ambos una absorción inferior al 6% y una densidad mínima de 2100 kg/m³.

Alemania.

La norma DIN 4226-100 clasifica los agregados reciclados en cuatro categorías diferentes:

- Tipo 1: Son agregados que proceden mayoritariamente de residuos de concreto 90 %, ladrillo y arenisca caliza del 10%.
- Tipo 2: Son agregados mayoritariamente de residuos de concreto en con un porcentaje mínimo del 70%. Presentan un contenido máximo de clinker, ladrillo y arenisca caliza del 30%.
- Tipo 3: Son agregados que en su mayoría proceden de residuos cerámicos en una proporción mínima del 80%. Presentan un contenido máximo de materiales procedentes de concreto 20%.
- Tipo 4: Son agregados que en su mayoría proceden de una mezcla de residuos de la construcción y demolición con un contenido mínimo del 80% de material procedente de concreto u productos cerámicos (mezcla de ambos).

Reino Unido.

La norma BS-EN 206-1 clasifica el agregado reciclado en dos tipos diferentes:

- RCA: Agregado reciclado procedente de residuos de concreto con un contenido máximo de impurezas como material cerámico, partículas ligeras, asfalto, vidrio, plástico, del 17% (o sea 83% concreto). La resistencia máxima recomendable del

concreto fabricado con este tipo de agregado no superará los 40 N/mm² (407.87 kg/cm²).

-RA: Agregado reciclado procedente de materiales cerámicos o mezclado con concreto. Se utiliza en concretos pobres con resistencias a compresión que no llegan a los 20 N/mm² (203.94 kg/cm²).

España.

En Julio de 2008, se publica, la nueva EHE-08. Entre los aspectos fundamentales se hecho la incorporación a la Instrucción de nuevos concretos como los reciclados. Entre ellas destacamos aquellas que inciden en las características del agregado reciclado tales como: Excluye los agregados finos reciclados para la fabricación de concreto. Así como no permite la fabricación de concreto con agregados reciclados afectados por patologías que afecten a su calidad tales como ataque por sulfatos, fuego, provengan de concretos especiales como el aluminoso, con fibras, polímeros. El tamaño del agregado permitido será de 4 mm presentando como máximo un 5% en peso de partículas que pasen por dicho tamiz. Cuando la sustitución de agregado grueso por agregado reciclado no supere el 20%.

Por último, el contenido de material cerámico no deberá exceder del 5% en peso del total de la muestra, las partículas ligeras en el 1%, el asfalto en el 1% y otros materiales como vidrio, plásticos, metales, en el 1%.

Brasil.

Se instala la primera planta de reciclaje de residuos de la construcción y demolición a partir de la resolución emitida por CONAMA N° 307/2002, el cual entra en vigencia el 2003, y establece directrices, criterios y procedimientos para la gestión de los residuos de la construcción y demolición. Dicha Resolución clasifica los residuos en 4 clases:

- Clase A: son los residuos reutilizables o reciclables como agregados, tales como construcción, demolición y reparación.
- Clase B: son los residuos reciclables para otros destinos, tales como plástico, papel/cartón, metales, vidrios, maderas y otros.
- Clase C: son los residuos sin aplicaciones económicamente viables que permitan su reciclaje, tales como los productos de yeso.

-Clase D: son los residuos peligrosos originados de procesos de construcción, tales como tintas, solventes, oleos y otros o aquellos residuos que provienen de reformas de clínicas radiológicas o instalaciones industriales.

Además de la normativa de alcance nacional, se han elaborado algunas normas técnicas para establecer los requisitos básicos de utilización de agregados reciclados, que se menciona en el cuadro N° 2.1.

Cuadro N° 2.1: Normas técnicas para la gestión de los residuos de la construcción civil (RCC) en Brasil.

NORMA	TITULO
NBR 15.112/04	RCC y residuos voluminosos. Áreas de transferencia y triaje. Directrices para proyecto, implantación y operación.
NBR 15.113/04	Residuos sólidos de la CC y residuos inertes. Vertederos. Directrices para proyecto, implantación y operación.
NBR 15.114/04	Residuos sólidos de la CC. Áreas de reciclaje. Directrices para proyecto, implantación y operación.
NBR 15.115/04	Agregados reciclados de Residuos sólidos de la CC. Ejecución de base de pavimentos. Procedimientos
NBR 15.116/04	Agregados reciclados de Residuos sólidos de la CC. Utilización en pavimentos y preparación de hormigones sin función estructural.

Fuente: Manual de Gestión de Residuos de Construcción Civil. Gusmao, A.D (2008).

México.

El año 2004 se pone en funcionamiento la primera planta de reciclaje.

La Ley General para la prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR 2003), clasifica a los residuos de la construcción y demolición dentro de los residuos de manejo especial. El artículo 26 tiene una gran connotación en la industria de la construcción, enuncia que los propietarios, directores, responsables de obras, contratistas y encargados de inmuebles en construcción o demolición, son responsables por la gestión de residuos y establece la obligación de planes de manejo.

El Distrito Federal es el primero en gestionar normas que regulen el vertido de los residuos a través de la norma ambiental NADF-007-RNAT-2004, que establece la clasificación y especificaciones de residuos de la construcción.

A continuación se mencionan la clasificación de los residuos de la construcción y demolición en el cuadro N° 2.2.

Cuadro N° 2.2: Clasificación de los residuos de la construcción y demolición en México.

A. Residuos potencialmente reciclables para la obtención de agregados y material de relleno	B. Residuos de excavación	C. Residuos sólidos
1. Prefabricados de mortero o concreto.	1. Suelo orgánico.	1. Cartón.
2. Concreto simple	2. Suelos no contaminados y materiales arcillosos, granulares y pétreos naturales contenidos en ellos.	2. Metales.
3. Concreto armado.		3. Papel.
4. Cerámicos.		4. Madera.
5. Concretos asfálticos.		5. Plástico.
6. Concreto asfáltico producto del fresado.		6. Residuos de podas, tala y jardinería.
7. Productos de mampostería.		7. Paneles de yeso.
8. Prefabricados de arcilla recocida (ladrillos)	3. Otros materiales minerales no contaminados y no peligrosos contenidos en el suelo.	8. Vidrio.
9. Blocks.		9. Otros.
10. Mortero.		

Fuente: Gaceta oficial del DF de México.

Argentina.

No existe legislación específica sobre las distintas etapas de gestión de los residuos de construcción y demolición. La Ley Nacional N° 25.612/2002 "Presupuestos mínimos de protección ambiental sobre gestión integral de residuos de origen industrial y de actividades de servicio" conceptualiza el término de residuo industrial. En el borrador de su decreto reglamentario se incluye a la actividad de la construcción como una de las industrias que generan residuos de origen industrial (Residuos de la construcción y demolición), por tanto esta sería la primera mención específica sobre los residuos. Siendo una norma base es posible que sobre esta se construya el edificio normativo de la problemática de los residuos industriales.

Chile.

Cuenta con una política de gestión Integral de residuos sólidos aprobada por el Consejo Nacional de Medio Ambiente, año 2005, en el cual expresa la necesidad de contar con una Ley General de residuos.

Para los residuos de construcción y demolición (denominados RESCON en Chile) no se cuenta con reglamentos específicos. Por esta razón en Chile en el año 1998 se comenzó a crear un proyecto denominado Acuerdo de Producción

Limpia (APL). Con este acuerdo se logró avanzar en el control de los residuos de la construcción desde 0% a 50%.

Colombia.

No hay legislación específica en cuanto a gestión de los residuos de la construcción y demolición, aunque se puede mencionar la Resolución 541 Ministerio del Medio Ambiente, del 14 de Diciembre de 1994, por medio de la cual se regula el cargue, descargue, transporte, almacenamiento y disposición final de escombros, materiales, elementos, concretos y agregados sueltos, de construcción, de demolición y capa orgánica, suelo y subsuelo de excavación, pero no establece objetivos ni disposiciones cuantitativas de gestión.

Venezuela.

Se decreta la Ley de Residuos y Desechos Sólidos en 2004, según la cual los estados, distrito metropolitano y municipios deben elaborar el Plan de Gestión Integral de Residuos y Desechos Sólidos. Las competencias en la gestión de los residuos sólidos se tratan en los tres niveles gubernamentales: nacional, estatal o provincial y municipal. No cuenta con legislación específica respecto a los residuos de la construcción y demolición.

Perú.

Los principios de la gestión y manejo de residuos sólidos está establecida según la Ley N° 27314, Ley General de Residuos Sólidos. En el decreto legislativo N° 1065, que modifica la Ley N° 27314 el establece una gestión y manejo de residuos sólidos de la construcción y demolición.

En el reglamento para la gestión de residuos sólidos de la construcción y demolición del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, establece los lineamientos para gestión de los residuos de la construcción y demolición, así como la clasificación según lo siguiente:

- Residuos no peligrosos, tales como ladrillos y cerámicos, suelo, arena, cal, agregados, bloques de concreto, pavimentos.
- Residuos peligrosos, tales como restos de madera tratada, envases de sustancias químicas, restos de tubos, restos de planchas de fibrocemento, pisos de vinilo, asbesto.

Por otro lado, la NTP 400.050 “manejo de residuos de la actividad de la construcción”, establece directrices para un adecuado manejo de residuos de la actividad de la construcción.

Si bien es cierto se han establecido normas o directrices en cuanto a la gestión de residuos, todavía no se implementado alguna planta para el procesamiento de los residuos de la construcción y demolición debido principalmente al dominio de los áridos naturales y la ausencia de iniciativas estatales o privadas para su ejecución por el alto costo de inversión que se requiere.

Rilem.

La Unión internacional de laboratorios y expertos en materiales de construcción distingue tres tipos de agregados reciclados:

- Tipo I: Agregados procedentes mayoritariamente de fábrica de ladrillo.
- Tipo II: Agregados procedentes mayoritariamente de residuos de concreto con un contenido máximo de residuos cerámicos del 10%.
- Tipo III: Agregados compuestos por una mezcla de agregados naturales mayor del 80%. El resto puede estar integrado por un 10% como máximo de agregados tipo I o un hasta un 20% de agregados tipo II.

2.3 TIPOS DE RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN.

Los residuos de construcción y demolición que se producen se pueden agrupar genéricamente en tres tipos, dependiendo de su grado de limpieza o ausencia de mezcla con residuos mixtos de la construcción:

2.3.1 Residuos inertes limpios.

Son residuos de construcción o demolición seleccionadas en origen o procedentes de tipos de obras que, por su naturaleza, no se encuentran mezclados con elementos contaminantes incompatibles. Dentro del grupo de los residuos inertes limpios se encuentran por ejemplo, los materiales procedentes del levantado de soleras, cimentaciones, vías de comunicación, estructuras, zanjas, fabricación de ladrillo y hormigón, elementos prefabricados, sobrantes de ejecución o fabricación.

2.3.2 Residuos inertes mezclados.

Son residuos parcialmente seleccionados en origen o procedentes de obras favorables para el reciclado, que contienen en parte productos mixtos de la construcción.

2.3.3 Residuos todo tipo.

Son residuos sin seleccionar procedentes de todo tipo de obras. En ellos están mezclados elementos de naturaleza pétreo con toda clase de productos mixtos de la construcción como maderas, plásticos metales cartón, papel, vidrio, cables eléctricos, productos textiles. También suele contener residuos catalogados como tóxicos y peligrosos (pinturas, barnices, disolventes), inclusive materias orgánicas.

2.4 ÁRIDOS RECICLADOS.

Los áridos reciclados, son aquellos granulados que provienen como producto del reciclado, clasificación y tratamiento de los Residuos de la Construcción y Demolición (RCD). Los tipos referidos a continuación, fue establecido por la Norma Española PNE 146131 y que clasifica la procedencia de origen del residuo de construcción y demolición a lo siguiente:

-Tipo 1, se hace referencia a un material o árido reciclado fabricado a partir de un contenido predominante cerámico en proporciones superiores al 90% en peso. Estos tipos presentan diferentes aplicaciones de relleno o jardinería que tienen en cuenta las propiedades de estos materiales.

-Tipo 2, el material predominante es concreto y sus aplicaciones tan amplias como los áridos naturales; este tipo presenta mayor complejidad en su tratamiento, ya que pueden presentar grandes tamaños. Contienen, en muchos casos, armaduras de difícil separación que generan problemas de abrasión, por tanto elevado desgaste de las maquinarias. Su manipulación suele programarse a partir de una demolición previa al tratamiento. Sus aplicaciones van desde materiales para relleno y recubrimiento, materiales para base y sub base, para morteros, concreto estructural y no estructural.

-Tipo 3, están fabricados a partir de los residuos de construcción y demolición pétreos como áridos, granitos, mármol, piedra, rocas ornamentales. Tienen aplicaciones a los áridos naturales y se obtienen áridos compuestos de partículas de diferentes colores. Su transformación genera pocos finos.

Pueden ser usados para material de relleno, o muros y aplicaciones acústicas.

-Tipo 4, se refieren a mezclas entre materiales predominantes con áridos naturales y artificiales, siendo sus aplicaciones similares a los anteriores tipos.

-Tipo 5, están referidos a la existencia de materiales bituminosos. Para este tipo el abanico de aplicaciones se amplía a los aglomerantes bituminosos y recubrimientos.

2.5 APLICACIONES DE LOS ÁRIDOS RECICLADOS.

Las plantas de reciclado producen principalmente áridos para el sector de la construcción, recuperan otros materiales como el hierro y acero con destino a la fundición y, en menor porcentaje otros materiales como madera, plásticos, vidrios con destino a la industria establecida del reciclado.

Los áridos reciclados para competir en un mercado dominado por los áridos naturales deben al menos cumplir las mismas características y requisitos exigidos por los áridos naturales y producirse a un nivel de precios también acorde al existente en el mercado de áridos naturales. A partir de estas condicionantes, el beneficio medioambiental que supone su utilización, el ahorro en el transporte al encontrarse las plantas muy cercanas a los centros de consumos, la aparición de normativas encaminadas, a la correcta gestión de residuos que tienden a favorecer la demanda de estos áridos, pueden asegurar el consumo del árido reciclado en el mercado.

Con respecto a las aplicaciones en la industria de la construcción, son tan amplias como los áridos naturales, es decir, fabricación de concreto estructural y no estructural, con controles de selección, calidad, y cumplimiento de características técnicas altamente exigentes, hasta aplicaciones como material de relleno, también para bases y sub bases, fabricación de bloquetas, elementos prefabricados de bloques, tuberías de saneamiento, mobiliario urbano.

2.6 ENSAYOS APLICABLES A LOS ARIDOS RECICLADOS.

Los ensayos que se aplican a los agregados reciclados son las mismas que se aplican a los agregados naturales. Adicionalmente se debe analizar si el agregado reciclado tiene componentes químicos que pudieran alterar al concreto

en estado fresco o endurecido. A continuación se mencionan los ensayos que suelen aplicarse:

- Determinación del coeficiente de desgaste de los "Angeles".
- Ensayo de granulometrías del agregado fino y grueso.
- Ensayo de densidad y absorción.
- Análisis químico de contaminantes, el cual se aplica a la fracción más fina de cada material, en la que se acumulan los compuestos que pueden ocasionar inestabilidad. Se le realiza un análisis de contenido de cloruro, sulfato y cal libre.

2.7 OBRAS DONDE SE EMPLEARON CONCRETO RECICLADO.

2.7.1 Puente Marina Seca - Barcelona (España).

Fue construido utilizando concreto reciclado en alguno de sus elementos. Se utilizó un agregado reciclado de un único origen (fracción 4/25 mm), con una absorción media de 6,7%, exento de cloruros, y sulfatos. Más del 95% del agregado reciclado eran partículas de concreto. La cantidad de finos inferiores a 0,063 mm fue del 1% y el aporte de finos menores de 4 mm fue del 10%, lo que obligó a una ligera corrección en la cantidad de arena.

Se utilizó una sustitución del 20% de agregado reciclado previamente pre saturado, con un grado de saturación entre el 80% y el 90%. La resistencia obtenida fue de 47,8 N/mm² - 487.41 kg/cm², y los resultados de los ensayos de penetración de agua fueron adecuados. La puesta en obra de este concreto tampoco presentó ninguna dificultad.

2.7.2 Puente atirantado sobre el Rio Turia (España).

La experiencia piloto, que finalizó en el año 2008, propuso la utilización de concreto reciclado en un puente atirantado de concreto armado, situado en Manises (Valencia), propiedad de la Diputación de Valencia.

Este puente se ejecutó como sustitución de una estructura de concreto existente de 22 metros de ancho y 150 metros de longitud, con una inversión de 12 millones de euros. El objetivo del proyecto era reciclar el material de concreto procedente de esta estructura para la fabricación de parte del concreto de la nueva estructura, utilizando una sustitución del 20% del agregado natural por agregado reciclado en el concreto de un tramo de la losa. Las condiciones de utilización de los agregados reciclados y del concreto fueron las siguientes:

El agregado reciclado así producido se usó como sustitución de una parte del agregado grueso natural, en un porcentaje no superior al 20%. El agregado mezcla así utilizado debió cumplir las especificaciones que establece la EHE para los agregados naturales es decir:

-Calidad del concreto de origen deberá ser superior a 25 N/mm² (254.92 kg/cm²).

-Resistencia máxima concreto reciclado $f_{cm} < 50$ N/mm² (509.84 kg/cm²).



Figura N° 2.1: Puente Atirantado sobre el río Turia. Fuente: <http://eadic.com>.

2.7.3 Construcción Línea 12 del Metro (México).

Aprovechando la cercanía a la planta de Concretos Reciclados (3km en el punto más próximo), la empresa encargada de la construcción de este tramo, transportó el escombros y producto de excavación generado en la obra; Concretos Reciclados recibió y recicló el material que posteriormente fue utilizado para la construcción de plataformas, fabricación de pilotes, relleno en zapatas, sub-bases y bases.

En este proyecto, se logró reducir considerablemente los costos de transportación, aprovechando traer el escombros y cargando material reciclado en el mismo viaje.

2.7.4 Puerto de Antwerp (Bélgica).

Para la ampliación del puerto de Antwerp, se procedió en 1987 a la demolición de varios muros del puerto y la construcción de una compuerta mayor. La demolición se realizó con explosivos, originando unos 80.000 m³ de escombros.

Por consideraciones tanto ambientales como económicas se optó por la utilización de los escombros de concreto para la fabricación de concreto reciclado. El concreto producido disponía de suficiente resistencia a compresión $f_c=35 \text{ N/mm}^2$ (356.89 kg/cm²).

Para mejorar la trabajabilidad del concreto se optó por pre saturar los agregados reciclados antes de incorporarlos a la mezcla, corrigiendo así la cantidad de agua añadida.

Después de casi 25 años de servicio la estructura no ha presentado problemas de durabilidad.

2.8 NORMATIVA PERUANA PARA LA CLASIFICACIÓN, TRATAMIENTO Y UTILIZACIÓN DE LOS RESIDUOS DE LA CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN.

La NTP establece, directrices o procedimientos para una optima gestión de los residuos de la construcción y demolición. Según la NTP 400.050, clasifica en cuatro grupos y dictaminan las opciones de manejo de los residuos de la actividad de la construcción. En los tres primeros casos, es posible aun poder reutilizar o reciclar antes de aplicar la disposición final de los residuos.

En el cuadro N° 2.3, se muestra la clasificación de los residuos de la construcción y demolición. Mientras que el cuadro N° 2.4, indica la obtención del granulado en función del tipo de residuo y su uso previsto.

Cuadro N° 2.3: Clasificación de los residuos de la construcción y demolición según NTP.

EXCEDENTES DE REMOCIÓN	EXCEDENTES DE OBRA	ESCOMBROS	OTROS RESIDUOS
Reutilizables -Agregados -Piedras -Tierras con contenido orgánico	Reutilizables -Cementos y aglomerantes -Retazos de fierro, alambres -Piedras -Productos ceramicos	Reutilizables -Productos ceramicos -Piedras	No peligrosos Peligrosos -En esta categoria se incluyen los materiales peligrosos de las otras fracciones
Reciclables -Bolonerias	Reciclables -Concreto sobrante -Cascode de ladrillo	Reciclables -Mezcla asfaltica de demolicion -Concreto de demolicion -Material no bituminoso de demolición de carreteras -Material de demolición no clasificado -Mezcla de ladrillo con mortero	
Para Disposicion Final -Materiales contaminados, otros	Para Disposicion Final -Materiales contaminados, otros	Para Disposicion Final -Escombros contaminados	

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.050. ²⁰

La NTP 400.053, establece el manejo de los residuos provenientes de la demolición de estructuras así como los usos previstos del granulado reciclado según la procedencia de los residuos de la construcción y demolición.

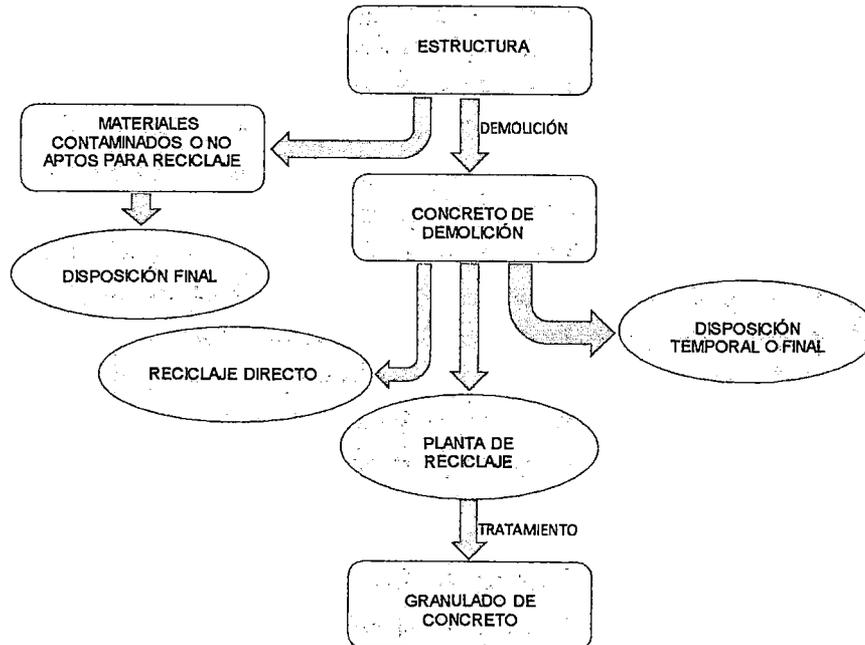


Figura N° 2.2: Diagrama de flujo para la obtención de concreto de demolición y granulado de concreto. Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.052.²¹

Cuadro N° 2.4: Obtención del granulado reciclado en función del uso previsto.

PROCEDENCIA USOS	Concretos de mediana y baja resistencia	Losas de Pavimentos	Concretos estructurales
	(Veredas, pisos de viviendas)		(Columnas, placas y cimientos de edificios, puentes, concretos especiales)
Pavimentos de tráfico ligero	-	√	√
Ciclo vías	√	√	√
Losas deportivas	√	√	√
Veredas	√	√	√
Patios	√	√	√
Cimientos	√	√	√
Concreto simple masivo	√	√	√
Rellenos no Portantes	√	√	√

Fuente: Norma Técnica Peruana NTP 400.052.²¹

Capítulo **III**

**CARACTERÍSTICAS DE LOS
AGREGADOS DE CAMPO**

CAPÍTULO III: CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS DE CAMPO.

3.1 GENERALIDADES.

El agregado ocupa aproximadamente las tres cuartas partes de volumen del concreto, por tanto es importante conocer sus diversas propiedades. La ventaja de usar un agregado pétreo no solo radica en su bajo costo, sino también en sus buenas propiedades físicas, químicas, mecánicas, etc.

A continuación mencionaremos las características más importantes tanto de los agregados de la muestra patrón como la del reciclado.

3.2 CARACTERÍSTICAS DEL AGREGADO PATRÓN.

El agregado patrón utilizado en el presente estudio, es de origen natural, cuya procedencia se indica en el cuadro N° 3.1.

Cuadro N° 3.1: Procedencia del agregado – Muestra patrón.

TIPO DE AGREGADO	PROCEDENCIA
Agregado patrón fino	Cantera Cerro Camote, Huachipa
Agregado patrón grueso	Cantera UNICON, Huachipa

Fuente: Elaboración propia.

Ambos agregados no presentan impurezas orgánicas, elementos extraños, etc.

El almacenamiento se hizo en las tolvas del LEM-FIC-UNI, el cual está debidamente protegido de tal forma que se evita el contacto del agregado fino y grueso con otros agregados o materiales, así como también contra las garuas de lluvia o corriente de vientos que pudieran alterar el contenido de humedad.

A continuación mostraremos las características más importantes tanto del agregado grueso como del fino de la muestra patrón.

3.2.1 Granulometría del agregado patrón.

En la práctica no existe un método que permita obtener una granulometría ideal. Sin embargo, se han desarrollado especificaciones de granulometría las cuales, en promedio, permitirían obtener concretos con propiedades satisfactorias. Una granulometría continua, aquella que los tamaños de las partículas varían del más fino al más grueso en forma uniforme, son las más satisfactorias. No obstante es

posible obtener concretos de buena calidad con granulometrías discontinuas, la principal desventaja es la mayor posibilidad a una segregación.

Para determinar la granulometría del agregado fino de la muestra patrón se procede según lo indica la NTP 400.012.

El cuadro N° 3.2, muestra los valores obtenidos de la granulometría del agregado fino de la muestra patrón.

Cuadro N° 3.2: Granulometría del agregado fino – Muestra patrón.

TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
3/8"	0.00	0.00	0.00	100
N° 4	94.50	6.33	6.33	93.67
N° 8	213.50	14.31	20.64	79.36
N° 16	306.00	20.50	41.14	58.86
N° 30	303.00	20.31	61.45	38.55
N° 50	240.00	16.09	77.54	22.46
N° 100	152.00	10.19	87.73	12.27
FONDO	183.00	12.27	100.00	0.00
TOTAL	1492.00	100.00		

Fuente: Elaboración propia.

De la misma forma el cuadro N° 3.3, muestra la granulometría del agregado grueso de la muestra patrón.

Cuadro N° 3.3: Granulometría del agregado grueso – Muestra patrón.

TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
1"	599.00	2.00	2.00	98.00
3/4"	17257.00	57.54	59.54	40.46
1/2"	11695.50	39.00	98.54	1.46
3/8"	404.50	1.35	99.89	0.11
1/4"	27.00	0.09	99.98	0.02
N° 4	0.00	0.00	99.98	0.02
FONDO	5.50	0.02	100.00	0.00
TOTAL	29988.50	100.00		

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Módulo de finura del agregado patrón.

Establecido en la Norma NTP 400.012. Es utilizado como índice de control. Los agregados que presentan un módulo de finura bajo indican mayor presencia de agregado finos. A su vez aumenta la demanda de agua. Las mallas utilizadas para determinar el modulo de finura son N° 100, N° 50, N° 30, N° 16, N° 8, N° 4, 3/8", 3/4", 1.1/2". El módulo de finura se calcula aplicando la siguiente relación:

$$\text{Módulo de finura} = \frac{\text{Suma de \% retenido acumulado}}{100}$$

El cuadro N° 3.4, muestra los valores del módulo de finura para la muestra patrón.

Cuadro N° 3.4: Módulo de finura del agregado – Muestra patrón.

MÓDULO DE FINURA	VALOR
Agregado patrón fino	2.95
Agregado patrón grueso	7.59

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Superficie específica del agregado patrón.

Definido como el área superficial del agregado. El agregado grueso tiende a tener un área superficial menor a un agregado fino. Por consiguiente una mezcla donde predomine el agregado fino requiere mayor cantidad en cemento que aquella mezcla donde tenga menos agregado fino. La superficie específica es obtenida a partir del análisis granulométrico definido en la NTP 400.012.

El cuadro N° 3.5, muestra los valores de la superficie específica para la muestra patrón.

Cuadro N° 3.5: Superficie específica del agregado – Muestra patrón.

SUPERFICIE ESPECÍFICA	VALOR
Agregado patrón fino	27.53 cm ² /gr
Agregado patrón grueso	1.18 cm ² /gr

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4 Peso unitario suelto y compactado del agregado patrón.

Utilizado para conversiones de peso a volumen y cuyo valor varía en función a la energía de compactación o acomodo de partículas. Para la determinar el peso unitario suelto y compactado en el agregado patrón se procede según lo indica la NTP 400.017.

El cuadro N° 3.6, muestra los valores del peso unitario suelto y compactado de la muestra patrón.

Cuadro N° 3.6: Peso unitario suelto y compactado del agregado – Muestra patrón.

ID.	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	AGREGADO FINO	
	Peso unitario suelto del agregado fino.	1673.73 kg/m ³
	Peso unitario compactado del agregado fino.	1891.64 kg/m ³
2	AGREGADO GRUESO	
	Peso unitario suelto del agregado grueso.	1355.93 kg/m ³
	Peso unitario compactado del agregado grueso.	1536.02 kg/m ³

Fuente: Elaboración propia.

3.2.5 Contenido de humedad del agregado patrón.

Establecido en la NTP 339.185, el contenido de humedad se determina a partir de una muestra, el cual se le somete a una temperatura de 110°C durante 24 horas, a fin de eliminar cualquier residuo o indicio de humedad.

Entendemos que el contenido de humedad es circunstancial, pudiendo el agregado tener variados contenidos de humedad, y estos a su vez cambian según las condiciones ambientales o estacionales, la posición del agregado dentro de una gran masa, el proceso de manipulación o traslado. Conocer el contenido de humedad, permite ajustar la proporción de agua en el diseño.

El cuadro N° 3.7, muestra los valores del contenido de humedad de la muestra patrón.

Cuadro N° 3.7: Contenido de humedad del agregado – Muestra patrón.

ID.	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Contenido de humedad del agregado fino.	1.87%
2	Contenido de humedad del agregado grueso.	0.32%

Fuente: Elaboración propia.

3.2.6 Peso específico del agregado patrón.

Para determinar el peso específico, el agregado debe tener la condición de superficialmente seco, es decir los poros de las partículas deberán estar completamente llenos de agua. La norma NTP 400.021 y NTP 400.022 establece el procedimiento de ensayo para determinar el peso específico de masa, el peso específico de masa superficialmente seco y el peso específico aparente.

El cuadro N° 3.8, muestra los valores obtenidos.

Cuadro N° 3.8: Peso específico del agregado – Muestra patrón.

ID.	DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
1	Peso específico de masa.	2.66 gr/cm ³	2.67 gr/cm ³
2	Peso específico de masa superficialmente seco.	2.70 gr/cm ³	2.69 gr/cm ³
3	Peso específico aparente.	2.76 gr/cm ³	2.73 gr/cm ³

Fuente: Elaboración propia.

3.2.7 Porcentaje de absorción del agregado patrón.

Toda partícula pétreas por más que presenta una textura suave y lisa siempre contiene poros en su estructura, por tanto en menor o mayor medida absorbe agua por sus capilaridades. Sobre todo un agregado con textura angular o rugosa tiende a absorber mas en comparación a un agregado redondeado y liso. La capacidad de absorción de un agregado en parte es una medida de la cantidad de poros que tienen en su estructura, estableciéndose que valores del 2% al 3% corresponden a agregados de alta porosidad efectiva.

La norma NTP 400.021 y NTP 400.022, establece un procedimiento para determinar el porcentaje de absorción de las partículas.

El cuadro N° 3.9, muestra los valores del porcentaje de absorción de la muestra patrón.

Cuadro N° 3.9: Porcentaje de absorción del agregado – Muestra patrón.

ID.	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Agregado fino.	1.39 %
2	Agregado grueso.	0.84 %

Fuente: Elaboración propia.

3.2.8 Cantidad de material que pasa la malla N° 200 del agregado patrón.

Se sabe que la presencia de material fino en exceso constituido por arcillas y limos no genera beneficios, al contrario puede disminuir la resistencia del concreto. Es usual que la mayor presencia de material fino que pasa la malla N° 200, corresponde al agregado fino.

Para determinar el contenido de material fino se realiza ensayos según lo estipula la NTP 400.018.

El cuadro N° 3.10, muestra el valor del contenido de material fino de la muestra patrón.

Cuadro N° 3.10: Contenido de material fino que pasa la malla N° 200 en el agregado fino – Muestra patrón.

ID.	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Contenido de finos.	5.20%

Fuente: Elaboración propia.

3.2.9 Características geométricas y morfológicas del agregado patrón.

Las partículas redondeadas en comparación a las partículas que presentan angulosidades, tienen a consumir menos cemento, pero las últimas tienen un mejor mecanismo de anclaje. A continuación se caracteriza el agregado patrón según su forma y textura.

3.2.9.1 Forma.

Se conoce que las partículas de un agregado presentan las siguientes formas:

- Angular: poca evidencia de desgaste en caras y bordes.
- Sub angular: evidencia de algo de desgaste en caras y bordes.
- Sub redondeada: considerable desgaste en caras y bordes.
- Redondeada: Bordes casi eliminados.
- Muy redondeadas: Sin caras ni bordes.

De acuerdo a las definiciones, el agregado grueso patrón presenta partículas con poco desgaste en bordes, no presenta caras redondeadas. Según lo mencionado la forma es sub angular.

3.2.9.2 Textura.

Los agregados presentan distintas texturas, pero tiende a predominar cierta textura en el conjunto. Por tanto es este último el que se desea obtener: Mencionamos las texturas más comunes: textura vítrea, textura suave, textura granular, textura rugosa, textura cristalina, textura alveolar.

Según las clasificaciones mencionadas el agregado grueso patrón tiende a tener una textura rugosa.

3.2.9.3 Otras.

Mediante un examen visual podemos obtener ciertas características, por ejemplo coloración, presencia de materias o sustancias deletéreas, etc., mencionamos a continuación:

El agregado grueso tiene coloración gris oscuro, presenta angulosidades con cierto desgaste en sus vértices, toda vez que es un agregado procesado a partir de fragmentos pétreos. Presenta poca cantidad de polvo en su superficie, mientras se observa que las partículas tienden a tener uniformidad en su tamaño, así como no presenta materias extrañas, o sustancias perjudiciales.

Mientras que el agregado fino, presenta una coloración marrón claro. Si se remueve o bate el agregado fino, se observa que presenta cierta humedad, no presenta materias extrañas o perjudiciales.

3.3 CARACTERISTICAS DEL AGREGADO RECICLADO.

El cuadro N° 3.11, muestra que el agregado reciclado utilizado en el presente estudio tiene la siguiente procedencia:

Cuadro N° 3.11: Procedencia del agregado – Muestra reciclada.

TIPO DE AGREGADO	PROCEDENCIA
Agregado reciclado fino	Obtenidos por trituración de testigos, LEM-UNI FIC
Agregado reciclado grueso	Obtenidos por trituración de testigos, LEM-UNI FIC

Fuente: Elaboración propia.

Se sabe que gran parte de los testigos, provienen de muestras tomadas de vaciados a vigas, columnas, placas, veredas, losas de concreto, etc de diferentes obras de Lima y Provincias. Por consiguiente se asume que las muestras en general son de buena calidad. Estos testigos son elegidos aleatoriamente para el proceso de trituración.

Se conoce que para la fabricación de agregado fino y/o grueso por medio de maquinaria (Chancadora) el proceso implica reducción de los fragmentos rocosos hasta un tamaño adecuado, según la necesidad o demanda del grosor del agregado y toda esa masa triturada se tamiza, de esa manera se puede obtener diferentes tamaños y/o hasta eliminar las partículas indeseables.

Para el presente estudio, se tomo los siguientes procedimientos a fin de generar la mayor similitud. A continuación mencionamos los procedimientos:

- Reducción de fragmentos, el cual se hizo hasta obtener partículas no mayores a 2", mediante la trituración manual.
- Primer tamizado, el cual se hizo un tamizado del material triturado por una malla de 3/8" a fin de separar el material fino del material grueso. El material pasante representa el agregado fino.

-Segundo tamizado, el cual se hizo un tamizado del material grueso que no paso la malla de 3/8" por una malla de 1½". El material pasante representa el agregado grueso.

-El material que no paso el segundo tamizado se vuelve a triturar aleatoriamente hasta al menos reducir a un tamaño de 2" y se tamiza según el primer tamizado y segundo tamizado. Bajo esos procedimientos se obtuvo tanto el agregado fino así como el agregado grueso.

Una vez realizado el proceso de trituración se procedió a mezclar uniformemente y empaquetar independientemente tanto el agregado fino como el grueso.

A continuación se menciona las características más importantes del agregado reciclado.

3.3.1 Granulometría del agregado reciclado.

La granulometría del agregado reciclado depende fundamentalmente del sistema de trituración que se haya empleado en su proceso de producción. Los agregados reciclados presentan formas angulosas debido al proceso de machaqueo y un aspecto rugoso como consecuencia del mortero adherido.

Como consecuencia del transporte y almacenamiento el agregado grueso sufre disgregación, una vez cribado se siguen obteniendo porcentajes muy reducidos de arena debido a su mayor friabilidad (desmenuzado); Dichos valores oscilan entre el 0,5% y el 2%. Esta fracción fina se caracteriza por presentar un elevado contenido de mortero.

Para determinar la granulometría del agregado fino de la muestra reciclada se procede según lo indica la NTP 400.012.

Los cuadros N° 3.12 y 3.13, muestran los resultados de la granulometría del agregado fino y grueso de la muestra reciclada respectivamente.

Cuadro N° 3.12: Granulometría del agregado fino – Muestra reciclada.

TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
3/8"	0.00	0.00	0.00	100
N° 4	195.00	13.04	13.04	86.96
N° 8	335.00	22.39	35.43	64.57
N° 16	304.00	20.33	55.76	44.24
N° 30	244.00	16.32	72.08	27.92
N° 50	190.00	12.70	84.78	15.22
N° 100	117.50	7.86	92.64	7.36
FONDO	110.00	7.36	100.00	0.00
TOTAL	1495.50	100.00		

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 3.13: Granulometría del agregado grueso – Muestra reciclada.

TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
1"	2780.00	9.28	9.28	90.72
3/4"	9624.00	32.11	41.39	58.61
1/2"	11663.50	38.92	80.31	19.69
3/8"	3829.50	12.78	93.09	6.91
1/4"	1418.00	4.73	97.82	2.18
N° 4	0.00	0.00	97.82	2.18
FONDO	653.00	2.18	100.00	0.00
TOTAL	29968.00	100.00		

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Módulo de finura del agregado reciclado.

El procedimiento para determinar el módulo de finura está establecido en la Norma NTP 400.012.

El cuadro N° 3.14, muestra los valores del modulo de finura para la muestra reciclada.

Cuadro N° 3.14: Módulo de finura del agregado – Muestra reciclada.

MÓDULO DE FINURA	VALOR
Agregado reciclado fino	3.54
Agregado reciclado grueso	7.21

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3 Superficie específica del agregado reciclado.

La superficie específica es obtenida a partir del análisis granulométrico definido en la NTP 400.012.

El cuadro N° 3.15, muestra los valores de la superficie específica para la muestra reciclada.

Cuadro N° 3.15: Superficie específica del agregado – Muestra reciclada.

SUPERFICIE ESPECÍFICA	VALOR
Agregado reciclado fino	26.48 cm ² /gr
Agregado reciclado grueso	1.59 cm ² /gr

Fuente: Elaboración propia.

3.3.4 Peso unitario suelto y compactado del agregado reciclado.

Para determinar el peso unitario suelto y compactado en el agregado reciclado se procede según lo indica la NTP 400.017.

El cuadro N° 3.16, muestran los valores del peso unitario suelto y compactado de la muestra reciclada.

Cuadro N° 3.16: Peso unitario suelto y compactado del agregado – Muestra reciclada.

ID	DESCRIPCION	VALOR
1	AGREGADO FINO	
	Peso unitario suelto del agregado fino.	1441.70 kg/m ³
	Peso unitario compactado del agregado fino.	1647.82 kg/m ³
2	AGREGADO GRUESO	
	Peso unitario suelto del agregado grueso.	1195.27 kg/m ³
	Peso unitario compactado del agregado grueso.	1331.22 kg/m ³

Fuente: Elaboración propia.

3.3.5 Contenido de humedad del agregado reciclado.

Dada la procedencia del agregado reciclado, además por la presencia de porosidad en su estructura, es comprensible que las muestras evaluadas tanto en el agregado fino como el agregado grueso presenta mayor contenido de humedad que el agregado patrón. Para determinar el contenido de humedad se procede según lo indica la NTP 339.185.

El cuadro N° 3.17, muestra los contenidos de humedad de la muestra reciclada.

Cuadro N° 3.17: Contenido de humedad del agregado – Muestra reciclada.

ID.	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Contenido de humedad del agregado fino.	2.77%
2	Contenido de humedad del agregado grueso.	2.88%

Fuente: Elaboración propia.

3.3.6 Peso específico del agregado reciclado.

La presencia de mayor porosidad en la estructura del agregado fino y grueso, nos hace pensar que existe mayor cantidad de vacíos, por consiguiente el peso específico para cada agregado se ve sustancialmente afectado. Tomando como referencia el agregado patrón se observa la diferencia existente entre el agregado patrón y el reciclado tanto cuantitativa como cualitativamente.

La norma NTP 400.021 y NTP 400.022, establece un procedimiento para determinar los diferentes pesos específicos del agregado reciclado.

El cuadro N° 3.18, muestra los valores del peso específico de la muestra reciclada.

Cuadro N° 3.18: Peso específico del agregado – Muestra reciclada.

ID.	DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO
1	Peso específico de masa.	2.32 gr/cm ³	2.24 gr/cm ³
2	Peso específico de masa superficialmente seco.	2.44 gr/cm ³	2.41 gr/cm ³
3	Peso específico aparente.	2.66 gr/cm ³	2.69 gr/cm ³

Fuente: Elaboración propia.

3.3.7 Porcentaje de absorción del agregado reciclado.

La presencia de poros altera notablemente el porcentaje de absorción debido a la presencia de mortero adherido. Es decir la mayor porosidad existente tanto en el agregado fino como en el grueso es el responsable directo que exista mayor poder de absorción que el agregado patrón.

La norma NTP 400.022, establece un procedimiento para determinar el porcentaje de absorción de las partículas.

El cuadro N° 3.19, muestra los valores del porcentaje de absorción de la muestra reciclada.

Cuadro N° 3.19: Porcentaje de absorción del agregado – Muestra reciclada.

ID.	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Agregado fino.	5.56 %
2	Agregado grueso.	7.47 %

Fuente: Elaboración propia.

3.3.8 Cantidad de material que pasa la malla N° 200 del agregado reciclado.

La NTP 400.018, establece un procedimiento para determinar el material fino que pasa la malla N° 200.

El cuadro N° 3.20, muestra el valor del contenido de material fino de la muestra reciclada.

Cuadro N° 3.20: Contenido de material fino que pasa la malla N° 200 en el agregado fino – Muestra reciclada.

ID.	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Contenido de finos.	2.97%

Fuente: Elaboración propia.

3.3.9 Características geométricas y morfológicas del agregado reciclado.

El agregado reciclado tanto grueso como fino presenta mayor irregularidad en cuanto a su forma y tamaño. Así como su proceso de manipuleo es más dificultoso. A continuación se caracteriza el agregado reciclado según su forma y textura.

3.3.9.1 Forma.

Se conoce que las partículas de un agregado presentan las siguientes formas:

- Angular: poca evidencia de desgaste en caras y bordes.
- Sub angular: evidencia de algo de desgaste en caras y bordes.
- Sub redondeada: considerable desgaste en caras y bordes.
- Redondeada: Bordes casi eliminados.
- Muy redondeadas: Sin caras ni bordes.

De acuerdo a las definiciones, el agregado grueso reciclado presenta partículas con poco desgaste en bordes, no presenta caras redondeadas. Según lo mencionado la forma es angular.

3.3.9.2 Textura.

La textura más predominante en el agregado reciclado corresponde a una textura muy rugosa.

3.3.9.3 Otras.

Mediante un examen visual podemos obtener ciertas características, por ejemplo coloración, presencia de materias o sustancias deletéreas, etc., mencionamos a continuación:

El agregado grueso tiene coloración gris claro, presenta angulosidades con cierto desgaste en sus vértices, toda vez que es un agregado procesado a partir de fragmentos de concreto. Presenta cierta cantidad de polvo en su superficie,

mientras se observa que las partículas tienden a tener mayor variedad en el tamaño, así como no presenta materias extrañas, o sustancias perjudiciales.

Mientras que el agregado fino, presenta una coloración gris muy clara. No presenta materias extrañas o perjudiciales. Finalmente el olor a cemento endurecido es muy característico de este agregado.

Adicional al examen visual corresponde realizar un comentario acerca del agregado grueso y que presencialmente es muy notorio.

Una de las características más resaltantes y comprensibles dado el origen de su obtención es que se puede tipificar hasta tres tipos de partículas en el agregado grueso:

- Partículas pétreas limpias, cuyas partículas donde en el proceso de triturado se ha desprendido toda presencia de la fase continua (mezcla de cemento mas agregado fino, en esencia mortero endurecido).

- Partículas mixtas, donde a las partículas pétreas originarias se le encuentran porciones de la fase continua. Presentan cierta porosidad.

- Partículas tipo mortero, las que solo están formados por la fase continua. Presentan mayor porosidad que las partículas mixtas.

Durante el proceso de manipulación del agregado grueso se ha notado que las partículas tipo mortero presenta cierta fragilidad sobre todo en sus vértices debido a que pierde sus angulosidades por contacto o roce con otras partículas originando material fino.

3.4 AGREGADO GLOBAL.

Durante el proceso de análisis, puede darse el caso que ciertos agregados no cumplan con los requisitos mínimos que se establecen en las normas. Pero que al proporcionarlos adecuadamente nos suministren una distribución de partículas eficientes. Para este caso, las normas nos permiten que es posible emplear un agregado que no cumple con los requisitos mínimos en una o varias de sus características si se demuestra que con este agregado se puede obtener concretos que satisfagan con las especificaciones del proyecto.

Bajo esta premisa hallaremos la mejor combinación de agregados tomando como referencia el mayor peso unitario compactado.

3.4.1 Determinación de la combinación más óptima de agregados.

Para determinar la mejor combinación de agregados se aplica el concepto de máxima compacidad, es decir aquella combinación de agregados que permita la menor cantidad de vacíos o el mayor peso unitario.

Experimentalmente, se mezcla en diferentes proporciones tanto el agregado fino, como el grueso. Luego se procede a llenar un recipiente metálico normado en tres capas compactadas al ras. Finalmente se procede a pesar.

Con los pares obtenidos de agregado fino y peso unitario compactado, se procede a graficar. La visualización gráfica del mayor valor será la mejor combinación.

3.4.1.1 Combinación óptima del agregado patrón.

El cuadro N° 3.21, muestra las proporciones usadas en la mezcla entre el agregado fino y el agregado grueso de la muestra patrón, para las diferentes combinaciones antes del ensayo de compactación.

Cuadro N° 3.21: Composición del agregado en la mezcla previo al ensayo de compactación – Muestra patrón.

ID	DESCRIPCIÓN	MUESTRA N°1		MUESTRA N°2		MUESTRA N°3		MUESTRA N°4		MUESTRA N°5	
		%	PESO (kg)								
1	Agregado fino.	40	12	45	13.5	50	15.0	55	16.5	60	18.0
2	Agregado grueso.	60	18	55	16.5	50	15.0	45	13.5	40	12.0

Fuente: Elaboración propia.

Las proporciones del cuadro N° 3.21, una vez realizados el ensayo nos permite obtener el cuadro N° 3.22.

Cuadro N° 3.22: Máximo peso unitario compactado – Muestra patrón.

ID	DESCRIPCIÓN	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3	MUESTRA N°4	MUESTRA N°5
1	Peso unitario compactado (kg/m ³).	2007.42	2049.79	2076.27	2028.60	2023.31
2	Composición de la arena gruesa (%)	40	45	50	55	60

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, con los datos obtenidos en el cuadro N° 3.22 se genera el gráfico N° 3.1.

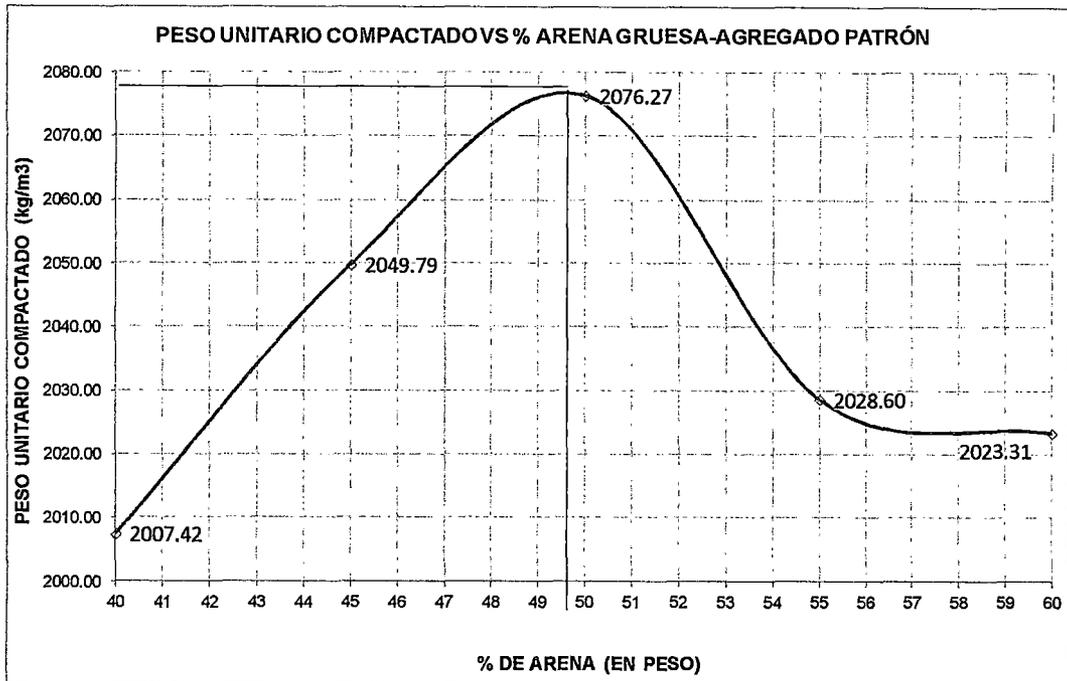


Gráfico N° 3.1: Máxima compactación del agregado global – Muestra patrón.

Fuente: Elaboración propia.

Del gráfico N° 3.1, el máximo peso unitario compactado = 2077 kg/m^3 .

-Proporción de agregado fino en la combinación = 49.60 %.

-Proporción del agregado grueso en la combinación = $100\% - 49.60\% = 50.40\%$.

El cuadro N° 3.23, muestra el resumen de las composiciones.

Cuadro N° 3.23: Composición del agregado fino y grueso en el diseño de mezcla preliminar – Muestra patrón.

ID.	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Proporción en volumen del agregado patrón fino.	49.60 %
2	Proporción en volumen del agregado patrón grueso.	50.40 %

Fuente: Elaboración propia.

3.4.1.2 Combinación óptima del agregado reciclado.

El cuadro N° 3.24, muestra las proporciones usadas en la mezcla entre el agregado fino y el agregado grueso de la muestra reciclada, para las diferentes combinaciones antes del ensayo de compactación.

Cuadro N° 3.24: Composición del agregado en la mezcla previo al ensayo de compactación – Muestra reciclada.

ID	DESCRIPCIÓN	MUESTRA N°1		MUESTRA N°2		MUESTRA N°3		MUESTRA N°4		MUESTRA N°5	
		%	PESO (kg)								
1	Agregado fino (arena gruesa)	40	12	45	13.5	50	15.0	55	16.5	60	18.0
2	Agregado grueso (piedra)	60	18	55	16.5	50	15.0	45	13.5	40	12.0

Fuente: Elaboración propia.

Las proporciones del cuadro N° 3.24, una vez realizados el ensayo nos permite obtener el cuadro N° 3.25.

Cuadro N° 3.25: Máximo peso unitario compactado – Muestra reciclada.

ID	DESCRIPCIÓN	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3	MUESTRA N°4	MUESTRA N°5
1	Peso unitario compactado (kg/m ³).	1663.14	1690.68	1704.80	1682.20	1656.07
2	Composición de la arena gruesa (%)	40	45	50	55	60

Fuente: Elaboración propia.

El cuadro N° 3.25, genera la gráfica N° 3.2.

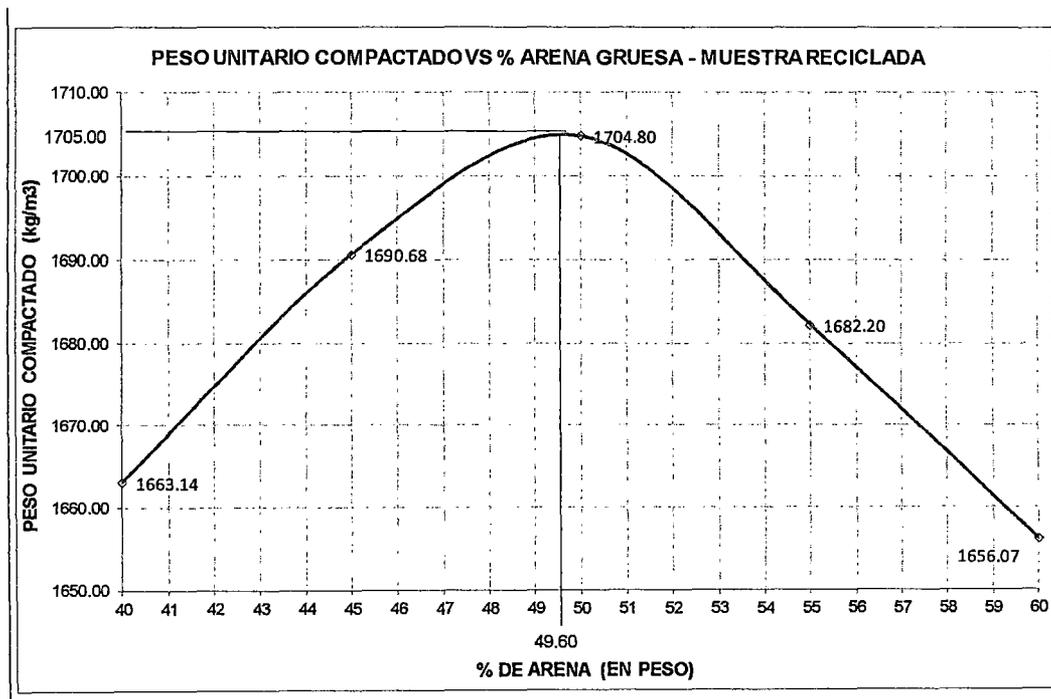


Gráfico N° 3.2: Máxima compactación del agregado global – Muestra reciclada.

Fuente: Elaboración propia.

Del gráfico N° 3.2, el máximo peso unitario compactado = 1705 kg/m^3 .

-Proporción de agregado fino en la combinación = 49.60 %.

Conociendo la proporción del agregado fino, podemos calcular la proporción del agregado grueso de la siguiente manera:

-Proporción del agregado grueso en la combinación = $100\% - 49.60\% = 50.40 \%$.

El cuadro N° 3.26, muestra el resumen de las composiciones.

Cuadro N° 3.26: Composición del agregado fino y grueso en el diseño de mezcla preliminar – Muestra reciclada.

ID.	DESCRIPCIÓN	VALOR
1	Proporción en volumen del agregado reciclado fino.	49.60 %
2	Proporción en volumen del agregado reciclado grueso.	50.40 %

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que las composiciones del agregado fino y grueso obtenido tanto de la muestra patrón como reciclado han resultado valores similares 49.60% y 50.40%. Se debe aclarar que esta coincidencia es circunstancial pudiendo adoptar diferentes valores.

Capítulo **IV**

DISEÑO DE MEZCLA

CAPÍTULO IV: DISEÑO DE MEZCLA.

4.1 GENERALIDADES.

Desde el principio del uso del cemento como conglomerante y debido a su alto costo unitario, se ha empleado como material de relleno, partículas pétreas de origen natural a fin de reducir el costo unitario de la mezcla. Por consiguiente siempre la tecnología del concreto se ha desarrollado con la finalidad de determinar las proporciones óptimas de tal manera que se obtenga un producto con el menor costo posible, sin sacrificar sus propiedades físicas y mecánicas. Estas proporciones están en relación con el uso futuro del concreto y las condiciones externas al cual será expuesta.

4.2 DEFINICIÓN.

La selección de las proporciones de los materiales integrantes del concreto, conocida usualmente como diseño de mezcla, se define como el proceso de selección de los ingredientes más adecuados y de la combinación más conveniente y económica de los mismos, con la finalidad de obtener un producto que en el estado no endurecido tenga la trabajabilidad y consistencia adecuada; y que en estado endurecido cumpla con los requisitos establecidos por el diseñador o indicados en los planos y/o especificaciones de obra.

4.3 CRITERIOS PARA EL DISEÑO DE MEZCLA.

Si bien es cierto que las proporciones de los agregados en la mezcla del diseño esta rigidos mediante pasos o procedimientos. Estos pierden su esencia si no se define criterios previos.

La primera consideración que se debe tener en cuenta para cualquier diseño es establecer en que elemento constructivo será utilizado la mezcla. Conocer esto permitirá saber las dificultades que tendrá a la hora de colocar y compactar la mezcla, y esto está directamente relacionado con la consistencia de la mezcla.

La segunda consideración, tiene que ver con las condiciones de trabajo del elemento constructivo, es decir que cargas o esfuerzos será sometido durante su vida útil, por consiguiente a partir de esta información se puede establecer la resistencia que debe tener.

La última consideración contempla las condiciones ambientales que será sometido. El diseño debe contemplar las variaciones de temperatura, los procesos abrasivos, los desgastes productos por contacto con medios agresivos,

y otros. De esta información se puede determinar parámetros como el contenido de aire, la inclusión de aditivos. En síntesis el concreto debe tener propiedades relacionadas con la durabilidad.

4.4 METODOS DE DISEÑO DE MEZCLA.

Las proporciones de los componentes del concreto en la mezcla, ha sido motivo de permanente investigaciones a fin de obtener un procedimiento mecánico de diseño, lo cual ha derivado a que en la actualidad exista varios métodos de diseños. A continuación mencionaremos los métodos más conocidos, pero no necesariamente los únicos:

-Método del Comité 211 del ACI.

-Método de Walker.

-Método por la relación agua/cemento.

-Método del módulo de la finura y la combinación de agregados.

Debemos entender que todos los métodos de diseño de mezcla, proporcionan una primera aproximación en las proporciones de mezcla, por tanto todas las consideraciones de diseño usadas deberán ser comprobadas mediante ensayos en estado fresco y endurecido, debiendo ser ajustados si es necesario para producir las características deseadas en el concreto.

4.5 SELECCIÓN DEL METODO DE DISEÑO.

La selección del método de diseño para el presente trabajo, es por el método del módulo de la finura y la combinación de agregados. Esta elección se baso en que es el método usado actualmente en el laboratorio de ensayo de materiales de la Facultad de Ingeniería Civil.

4.6 DISEÑO DE LA MUESTRA PATRÓN.

4.6.1 Selección de las proporciones de los agregados para la muestra patrón.

Para una óptima proporción de componentes, normalmente se parte de datos recogidos en los ensayos que se realizan a los agregados finos y agregados gruesos.

El cuadro N° 3.23, muestra la combinación optima inicial (Capítulo III), el cual indica que la proporción del agregado fino es 49.6% y agregado grueso 50.4%.

4.6.2 Diseño de mezcla del concreto patrón para la obtención de la máxima resistencia.

Se diseño para los siguientes contenidos de agregado fino: 46.60%, 49.60%, 52.60% y 55.60%, del cual se extrae tres testigos y es sometido a resistencia por compresión axial a los 7 días de su fabricación.

El cuadro N° 4.1, muestra los resultados obtenidos una vez ensayados los testigos fabricados.

Cuadro N° 4.1: Resistencia a la compresión axial según el contenido de agregado fino – Muestra patrón.

DESCRIPCIÓN	VALORES			
Contenido de agregado fino (%)	46.6	49.6	52.6	55.6
Compresión axial (kg/cm ²)	143.85	193.59	195.62	181.49

Fuente: Elaboración propia.

El contenido óptimo del agregado fino por máxima resistencia se obtiene a partir de los resultados obtenidos en los cuadros N° 3.22 y 4.1, el cual generan la gráfica N° 4.1.

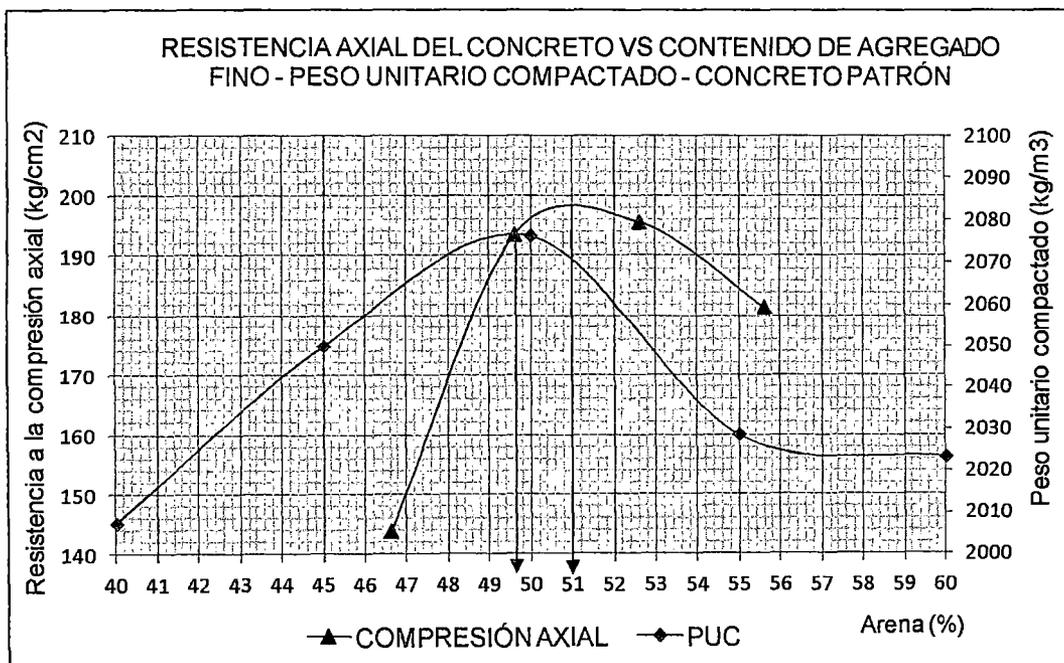


Gráfico N° 4.1: Máxima resistencia a la compresión axial – Muestra patrón.

Fuente: Elaboración propia.

Esta gráfica concluye que la proporción óptima de agregado fino patrón es: 51%, por lo tanto, la proporción de agregado grueso es 49%.

4.6.3 Diseño definitivo del concreto patrón.

Los cuadros N° 4.2, 4.3 y 4.4, muestran los diseños definitivos según cada relación agua/cemento para asentamientos entre 3 a 4 pulgadas.

Cuadro N° 4.2: Diseño definitivo de la muestra patrón para una relación agua/cemento = 0.60.

DISEÑO	ID	COMPONENTE	DISEÑO SECO		
			Volumen (m3)	Peso (kg)	Diseño unitario
Definitivo	1	Cemento.	0.1145	358.33	1.00
a/c = 0.60	2	Agua.	0.2150	215.00	0.60
AGUA (lt) = 215	3	Agregado fino.	0.3343	889.24	2.48
	4	Agregado grueso.	0.3212	857.60	2.39
	5	Aire.	0.015		
		TOTAL	1.000	2320.17	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.3: Diseño definitivo de la muestra patrón para una relación agua/cemento = 0.70.

DISEÑO	ID	COMPONENTE	DISEÑO SECO		
			Volumen (m3)	Peso (kg)	Diseño unitario
Definitivo	1	Cemento.	0.0958	300.00	1.00
a/c = 0.70	2	Agua.	0.2100	210.00	0.70
AGUA (lt) = 210	3	Agregado fino.	0.3464	921.42	3.07
	4	Agregado grueso.	0.3328	888.58	2.96
	5	Aire.	0.015		
		TOTAL	1.000	2320.00	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.4: Diseño definitivo de la muestra patrón para una relación agua/cemento = 0.80.

DISEÑO	ID	COMPONENTE	DISEÑO SECO		
			Volumen (m3)	Peso (kg)	Diseño unitario
Definitivo	1	Cemento.	0.0831	260.00	1.00
a/c = 0.80	2	Agua.	0.2080	208.00	0.80
AGUA (lt) = 208	3	Agregado fino.	0.3539	941.37	3.62
	4	Agregado grueso.	0.3400	907.80	3.49
	5	Aire.	0.015		
		TOTAL	1.000	2317.17	

Fuente: Elaboración propia.

De los cuadros 4.2, 4.3 y 4.4, se puede extraer el cuadro N° 4.5.

Cuadro N° 4.5: Cantidad de cemento por cada diseño definitivo – Muestra patrón.

Relación agua/cemento diseño patrón	Contenido de cemento (kg)
0.60	358.33
0.70	300.00
0.80	260.00

Fuente: Elaboración propia.

4.7 DISEÑO DE LA MUESTRA RECICLADA.

4.7.1 Selección de las proporciones de los agregados para la muestra reciclada.

De la misma forma que la muestra patrón, para la muestra reciclada las proporciones iniciales de los componentes se indican en el cuadro N° 3.26 (Capítulo III), el cual indica que la proporción del agregado fino es 49.6% y agregado grueso 50.4%.

4.7.2 Diseño de mezcla del concreto reciclado para la obtención de la máxima resistencia.

Se diseño para los siguientes contenidos de agregado fino: 49.60%, 52.60% y 55.60%, del cual se extrae tres testigos y es sometido a resistencia por compresión axial a los 7 días de su fabricación.

El cuadro N° 4.6, muestra los resultados obtenidos una vez ensayados los testigos fabricados.

Cuadro N° 4.6: Resistencia a la compresión axial según el contenido de agregado fino – Muestra reciclada.

DESCRIPCIÓN	VALOR		
Contenido de agregado fino (%)	49.6	52.6	55.6
Compresión axial (kg/cm ²)	153.46	190.74	178.27

Fuente: Elaboración propia.

El contenido óptimo del agregado fino por máxima resistencia se obtiene a partir de los resultados obtenidos en los cuadros N° 3.25 y 4.6, el cual generan la gráfica N° 4.2.

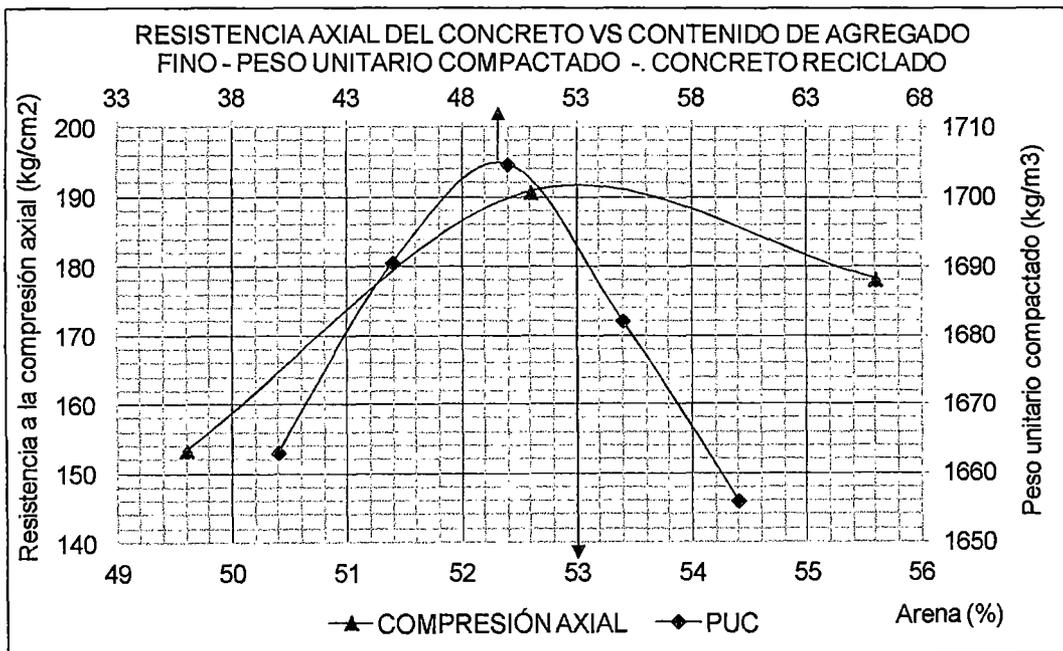


Gráfico N° 4.2: Máxima resistencia a la compresión axial – Muestra reciclada.

Fuente: Elaboración propia.

La gráfica N° 4.2, concluye que la proporción óptima de agregado fino reciclado es: 53%, por lo tanto, la proporción de agregado grueso es 47%.

Cuadro N° 4.7: Proporción final del agregado fino y grueso – Muestra reciclada.

DESCRIPCIÓN	PROPORCIÓN
AGREGADO FINO	53%
AGREGADO GRUESO	47%

Fuente: Elaboración propia.

4.7.3 Diseño definitivo del concreto reciclado.

Para realizar el diseño del concreto reciclado debemos tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- a) La proporción del agregado fino y grueso reciclado han sido determinadas según el grafico N° 4.2, y se muestra en el cuadro N° 4.7.
- b) La cantidad de cemento por cada relación agua/cemento en el diseño definitivo de la muestra patrón han sido determinadas y se muestra en el cuadro N° 4.5. Por lo tanto:
 - El primer diseño de mezcla reciclado, la cantidad de cemento a usarse será la misma determinada según el diseño $a/c= 0.60$ del concreto patrón, es decir 358.33 kg/m³.
 - El segundo diseño de mezcla reciclado, la cantidad de cemento a usarse será la misma determinada según el diseño $a/c= 0.70$ del concreto patrón, es decir 300.00 kg/m³.
 - El tercer diseño de mezcla reciclado, la cantidad de cemento a usarse será la misma determinada según el diseño $a/c= 0.80$ del concreto patrón, es decir 260.00 kg/m³.

Por lo tanto, conocido la proporción de agregado fino y grueso y las cantidades de cemento por cada diseño, solo queda determinar la cantidad de agua por cada diseño, el cual será aquella que nos permita obtener un asentamiento entre 3 a 4".

Los cuadros N° 4.8, 4.9 y 4.10, muestra los diseños del concreto reciclado.

Cuadro N° 4.8: Diseño definitivo de la muestra reciclada para un contenido de cemento = 358.33 kg/m³.

DISEÑO	ID	COMPONENTE	DISEÑO SECO		
			Volumen (m ³)	Peso (kg)	Diseño unitario
Definitivo	1	Cemento.	0.1145	358.33	1.00
a/c = 0.66	2	Agua.	0.2360	236.00	0.66
AGUA (lt) = 236	3	Agregado fino.	0.3363	780.22	2.18
	4	Agregado grueso.	0.2982	667.97	1.86
	5	Aire.	0.015		
		TOTAL	1.000	2042.52	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.9: Diseño definitivo de la muestra reciclada para un contenido de cemento = 300.00 kg/m³.

DISEÑO	ID	COMPONENTE	DISEÑO SECO		
			Volumen (m ³)	Peso (kg)	Diseño unitario
Definitivo	1	Cemento.	0.0958	300.00	1.00
a/c = 0.77	2	Agua.	0.2320	232.00	0.77
AGUA (lt) = 232	3	Agregado fino.	0.3483	808.06	2.69
	4	Agregado grueso.	0.3089	691.94	2.31
	5	Aire.	0.015		
		TOTAL	1.000	2032.00	

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro N° 4.10: Diseño definitivo de la muestra reciclada para un contenido de cemento = 260.00 kg/m³.

DISEÑO	ID	COMPONENTE	DISEÑO SECO		
			Volumen (m ³)	Peso (kg)	Diseño unitario
Definitivo	1	Cemento.	0.0831	260.00	1.00
$a/c = 0.87$	2	Agua.	0.2250	225.00	0.87
AGUA (lt) = 225	3	Agregado fino.	0.3588	832.42	3.20
	4	Agregado grueso.	0.3182	712.77	2.74
	5	Aire.	0.015		
		TOTAL	1.000	2030.19	

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo V

***DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES
DEL CONCRETO FRESCO***

CAPÍTULO V: DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO FRESCO.

5.1 GENERALIDADES.

Durante la etapa de fabricación del concreto, es también importante mantener un control sobre la calidad de la mezcla, es decir determinar las propiedades del concreto en estado fresco tales como: peso unitario, consistencia, fluidez, tiempo de fragua y exudación.

A continuación procederemos a indicar cada uno de los ensayos realizados al concreto en estado fresco. Todos estos ensayos se ha realizados en concordancia con los establecidos en las Normas Técnicas Peruanas.

5.2 CONSISTENCIA.

Según la norma (NTP 339.035, ASTM C143). Se denomina consistencia a la resistencia que opone una mezcla de concreto a sufrir deformaciones y se mide mediante el ensayo de asentamiento o Slump en el "Cono de Abrams".

El ensayo consiste en llenar un recipiente tronco cónico en tres capas de igual volumen compactadas cada una de ellas con 25 golpes, luego se procede a levantar dicho recipiente y se mide el asentamiento o descenso que sufrió la mezcla con respecto a la altura del cono.

El ensayo de asentamiento es usado como herramienta para el diseño de mezcla de concretos normales y concretos de alto desempeño.

El cuadro N° 5.1, muestra los valores de la consistencia del concreto fresco para la muestra patrón y reciclado.

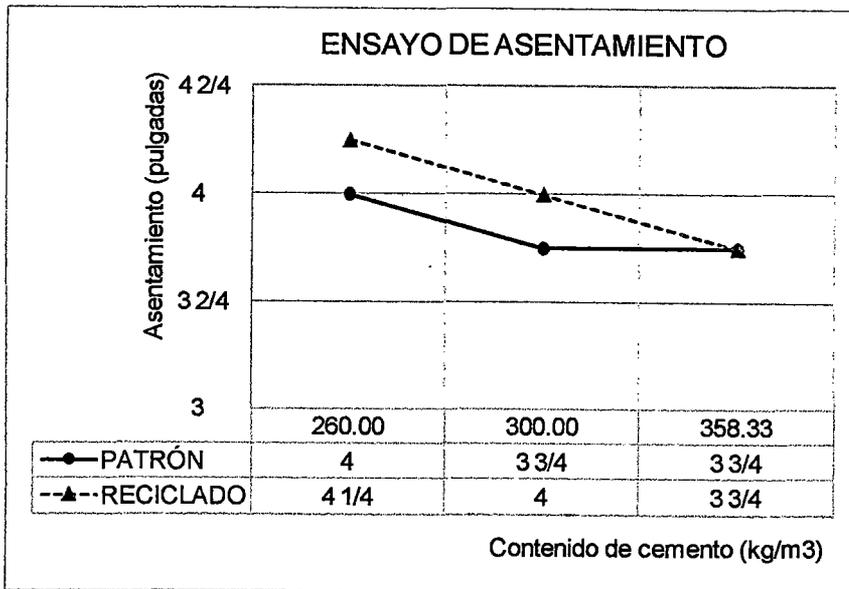
Cuadro N° 5.1: Asentamiento del concreto fresco - Muestra patrón y reciclada.

CONTENIDO DE CEMENTO (kg/m ³)	PATRÓN (pulg)	RECICLADO (pulg)
260.00	4	4¼
300.00	3¾	4
358.33	3¾	3¾

Fuente: Elaboración propia.

Del cuadro N° 5.1, se obtiene el gráfico N° 5.1.

Gráfico N° 5.1: Asentamiento concreto fresco – Muestra patrón y reciclada.



Fuente: Elaboración propia.

5.3 PESO UNITARIO.

Según la norma (NTP 339.046, ASTM C138). El peso unitario de un concreto es la relación entre el peso de un concreto fresco compactado y el volumen del recipiente que lo contiene.

Para determinar el peso unitario experimentalmente se procede a llenar el recipiente en tres capas de concreto fresco. Cada capa se debe compactar con la barra mediante 25 golpes distribuidos y aplicados en toda la sección en forma de espiral hacia adentro. Al final se procede a enrasar y a medir el peso.

El cuadro N° 5.2, muestra los valores del peso unitario del concreto para la muestra patrón y reciclado.

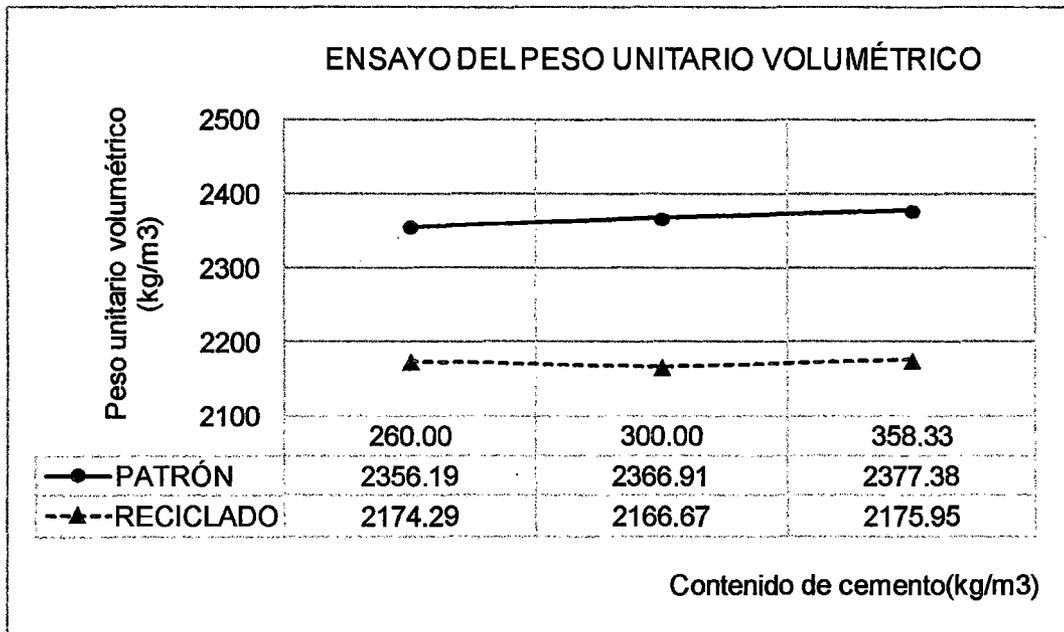
Cuadro N° 5.2: Peso volumétrico del concreto fresco – Muestra patrón y reciclado.

CONTENIDO DE CEMENTO (kg/m ³)	PESO VOLUMÉTRICO DE LA MEZCLA (kg/m ³)	
	PATRÓN	RECICLADO
260.00	2356.19	2174.29
300.00	2366.91	2166.67
358.33	2377.38	2175.95

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del cuadro N° 5.2 generan la gráfica N° 5.2.

Gráfico N° 5.2: Peso volumétrico del concreto fresco – Muestra patrón y reciclada.



Fuente: Elaboración propia.

5.4 FLUIDEZ.

Según la norma (NTP 339.046, ASTM C138), este ensayo tiene como objetivo la determinación del flujo del concreto y permite obtener un índice de consistencia de la mezcla y su tendencia a la segregación por la medición de la expansión del concreto.

Para realizar el ensayo se requiere un equipo conocido como mesa de sacudidas, el cual consiste de un tablero metálico sobre el cual va montado un molde tronco cónico. El referido molde se llena con mezcla al ras en dos capas compactadas. Luego se retira el molde verticalmente y seguidamente se acciona el mecanismo de caída de la mesa el cual deberá aplicar 15 sacudidas en 15 segundos. Terminado el proceso se registrará 6 lecturas del diámetro extendido distribuida simétricamente.

El cuadro N° 5.3, muestra el valor de la fluidez del concreto de la muestra patrón y reciclado:

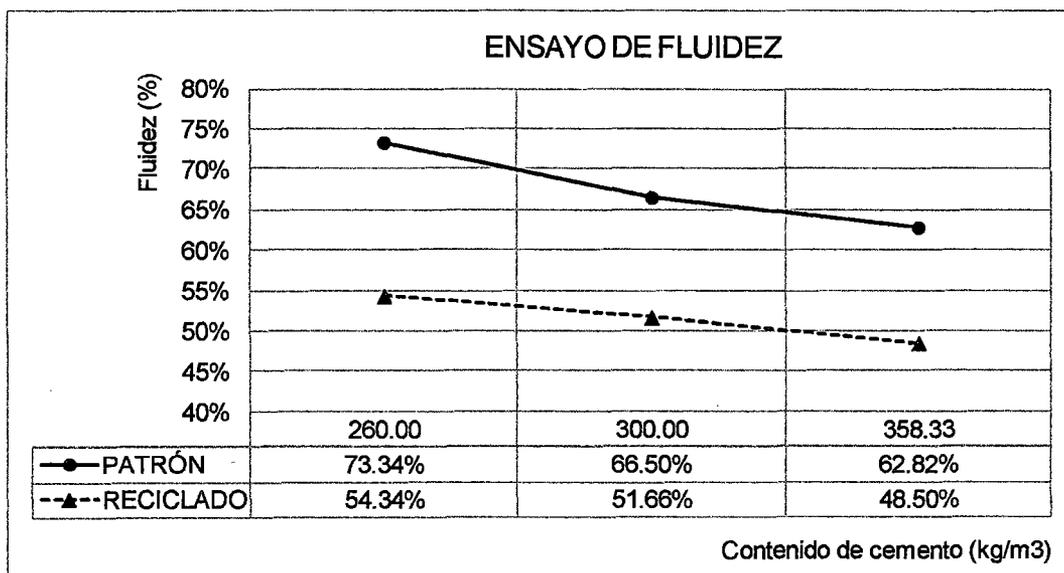
Cuadro N° 5.3: Fluidez del concreto fresco – Muestra patrón y reciclada.

CONTENIDO DE CEMENTO (kg/m ³)	PATRÓN	RECICLADO
260.00	73.34%	54.34%
300.00	66.50%	51.66%
358.33	62.82%	48.50%

Fuente: Elaboración propia.

Del cuadro N° 5.3, se obtiene el gráfico N° 5.3.

Gráfico N° 5.3: Fluidez del concreto fresco – Muestra patrón y reciclada.



Fuente: Elaboración propia.

5.5 TIEMPO DE FRAGUA.

Según la norma (NTP 339.082, ASTM C403). Las mezclas de concreto mantienen su trabajabilidad durante cierto tiempo luego del cual empiezan a perder esa plasticidad. A ese proceso se denomina fragua del concreto y el tiempo en el que se desarrolla está caracterizado por: el tiempo de fragua Inicial, tiempo en el cual el concreto empieza a perder la plasticidad que la caracteriza; y el tiempo de fragua final, donde la mezcla de concreto ya perdió toda capacidad de deformación.

Para determinar experimentalmente el tiempo de fragua se procede a extraer por tamizado mecánico el mortero del concreto fresco en un volumen necesario.

Luego se procede a llenar los moldes metálicos con el mortero. Posteriormente se compacta en capas la muestra de concreto enrasándolo. Se deja fraguar la mezcla. Antes de realizar el ensayo proceder a retirar el agua exudada de la mezcla. Luego se coloca la aguja que corresponde en contacto con la superficie superior de la mezcla. A continuación se aplica la fuerza hasta que penetre totalmente. Se procede de inmediato a tomar lectura. Por lo tanto, conocido el área de la aguja y la fuerza aplicada se procede a determinar la presión.

Para determinar el tiempo de fragua se realiza a partir de la gráfica $\log(T)$ vs $\log(RP)$, donde T: Tiempo desde el contacto del agua con el cemento, y RP: Resistencia a la penetración. Convencionalmente se estableció que inicio de fragua corresponde a un $RP= 500$ y fin de la fragua a un $RP= 4000$.

El cuadro N° 5.4, muestra los valores obtenidos del tiempo de fragua para la muestra patrón.

Cuadro N° 5.4: Tiempo de fragua del concreto fresco – Muestra patrón.

CANTIDAD DE CEMENTO (kg/m ³)	INICIO DE FRAGUA (min)	FIN DE FRAGUA (min)
260.00	387.06	525.31
300.00	354.22	474.98
358.33	300.16	421.61

Fuente: Elaboración propia.

Mientras que el cuadro N° 5.5, muestra los valores del tiempo de fragua para la muestra reciclada.

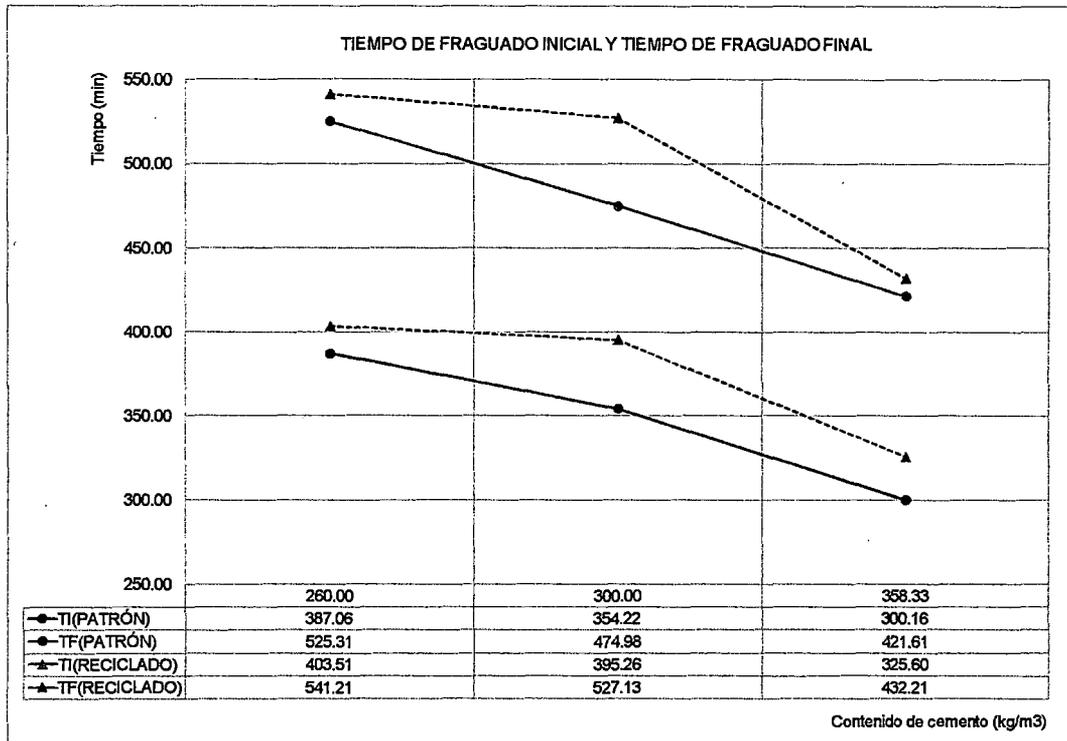
Cuadro N° 5.5: Tiempo de fragua del concreto fresco – Muestra reciclada.

CANTIDAD DE CEMENTO (kg/m ³)	INICIO DE FRAGUA (min)	FIN DE FRAGUA (min)
260.00	403.51	541.21
300.00	395.26	527.13
358.33	325.60	432.21

Fuente: Elaboración propia.

Los cuadros 5.4 y 5.5 generan la gráfica N° 5.4.

Gráfico N° 5.4: Tiempo de fragua del concreto fresco – Muestra patrón y reciclada.



Fuente: Elaboración propia.

5.6 EXUDACIÓN.

Según la norma (NTP 339.077, ASTM C232). La exudación del concreto es aquel tipo de segregación por el cual parte del agua utilizada en el diseño de mezcla asciende a la superficie del concreto recién colocado.

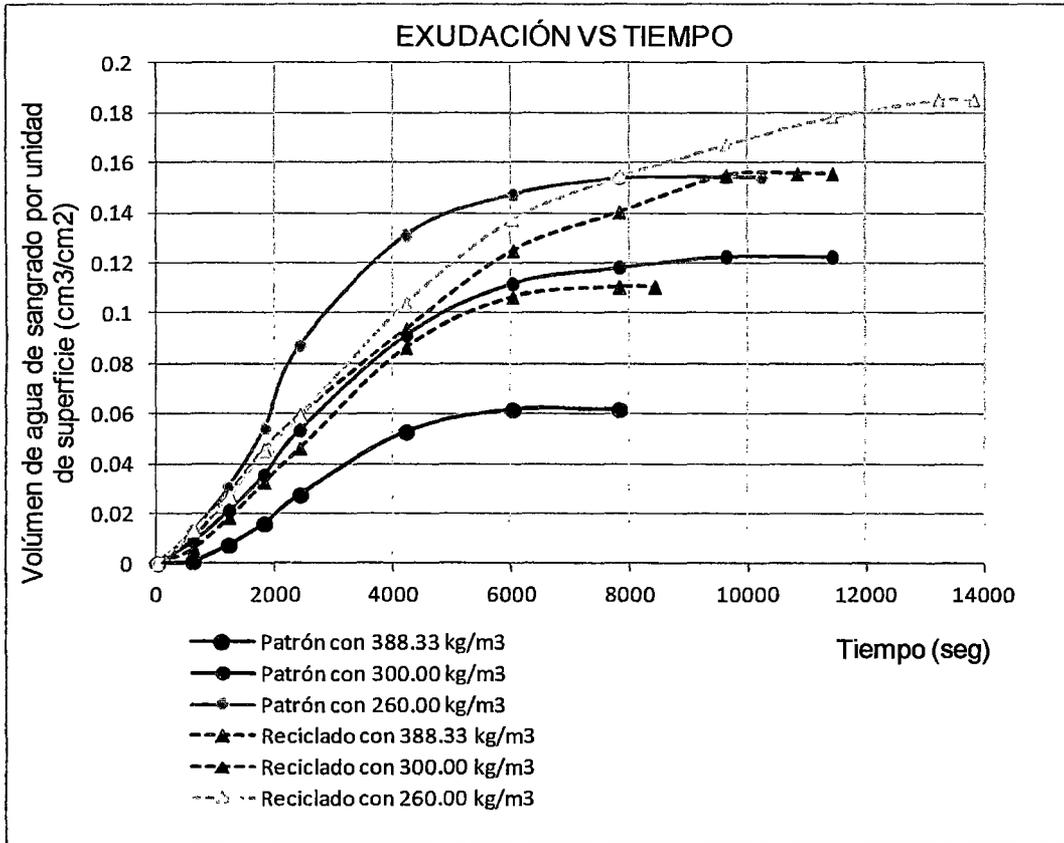
En las mezclas de concreto, si el agua de exudación es abundante entonces el recorrido de este material desde el interior de la mezcla hasta la superficie expuesta del concreto fresco provocará una mezcla porosa y débil, llena de vacíos y poco durable. Por el contrario si el agua de exudación es escasa y la tasa de evaporación del agua en el medio ambiente en que se trabaja es mayor a la tasa de exudación del concreto, entonces se generarán superficies secas y con ello grietas por contracción en el concreto.

El procedimiento experimental consiste en colocar y compactar una muestra de concreto fresco, y se va tomando las cantidades de agua que exuda a intervalos de tiempo determinados para obtener la tasa de exudación. Con el total de agua

exudada se calcula el porcentaje total de agua de exudación con respecto a la masa inicial del concreto.

A continuación el gráfico N° 5.5, muestra la evolución de la exudación.

Gráfico N° 5.5: Exudación del concreto fresco para diferentes contenidos de cemento – Muestra patrón y reciclada.



Fuente: Elaboración propia.

El cuadro N° 5.6, muestra los valores obtenidos de la exudación expresado en volumen, para la muestra patrón y reciclado:

Cuadro N° 5.6: Exudación del concreto fresco expresado en volumen – Muestra patrón y reciclada.

CONTENIDO DE CEMENTO (kg/m³)	EXUDACIÓN (ml)	
	PATRÓN	RECICLADO
260.00	75.70	91.00
300.00	60.10	76.40
358.33	30.20	54.20

El cuadro N° 5.7, muestra los valores obtenidos de la exudación para la muestra patrón y reciclado:

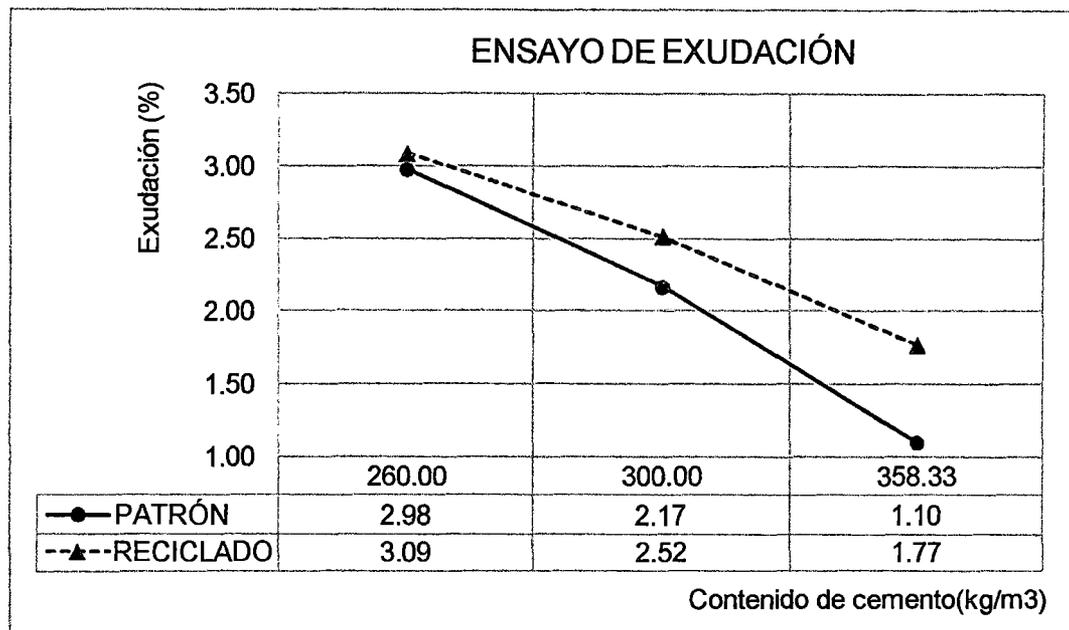
Cuadro N° 5.7: Exudación del concreto fresco – Muestra patrón y reciclada.

CONTENIDO DE CEMENTO (kg/m ³)	EXUDACIÓN (%)	
	PATRÓN	RECICLADO
260.00	2.98	3.09
300.00	2.17	2.52
358.33	1.10	1.77

Fuente: Elaboración propia.

Del cuadro N° 5.7, se obtiene el gráfico N° 5.6.

Gráfico N° 5.6: Exudación del concreto fresco – Muestra patrón y reciclada.



Fuente: Elaboración propia.

Capítulo VI

***DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES
DEL CONCRETO ENDURECIDO***

CAPÍTULO VI: DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES DEL CONCRETO ENDURECIDO.**6.1 GENERALIDADES.**

Los testigos una vez fabricados se proceden a curar, cuyo procedimiento consiste en sumergir en agua hasta el momento que requiera realizar algún ensayo. Durante este tiempo el testigo gradualmente va incrementando sus propiedades. Dentro de estas propiedades podemos citar lo siguiente: resistencia a la compresión, a la tensión o tracción, durabilidad, modulo elástico.

6.2 RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA COMPRESIÓN AXIAL.

Según la norma (NTP 339.034, ASTM C39). La resistencia a la compresión del concreto es el máximo esfuerzo que puede ser soportado por dicho material sin agrietarse o romperse. Se determina mediante ensayos de testigos cilíndricos normales de 6" de diámetro y 12" de altura.

Los cuadros N° 6.1 y 6.2, muestran los valores de la resistencia a la compresión axial para la muestra patrón y reciclaje:

Cuadro N° 6.1: Resistencia a la compresión axial – Muestra patrón.

CONTENIDO DE CEMENTO (kg/m ³)		260.00	300.00	358.33
EDAD DEL TESTIGO (Días)	7	155.22	203.21	257.12
	14	176.00	232.45	299.61
	28	202.38	258.37	313.04
	56	211.99	277.02	345.59

Fuente: Elaboración propia.

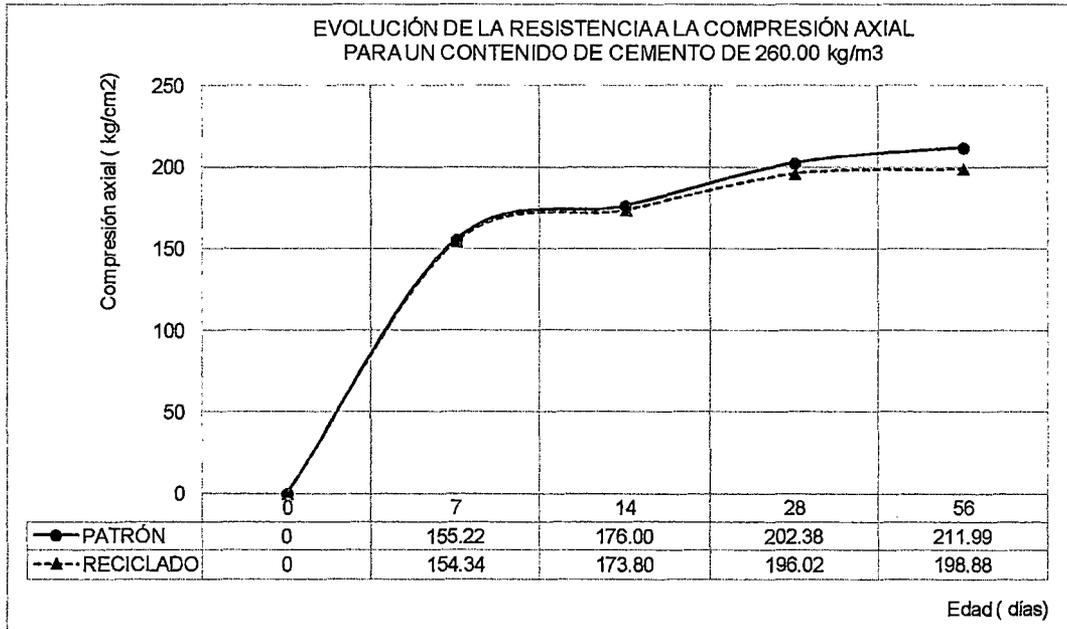
Cuadro N° 6.2: Resistencia a la compresión axial – Muestra reciclada.

CONTENIDO DE CEMENTO (kg/m ³)		260.00	300.00	358.33
EDAD DEL TESTIGO (Días)	7	154.34	197.72	223.44
	14	173.80	213.73	256.01
	28	196.02	238.05	266.52
	56	198.88	248.83	276.32

Fuente: Elaboración propia.

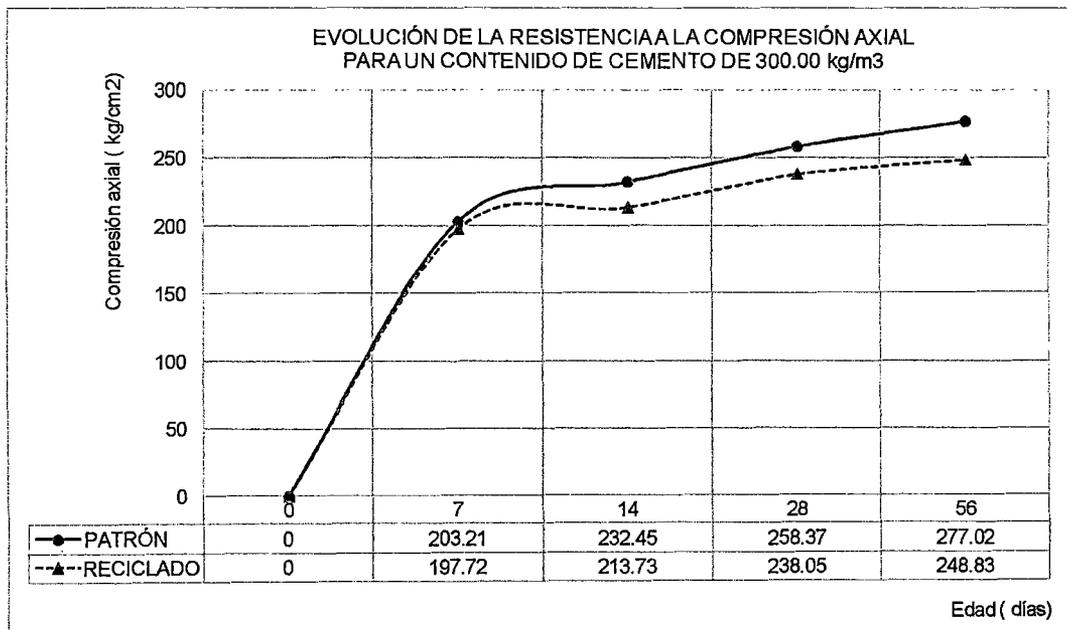
Los resultados de los cuadros N° 6.1 y 6.2 generan las gráficas N° 6.1, 6.2 y 6.3.

Gráfico N° 6.1: Evolución de la resistencia a la compresión axial para un contenido de cemento de 260.00 kg/m³ – Muestra patrón y reciclada.



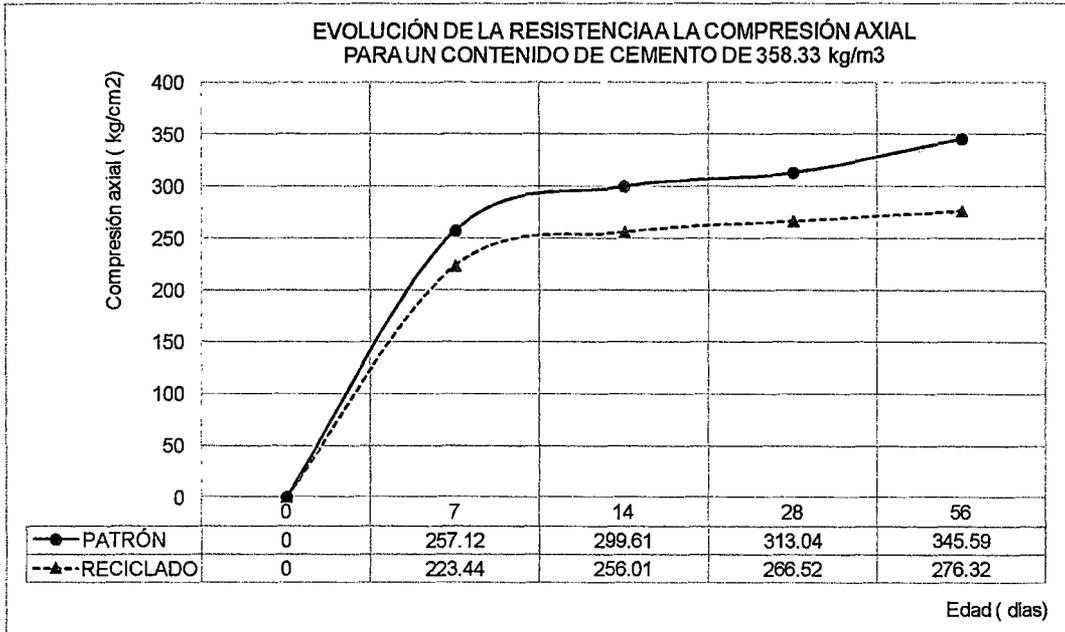
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 6.2: Evolución de la resistencia a la compresión axial para un contenido de cemento de 300.00 kg/m³ – Muestra patrón y reciclada.



Fuente: Elaboración propia.

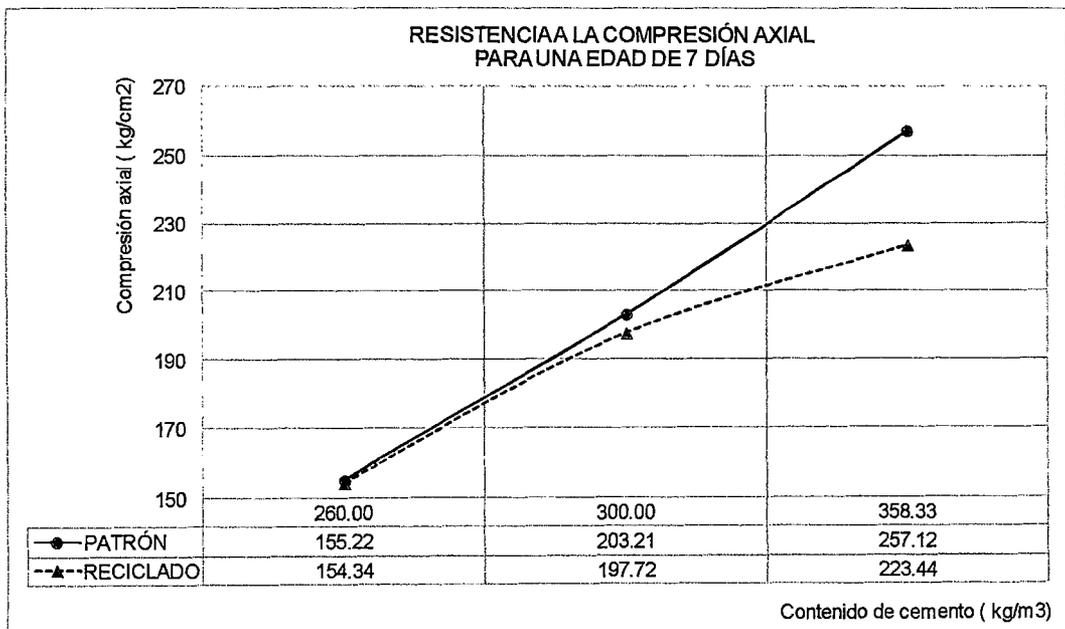
Gráfico N° 6.3: Evolución de la resistencia a la compresión axial para un contenido de cemento de 358.33 kg/m³ – Muestra patrón y reciclada.



Fuente: Elaboración propia.

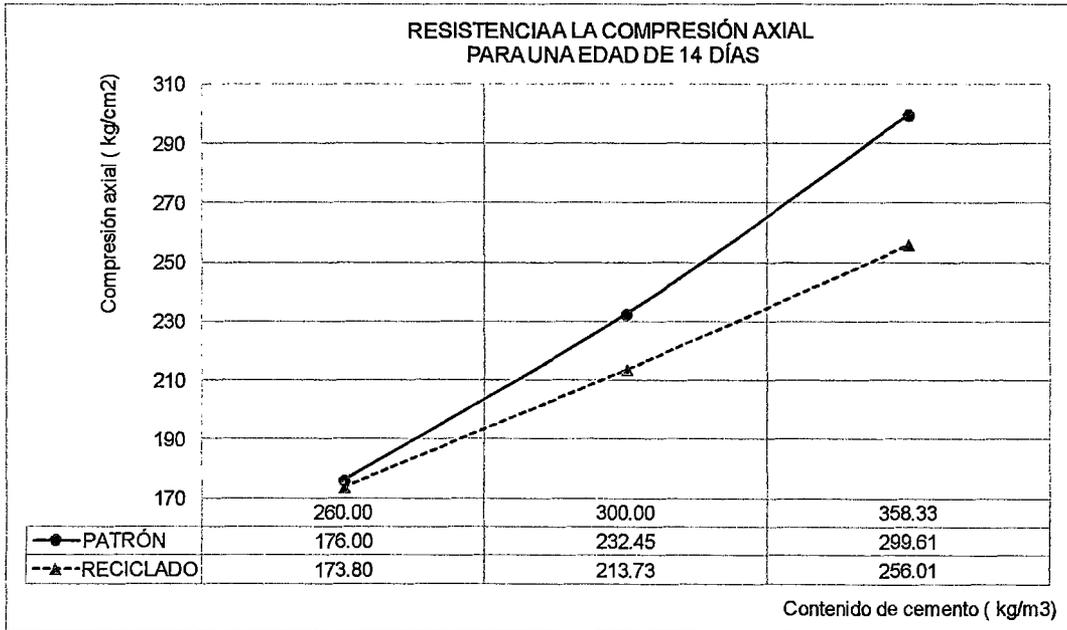
De los cuadros N° 6.1 y 6.2, tomando como base el tiempo de curación, se obtiene las gráficas N° 6.4, 6.5, 6.6 y 6.7, en el cual se muestra que para un menor contenido de cemento la resistencia a la compresión axial tiende a ser el mismo valor tanto para la muestra patrón como reciclado:

Gráfico N° 6.4: Resistencia a la compresión axial para una edad de curado de 7 días – Muestra patrón y reciclada.



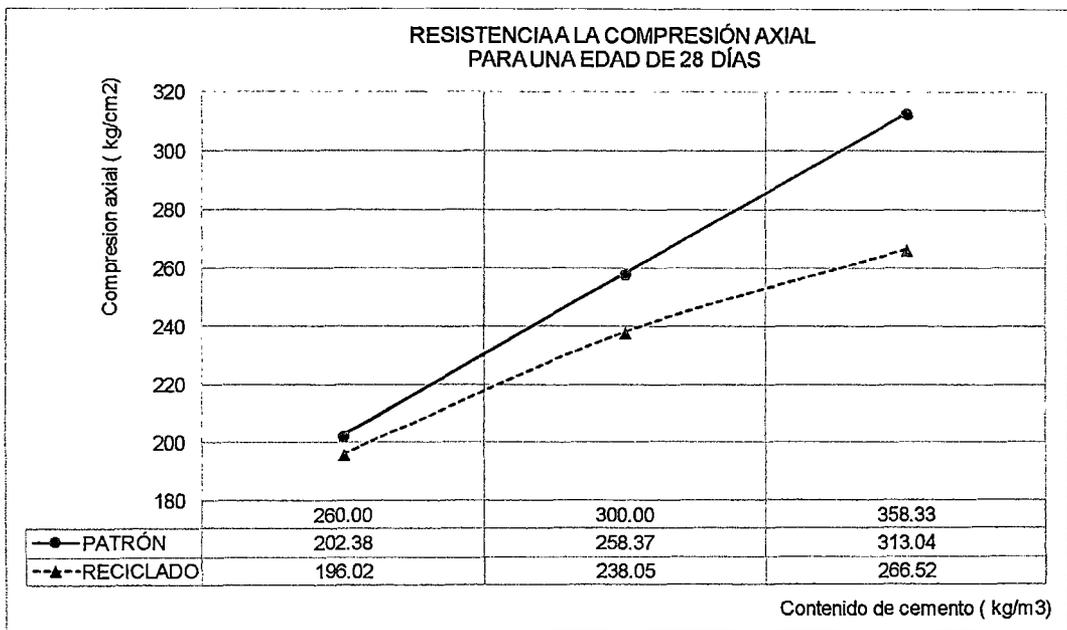
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 6.5: Resistencia a la compresión axial para una edad de curado de 14 días – Muestra patrón y reciclada.



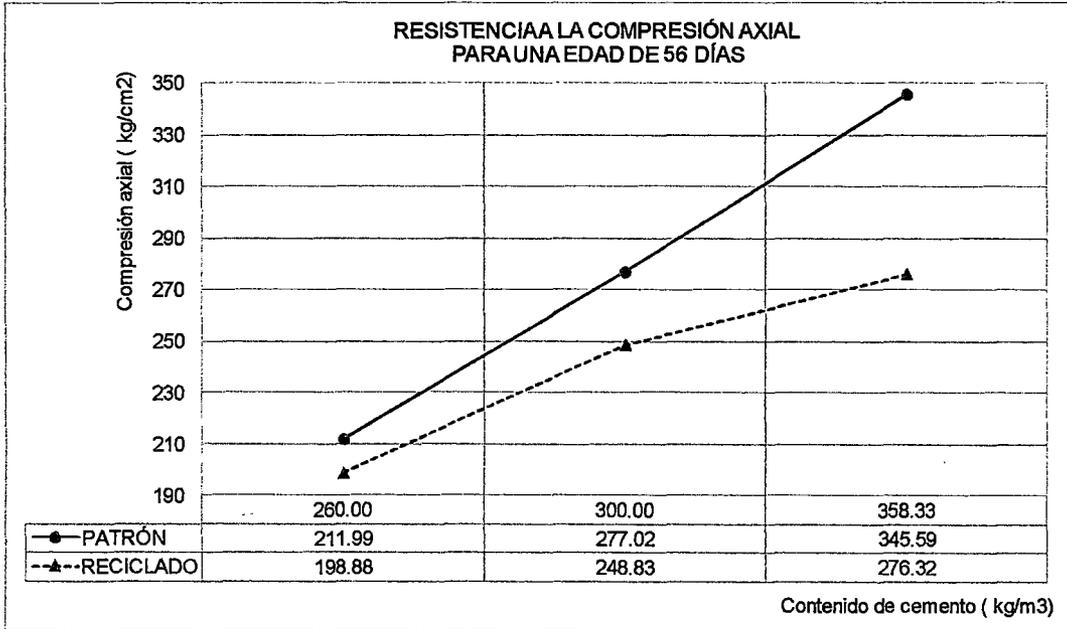
Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 6.6: Resistencia a la compresión axial para una edad de curado de 28 días – Muestra patrón y reciclada.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 6.7: Resistencia a la compresión axial para una edad de curado de 56 días – Muestra patrón y reciclada.



Fuente: Elaboración propia.

6.3 RESISTENCIA DEL CONCRETO A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL.

Según la norma (NTP 339.084, ASTM C496). Para realizar este ensayo se usan testigos similares a la que se usan en el ensayo a compresión. El ensayo de tracción por el método brasilero consiste en romper el testigo entre los dos platos de la prensa de compresión.

Con la finalidad de distribuir uniformemente la carga a la superficie del concreto se coloca un trozo de triplay de 5mm de espesor. Se debe recalcar que el testigo este bien centrada.

Los cuadros N° 6.3 y 6.4, muestran los valores de la resistencia a la tracción por compresión diametral para la muestra patrón y reciclaje:

Cuadro N° 6.3: Resistencia a la tracción por compresión diametral – Muestra patrón.

CONTENIDO DE CEMENTO (kg/m3)	260.00	300.00	358.33
VALOR DE LA RESISTENCIA (kg/cm2)	24.73	29.48	29.99

Fuente: Elaboración propia.

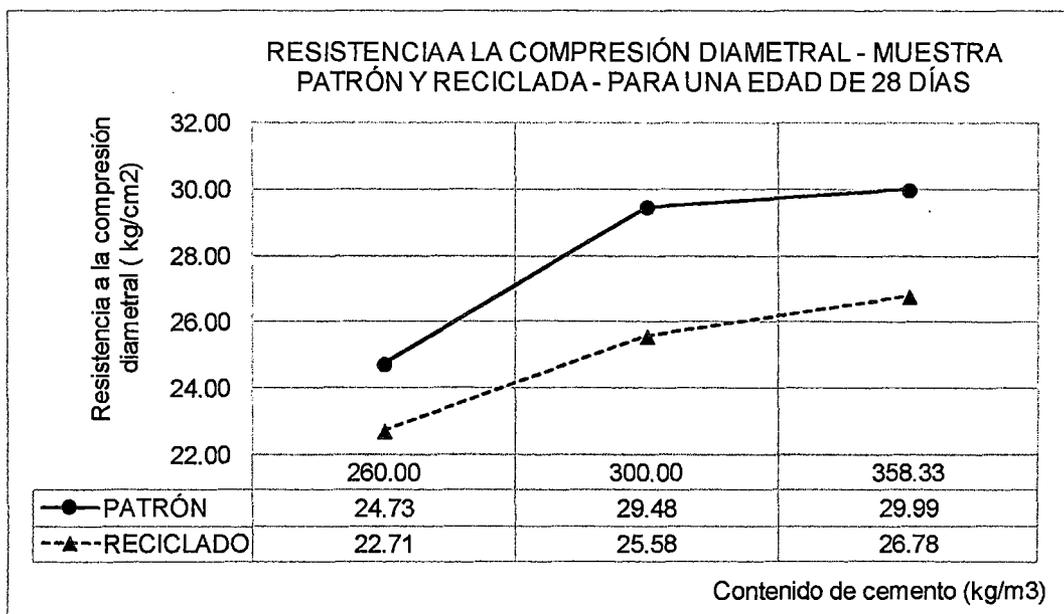
Cuadro N° 6.4: Resistencia a la tracción por compresión diametral – Muestra reciclada.

CONTENIDO DE CEMENTO (kg/m ³)	260.00	300.00	358.33
VALOR DE LA RESISTENCIA (kg/cm ²)	22.71	25.58	26.78

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de los cuadros N° 6.3 y 6.4 generan la gráfica N° 6.8.

Gráfico N° 6.8: Resistencia a la tracción por compresión diametral – Muestra patrón y reciclada.



Fuente: Elaboración propia.

De los cuadros N° 6.1, 6.2, 6.3 y 6.4, expresando la tracción por compresión diametral como un porcentaje de la resistencia a la compresión axial para la edad de 28 días, se obtiene el cuadro N° 6.5.

Cuadro N° 6.5: Relación entre la tracción por compresión diametral y la resistencia a la compresión axial – Muestra patrón.

CONTENIDO DE CEMENTO (kg/m ³)	COMPRESIÓN AXIAL (kg/cm ²)	COMPRESIÓN DIAMETRAL (kg/cm ²)	%
260.00	202.38	24.73	12.22
300.00	258.37	29.48	11.41
358.33	313.04	29.99	9.58

Fuente: Elaboración propia.

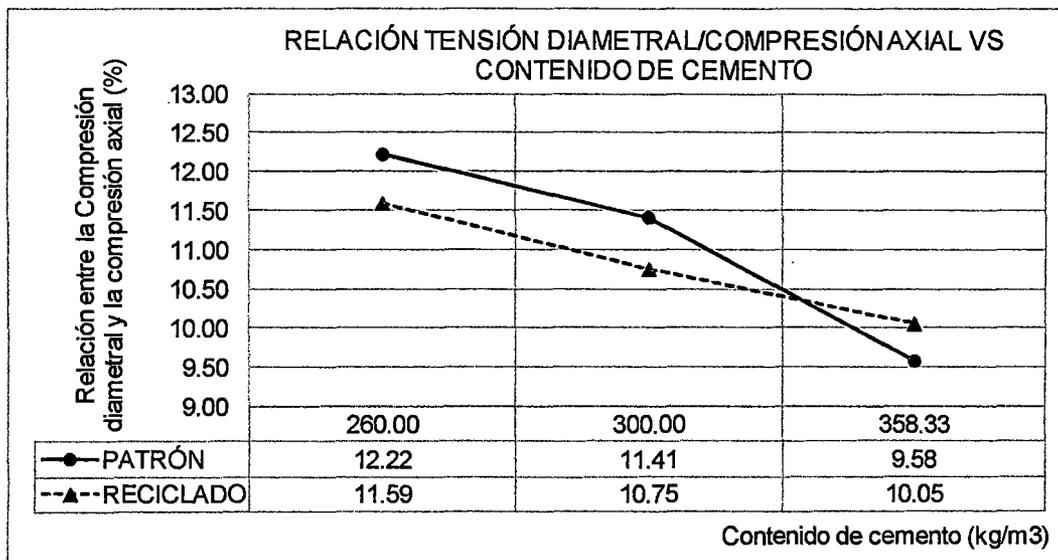
De la misma forma para la muestra reciclada, se genera el cuadro N° 6.6.

Cuadro N° 6.6: Relación entre la tracción por compresión diametral y la resistencia a la compresión axial – Muestra reciclada.

CONTENIDO DE CEMENTO (kg/m ³)	COMPRESIÓN AXIAL (kg/cm ²)	COMPRESIÓN DIAMETRAL (kg/cm ²)	%
260.00	196.02	22.71	11.59
300.00	238.05	25.58	10.75
358.33	266.52	26.78	10.05

Fuente: Elaboración propia.

Gráfico N° 6.9: Relación entre la resistencia a la compresión axial y resistencia a la tracción por compresión diametral – Muestra patrón y reciclada.



Fuente: Elaboración propia.

6.4 ABSORCIÓN DE AGUA.

Según la norma (ASTM C642), es la propiedad de los concretos endurecidos por la cual absorben fluidos del medio que los rodea.

El concreto endurecido por su propia naturaleza tiene en su estructura poros los cuales dependiendo pueden contener agua o estar vacíos. En este último en condiciones húmedas tienden a absorber agua con la finalidad de llenar esos vacíos. Debe aclararse que tanto como el agregado así como la pasta de cemento endurecida tienen porosidad.

El procedimiento para medir dicha absorción utiliza agua y está descrito en la NTP 339.187 y consiste en sumergir dicha muestra en un recipiente con agua.

Como segundo paso se lleva al horno por un tiempo de 24 horas. Luego se procede a tomar lectura del peso. Para determinar la absorción, se compara el peso de agua absorbido con el peso de la muestra seca.

Se debe tener presente que el agua a eliminarse será aquella que puede lograr salir en forma de vapor durante el proceso de secado.

El cuadro N° 6.7, muestra los valores de la absorción de agua para los diferentes contenidos de cemento.

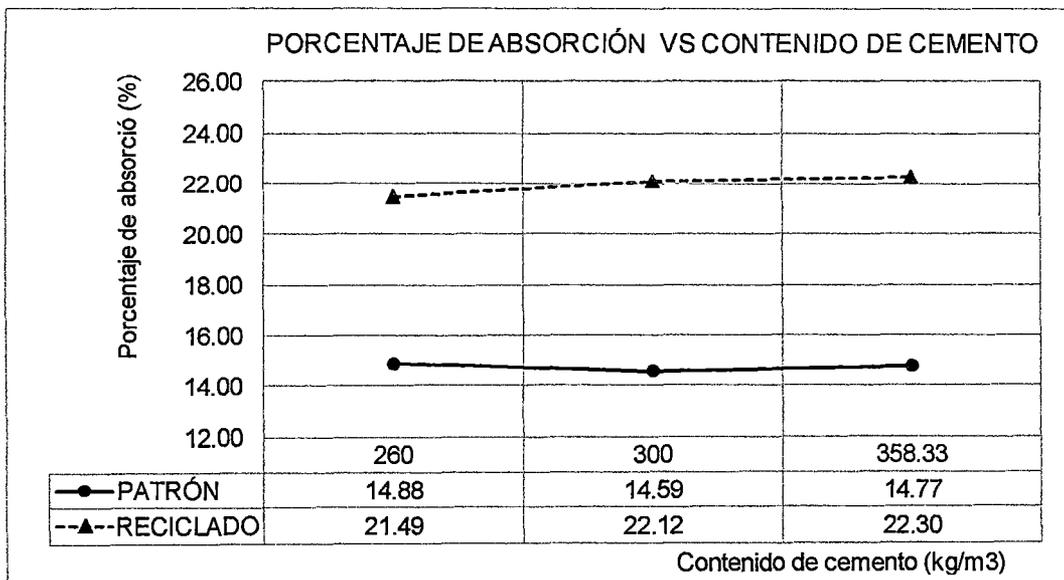
Cuadro N° 6.7: Valores de la absorción de agua para diferentes contenido de cemento – Muestra patrón y reciclada.

CONTENIDO DE CEMENTO (kg/m ³)	ABSORCIÓN (%)	
	MUESTRA PATRÓN	MUESTRA RECICLADA
260.00	6.58	10.57
300.00	6.43	10.97
358.33	6.49	11.09

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados de los cuadros N° 6.7 generan la gráfica N° 6.10.

Gráfico N° 6.10: Absorción de agua para diferentes contenidos de cemento – Muestra patrón y reciclada.



Fuente: Elaboración propia.

Capítulo VII

ANÁLISIS DE RESULTADOS

CAPÍTULO VII: ANÁLISIS DE RESULTADOS.

7.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS A LOS AGREGADOS.

7.1.1 Granulometría del agregado.

- *Agregado fino.*

El agregado fino patrón usado pertenece a la cantera Cerro Camote, mientras que el agregado fino reciclado se fabricó a partir de trituración manual. Estos agregados se le practicaron los respectivos ensayos granulométricos, cuyos resultados se encuentran en los cuadros N° 3.2 y 3.12; obteniéndose el gráfico N° 7.1.

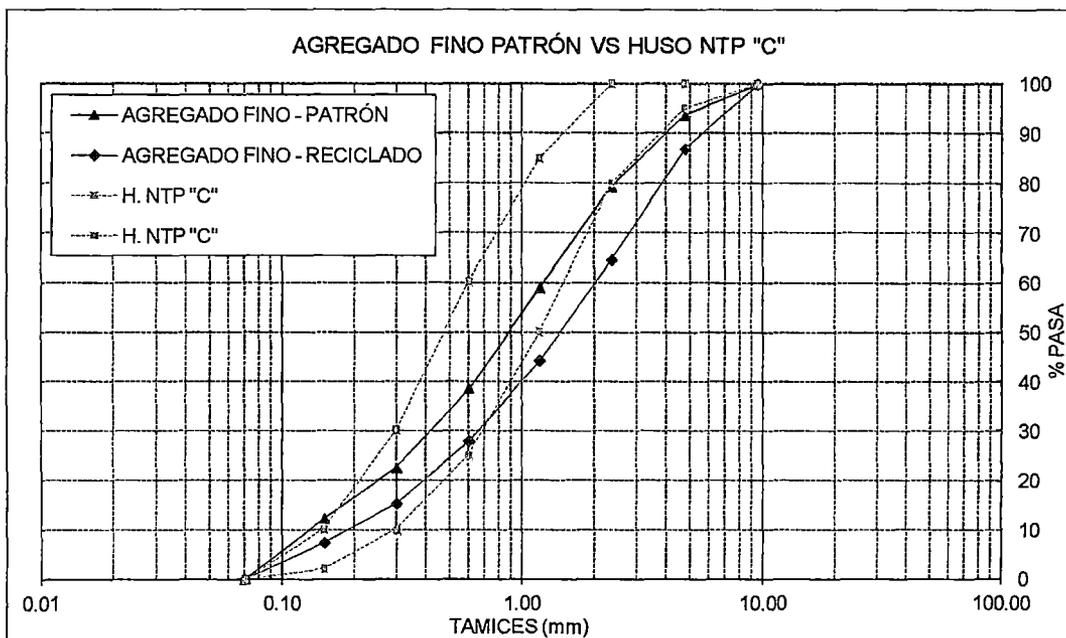


Gráfico N° 7.1: Comparativa agregado fino vs Huso NTP "C".

Fuente: Elaboración propia.

Se observa que el agregado fino de la muestra patrón tiende un comportamiento que se adecua mas a los límites establecidos por la NTP 400.037. Por lo tanto cumple con las especificaciones solicitadas.

En cuanto al material fino de la muestra reciclada tiende a salir de los límites establecidos por la NTP 400.037. Se observa que hay mayor fracción gruesa retenida en los tamices N° 4 (4.75mm), 8 (2.36mm) en detrimento de las N° 30 y 50. De acuerdo a la distribución de partículas se puede observar que el agregado fino reciclado es más grueso o de mayores dimensiones que el patrón. Según las NTP, el agregado fino no retiene más del 45% en dos tamices consecutivos.

Se debe acotar que el agregado reciclado está compuesto de fracciones de mortero, por tanto tiende a proporcionarle una mayor friabilidad, así como tiende a tener mayor aspereza debido a su mayor angulosidad.

- *Agregado grueso.*

El agregado grueso patrón usado pertenece a la Cantera UNICON, mientras que el agregado grueso reciclado se fabricó a partir de trituración manual. Estos agregados se le practicaron los respectivos ensayos granulométricos, cuyos resultados se encuentran en los cuadros N° 3.3 y 3.13; obteniéndose el gráfico N° 7.2.

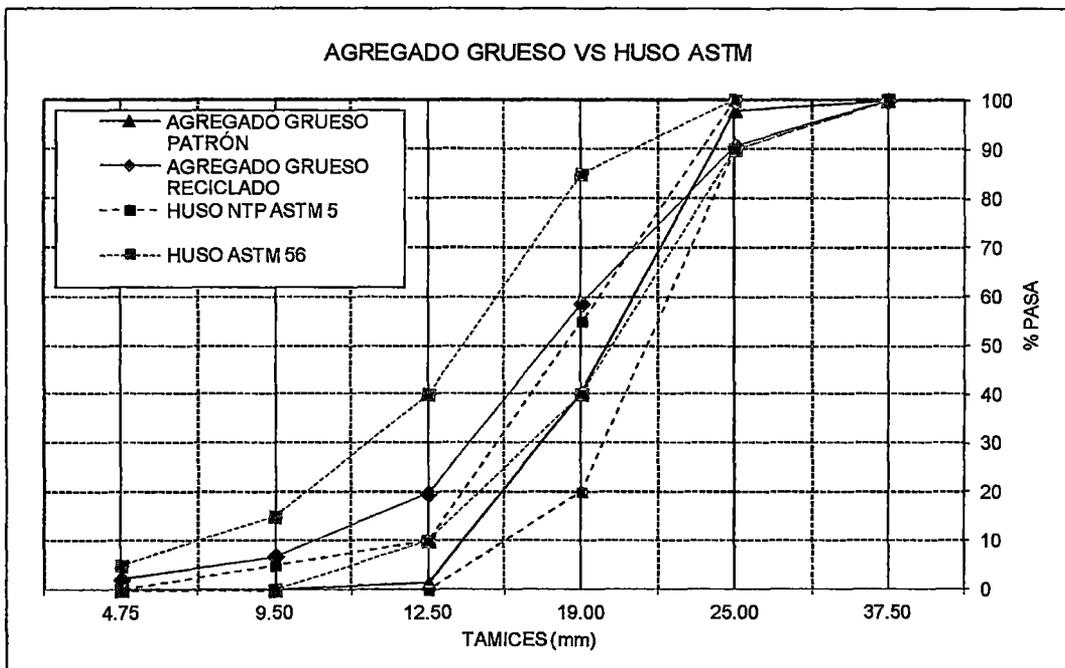


Gráfico N° 7.2: Comparativa agregado grueso vs Huso ASTM.

Fuente: Elaboración propia.

El agregado grueso de la muestra patrón tiende un comportamiento que se adecua mas a los límites establecidos por el huso ASTM N° 5.

Mientras que el agregado grueso reciclado se sitúa mejor en los límites establecidos por el huso ASTM N° 56.

Comparando ambas curvas se denota que el agregado reciclado presenta una distribución más uniforme. Tiene mayores retenidos en las mallas N° 1", 3/8" y 1/4" y menor en las malla N° 3/4" en comparación al agregado grueso de la muestra patrón.

Ambas muestras no exceden del 6% que pasan la malla N° ¼".

El mayor inconveniente del agregado reciclado es su mayor friabilidad, es decir este agregado esta propenso a un desmenuzamiento por solo efecto de manipulación, almacenamiento y transporte debido a que está compuesto de fracciones de mortero o partículas pétreas con fracciones de mortero adherido. Para una misma muestra puede cambiar la distribución granulométrica. La muestra reciclada presenta un 2.18% de retenido en el fondo (que pasa la malla N° 4).

- *Agregado global.*

Los valores del análisis granulométrico de la muestra patrón y reciclado, se muestra en el anexo A.

Según el gráfico N° 7.3, muestra que el agregado global reciclado comparando con el Huso DIN 1045, muestra que gran parte se ubica dentro de los límites I y II. De igual forma, el agregado global patrón se sitúa entre los Husos I y II.

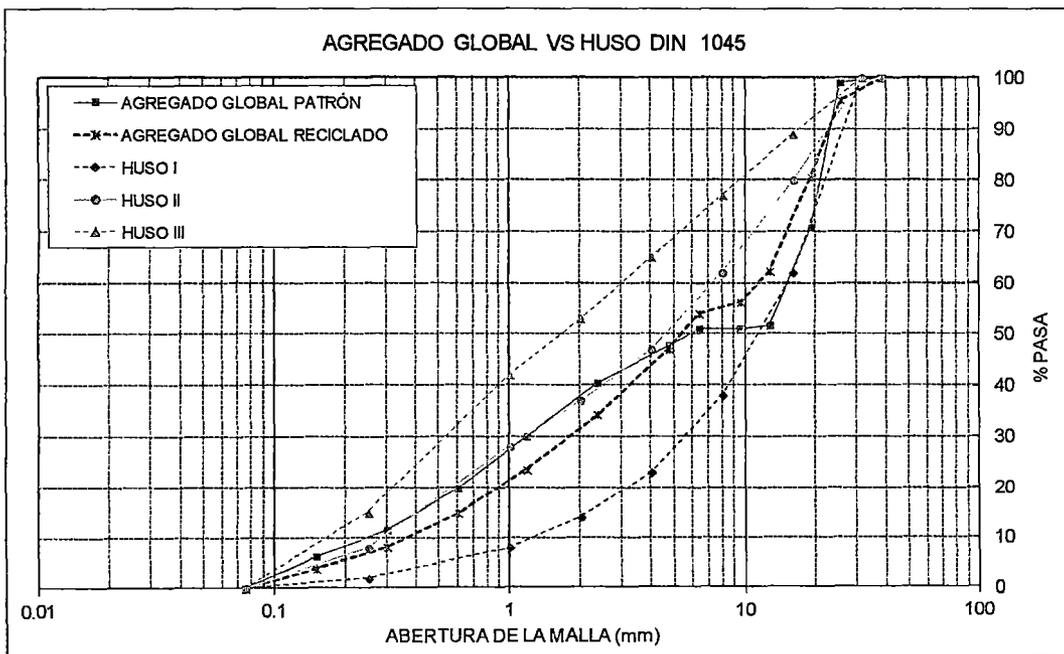


Gráfico N° 7.3: Comparativa agregado global vs DIN 1045.

Fuente: Elaboración propia.

Si comparamos el agregado global con los requisitos establecidos por la NTP 400.037, el gráfico N° 7.4, muestra que un 50% sale de los límites A y B

establecidos en la NTP. De igual forma, el agregado global patrón tiene similar comportamiento.

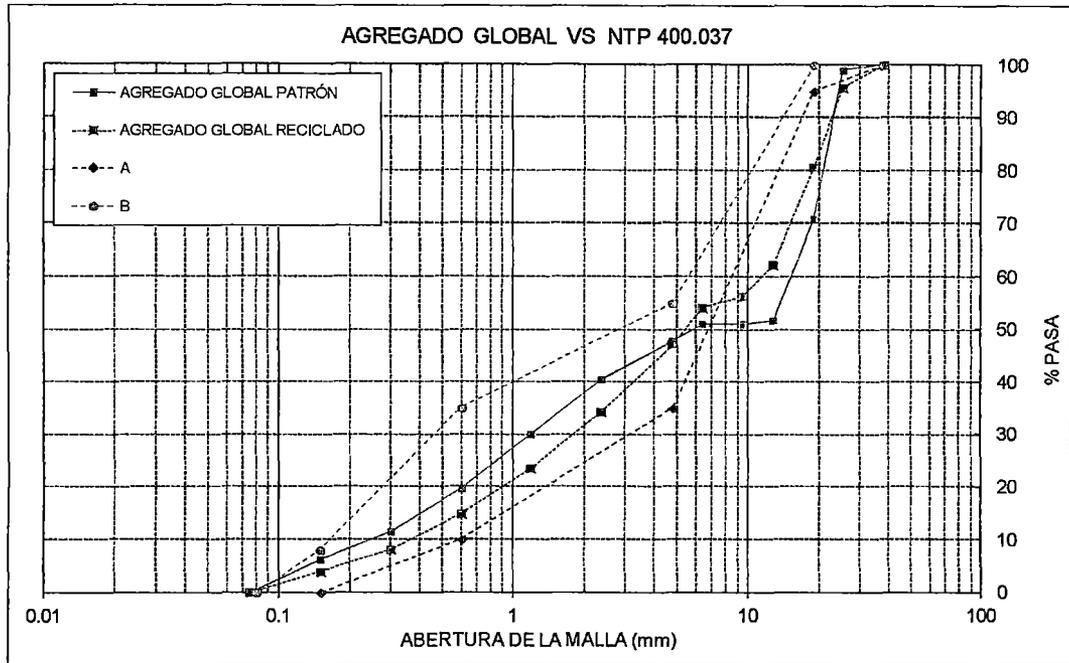


Gráfico N° 7.4: Comparativa agregado global vs NTP.

Fuente: Elaboración propia.

7.1.2 Módulo de finura.

Los valores del módulo de finura se encuentran en el cuadro N° 3.4 y 3.14.

Para el caso del agregado fino la muestra reciclada tiene 3.54 frente a los 2.95 determinado para la muestra patrón, es decir un 20% más. Esto nos indica que el agregado fino de la muestra reciclada tiene menor fracción de finos que la muestra patrón.

Mientras el agregado grueso, la muestra reciclada presenta un módulo de finura igual a 7.21 frente al valor de 7.59 determinado para la muestra patrón. Esto significa que la muestra en términos porcentuales llega al 95% del valor obtenido de la muestra patrón. Es decir la muestra reciclada tiene un poco más de finos.

Se debe notar que el agregado grueso presenta una mayor propensión a la friabilidad por efectos de la presencia de mortero ya sea como partícula o adherido al agregado pétreo.

Tomando en cuenta que es recomendable para el agregado fino un módulo de finura que este comprendido entre 2.3 y 3.1, el agregado patrón cumple con tal requerimiento. Mientras que el agregado reciclado con un módulo de finura de 3.54 supera lo recomendado.

A continuación se muestra la gráfica N° 7.5, del módulo de finura del agregado reciclado expresado en porcentaje en función al agregado patrón:

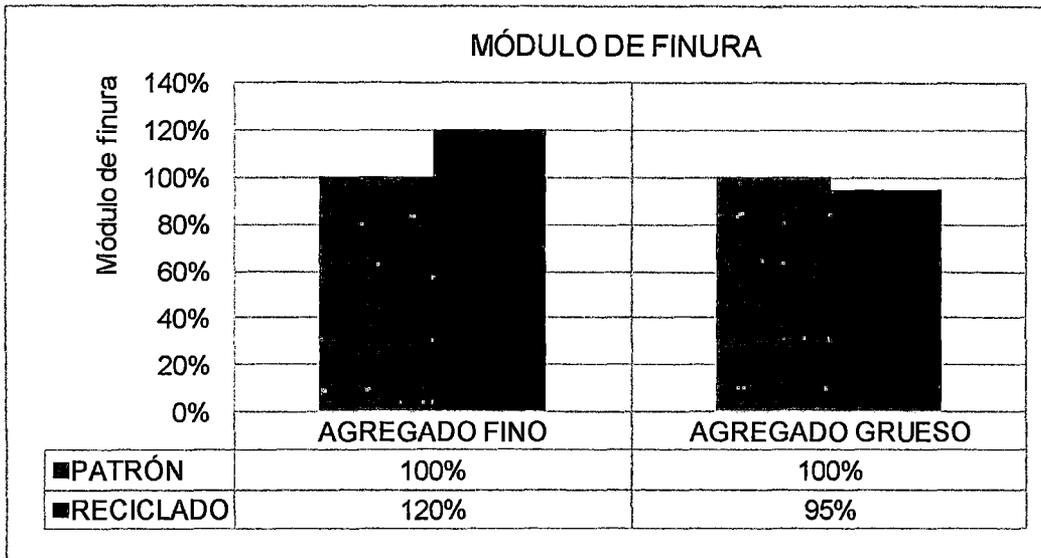


Gráfico N° 7.5: Comparativa del módulo de finura.

Fuente: Elaboración propia.

7.1.3 Superficie específica.

Los valores determinados para la superficie del agregado se muestran en los cuadros N° 3.5 y 3.15.

El agregado fino reciclado tiene 26.48 gr/cm² en comparación a los 27.53 gr/cm² determinados para el agregado fino patrón. En términos porcentuales el agregado fino reciclado llega al 96.19% de superficie específica de la muestra patrón.

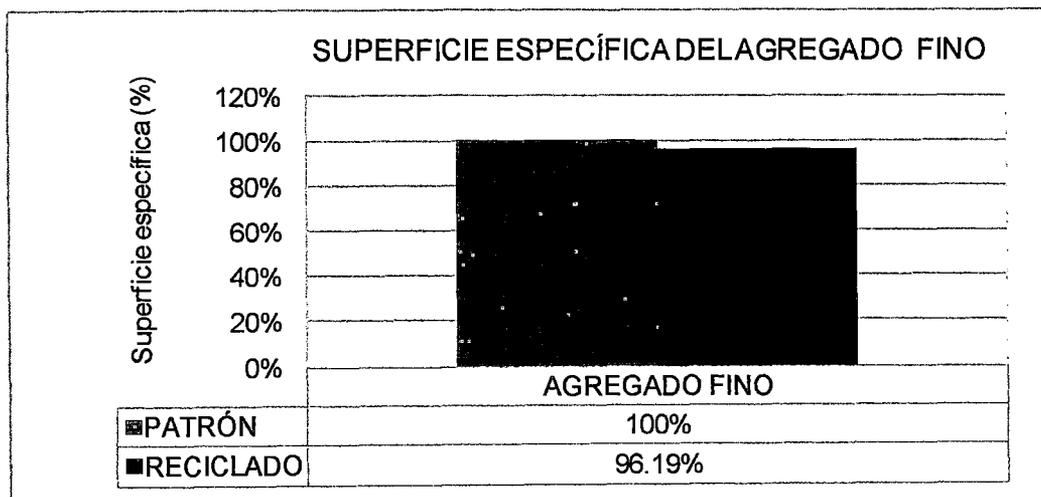


Gráfico N° 7.6: Comparativa de la superficie específica del agregado fino

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso del agregado grueso, la muestra reciclada tiene 1.59 cm²/gr en comparación al valor de 1.18 cm²/gr del agregado grueso patrón. En términos porcentuales el agregado grueso reciclado tiene en superficie específica un 34.75% más que la muestra del agregado grueso patrón.

El menor módulo de finura del agregado grueso reciclado esta de acorde con una mayor superficie específica del mismo agregado.

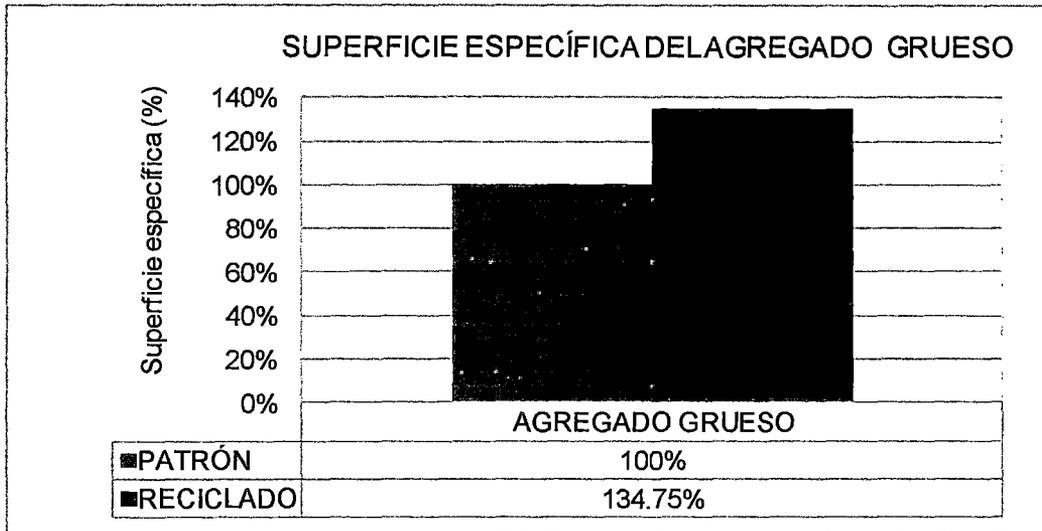


Gráfico N° 7.7: Comparativa de la superficie específica del agregado grueso.

Fuente: Elaboración propia.

7.1.4 Peso unitario de los agregados.

Los valores determinados del PUS y PUC de los agregados se muestran en los cuadros N° 3.6 y 3.16. El grafico N° 7.8 muestra la variación porcentual.

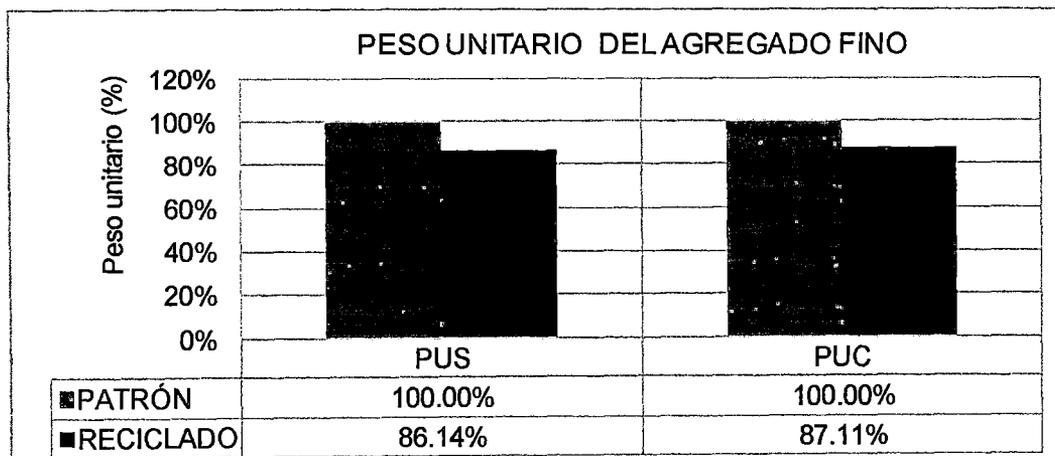


Gráfico N° 7.8: Comparativa del peso unitario del agregado fino.

Fuente: Elaboración propia.

En el agregado fino, la muestra reciclada tiene como PUS el valor de 1441.70 kg/m³ en comparación al valor de 1673.73 kg/m³ del agregado fino patrón, es decir solo llega al 86.14% de la muestra patrón. Mientras que el agregado fino reciclado tiene como PUC el valor de 1647.82 kg/m³ en comparación al valor de 1891.64 kg/m³ del agregado fino patrón. También muestra un máximo de 87.11% de la muestra patrón.

Para el caso del agregado grueso, la muestra reciclada tiene como PUS el valor de 1195.27 kg/m³ en comparación al valor de 1355.93 kg/m³ del agregado fino patrón, es decir representa el 88.15% de la muestra patrón.

Para el caso del PUC, el agregado grueso reciclado tiene como PUC el valor de 1331.22 kg/m³ en comparación al valor de 1536.02 kg/m³ del agregado grueso patrón, es decir solo llega al 86.67% de la muestra patrón. A continuación se muestra la variación porcentual según el gráfico N° 7.9

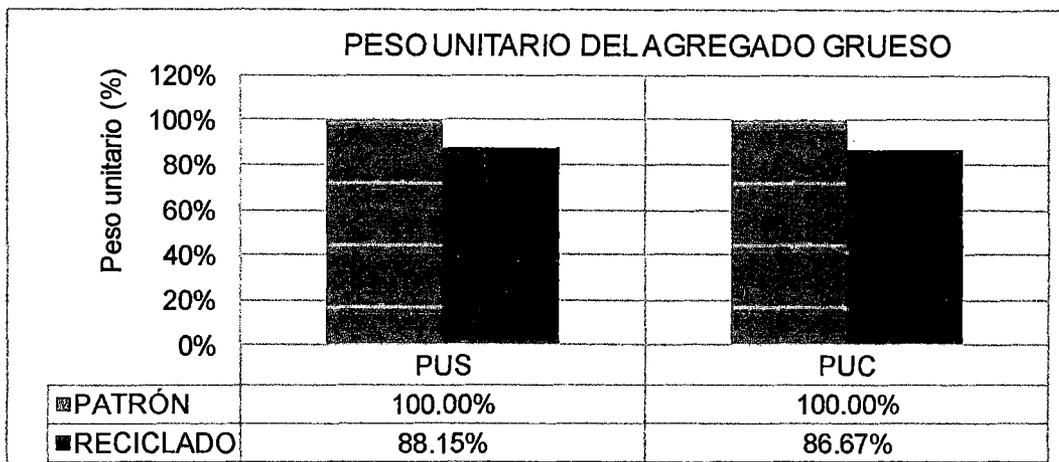


Gráfico N° 7.9: Comparativa del peso unitario del agregado grueso.

Fuente: Elaboración propia.

El factor que determina que el agregado reciclado tanto fin como grueso tenga menores pesos unitarios es la gran cantidad de fracciones de mortero ya sea solo o adherido a partículas pétreas. Estas fracciones de mortero presentan gran porosidad.

7.1.5 Peso específico de los agregados.

Los valores determinados para el peso específico de los agregados de la muestra patrón y reciclada se muestran en los cuadros N° 3.8 y 3.18

El agregado fino de la muestra reciclada presenta tanto para el peso específico de masa, peso específico de masa superficialmente seco y peso específico aparente, los siguientes valores 2.32, 2.44 y 2.66 gr/cm³ respectivamente, en comparación a los valores de 2.66, 2.70 y 2.76 gr/cm³ del agregado fino patrón, es decir tiene valores porcentuales del 87.22%, 90.37% y 96.38% respectivamente del valor del agregado fino de la muestra patrón.

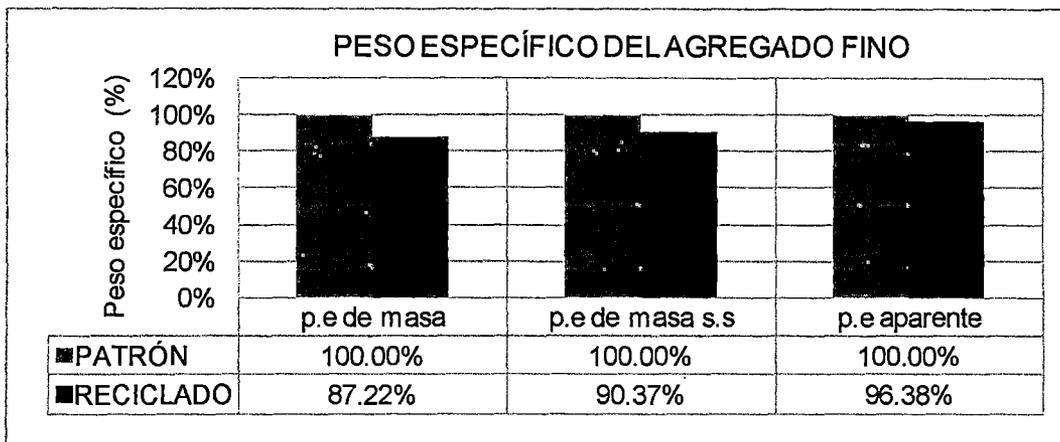


Gráfico N° 7.10: Comparativa del peso específico del agregado fino.

Fuente: Elaboración propia.

Para el caso del agregado grueso presenta los siguientes valores 2.24 gr/cm³, 2.41 gr/cm³ y 2.69 gr/cm³ respectivamente, frente a los valores de 2.67 gr/cm³, 2.69 gr/cm³ y 2.73 gr/cm³ del agregado fino patrón. En términos porcentuales el agregado grueso reciclado representa el 83.90%, 89.59% y 98.53% respectivamente del agregado grueso de la muestra patrón.

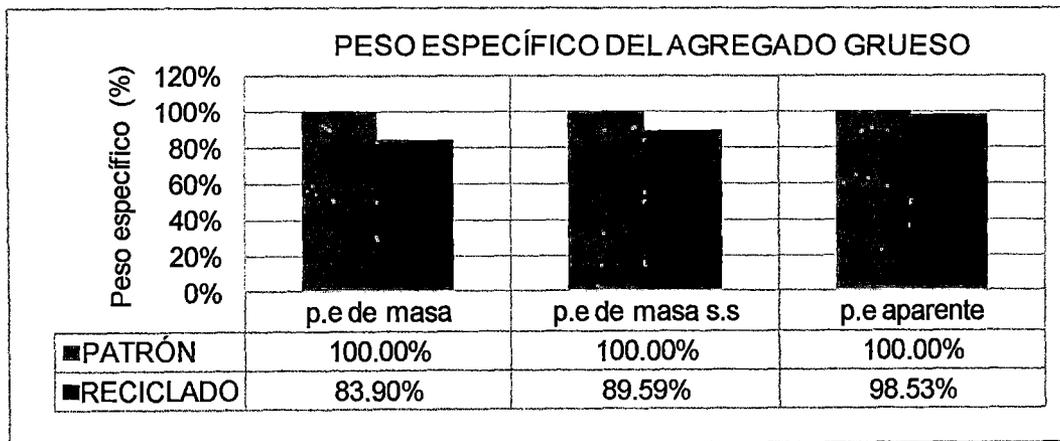


Gráfico N° 7.11: Comparativa del peso específico del agregado grueso.

Fuente: Elaboración propia.

Similar al módulo de finura y la superficie específica, los diferentes pesos específicos también son afectados tanto para el agregado fino y grueso por la gran cantidad de mortero con baja densidad dentro de su composición granulométrica.

De acuerdo a los valores obtenidos, el agregado patrón tanto la muestra fina como gruesa está catalogado como un agregado normal debido a que el peso específico de masa es menor a 2.75 gr/cm³.

Mientras que el agregado reciclado tanto como la muestra fina y gruesa está catalogado como agregado ligero debido a que su peso específico es menor a 2.5 gr/cm³.

El bajo específico de masa del agregado reciclado le confiere las partículas mortero ya sea solo o adherido.

7.1.6 Absorción.

Los valores obtenidos de la absorción de la muestra patrón y reciclada, figuran en el cuadro N° 3.9 y 3.19.

El agregado fino de la muestra reciclada tiene como porcentaje de absorción el valor de 5.56% en comparación al valor de 1.39% de la muestra patrón. Es decir la muestra reciclada representa un 400% de la muestra patrón.

Mientras que el para el agregado grueso de la muestra reciclada la absorción llega al 7.47% en comparación al 0.84% que tiene el agregado grueso de la muestra patrón. Realizando la comparación porcentual, el agregado reciclado representa 889% de la muestra patrón. Para ambos casos hay un notable incremento en la absorción.

La elevada absorción presente en el agregado reciclado tanto fino como grueso también es generada por la elevada presencia de mortero ya sea solo o adherida a partículas pétreas.

De acuerdo a la RILEM, las absorciones encontradas tanto para el agregado fino como grueso de la muestra reciclada, no superan el máximo permitido que es igual a 10%. Para este caso las especificaciones belgas establecen una absorción máxima del 9%.

A continuación, el gráfico N° 7.12 se denota la comparación de la absorción para la muestra patrón y reciclada.

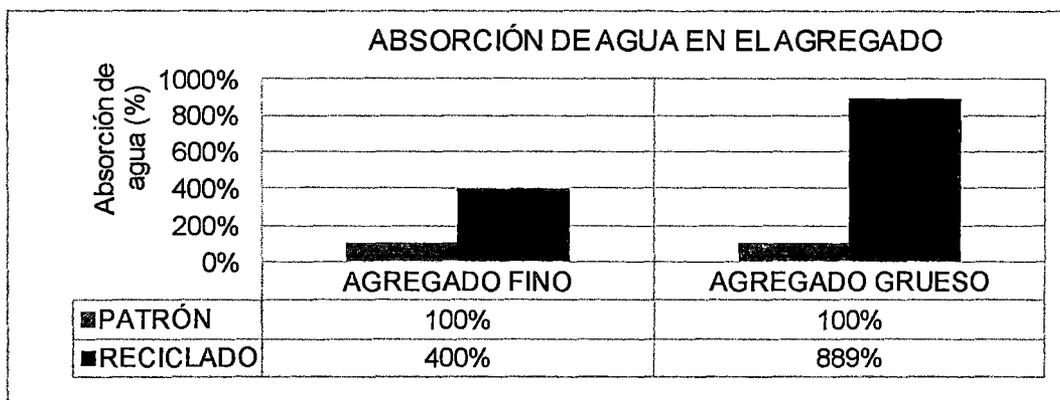


Gráfico N° 7.12: Comparativa de la absorción.

Fuente: Elaboración propia.

7.1.7 Material fino que pasa la malla N° 200.

Los valores obtenidos del material fino que pasa la malla N° 200, figuran en el cuadro N° 3.10 y 3.20.

El material fino e la muestra reciclada tiene 2.97%, en comparación al valor de 5.20% , es decir representa un 57.12% de la muestra patrón.

La muestra patrón no cumple con el máximo permitido por la NTP. Mientras que el reciclado no supera lo establecido por la NTP 400.037 que es igual a 5% y no supera el 4% establecido por la norma alemana.

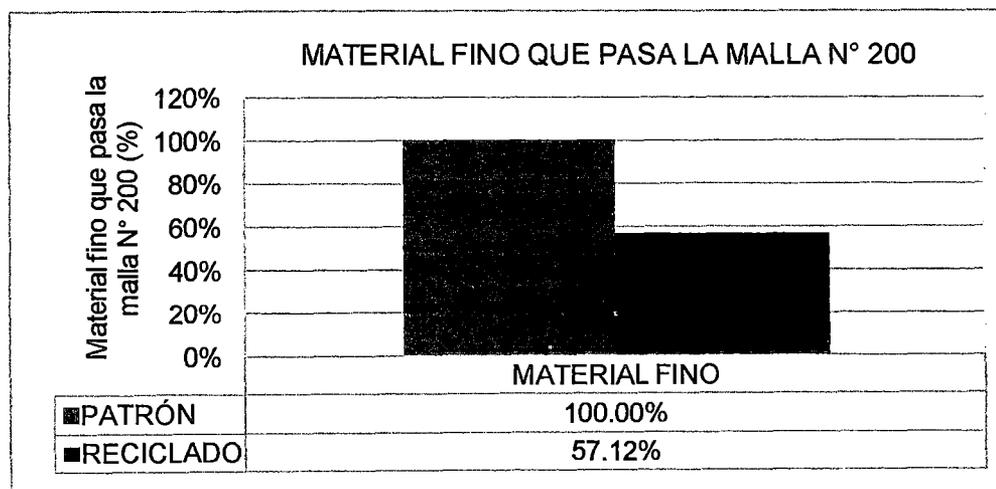


Gráfico N° 7.13: Comparativa del material fino que pasa la malla N° 200.

Fuente: Elaboración propia.

Una de las razones por el bajo contenido de finos es que los finos naturales difícilmente se encuentran solos. La mayoría de los finos están unidos con uno o más partículas a través de la fase continua.

7.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO FRESCO.

7.2.1 Consistencia.

El gráfico N° 7.14, muestra los valores determinados de la consistencia de la mezcla en estado fresco, en el cual se puede observar que la muestra patrón tiene asentamientos promedios del orden de 3¾", 3¾" y 4". Mientras que la muestra reciclada tiene asentamientos promedios de 3¾", 4" y 4¼", para contenidos de cemento de 358.33, 300 y 260 kg/m³.

Todos los asentamientos tanto para la muestra patrón y reciclada son aceptados debido a que se encuentran en el rango de 3" a 4" con tolerancias de ±1".

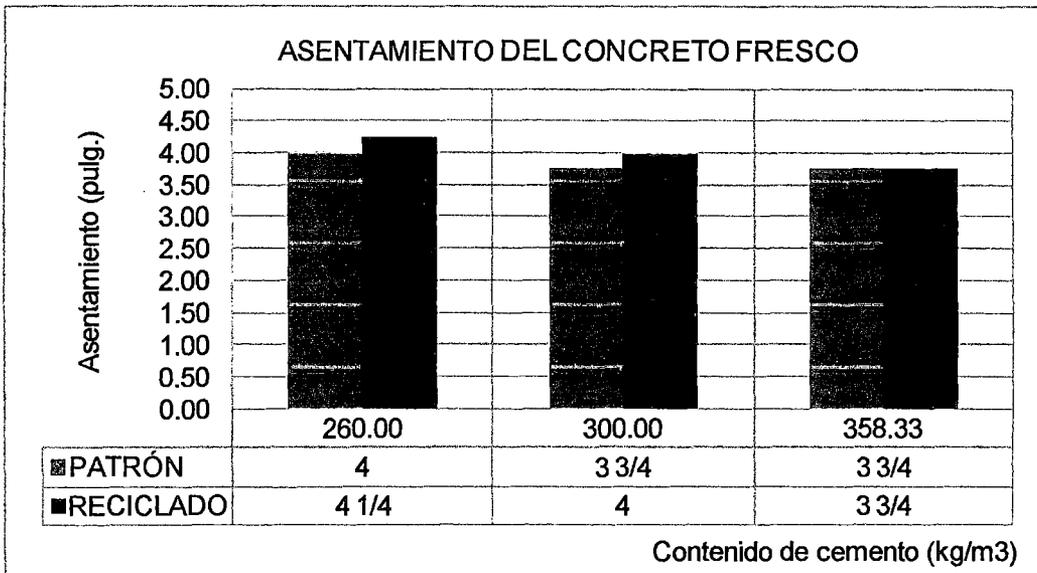


Gráfico N° 7.14: Comparativa del asentamiento.

Fuente: Elaboración propia.

7.2.2 Peso unitario volumétrico.

Los valores determinados del peso unitario del concreto en estado fresco de la muestra patrón y reciclado se muestra en el cuadro N° 5.2.

El peso unitario de la muestra reciclada muestra los siguientes valores: 2174.29 kg/m³, 2166.67 kg/m³ y 2175.95 kg/m³ en comparación a los valores de 2356.19 kg/m³, 2366.91 kg/m³ y 2377.38 kg/m³ obtenidos para el concreto fresco de la muestra patrón, según los siguientes contenido de cemento 260.00 kg/m³, 300.00 kg/m³ y 358.33 kg/m³ respectivamente.

Se observa que la muestra reciclada en términos porcentuales arroja valores de 92.28%, 91.54% y 91.53%.

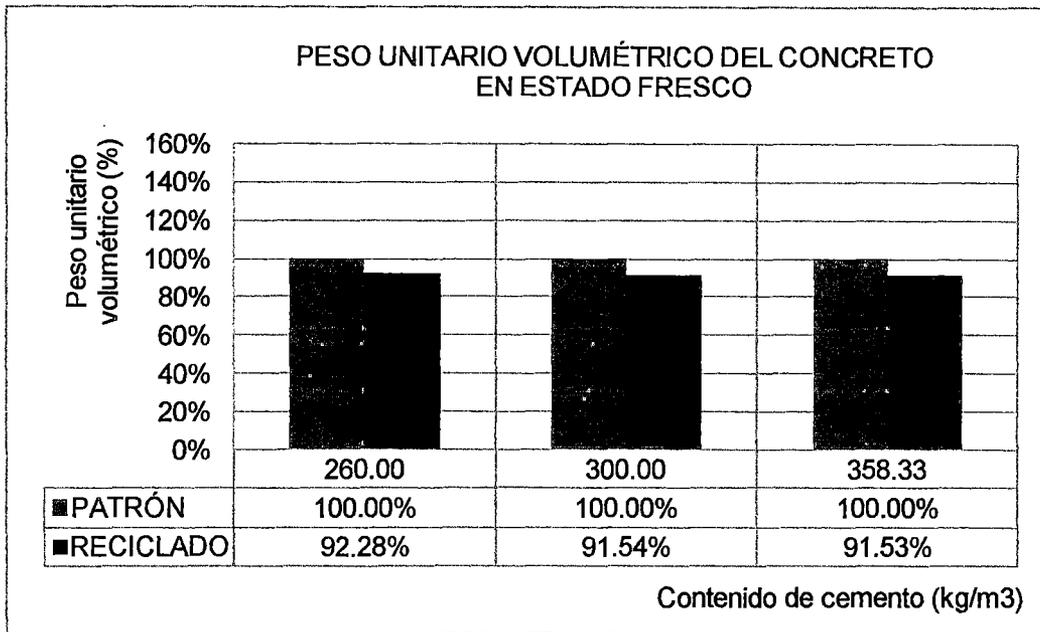


Gráfico N° 7.15: Comparativa del peso unitario volumétrico.

Fuente: Elaboración propia.

En síntesis, la mezcla reciclada en promedio tiene un 8% menos en el peso volumétrico que su respectiva muestra patrón.

La disminución del peso volumétrico se debe principalmente al mayor grado de contenido de vacíos o poros que tiene el agregado reciclado. Durante el proceso de mezclado, los vacíos presentes en el agregado reciclado fueron ocupados por el agua con un peso específico menor al agregado.

Según el peso unitario compactado, la muestra patrón presenta valores comprendidos entre 2240 y 2400 kg/m³ catalogándose como concreto normal.

Mientras que la muestra reciclada presenta valores menores a 2240 kg/m³

7.2.3 Fluidez.

El cuadro N° 5.3, muestra los valores determinados de la fluidez del concreto en estado fresco, tanto para la muestra patrón como para el reciclado.

La fluidez del concreto en estado fresco de la muestra reciclada tiene los siguientes valores: 54.34%, 51.66% y 48.50%, en comparación a los valores de 73.34%, 66.50% y 62.82%, obtenidos para el concreto fresco de la muestra patrón, según los siguientes contenido de cemento 260.00 kg/m³, 300.00 kg/m³ y 358.33 kg/m³ respectivamente.

La fluidez, expresado en valores porcentuales nos muestra que el concreto en estado fresco de la muestra reciclada disminuye en los siguientes valores: 25.91%, 22.32% y 22.80% respectivamente.

La razón principal de la menor fluidez, es que el agregado reciclado a pesar que tiene una similar consistencia al concreto patrón, está compuesto por partículas angulosas y rugosas el cual les confiere una mezcla más resistiva al estado fluido.

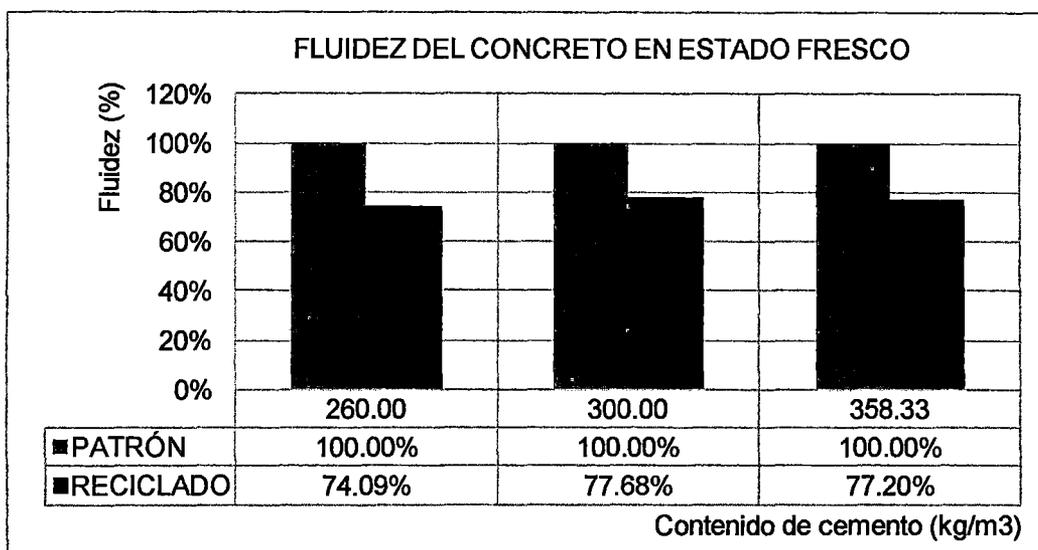


Gráfico N° 7.16: Comparativa de la fluidez.

Fuente: Elaboración propia.

7.2.4 Exudación.

El cuadro N° 5.6 muestra los valores determinados de la exudación del concreto para la muestra patrón y reciclada.

La exudación del concreto de la muestra reciclada muestra los siguientes valores: 91.00 ml, 76.40 ml y 54.20 ml en comparación a los valores de 75.70 ml, 60.10 ml y 30.20 ml extraídos para el concreto fresco de la muestra patrón, según los siguientes contenido de cemento: 260.00 kg/m³, 300.00 kg/m³ y 358.33 kg/m³.

La razón principal del porque la exudación en el concreto fresco de la muestra reciclada es mayor, es que durante el proceso de diseño se requirió mayor cantidad de agua a fin de lograr una similar trabajabilidad que la muestra fresca del concreto patrón.

También se debe notar que el agregado reciclado a fin de no tener asentamientos brusco por efecto de la absorción, se le ha pre humedecido.

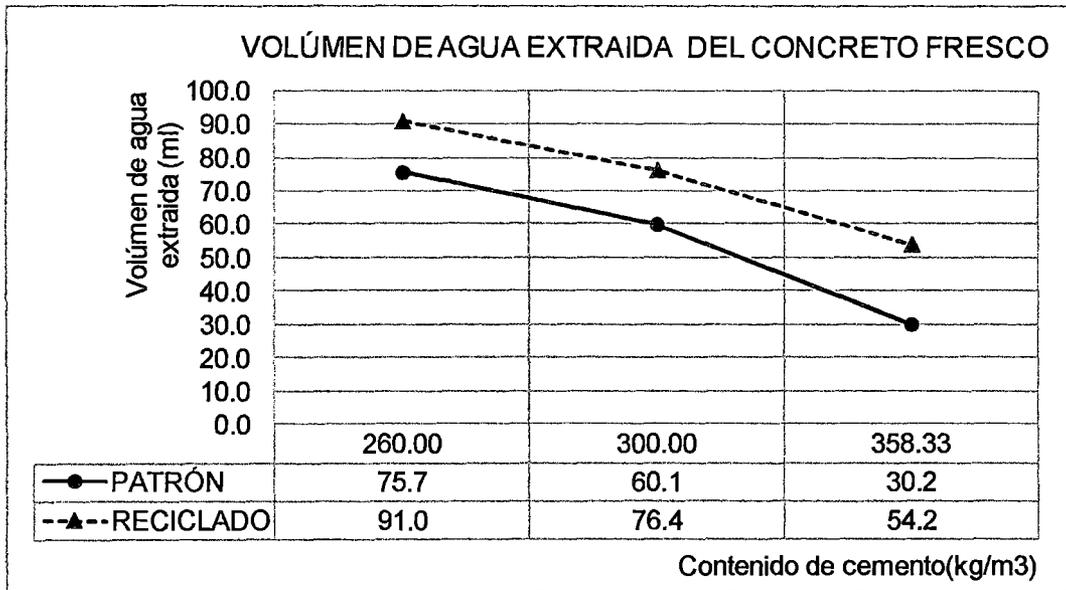


Gráfico N° 7.17: Evolución del agua extraída.

Fuente: Elaboración propia.

El gráfico N 7.17, expresado en términos porcentuales el agua extraída de la muestra reciclada, representa un 120.21%, 127.12% y 179.47% en comparación al agua extraída del concreto en estado fresco de la muestra patrón según el grafico N° 7.18.

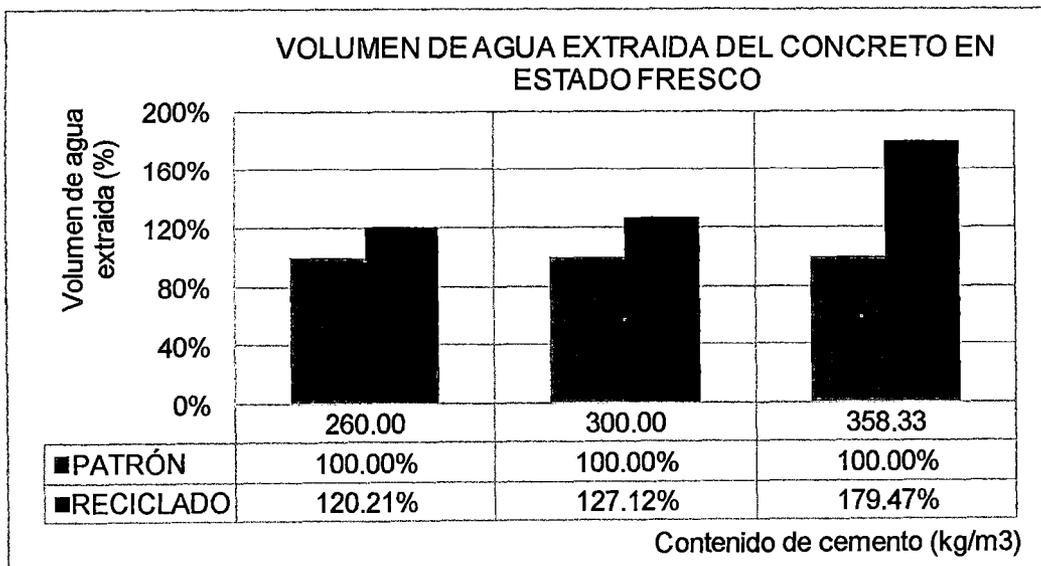


Gráfico N° 7.18: Comparativa del volumen de agua extraída.

Fuente: Elaboración propia.

La exudación expresado en términos porcentuales tiene una tendencia a la disminución tanto para el concreto en estado fresco de la muestra patrón y reciclada, a medida que aumenta el contenido de cemento en la dosificación o baja la relación agua/cemento.

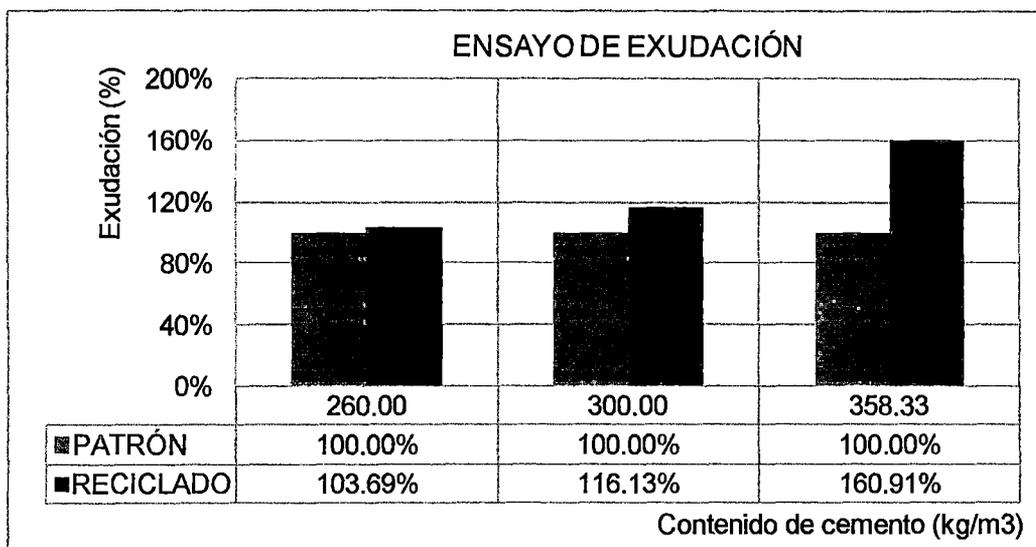


Gráfico N° 7.19: Comparativa del la exudación.

Fuente: Elaboración propia.

7.2.5 Tiempo de fragua.

Los valores del tiempo fragua inicial y final tanto de la muestra patrón y reciclado se muestran en el cuadro N° 5.4 y 5.5.

Según el grafico, el concreto reciclado muestra una leve tendencia a solicitar mayor tiempo de fragua tanto inicial como final en relación a la muestra patrón.

Para un contenido de cemento igual a 260.00 kg/m³, la muestra patrón inicia la fragua a los 387.06 minutos, mientras que el reciclado recién lo hace 403.51 min, es decir un 4.25% más. Mientras que para el fraguado final, la muestra patrón requiere 525.31 min, en comparación a los 541.21 min. que necesita la muestra reciclada, es decir 3.03% más.

Cuando el contenido de cemento es igual a 300.00 kg/m³, la muestra patrón inicia la fragua a los 354.22 minutos, mientras que el reciclado recién lo hace 395.26 min, es decir un 11.59% más. Mientras que para el fraguado final, la muestra patrón requiere 474.98 min, en comparación a los 527.13 min. que necesita la muestra reciclada, es decir 10.98% más.

Por último, para un contenido de cemento igual a 358.33 kg/m³, la muestra patrón inicia la fragua a los 300.16 minutos, mientras que el reciclado recién lo

hace 325.60 min, es decir un 8.48% más. Mientras que para el fraguado final, la muestra patrón requiere 421.61 min, en comparación a los 432.21 min. que necesita la muestra reciclada, es decir 2.51% más.

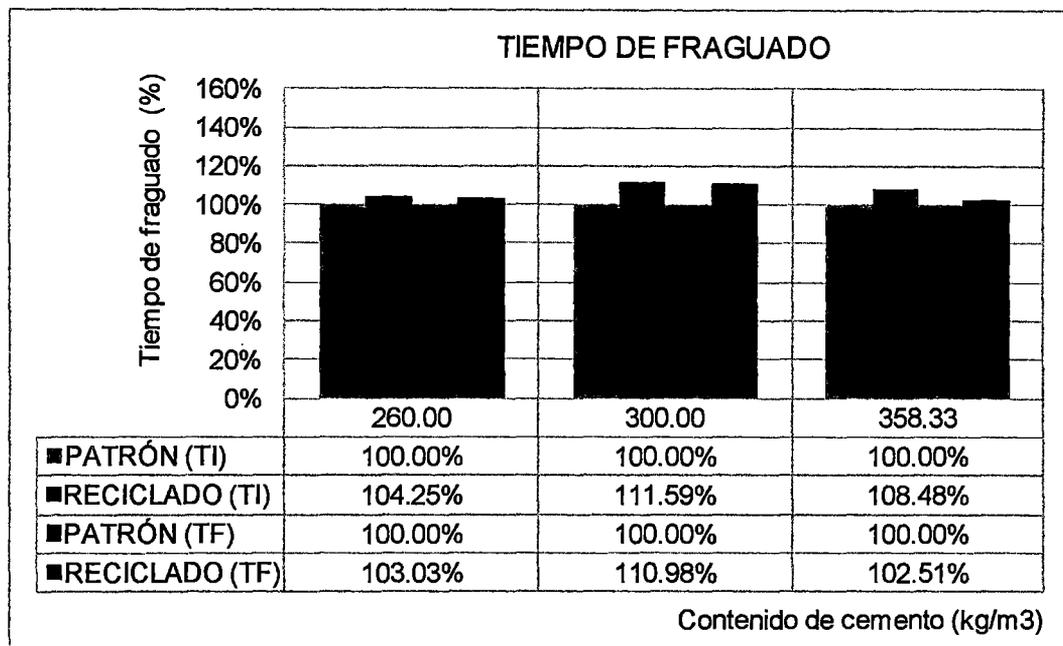


Gráfico N° 7.20: Comparativa del tiempo de fragua.

Fuente: Elaboración propia.

7.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LOS ENSAYOS AL CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO.

7.3.1 Resistencia a la compresión axial.

Los valores de la resistencia a la compresión axial tanto de la muestra patrón así como la del reciclado se muestran en el cuadro N° 6.1 y 6.2.

Cuando el contenido de cemento es de 260.00 kg/m³ y edades de 7, 14, 28, y 56 días, la muestra reciclada presenta como resistencia a la compresión axial, los siguientes valores: 154.34 kg/cm², 173.80 kg/cm², 196.02 kg/cm² y 198.88 kg/cm² en comparación a los valores de 155.22 kg/cm², 176.00 kg/cm², 202.38 kg/cm² y 211.99 kg/cm². Representado un 99.43%, 98.75%, 96.86% y 93.82% respectivamente, en comparación al concreto de la muestra patrón.

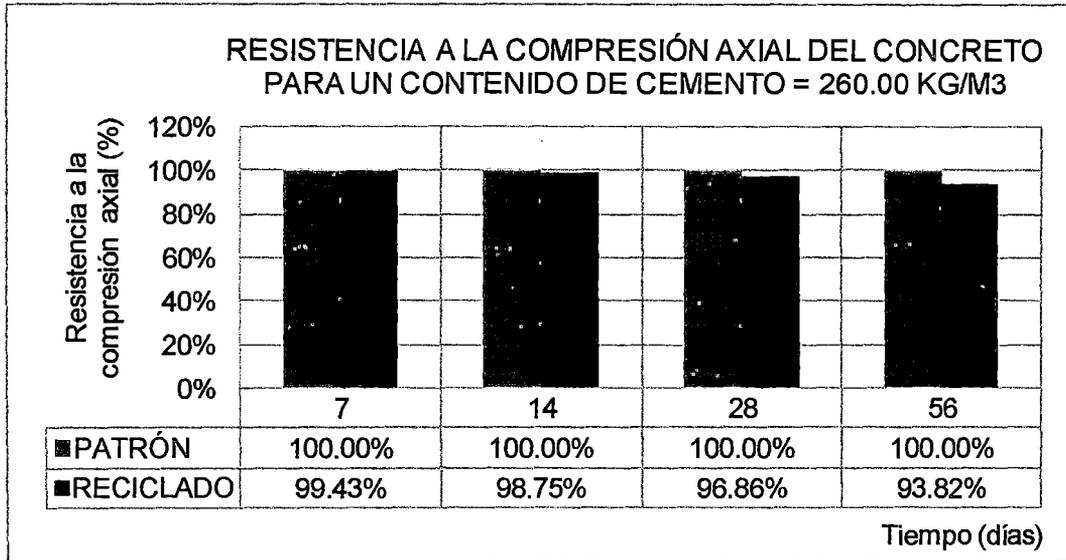


Gráfico N° 7.21: Comparativa de la resistencia a la compresión axial del concreto con contenido de cemento=260.00 kg/m³ – Muestra patrón y reciclado.

Fuente: Elaboración propia.

Cuando el contenido de cemento es de 300.00 kg/m³ y edades de 7, 14, 28, y 56 días, la muestra reciclada presenta como resistencia a la compresión axial, los siguientes valores: 197.72 kg/cm², 213.73 kg/cm², 238.05 kg/cm² y 248.83 kg/cm² en comparación a los valores de 203.21 kg/cm², 232.45 kg/cm², 258.37 kg/cm² y 277.02 kg/cm². Representado un 97.30%, 91.95%, 92.14% y 89.82% respectivamente, en comparación al concreto de la muestra patrón.

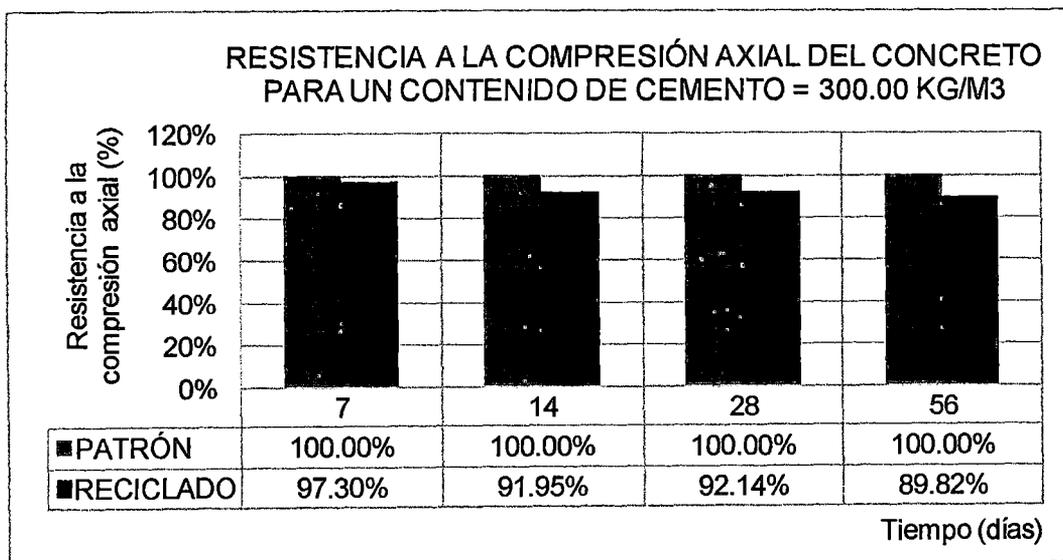


Gráfico N° 7.22: Comparativa de la resistencia a la compresión axial del concreto con contenido de cemento=300.00 kg/m³ – Muestra patrón y reciclado.

Fuente: Elaboración propia.

Para un contenido de cemento de 358.33 kg/m³, y edades de 7, 14, 28, y 56 días, la muestra reciclada presenta como resistencia a la compresión axial, los siguientes valores: 223.44 kg/cm², 256.01 kg/cm², 266.52 kg/cm² y 276.32 kg/cm² en comparación a los valores de 257.12 kg/cm², 299.61 kg/cm², 313.04 kg/cm² y 345.59 kg/cm². Representado un 86.90%, 85.45%, 85.14% y 79.96% respectivamente, en comparación al concreto en estado endurecido de la muestra patrón.

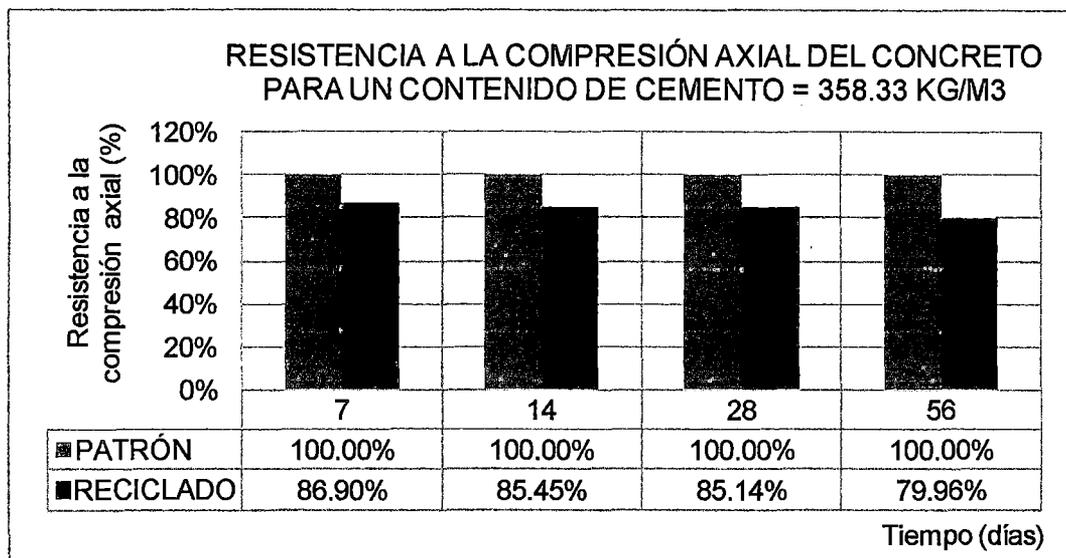


Gráfico N° 7.23: Comparativa de la resistencia a la compresión axial del concreto con contenido de cemento=358.33 kg/m³ – Muestra patrón y reciclado.

Fuente: Elaboración propia.

En síntesis en los tres casos, los valores de la resistencia a la compresión de la muestra reciclada están por debajo de la muestra patrón.

La razón principal es la presencia de agregado reciclado en su estructura interna.

En comparación al agregado patrón. El agregado reciclado cualitativamente es de menor calidad en todas sus características por consiguiente era razonable obtener un concreto en estado endurecido de menor calidad en cuanto a sus propiedades resistivas. Más aun se generan por efecto de la porosidad zonas débiles en la matriz.

7.3.2 Resistencia a la tracción por compresión diametral.

Los valores de la resistencia a la tracción por compresión diametral, de la muestra patrón así como la del reciclado se muestran en el cuadro N° 6.3 y 6.4.

Para un contenido de cemento de 260.00 kg/m³, la muestra reciclada tiene una resistencia a la compresión diametral 22.71 kg/cm² en comparación a 24.73 kg/cm², de la muestra patrón, es decir llega al 91.83%.

Mientras que para un contenido de cemento de 300.00 kg/m³, la muestra reciclada tiene una resistencia a la compresión diametral 25.58 kg/cm² en comparación a 29.48 kg/cm², de la muestra patrón, es decir llega al 86.77%.

Por último, para un contenido de cemento de 358.33 kg/m³, la muestra reciclada tiene una resistencia a la compresión diametral 26.78 kg/cm² en comparación a 29.99 kg/cm², de la muestra patrón, es decir llega al 89.30%.

Para los tres casos, los valores de la resistencia a la tracción de la muestra reciclada están por debajo de la muestra patrón.

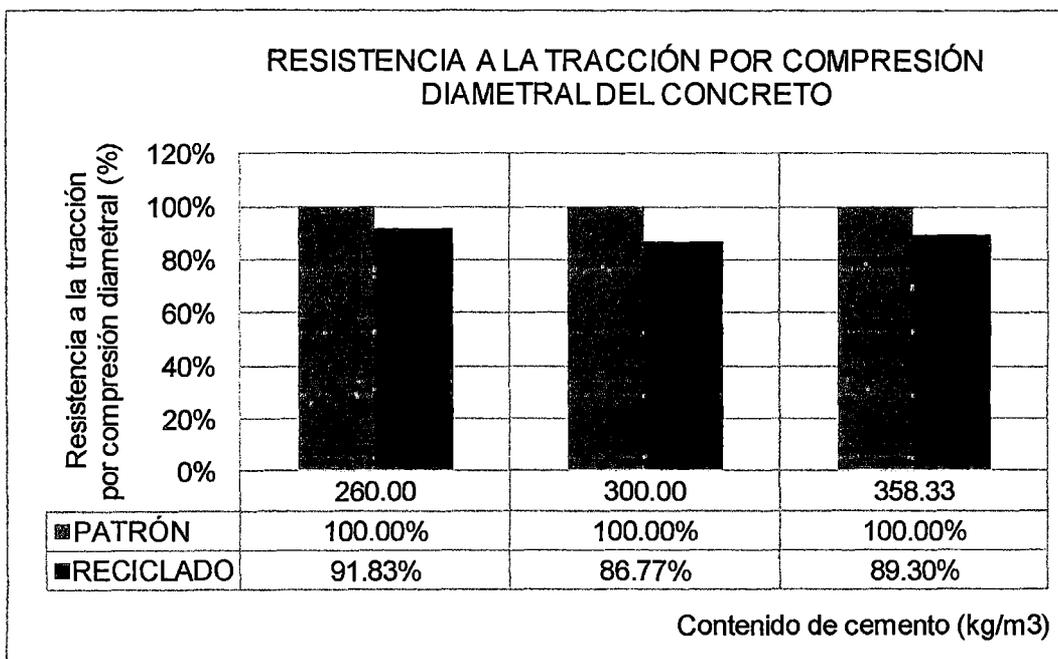


Gráfico N° 7.24: Comparativa de la resistencia a la tracción por compresión diametral – Muestra patrón y reciclado.

Fuente: Elaboración propia.

7.3.3 Absorción.

Los valores de la absorción de la muestra patrón así como la del reciclado se muestran en el cuadro N° 6.7.

La absorción de la muestra reciclada muestra los siguientes valores: 10.57%, 10.97% y 11.09%, en comparación a los valores de de la muestra patrón cuyos valores son: 6.58%, 6.43% y 6.49%, según los siguientes contenidos de cemento: 260.00 kg/m³, 300.00 kg/m³ y 358.33 kg/m³. Estos porcentajes de

absorción expresados en valores porcentuales nos arroja un 160.64%, 170.61% y 170.88% que la absorción de la muestra patrón respectivamente.

Ambas muestra tienen una tendencia a mostrar valores estables. Para el caso de la muestra patrón se muestra un promedio 6.5%, mientras que el promedio para la muestra reciclada esta en el orden de 11%.

Para los tres casos, los valores de la absorción de agua de la muestra reciclada superan ampliamente a la muestra patrón.

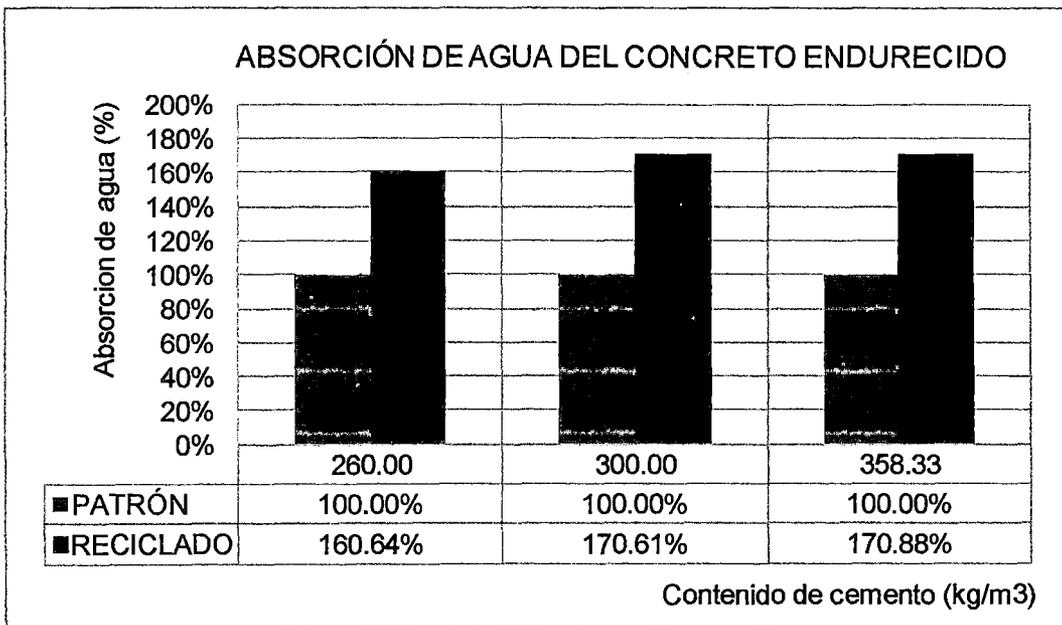


Gráfico N° 7.25: Comparativa de la absorción – Muestra patrón y reciclado.

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo **VIII**

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

8.1 CONCLUSIONES.

A partir de los ensayos a los agregados y concreto fabricado se deduce las siguientes conclusiones:

- **AGREGADO.**

De acuerdo a la distribución de partículas se establece que el agregado fino reciclado es más grueso o de mayores dimensiones que el patrón.

Según los límites establecidos por la NTP el agregado fino reciclado cualitativamente es de menor calidad que la muestra patrón. El factor principal es la presencia de fracciones minúsculas de mortero que le confiere al agregado reciclado una mayor friabilidad así como mayor angulosidad y rugosidad.

El agregado reciclado presenta una distribución más uniforme que la muestra patrón. El mayor inconveniente de este agregado también es su mayor friabilidad, angulosidad y rugosidad es decir este agregado está propenso a un desmenuzamiento por solo efecto de manipulación, almacenamiento y transporte debido a que está compuesto de fracciones de mortero o partículas pétreas con mortero adherido.

En el agregado fino, el tener dentro de su estructura granulométrica fracciones de morteros incide en un menor peso volumétrico en estado suelto con una media de 13.86% menos que la muestra patrón. Para el peso volumétrico compactado con 12.89% menos.

Para el agregado grueso y peso volumétrico suelto, el reciclado tiene un 11.85% menos. Mientras el peso volumétrico compactado tiene un 13.33% menos que el agregado patrón.

De igual forma, el peso específico de masa del agregado fino se ve afectado hasta en 12.78% menos. Mientras que el agregado grueso reciclado en un 16.10% menos.

Para el caso de la absorción, el mortero incide de manera gravitante. En el agregado reciclado fino la absorción representa un 400% de la muestra patrón. Mientras que en el agregado grueso reciclado sube hasta un 889%.

Según las características descritas, el tratamiento del agregado reciclado representa un desafío desde la fabricación hasta la utilización definitiva debido a la menor calidad que el agregado patrón.

- **CONCRETO EN ESTADO FRESCO**

-El peso volumétrico del concreto reciclado en estado fresco disminuye, con una media del 8.2 % en comparación al la muestra patrón. El factor que incide en la reducción del peso volumétrico es la presencia de agregado compuesto de mortero adheridos con alta porosidad.

-El tiempo de fragua para el concreto reciclado presenta mayores valores, el cual se debe a que el agregado reciclado requiere más cantidad de agua por la mayor superficie específica del agregado reciclado. Esta mayor proporción de agua produce una disminución en el calor generado por la reacción agua – cemento por consiguiente afecta directamente a la fragua.

-La exudación del concreto reciclado refleja valores mayores que el patrón. Esta característica es por el menor contenido de material fino presente en la mezcla del concreto en estado fresco de la muestra reciclada en comparación al patrón. También se debe a la mayor proporción de agua que requiere la mezcla reciclada para logra asentamiento deseados. Esta situación lleva a una mayor exudación por unidad de superficie.

Debe aclararse que la exudación tanto para la muestra patrón y reciclada prácticamente se inicia a los 10 minutos, lo cual evita que se genere en alguna medida fisura por contracción plástica.

-El agregado reciclado debido a su textura rugosa y forma angular por la presencia de fracciones de mortero, afecta a la fluidez, mostrando que para la muestra patrón tiene una media de 23.7% menos que la muestra patrón. Así como la muestra reciclada presenta una menor trabajabilidad.

-Para una misma consistencia y manteniendo la cantidad de cemento, se puede establecer claramente que la demanda de agua se incrementa en un concreto reciclado.

- CONCRETO EN ESTADO ENDURECIDO

-El concreto reciclado en estado endurecido presenta mayor absorción debido principalmente a la inclusión de agregado reciclado con alto contenido en absorción. Se debe aclarar que el agregado reciclado fino y grueso tiende a ser mortero endurecido o tener fracciones de mortero endurecido. Este aspecto determina un mayor porcentaje de presencia de agregado fino en comparación al agregado patrón. En los resultados de ensayos el concreto endurecido de la muestra reciclada tiene a presentar valores ligeramente crecientes a medida que aumenta el contenido de cemento. Pero en comparación al concreto endurecido de la muestra patrón refleja valores por encima de hasta 4% más.

-Para la resistencia a la tracción a la tracción por compresión diametral, de las muestras analizadas no hay una tendencia definida, pero se observa que el valor de la resistencia a la tracción fluctúa entre 86% al 92% del concreto patrón según los diferentes contenidos en cemento.

-La resistencia a la compresión axial también se ve afectada. Para un contenido de cemento de 260.00 kg/m³, muestra que el concreto reciclado tiene menor resistencia para diferentes edades:

A los 7 días, el valor del concreto reciclado representa 99.43% del patrón.

A los 14 días, el valor del concreto reciclado representa 98.75% del patrón.

A los 28 días, el valor del concreto reciclado representa 96.86% del patrón.

A los 56 días, llega al 93.82%.

Para este contenido de cemento, la tendencia es clara, a medida que aumenta la edad del concreto, la diferencia entre la resistencia axial del concreto patrón y reciclado se incrementa.

-De igual forma, la resistencia a la compresión axial para un contenido de cemento de 300.00 kg/m³, muestra que el concreto reciclado también tiene menor resistencia para diferentes edades:

A los 7 días, el valor del concreto reciclado representa 97.30% del patrón.

A los 14 días, el valor del concreto reciclado representa 91.95% del patrón.

A los 28 días, el valor del concreto reciclado representa 92.14% del patrón.

A los 56 días, llega al 89.82%.

Para este contenido de cemento, la tendencia también es clara, a medida que aumenta la edad del concreto, la diferencia entre la resistencia axial del concreto patrón y reciclado se incrementa pero en mayor magnitud que el contenido de cemento de 260.00 kg/m³.

-Por último, la resistencia a la compresión axial para un contenido de cemento de 358.33 kg/m³, muestra que el concreto reciclado sigue el mismo patrón es decir tiene menor resistencia para diferentes edades:

A los 7 días, el valor del concreto reciclado representa 86.90% del patrón.

A los 14 días, el valor del concreto reciclado representa 85.45% del patrón.

A los 28 días, el valor del concreto reciclado representa 85.14% del patrón.

A los 56 días, llega al 79.96%.

Para este contenido de cemento, la tendencia también es clara, a medida que aumenta la edad del concreto, la diferencia de resistencia axial del concreto patrón y reciclado se incrementa pero en mayor magnitud que el contenido de cemento de 260.00 y 300.00 kg/m³.

- APLICACIONES DEL CONCRETO RECICLADO

Dada la resistencia obtenida para el concreto reciclado, es posible su uso para elementos no estructurales, tales como veredas, muros de contención o relleno sin elementos estructurales, elementos prefabricados.

En caso que se requiera su uso en elementos estructurales, experiencias anteriores sugieren un concreto a base de agregado fino natural y agregado grueso compuesto por agregado grueso natural y agregado grueso reciclado, este último en un porcentaje no mayor al 20% de sustitución del agregado grueso debido a que a ese valor las características del concreto no varían sustancialmente.

8.2 RECOMENDACIONES.

Finalizada la experiencia de realizar pruebas con el material reciclado y la fabricación de concreto reciclado en estado fresco y endurecido, se da un listado de recomendaciones para un mejor tratamiento del agregado reciclado y su posterior uso.

- a) La necesidad de intensificar las investigaciones del concreto reciclado desde varias perspectivas para lo cual es necesario realizar estudios en los siguientes temas:
 - Impacto ambiental sobre el ecosistema por el vertido de escombros productos de la demolición de estructuras. Así como la determinación cuantitativa y cualitativa del material para la industria del reciclaje en general.
 - Estudio técnico-económico de la instalación de una planta de reciclaje para la fabricación de áridos reciclados.

- b) En el presente estudio, se utilizó agregado reciclado fino y grueso, proveniente de la trituración de testigos ensayados. Pero se requiere obtener muestras mucho más representativas por tanto se puede realizar ensayos a agregados ya provenientes de demoliciones, previa selección de elementos estructurales para evitar inclusión de elementos que afecten al concreto.

- b) La conveniencia de realizar el proceso de triturado mediante la utilización de equipo de trituración mecánica y su gradación mediante las diferentes mallas que dispone dicho equipos. Esto permitiría un mayor desgaste de las partículas, favoreciendo al proceso de diseño y permitiendo un menor consumo de agua para una misma trabajabilidad.

- c) Se recomienda antes del uso tanto del agregado fino y/o grueso reciclado mantener la mayor cantidad de humedad presente en el agregado reciclado. Esta recomendación es muy importante debido a que permitirá obtener una mezcla en estado fresco cuyo asentamiento no varíe sustancialmente en el tiempo debido al mayor poder de absorción del agregado reciclado. En caso que no se humedezca, la variación de la consistencia del concreto reciclado será muy brusco que el concreto en estado fresco de la muestra patrón.

- d) Para disminuir el contenido de agua durante el proceso de diseño se puede plantear el uso de plastificante o fluidificantes. Esto permitiría una disminución de agua por tanto un aumento de la resistencia de compresión axial del concreto.

- e) Plantear la necesidad de realizar estudios considerando diferentes porcentajes de reemplazo del agregado reciclado y determinar un equilibrio donde las propiedades de concreto reciclado sean similares al concreto patrón. Experiencias en otros países sugieren que hasta un 30% no varía sustancialmente las propiedades en estado endurecido.

- f) Realizar estudios del concreto reciclado en estado endurecido a fin de determinar su estabilidad en el tiempo (durabilidad).

En general, un estudio económico permitirá obtener los criterios para determinar el tipo de agregado, el nivel de reemplazo de tal forma que sea mayor el beneficio al costo.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.-Arauco V., Semiramis E. "Estudio de las propiedades del concreto en estado fresco y endurecido utilizando cemento de la República Dominicana Quisqueya-Portland tipo I". Tesis UNI-FIC, Lima 2010.
- 2.-Autores varios. "Manual de demoliciones, reciclaje y manipulación de materiales". Primera Edición, Fuego Editores, Madrid 2008.
- 3.-Bustillo R., Manuel; Calvo S., Jose P. "Materiales de Construcción". Fuego Editores, Madrid 2005.
- 4.-Cementos Lima S.A., "Información de Control de Calidad del Cemento Sol", Lima, Perú, 2011.
- 5.-Comision Federal de Electricidad. "Manual de tecnología del concreto". Editorial Limusa, México D.F 1994.
- 6.-Hincapie H., Ángela M.; Elisa A., Aguja L. "Agregado reciclado para morteros". Edición Universidad EAFIT, Medellín 2003.
- 7.-INDECOPI, "NTP 339.034, "Hormigón. Método de ensayo para el esfuerzo a la compresión de muestras cilíndricas de concreto", Tercera edición, Lima 2013.
- 8.-INDECOPI, "NTP 339.035, "Hormigón. Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón con el cono de Abrams", Tercera edición, Lima 2009.
- 9.-INDECOPI, "NTP 339.077, "Hormigón (Concreto). Métodos de ensayo normalizados para exudación del hormigón", Tercera edición, Lima 2013.
- 10.-INDECOPI, "NTP 339.084, "Hormigón (Concreto). Método de ensayo normalizado para la determinación de la resistencia a la tracción simple del hormigón, por compresión diametral de una probeta cilíndrica", Tercera edición, Lima 2012.
- 11.-INDECOPI, "NTP 339.088, "Hormigón (Concreto). Agua de mezcla utilizada en la producción de concreto de cemento Portland. Requisitos", Segunda edición, Lima 2006.
- 12.-INDECOPI, "NTP 339.185, "Agregados. Método de ensayo normalizado para contenido de humedad total evaporable de agregados por secado", Segunda edición, Lima 2013.
- 13.-INDECOPI, "NTP 339.187, "Hormigón (Concreto). Método de ensayo normalizado para determinar la densidad, absorción y porcentaje de vacíos en el hormigón (concreto) endurecido", Primera edición, Lima 2003.
- 14.-INDECOPI, "NTP 400.011, "Definición y clasificación de agregados para su uso en morteros y hormigones", Segunda edición, Lima 2013.

- 15.-INDECOPI, "NTP 400.012, "Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global", Tercera edición, Lima 2013.
- 16.-INDECOPI, "NTP 400.018, "Agregados. Método de ensayo normalizado para determinar materiales más finos que pasan por el tamiz normalizado 75 μm (N° 200) por lavado en agregados", Tercera edición, Lima 2013.
- 17.-INDECOPI, "NTP 400.021, "Agregados. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado grueso", Tercera edición, Lima 2013.
- 18.-INDECOPI, "NTP 400.022, "Agregados. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción del agregado fino", Tercera edición, Lima 2013.
- 19.-INDECOPI, "NTP 400.037, "Agregados. Especificaciones normalizadas para agregados en hormigón (concreto)", Segunda edición, Lima 2002.
- 20.-INDECOPI, "NTP 400.050, "Manejo de residuos de la actividad de la construcción. Generalidades", Primera edición, Lima 1999.
- 21.-INDECOPI, "NTP 400.052, "Manejo de residuos de la actividad de la construcción. Reutilización y reciclaje de materiales de bases y sub-bases provenientes de la demolición de carreteras o plataformas", Primera edición, Lima 2000.
- 22.-INDECOPI, "NTP 400.053, "Manejo de residuos de la actividad de la construcción. Reciclaje de concreto de demolición", Primera edición, Lima 1999.
- 23.-Instituto Americano del Concreto. "Tecnología del Concreto". Ediciones ACI-Perú, Lima 1998.
- 24.-Lyall, Addleson. "Materiales para la construcción". Editorial Reverte, Barcelona 2004.
- 25.-Neville, A.M., "Tecnología del concreto". Editorial Trillas, México, 1998.
- 26.-Pasquel C., Enrique. "Tópicos de tecnología del concreto en el Perú". Ediciones CIP Segunda edición, Lima 1998.
- 27.-Rivva L., Enrique. "Diseño de mezcla". Primera Edición, Editorial Hozlo SCRL, Lima 1992.
- 28.-Rivva L., Enrique. "Naturaleza y materiales del concreto". Primera Edición, Lima 2000.
- 29.-Rivva L., Enrique.; Harman I., Juan.; Pasquel C., Enrique.; Badoino M., Dante.; Romero U., Alfredo. "Tecnología del concreto". Edición ACI-Capitulo Peruano, Lima 1998.

ANEXOS

ANEXO A

ENSAYO DE AGREGADOS

(Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales – FIC – UNI)

A. RESULTADO DE LOS ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS GRANULOMETRICAS DE LOS AGREGADOS DE CAMPO.

Las muestras que se sometieron a ensayos se mezclaron uniformemente, en una cantidad no menor al descrito en la NTP 400.010, y la selección de las muestras para los ensayos se realizó tomando en cuenta lo establecido en la norma ASTM C702.

1 ENSAYO GRANULOMÉTRICOS.

A.1.1 AGREGADO FINO - MUESTRA PATRÓN.

TAMIZ	PESO RETENIDO MUESTRA N° 1 (gr)	PESO RETENIDO MUESTRA N° 2 (gr)	PESO RETENIDO MUESTRA N° 3 (gr)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
3/8"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100
N° 4	22.00	37.50	35.00	94.50	6.33	6.33	93.67
N° 8	59.00	84.50	70.00	213.50	14.31	20.64	79.36
N° 16	100.50	103.50	102.00	306.00	20.50	41.14	58.86
N° 30	105.00	96.00	102.00	303.00	20.31	61.45	38.55
N° 50	85.00	74.00	81.00	240.00	16.09	77.54	22.46
N° 100	55.50	46.00	50.50	152.00	10.19	87.73	12.27
FONDO	68.00	55.50	59.50	183.00	12.27	100.00	0.00
TOTAL	495.00	497.00	500.00	1492.00	100.00		

A.1.2 AGREGADO FINO VS HUSO NTP "C" - MUESTRA PATRÓN.

TAMIZ	% PASA	
	H. NTP "C"	
3/8"	100	100
N°4	95	100
N°8	80	100
N°16	50	85
N°30	25	60
N°50	10	30
N°100	2	10
FONDO	0	0

% QUE PASA ACUMULADO	ABERTURA (mm)	% QUE PASA ACUMULADO
3/8"	9.50	100
N° 4	4.75	93.67
N° 8	2.36	79.36
N° 16	1.18	58.86
N° 30	0.60	38.55
N° 50	0.30	22.46
N° 100	0.15	12.27
FONDO	0.07	0.00

A.1.3 AGREGADO GRUESO - MUESTRA PATRÓN.

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO MUESTRA N° 1 (gr)	PESO RETENIDO MUESTRA N° 2 (gr)	PESO RETENIDO MUESTRA N° 3 (gr)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
1"	25.40	186.00	219.00	194.00	599.00	2.00	2.00	98.00
3/4"	19.05	5331.00	6150.00	5776.00	17257.00	57.54	59.54	40.46
1/2"	12.70	4325.00	3505.50	3865.00	11695.50	39.00	98.54	1.46
3/8"	9.526	139.50	113.50	151.50	404.50	1.35	99.89	0.11
1/4"	6.35	10.00	2.00	15.00	27.00	0.09	99.98	0.02
N° 4	4.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	99.98	0.02
FONDO		3.00	1.00	1.50	5.50	0.02	100.00	0.00
TOTAL		9994.5	9991	10003	29988.50	100.00		

A.1.4 AGREGADO GRUESO VS HUSO NTP ASTM 5 - MUESTRA PATRÓN.

TAMIZ	% PASA	
	HUSO NTP ASTM 5	
1 1/2"	100	100
1"	90	100
3/4"	20	55
1/2"	0	10
3/8"	0	5

TAMIZ	ABERTURA (mm)	% ACUMULADO QUE PASA
1 1/2"	37.50	100.00
1"	25.00	98.00
3/4"	19.00	40.46
1/2"	12.50	1.46
3/8"	9.50	0.11

A.1.5 AGREGADO GLOBAL - MUESTRA PATRÓN.

TAMIZ	ABERTURA (mm)	% RETENIDO		AGREGADO GLOBAL PATRÓN 49% AG + 51% AF	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
		AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO			
1.1/2"	38.1	0.00		0.00	0.00	100.00
1"	25.4	2.00		0.98	0.98	99.02
3/4"	19	57.54		28.18	29.16	70.84
1/2"	12.7	39.00		19.11	48.27	51.73
3/8"	9.5	1.35		0.66	48.93	51.07
1/4"	6.35	0.09		0.04	48.97	51.03
N° 4	4.75	0.00	6.33	3.23	52.20	47.80
N° 8	2.36	0.02	14.31	7.31	59.51	40.49
N° 16	1.18		20.50	10.46	69.97	30.03
N° 30	0.60		20.31	10.36	80.33	19.67
N° 50	0.30		16.09	8.21	88.54	11.46
N° 100	0.15		10.19	5.20	93.74	6.26
FONDO	0.08		12.27	6.26	100.00	0.00
		100.00	100.00	100.00		

A.1.6 AGREGADO GLOBAL VS HUSO DIN - MUESTRA PATRÓN.

TAMIZ	ABERTURA (mm)	% QUE PASA ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO		
			HUSO I	HUSO II	HUSO III
1.1/2"	38.1	100.00	100	100	100
	31.5		100	100	100
1"	25.4	99.02			
3/4"	19.05	70.84			
	16		62	80	89
1/2"	12.7	51.73			
3/8"	9.5	51.07			
	8		38	62	77
1/4"	6.35	51.03			
N° 4	4.75	47.80			
	4		23	47	65
N° 8	2.36	40.49			
	2		14	37	53
N° 16	1.18	30.03			
	1		8	28	42
N° 30	0.60	19.67			
N° 50	0.30	11.46			
	0.25		2	8	15
N° 100	0.15	6.26			
N° 200	0.08	0.00	0	0	0

A.1.7 AGREGADO GLOBAL VS HUSO NTP 037 - MUESTRA PATRÓN.

TAMIZ	ABERTURA (mm)	% QUE PASA ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO	
			A	B
1.1/2"	38.1	100.00	100	100
	31.5			
1"	25.4	99.02		
3/4"	19.05	70.84	95	100
	16			
1/2"	12.7	51.73		
3/8"	9.5	51.07		
	8			
1/4"	6.35	51.03		
N° 4	4.75	47.80	35	55
	4			
N° 8	2.36	40.49		
	2			
N° 16	1.18	30.03		
	1			
N° 30	0.60	19.67	10	35
N° 50	0.30	11.46		
	0.25			
N° 100	0.15	6.26	0	8
N° 200	0.08	0.00	0	0

A.1.8 AGREGADO FINO - MUESTRA RECICLADA.

TAMIZ	PESO RETENIDO MUESTRA N° 1 (gr)	PESO RETENIDO MUESTRA N° 2 (gr)	PESO RETENIDO MUESTRA N° 3 (gr)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
3/8"	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100
N° 4	54.00	63.50	77.50	195.00	13.04	13.04	86.96
N° 8	106.50	107.00	121.50	335.00	22.39	35.43	64.57
N° 16	101.00	98.00	105.00	304.00	20.33	55.76	44.24
N° 30	84.00	82.00	78.00	244.00	16.32	72.08	27.92
N° 50	67.00	66.50	56.50	190.00	12.70	84.78	15.22
N° 100	42.50	42.50	32.50	117.50	7.86	92.64	7.36
FONDO	40.00	40.00	30.00	110.00	7.36	100.00	0.00
TOTAL	495.00	499.50	501.00	1495.50	100.00		

A.1.9 AGREGADO FINO VS HUSO NTP "C" - MUESTRA RECICLADA.

TAMIZ	% PASA	
	HUSO NTP "C"	
3/8"	100	100
N°4	95	100
N°8	80	100
N°16	50	85
N°30	25	60
N°50	10	30
N°100	2	10
FONDO	0	0

TAMIZ	ABERTURA (mm)	% QUE PASA ACUMULADO
3/8"	9.50	100.00
N° 4	4.75	86.96
N° 8	2.36	64.57
N° 16	1.18	44.24
N° 30	0.60	27.92
N° 50	0.30	15.22
N° 100	0.15	7.36
FONDO	0.07	0.00

A.1.10 AGREGADO GRUESO - MUESTRA RECICLADA.

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO MUESTRA N° 1 (gr)	PESO RETENIDO MUESTRA N° 2 (gr)	PESO RETENIDO MUESTRA N° 3 (gr)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
1"	25.40	965.00	874.00	941.00	2780.00	9.28	9.28	90.72
3/4"	19.05	3324.50	3093.00	3206.50	9624.00	32.11	41.39	58.61
1/2"	12.70	3717.00	3860.50	4086.00	11663.50	38.92	80.31	19.69
3/8"	9.526	1287.50	1331.00	1211.00	3829.50	12.78	93.09	6.91
1/4"	6.35	480.00	558.00	380.00	1418.00	4.73	97.82	2.18
N° 4	4.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	97.82	2.18
FONDO		220.50	271.50	161.00	653.00	2.18	100.00	0.00
TOTAL		9994.5	9988	9985.5	29968.00	100.00		

A.1.11 AGREGADO GRUESO VS HUSO NTP ASTM 5 - MUESTRA RECICLADA.

TAMIZ	% PASA	
	HUSO NTP ASTM 56	
1 1/2"	100	100
1"	90	100
3/4"	40	85
1/2"	10	40
3/8"	0	15
N° 4	0	5

TAMIZ	ABERTURA (mm)	% ACUMULADO QUE PASA
1 1/2"	37.50	100.00
1"	25.00	90.72
3/4"	19.00	58.61
1/2"	12.50	19.69
3/8"	9.50	6.91
N° 4	4.75	2.18

A.1.12 AGREGADO GLOBAL - MUESTRA RECICLADA.

TAMIZ	ABERTURA (mm)	% RETENIDO		AGREGADO GLOBAL RECICLADO 47% AG + 53% AF	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO
		AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO			
1.1/2"	38.1	0.00		0.00	0.00	100.00
1"	25.4	9.28		4.36	4.36	95.64
3/4"	19	32.11		15.09	19.45	80.55
1/2"	12.7	38.92		18.30	37.75	62.25
3/8"	9.5	12.78		6.01	43.76	56.24
1/4"	6.35	4.73		2.22	45.98	54.02
N° 4	4.75	0.00	13.04	6.91	52.89	47.11
N° 8	2.36	2.18	22.39	12.89	65.78	34.22
N° 16	1.18		20.33	10.77	76.55	23.45
N° 30	0.60		16.32	8.65	85.20	14.80
N° 50	0.30		12.70	6.73	91.93	8.07
N° 100	0.15		7.86	4.17	96.10	3.90
FONDO	0.08		7.36	3.90	100.00	0.00
		100.00	100.00	100.00		

A.1.13 AGREGADO GLOBAL VS HUSO DIN - MUESTRA RECICLADA.

TAMIZ	ABERTURA (mm)	% QUE PASA ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO		
			HUSO I	HUSO II	HUSO III
1.1/2"	38.1	100.00	100	100	100
	31.5		100	100	100
1"	25.4	95.64			
3/4"	19.05	80.55			
	16		62	80	89
1/2"	12.7	62.25			
3/8"	9.5	56.24			
	8		38	62	77
1/4"	6.35	54.02			
N° 4	4.75	47.11			
	4		23	47	65
N° 8	2.36	34.22			
	2		14	37	53
N° 16	1.18	23.45			
	1		8	28	42
N° 30	0.60	14.80			
N° 50	0.30	8.07			
	0.25		2	8	15
N° 100	0.15	3.90			
N° 200	0.08	0.00	0	0	0

A.1.14 AGREGADO GLOBAL VS HUSO NTP 037 - MUESTRA RECICLADA.

TAMIZ	ABERTURA (mm)	% QUE PASA ACUMULADO	% QUE PASA ACUMULADO	
			A	B
1.1/2"	38.1	100.00	100	100
	31.5			
1"	25.4	95.64		
3/4"	19.05	80.55	95	100
	16			
1/2"	12.7	62.25		
3/8"	9.5	56.24		
	8			
1/4"	6.35	54.02		
N° 4	4.75	47.11	35	55
	4			
N° 8	2.36	34.22		
	2			
N° 16	1.18	23.45		
	1			
N° 30	0.60	14.80	10	35
N° 50	0.30	8.07		
	0.25			
N° 100	0.15	3.90	0	8
N° 200	0.08	0.00	0	0

A.2 MÓDULO DE FINURA.

A.2.1 AGREGADO FINO - MUESTRA PATRÓN.

TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO
3/8"	0.00	0.00	0.00
N° 4	94.50	6.33	6.33
N° 8	213.50	14.31	20.64
N° 16	306.00	20.50	41.14
N° 30	303.00	20.31	61.45
N° 50	240.00	16.09	77.54
N° 100	152.00	10.19	87.73

SUMA DE LOS PORCENTAJES
 RETENIDOS ACUMULADOS = 294.83

MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO
 FINO= 2.95

A.2.2 AGREGADO GRUESO - MUESTRA PATRÓN.

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO
1"	25.40	599.00	2.00	
3/4"	19.05	17257.00	57.55	59.55
1/2"	12.70	11695.50	39.00	
3/8"	9.53	404.50	1.35	99.90
1/4"	6.35	27.00	0.09	
N° 4	4.75	0.00	0.00	99.99
N° 8		0.00	0.00	99.99
N° 16		0.00	0.00	99.99
N° 30		0.00	0.00	99.99
N° 50		0.00	0.00	99.99
N° 100		0.00	0.00	99.99

SUMA DE LOS PORCENTAJES RETENIDOS
 ACUMULADOS = 759.39

MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO GRUESO = 7.59

A.2.3 AGREGADO FINO - MUESTRA RECICLADA.

TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO
3/8"	0.00	0.00	0.00
N° 4	195.00	13.04	13.04
N° 8	335.00	22.39	35.43
N° 16	304.00	20.33	55.76
N° 30	244.00	16.32	72.08
N° 50	190.00	12.70	84.78
N° 100	117.50	7.86	92.64

SUMA DE LOS PORCENTAJES
 RETENIDOS ACUMULADOS = 353.73

MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO
 FINO= 3.54

A.2.4 AGREGADO GRUESO - MUESTRA RECICLADA.

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO
1"	25.40	2780.00	9.28	
3/4"	19.05	9624.00	32.11	41.39
1/2"	12.70	11663.50	38.92	
3/8"	9.53	3829.50	12.78	93.09
1/4"	6.35	1418.00	4.73	
N° 4	4.75	0.00	0.00	97.82
N° 8		0.00	0.00	97.82
N° 16		0.00	0.00	97.82
N° 30		0.00	0.00	97.82
N° 50		0.00	0.00	97.82
N° 100		0.00	0.00	97.82

SUMA DE LOS PORCENTAJES RETENIDOS
 ACUMULADOS = 721.40

MÓDULO DE FINURA DEL AGREGADO GRUESO = 7.21

A.3 SUPERFICIE ESPECÍFICA.

A.3.1 AGREGADO FINO - MUESTRA PATRÓN.

TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO (A)	DIAMETRO MEDIO (B)	SUPERFICIE ESPECÍFICA POR TAMIZ (A/B)
3/8"	0.00	0.00	1.11	0.00
N° 4	94.50	6.33	0.714	8.87
N° 8	213.50	14.31	0.357	40.08
N° 16	306.00	20.51	0.179	114.58
N° 30	303.00	20.31	0.089	228.20
N° 50	240.00	16.09	0.044	365.68
N° 100	152.00	10.19	0.022	463.18

SUMA DE LAS SUPERFICIES ESPECÍFICAS = 1220.59

$$\text{Superficie específica} = \frac{(0.06 \times S)}{G} = 27.53 \text{ cm}^2/\text{gr}$$

Donde:

S: Suma de superficies específicas = 1220.59

G: Gravedad específica = 2.66

A.3.2 AGREGADO GRUESO - MUESTRA PATRÓN.

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO (A)	DIAMETRO MEDIO (B)	SUPERFICIE ESPECÍFICA POR TAMIZ (A/B)
1"	25.40	599.00	2.00	3.17	0.63
3/4"	19.05	17257.00	57.55	2.22	25.92
1/2"	12.70	11695.50	39.00	1.58	24.68
3/8"	9.53	404.50	1.35	1.11	1.22
1/4"	6.35	27.00	0.09	0.79	0.11
N° 4	4.75	0.00	0.00	0.714	0.00

SUMA DE LAS SUPERFICIES ESPECÍFICAS = 52.56

$$\text{Superficie específica} = \frac{(0.06 \times S)}{G} = 1.18 \text{ cm}^2/\text{gr}$$

Donde:

S: Suma de superficies específicas = 52.56

G: Gravedad específica = 2.67

A.3.3 AGREGADO FINO - MUESTRA RECICLADA.

TAMIZ	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	DIAMETRO MEDIO	SUPERFICIE ESPECÍFICA POR TAMIZ
3/8"	0.00	0.00	1.11	0.00
N° 4	195.00	13.04	0.714	18.26
N° 8	335.00	22.39	0.357	62.72
N° 16	304.00	20.33	0.179	113.58
N° 30	244.00	16.32	0.089	183.37
N° 50	190.00	12.70	0.044	288.64
N° 100	117.50	7.86	0.022	357.27

SUMA DE LAS SUPERFICIES ESPECÍFICAS = 1023.84

$$\text{Superficie específica} = \frac{(0.06 \times S)}{G} = 26.48 \text{ cm}^2/\text{gr}$$

Donde:

S: Suma de superficies específicas = 1023.84

G: Gravedad específica = 2.32

A.3.4 AGREGADO GRUESO - MUESTRA RECICLADA.

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO	DIAMETRO MEDIO	SUPERFICIE ESPECÍFICA POR TAMIZ
1"	25.40	2780.00	9.28	3.17	2.93
3/4"	19.05	9624.00	32.11	2.22	14.46
1/2"	12.70	11663.50	38.92	1.58	24.63
3/8"	9.53	3829.50	12.78	1.11	11.51
1/4"	6.35	1418.00	4.73	0.79	5.99
N° 4	4.75	0.00	0.00	0.714	0.00

SUMA DE LAS SUPERFICIES ESPECÍFICAS = 59.52

$$\text{Superficie específica} = \frac{(0.06 \times S)}{G} = 1.59 \text{ cm}^2/\text{gr}$$

Donde:

S: Suma de superficies específicas = 59.52

G: Gravedad específica = 2.24

ANEXO B
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS
DEL AGREGADO
(Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales – FIC – UNI)

B. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS AGREGADOS DE CAMPO.

Las muestras que se sometieron a ensayos se mezclaron uniformemente, en una cantidad no menor al descrito en la NTP 400.010.

B.1 PESO UNITARIO.

B.1.1 PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO - MUESTRA PATRÓN.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra+recipiente.	kg	7.55	7.65	7.65
2	Peso del recipiente.	kg	2.88	2.88	2.88
3	Peso de la muestra (1-2).	kg	4.67	4.77	4.77
4	Volúmen del recipiente.	m ³	0.00283	0.00283	0.00283
5	Peso unitario suelto (3/4).	kg/m	1650.18	1685.51	1685.51
6	Promedio del peso unitario suelto.	kg/m	1673.73		

B.1.2 PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO - MUESTRA PATRÓN.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra+recipiente.	kg	8.25	8.20	8.25
2	Peso del recipiente.	kg	2.88	2.88	2.88
3	Peso de la muestra (1-2).	kg	5.37	5.32	5.37
4	Volúmen del recipiente.	m ³	0.00283	0.00283	0.00283
5	Peso unitario compactado (3/4).	kg/m	1897.53	1879.86	1897.53
6	Promedio del peso unitario compactado.	kg/m	1891.64		

B.1.3 PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO - MUESTRA PATRÓN.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra+recipiente.	kg	19.75	19.65	19.55
2	Peso del recipiente.	kg	6.85	6.85	6.85
3	Peso de la muestra (1-2).	kg	12.90	12.80	12.70
4	Volúmen del recipiente.	m ³	0.00944	0.00944	0.00944
5	Peso unitario suelto (3/4).	kg/m	1366.53	1355.93	1345.34
6	Promedio del peso unitario suelto.	kg/m	1355.93		

B.1.4 PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO -
 MUESTRA PATRÓN.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra+recipiente.	kg	21.35	21.30	21.40
2	Peso del recipiente.	kg	6.85	6.85	6.85
3	Peso de la muestra (1-2).	kg	14.50	14.45	14.55
4	Volúmen del recipiente.	m ³	0.00944	0.00944	0.00944
5	Peso unitario compactado (3/4).	kg/m	1536.02	1530.72	1541.31
6	Promedio del peso unitario compactado.	kg/m	1536.02		

B.1.5 PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO FINO - MUESTRA RECICLADA.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra+recipiente.	kg	6.94	6.98	6.96
2	Peso del recipiente.	kg	2.88	2.88	2.88
3	Peso de la muestra (1-2).	kg	4.06	4.10	4.08
4	Volúmen del recipiente.	m ³	0.00283	0.00283	0.00283
5	Peso unitario suelto (3/4).	kg/m	1434.63	1448.76	1441.7
6	Promedio del peso unitario suelto.	kg/m	1441.70		

B.1.6 PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO FINO - MUESTRA RECICLADA.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra+recipiente.	kg	7.54	7.55	7.54
2	Peso del recipiente.	kg	2.88	2.88	2.88
3	Peso de la muestra (1-2).	kg	4.66	4.67	4.66
4	Volúmen del recipiente.	m ³	0.00283	0.00283	0.00283
5	Peso unitario suelto (3/4).	kg/m	1646.64	1650.18	1646.64
6	Promedio del peso unitario compactado.	kg/m	1647.82		

B.1.7 PESO UNITARIO SUELTO DEL AGREGADO GRUESO - MUESTRA RECICLADA.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra+recipiente.	kg	18.20	18.15	18.05
2	Peso del recipiente.	kg	6.85	6.85	6.85
3	Peso de la muestra (1-2).	kg	11.35	11.30	11.20
4	Volúmen del recipiente.	m ³	0.00944	0.00944	0.00944
5	Peso unitario suelto (3/4).	kg/m	1202.33	1197.03	1186.44
6	Promedio del peso unitario suelto.	kg/m	1195.27		

**B.1.8 PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GRUESO -
MUESTRA RECICLADA.**

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra+recipiente.	kg	19.30	19.50	19.45
2	Peso del recipiente.	kg	6.85	6.85	6.85
3	Peso de la muestra (1-2).	kg	12.45	12.65	12.60
4	Volúmen del recipiente.	m ³	0.00944	0.00944	0.00944
5	Peso unitario suelto (3/4).	kg/m	1318.86	1340.04	1334.75
6	Promedio del peso unitario compactado.	kg/m	1331.22		

B.2 AGREGADO GLOBAL.

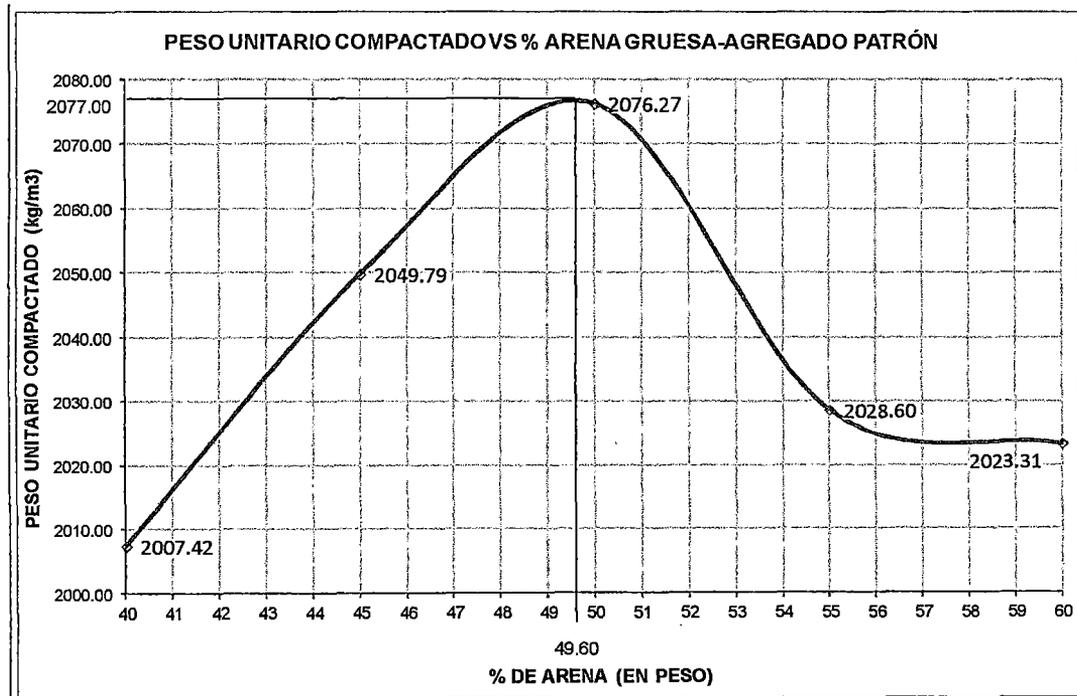
B.2.1 AGREGADO GLOBAL – MUESTRA PATRÓN.

ID	DESCRIPCIÓN	MUESTRA N°1		MUESTRA N°2		MUESTRA N°3		MUESTRA N°4		MUESTRA N°5	
		%	PESO (kg)								
1	Agregado fino (arena gruesa)	40	12	45	13.5	50	15.0	55	16.5	60	18.0
2	Agregado grueso (piedra)	60	18	55	16.5	50	15.0	45	13.5	40	12.0

B.2.2 COMPACIDAD DEL AGREGADO GLOBAL – MUESTRA PATRÓN

ID	DESCRIPCIÓN	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3	MUESTRA N°4	MUESTRA N°5
1	Peso de la muestra+recipiente.	25.80	26.20	26.45	26.00	25.95
2	Peso del recipiente.	6.85	6.85	6.85	6.85	6.85
3	Peso de la muestra (1-2).	18.95	19.35	19.60	19.15	19.10
4	Volúmen del recipiente.	0.00944	0.00944	0.00944	0.00944	0.00944
5	Peso unitario compactado (3/4).	2007.42	2049.79	2076.27	2028.60	2023.31

B.2.3 MÁXIMO PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GLOBAL – MUESTRA PATRÓN



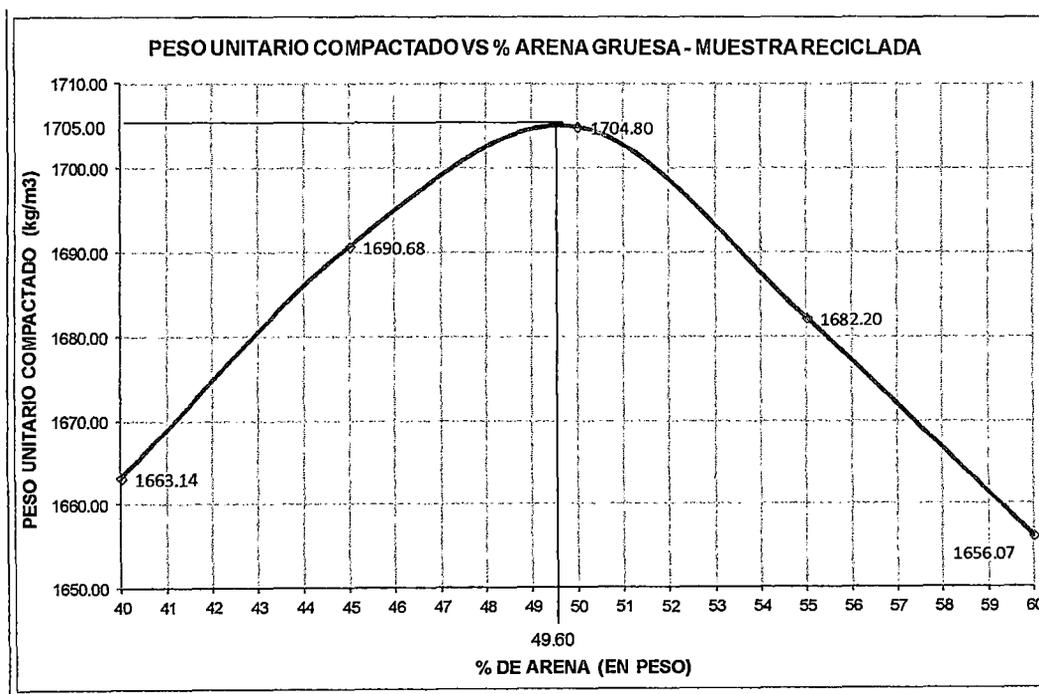
B.2.4 AGREGADO GLOBAL – MUESTRA RECICLADA.

ID	DESCRIPCIÓN	MUESTRA N°1		MUESTRA N°2		MUESTRA N°3		MUESTRA N°4		MUESTRA N°5	
		%	PESO (kg)								
1	Agregado fino (arena gruesa)	40	12	45	13.5	50	15.0	55	16.5	60	18.0
2	Agregado grueso (piedra)	60	18	55	16.5	50	15.0	45	13.5	40	12.0

B.2.5 COMPACIDAD DEL AGREGADO GLOBAL – MUESTRA RECICLADA.

ID	DESCRIPCIÓN	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3	MUESTRA N°4	MUESTRA N°5
1	Peso de la muestra+recipiente.	28.69	29.08	29.28	28.96	28.59
2	Peso del recipiente.	5.14	5.14	5.14	5.14	5.14
3	Peso de la muestra (1-2).	23.55	23.94	24.14	23.82	23.45
4	Volúmen del recipiente.	0.01416	0.01416	0.01416	0.01416	0.01416
5	Peso unitario compactado (3/4).	1663.14	1690.68	1704.80	1682.20	1656.07

B.2.6 MÁXIMO PESO UNITARIO COMPACTADO DEL AGREGADO GLOBAL – MUESTRA RECICLADA.



B.3 CONTENIDO DE FINOS.

B.3.1 CONTENIDOS DE FINOS QUE PASA LA MALLA N° 200 – MUESTRA PATRÓN.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra seca al horno.	gr	500.00	500.00	500.00
2	Peso de la muestra seco al horno de la muestra lavada.	gr	478.50	474.00	469.50
3	Peso de la muestra perdida (1-2).	gr	21.50	26.00	30.50
4	Contenido de finos (3x100/1).	%	4.30	5.20	6.10
5	Promedio del porcentaje del contenido de finos.	%	5.20		

B.3.2 CONTENIDOS DE FINOS QUE PASA LA MALLA N° 200 – MUESTRA RECICLADA.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra seca al horno.	gr	500.00	500.00	500.00
2	Peso de la muestra seco al horno de la muestra lavada.	gr	485.00	486.50	484.00
3	Peso de la muestra perdida (1-2).	gr	15.00	13.50	16.00
4	Contenido de finos (3x100/1).	%	3.00	2.70	3.20
5	Promedio del porcentaje del contenido de finos.	%	2.97		

B.4 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN.

B.4.1 PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO – MUESTRA PATRÓN.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra saturada superficialmente seca.	gr	500.00	500.00	500.00
2	Peso de la muestra superf. seca+peso del balón+peso del agua.	gr	978.50	978.00	978.00
3	Peso del balón.	gr	163.50	163.50	163.50
4	Peso del agua.	gr	315.00	314.50	314.50
5	Peso de la muestra seca al horno.	gr	494.50	491.50	493.50
6	Volúmen del balón.	cc	500.00	500.00	500.00
7	Peso específico de masa (5/(6-4)).	gr/cc	2.67	2.65	2.66
8	Peso específico de masa superficialmente seco (1/(6-4)).	gr/cc	2.70	2.70	2.70
9	Peso específico aparente (5/((6-4)-(1-5))).	gr/cc	2.75	2.78	2.76
10	Porcentaje de absorción ((1-5)x100/5).	%	1.11	1.73	1.32
11	Promedio del peso específico de masa.	gr/cc		2.66	
12	Promedio del peso específico de masa superficialmente seco.	gr/cc		2.70	
13	Promedio del peso aparente.	gr/cc		2.76	
14	Promedio del porcentaje de absorción.	%		1.39	

B.4.2 PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO – MUESTRA PATRÓN.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra saturada superficialmente seca.	gr	2000.00	2000.00	2000.00
2	Peso de la muestra saturada en agua+peso de la canastilla.	gr	3084.00	3084.00	3082.00
3	Peso de la canastilla.	gr	1828.00	1828.00	1828.00
4	Peso de la muestra secada al horno.	gr	1983.00	1983.00	1984.00
5	Peso de la muestra saturada en agua.	gr	1256.00	1256.00	1254.00
6	Peso específico de masa (4/(1-5)).	gr/cc	2.67	2.67	2.66
7	Peso específico de masa superficialmente seco (1/(1-5)).	gr/cc	2.69	2.69	2.68
8	Peso específico aparente (4/(4-5)).	gr/cc	2.73	2.73	2.72
9	Porcentaje de absorción ((1-4)x100/4).	%	0.86	0.86	0.81
11	Promedio del peso específico de masa.	gr/cc		2.67	
12	Promedio del peso específico de masa superficialmente seco.	gr/cc		2.69	
13	Promedio del peso aparente.	gr/cc		2.73	
14	Promedio del porcentaje de absorción.	%		0.84	

B.4.3 PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO – MUESTRA RECICLADA.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra saturada superficialmente seca.	gr	500.00	500.00	500.00
2	Peso de la muestra superf. seca+peso del balón+peso del agua.	gr	959.50	959.00	958.00
3	Peso del balón.	gr	163.50	163.50	163.50
4	Peso del agua.	gr	296.00	295.50	294.50
5	Peso de la muestra seca al horno.	gr	472.50	474.00	474.50
6	Volúmen del balón.	cc	500.00	500.00	500.00
7	Peso específico de masa (5/(6-4)).	gr/cc	2.32	2.32	2.31
8	Peso específico de masa superficialmente seco (1/(6-4)).	gr/cc	2.45	2.44	2.43
9	Peso específico aparente (5/((6-4)-(1-5))).	gr/cc	2.68	2.66	2.64
10	Porcentaje de absorción ((1-5)x100/5).	%	5.82	5.49	5.37
11	Promedio del peso específico de masa.	gr/cc		2.32	
12	Promedio del peso específico de masa superficialmente seco.	gr/cc		2.44	
13	Promedio del peso aparente.	gr/cc		2.66	
14	Promedio del porcentaje de absorción.	%		5.56	

B.4.4 PESO ESPECÍFICO Y PORCENTAJE DE ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO – MUESTRA RECICLADA.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra saturada superficialmente seca.	gr	2000.00	2000.00	2000.00
2	Peso de la muestra saturada en agua+peso de la canastilla.	gr	2989.00	3001.00	3000.00
3	Peso de la canastilla.	gr	1828.00	1828.00	1828.00
4	Peso de la muestra secada al horno.	gr	1854.00	1867.00	1862.00
5	Peso de la muestra saturada en agua.	gr	1161.00	1173.00	1172.00
6	Peso específico de masa (4/(1-5)).	gr/cc	2.21	2.26	2.25
7	Peso específico de masa superficialmente seco (1/(1-5)).	gr/cc	2.38	2.42	2.42
8	Peso específico aparente (4/(4-5)).	gr/cc	2.68	2.69	2.70
9	Porcentaje de absorción ((1-4)x100/4).	%	7.87	7.12	7.41
11	Promedio del peso específico de masa.	gr/cc		2.24	
12	Promedio del peso específico de masa superficialmente seco.	gr/cc		2.41	
13	Promedio del peso aparente.	gr/cc		2.69	
14	Promedio del porcentaje de absorción.	%		7.47	

B.5 CONTENIDO DE HUMEDAD PARA PRE DISEÑO.

B.5.1 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO – MUESTRA PATRÓN (PARA PRE DISEÑO).

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra en estado ambiental.	gr	500.00	500.00	500.00
2	Peso de la muestra seca al horno.	gr	490.50	491.00	491.00
3	Peso del agua perdida (1-2).	gr	9.50	9.00	9.00
4	Contenido de humedad (3x100/2).	%	1.94	1.83	1.83
5	Promedio del contenido de humedad.	%	1.87		

B.5.2 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO – MUESTRA PATRÓN (PARA PRE DISEÑO).

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra en estado ambiental.	gr	1000.00	1000.00	1000.00
2	Peso de la muestra seca al horno.	gr	997.50	996.00	997.00
3	Peso del agua perdida (1-2).	gr	2.50	4.00	3.00
4	Contenido de humedad (3x100/2).	%	0.25	0.40	0.30
5	Promedio del contenido de humedad.	%	0.32		

B.5.3 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO – MUESTRA RECICLADA.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra en estado ambiental.	gr	500.00	500.00	500.00
2	Peso de la muestra seca al horno.	gr	486.00	486.50	487.00
3	Peso del agua perdida (1-2).	gr	14.00	13.50	13.00
4	Contenido de humedad (3x100/2).	%	2.88	2.77	2.67
5	Promedio del contenido de humedad.	%	2.77		

B.5.4 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO – MUESTRA RECICLADA.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra en estado ambiental.	gr	1000.00	1000.00	1000.00
2	Peso de la muestra seca al horno.	gr	972.00	972.50	971.50
3	Peso del agua perdida (1-2).	gr	28.00	27.50	28.50
4	Contenido de humedad (3x100/2).	%	2.88	2.83	2.93
5	Promedio del contenido de humedad.	%	2.88		

B.5.5 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO – MUESTRA RECICLADA - PARA PRE DISEÑO.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra en estado ambiental.	gr	500.00	500.00	500.00
2	Peso de la muestra seca al horno.	gr	483.00	482.00	484.00
3	Peso del agua perdida (1-2).	gr	17.00	18.00	16.00
4	Contenido de humedad (3x100/2).	%	3.52	3.73	3.31
5	Promedio del contenido de humedad.	%	3.52		

B.5.6 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO – MUESTRA RECICLADA – PARA PRE DISEÑO.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra en estado ambiental.	gr	1000.00	1000.00	1000.00
2	Peso de la muestra seca al horno.	gr	969.50	970.50	970.00
3	Peso del agua perdida (1-2).	gr	30.50	29.50	30.00
4	Contenido de humedad (3x100/2).	%	3.15	3.04	3.09
5	Promedio del contenido de humedad.	%	3.09		

B.6 CONTENIDO DE HUMEDAD PARA DISEÑO DEFINITIVO.

B.6.1 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO – MUESTRA PATRÓN PARA UN CONTENIDO DE CEMENTO 358.33 KG/M3.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra en estado ambiental.	gr	500.00	500.00	500.00
2	Peso de la muestra seca al horno.	gr	488.50	490.00	489.50
3	Peso del agua perdida (1-2).	gr	11.50	10.00	10.50
4	Contenido de humedad (3x100/2).	%	2.35	2.04	2.15
5	Promedio del contenido de humedad.	%	2.18		

B.6.2 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO – MUESTRA PATRÓN PARA UN CONTENIDO DE CEMENTO 300.00 KG/M3.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra en estado ambiental.	gr	500.00	500.00	500.00
2	Peso de la muestra seca al horno.	gr	492.00	491.50	492.00
3	Peso del agua perdida (1-2).	gr	8.00	8.50	8.00
4	Contenido de humedad (3x100/2).	%	1.63	1.73	1.63
5	Promedio del contenido de humedad.	%	1.66		

B.6.3 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO – MUESTRA PATRÓN PARA UN CONTENIDO DE CEMENTO 260.00 KG/M3.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra en estado ambiental.	gr	500.00	500.00	500.00
2	Peso de la muestra seca al horno.	gr	485.50	486.50	485.50
3	Peso del agua perdida (1-2).	gr	14.50	13.50	14.50
4	Contenido de humedad (3x100/2).	%	2.99	2.77	2.99
5	Promedio del contenido de humedad.	%	2.92		

B.6.4 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO – MUESTRA PATRÓN PARA UN CONTENIDO DE CEMENTO 358.33 KG/M3.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra en estado ambiental.	gr	1000.00	1000.00	1000.00
2	Peso de la muestra seca al horno.	gr	996.50	996.00	995.50
3	Peso del agua perdida (1-2).	gr	3.50	4.00	4.50
4	Contenido de humedad (3x100/2).	%	0.35	0.40	0.45
5	Promedio del contenido de humedad.	%	0.40		

B.6.5 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO – MUESTRA PATRÓN PARA UN CONTENIDO DE CEMENTO 300.00 KG/M3.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra en estado ambiental.	gr	1000.00	1000.00	1000.00
2	Peso de la muestra seca al horno.	gr	995.50	997.00	996.50
3	Peso del agua perdida (1-2).	gr	4.50	3.00	3.50
4	Contenido de humedad (3x100/2).	%	0.45	0.30	0.35
5	Promedio del contenido de humedad.	%	0.37		

B.6.6 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO – MUESTRA PATRÓN PARA UN CONTENIDO DE CEMENTO 260.00 KG/M3.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra en estado ambiental.	gr	1500.00	1500.00	1500.00
2	Peso de la muestra seca al horno.	gr	1493.00	1494.00	1493.50
3	Peso del agua perdida (1-2).	gr	7.00	6.00	6.50
4	Contenido de humedad (3x100/2).	%	0.47	0.40	0.44
5	Promedio del contenido de humedad.	%	0.44		

B.6.7 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO – MUESTRA RECICLADA PARA UN CONTENIDO DE CEMENTO 358.33 KG/M3.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra en estado ambiental.	gr	500.00	500.00	500.00
2	Peso de la muestra seca al horno.	gr	476.00	476.50	477.00
3	Peso del agua perdida (1-2).	gr	24.00	23.50	23.00
4	Contenido de humedad (3x100/2).	%	5.04	4.93	4.82

5	Promedio del contenido de humedad.	%	4.93		
---	------------------------------------	---	------	--	--

B.6.8 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO – MUESTRA RECICLADA PARA UN CONTENIDO DE CEMENTO 300.00 KG/M3.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra en estado ambiental.	gr	500.00	500.00	500.00
2	Peso de la muestra seca al horno.	gr	475.50	475.50	475.00
3	Peso del agua perdida (1-2).	gr	24.50	24.50	25.00
4	Contenido de humedad (3x100/2).	%	5.15	5.15	5.26

5	Promedio del contenido de humedad.	%	5.19		
---	------------------------------------	---	------	--	--

B.6.9 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO FINO – MUESTRA RECICLADA PARA UN CONTENIDO DE CEMENTO 260.00 KG/M3.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra en estado ambiental.	gr	2000.00	2000.00	2000.00
2	Peso de la muestra seca al horno.	gr	1915.00	1914.50	1913.50
3	Peso del agua perdida (1-2).	gr	85.00	85.50	86.50
4	Contenido de humedad (3x100/2).	%	4.44	4.47	4.52

5	Promedio del contenido de humedad.	%	4.48		
---	------------------------------------	---	------	--	--

B.6.10 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO – MUESTRA RECICLADA PARA UN CONTENIDO DE CEMENTO 358.33 KG/M3.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra en estado ambiental.	gr	1000.00	1000.00	1000.00
2	Peso de la muestra seca al horno.	gr	960.00	960.50	959.50
3	Peso del agua perdida (1-2).	gr	40.00	39.50	40.50
4	Contenido de humedad (3x100/2).	%	4.17	4.11	4.22
5	Promedio del contenido de humedad.	%	4.17		

B.6.11 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO – MUESTRA RECICLADA PARA UN CONTENIDO DE CEMENTO 300.00 KG/M3.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra en estado ambiental.	gr	1000.00	1000.00	1000.00
2	Peso de la muestra seca al horno.	gr	958.00	957.00	957.50
3	Peso del agua perdida (1-2).	gr	42.00	43.00	42.50
4	Contenido de humedad (3x100/2).	%	4.38	4.49	4.44
5	Promedio del contenido de humedad.	%	4.44		

B.6.12 CONTENIDO DE HUMEDAD DEL AGREGADO GRUESO – MUESTRA RECICLADA PARA UN CONTENIDO DE CEMENTO 260.00 KG/M3.

ID.	DESCRIPCIÓN	UND.	MUESTRA N°1	MUESTRA N°2	MUESTRA N°3
1	Peso de la muestra en estado ambiental.	gr	1000.00	1000.00	1000.00
2	Peso de la muestra seca al horno.	gr	954.50	955.00	955.00
3	Peso del agua perdida (1-2).	gr	45.50	45.00	45.00
4	Contenido de humedad (3x100/2).	%	4.77	4.71	4.71
5	Promedio del contenido de humedad.	%	4.73		

ANEXO C

DISEÑO DE MEZCLA

(Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales – FIC – UNI)

C. DISEÑO DE MEZCLA.

C.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL SEGÚN COMPOSICIÓN DEL AGREGADO FINO – MUESTRA PATRÓN (PRE DISEÑO).

D1 (cm)	D2 (cm)	Dp (cm)	Area (cm ²)	Carga (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _c promedio (kg/cm ²)	% Arena	σ	C.V	MAX C.V	RESULTADO
15.15	15.20	15.18	180.98	26900.00	148.64	143.85	46.60%	4.29	2.98%	7.80%	OK!
15.15	15.15	15.15	180.27	25700.00	142.56						
15.20	15.15	15.18	180.98	25400.00	140.35						
14.90	14.85	14.88	173.90	33900.00	194.94	193.59	49.60%	6.15	3.18%	7.80%	OK!
15.00	15.05	15.03	177.42	35300.00	198.96						
15.10	15.15	15.13	179.79	33600.00	186.88						
14.90	14.90	14.90	174.37	33400.00	191.55	195.62	52.60%	5.31	2.71%	7.80%	OK!
14.95	14.95	14.95	175.54	34000.00	193.69						
14.90	14.95	14.93	175.07	35300.00	201.63						
14.95	14.90	14.93	175.07	32600.00	186.21	181.49	55.60%	9.19	5.06%	7.80%	OK!
14.90	14.95	14.93	175.07	32800.00	187.35						
15.00	14.90	14.95	175.54	30000.00	170.90						

C.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL SEGÚN COMPOSICIÓN DEL AGREGADO FINO – MUESTRA RECICLADA (PRE DISEÑO).

D1	D2	Dp	Area	Carga	f _c	f _c promedio	Arena (%)	σ	C.V	MAX C.V	RESULTADO
14.90	14.90	14.90	174.37	26300.00	150.83	153.46	49.60%	2.55	1.66%	7.80%	OK!
14.90	14.85	14.88	173.78	26700.00	153.64						
15.15	15.20	15.18	180.86	28200.00	155.92						
15.20	15.15	15.18	180.86	35000.00	193.52	190.74	52.60%	3.47	1.82%	7.80%	OK!
15.15	15.20	15.18	180.86	34700.00	191.86						
14.90	15.00	14.95	175.54	32800.00	186.85						
14.95	15.00	14.98	176.13	33200.00	188.50	178.27	55.60%	9.95	5.58%	7.80%	OK!
15.05	14.95	15.00	176.72	31400.00	177.68						
15.05	14.95	15.00	176.72	29800.00	168.63						

C.3 PROCEDIMIENTO DEL DISEÑO DEFINITIVO PARA UNA RELACIÓN AGUA/CEMENTO IGUAL A 0.70 - MUESTRA PATRÓN.

Consideraciones previas al diseño:

De acuerdo a los ensayos cuyos resultados se muestran en el Anexo A y B, se determinó que los agregados finos y gruesos tienen las siguientes características:

DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	AGREGADO GLOBAL
Nombre cantera.	HUACHIPA	UNICON	-
Tamaño máximo nominal (pulg.).		1	1
Módulo de finura.	2.95	7.59	5.22
Peso unitario suelto (kg/m ³).	1673.73	1355.93	
Peso unitario compactado (kg/m ³).	1891.64	1536.02	
Peso específico (gr/cm ³).	2.66	2.67	
Contenido de humedad (%).	2.18	0.40	
Porcentaje de absorción (%).	1.39	0.84	

Por otro lado, las características del cemento son:

CEMENTO	
Marca.	SOL TIPO I
Peso específico (gr/cm ³).	3.13

a) El diseño corresponde a un concreto de mediana a baja resistencia con relación agua/cemento de 0.60.

b) Del gráfico N° 4.1, se obtiene las siguientes proporciones en la combinación del agregado global:

-Volumen del agregado fino = 51%

-Volumen del agregado grueso = 49%

De donde:

$$\text{Volumen del agregado fino} = \left(\frac{51}{49}\right) \times \text{Volumen de agregado grueso.}$$

$$\text{Volumen del agregado fino} = 1.040816 \times \text{Volumen de agregado grueso.....(1)}$$

Procedimiento de diseño:

Para el diseño de mezcla se sigue el siguiente procedimiento:

1.-Se elige la relación agua/cemento: a/c=0.60.

2.-Se elige el asentamiento que debe cumplir el diseño: Del cuadro siguiente:

CUADRO DE CONSISTENCIA SEGÚN ASENTAMIENTOS.

CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO (pulgadas)	TRABAJABILIDAD	MÉTODO DE COMPACTACIÓN
Seca.	0 a 2	Poco trabajable.	Vibración normal.
Plastica.	3 a 4	Trabajable.	Vibración ligera o varillado.
Fluida.	> 5	Muy trabajable.	Varillado.

Se elige un asentamiento de 3" a 4" a fin de obtener una mezcla trabajable.

3.-Se elige el contenido de aire atrapado: Según cuadro siguiente,

PORCENTAJE DE VACIOS SEGÚN TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL DEL AGREGADO

TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL	3/8"	1/2"	3/4"	1"	1.1/2"	2"	3"	6"
Aire atrapado (%).	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2

(*) Fuente ACI 211.

Tomando en cuenta que el agregado patrón es de tamaño máximo nominal de 1", da como contenido en aire atrapado el valor de 1.5%.

4.-Se asume la cantidad de agua en un volumen de 1 m³ de concreto:

Tomando como volumen de agua la cantidad de 215 litros.

5.-Se estima la resistencia a compresión requerida:

RESISTENCIA DEL CONCRETO REQUERIDA SEGÚN RELACION AGUA/CEMENTO.

f _{cr} (kg/cm ²)	RELACION AGUA/CEMENTO	
	CONCRETO SIN AIRE INCORPORADO.	CONCRETO CON AIRE INCORPORADO.
150	0.80	0.71
200	0.70	0.61
250	0.62	0.53
300	0.55	0.46
350	0.48	0.40
400	0.43	-
450	0.38	-

Según cuadro anterior, interpolando se establece como resistencia para la relación de agua/cemento igual a 0.60, el valor de 261 kg/cm².

6.-Se determina la cantidad de cemento para un volumen de 1 m³:

Para lo cual se usa la relación agua/cemento=0.60 y la cantidad de agua tomada en numeral 4 igual a 215 litros. Por lo tanto la cantidad de cemento usado será:

$$\frac{\text{Agua}}{\text{Cemento}} = 0.60, \rightarrow \text{Cemento} = \frac{\text{Agua}}{0.60} = \frac{215}{0.60} = 358.33 \text{ kg}$$

7.-Se determina el volumen absoluto de los agregados:

Se sabe que:

$$\text{Volumen} = \frac{\text{Peso}}{\text{Peso específico}}$$

Aplicando para el cemento, y agua se tiene:

$$\text{Volumen de cemento} = \frac{\text{Peso del cemento}}{\text{Peso específico del cemento}} = \frac{358.33}{3.13 \times 1000} = 0.1145 \text{ m}^3.$$

$$\text{Volumen de agua} = \frac{215}{1000} = 0.215 \text{ m}^3.$$

$$\text{Volumen de aire} = 1.5\% = \frac{1.5}{100} = 0.015 \text{ m}^3.$$

$$\text{Volumen de agregados} = 1 - (\text{vol. de cemento} + \text{vol. de aire} + \text{vol. de agua})$$

$$\text{Volumen de agregados} = 1 - (0.1145 + 0.215 + 0.015) = 0.6555 \text{ m}^3 \dots\dots\dots(2)$$

8.-Se determina volumen seco por 1 m³ de concreto del agregado grueso y fino:

Se sabe que:

$$\text{Vol. de agregado} = \text{Vol. seco de agregado fino} + \text{Vol. seco de agregado grueso} \dots$$

$$\dots\dots\dots(3)$$

Reemplazando (1), (2) en (3) se tiene:

$$0.6555 = (1 + 1.040816) \times \text{Volumen seco de agregado grueso}.$$

De donde:

$$\text{Volumen seco de agregado grueso} = 0.3212 \text{ m}^3.$$

Por lo tanto:

$$\text{Volumen seco de agregado fino} = 0.6555 - 0.3212 = 0.3343 \text{ m}^3.$$

9.-Se determina los pesos secos de los componentes según los volúmenes secos calculados:

Del numeral 6:

→Peso seco del cemento = 358.33 kg.

Del numeral 4:

→Peso del agua = 215 kg.

Del numeral 8:

-Peso seco del agregado fino = Volumen seco x Peso específico.

-Peso seco del agregado fino = $0.3343 \times 2.66 \times 1000$

→Peso seco del agregado fino = 889.24 kg

-Peso seco del agregado grueso = Volumen seco x Peso específico.

-Peso seco del agregado grueso = $0.3212 \times 2.67 \times 1000$

→Peso seco del agregado grueso = 857.60 kg

10.-Se corrige el peso de los agregados según su contenido de humedad:

Se sabe que:

$$\text{Peso humedo} = \text{Peso seco} \times \left(1 + \frac{\% \text{ Contenido de Humedad}}{100}\right)$$

Aplicando a los pesos secos de los agregados:

$$\text{Peso humedo del agregado fino} = \text{Peso seco del agregado fino} \times \left(1 + \frac{\% \text{ C.H}}{100}\right)$$

$$\text{Peso humedo del agregado fino} = 889.24 \times \left(1 + \frac{2.18}{100}\right)$$

→Peso humedo del agregado fino = 908.63kg

$$\text{Peso humedo del agregado grueso} = \text{Peso seco del agregado grueso} \times \left(1 + \frac{\% \text{ C.H}}{100}\right)$$

$$\text{Peso humedo del agregado grueso} = 857.60 \times \left(1 + \frac{0.40}{100}\right)$$

→Peso humedo del agregado grueso = 861.03 kg

11.-Se corrige el contenido de agua según el contenido de humedad y el porcentaje de absorción de los agregados según la siguiente relación:

Volumen de agua = Peso seco x (Cont. de humedad - Porcentaje de abs.)

Agua que aporta el agregado fino:

$$\text{Volumen de agua que aporta el agregado fino (lt)} = 889.24 \times \left(\frac{2.18}{100} - \frac{1.39}{100}\right)$$

Volumen de agua que aporta el agregado fino (lt) = 7.02

Agua que aporta el agregado grueso:

$$\text{Volumen de agua que aporta el agregado grueso (lt)} = 857.60 \times \left(\frac{0.40}{100} - \frac{0.84}{100} \right)$$

$$\text{Volumen de agua que aporta el agregado grueso (lt)} = -3.77$$

Por lo tanto:

$$\text{La corrección del agua será} = 7.02 + (-3.77) = +3.25 \text{ lt.}$$

El valor positivo significa que al volumen de agua obtenido en el numeral 4 se debe disminuir 3.25 lt.

$$\text{Volumen de agua} = 215 - 3.25 = 211.75 \text{ lt.}$$

12.-Como paso final se mezcla, teniendo los valores de los pesos húmedos podemos establecer una tanda de 112 kg. Una vez mezclado todos los componentes se procede a tomar lectura del asentamiento.

ASENTAMIENTO OBTENIDO = 3.¾ OK! Se acepta este diseño.

En los cuadros siguientes se muestran los diseños definitivos para la muestra patrón con relación agua/cemento = 0.60, 0.70 y 0.80. Así como para la muestra reciclada con contenido de cemento = 358.33 kg/m³, 300 kg/m³ y 260 kg/m³.

Se acota que todos los diseños tanto para las pruebas preliminares y definitivas tienen el mismo procedimiento.

Para cada diseño básicamente se modifica el contenido de agua, hasta lograr un asentamiento entre 3" a 4".

C.4 DISEÑO DE MEZCLA DEFINITIVO DEL CONCRETO FRESCO.

C.4.1 DISEÑO DE MEZCLA PARA UN CONTENIDO DE CEMENTO DE 358.33 KG/M³ - MUESTRA PATRÓN.

DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	AGREGADO GLOBAL	REFERENCIA DE CÁLCULO
Nombre cantera.	HUACHIPA	UNICON	-	
Tamaño máximo nominal (pulg.).		1	1	ANEXO A
Módulo de finura.	2.95	7.59	5.22	ANEXO A
Peso unitario suelto (kg/m ³).	1673.73	1355.93		ANEXO B
Peso unitario compactado (kg/m ³).	1891.64	1536.02		ANEXO B
Peso específico (gr/cm ³).	2.66	2.67		ANEXO B
Contenido de humedad (%).	2.18	0.40		ANEXO B
Porcentaje de absorción (%).	1.39	0.84		ANEXO B
Agregado fino (%).			51.00	GRÁFICO N° 4.1
Agregado grueso (%).			49.00	GRÁFICO N° 4.1

CEMENTO	
Marca.	SOL TIPO I
Peso específico (gr/cm ³).	3.13

AIRE	
Aire atrapado (%).	1.50

TANDA DE DISEÑO	
Peso (kg).	112.00

DISEÑO

RELACIÓN a/c =	0.60
----------------	------

AGUA (lt) =	215
-------------	-----

ASENTAMIENTO(pulg.)	3 a 4
---------------------	-------

MATERIAL	DISEÑO SECO					CORRECCIÓN DEL AGUA (lt)	DISEÑO HUMEDO		
	PESO SECO (kg)	VOLÚMEN (m ³)	VOL. ABS. (m ³)	PESO SECO (kg)	D.U.S (en peso)		PESO HUMEDO (kg)	D.U.H (en peso)	TANDA (kg)
Cemento.	358.33	0.1145	0.1145	358.33	1.00		358.33	1.00	17.16
Agua.	215.00	0.2150	0.2150	215.00	0.60		211.75	0.59	10.12
Agregado fino.			0.3343	889.24	2.48	7.02	908.63	2.54	43.67
Agregado grueso.			0.3212	857.60	2.39	-3.77	861.03	2.40	41.16
Aire.	1.50	0.0150	0.0150						
		0.3445	1.0000	2320.17	6.47	3.25	2339.74	6.53	112.00

C.4.2 DISEÑO DE MEZCLA PARA UN CONTENIDO DE CEMENTO DE 300.00 KG/M3 - MUESTRA PATRÓN.

DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	AGREGADO GLOBAL	REFERENCIA DE CÁLCULO
Nombre cantera.	HUACHIPA	UNICON	-	
Tamaño máximo nominal (pulg.).		1	1	ANEXO A
Módulo de finura.	2.95	7.59	5.22	ANEXO A
Peso unitario suelto (kg/m ³).	1673.73	1355.93		ANEXO B
Peso unitario compactado (kg/m ³).	1891.64	1536.02		ANEXO B
Peso específico (gr/cm ³).	2.66	2.67		ANEXO B
Contenido de humedad (%).	1.66	0.37		ANEXO B
Porcentaje de absorción (%).	1.39	0.84		ANEXO B
Agregado fino (%).			51.00	GRÁFICO N° 4.1
Agregado grueso (%).			49.00	GRÁFICO N° 4.1

CEMENTO	
Marca.	SOL TIPO I
Peso específico (gr/cm ³).	3.13

AIRE	
Aire atrapado (%).	1.50

TANDA DE DISEÑO	
Peso (kg).	112.00

DISEÑO

RELACIÓN a/c =	0.70
----------------	-------------

AGUA (lt) =	210
-------------	------------

ASENTAMIENTO(pulg.)	3 a 4
---------------------	--------------

MATERIAL	DISEÑO SECO					CORRECCIÓN DEL AGUA (lt)	DISEÑO HUMEDO		
	PESO SECO (kg)	VOLÚMEN (m ³)	VOL. ABS. (m ³)	PESO SECO (kg)	D.U.S (en peso)		PESO HUMEDO (kg)	D.U.H (en peso)	TANDA (kg)
									112.00
Cemento.	300.00	0.0958	0.0958	300.00	1.00	300.00	1.00	14.36	
Agua.	210.00	0.2100	0.2100	210.00	0.70	211.69	0.71	10.19	
Agregado fino.			0.3464	921.42	3.07	936.72	3.12	44.80	
Agregado grueso.			0.3328	888.58	2.96	891.87	2.97	42.66	
Aire.	1.50	0.0150	0.0150						
		0.3208	1.0000	2320.00	7.73	2340.28	7.80	112.00	

C.4.3 DISEÑO DE MEZCLA PARA UN CONTENIDO DE CEMENTO DE 260.00 KG/M3 - MUESTRA PATRÓN.

DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	AGREGADO GLOBAL	REFERENCIA DE CÁLCULO
Nombre cantera.	HUACHIPA	UNICON	-	
Tamaño máximo nominal (pulg.).		1	1	ANEXO A
Módulo de finura.	2.95	7.59	5.22	ANEXO A
Peso unitario suelto (kg/m ³).	1673.73	1355.93		ANEXO B
Peso unitario compactado (kg/m ³).	1891.64	1536.02		ANEXO B
Peso específico (gr/cm ³).	2.66	2.67		ANEXO B
Contenido de humedad (%).	2.92	0.44		ANEXO B
Porcentaje de absorción (%).	1.39	0.84		ANEXO B
Agregado fino (%).			51.00	GRÁFICO N° 4.1
Agregado grueso (%).			49.00	GRÁFICO N° 4.1

CEMENTO	
Marca.	SOL TIPO I
Peso específico (gr/cm ³).	3.13

AIRE	
Aire atrapado (%).	1.50

TANDA DE DISEÑO	
Peso (kg).	112.00

DISEÑO

RELACIÓN a/c =	0.80
----------------	-------------

AGUA (lt) =	208
-------------	------------

ASENTAMIENTO(pulg.)	3 a 4
---------------------	--------------

MATERIAL	DISEÑO SECO					CORRECCIÓN DEL AGUA (lt)	DISEÑO HUMEDO		
	PESO SECO (kg)	VOLÚMEN (m ³)	VOL. ABS. (m ³)	PESO SECO (kg)	D.U.S (en peso)		PESO HUMEDO (kg)	D.U.H (en peso)	TANDA (kg)
									112.00
Cemento.	260.00	0.0831	0.0831	260.00	1.00	260.00	1.00	12.44	
Agua.	208.00	0.2080	0.2080	208.00	0.80	197.23	0.76	9.46	
Agregado fino.			0.3539	941.37	3.62	968.86	3.73	46.42	
Agregado grueso.			0.3400	907.80	3.49	911.79	3.51	43.68	
Aire.	1.50	0.0150	0.0150						
		0.3061	1.0000	2317.17	8.91	2337.88	9.00	112.00	

C.4.4 DISEÑO DE MEZCLA PARA UN CONTENIDO DE CEMENTO DE 358.33 KG/M3 - MUESTRA RECICLADA.

DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	AGREGADO GLOBAL	REFERENCIA DE CÁLCULO
Nombre cantera.	LEM FIC-UNI	LEM FIC-UNI	-	
Tamaño máximo nominal (pulg.).		1	1	ANEXO A
Módulo de finura.	3.54	7.21	5.26	ANEXO A
Peso unitario suelto (kg/m ³).	1441.7	1195.27		ANEXO B
Peso unitario compactado (kg/m ³).	1647.82	1331.22		ANEXO B
Peso específico (gr/cm ³).	2.32	2.24		ANEXO B
Contenido de humedad (%).	4.93	4.17		ANEXO B
Porcentaje de absorción (%).	5.56	7.47		ANEXO B
Agregado fino (%).			53.00	GRÁFICO N° 4.2
Agregado grueso (%).			47.00	GRÁFICO N° 4.2

CEMENTO	
Marca.	SOL TIPO I
Peso específico (gr/cm ³).	3.13

AIRE	
Aire atrapado (%).	1.50

TANDA DE DISEÑO	
Peso (kg).	112.00

DISEÑO

RELACIÓN a/c =	
----------------	--

AGUA (lt) =	236
-------------	-----

ASENTAMIENTO(pulg.)	3 a 4
---------------------	-------

MATERIAL	DISEÑO SECO					CORRECCIÓN DEL AGUA (lt)	DISEÑO HUMEDO		
	PESO SECO (kg)	VOLUMEN (m ³)	VOL. ABS. (m ³)	PESO SECO (kg)	D.U.S (en peso)		PESO HUMEDO (kg)	D.U.H (en peso)	TANDA (kg)
Cemento.	358.33	0.1145	0.1145	358.33	1.00		358.33	1.000	18.79
Agua.	236.00	0.2360	0.2360	236.00	0.66		262.96	0.734	13.79
Agregado fino.			0.3363	780.22	2.18	-4.92	818.68	2.285	42.93
Agregado grueso.			0.2982	667.97	1.86	-22.04	695.82	1.942	36.49
Aire.	1.50	0.0150	0.0150						
		0.3655	1.0000	2042.52	5.70	-26.96	2135.79	5.961	112.00

C.4.5 DISEÑO DE MEZCLA PARA UN CONTENIDO DE CEMENTO DE 300.00 KG/M³ - MUESTRA RECICLADA.

DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	AGREGADO GLOBAL	REFERENCIA DE CÁLCULO
Nombre cantera.	LEM FIC-UNI	LEM FIC-UNI	-	
Tamaño máximo nominal (pulg.).		1	1	ANEXO A
Módulo de finura.	3.54	7.21	5.26	ANEXO A
Peso unitario suelto (kg/m ³).	1441.7	1195.27		ANEXO B
Peso unitario compactado (kg/m ³).	1647.82	1331.22		ANEXO B
Peso específico (gr/cm ³).	2.32	2.24		ANEXO B
Contenido de humedad (%).	5.19	4.44		ANEXO B
Porcentaje de absorción (%).	5.56	7.47		ANEXO B
Agregado fino (%).			53.00	GRÁFICO N° 4.2
Agregado grueso (%).			47.00	GRÁFICO N° 4.2

CEMENTO	
Marca.	SOL TIPO I
Peso específico (gr/cm ³).	3.13

AIRE	
Aire atrapado (%).	1.50

TANDA DE DISEÑO	
Peso (kg).	112.00

DISEÑO

RELACIÓN a/c =	
----------------	--

AGUA (lt) =	232
-------------	-----

ASENTAMIENTO(pulg.)	3 a 4
---------------------	-------

MATERIAL	DISEÑO SECO					CORRECCIÓN DEL AGUA (lt)	DISEÑO HUMEDO		
	PESO SECO (kg)	VOLÚMEN (m ³)	VOL. ABS. (m ³)	PESO SECO (kg)	D.U.S (en peso)		PESO HUMEDO (kg)	D.U.H (en peso)	TANDA (kg)
Cemento.	300.00	0.0958	0.0958	300.00	1.00		300.00	1.000	16.79
Agua.	232.00	0.2320	0.2320	232.00	0.77		266.96	0.853	13.47
Agregado fino.			0.3483	808.06	2.69	-2.99	860.00	2.833	44.72
Agregado grueso.			0.3089	691.94	2.31	-20.97	722.66	2.409	38.03
Aire.	1.50	0.0150	0.0150						
		0.3428	1.0000	2032.00	6.77	-23.96	2128.62	7.095	112.01

C.4.6 DISEÑO DE MEZCLA PARA UN CONTENIDO DE CEMENTO DE 260.00 KG/M³ - MUESTRA RECICLADA.

DESCRIPCIÓN	AGREGADO FINO	AGREGADO GRUESO	AGREGADO GLOBAL	REFERENCIA DE CÁLCULO
Nombre cantera.	LEM FIC-UNI	LEM FIC-UNI	-	
Tamaño máximo nominal (pulg.).		1	1	ANEXO A
Módulo de finura.	3.54	7.21	5.26	ANEXO A
Peso unitario sueito (kg/m ³).	1441.7	1195.27		ANEXO B
Peso unitario compactado (kg/m ³).	1647.82	1331.22		ANEXO B
Peso específico (gr/cm ³).	2.32	2.24		ANEXO B
Contenido de humedad (%).	4.48	4.73		ANEXO B
Porcentaje de absorción (%).	5.56	7.47		ANEXO B
Agregado fino (%).			53.00	GRÁFICO N° 4.2
Agregado grueso (%).			47.00	GRÁFICO N° 4.2

CEMENTO	
Marca.	SOL TIPO I
Peso específico (gr/cm ³).	3.13

AIRE	
Aire atrapado (%).	1.50

TANDA DE DISEÑO	
Peso (kg).	112.00

DISEÑO

RELACIÓN a/c =	
----------------	--

AGUA (lt) =	225
-------------	-----

ASENTAMIENTO(pulg.)	3 a 4
---------------------	-------

MATERIAL	DISEÑO SECO					CORRECCIÓN DEL AGUA (lt)	DISEÑO HUMEDO		
	PESO SECO (kg)	VOLUMEN (m ³)	VOL. ABS. (m ³)	PESO SECO (kg)	D.U.S (en peso)		PESO HUMEDO (kg)	D.U.H (en peso)	TANDA (kg)
Cemento.	260.00	0.0831	0.0831	260.00	1.00		260.00	1.000	13.67
Agua.	225.00	0.2250	0.2250	225.00	0.87		253.52	0.975	13.33
Agregado fino.			0.3588	832.42	3.20	-8.99	869.71	3.345	46.74
Agregado grueso.			0.3182	712.77	2.74	-19.53	746.48	2.871	39.26
Aire.	1.50	0.0150	0.0150						
		0.3231	1.0001	2030.19	7.81	-28.52	2129.71	8.191	112.00

ANEXO D
CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO
FRESCO
(Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales – FIC – UNI)

D. CARACTERÍSTICA DEL CONCRETO FRESCO**D.1 CONSISTENCIA (REVENIMIENTO O ASENTAMIENTO).**

Para la determinación del revenimiento del concreto en estado fresco se procedió según los requisitos de equipos, materiales y procedimiento establecido en la NTP 339.035 y la NTP 339.114.

D.1.1 CONSISTENCIA DEL CONCRETO FRESCO – MUESTRA PATRÓN.

CONTENIDO EN CEMENTO (kg/m ³)	VACIADO N°	REVENIMIENTO (pulg)	RANGO DE DISEÑO (pulg)	TOLERANCIA SEGÚN NTP 339.114	ESTADO DE CONSISTENCIA
358.33	1	3¾	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
	2	3¾	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
	3	4	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
	4	4	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
	5	3¾	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
	6	3¾	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
300.00	7	4	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
	8	3¾	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
	9	4	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
	10	3½	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
	11	4	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
	12	3¾	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
260.00	13	3¾	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
	14	3¾	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
	15	4	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
	16	4	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
	17	3¾	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
	18	4	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE

D.1.2 CONSISTENCIA DEL CONCRETO FRESCO – MUESTRA RECICLADA.

CONTENIDO EN CEMENTO (kg/m ³)	VACIADO N°	REVENIMIENTO (pulg)	RANGO DE DISEÑO (pulg)	TOLERANCIA SEGÚN NTP 339.114	ESTADO DE CONSISTENCIA
358.33	19	4	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
	20	3.¾	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
	21	3.¾	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
	22	4	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
	23	3.¾	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
300.00	24	4	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
	25	3.¾	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
	26	4	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
	27	3.¾	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
	28	4	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
260.00	29	4	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
	30	4 1/4	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
	31	4 1/4	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
	32	4 1/4	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE
	33	4	[3 - 4]	+/- 1"	TRABAJABLE

D.2 PESO UNITARIO COMPACTADO DEL CONCRET O FRESCO.

D.2.1 PESO UNITARIO COMPACTADO DEL CONCRETO FRESCO – MUESTRA PATRÓN.

CONTENIDO DE CEMENTO (kg/m ³)	PESO DEL BALDE MAS LA MEZCLA (A) (kg)	PESO DEL BALDE VACIO (B) (kg)	PESO DE LA MEZCLA (C=A-B) (kg)	VOLÚMEN DEL BALDE (1/2 pie ³) (D)	PESO VOLUMÉTRICO DE LA MEZCLA (C/D) (kg/m ³)	PROMEDIO DEL PESO VOLUMÉTRICO (kg/m ³)
358.33	45.74	12.36	33.38	0.014	2384.29	2377.38
	45.48	12.34	33.14	0.014	2367.14	
	45.67	12.34	33.33	0.014	2380.71	
300.00	45.81	12.37	33.44	0.014	2388.57	2366.91
	45.30	12.29	33.01	0.014	2357.86	
	45.26	12.30	32.96	0.014	2354.29	
260.00	45.29	12.32	32.97	0.014	2355.00	2356.19
	45.31	12.29	33.02	0.014	2358.57	
	45.25	12.28	32.97	0.014	2355.00	

D.2.2 PESO UNITARIO COMPACTADO DEL CONCRETO FRESCO – MUESTRA RECICLADA.

CONTENIDO DE CEMENTO (kg/m ³)	PESO DEL BALDE MAS LA MEZCLA (A) (kg)	PESO DEL BALDE VACIO (B) (kg)	PESO DE LA MEZCLA (C=A-B) (kg)	VOLÚMEN DEL BALDE (1/2 pie ³) (D)	PESO VOLUMÉTRICO DE LA MEZCLA (C/D) (kg/m ³)	PROMEDIO DEL PESO VOLUMÉTRICO (kg/m ³)
358.33	42.79	12.29	30.50	0.014	2178.57	2175.95
	42.84	12.30	30.54	0.014	2181.43	
	42.65	12.30	30.35	0.014	2167.86	
300.00	42.80	12.30	30.50	0.014	2178.57	2166.67
	42.67	12.32	30.35	0.014	2167.86	
	42.45	12.30	30.15	0.014	2153.57	
260.00	42.90	12.31	30.59	0.014	2185	2174.29
	42.75	12.30	30.45	0.014	2175	
	42.57	12.29	30.28	0.014	2162.86	

D.3 FLUIDEZ DEL CONCRETO FRESCO.

D.3.1 FLUIDEZ DEL CONCRETO FRESCO – MUESTRA PATRÓN.

RELACION AGUA/CEMENTO	CONTENIDO DE CEMENTO (kg/m ³)	VACIADO N°	DIAMETRO (cm)							FLUIDEZ	PROMEDIO
			D1	D2	D3	D4	D5	D6	DP		
0.60	358.33	2	41	42	41	41	41	42	41.33	65.32%	62.82%
		6	40	40	40	40.5	40	40	40.08	60.32%	
0.70	300.00	10	41	41	42	41	41.5	42	41.42	65.68%	66.50%
		11	41.5	41	42	43	42	41.5	41.83	67.32%	
0.80	260.00	13	43	43	44	44	42	43	43.17	72.68%	73.34%
		16	43	44	43	44	43	44	43.5	74.00%	

D.3.2 FLUIDEZ DEL CONCRETO FRESCO – MUESTRA RECICLADA.

CONTENIDO DE CEMENTO (kg/m ³)	VACIADO N°	DIAMETRO (cm)							FLUIDEZ	PROMEDIO
		D1	D2	D3	D4	D5	D6	DP		
358.33	19	39	38	36	36	38	38	37.5	50.00%	48.50%
	20	37	37	37	36	36.5	37	36.75	47.00%	
300.00	26	38	38	38	37.5	38	37.5	37.83	51.32%	51.66%
	28	38.5	37	38	38	38.5	38	38	52.00%	
260.00	30	39	38.5	38.5	39	38	39	38.67	54.68%	54.34%
	31	39	38	38.5	38	39	38.5	38.50	54.00%	

D.4 EXUDACIÓN DEL CONCRETO FRESCO.

D.4.1 EXUDACIÓN DEL CONCRETO FRESCO CON CONTENIDO DE CEMENTO = 358.33 KG/M³ – MUESTRA PATRÓN.

ÁREA (Área expuesta del concreto en el recipiente metálico) = 490.88 cm²

HORA (hr:min)	TIEMPO (min)		VOLUMEN (cm ³)		AGUA EXUDADA (cm) (C=B/AREA)	VELOCIDAD DE EXUDACIÓN (cm/min) (V=C/A)
	PARCIAL (A)	ACUMULADO	PARCIAL (B)	ACUMULADO		
12:40	0	0	0.0	0.0	0.0000	0.000000
12:50	10	10	0.4	0.4	0.0008	0.000080
13:00	10	20	3.2	3.6	0.0065	0.000650
13:10	10	30	4.2	7.8	0.0086	0.000860
13:20	10	40	5.6	13.4	0.0114	0.001140
13:50	30	70	12.4	25.8	0.0253	0.000843
14:20	30	100	4.4	30.2	0.0090	0.000300
14:50	30	130	0.0	30.2	0.0000	0.000000

D.4.2 EXUDACIÓN DEL CONCRETO FRESCO CON CONTENIDO DE CEMENTO = 300.00 KG/M3 – MUESTRA PATRÓN.

ÁREA (Área expuesta del concreto en el recipiente metálico) = 490.88 cm²

HORA (hr:min)	TIEMPO (min)		VOLUMEN (cm ³)		AGUA EXUDADA (cm) (C=B/AREA)	VELOCIDAD DE EXUDACIÓN (cm/min) (V=C/A)
	PARCIAL (A)	ACUMULADO	PARCIAL (B)	ACUMULADO		
11:00	0	0	0.0	0.0	0.0000	0.000000
11:10	10	10	4.4	4.4	0.0090	0.000900
11:20	10	20	6.0	10.4	0.0122	0.001220
11:30	10	30	7.0	17.4	0.0143	0.001430
11:40	10	40	8.8	26.2	0.0179	0.001790
12:10	30	70	18.6	44.8	0.0379	0.001263
12:40	30	100	10.0	54.8	0.0204	0.000680
13:10	30	130	3.2	58.0	0.0065	0.000217
13:40	30	160	2.1	60.1	0.0043	0.000143
14:10	30	190	0.0	60.1	0.0000	0.000000

D.4.3 EXUDACIÓN DEL CONCRETO FRESCO CON CONTENIDO DE CEMENTO = 260.00 KG/M3 – MUESTRA PATRÓN.

ÁREA (Área expuesta del concreto en el recipiente metálico) = 490.88 cm²

HORA (hr:min)	TIEMPO (min)		VOLUMEN (cm ³)		AGUA EXUDADA (cm) (C=B/AREA)	VELOCIDAD DE EXUDACIÓN (cm/min) (V=C/A)
	PARCIAL (A)	ACUMULADO	PARCIAL (B)	ACUMULADO		
09:14	0	0	0.0	0.0	0.0000	0.000000
09:24	10	10	6.5	6.5	0.0132	0.001320
09:34	10	20	8.6	15.1	0.0175	0.001750
09:44	10	30	11.5	26.6	0.0234	0.002340
09:54	10	40	16.2	42.8	0.0330	0.003300
10:24	30	70	21.6	64.4	0.0440	0.001467
10:54	30	100	7.9	72.3	0.0161	0.000537
11:24	30	130	3.2	75.5	0.0065	0.000217
11:54	30	160	0.2	75.7	0.0004	0.000013
12:04	10	170	0.0	75.7	0.0000	0.000000

D.4.4 EXUDACIÓN DEL CONCRETO FRESCO CON CONTENIDO DE CEMENTO = 358.33 KG/M3 – MUESTRA RECICLADA.

ÁREA (Área expuesta del concreto en el recipiente metálico) = 490.88 cm²

HORA (hr:min)	TIEMPO (min)		VOLUMEN (cm ³)		AGUA EXUDADA (cm) (C=B/AREA)	VELOCIDAD DE EXUDACIÓN (cm/min) (V=C/A)
	PARCIAL (A)	ACUMULADO	PARCIAL (B)	ACUMULADO		
08:45	0	0	0.0	0.0	0.0000	0.000000
08:55	10	10	3.0	3.0	0.0061	0.000610
09:05	10	20	6.0	9.0	0.0122	0.001220
09:15	10	30	7.0	16.0	0.0143	0.001430
09:25	10	40	6.6	22.6	0.0134	0.001340
09:55	30	70	19.8	42.4	0.0403	0.001343
10:25	30	100	9.8	52.2	0.0200	0.000667
10:55	30	130	2.0	54.2	0.0041	0.000137
11:05	10	140	0.0	54.2	0.0000	0.000000

D.4.5 EXUDACIÓN DEL CONCRETO FRESCO CON CONTENIDO DE CEMENTO = 300.00 KG/M3 – MUESTRA RECICLADA.

ÁREA (Área expuesta del concreto en el recipiente metálico) = 490.88 cm²

HORA (hr:min)	TIEMPO (min)		VOLUMEN (cm ³)		AGUA EXUDADA (cm) (C=B/AREA)	VELOCIDAD DE EXUDACIÓN (cm/min) (V=C/A)
	PARCIAL (A)	ACUMULADO	PARCIAL (B)	ACUMULADO		
09:13	0	0	0.0	0.0	0.0000	0.000000
09:23	10	10	5.0	5.0	0.0102	0.001020
09:33	10	20	8.6	13.6	0.0175	0.001750
09:43	10	30	8.8	22.4	0.0179	0.001790
09:53	10	40	6.8	29.2	0.0139	0.001390
10:23	30	70	16.8	46.0	0.0342	0.001140
10:53	30	100	15.2	61.2	0.0310	0.001033
11:23	30	130	7.6	68.8	0.0155	0.000517
11:53	30	160	7.2	76.0	0.0147	0.000490
12:13	20	180	0.4	76.4	0.0008	0.000040
12:23	10	190	0.0	76.4	0.0000	0.000000

D.4.6 EXUDACIÓN DEL CONCRETO FRESCO CON CONTENIDO DE CEMENTO = 260.00 KG/M3 – MUESTRA RECICLADA.

ÁREA (Área expuesta del concreto en el recipiente metálico) = 490.88 cm²

HORA (hr:min)	TIEMPO (min)		VOLUMEN (cm ³)		AGUA EXUDADA (cm) (C=B/AREA)	VELOCIDAD DE EXUDACIÓN (cm/min) (V=C/A)
	PARCIAL (A)	ACUMULADO	PARCIAL (B)	ACUMULADO		
08:40	0	0	0.0	0.0	0.0000	0.000000
08:50	10	10	6.5	6.5	0.0132	0.001320
09:00	10	20	6.7	13.2	0.0136	0.001360
09:10	10	30	8.9	22.1	0.0181	0.001810
09:20	10	40	6.9	29.0	0.0141	0.001410
09:50	30	70	22.1	51.1	0.045	0.001500
10:20	30	100	16.3	67.4	0.0332	0.001107
10:50	30	130	8.5	75.9	0.0173	0.000577
11:20	30	160	6.2	82.1	0.0126	0.000420
11:50	30	190	5.5	87.6	0.0112	0.000373
12:20	30	220	3.4	91.0	0.0069	0.000230
12:30	10	230	0.0	91.0	0.0000	0.000000

D.4.7 EXUDACIÓN DEL CONCRETO FRESCO – MUESTRA PATRÓN.

CONTENIDO DE CEMENTO (kg/m ³)	PESO DE LA MUESTRA + PESO DEL BALDE (kg)	PESO DEL BALDE (kg)	PESO DE LA MUESTRA x 0.911 (kg) (*)	PESOS EN EL DISEÑO (kg)			PESO DEL AGUA EN EL DISEÑO (g)	VOLUMEN DEL AGUA EXTRAIDA (ml)	EXUDACIÓN (%)
				PESO DEL AGUA EN LA TANDA	PESO TOTAL DE LA TANDA	% DE AGUA EN EL DISEÑO			
358.33	45.74	12.36	30.41	10.12	112	0.0904	2750	30.2	1.10
300.00	45.81	12.37	30.46	10.19	112	0.0910	2770	60.1	2.17
260.00	45.29	12.32	30.04	9.46	112	0.0845	2540	75.7	2.98

D.4.8 EXUDACIÓN DEL CONCRETO FRESCO – MUESTRA RECICLADA.

CONTENIDO DE CEMENTO (kg/m ³)	PESO DE LA MUESTRA + PESO DEL BALDE (kg)	PESO DEL BALDE (kg)	PESO DE LA MUESTRA x 0.911 (kg) (*)	PESOS EN EL DISEÑO (kg)			PESO NETO DEL AGUA EN EL DISEÑO (g)	VOLUMEN DEL AGUA EXTRAIDA (ml)	EXUDACIÓN (%)
				PESO DEL AGUA EN LA TANDA	PESO TOTAL DE LA TANDA	% DE AGUA EN EL DISEÑO			
358.33	42.79	12.29	27.79	13.79	112	0.1231	3069.36	54.2	1.77
300.00	42.80	12.30	27.79	13.47	112	0.1203	3027.35	76.4	2.52
260.00	42.90	12.31	27.87	13.33	112	0.119	2946.51	91.0	3.09

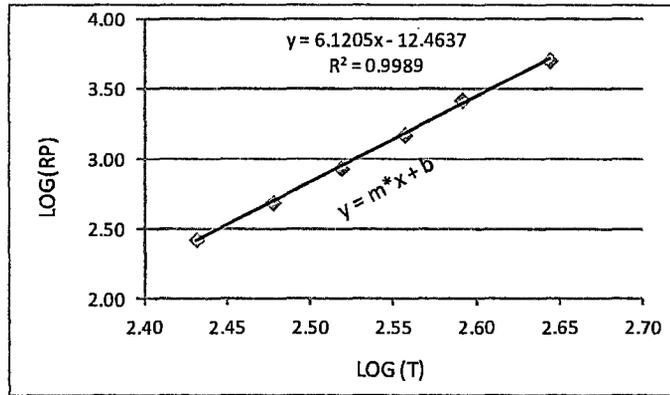
D.5 TIEMPO DE FRAGUA DEL CONCRETO FRESCO.

D.5.1 TIEMPO DE FRAGUA DEL CONCRETO FRESCO CON CONTENIDO DE CEMENTO = 358.33 KG/M3 – MUESTRA PATRÓN.

HORA DE INICIO DEL ENSAYO: 8:35:00 a.m.

HORA (hor:min)	TIEMPO TRANSCURRIDO (T) (min)	DIAMETRO DE LA AGUJA (pulg)	ÁREA DE LA AGUJA (pulg ²)	FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN (RP) (lb/pulg ²)	LOG (T)	LOG (RP)
08:35	0						
13:05	270	1 1/8"	0.9940	265	266.60	2.431364	2.425859
13:35	300	13/16"	0.5185	255	491.80	2.477121	2.691791
14:05	330	9/16"	0.2485	215	865.19	2.518514	2.937112
14:35	360	5/16"	0.0767	115	1499.35	2.556303	3.175902
15:05	390	4/16"	0.0491	130	2647.66	2.591065	3.422862
15:35	440	3/16"	0.0276	140	5072.46	2.643453	3.705219

Realizando un análisis de regresión lineal, para lo cual llevamos a gráfica:



Del gráfico obtenemos: $R^2 = 0.9989$

Por lo tanto la ecuación de la línea tendrá los siguientes parámetros:

$$\left. \begin{array}{l} R = 0.9994 \\ m = 6.1205 \\ b = -12.4637 \end{array} \right\} \text{LOG(RP)} = 6.1205 * \text{LOG(T)} - 12.4637 \dots\dots(1)$$

De la ecuación (1) despejando T obtenemos :

$$T = 10^{\left(\frac{\text{LOG(RP)} + 12.4637}{6.1205} \right)}$$

Evaluando para RP = 500 y RP=4000, tenemos:

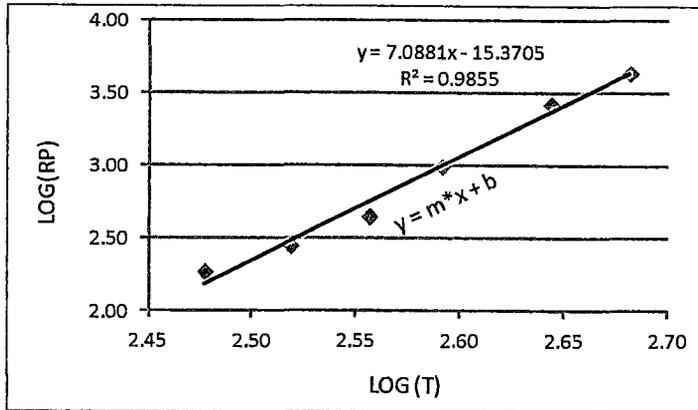
RP	T (min)	T (hor:min:seg)	Observación
500	300.16	05:00:10	Inicio de fragua.
4000	421.61	07:01:37	Fin de fragua.

D.5.2 TIEMPO DE FRAGUA DEL CONCRETO FRESCO CON CONTENIDO DE CEMENTO = 300.00 KG/M3 – MUESTRA PATRÓN.

HORA DE INICIO DEL ENSAYO: 10:08:00 am

HORA (hor:min)	TIEMPO TRANSCURRIDO (T) (min)	DIAMETRO DE LA AGUJA (pulg)	ÁREA DE LA AGUJA (pulg ²)	FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN (RP) (lb/pulg ²)	LOG (T)	LOG (RP)
10:08	0						
15:08	300	1 1/8"	0.9940	185	186.12	2.477121	2.269785
15:38	330	13/16"	0.5185	145	279.65	2.518514	2.446619
16:08	360	9/16"	0.2485	110	442.66	2.556303	2.646066
16:38	390	5/16"	0.0767	75	977.84	2.591065	2.990266
17:28	440	4/16"	0.0491	130	2647.66	2.643453	3.422862
18:08	480	3/16"	0.0276	120	4347.83	2.681241	3.638272

Realizando un análisis de regresión lineal, para lo cual llevamos a gráfica:



Del gráfico obtenemos: $R^2 = 0.9855$

Por lo tanto la ecuación de la línea tendrá los siguientes parámetros:

$$\left. \begin{array}{l} R = 0.9927 \quad 0 \\ m = 7.0881 \\ b = -15.3705 \end{array} \right\} \text{LOG(RP)} = 7.0881 \cdot \text{LOG(T)} - 15.3705 \dots\dots(1)$$

De la ecuación (1) despejando T obtenemos :

$$T = 10^{\left(\frac{\text{LOG(RP)} + 15.3705}{7.0881} \right)}$$

Evaluando para RP = 500 y RP=4000, tenemos:

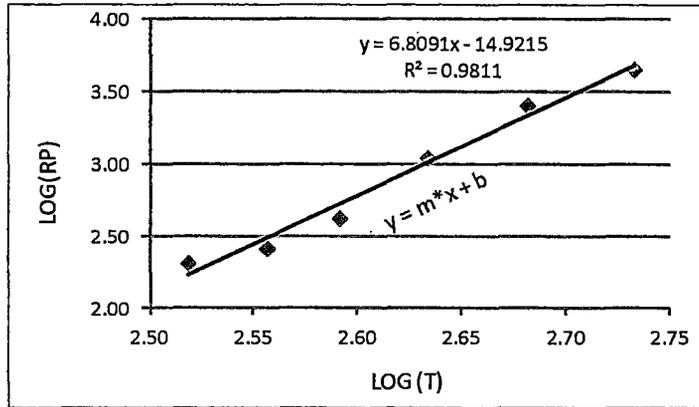
RP	T (min)	T (hor:min:seg)	Observación
500	354.22	05:54:13	Inicio de fragua.
4000	474.98	07:54:59	Fin de fragua.

D.5.3 TIEMPO DE FRAGUA DEL CONCRETO FRESCO CON CONTENIDO DE CEMENTO = 260.00 KG/M3 – MUESTRA PATRÓN.

HORA DE INICIO DEL ENSAYO: 9:58:00 a.m.

HORA (hor:min)	TIEMPO TRANSCURRIDO (T) (min)	DIAMETRO DE LA AGUJA (pulg)	ÁREA DE LA AGUJA (pulg ²)	FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN (RP) (lb/pulg ²)	LOG (T)	LOG (RP)
09:58	0						
15:28	330	1 1/8"	0.9940	205	206.24	2.518514	2.314367
15:58	360	13/16"	0.5185	135	260.37	2.556303	2.415585
16:28	390	9/16"	0.2485	105	422.54	2.591065	2.625863
17:08	430	5/16"	0.0767	85	1108.21	2.633468	3.044624
17:58	480	4/16"	0.0491	125	2545.82	2.681241	3.405829
18:58	540	3/16"	0.0276	125	4528.99	2.732394	3.656001

Realizando un análisis de regresión lineal, para lo cual llevamos a gráfica:



Del gráfico obtenemos: $R^2 = 0.9811$

Por lo tanto la ecuación de la línea tendrá los siguientes parámetros:

$$\left. \begin{array}{l} R = 0.9905 \\ m = 6.8091 \\ b = -14.9215 \end{array} \right\} \text{LOG(RP)} = 6.8091 * \text{LOG(T)} - 14.9215 \dots\dots(1)$$

De la ecuación (1) despejando T obtenemos :

$$T = 10^{\left(\frac{\text{LOG(RP)} + 14.9215}{6.8091} \right)}$$

Evaluando para RP = 500 y RP=4000, tenemos:

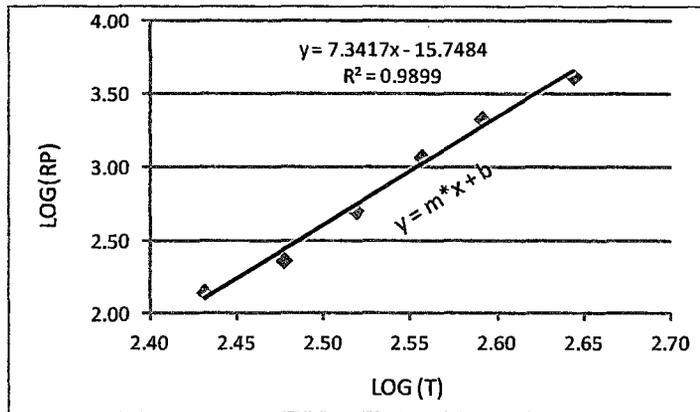
RP	T (min)	T (hor:min:seg)	Observación
500	387.06	06:27:04	Inicio de fragua.
4000	525.31	08:45:19	Fin de fragua.

D.5.4 TIEMPO DE FRAGUA DEL CONCRETO FRESCO CON CONTENIDO DE CEMENTO = 358.330 KG/M3 – MUESTRA RECICLADA.

HORA DE INICIO DEL ENSAYO: 9:50:00 a.m.

HORA (hor:min)	TIEMPO TRANSCURRIDO (T) (min)	DIAMETRO DE LA AGUJA (pulg)	ÁREA DE LA AGUJA (pulg ²)	FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN (RP) (lb/pulg ²)	LOG (T)	LOG (RP)
09:50	0						
14:20	270	1 1/8"	0.9940	140	140.85	2.431364	2.148742
14:50	300	13/16"	0.5185	120	231.44	2.477121	2.364432
15:20	330	9/16"	0.2485	125	503.02	2.518514	2.701584
15:50	360	5/16"	0.0767	90	1173.40	2.556303	3.069447
16:20	390	4/16"	0.0491	105	2138.49	2.591065	3.330108
17:10	440	3/16"	0.0276	115	4166.67	2.643453	3.619789

Realizando un análisis de regresión lineal, para lo cual llevamos a gráfica:



Del gráfico obtenemos: $R^2 = 0.9899$

Por lo tanto la ecuación de la línea tendrá los siguientes parámetros:

$$\left. \begin{array}{l} R = 0.9949 \\ m = 7.3417 \\ b = -15.7484 \end{array} \right\} \text{LOG(RP)} = 7.3417 * \text{LOG(T)} - 15.7484 \dots\dots(1)$$

De la ecuación (1) despejando T obtenemos :

$$T = 10^{\left(\frac{\text{LOG(RP)} + 15.7484}{7.3417} \right)}$$

Evaluando para RP = 500 y RP=4000, tenemos:

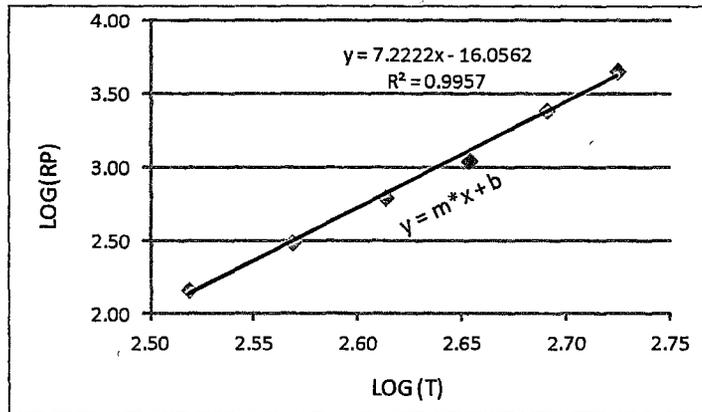
RP	T (min)	T (hor:min:seg)	Observación
500	325.60	05:25:36	Inicio de fragua.
4000	432.21	07:12:12	Fin de fragua.

D.5.5 TIEMPO DE FRAGUA DEL CONCRETO FRESCO CON CONTENIDO DE CEMENTO = 300.00 KG/M3 -- MUESTRA RECICLADA.

HORA DE INICIO DEL ENSAYO: 9:02:00 a.m.

HORA (hor:min)	TIEMPO TRANSCURRIDO (T) (min)	DIAMETRO DE LA AGUJA (pulg)	ÁREA DE LA AGUJA (pulg ²)	FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN (RP) (lb/pulg ²)	LOG (T)	LOG (RP)
09:02	0						
14:32	330	1 1/8"	0.9940	145	145.88	2.518514	2.163982
15:12	370	13/16"	0.5185	160	308.58	2.568202	2.489371
15:52	410	9/16"	0.2485	155	623.74	2.612784	2.795005
16:32	450	5/16"	0.0767	85	1108.21	2.653213	3.044624
17:12	490	4/16"	0.0491	120	2443.99	2.690196	3.388100
18:12	530	3/16"	0.0276	125	4528.99	2.724276	3.656001

Realizando un análisis de regresión lineal, para lo cual llevamos a gráfica:



Del gráfico obtenemos: $R^2 = 0.9957$

Por lo tanto la ecuación de la línea tendrá los siguientes parámetros:

$$\left. \begin{array}{l} R = 0.9978 \\ m = 7.2222 \\ b = -16.0562 \end{array} \right\} \text{LOG(RP)} = 7.2222 * \text{LOG(T)} - 16.0562 \dots\dots(1)$$

De la ecuación (1) despejando T obtenemos :

$$T = 10^{\frac{\text{LOG(RP)} + 16.0562}{7.2222}}$$

Evaluando para RP = 500 y RP=4000, tenemos:

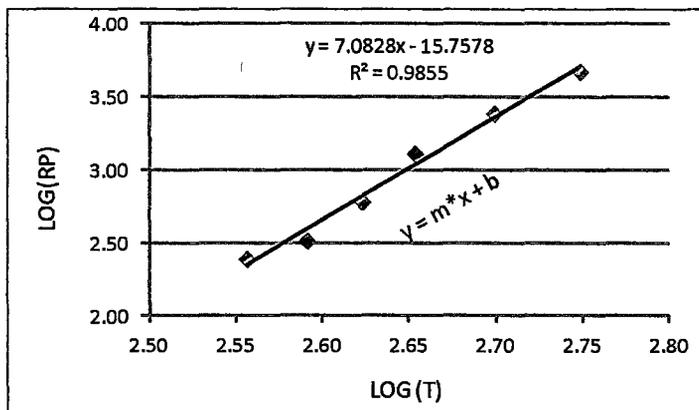
RP	T (min)	T (hor:min:seg)	Observación
500	395.26	06:35:16	Inicio de fragua.
4000	527.13	08:47:08	Fin de fragua.

5.6 TIEMPO DE FRAGUA DEL CONCRETO FRESCO CON CONTENIDO DE CEMENTO = 260.00 KG/M3 – MUESTRA RECICLADA.

HORA DE INICIO DEL ENSAYO: 8:30:00 a.m.

HORA (hor:min)	TIEMPO TRANSCURRIDO (T) (min)	DIAMETRO DE LA AGUJA (pulg)	ÁREA DE LA AGUJA (pulg ²)	FUERZA APLICADA (lb)	RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN (RP) (lb/pulg ²)	LOG (T)	LOG (RP)
08:30	0						
14:30	360	1 1/8"	0.9940	245	246.48	2.556303	2.391780
15:00	390	13/16"	0.5185	170	327.87	2.591065	2.515700
15:30	420	9/16"	0.2485	150	603.62	2.623249	2.780765
16:00	450	5/16"	0.0767	100	1303.78	2.653213	3.115205
16:50	500	4/16"	0.0491	120	2443.99	2.698970	3.388100
17:50	560	3/16"	0.0276	130	4710.14	2.748188	3.673034

Realizando un análisis de regresión lineal, para lo cual llevamos a gráfica:



Del gráfico obtenemos: $R^2 = 0.9855$

Por lo tanto la ecuación de la línea tendrá los siguientes parámetros:

$$\left. \begin{array}{l} R = 0.9927 \\ m = 7.0828 \\ b = -15.7578 \end{array} \right\} \text{LOG(RP)} = 7.0828 * \text{LOG(T)} - 15.7578 \dots\dots(1)$$

De la ecuación (1) despejando T obtenemos :

$$T = 10^{\left(\frac{\text{LOG(RP)} + 15.7578}{7.0828} \right)}$$

Evaluando para RP = 500 y RP=4000, tenemos:

RP	T (min)	T (hor:min:seg)	Observación
500	403.51	06:43:31	Inicio de fragua.
4000	541.21	09:01:13	Fin de fragua.

ANEXO E
CARACTERÍSTICAS DEL CONCRETO
ENDURECIDO

(Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales – FIC – UNI)

E. RESULTADO DE ENSAYOS DEL CONCRETO ENDURECIDO

Con fines de identificación, a los testigos fabricados se les asigno un código:

X-Y

Donde:

X: Numero de vaciado.

Y: Numero de probeta en el vaciado.

El siguiente cuadro muestra la cantidad de testigos fabricados por cada diseño agua/cemento, así como tipo de muestra ya sea patrón o reciclado. En síntesis, se fabrico un total de 214 testigos.

E.1 RELACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE TESTIGOS FABRICADOS.

RELACIÓN DE PROBETAS FABRICADAS													
MUESTRA	RELACIÓN a/c	VACIADO N°	PROBETA N°										PARCIAL
CONCRETO PATRÓN	agua/cemento = 0.60 (Contenido de cemento = 358.33 kg/m ³)	VACIADO N° 1	1	2	3	4	5	6	7	-	-	7	
		VACIADO N° 2	1	2	3	4	-	-	-	-	-	4	
		VACIADO N° 3	1	2	3	4	5	6	7	-	-	7	
		VACIADO N° 4	1	2	3	4	5	6	7	-	-	7	
		VACIADO N° 5	1	2	3	4	5	6	7	-	-	7	
		VACIADO N° 6	1	2	3	4	-	-	-	-	-	4	
	SUB TOTAL =											36	
	agua/cemento = 0.70 (Contenido de cemento = 300.00 kg/m ³)	VACIADO N° 7	1	2	3	4	5	6	7	-	-	7	
		VACIADO N° 8	1	2	3	4	5	6	7	-	-	7	
		VACIADO N° 9	1	2	3	4	5	6	7	-	-	7	
		VACIADO N° 10	1	2	3	4	-	-	-	-	-	4	
		VACIADO N° 11	1	2	3	4	5	-	-	-	-	5	
		VACIADO N° 12	1	2	3	4	5	-	-	-	-	5	
	SUB TOTAL =											35	
	agua/cemento = 0.80 (Contenido de cemento = 260.00 kg/m ³)	VACIADO N° 13	1	2	3	4	5	6	7	-	-	7	
		VACIADO N° 14	1	2	3	4	5	6	7	-	-	7	
		VACIADO N° 15	1	2	3	-	-	-	-	-	-	3	
		VACIADO N° 16	1	2	3	4	5	6	7	-	-	7	
VACIADO N° 17		1	2	3	4	5	6	7	-	-	7		
VACIADO N° 18		1	2	3	4	5	-	-	-	-	5		
SUB TOTAL =											36		
CONCRETO RECICLADO	(Contenido de cemento = 358.33 kg/m ³)	VACIADO N° 19	1	2	3	4	5	6	7	8	-	8	
		VACIADO N° 20	1	2	3	4	5	6	7	8	-	8	
		VACIADO N° 21	1	2	3	4	5	6	7	8	-	8	
		VACIADO N° 22	1	2	3	4	5	6	7	8	-	8	
		VACIADO N° 23	1	2	3	-	-	-	-	-	-	3	
	SUB TOTAL =											35	
	(Contenido de cemento = 300.00 kg/m ³)	VACIADO N° 24	1	2	3	4	5	6	7	-	-	7	
		VACIADO N° 25	1	2	3	4	5	6	7	8	-	8	
		VACIADO N° 26	1	2	3	4	5	6	7	8	-	8	
		VACIADO N° 27	1	2	3	-	-	-	-	-	-	3	
		VACIADO N° 28	1	2	3	4	5	6	7	8	10	10	
	SUB TOTAL =											36	
	(Contenido de cemento = 260.00 kg/m ³)	VACIADO N° 29	1	2	3	4	5	6	7	-	-	7	
		VACIADO N° 30	1	2	3	4	5	6	7	8	-	8	
		VACIADO N° 31	1	2	3	4	5	6	7	8	-	8	
VACIADO N° 32		1	2	3	4	5	6	7	8	-	8		
VACIADO N° 33		1	2	3	4	5	-	-	-	-	5		
SUB TOTAL =											36		

TOTAL PROBETAS FABRICADAS = 214

E.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL.

E.2.1 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL - MUESTRA PATRÓN – CONTENIDO DE CEMENTO = 358.33 KG/M³, PARA UNA EDAD DE ROTURA DE 7 DÍAS.

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
2-1	7	29.90	29.95	29.93	14.85	14.90	14.88	173.90	44000	253.02	257.12
2-2	7	30.10	30.15	30.13	14.95	14.85	14.9	174.37	44800	256.92	
2-3	7	30.10	30.05	30.08	15.10	15.15	15.13	179.79	47000	261.42	

Desv. Estándar de la muestra	Coficiente de variación de la muestra	Máximo Coficiente de variación	Resultado
$\sigma =$ 4.20	C.V = 1.63%	7.80%	OK!

E.2.2 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL - MUESTRA PATRÓN – CONTENIDO DE CEMENTO = 358.33 KG/M3, PARA UNA EDAD DE ROTURA DE 14 DÍAS.

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
1-1	14	30.50	30.40	30.45	15.15	15.10	15.13	179.79	53600	298.13	299.61
1-2	14	30.10	30.00	30.05	15.10	15.15	15.13	179.79	51800	288.11	
1-3	14	30.70	30.50	30.60	15.10	15.15	15.13	179.79	56200	312.59	

Desv. Estándar de la muestra	Coficiente de variación de la muestra	Máximo Coficiente de variación	Resultado
$\sigma =$ 12.31	C.V = 4.11%	7.80%	OK!

**E.2.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL - MUESTRA PATRÓN -
CONTENIDO DE CEMENTO = 358.33 KG/M3, PARA UNA EDAD DE ROTURA
DE 28 DÍAS.**

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
3-1	28	29.95	29.90	29.93	14.90	14.85	14.88	173.90	52300	300.75	313.04
3-2	28	30.00	30.01	30.01	14.90	14.90	14.90	174.37	50500	289.61	
3-3	28	30.25	30.01	30.13	14.95	14.95	14.95	175.54	54300	309.33	
3-5	28	30.05	30.05	30.05	15.00	14.90	14.95	175.54	54600	311.04	
3-6	28	30.05	30.15	30.10	14.95	15.00	14.98	176.24	53000	300.73	
3-7	28	30.70	30.65	30.68	15.10	15.15	15.13	179.79	53600	298.13	
4-1	28	30.00	29.95	29.98	15.00	14.95	14.98	176.24	55000	312.07	
4-2	28	30.00	30.05	30.03	14.90	14.95	14.93	175.07	55200	315.30	
4-3	28	30.00	30.10	30.05	14.90	14.85	14.88	173.90	57300	329.50	
4-4	28	29.90	29.95	29.93	14.90	14.75	14.83	172.73	56500	327.10	
4-5	28	30.10	30.15	30.13	14.75	15.00	14.88	173.90	57400	330.07	
4-6	28	30.05	30.15	30.10	14.85	14.95	14.90	174.37	56700	325.17	
4-7	28	30.70	30.55	30.63	15.05	15.10	15.08	178.60	55400	310.19	
5-1	28	29.95	29.95	29.95	14.90	15.00	14.95	175.54	52200	297.37	
5-2	28	30.30	30.20	30.25	15.15	15.20	15.18	180.98	57400	317.16	
5-3	28	30.05	30.05	30.05	14.95	15.00	14.98	176.24	55000	312.07	
5-4	28	30.80	30.90	30.85	14.90	14.80	14.85	173.20	56000	323.33	
5-5	28	30.25	30.30	30.28	15.20	15.10	15.15	180.27	57400	318.41	
5-6	28	29.95	29.85	29.90	14.90	15.00	14.95	175.54	54500	310.47	
5-7	28	30.00	29.90	29.95	14.90	14.95	14.93	175.07	55200	315.30	
6-4	28	30.30	30.20	30.25	15.00	15.05	15.03	177.42	56900	320.71	

Desv. Estándar de la muestra	Coficiente de variación de la muestra	Máximo Coficiente de variación	Resultado
$\sigma =$ 11.14	C.V= 3.56%	7.80%	OK!

E.2.4 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL - MUESTRA PATRÓN – CONTENIDO DE CEMENTO = 358.33 KG/M3, PARA UNA EDAD DE ROTURA DE 56 DÍAS.

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
11-1	56	30.60	30.60	30.60	15.20	15.25	15.23	182.18	63000	345.81	345.59
11-2	56	29.95	29.85	29.90	15.00	15.15	15.08	178.6	62000	347.14	
11-3	56	30.90	30.90	30.90	15.00	15.05	15.03	177.42	61000	343.82	

Desv. Estándar de la muestra	Coefficiente de variación de la muestra	Máximo Coeficiente de variación	Resultado
$\sigma = 1.67$	C.V = 0.48%	7.80%	OK!

E.2.5 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL - MUESTRA PATRÓN – CONTENIDO DE CEMENTO = 300.00 KG/M³, PARA UNA EDAD DE ROTURA DE 7 DÍAS.

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
11-1	7	30.05	30.10	30.08	14.95	14.95	14.95	175.54	35200	200.52	203.21
11-2	7	30.90	30.85	30.88	15.10	15.00	15.05	177.9	36300	204.05	
11-3	7	30.10	30.15	30.13	14.95	14.90	14.93	175.07	35900	205.06	

Desv. Estándar de la muestra	Coficiente de variación de la muestra	Máximo Coficiente de variación	Resultado
$\sigma =$ 2.38	C.V = 1.17%	7.80%	OK!

E.2.6 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL - MUESTRA PATRÓN – CONTENIDO DE CEMENTO = 300.00 KG/M3, PARA UNA EDAD DE ROTURA DE 14 DÍAS.

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
12-1	14	30.10	30.15	30.13	15.04	15.03	15.04	177.66	40200	226.27	232.45
12-2	14	30.40	30.05	30.23	15.15	15.10	15.13	179.79	44000	244.73	
12-3	14	30.15	30.15	30.15	15.00	15.00	15.00	176.72	40000	226.35	

Desv. Estándar de la muestra	Coficiente de variación de la muestra	Máximo Coficiente de variación	Resultado
$\sigma =$ 10.63	C.V = 4.58%	7.80%	OK!

**E.2.7 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL - MUESTRA PATRÓN -
CONTENIDO DE CEMENTO = 300.00 KG/M3, PARA UNA EDAD DE ROTURA
DE 28 DÍAS.**

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
7-1	28	30.05	30.05	30.05	14.85	14.90	14.88	173.90	45600	262.22	258.37
7-2	28	30.95	30.90	30.93	14.85	14.85	14.85	173.20	42900	247.69	
7-3	28	30.25	30.10	30.18	14.85	14.95	14.90	174.37	44800	256.92	
7-4	28	30.35	30.20	30.28	15.20	15.05	15.13	179.79	47500	264.2	
7-5	28	30.05	30.10	30.08	15.05	15.00	15.03	177.42	46000	259.27	
7-6	28	30.00	30.10	30.05	14.70	15.25	14.98	176.24	44400	251.93	
7-7	28	30.50	30.40	30.45	15.15	15.05	15.10	179.08	48200	269.15	
8-1	28	30.15	30.15	30.15	14.95	15.05	15.00	176.72	45500	257.47	
8-2	28	29.90	29.95	29.93	15.00	15.00	15.00	176.72	45100	255.21	
8-3	28	29.90	29.90	29.90	14.85	14.95	14.90	174.37	44600	255.78	
8-4	28	30.05	30.00	30.03	14.95	15.00	14.98	176.24	45000	255.33	
8-5	28	30.05	30.10	30.08	15.05	15.15	15.10	179.08	46000	256.87	
8-6	28	30.45	30.35	30.40	15.20	15.05	15.13	179.79	47500	264.2	
8-7	28	30.20	30.15	30.18	15.10	15.15	15.13	179.79	46600	259.19	
9-1	28	29.95	30.05	30.00	15.00	14.90	14.95	175.54	45200	257.49	
9-2	28	30.10	30.15	30.13	14.90	14.85	14.88	173.90	44400	255.32	
9-3	28	30.10	30.05	30.08	14.95	14.90	14.93	175.07	45000	257.04	
9-4	28	30.20	30.05	30.13	14.90	14.90	14.90	174.37	44800	256.92	
9-5	28	30.30	30.40	30.35	15.15	15.15	15.15	180.27	47000	260.72	
9-6	28	30.70	30.65	30.68	15.10	15.15	15.13	179.79	48000	266.98	
9-7	28	30.05	30.15	30.10	14.90	15.00	14.95	175.54	44900	255.78	

Desv. Estándar de la muestra	Coefficiente de variación de la muestra	Máximo Coeficiente de variación	Resultado
$\sigma =$ 4.94	C.V= 1.91%	7.80%	OK!

E.2.8 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL - MUESTRA PATRÓN – CONTENIDO DE CEMENTO = 300.00 KG/M³, PARA UNA EDAD DE ROTURA DE 56 DÍAS.

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
11-5	56	30.25	30.35	30.30	15.20	15.25	15.23	182.18	49000	268.96	277.02
12-4	56	30.35	30.32	30.34	15.20	15.30	15.25	182.65	49400	270.46	
12-5	56	29.90	29.95	29.93	14.95	15.00	14.98	176.24	51400	291.65	

Desv. Estándar de la muestra	Coficiente de variación de la muestra	Máximo Coficiente de variación	Resultado
$\sigma =$ 12.69	C.V = 4.58%	7.80%	OK!

E.2.9 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL - MUESTRA PATRÓN – CONTENIDO DE CEMENTO = 260.00 KG/M³, PARA UNA EDAD DE ROTURA DE 7 DÍAS.

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
15-1	7	30.20	30.20	30.20	15.25	15.20	15.23	182.18	29600	162.48	155.22
15-2	7	30.05	30.15	30.10	14.90	14.95	14.93	175.07	25800	147.37	
15-3	7	29.85	30.00	29.93	15.15	15.20	15.18	180.98	28200	155.82	

Desv. Estándar de la muestra	Coficiente de variación de la muestra	Máximo Coficiente de variación	Resultado
$\sigma = 7.57$	C.V = 4.88%	7.80%	OK!

E.2.10 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL - MUESTRA PATRÓN – CONTENIDO DE CEMENTO = 260.00 KG/M3, PARA UNA EDAD DE ROTURA DE 14 DÍAS.

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
13-1	14	30.15	30.20	30.18	14.90	14.85	14.88	173.90	31000	178.26	176.00
13-3	14	30.20	30.25	30.23	14.95	14.95	14.95	175.54	32000	182.29	
13-5	14	30.15	30.00	30.08	14.90	14.90	14.90	174.37	29200	167.46	

Desv. Estándar de la muestra	Coefficiente de variación de la muestra	Máximo Coeficiente de variación	Resultado
$\sigma = 7.67$	C.V = 4.36%	7.80%	OK!

**E.2.11 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL - MUESTRA PATRÓN -
CONTENIDO DE CEMENTO = 260.00 KG/M3, PARA UNA EDAD DE ROTURA
DE 28 DÍAS.**

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
14-1	28	30.00	30.00	30.00	14.92	15.00	14.96	175.77	35000	199.12	202.38
14-2	28	28.80	28.80	28.80	14.88	15.00	14.94	175.30	37300	212.78	
14-4	28	29.90	29.85	29.88	14.90	15.00	14.95	175.54	34900	198.82	
14-5	28	30.09	29.96	30.03	14.90	15.00	14.95	175.54	35700	203.37	
14-7	28	30.40	30.20	30.30	14.96	15.10	15.03	177.42	37900	213.62	
16-1	28	29.97	30.05	30.01	14.90	14.80	14.85	173.20	36200	209.01	
16-2	28	29.85	29.85	29.85	14.90	14.95	14.93	175.07	36800	210.2	
16-3	28	30.15	30.15	30.15	14.90	14.95	14.93	175.07	33600	191.92	
16-4	28	30.20	30.20	30.20	15.10	15.10	15.10	179.08	36500	203.82	
16-6	28	30.25	30.25	30.25	14.90	15.10	15.00	176.72	36700	207.67	
16-7	28	29.90	30.00	29.95	14.95	14.90	14.93	175.07	36000	205.63	
17-1	28	30.20	30.20	30.20	14.98	14.77	14.88	173.90	36900	212.19	
17-2	28	30.95	30.90	30.93	14.80	14.90	14.85	173.20	34500	199.19	
17-3	28	30.20	30.20	30.20	14.90	14.97	14.94	175.30	32300	184.26	
17-4	28	30.20	30.30	30.25	14.94	14.95	14.95	175.54	33200	189.13	
17-5	28	30.05	30.05	30.05	15.08	14.90	14.99	176.48	34000	192.66	
17-6	28	30.18	30.18	30.18	14.90	14.90	14.90	174.37	35000	200.72	
17-7	28	29.90	30.05	29.98	14.95	14.89	14.92	174.84	36500	208.76	

Desv. Estándar de la muestra	Coficiente de variación de la muestra	Máximo Coficiente de variación	Resultado
$\sigma =$ 8.62	C.V= 4.26%	7.80%	OK!

E.2.12 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL - MUESTRA PATRÓN – CONTENIDO DE CEMENTO = 260.00 KG/M3, PARA UNA EDAD DE ROTURA DE 56 DÍAS.

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
18-1	56	30.10	30.10	30.10	14.90	15.00	14.95	175.54	36000	205.08	211.99
18-2	56	30.05	30.00	30.03	14.95	15.00	14.98	176.24	37200	211.08	
18-4	56	30.00	30.00	30.00	15.10	14.95	15.03	177.42	39000	219.82	

Desv. Estándar de la muestra	Coficiente de variación de la muestra	Máximo Coficiente de variación	Resultado
$\sigma =$ 7.41	C.V = 3.50%	7.80%	OK!

E.2.13 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL - MUESTRA RECICLADA – CONTENIDO DE CEMENTO = 358.33 KG/M3, PARA UNA EDAD DE ROTURA DE 7 DÍAS.

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
19-3	7	30.05	30.00	30.03	15.00	14.95	14.98	176.24	38000	215.62	223.44
19-4	7	30.05	30.10	30.08	15.15	15.10	15.13	179.79	41600	231.38	
19-5	7	30.45	30.35	30.40	14.95	14.95	14.95	175.54	39200	223.31	

Desv. Estándar de la muestra	Coficiente de variación de la muestra	Máximo Coficiente de variación	Resultado
$\sigma =$ 7.88	C.V = 3.53%	7.80%	OK!

E.2.14 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL - MUESTRA RECICLADA – CONTENIDO DE CEMENTO = 358.33 KG/M3, PARA UNA EDAD DE ROTURA DE 14 DÍAS.

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
19-6	14	30.10	30.10	30.10	14.90	15.00	14.95	175.54	44300	252.36	256.01
19-7	14	29.85	30.00	29.93	15.00	15.00	15.00	176.72	44300	250.68	
19-8	14	30.10	30.15	30.13	14.95	15.00	14.98	176.24	46700	264.98	

Desv. Estándar de la muestra	Coficiente de variación de la muestra	Máximo Coficiente de variación	Resultado
$\sigma = 7.82$	C.V = 3.05%	7.80%	OK!

**E.2.15 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL - MUESTRA RECICLADA –
CONTENIDO DE CEMENTO = 358.33 KG/M3, PARA UNA EDAD DE ROTURA
DE 28 DÍAS.**

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
20-4	28.00	30.20	30.30	30.25	15.10	14.95	15.03	177.42	45900	258.71	266.52
20-5	28.00	30.20	30.10	30.15	15.10	15.10	15.10	179.08	45300	252.96	
20-7	28.00	30.70	30.50	30.60	15.40	15.20	15.30	183.85	48000	261.08	
20-8	28.00	30.30	30.10	30.20	15.10	15.10	15.10	179.08	49700	277.53	
21-1	28.00	30.10	30.20	30.15	15.20	15.20	15.20	181.46	50000	275.54	
21-2	28.00	30.00	30.00	30.00	15.20	15.20	15.20	181.46	46100	254.05	
21-3	28.00	30.10	30.20	30.15	15.15	15.20	15.18	180.98	48700	269.09	
21-4	28.00	30.70	30.90	30.80	14.85	15.00	14.93	175.07	49300	281.60	
21-5	28.00	29.80	29.80	29.80	14.90	15.00	14.95	175.54	46600	265.47	
21-6	28.00	29.80	29.80	29.80	15.10	15.00	15.05	177.90	45000	252.95	
21-7	28.00	30.20	30.20	30.20	15.20	15.20	15.20	181.46	43500	239.72	
21-8	28.00	30.10	30.20	30.15	15.20	15.15	15.18	180.98	47000	259.70	
22-1	28.00	29.80	29.90	29.85	14.90	15.00	14.95	175.54	50800	289.39	
22-2	28.00	30.20	30.20	30.20	15.00	15.00	15.00	176.72	46000	260.30	
22-3	28.00	30.60	30.50	30.55	15.10	15.10	15.10	179.08	50000	279.20	
22-4	28.00	30.20	30.20	30.20	15.00	15.00	15.00	176.72	46000	260.30	
22-5	28.00	30.40	30.40	30.40	15.25	15.30	15.28	183.37	51000	278.13	
22-6	28.00	30.10	30.20	30.15	15.10	15.00	15.05	177.90	46700	262.51	
22-7	28.00	30.30	30.40	30.35	15.00	14.95	14.98	176.24	47500	269.52	
22-8	28.00	30.10	30.00	30.05	15.00	15.10	15.05	177.90	50300	282.74	

Desv. Estándar de la muestra	Coefficiente de variación de la muestra	Máximo Coeficiente de variación	Resultado
$\sigma = 12.57$	C.V = 4.72%	7.80%	OK!

E.2.16 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL - MUESTRA RECICLADA – CONTENIDO DE CEMENTO = 358.33 KG/M3, PARA UNA EDAD DE ROTURA DE 56 DÍAS.

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
19-2	56	30.15	30.10	30.13	15.05	15.10	15.08	178.60	52000	291.15	276.32
23-2	56	30.20	30.10	30.15	14.95	15.00	14.98	176.24	47300	268.38	
23-3	56	30.45	30.45	30.45	15.00	15.05	15.03	177.42	47800	269.42	

Desv. Estándar de la muestra	Coficiente de variación de la muestra	Máximo Coficiente de variación	Resultado
$\sigma =$ 12.86	C.V = 4.65%	7.80%	OK!

E.2.17 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL - MUESTRA RECICLADA – CONTENIDO DE CEMENTO = 300.00 KG/M3, PARA UNA EDAD DE ROTURA DE 7 DÍAS.

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
24-1	7	30.05	29.95	30.00	15.05	14.95	15.00	176.72	36200	204.84	197.72
24-2	7	30.00	30.25	30.13	14.95	15.00	14.98	176.24	34000	192.92	
24-4	7	29.90	29.95	29.93	15.25	15.20	15.23	182.18	35600	195.41	

Desv. Estándar de la muestra	Coefficiente de variación de la muestra	Máximo Coeficiente de variación	Resultado
$\sigma = 6.29$	C.V = 3.18%	7.80%	OK!

E.2.18 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL - MUESTRA RECICLADA – CONTENIDO DE CEMENTO = 300.00 KG/M3, PARA UNA EDAD DE ROTURA DE 14 DÍAS.

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
24-3	14	30.10	30.05	30.08	15.00	14.95	14.98	176.24	37600	213.35	213.73
24-5	14	29.95	30.10	30.03	15.00	14.90	14.95	175.54	37600	214.20	
24-6	14	30.10	30.05	30.08	14.95	14.90	14.93	175.07	37400	213.63	

Desv. Estándar de la muestra	Coefficiente de variación de la muestra	Máximo Coeficiente de variación	Resultado
$\sigma = 0.43$	C.V = 0.20%	7.80%	OK!

**E.2.19 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL - MUESTRA RECICLADA –
CONTENIDO DE CEMENTO = 300.00 KG/M3, PARA UNA EDAD DE ROTURA
DE 28 DÍAS.**

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
24-7	28	30.50	30.40	30.45	15.25	15.20	15.23	182.18	46300	254.14	238.05
25-2	28	28.80	28.95	28.88	15.00	15.00	15.00	176.72	43000	243.32	
25-3	28	30.65	30.80	30.73	15.00	14.80	14.90	174.37	42000	240.87	
25-4	28	29.95	29.95	29.95	14.90	15.00	14.95	175.54	41400	235.84	
25-6	28	29.90	29.95	29.93	14.90	14.90	14.90	174.37	45000	258.07	
26-1	28	30.35	30.45	30.40	15.10	15.10	15.10	179.08	45000	251.28	
26-3	28	30.05	29.95	30.00	15.00	14.90	14.95	175.54	43800	249.52	
26-4	28	29.95	29.95	29.95	14.90	14.90	14.90	174.37	43200	247.75	
26-5	28	30.10	29.80	29.95	14.90	14.90	14.90	174.37	42000	240.87	
26-6	28	30.10	29.90	30.00	14.90	15.10	15.00	176.72	44000	248.98	
26-7	28	30.00	29.95	29.98	15.00	15.00	15.00	176.72	43000	243.32	
26-8	28	30.20	30.10	30.15	15.00	15.00	15.00	176.72	40400	228.61	
27-1	28	30.20	30.20	30.20	14.95	15.00	14.98	176.24	40400	229.23	
27-2	28	30.70	30.85	30.78	15.20	15.20	15.20	181.46	39200	216.03	
27-3	28	30.00	30.25	30.13	15.10	15.10	15.10	179.08	39600	221.13	
28-1	28	30.90	31.00	30.95	15.00	14.90	14.95	175.54	40000	227.87	
28-2	28	30.25	30.20	30.23	15.20	15.15	15.18	180.98	44300	244.78	
28-3	28	30.15	30.35	30.25	15.20	15.20	15.20	181.46	41000	225.95	
28-4	28	30.35	30.40	30.38	15.10	15.25	15.18	180.98	40100	221.57	
28-5	28	30.20	30.40	30.30	15.15	15.15	15.15	180.27	41800	231.87	

Desv. Estándar de la muestra	Coefficiente de variación de la muestra	Máximo Coeficiente de variación	Resultado
$\sigma = 12.14$	C.V= 5.10%	7.80%	OK!

E.2.20 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL - MUESTRA RECICLADA – CONTENIDO DE CEMENTO = 300.00 KG/M3, PARA UNA EDAD DE ROTURA DE 56 DÍAS.

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
28-8	56	30.10	30.10	30.10	15.00	14.90	14.95	175.54	43000	244.96	248.83
28-9	56	29.90	29.90	29.90	14.85	15.00	14.93	175.07	43200	246.76	
28-10	56	29.90	30.10	30.00	15.00	15.05	15.03	177.42	45200	254.76	

Desv. Estándar de la muestra	Coefficiente de variación de la muestra	Máximo Coeficiente de variación	Resultado
$\sigma = 5.22$	C.V = 2.10%	7.80%	OK!

E.2.21 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL - MUESTRA RECICLADA – CONTENIDO DE CEMENTO = 260.00 KG/M3, PARA UNA EDAD DE ROTURA DE 7 DÍAS.

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
29-1	7	30.60	30.45	30.53	15.05	15.15	15.10	179.08	29100	162.50	154.34
29-2	7	30.00	30.10	30.05	15.10	15.10	15.10	179.08	26500	147.98	
29-3	7	30.20	30.20	30.20	15.15	15.15	15.15	180.27	27500	152.55	

Desv. Estándar de la muestra	Coficiente de variación de la muestra	Máximo Coficiente de variación	Resultado
$\sigma = 7.42$	C.V = 4.81%	7.80%	OK!

E.2.22 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL - MUESTRA RECICLADA – CONTENIDO DE CEMENTO = 260.00 KG/M3, PARA UNA EDAD DE ROTURA DE 14 DÍAS.

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
29-5	14	29.80	29.80	29.80	15.10	15.05	15.08	178.60	30900	173.01	173.80
29-6	14	30.20	30.15	30.18	15.15	15.15	15.15	180.27	31400	174.18	
29-7	14	30.10	30.15	30.13	15.10	15.10	15.10	179.08	31200	174.22	

Desv. Estándar de la muestra	Coefficiente de variación de la muestra	Máximo Coeficiente de variación	Resultado
$\sigma = 0.69$	C.V = 0.40%	7.80%	OK!

**E.2.23 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL - MUESTRA RECICLADA –
CONTENIDO DE CEMENTO = 260.00 KG/M3, PARA UNA EDAD DE ROTURA
DE 28 DÍAS.**

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
30-1	28	30.05	30.10	30.08	14.85	15.05	14.95	175.54	33000	187.99	196.02
30-2	28	30.10	30.20	30.15	14.95	14.95	14.95	175.54	33600	191.41	
30-3	28	30.35	30.45	30.40	15.30	15.25	15.28	183.37	32800	178.87	
30-4	28	30.60	30.45	30.53	15.10	15.05	15.08	178.60	32300	180.85	
30-5	28	30.10	29.95	30.03	15.00	15.00	15.00	176.72	36500	206.54	
30-6	28	29.95	30.15	30.05	14.90	15.00	14.95	175.54	37200	211.92	
30-7	28	30.60	30.70	30.65	15.20	15.15	15.18	180.98	39300	217.15	
30-8	28	30.15	30.05	30.10	15.00	15.05	15.03	177.42	36700	206.85	
31-2	28	30.05	30.06	30.06	15.00	14.85	14.93	175.07	34000	194.21	
31-3	28	30.50	30.50	30.50	15.15	15.25	15.20	181.46	36300	200.04	
31-4	28	30.15	30.25	30.20	15.20	15.15	15.18	180.98	36400	201.13	
31-6	28	30.00	30.00	30.00	15.00	15.00	15.00	176.72	34000	192.39	
32-1	28	29.90	30.10	30.00	15.00	15.00	15.00	176.72	35700	202.01	
32-2	28	30.00	30.10	30.05	14.95	15.05	15.00	176.72	34200	193.53	
32-3	28	30.15	30.25	30.20	15.00	15.00	15.00	176.72	34600	195.79	
32-4	28	30.20	30.05	30.13	14.95	15.00	14.98	176.24	35000	198.59	
32-5	28	30.55	30.35	30.45	15.30	15.10	15.20	181.46	32800	180.76	
32-6	28	30.20	30.20	30.20	14.90	15.00	14.95	175.54	33000	187.99	
32-7	28	30.15	30.15	30.15	15.00	14.75	14.88	173.90	33300	191.49	
32-8	28	30.10	30.10	30.10	14.75	14.90	14.83	172.73	34700	200.89	

Desv. Estándar de la muestra	Coficiente de variación de la muestra	Máximo Coeficiente de variación	Resultado
$\sigma = 10.22$	C.V = 5.22%	7.80%	OK!

E.2.24 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AXIAL - MUESTRA RECICLADA – CONTENIDO DE CEMENTO = 260.00 KG/M3, PARA UNA EDAD DE ROTURA DE 56 DÍAS.

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	Dp (cm)	ÁREA (cm ²)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
33-2	56	30.50	30.45	30.48	15.15	15.30	15.23	182.18	36200	198.7	198.88
33-4	56	30.50	30.50	30.50	15.30	15.15	15.23	182.18	36000	197.61	
33-5	56	30.60	30.40	30.50	15.22	15.20	15.21	181.7	36400	200.33	

Desv. Estándar de la muestra	Coefficiente de variación de la muestra	Máximo Coeficiente de variación	Resultado
$\sigma = 1.37$	C.V = 0.69%	7.80%	OK!

E.3 RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DIAMETRAL.

E.3.1 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL - MUESTRA PATRÓN – CONTENIDO DE CEMENTO = 358.33 KG/M3, PARA UNA EDAD DE ROTURA DE 28 DÍAS.

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	Dp (cm)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
6-4	28	30.85	30.90	30.85	30.84	30.86	14.95	14.98	14.99	15.00	14.98	20950	28.85	29.99
6-5	28	30.00	29.95	29.90	29.90	29.94	15.00	15.00	15.00	15.00	15.00	20750	29.41	
6-6	28	30.15	30.15	30.20	30.20	30.18	15.20	15.20	15.20	15.20	15.20	22850	31.71	

Desv. Estándar de la muestra	Coefficiente de variación de la muestra	Máximo Coeficiente de variación	Resultado
$\sigma = 1.52$	C.V = 5.05%	7.80%	OK!

E.3.2 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL - MUESTRA PATRÓN – CONTENIDO DE CEMENTO = 300.00 KG/M3, PARA UNA EDAD DE ROTURA DE 28 DÍAS.

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	Dp (cm)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
10-1	28.00	30.00	30.00	28.88	29.00	29.47	14.95	15.00	15.00	15.00	14.99	20450.00	29.47	29.48
10-2	28.00	30.84	30.82	30.90	30.85	30.85	14.60	14.70	14.80	14.80	14.73	21750.00	30.47	
10-3	28.00	30.15	30.10	30.05	30.05	30.09	14.80	14.85	14.85	14.85	14.84	20000.00	28.51	

Desv. Estándar de la muestra	Coficiente de variación de la muestra	Máximo Coficiente de variación	Resultado
$\sigma = 0.98$	C.V= 3.32%	7.80%	OK!

E.3.3 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL - MUESTRA PATRÓN – CONTENIDO DE CEMENTO = 260.00 KG/M3, PARA UNA EDAD DE ROTURA DE 28 DÍAS.

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	Dp (cm)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
13-4	28	29.85	29.80	29.70	29.70	29.76	14.92	14.93	14.94	14.94	14.93	17900	25.65	24.73
13-6	28	29.85	29.90	30.00	30.10	29.96	14.95	14.95	14.94	15.00	14.96	17700	25.14	
13-7	28	30.70	30.60	30.70	30.80	30.70	14.88	14.89	14.90	14.90	14.89	16800	23.40	

Desv. Estándar de la muestra	Coficiente de variación de la muestra	Máximo Coficiente de variación	Resultado
$\sigma = 1.18$	C.V = 4.77%	7.80%	OK!

E.3.4 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL - MUESTRA RECICLADA – CONTENIDO DE CEMENTO = 358.33 KG/M3, PARA UNA EDAD DE ROTURA DE 28 DÍAS.

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	Dp (cm)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
20-1	28	29.80	29.70	29.60	29.70	29.70	14.95	15.00	15.00	15.00	14.99	18800	26.88	26.78
20-2	28	29.85	29.90	29.90	29.95	29.90	14.90	14.90	14.90	14.90	14.90	18200	26.01	
20-3	28	30.10	30.15	30.10	30.10	30.11	15.10	15.10	15.10	15.10	15.10	19600	27.44	

Desv. Estándar de la muestra	Coficiente de variación de la muestra	Máximo Coficiente de variación	Resultado
$\sigma = 0.72$	C.V = 2.69%	7.80%	OK!

E.3.5 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL - MUESTRA RECICLADA – CONTENIDO DE CEMENTO = 300.00 KG/M3, PARA UNA EDAD DE ROTURA DE 28 DÍAS

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	Dp (cm)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
25-1	28	30.10	30.10	30.20	30.15	30.14	15.00	15.20	15.30	15.40	15.23	18400	25.52	25.58
25-5	28	30.40	30.40	30.35	30.30	30.36	15.10	15.15	15.15	15.15	15.14	18600	25.76	
25-8	28	30.20	30.10	30.10	30.10	30.13	14.89	14.95	14.95	14.95	14.94	18000	25.46	

Desv. Estándar de la muestra	Coficiente de variación de la muestra	Máximo Coficiente de variación	Resultado
$\sigma = 0.16$	C.V= 0.62%	7.80%	OK!

E.3.6 RESISTENCIA A LA TRACCIÓN POR COMPRESIÓN DIAMETRAL - MUESTRA RECICLADA – CONTENIDO DE CEMENTO = 260.00 KG/M3, PARA UNA EDAD DE ROTURA DE 28 DÍAS.

CÓDIGO DE LA PROBETA	EDAD DE ROTURA (Días)	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)	Hp (cm)	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	D4 (cm)	Dp (cm)	CARGA (kg)	f _c (kg/cm ²)	f _{cp} (kg/cm ²)
31-1	28	30.50	30.50	30.40	30.40	30.45	15.18	15.20	15.21	15.20	15.20	17000	23.38	22.71
31-7	28	30.10	30.10	30.00	30.00	30.05	14.91	14.95	14.97	14.95	14.95	16000	22.67	
31-8	28	30.50	30.50	30.55	30.45	30.50	15.11	15.13	15.12	15.11	15.12	16000	22.09	

Desv. Estándar de la muestra	Coeficiente de variación de la muestra	Máximo Coeficiente de variación	Resultado
$\sigma =$ 0.65	C.V= 2.84%	7.80%	OK!

E.4 ABSORCIÓN.

E.4.1 ABSORCIÓN - MUESTRA PATRÓN – CONTENIDO DE CEMENTO = 358.33 KG/M3.

CÓDIGO DE LA PROBETA	PESO SECO (gr) A	PESO SUPERFICIALMENTE SECO (gr) B	PESO APARENTE (gr) C	DENSIDAD SECA (gr/cm ³) A/(A-C)	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%) (B-A)x100%/A	PROMEDIO
6-1	12757.00	13586.00	7972.50	2.67	6.50%	6.49%
6-2	12147.00	12930.00	7606.00	2.67	6.45%	
6-3	12498.00	13312.50	7823.50	2.67	6.52%	

E.4.2 ABSORCIÓN - MUESTRA PATRÓN – CONTENIDO DE CEMENTO = 300.00 KG/M3.

CÓDIGO DE LA PROBETA	PESO SECO (gr) A	PESO SUPERFICIALMENTE SECO (gr) B	PESO APARENTE (gr) C	DENSIDAD SECA (gr/cm ³) A/(A-C)	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%) (B-A)x100%/A	PROMEDIO
11-4	12269.00	13018.00	7632.00	2.65	6.10%	6.43%
11-5	12575.00	13423.50	7853.00	2.66	6.75%	
12-4	12666.00	13483.50	7896.50	2.66	6.45%	

E.4.3 ABSORCIÓN - MUESTRA PATRÓN – CONTENIDO DE CEMENTO = 260.00 KG/M3.

CÓDIGO DE LA PROBETA	PESO SECO (gr) A	PESO SUPERFICIALMENTE SECO (gr) B	PESO APARENTE (gr) C	DENSIDAD SECA (gr/cm3) $A/(A-C)$	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%) $(B-A) \times 100\% / A$	PROMEDIO
18-2	12221.00	13036.00	7613.50	2.65	6.67%	6.58%
18-3	12326.00	13130.00	7705.50	2.67	6.52%	
18-4	12144.00	12938.00	7572.50	2.66	6.54%	

E.4.4 ABSORCIÓN - MUESTRA RECICLADA – CONTENIDO DE CEMENTO = 358.33 KG/M3.

CÓDIGO DE LA PROBETA	PESO SECO (gr) A	PESO SUPERFICIALMENTE SECO (gr) B	PESO APARENTE (gr) C	DENSIDAD SECA (gr/cm ³) A/(A-C)	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%) (B-A)x100%/A	PROMEDIO
20-6	10945.00	12168.50	6619.00	2.53	11.18%	11.09%
19-2	10805.00	12006.00	6644.50	2.60	11.12%	
23-2	11040.00	12251.50	6856.00	2.64	10.97%	

E.4.5 ABSORCIÓN - MUESTRA RECICLADA – CONTENIDO DE CEMENTO = 300.00 KG/M3.

CÓDIGO DE LA PROBETA	PESO SECO (gr) A	PESO SUPERFICIALMENTE SECO (gr) B	PESO APARENTE (gr) C	DENSIDAD SECA (gr/cm ³) A/(A-C)	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%) (B-A)x100%/A	PROMEDIO
28-6	11140.00	12345.00	6812.50	2.57	10.82%	10.97%
28-8	10844.00	12014.00	6660.00	2.59	10.79%	
28-9	10693.00	11900.00	6589.50	2.61	11.29%	

E.4.6 ABSORCIÓN - MUESTRA RECICLADA – CONTENIDO DE CEMENTO = 260.00 KG/M3.

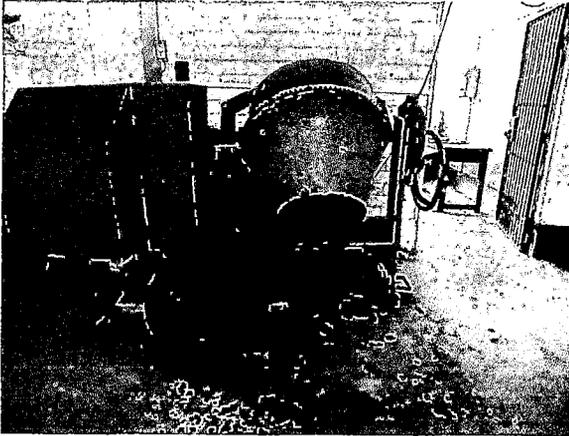
CÓDIGO DE LA PROBETA	PESO SECO (gr) A	PESO SUPERFICIALMENTE SECO (gr) B	PESO APARENTE (gr) C	DENSIDAD SECA (gr/cm3) $A/(A-C)$	PORCENTAJE DE ABSORCIÓN (%) $(B-A) \times 100\% / A$	PROMEDIO
29-4	11172.00	12381.50	6840.50	2.58	10.83%	10.57%
33-2	11394.00	12599.50	7014.00	2.60	10.58%	
33-4	11531.00	12717.00	7083.50	2.59	10.29%	

ANEXO F

TOMAS FOTOGRÁFICAS

(Laboratorio N°1 Ensayo de Materiales – FIC – UNI)

MEZCLADORA DE CONCRETO.



Mezcladora de 9 pie³
usado para realizar
las mezclas.

AGREGADO GRUESO RECICLADO.



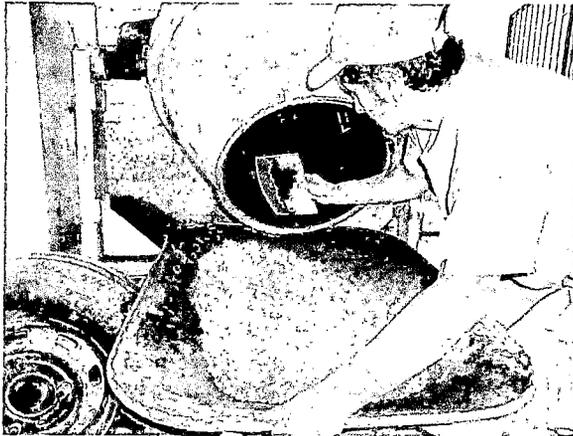
Muestra del
agregado reciclado
grueso usado en la
mezcla.

AGREGADO GRUESO RECICLADO.



Tipo del agregado
grueso reciclado.

PROCESO DE MEZCLA DEL CONCRETO.



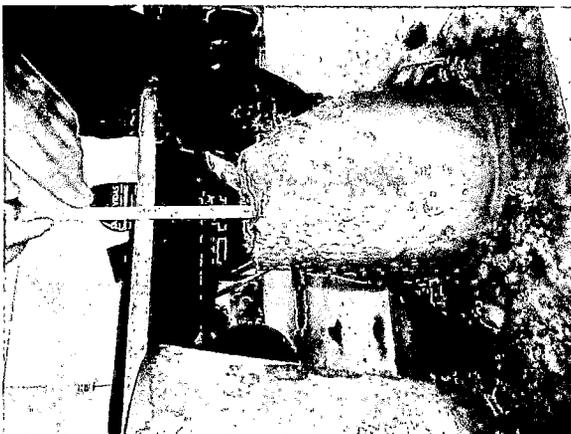
Mezcla del concreto patrón.

PROCESO DE COMPACTACION.

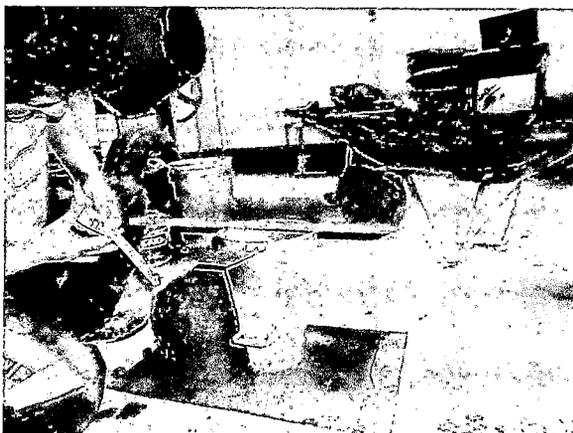


Compactación de la mezcla para la medición del asentamiento del concreto.

MEDICIÓN DEL ASENTAMIENTO.



Medición del asentamiento del concreto fresco de la muestra patrón para $a/c=0.60$



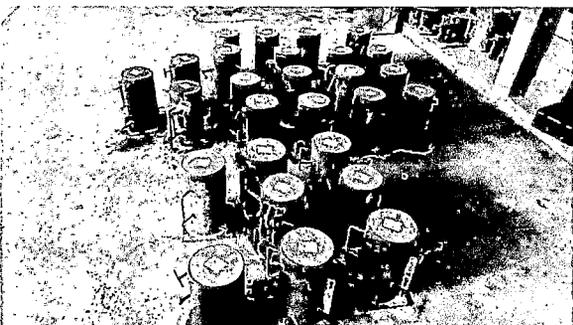
Medición del
asentamiento del
concreto fresco de la
muestra reciclada
para $a/c=0.65$

USO DE COMPUTADORA.



Uso de computadora
durante los ensayos.

TESTIGOS FABRICADOS.



Testigos fabricados
de la muestra
reciclada. Relación
 $a/c=0.66$



Testigos fabricados
de la muestra
reciclada. Relación
 $a/c=0.87$

ENSAYO DE EXUDACIÓN DEL CONCRETO



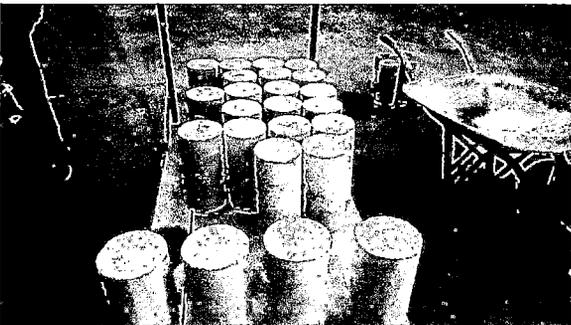
Extracción de agua durante el ensayo de exudación de la mezcla de concreto, muestra reciclada. Relación a/c = 0.66

ENSAYO DE FRAGUA DEL CONCRETO



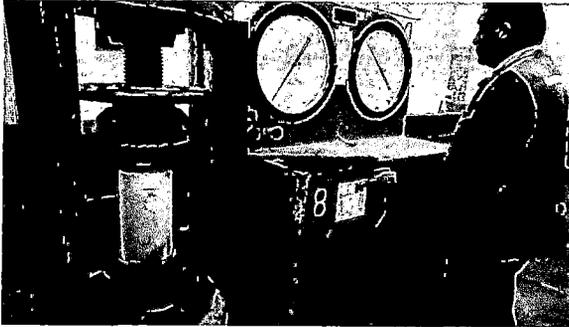
Ensayo de tiempo de fragua de concreto fresco, muestra reciclada. Relación a/c = 0.66

TESTIGOS DE CONCRETO PARA ENSAYOS.

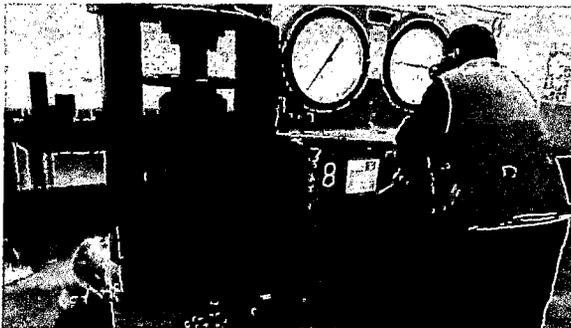


Testigos de concreto muestra patrón para el ensayo de compresión axial

ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL.

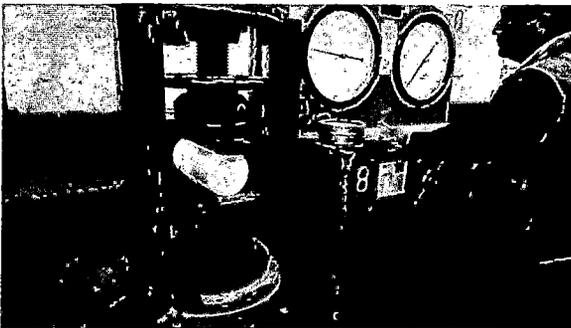


Ensayos de
compresión axial de
muestra patrón.
Relación $a/c=0.60$



Ensayos de
compresión axial de
la muestra patrón.
Relación $a/c=0.60$

ENSAYO DE COMPRESIÓN DIAMETRAL.



Ensayos de
compresión diametral
de muestra reciclada.

ANEXO G
CONDICIONES AMBIENTALES

