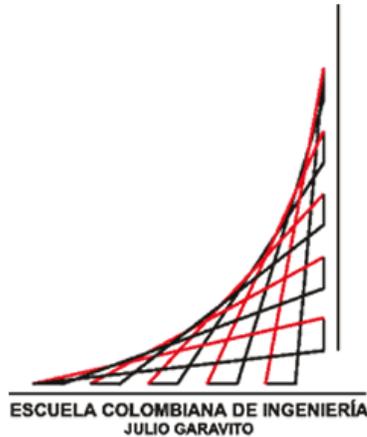


Propiedades mecánicas, eléctricas y de durabilidad de concretos con agregados reciclados.



Ing. Jorge Alejandro Laverde Laverde

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Facultad de Ingeniería Civil
Bogotá D.C, Colombia
2014

Propiedades mecánicas, eléctricas y de durabilidad de concretos con agregados reciclados.

Jorge Alejandro Laverde Laverde

Ingeniero Civil

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magister en Ingeniería Civil con énfasis en estructuras

Directora:

Nancy Torres Castellanos M.Sc.

Ingeniera Civil

Línea de investigación:

Tecnología del concreto

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito

Facultad de Ingeniería Civil

Bogotá D.C, Colombia

2014

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado **“PROPIEDADES MECÁNICAS, ELÉCTRICAS Y DE DURABILIDAD DE CONCRETOS CON AGREGADOS RECICLADOS”**, presentado por Jorge Alejandro Laverde Laverde, en cumplimiento del requisito parcial para optar al título de Maestría en Ingeniería Civil, con énfasis en Estructuras, fue aprobado por el director del proyecto dirigido y por el jurado correspondiente.

Ing. Nancy Torres Castellanos

M.Sc.

Directora de trabajo de grado

Ing. Pedro Nel Quiroga Saavedra

Ph.D

Jurado

Ing. José Gabriel Gómez Cortes

M.Sc.

Jurado

Agradecimientos

- A mi directora de tesis, Ingeniera Nancy Torres Castellanos MSc, por su apoyo en conocimientos y apoyo con el personal del laboratorio durante la ejecución del trabajo de grado.
- Al señor Capitán de Navío Jaime Velandia Mora por facilitarme el tiempo para desarrollar el programa de maestría y sus consejos para el desarrollo del proyecto de grado.
- A todos los profesores de la Maestría en Ingeniería Civil con Énfasis en Estructuras de la Escuela Colombiana de Ingeniería.
- A todos los integrantes del Laboratorio de Estructuras de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

Resumen

El presente trabajo de grado de maestría de profundización en ingeniería Civil, con énfasis en estructuras, tuvo como finalidad evaluar el comportamiento del concreto con reemplazo de agregado grueso por agregados de concreto reciclado (ACR); dicho comportamiento se evaluó mediante la valoración de algunas de las propiedades eléctricas, mecánicas y de durabilidad de las mezclas hechas con este material. El ACR usado en las diferentes mezclas de los ensayos, fue producido a partir de la trituración de probetas de concreto las cuales habían sido ensayadas en el laboratorio de la Escuela Colombiana de Ingeniería.

Se evaluaron 8 diferentes mezclas con cuatro contenidos diferentes de agregados reciclado (0%, 25%, 50% y 100%) y dos valores de relación agua/cemento (0,5 y 0,6).

Dentro de las propiedades analizadas están la resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, resistividad, impedancia, velocidad de pulso ultrasónico, permeabilidad al ion cloruro, carbonatación y sortividad.

Los resultados de los ensayos indicaron claramente que en las mezclas con mayor porcentaje de agregado reciclado, los resultados del módulo de elasticidad y la resistencia a la compresión son más bajos que para concretos con agregado natural. La resistencia a la compresión de un concreto con 100% de ACR tiene una reducción estimada del 20% al 25%, con respecto a un concreto convencional. Paralelamente las propiedades eléctricas y de durabilidad medida mediante ensayos de resistividad, impedancia, sortividad y permeabilidad al ion cloruro, se ven afectadas con el aumento del porcentaje de agregado reciclado y la relación agua/cemento.

Palabras clave: Agregados reciclados, resistencia a la compresión, propiedades mecánicas, durabilidad, permeabilidad al ion cloruro.

Abstract

This work of Civil Engineering Master, investigates the behavior of Recycled Aggregate Concrete with Recycled Concrete Aggregates (RCA), through the measure of some electrical, mechanical and durability properties of this material. The recycled aggregates used were obtained from crushing of concrete specimens which had been tested in the laboratory of Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

The replacement levels of RCA were 0%, 25%, 50% y 100%, in eight separate mixtures, using two different water/cement (w/c) ratios (0,5 y 0,6).

The properties tested were the compressive strength, modulus of elasticity, resistivity, impedance spectrometry, ultrasonic pulse velocity, electrical indication of concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, Carbonation, and the Measurement of rate of absorption.

The test results clearly indicate that modulus of elasticity and the compressive strength of recycled concrete aggregate decreased with the increase of the amount of aggregates in the mixture. The compressive strength for a 100% RCA mixture was reduced by 20% - 25%.

Furthermore it was confirmed that electrical properties and durability as resistivity, impedance, electrical indication of concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, Carbonation, and the Measurement of rate of absorption, are significantly affected by both amount of RCA and water/cement (w/c) ratio.

Keywords: Recycled aggregates, compressive strength, electrical, mechanics and durability properties.

Contenido

Resumen	V
Abstract.....	VI
Lista de figuras.....	1
Lista de tablas.....	6
Introducción	10
1. Objetivos.....	13
1.1 Objetivo General	13
1.2 Objetivos específicos	13
2. Estado del arte.....	14
2.1 Generalidades de los agregados de concreto reciclado	14
2.1.1 Producción de ACR procedente de materiales de demolición.	15
2.1.2 Producción de ACR procedente de concreto sobrante.....	17
2.1.3 Logística de producción de ACR.	18
2.2 Propiedades de los agregados de concreto reciclado.....	18
2.2.1 Propiedades físicas.....	18
2.2.2 Propiedades químicas.	20
2.3 Concretos con agregado de concreto reciclado.....	20
2.3.1 Propiedades del concreto con ACR en estado plástico.....	20
2.3.2 Propiedades del concreto con ACR en estado endurecido.....	21
• Resistencia a la compresión	21
• Módulo de elasticidad.....	22

• Durabilidad.....	23
2.4 Regulaciones y especificaciones para el uso de ACR a nivel mundial.....	24
2.5 Propiedades eléctricas del concreto.....	28
2.5.1 Microestructura del concreto.....	28
• Poros de gel.....	29
• Poros capilares.....	29
• Iones en el agua del concreto.....	29
2.5.2 Propiedades conductoras del concreto.....	30
• Ensayos de ultrasonido.....	30
• Resistividad.....	32
• Espectrometría de impedancia.....	35
2.6 Investigaciones recientes realizadas en Colombia.....	37
3 Programa experimental.....	40
3.1 Caracterización de los materiales de las mezclas.....	41
3.2 Diseño de mezclas para ensayos.....	43
3.3 Elaboración de mezclas para ensayos.....	45
3.4 Ensayos sobre especímenes elaborados con las mezclas de concreto.....	46
3.4.1 Ensayos de resistencia a la compresión y módulo de elasticidad.....	46
3.4.2 Ensayos de módulo de elasticidad.....	47
3.4.3 Ensayos de velocidad de pulso ultrasónico.....	47
3.4.4 Ensayos de permeabilidad al ion cloruro.....	48
3.4.5 Ensayos de carbonatación.....	49
3.4.6 Ensayos de sortividad.....	50
3.4.7 Ensayos resistividad e impedancia.....	50
4 Resultados y análisis.....	55
4.1 Propiedades mecánicas del concreto con ACR.....	55
4.1.1 Resistencia a la compresión.....	55
4.1.2 Módulo de elasticidad.....	59
4.1.3 Velocidad de pulso ultrasónico.....	62
4.2 Propiedades de durabilidad del concreto con ACR.....	64
4.2.1 Permeabilidad al ion cloruro.....	64

4.2.2	Sortividad	67
4.2.3	Carbonatación	71
4.3	Propiedades eléctricas del concreto con ACR.....	72
4.3.1	Resistividad	72
4.3.2	Impedancia.....	74
4.4	Correlaciones.....	76
4.4.1	f'_c vs velocidad de pulso ultrasónico	76
4.4.2	Permeabilidad al ion cloruro vs resistividad.	77
4.4.3	Permeabilidad al ion cloruro vs resistencia a la compresión.....	79
4.4.4	Permeabilidad al ion cloruro vs velocidad de pulso ultrasónico.....	79
4.4.5	Resistividad vs Resistencia a la compresión.....	80
5	Conclusiones y recomendaciones	82
A.	Anexo 1: Diseños de mezcla objeto de la investigación	85
B.	Anexo 2: Datos de resultados de ensayos de resistencia a la compresión	87
C.	Anexo 3: Datos de resultados de ensayos de módulo de elasticidad	90
D.	Anexo 4: Datos de resultados de ensayos de velocidad de pulso ultrasónico	93
E.	Anexo 5: Datos de resultados de ensayos de permeabilidad al ion cloruro.....	96
F.	Anexo 6: Datos de resultados de ensayos de carbonatación	145
G.	Anexo 7: Datos de resultados de ensayos de sortividad	151
H.	Anexo 8: Datos de resultados de ensayos de resistividad	152
I.	Anexo 9: Resultados de ensayos de espectrometría de impedancias	154
	Bibliografía	160

Lista de figuras

Figura 0-1: Reciclaje de RCD en UE, España año 2009, fuente GERD.	11
Figura 2-1: Planta de reciclaje de concreto. Noticreto Edición 108.....	15
Figura 2-2: Proceso de reciclaje del concreto. Noticreto Edición 108	16
Figura 2-3: Evolución de la resistividad eléctrica en función del tiempo. (R Corral Higuera, et al, 2011)	35
Figura 2-4: Diagrama de Nyquist para sistemas acero-concreto a diferentes edades: a) 3 meses, b) 6 meses, c) 9 meses y d) 12 meses.	36
Figura 3-1: Trituradora de la Escuela Colombiana de Ingeniería "Julio Garavito"	40
Figura 3-2: Agregado de concreto reciclado usado en los ensayos	40
Figura 3-3: Curado de especímenes de concreto.....	41
Figura 3-4: Combinación de agregados para mezcla ACR3-50 según metodología de Fuller y Thompson	43
Figura 3-5: Probetas obtenidas para la mezcla AN5-0 (0%ACR - A/C=0,6)	46
Figura 3-6: Ensayo de asentamiento en la mezcla AN5-0.....	46
Figura 3-7: Prensa hidráulica para ensayos de resistencia a la compresión.....	47
Figura 3-8: Ensayo de módulo de elasticidad sobre la mezcla ACR6-25.....	47
Figura 3-9: Ensayo de velocidad de pulso ultrasónico	48
Figura 3-10: Montaje de ensayo de permeabilidad al ion cloruro.....	48
Figura 3-11: Cilindros de concreto de 75mm x 150 mm en cámara de carbonatación	49
Figura 3-12: Fotografía ensayo de carbonatación sobre espécimen de la muestra ACR2-25. ...	49
Figura 3-13: Montaje del ensayo de sortividad	50
Figura 3-14: Montaje de ensayo de resistividad según norma UNE 83988-1.....	51
Figura 3-15: Esquema de medida de la resistividad por el método directo	51
Figura 3-16: Montaje del ensayo de espectrometría de impedancias	52
Figura 3-17: Ondas de voltaje y de corriente generadas por el osciloscopio	53
Figura 4-1: Gráfico comparativo de resultados de resistencia a la compresión para las mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100. (Relación A/C=0,5)	55
Figura 4-2: Gráfico comparativo de resultados de resistencia a la compresión para las mezclas AN5-0, ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100. (Relación A/C=0,6)	56

Figura 4-3: Resistencia a la compresión vs tiempo. Mezcla AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100.....	57
Figura 4-4: Resistencia a la compresión. Mezcla AN5-0 a la ACR8-100.	58
Figura 4-5: Influencia del contenido de ACR sobre el módulo elástico del concreto (A/C=0,5). 60	
Figura 4-6: Influencia del contenido de ACR, sobre el módulo elástico del concreto(A/C=0,6). 61	
Figura 4-7: Gráfico comparativo de la velocidad de pulso ultrasónico para las mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100. (A/C= 0,5).	63
Figura 4-8: Gráfico comparativo de la velocidad de pulso ultrasónico para las mezclas AN-5, ACR6-25, ACR7-50 Y ACR8-100. (A/C=0,6)	64
Figura 4-9: Resistencia a la penetración al ion cloruro. (R Corral Higuera, et al, 2011).	65
Figura 4-10: Gráfico comparativo en el ensayo de permeabilidad al ion cloruro para las mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100. A/C=0,5	65
Figura 4-11: Gráfico comparativo de ensayo de permeabilidad al ion cloruro para las mezclas AN5-0, ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100. A/C=0,6	66
Figura 4-12: Tasa de absorción inicial para la mezcla AN1-0. Edad 28 días.....	67
Figura 4-13: Tasa de absorción secundaria para la mezcla ACR4-100. Edad 28 días.....	68
Figura 4-14: Índice inicial de absorción para las mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100 (A/C=0,5)	69
Figura 4-15: Índice secundario de absorción para las mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100 (A/C=0,5)	69
Figura 4-16: Índice inicial de absorción para las mezclas AN5-0, ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100 (A/C=0,6).	70
Figura 4-17: Índice secundario de absorción para las mezclas AN5-0, ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100.....	70
Figura 4-18: Evolución de la resistividad eléctrica en función del tiempo	72
Figura 4-19: Gráfico comparativo de coeficientes de resistividad para las mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100. A/C=0,5	73
Figura 4-20: Gráfico comparativo de coeficiente de resistividad para las mezclas AN5-0, ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100. A/C=0,6	73
Figura 4-21: Gráfico de Nyquist para mezcla AN1-0. Edad 28 días.....	74
Figura 4-22: Gráfico de Nyquist para la mezcla ACR2-25. Edad 28 días	75
Figura 4-23: Gráfico de Nyquist para la mezcla ACR3-50. Edad 28 días	75
Figura 4-24: Gráfico de Nyquist para mezcla ACR4-100. Edad 28 días	75
Figura 4-25: Correlación f'_c vs velocidad de pulso ultrasónico para la mezcla ACR2-25 (A/C=0,5)	76
Figura 4-26: Correlación de f'_c vs velocidad de pulso ultrasónico para la mezcla ACR8-100 (A/C=0,6)	77
Figura 4-27: Relación entre la permeabilidad al ion cloruro vs resistividad. Mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100	78
Figura 4-28: Relación entre la permeabilidad al ion cloruro vs resistividad. Mezclas AN5-0, ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100. (A/C=0,6)	78

Figura 4-29: Relación entre la permeabilidad al ion cloruro vs resistencia a la compresión. Mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100. (A/C=0,5)	79
Figura 4-30: Relación entre la permeabilidad al ion cloruro vs Velocidad de pulso ultrasónico. Mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100. (A/C=0,5)	80
Figura 4-31: Relación entre la Resistividad vs Resistencia a la compresión. Mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100.	81
Figura E-1: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla AN1-0, espécimen 1 a edad de 28 días.	96
Figura E-2: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla AN1-0, espécimen 2 a edad de 28 días.	97
Figura E-3: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla AN1-0, espécimen 3 a edad de 28 días.	98
Figura E-4: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla AN1-0, espécimen 1 a edad de 90 días.	99
Figura E-5: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla AN1-0, espécimen 2 a edad de 90 días.	100
Figura E-6: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla AN1-0, espécimen 3 a edad de 90 días.	101
Figura E-7: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR2-25, espécimen 1 a edad de 28 días.	102
Figura E-8: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR2-25, espécimen 2 a edad de 28 días.	103
Figura E-9: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR2-25, espécimen 3 a edad de 28 días.	104
Figura E-10: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR2-25, espécimen 1 a edad de 90 días.	105
Figura E-11: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR2-25, espécimen 2 a edad de 90 días.	106
Figura E-12: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR2-25, espécimen 3 a edad de 90 días.	107
Figura E-13: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR3-50, espécimen 1 a edad de 28 días.	108
Figura E-14: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR3-50, espécimen 2 a edad de 28 días.	109
Figura E-15: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR3-50, espécimen 3 a edad de 28 días.	110
Figura E-16: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR3-50, espécimen 1 a edad de 90 días.	111
Figura E-17: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR3-50, espécimen 2 a edad de 90 días.	112
Figura E-18: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR3-50, espécimen 3 a edad de 90 días.	113

Figura E-19: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR4-100, espécimen 1 a edad de 28 días.	114
Figura E-20: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR4-100, espécimen 2 a edad de 28 días.	115
Figura E-21: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR4-100, espécimen 3 a edad de 28 días.	116
Figura E-22: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR4-100, espécimen 1 a edad de 90 días.	117
Figura E-23: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR4-100, espécimen 1 a edad de 90 días.	118
Figura E-24: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR4-100, espécimen 3 a edad de 90 días.	119
Figura E-25: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla AN5-0, espécimen 1 a edad de 28 días.	120
Figura E-26: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla AN5-0, espécimen 2 a edad de 28 días.	121
Figura E-27: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla AN5-0, espécimen 3 a edad de 28 días.	122
Figura E-28: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla AN5-0, espécimen 1 a edad de 90 días.	123
Figura E-29: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla AN5-0, espécimen 2 a edad de 90 días.	124
Figura E-30: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla AN5-0, espécimen 3 a edad de 90 días.	125
Figura E-31: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR6-25, espécimen 1 a edad de 28 días.	126
Figura E-32: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR6-25, espécimen 2 a edad de 28 días.	127
Figura E-33: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR6-25, espécimen 3 a edad de 28 días.	128
Figura E-34: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR6-25, espécimen 1 a edad de 90 días.	129
Figura E-35: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR6-25, espécimen 2 a edad de 90 días.	130
Figura E-36: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR6-25, espécimen 3 a edad de 90 días.	131
Figura E-37: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR7-50, espécimen 1 a edad de 28 días.	132
Figura E-38: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR7-50, espécimen 2 a edad de 28 días.	133
Figura E-39: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR7-50, espécimen 1 a edad de 90 días.	134

Figura E-40: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR7-50, espécimen 2 a edad de 90 días.	135
Figura E-41: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR7-50, espécimen 3 a edad de 90 días.	136
Figura E-42: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR8-100, espécimen 1 a edad de 28 días.	137
Figura E-43: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR8-100, espécimen 2 a edad de 28 días.	138
Figura E-44: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR8-100, espécimen 3 a edad de 28 días.	139
Figura E-45: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR8-100, espécimen 1 a edad de 90 días.	140
Figura E-46: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR8-100, espécimen 2 a edad de 90 días.	141
Figura E-47: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR8-100, espécimen 3 a edad de 90 días.	142
Figura I-1: Gráfico de Nyquist para la mezcla AN1-0 a la edad de 28 días.....	154
Figura I-1: Gráfico de Nyquist para la mezcla AN1-0 a la edad de 90 días.....	154
Figura I-1: Gráfico de Nyquist para la mezcla ACR2-25 a la edad de 28 días.....	154
Figura I-1: Gráfico de Nyquist para la mezcla ACR2-25 a la edad de 90 días.....	155
Figura I-1: Gráfico de Nyquist para la mezcla ACR3-50 a la edad de 28 días.....	155
Figura I-1: Gráfico de Nyquist para la mezcla ACR3-50 a la edad de 90 días.....	155
Figura I-1: Gráfico de Nyquist para la mezcla ACR4-100 a la edad de 28 días.....	156
Figura I-1: Gráfico de Nyquist para la mezcla ACR4-100 a la edad de 90 días.....	156
Figura I-1: Gráfico de Nyquist para la mezcla AN5-0 a la edad de 28 días.....	156
Figura I-1: Gráfico de Nyquist para la mezcla AN5-0 a la edad de 90 días.....	157
Figura I-1: Gráfico de Nyquist para la mezcla ACR6-25 a la edad de 28 días.....	157
Figura I-1: Gráfico de Nyquist para la mezcla ACR6-25 a la edad de 90 días.....	157
Figura I-1: Gráfico de Nyquist para la mezcla ACR7-50 a la edad de 28 días.....	158
Figura I-1: Gráfico de Nyquist para la mezcla ACR7-50 a la edad de 90 días.....	158
Figura I-1: Gráfico de Nyquist para la mezcla ACR8-100 a la edad de 28 días.....	158
Figura I-1: Gráfico de Nyquist para la mezcla ACR8-100 a la edad de 90 días.....	159

Lista de tablas

Tabla 2-1: BS 8500-2:2006: Requisitos para agregado de concreto reciclado (ACR) y agregado reciclado grueso (AR) (% por peso)	25
Tabla 2-2: (HB 155:2002) Requerimientos físicos para agregado de concreto reciclado	26
Tabla 2-3: (HB 155:2002) Composición requerida para agregados de concreto reciclado	26
Tabla 2-4: Resumen de requisitos de concreto con agregado reciclado en diferentes países... 27	
Tabla 2-5: Criterios de aceptación de agregado reciclado para diferentes países	28
Tabla 2-6: Relación entre la velocidad longitudinal y la calidad del hormigón. (Tobío 1967). ... 31	
Tabla 2-7: Resultados de velocidad de pulso ultrasónico a edades de 28 días. (AlKhaleefi & Almutairi, 2007)	31
Tabla 2-8: Criterio general de valores de resistividad eléctrica del concreto para riesgo de corrosión	34
Tabla 3-1: Resistencia a la abrasión de los ACR usados en los ensayos.....	42
Tabla 3-2: Mezclas usadas en la investigación.....	44
Tabla 3-3: Diseño de mezcla AN1-0 (0%ACR - A/C=0,5).....	44
Tabla 3-4: Diseño de mezcla ACR2-25 (25% ACR - A/C=0.5)	45
Tabla 3-5: Diseño de mezcla AN5-0 (0%ACR- A/C=0,6).....	45
Tabla 3-6: Diseño de mezcla ACR6-25 (25%ACR - A/C=0,6).....	45
Tabla 3-7: Tabulación de datos para el ensayo de espectrometría de impedancias.....	53
Tabla 4-1: Porcentaje de reducción de f'_c para las mezclas ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100 a la edad de 28 días con respecto a la mezcla patrón.....	56
Tabla 4-2: Porcentaje de reducción de f'_c para las mezclas ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100 a la edad de 90 días con respecto a la mezcla patrón.....	57
Tabla 4-3: Porcentaje de reducción del módulo de elasticidad para las mezclas ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100 a la edad de 28 días	60
Tabla 4-4: Porcentaje de reducción del módulo de elasticidad para las mezclas ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100 a la edad de 90 días	60
Tabla 4-5: Porcentaje de reducción del módulo de elasticidad para las mezclas ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100 a la edad de 28 días	61
Tabla 4-6: Porcentaje de reducción del módulo de elasticidad para las mezclas ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100 a la edad de 90 días	61
Tabla 4-7: Permeabilidad al ion cloruro basado en la carga transmitida	67

Tabla 4-8: Profundidad de carbonatación inicial y final en mm	71
Tabla 4-9: Constante de carbonatación acelerada (Kc)	71
Tabla 4-10: Criterio general de valores de resistividad eléctrica del concreto.....	74
Tabla A-1: Diseño de mezcla ACR3-50 (50%ACR - A/C=0,5).....	85
Tabla A-2: Diseño de mezcla ACR4-100 (100%ACR - A/C=0,5).....	85
Tabla A-3: Diseño de mezcla ACR7-50 (50%ACR - A/C=0,6).....	85
Tabla A-4: Diseño de mezcla ACR8-100 (100%ACR - A/C=0,6).....	86
Tabla B-1: Resultados de ensayos de resistencia a la compresión para cilindros de la mezcla AN1-0	87
Tabla B-2: Resultados de ensayos de resistencia a la compresión para cilindros de la mezcla ACR2-25.....	87
Tabla B-3: Resultados de ensayos de resistencia a la compresión para cilindros de la mezcla ACR3-50.....	87
Tabla B-4: Resultados de ensayos de resistencia a la compresión para cilindros de la mezcla ACR4-100.....	88
Tabla B-5: Resultados de ensayos de resistencia a la compresión para cilindros de la mezcla AN5-0	88
Tabla B-6: Resultados de ensayos de resistencia a la compresión para cilindros de la mezcla ACR6-25.....	88
Tabla B-7: Resultados de ensayos de resistencia a la compresión para cilindros de la mezcla ACR7-50.....	89
Tabla B-8: Resultados de ensayos de resistencia a la compresión para cilindros de la mezcla ACR8-100.....	89
Tabla C-1: Resultados de ensayos de módulo de elasticidad para cilindros de la mezcla AN1-0.	90
Tabla C-2: Resultados de ensayos de módulo de elasticidad para cilindros de la mezcla ACR2-25.....	90
Tabla C-3: Resultados de ensayos de módulo de elasticidad para cilindros de la mezcla ACR3-50.....	90
Tabla C-4: Resultados de ensayos de módulo de elasticidad para cilindros de la mezcla ACR4-100.	91
Tabla C-5: Resultados de ensayos de módulo de elasticidad para cilindros de la mezcla AN5-0.	91
Tabla C-6: Resultados de ensayos de módulo de elasticidad para cilindros de la mezcla ACR6-25.....	91
Tabla C-7: Resultados de ensayos de módulo de elasticidad para cilindros de la mezcla ACR7-50.....	92
Tabla C-8: Resultados de ensayos de módulo de elasticidad para cilindros de la mezcla ACR8-100.	92
Tabla D-1: Resultados de ensayos de VPS para la mezcla AN1-0 a edades de 3,7,28 y 90 días. 93	
Tabla D-2: Resultados de ensayos de VPS para la mezcla ACR2-25 a edades de 3,7,28 y 90 días.	93

Tabla D-3: Resultados de ensayos de VPS para la mezcla ACR3-50 a edades de 3,7,28 y 90 días.	93
Tabla D-4: Resultados de ensayos de VPS para la mezcla ACR4-100 a edades de 3,7,28 y 90 días.	94
Tabla D-5: Resultados de ensayos de VPS para la mezcla AN5-0-100 a edades de 3,7,28 y 90 días.	94
Tabla D-6: Resultados de ensayos de VPS para la mezcla ACR6-25 a edades de 3,7,28 y 90 días.	94
Tabla D-7: Resultados de ensayos de VPS para la mezcla ACR7-50 a edades de 3,7,28 y 90 días.	94
Tabla D-8: Resultados de ensayos de VPS para la mezcla ACR8-100 a edades de 3,7,28 y 90 días.	95
Tabla E-1: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla AN1-0, a edades de 28 días y 90 días.	143
Tabla E-2: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR2-25, a edades de 28 días y 90 días.	143
Tabla E-3: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR3-50, a edades de 28 días y 90 días.	143
Tabla E-4: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR4-100, a edades de 28 días y 90 días.	143
Tabla E-5: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla AN5-0, a edades de 28 días y 90 días.	144
Tabla E-6: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR6-25, a edades de 28 días y 90 días.	144
Tabla E-7: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR7-50, a edades de 28 días y 90 días.	144
Tabla E-8: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR8-100, a edades de 28 días y 90 días.	144
Tabla F-1: Resultados de ensayos de carbonatación para la mezcla AN1-0 con edad de curado de 28 días y 5 semanas en la cámara de carbonatación.	145
Tabla F-2: Resultados de ensayos de carbonatación para la mezcla AN1-0 con edad de curado de 28 días y 15 semanas en la cámara de carbonatación.	145
Tabla F-3: Resultados de ensayos de carbonatación para la mezcla ACR2-25 con edad de curado de 28 días y 5 semanas en la cámara de carbonatación.	146
Tabla F-4: Resultados de ensayos de carbonatación para la mezcla ACR2-25 con edad de curado de 28 días y 15 semanas en la cámara de carbonatación.	146
Tabla F-5: Resultados de ensayos de carbonatación para la mezcla ACR3-50 con edad de curado de 28 días y 5 semanas en la cámara de carbonatación.	147
Tabla F-6: Resultados de ensayos de carbonatación para la mezcla ACR3-50 con edad de curado de 28 días y 15 semanas en la cámara de carbonatación.	147
Tabla F-7: Resultados de ensayos de carbonatación para la mezcla ACR4-100 con edad de curado de 28 días y 5 semanas en la cámara de carbonatación.	147

Tabla F-8: Resultados de ensayos de carbonatación para la mezcla ACR4-100 con edad de curado de 28 días y 15 semanas en la cámara de carbonatación.....	148
Tabla F-9: Resultados de ensayos de carbonatación para la mezcla AN5-0 con edad de curado de 28 días y 5 semanas en la cámara de carbonatación.....	148
Tabla F-10: Resultados de ensayos de carbonatación para la mezcla AN5-0 con edad de curado de 28 días y 15 semanas en la cámara de carbonatación.....	148
Tabla F-11: Resultados de ensayos de carbonatación para la mezcla ACR6-25 con edad de curado de 28 días y 5 semanas en la cámara de carbonatación.....	149
Tabla F-12: Resultados de ensayos de carbonatación para la mezcla ACR6-25 con edad de curado de 28 días y 15 semanas en la cámara de carbonatación.....	149
Tabla F-13: Resultados de ensayos de carbonatación para la mezcla ACR7-50 con edad de curado de 28 días y 5 semanas en la cámara de carbonatación.....	149
Tabla F-14: Resultados de ensayos de carbonatación para la mezcla ACR7-50 con edad de curado de 28 días y 15 semanas en la cámara de carbonatación.....	150
Tabla F-15: Resultados de ensayos de carbonatación para la mezcla ACR8-100 con edad de curado de 28 días y 5 semanas en la cámara de carbonatación.....	150
Tabla F-16: Resultados de ensayos de carbonatación para la mezcla ACR8-100 con edad de curado de 28 días y 15 semanas en la cámara de carbonatación.....	150
Tabla G-1: Resultados de ensayos de sortividad para la mezcla AN1-0 a edad de 28 días	151
Tabla G-2: Resultados de ensayos de sortividad para la mezcla AN1-0 a edad de 90 días	151
Tabla H-1: Coeficientes de resistividad para la mezcla AN1-0 a edades de 28 y 90 días.....	152
Tabla H-2: Coeficientes de resistividad para la mezcla ACR2-25 a edades de 28 y 90 días.....	152
Tabla H-3: Coeficientes de resistividad para la mezcla ACR3-50 a edades de 28 y 90 días.....	152
Tabla H-4: Coeficientes de resistividad para la mezcla ACR4-100 a edades de 28 y 90 días....	152
Tabla H-5: Coeficientes de resistividad para la mezcla AN5-0 a edades de 28 y 90 días.....	153
Tabla H-6: Coeficientes de resistividad para la mezcla ACR6-25 a edades de 28 y 90 días.....	153
Tabla H-7: Coeficientes de resistividad para la mezcla ACR7-50 a edades de 28 y 90 días.....	153
Tabla H-8: Coeficientes de resistividad para la mezcla ACR8-100 a edades de 28 y 90 días....	153

Introducción

En la ciudad de Bogotá anualmente se genera un volumen estimado de 12.000.000 m³ de escombros, por parte del sector público y el sector privado (COAMBIENTE S.A, 2009). Al realizar proyecciones para un horizonte de 12 años según estudios de la Unidad administrativa especial de servicios públicos, a una tasa de crecimiento del 4%, el estimado de escombros a generarse en Bogotá es de 215 millones de m³ en el horizonte de proyección mencionado.

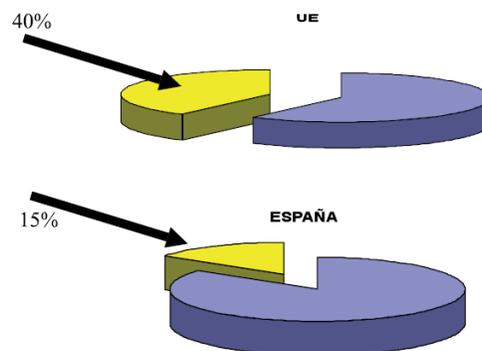
Teniendo en cuenta que en la ciudad no existe un manejo integral de escombros y que la capacidad instalada para recepción de escombros es limitada, el Distrito viene desarrollando una propuesta para la gestión integral de los residuos derivados de la construcción, demolición y remodelación en la ciudad, mediante la resolución 2397 de 25 abril de 2011 así como la resolución 1115 del 26 de Septiembre de 2012, por medio de las cuales se adoptan los lineamientos Técnico - Ambientales para las actividades de aprovechamiento y tratamiento de los residuos de construcción y demolición en el Distrito Capital y se resuelve como objetivo principal, la adopción de los lineamientos técnicos ambientales para las actividades de tratamiento y aprovechamiento de los Residuos de la Construcción y Demolición –RCD- en el perímetro urbano del Distrito Capital.

En dicha resolución se establecen obligaciones para los diferentes actores que participan en la producción de escombros, entre ellas las empresas constructoras, entidades públicas y empresas privadas, quienes a partir de agosto del año 2013 para las obras de infraestructura ejecutadas en la ciudad, deben incluir desde la etapa de estudios y diseños los requerimientos técnicos necesarios con el fin de lograr la utilización de elementos reciclados provenientes de los centros de tratamiento legalmente constituidos, mediante el aprovechamiento de escombros generados en las etapas constructivas y de desmantelamiento, en un porcentaje no inferior al 5 % y 10%, del total de los metros cuadrados a construir por la entidad anualmente. Dicho porcentaje tendrá un crecimiento del 5% anual, hasta alcanzar un 25%.

Ya en otros países del mundo se ha desarrollado una gestión integral en el manejo de escombros basados en una legislación específica que regula y grava el vertido de residuos de construcción. Paralelamente se vienen utilizando con éxito los ACR en mezclas de concreto. Tal es el caso de España, donde se generan cada año entre 30 y 40 millones de toneladas de Residuos de Construcción y Demolición "RCD", previamente utilizados en construcción (ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE GESTORES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN, Noviembre de 2010, pág. 6.). Estos RCD en cumplimiento de toda la legislación Medioambiental vigente tanto Europea como del Estado y de las Comunidades Autónomas que regulan la correcta gestión de estos residuos bajo el concepto de "construcción sostenible", esperan ser reciclados para convertirse en materiales de construcción. El 80% de los RCD pueden valorizarse, transformarse un 35% en áridos reciclados y el resto ser valorizados por gestores especializados (metal, madera, plástico, papel-cartón).

En la figura 0-1 se muestra el porcentaje de reciclaje actual en España, el cual se sitúa actualmente cerca del 15% de la producción respecto a una media europea situada en un 45%, aunque se cuenta con países como Holanda o Alemania con porcentajes cercanos al 80%.

Figura 0-1: Reciclaje de RCD en UE, España año 2009, fuente GERD.



El 35% que se transforma en árido reciclado se comercializa como producto reciclado (áridos para bases y sub-bases, drenajes, arenas y gravas, explanadas, suelos, áridos para concreto, etc.), un 40% se transforma en material reciclado destinados a rellenos y restauraciones o espacios degradados y un 15% procedente de la fracción mixta se recupera y clasifica como metales férricos y no férricos, maderas, plásticos, cartón-papel, etc., el resto son rechazos de las plantas con destino a su depósito en vertedero.

En Estados Unidos la Agencia Federal de Carreteras, recicla los pavimentos de concreto. En 1985, durante la ampliación de 7.000 Kilómetros de carreteras en Wyoming, el agregado fue una mezcla de materiales naturales y reciclados, con lo que se ahorró el 16% del costo total del proyecto.

Estados Unidos, Dinamarca, Holanda, Gran Bretaña, Alemania y Japón poseen programas para reciclar materiales de construcción con la creación de plantas de tratamiento. Dinamarca empezó a imponer multas desde el 1º de enero de 1990, por tonelada de residuos que no se recicle. Japón prevé reciclar de 10 a 12 millones de toneladas de concreto por año (NATALANI, MARIO B. – KLEES, DELIA R. – TIRNER, 2000) .

En cuanto a los países de América Latina, el primer país que contó con una planta de reciclaje de RCD, por medio de la resolución expuesta por el CONAMA en el año 2002 fue Brasil, la cual se encarga específicamente de los residuos de construcción civil y a partir de esto sus municipios han venido retomando sus acciones como por ejemplo Sao Pablo, Salvador y otros (Cortina Ramírez, 2007) .

Por lo tanto es importante que en Colombia se tomen acciones tendientes a minimizar la carga de escombros en las ciudades siguiendo los modelos implementados en otros países. Para tal efecto, el concreto juega un papel importante, ya que en él se puede incorporar los agregados de concreto reciclado (ACR). Sin embargo es de suma importancia evaluar las propiedades mecánicas y de durabilidad de estos concretos para garantizar un comportamiento adecuado en las diferentes estructuras a construir.

Una de las formas de conocer las propiedades mecánicas es a través de la evaluación de las propiedades eléctricas de los concretos, buscando una correlación entre sus propiedades mecánicas y de durabilidad. De acuerdo con la literatura se ha encontrado que se presenta una buena correlación entre estas propiedades.

Se propone entonces este proyecto, que tiene como objetivo evaluar algunas de las propiedades eléctricas como resistividad, inductancia y capacitancia del concreto con cuatro porcentajes de agregado reciclado y dos valores de relación agua cemento, buscando las correlaciones con algunas propiedades mecánicas y de durabilidad de este material.

Los resultados obtenidos serán un referente para el uso de concretos con ACR en Colombia, con el objetivo de conocer su comportamiento y al implementar su uso, aliviar la gran carga de escombros de los sitios destinados para tal fin, garantizando un desarrollo sostenible y encaminando el futuro del concreto, hacia la producción del llamado Green Concrete, el cual es diseñado para reducir el impacto medioambiental, comparado con el concreto tradicional.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Evaluar el comportamiento del concreto con diferentes porcentajes de agregado de concreto reciclado, mediante la valoración de algunas de sus propiedades eléctricas, y tratar de establecer la correlación con propiedades mecánicas y de durabilidad de este material.

1.2 Objetivos específicos

- Evaluar el comportamiento de mezclas de concreto para cuatro diferentes porcentajes de reemplazo de agregado natural por agregado reciclado y dos valores de relación agua – cemento.
- Determinar la correlación entre propiedades mecánicas y eléctricas de concretos dosificados con agregados de concreto reciclado.
- Evaluar algunas de las propiedades de durabilidad del concreto con agregados de concreto reciclado mediante ensayos de permeabilidad al ion cloruro, sortividad y carbonatación.

2. Estado del arte

2.1 Generalidades de los agregados de concreto reciclado

El concreto es uno de los materiales de construcción más usados en el mundo, por sus características que lo hacen apropiado y versátil para cualquier tipo de construcción. Sin embargo los costos ambientales que implican su producción, incluidas la explotación de canteras, contaminación por transporte y entrega de concreto e insumos para fabricación de este material, emisión de CO₂ en la producción de cemento, entre otros, han aumentado la conciencia de emplear técnicas de fabricación cada vez más amigables con el medio ambiente y así contribuir al desarrollo sostenible.

Una de las alternativas usadas para minimizar los efectos negativos en el medio ambiente es el uso de agregados de concreto reciclados en las mezclas de concreto, teniendo en cuenta que los agregados (gruesos y finos) ocupan entre un 60% y 70% del volumen en el concreto.

El ACR es un material que se obtiene como resultado de la trituración del concreto proveniente de la demolición de estructuras o del concreto sobrante en plantas de producción debido a excesos en el volumen despachado o por no reunir todos los requisitos técnicos como asentamiento o dosificación adecuada para ser despachados a las obras. Igualmente sucede con los concretos que son devueltos por los clientes a las plantas de producción por presentar no conformidades. Dichos concretos muchas veces se solidifican y son dispuestos como escombros o dichos sobrantes son sometidos a procesos de lavado para recuperar los agregados de la mezcla.

El proceso de obtención de ACR a partir del concreto endurecido, se puede hacer a través de la trituración de escombros provenientes de la demolición de estructuras o la trituración de los concretos sobrantes mencionados anteriormente. Al ser concretos diferentes en cuanto a su composición, cada uno de ellos presenta unas características propias. Por ejemplo el ACR producto de la trituración de demolición de estructuras, tienen un mayor grado de contaminación manifestado en la presencia de aceites, residuos de construcción, plásticos, fragmentos de acero de refuerzo etc. Por otro lado el ACR proveniente de sobrantes de concretos en plantas de producción, tiende a tener un menor porcentaje de mortero adherido al ser triturado a una edad menor. Esta característica es muy importante teniendo en cuenta

que el mortero adherido, de acuerdo con investigaciones realizadas, es una de las causas por las cuales se presentan reducciones en la resistencia a la compresión en concretos con ACR, ya que este mortero puede romperse en la zona de transición en la interfase agregado - pasta de cemento, la cual se constituye en una zona débil en la estructura interna del concreto (Katrina McNeil & Thomas H.-K Kang, 2013)

2.1.1 Producción de ACR procedente de materiales de demolición.

Los agregados reciclados provenientes de concretos de cimentaciones, pavimentos, puentes y edificios, son procesados y triturados en diferentes tamaños. El acero de refuerzo y otros contaminantes deben ser removidos en el proceso de selección para garantizar la calidad de los agregados. De la misma manera durante el proceso de acopio, es importante garantizar que el concreto de las demoliciones, no sea contaminado con otros residuos de la construcción como plástico y yeso. Es recomendable para minimizar esta situación, almacenar el concreto separadamente de estos residuos de construcción.

El proceso de obtención puede variar según el tipo de estructura de la cual provenga, puesto que en algunos casos va asociado a refuerzo embebido o a materiales como plásticos, vidrio, etc.

Los agregados de concreto reciclado, pueden ser fabricados en plantas similares a las usadas para triturar agregados naturales. (Cement & Concrete Association from New Zeland, 2011). En la figura 2-1 se presenta el montaje de una planta de reciclaje para concreto.

Figura 2-1: Planta de reciclaje de concreto. Noticreto Edición 108.



A continuación se describe el proceso de obtención del ACR y en la figura 2-2 se presenta el diagrama de flujo de esta secuencia (ASOCRETO, 2011)

Separación de los contaminantes: Es fundamental cuando el agregado resultante va a formar parte de nuevas mezclas de concreto o va a utilizarse en rellenos y carreteras. Los contaminantes pueden ser el mismo acero embebido u otros materiales como el asfalto, selladores de juntas, ladrillos y demás escombros de construcción diferentes del concreto.

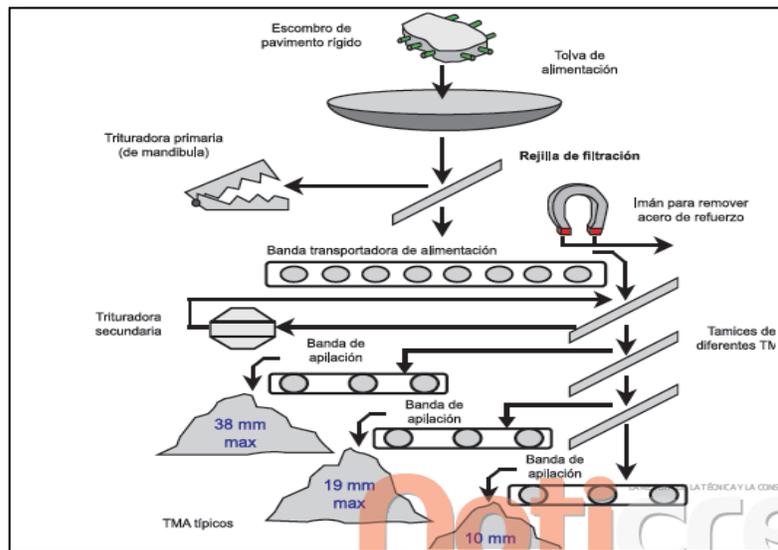
Las piezas de acero de refuerzo pueden ser removidas mediante el uso de cizallas hidráulicas.

Ruptura y transporte del concreto: Para mayor eficiencia, el concreto debe fracturarse en fragmentos manejables para ser cargado en un vehículo y transportado hasta el lugar de trituración.

La utilización de plantas móviles de reciclaje puede agilizar este paso y disminuir las distancias de transporte del material con el ahorro consiguiente de costos variables en la obtención del ACR.

Trituración de fragmentos: En este proceso pueden utilizarse diversos tipos de maquinaria para obtener diferentes tamaños de agregados. Lo normal es una trituradora primaria que reduce los fragmentos a un material de diámetro entre 80 y 100 mm, y una trituradora secundaria que reduce estos remanentes al tamaño máximo de agregado que se busca. Pueden usarse trituradoras de tipo cono, de mandíbula, de impacto u otras.

Figura 2-2: Proceso de reciclaje del concreto. Noticreto Edición 108



La mayoría de las plantas de reciclaje tienen una trituradora primaria y una secundaria. La trituradora primaria usualmente reduce el material a tamaños por debajo de 80 mm a 100 mm. En la trituración secundaria el material es pasado a través de dos tamices con tamaños mayores a 19 mm, entre 19 y 7 mm, y menores de 7 mm. El material entre 19 y 7 mm es tamizado para producir el agregado reciclado grueso.

Los agregados provenientes de demoliciones de estructuras, contienen una cantidad significativa de mortero adherido en su superficie. Un procesamiento prolongado podría reducir la cantidad de mortero adherido en la superficie de los agregados, controlando que no se fracture este material.

El procesamiento mediante vía húmeda, mejora la calidad del agregado al reducir la cantidad de polvo y material orgánico presentes en los agregados. Sin embargo dichas plantas son más

costosas, tienen una considerable demanda de agua durante el proceso de trituración y por consiguiente son producidas en menor escala.

Una vez finalizado el proceso de trituración secundaria, es muy importante el retiro de contaminantes presentes en los agregados. Si los agregados reciclados son entregados en las plantas de producción de concreto premezclado con rastros de contaminación, dichas plantas no tendrán los recursos para remover estos elementos contaminantes razón por la cual el uso de este agregado será problemático durante el proceso de producción.

Los contaminantes más significativos que deben ser removidos son el asfalto, materiales de revestimiento, residuos de suelo y arcilla, yeso, asbestos, acero de refuerzo y metales, sellantes de juntas, ladrillo, plástico, goma, fracciones de baldosas, vinilo, papel y materiales usados en cubiertas de edificaciones.

Si existe una cantidad significativa de contaminantes, el costo de remoción podría calificar el producto como No conforme para la producción de concreto con agregado reciclado y por tanto clasificando el material para otros usos como por ejemplo como material de fundación en distintas obras civiles. (Cement & Concrete Association from New Zeland, 2011)

Por esta razón, es requerido separar el concreto del restante de materiales procedentes del proceso de demolición para remover desde la fuente la mayor cantidad de contaminantes posible.

2.1.2 Producción de ACR procedente de concreto sobrante.

La producción de agregado triturado proveniente del concreto sobrante en plantas de producción, se basa en los mismos equipos que para ACR producto de la demolición de estructuras. La resistencia del concreto y procedencia de los agregados es conocida y la contaminación con residuos de construcción ya no es un problema a diferencia de los ACR producidos a partir de la demolición de estructuras.

La edad a la que el concreto es triturado tiene influencia en la resistencia y propiedades del concreto fabricado con ACR. Los concretos fabricados con ACR de concreto sobrante en plantas, cuyo agregado es procesado a una edad más temprana, pueden traer efectos benéficos sobre el concreto con ACR por la acción cementicia que tienen las partículas no hidratadas y las parcialmente hidratadas. Algunas investigaciones han demostrado que los concretos fabricados con ACR procedente de concreto sobrante, el cual ha sido triturado 24 horas antes del mezclado del nuevo concreto, puede tener resistencias a la compresión 25% más altas que el concreto de control (Rashwan, MS and Abourizh, S., 1997).

Así las cosas es posible optimizar las mezclas de concreto mediante una adecuada clasificación y almacenamiento de los concretos sobrantes para trituración.

2.1.3 Logística de producción de ACR.

Conocido el proceso de obtención del ACR, es importante conocer aspectos claves adicionales para la logística de producción de estos materiales. Es deseable desde el punto de vista de costos de producción, que tanto la fuente de residuos provenientes de concreto de demolición, la planta de trituración de estos residuos de construcción y la planta de fabricación del concreto premezclado estén cercanos. Para una óptima producción, debe evaluarse cuidadosamente el lugar de localización de las planta de trituración de RCD, con el fin de reducir las distancias de transporte de los productos de demolición de concreto y los ACR.

El agregado fino reciclado es rara vez usado como agregado de concreto reciclado debido a la demanda de agua que generaría en la mezcla, con los consecuentes problemas de reducción en la resistencia a la compresión y retracción del concreto. (Cement & Concrete Association from New Zeland, 2011)

En cuanto a la facilidad de contar con este tipo de materiales para la fabricación de concreto, se podría afirmar que hay un déficit significativo en los residuos de demolición y construcción (RCD) disponibles para la fabricación de ACR, sin embargo mediante una legislación apropiada y la constitución de centros de acopio de estos materiales se puede lograr volúmenes representativos para la fabricación de ACR.

2.2 Propiedades de los agregados de concreto reciclado.

2.2.1 Propiedades físicas.

Se han desarrollado programas de investigación encaminados a determinar métodos para la clasificación de agregados reciclados. Se han combinado diversas mezclas de concreto, usando diferentes tipos de ACR, cuyos resultados han mostrado que el desempeño de los concretos tiene una ligera variación cuando el porcentaje de agregado reciclado en las mezclas no supera el 20%. (Yang, Chung, & Ashour, 2008)

Según el programa de investigación llevado a cabo por Waste & Resources Action Programme (WRAP), fueron propuestas tres clases de agregados reciclados (tipo A, B y C), adecuados para entornos leves, moderados y químicamente agresivos (marinos), respectivamente. Sin embargo estas tres clases de agregados no fueron incluidas en normas técnicas de agregados.

Las propiedades físicas de los agregados de concreto reciclado, depende de las características del concreto fuente del cual son extraídos. Como fue indicado previamente, los agregados producto de demoliciones tienen una mayor variabilidad en sus características y por tanto existe una mayor variación en sus propiedades.

El mortero residual adherido en los ACR es uno de los factores que afecta su densidad, porosidad y absorción. La densidad de los ACR es generalmente menor que la de los agregados naturales. Esto teniendo en cuenta que el mortero adherido es menos denso que la roca subyacente. En un estudio de Katrina McNeil & Thomas H.-K. Kang (como se cita en Limbachiya et al, 2000) se ha demostrado que la densidad de los ACR en su condición saturado y superficialmente seco es aproximadamente un 7 – 9% menor que la de los agregados naturales (AN). Igualmente se han reportado densidades aparentes de 2390 y 2890 Kg/m³ para ACR y AN respectivamente con una diferencia del 17%.

En cuanto a la absorción, los agregados naturales, tienen una menor absorción debida a una porosidad más baja. El mortero adherido en los ACR tiene una alta porosidad lo que da lugar a una mayor capacidad de mantener agua en sus poros con respecto a los AN.

En el mismo estudio de Katrina McNeil & Thomas H.-K. Kang (como se cita en (Shayan, A., & Xu A., 2003) se encontraron valores de absorción para los agregados naturales de 0,5 a 1% y valores de absorción entre 4 y 4,7% para los ACR en su condición saturado y superficialmente seco. Otros estudios han mostrado diferencias del orden del 5,6% entre los valores de absorción para estos dos tipos de agregados. Estas diferencias en los valores de absorción entre agregados naturales y ACR implican un control más estricto tanto en los diseños de mezcla como en los asentamientos de los concretos con ACR ya que los agregados pueden tomar agua de la mezcla, lo cual se traduce en una pérdida de manejabilidad de la misma.

Estas propiedades físicas son de vital importancia para establecer límites en la absorción, densidad y porosidad para su uso en concreto estructural.

Otras de las propiedades físicas importantes en los ACR son su forma y gradación. La forma de los agregados tiene un papel importante en la trabajabilidad de las mezclas de concreto. Los agregados naturales cuando son extraídos de canteras tienen una forma angular. El ACR debido al mortero residual adherido puede tener bordes suavizados con respecto al agregado original.

Las normas técnicas para ACR definen límites superiores e inferiores en donde es deseable que las curvas de granulometría encajen para ser aceptados en el uso de concreto estructural.

Por último está el aplastamiento y la resistencia a la abrasión, que determinan la durabilidad de los agregados. Los ACR tienen valores mayores de resistencia a la abrasión medida en el ensayo de la máquina de los ángeles, ya que este agregado contiene partículas más finas susceptibles a romperse cuando es impactado por las esferas de acero con respecto a los agregados naturales.

Investigaciones por (Shayan, A., & Xu A., 2003), han obtenido resultados de desgaste en la máquina de los ángeles del 23,1% para ACR con respecto a un 15,7% para agregados naturales. Nuevamente al mortero adherido tiene una afectación directa en estos resultados al ser más débil que la roca original. En todo caso investigaciones llevadas a cabo en los Estados Unidos

han mostrado que todos los agregados de concreto reciclado, excepto los obtenidos de concretos con resistencias muy bajas, reúnen los requisitos mínimos de resistencia a la abrasión definidos en la ASTM C33-11A.

En el caso de agregados obtenidos de concretos sobrantes como fueron definidos en la sección 2.1, de acuerdo con investigaciones realizadas por la US National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA), se han obtenido tendencias similares en cuanto a la absorción y densidad de los agregados, pero con diferencias menores con respecto a los agregados naturales probablemente debido al hecho de tener una menor cantidad de mortero adherido.

2.2.2 Propiedades químicas.

Es vital conocer las propiedades químicas de los agregados de concreto reciclado ya que las propiedades químicas del concreto de las demoliciones no son conocidas con certeza.

Para el caso de los agregados provenientes de concreto sobrante, existe una menor incertidumbre en el contenido de cloruros, sulfatos y álcalis presentes, toda vez que sus propiedades son muy similares a las del agregado natural del concreto sobrante.

Inicialmente cuando fue introducido el uso de concretos con agregados reciclados, la reacción álcali agregado en estos concretos fue considerada un problema. Sin embargo investigaciones mostraron que los agregados naturales y los ACR eran muy similares en cuanto a la reacción álcali-agregado.

Es importante analizar el contenido del ion cloruro, cuando el concreto original proviene de estructuras marinas o ha sido sometido a sales presentes en el medio ambiente, ya que podrían convertirse en una fuente potencial de cloruros para el nuevo concreto fabricado con ACR, que sumado a otras fuentes de cloruros podría no dar cumplimiento con los límites establecidos en las normas técnicas vigentes para determinar los niveles máximos permitidos de cloruros en el concreto. (Cement & Concrete Association from New Zeland, 2011). También el contenido de cloruros puede ser alto cuando se dosificaron aditivos acelerantes en el concreto de origen.

2.3 Concretos con agregado de concreto reciclado

2.3.1 Propiedades del concreto con ACR en estado plástico

Debido al mortero adherido en los ACR, se ha encontrado que la densidad del concreto en estado fresco es menor que la correspondiente al concreto fabricado con agregados naturales.

En cuanto a la trabajabilidad de las mezclas realizada con agregados de concreto sobrante, normalmente se requiere un pequeño ajuste en la cantidad de cemento para compensar la cantidad de agua adicional demandada por la mezcla. En contraste las mezclas fabricadas con ACR proveniente de demolición de estructuras al tener una textura más áspera normalmente tienen una demanda de agua más alta.

El contenido de aire atrapado en la mezcla de concreto fabricado con ACR, es generalmente más alto que el del concreto con agregado natural, razón por la cual se deben tomar las precauciones en el diseño de mezcla para lograr el contenido de aire deseado en este tipo de concretos.

Como aparece reflejado en la guía práctica para el uso de agregados reciclados en concretos nuevos de la Asociación de Cemento y Concreto de Nueva Zelanda, en la medida que se aumenta el porcentaje de reemplazo del ACR, las mezclas de concreto se vuelven más ásperas, menos cohesivas y tienen una exudación más alta. Adicionalmente es necesario incrementar el contenido de cemento. (Desai, SB and Limbachiya, MC, Kingston University, 2006).

En investigaciones realizadas por (Zhang, 2009) se ha encontrado que los concretos con ACR cuyos agregados provienen de concretos de más altas resistencias a la compresión, tiene una pérdida mayor de asentamiento.

2.3.2 Propiedades del concreto con ACR en estado endurecido

- **Resistencia a la compresión**

Varias investigaciones han demostrado que la calidad, resistencia y especificaciones del concreto usado para la fabricación del agregado reciclado, tiene influencia significativa en las características y propiedades del concreto con ACR. De igual manera la cantidad de agregados reciclados usados en los diseños así como sus propiedades inciden en el comportamiento del concreto con ACR.

Cuando se usa concreto de alta resistencia, proveniente de la demolición de estructuras para la fabricación del ACR, se logran resistencias a la compresión más altas en el concreto con ACR.

En concreto con agregados naturales, uno de los factores que influye en la resistencia de la matriz agregado-cemento, es una zona delgada porosa que se forma en la interfase pasta-agregado llamada "zona de transición interfacial". En concreto con agregado reciclado se presentan dos zonas de transición de este tipo: una formada entre el mortero adherido y el agregado original y la otra entre el mortero adherido y la nueva pasta de cemento.

Generalmente los ACR tienen mayor influencia que los agregados naturales en las propiedades del concreto, debido a una mayor cantidad de microgrietas y la presencia de una estructura débil entre el mortero adherido a los ACR.

En la misma investigación de (Zhang, 2009), se indica que para alcanzar la resistencia deseada a la compresión a los 28 días, es recomendable especificar la resistencia de diseño a 56 días de edad. Sin embargo esta recomendación debe ser determinada en cada caso particular de diseño mediante la realización de ensayos. En todo caso las investigaciones llevadas a cabo usaron en todas las mezclas un reemplazo de agregado natural por ACR del 100%, por lo cual al usar porcentajes de reemplazo menores se debería tener una afectación de la resistencia menor.

En diversas investigaciones se ha encontrado que los concretos con ACR son entre un 15% al 40% menos resistentes que los concretos con agregados naturales (Cement & Concrete Association from New Zeland, 2011). Entre los factores que influyen esta reducción de la resistencia se encuentran:

- La resistencia del concreto de origen demolido para la fabricación de ACR.
- Múltiples fuentes del concreto para la fabricación de ACR.
- La resistencia especificada del agregado de concreto reciclado.
- Cantidad de mortero adherido en el agregado reciclado.
- Porcentaje de reemplazo de agregado reciclado grueso en la mezcla
- Uso de agregado reciclado fino.
- Ajustes en el contenido de aire y agua en la mezcla para garantizar la trabajabilidad.

Estudios de la Universidad de Kingston (Limbachiya et al., 2000) han concluido que el uso de concreto de agregado reciclado como reemplazo por agregado natural en las mezclas de concreto es viable técnicamente. Sin embargo su uso debe ser evaluado con precaución en proyectos especiales, en el caso que se requieran concretos de altas resistencias, cuando hayan miembros estructurales que se puedan ver afectados por la contracción y flujo plástico y cuando se prevean condiciones severas del medio ambiente como ataque de cloruros.

- **Módulo de elasticidad.**

El principal factor que afecta el módulo de elasticidad de concreto con ACR, es el módulo de elasticidad del agregado en sí mismo. Ya que los agregados de concreto reciclado son más propensos a la deformación que los agregados naturales, la debilidad del ACR reduce el módulo de elasticidad del concreto cuando el ACR es usado en mezclas de concreto. (Exteberria, M., Vásquez, E., & Marí, A.R, 2007)

Varios investigadores han mostrado que existe una reducción en el módulo de elasticidad en concretos con ACR, y dicha reducción es más alta en la medida que se aumenta el porcentaje de reemplazo de agregados reciclados en la mezcla. Dicha reducción puede variar entre un 6% a un 33% cuyo valor se ve influenciado por las diferentes propiedades del agregado usado. En un estudio llevado a cabo por (Maruyama, 2004) se encontró que el módulo de elasticidad del concreto con ACR se reducía en un 20%.

Se podría probar que el módulo de elasticidad de concretos con ACR es controlada por la propiedades del agregado en vez de las propiedades del concreto en su conjunto como fue expuesto por (Katrina McNeil & Thomas H.-K Kang, 2013).

- **Durabilidad**

El uso de ACR ha sido estudiado desde 1950, pero desde diez años atrás, el número de investigaciones de este tópico ha aumentado considerablemente. Sin embargo la mayoría de ellas se han enfocado en las propiedades físicas y mecánicas del concreto hecho con ACR y no en el efecto que tiene el uso de estos agregados en la corrosión del acero de refuerzo expuesto a ambientes severos, como por ejemplo condiciones costeras o ambientes marinos.

En el presente la más importante patología en estructuras de concreto reforzado es el deterioro por corrosión, causado por la penetración de cloruros a través del concreto, al igual que el fenómeno de carbonatación pero en menor medida. La corrosión genera afectaciones en la durabilidad de las estructuras de concreto, reportando pérdidas económicas superiores a los 276 billones de dólares anuales. (R Corral Higuera, S.P Arredondo-Rea, M.A Neri Flores, J.M Gómez-Soberón, J.L Almaral Sánchez, J.H Casterona González, A. MArtínez Villafane, F. Almeraya Calderón, 2011).

Por otro lado, los concretos con adiciones de materiales cementicios suplementarios, han reportado resultados satisfactorios, específicamente en el su desempeño, resistencia y durabilidad al igual que en los beneficios que involucran el medio ambiente.

En una investigación llevada a cabo por la Universidad de Kingston se encontró que no hay reducción en la resistencia al congelamiento y deshielo o incremento en la permeabilidad o penetrabilidad en los concretos con ACR cuando los porcentajes de reemplazo del agregado no superan el 30%.

- **Carbonatación**

La carbonatación es un tipo particular de reacción ácida, debida a la penetración por difusión del dióxido de carbono o anhídrico carbónico CO_2 , del aire atmosférico o del suelo, en la estructura porosa de la superficie del concreto. (Guzmán, 2002).

En el proceso, el gas carbónico se disuelve en algunos de los poros y reacciona con los componentes alcalinos de la fase acuosa del concreto produciendo ácido carbónico. Este ácido convierte el hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ en carbonato de calcio (CaCO_3) y agua, lo que trae como consecuencia un descenso significativo del pH en la capa superficial del concreto (de su valor usual de 13, baja hasta valores del orden de 9), y al perder su basicidad deja de ser un elemento protector del refuerzo ante el fenómeno de la corrosión.

A medida que avanza la penetración de la carbonatación conocida como frente de carbonatación, se pierde el efecto de capa pasivadora que tiene el recubrimiento del concreto.

Por último, tiene lugar una retracción adicional en el concreto (como consecuencia de la disminución que se da en el volumen de la pasta de cemento), conocida como contracción por carbonatación. (Guzmán, 2002)

Según estudios de la WRAP, se ha encontrado que la profundidad de carbonatación disminuye en la medida que el contenido de ACR se incrementa en el concreto. La explicación de esta situación, probablemente se debe al incremento de alcalinidad en el concreto por el incremento del contenido de cemento usado y el mortero adherido en los ACR.

Investigaciones posteriores de la Universidad de Dundee en Escocia, en concretos de alta resistencia con agregados reciclados mostraron que la absorción y la permeabilidad se incrementaban significativamente cuando los porcentajes de reemplazo de agregado reciclado superaban el 30%.

- **Permeabilidad al ion cloruro**

Otro de los ensayos para evaluar la durabilidad del concreto, es el ensayo de permeabilidad al ion cloruro. Se ha encontrado que la penetrabilidad al ion cloruro aumenta, en la medida que se aumenta el porcentaje de reemplazo de ACR en el concreto. La razón de este resultado es que la superficie porosa del ACR por causa del mortero adherido en el agregado, provee una ruta más fácil para el ingreso del ion cloruro en el concreto según lo indicado en la guía práctica para el uso de agregados reciclados en concretos nuevos de la Asociación de cemento y Concreto de Nueva Zelanda.

Investigaciones realizadas sobre la permeabilidad al ión cloruro, han encontrado que la adición de materiales cementicios suplementarios le dan al concreto con ACR un desempeño en ambientes marinos similar al que tiene un concreto con agregado natural.

2.4 Regulaciones y especificaciones para el uso de ACR a nivel mundial.

A continuación se dará una idea general sobre las normas y regulaciones relacionadas con el uso de agregados reciclados a nivel mundial.

Las normas británicas y de Estados Unidos, son las únicas que distinguen entre agregado de concreto reciclado y agregado de concreto sobrante.

En el reino unido, la norma británica BS EN 12620:2002 + A1:2008 especifica los requerimientos para el ensayo sobre agregados reciclados. Dentro de los requerimientos se incluye límites para el contenido de cloruros, influencia en el fraguado inicial, constituyentes de los agregados reciclados, densidad y absorción, contenido de álcali.

La BS 8500-2:2006 se refiere a dos tipos de agregado reciclado: Agregado de concreto reciclado (ACR) y agregado reciclado (AR). La tabla 2-1, muestra los límites máximos de materiales contaminantes en estos dos tipos de agregados definidos por la norma.

Tabla 2-1: BS 8500-2:2006: Requisitos para agregado de concreto reciclado (ACR) y agregado reciclado grueso (AR) (% por peso)

Type of Aggregate	Maximum masonry content	Maximum fines	Maximum lightweight material < 1,000 kg/m ³	Maximum asphalt	Maximum glass, plastic, wood.	Maximum acid-soluble sulphate
RCA ^(a)	5	5	0.5	5.0	1.0	1.0
RA ^(b)	100	3	1.0	10.0	1.0	^(c)

En la norma BS 8500-2:2006, no se dan especificaciones para agregado de concreto reciclado fino ni agregado reciclado fino. Sin embargo no excluye el uso de los mismos. El uso de estos agregados debe ser evaluado para cada proyecto en particular. Se puede dar el caso que restos de yeso proveniente de los desechos de construcción queden mezclados con el agregado de concreto reciclado fino, trayendo como consecuencias problemas de fraguado en el cemento y problemas de fisuración del mismo en estado endurecido.

La tabla 2-1 de la norma BS 8500-2:2006, limita la resistencia del concreto a 40 MPa cuando se usa ACR. Cuando se usa agregado proveniente de concreto sobrante, no hay restricciones en la resistencia del concreto, toda vez que este agregado no está contaminado. Adicionalmente para resistencias del concreto entre 20MPa y 40MPa, se permite un porcentaje de reemplazo máximo del 20% por ACR.

La norma BS 8500-2:2006, también restringe el uso de concretos con ACR según la clase de exposición a la que se encuentre sometido el material. Para el caso de ambientes marinos, exposición a cloruros y agentes químicos agresivos en el suelo, es restringido el uso de concreto con ACR. En todo caso el concreto con ACR podría ser usado en dichas zonas si se demuestra mediante ensayos de durabilidad que el concreto es adecuado para desempeñarse en ese ambiente.

En Estados Unidos la NRMCA, recomienda el uso de agregados reciclados provenientes de concreto sobrante en aplicaciones no estructurales con un reemplazo máximo de hasta el 30% del peso total de agregado en la mezcla.

Para aplicaciones en elementos estructurales la norma ASTM C94/C94M-11b permite el reemplazo de hasta el 10% del agregado natural por ACR medido sobre el peso total del agregado en la mezcla (agregado grueso más agregado fino). Este porcentaje equivale a un 20% – 25% del peso del agregado grueso de la mezcla.

Adicionalmente se permite un reemplazo del 100% del agregado grueso por ACR para concretos con resistencia especificada menor o igual a 20 MPa.

En Australia la norma HB 155:2002 define dos clases de agregado reciclado para su uso en concreto nuevos: Clase 1A predominantemente concreto reciclado y clase 1B (agregado de concreto reciclado que puede contener hasta un 30% de restos de ladrillo. En la tabla 2-2 se

indican los requerimientos físicos para ACR y en la tabla 2-3 se muestran los niveles máximos de contaminación permitidos del agregado para los dos tipos de agregados definidos por la norma.

Tabla 2-2: (HB 155:2002) Requerimientos físicos para agregado de concreto reciclado

RCA Property	Class 1A RCA	Class 1B RCA	Test Method
Brick content (max.)	0.5%	30%	-
Stony material < 1,950 kg/m ³	1%	5%	-
Friable material (max.)	0.1%	0.1%	-
Particle shape, 2:1 ratio	35%	35%	AS 1141.14 ⁵³
Particle density SSD (min.)	2,100 kg/m ³	1,800 kg/m ³	AS 1141.6 ⁵³
Bulk density (min.)	1,200 kg/m ³	1,000 kg/m ³	AS 1141.4 ⁵³
Water absorption (max.)	6%	8%	AS 1141.6 ⁵³
Aggregate crushing value (max.)	30%	30%	AS 1141.21 ⁵³
Total impurity level (max.)	1%	2%	-
LOI (max.)	5%	5%	-
Lost substances in washing (max.)	1%	1%	-
Soundness loss (max.)	9%	-	AS 1141.24 ⁵³
Particle size distribution by dry sieving	-	-	AS 1141.11 ⁵³

Tabla 2-3: (HB 155:2002) Composición requerida para agregados de concreto reciclado

Contaminant Limit	Class 1A RCA	Class 1B RCA	Test Method
Total contaminant (max.)	1%	2%	-
Sulphate content SO ₃ (max.)	0.5%	0.5%	-
Contaminants < 1,950 kg/m ³	10 kg/m ³	10 kg/m ³	-
Contaminants < 1,950 kg/m ³	2 kg/m ³	2 kg/m ³	-
Chloride content, Cl-	0.05%	-	AS 2758.1 ⁵⁴
Periclase (MgO)	0.01 (max.)	0.01 (max.)	-
Alkali-silica Reactivity	-	-	AS 1141.38 ⁵³

La norma HB 155:2002 también define dos clases de concreto de agregado reciclado:

- Grado 1 definido como un concreto con hasta un 30% de sustitución de agregado grueso de concreto reciclado clase 1A. La resistencia a la compresión máxima especificada es de 40 MPa.
- Grado 2 definido como un concreto en el que es permitido una sustitución de hasta el 100% de agregado grueso de concreto reciclado clase 1A o clase 1B. La resistencia máxima especificada para este concreto será de 25 MPa.

En otros países también se ha avanzado en la normalización para los agregados de concreto reciclado (ACR) y los concretos con ACR. La tabla 2-4 resume algunos de los criterios en diferentes países del mundo, que deben ser aplicados en el uso de concretos con ACR.

Tabla 2-4: Resumen de requisitos de concreto con agregado reciclado en diferentes países

Country/ Organisation	Recycled Aggregate (Type/Name/ Classification)	Aggregate Genre	Maximum RCA Substitution ^(a)	Maximum Recycled Aggregate Concrete 28 Day Cylinder Strength	Other Restrictions
United Kingdom	RCA	RCA	NR	40 MPa	RCA and LCAgg. No chloride exposure. No freeze thaw
			20%	Designated concrete 20 to 40 MPa	
	LCAgg	LCAgg	NR	NR	-
	RA	RA		16 MPa	Only mild exposure.
Australia	Class 1A	RCA	30%	40 MPa	-
	Class 1B	RCA	100%	25 MPa	
USA	LCA	LCAgg	100% ^(b)	20 MPa	-
			25%	50 MPa	
			60% ^(c)	NS Concrete	
RILEM	RCAC Type I	RA	100%	16 MPa	Masonry Aggregate. Exposure restrictions.
	RCAC Type II	RCA	100%	50 MPa	
	RCAC Type III	RCA	20%	NR	
Korea	-	RCA	30%	27 MPa	-
			30% ^(c)	21 MPa	
Germany	Type 1	RCA	35%	25 MPa	In dry or low humidity environments.
	Type 2		25%	30 MPa	
Portugal	ARB1	RCA	25%	35 MPa	-
	ARB2		20%	40 MPa	
Hong Kong	-	RCA	20%	≤35 MPa	-
			100%	20 MPa NS Concrete	

Notes:

(a) Percentages are of coarse aggregate fraction unless otherwise stated

(b) Assumes leftover concrete aggregate separated by strength class

(c) Coarse and fine fraction

NS = Non structural concrete

RCA = Recycled concrete aggregate

LCAgg = Leftover concrete aggregate

RA = Recycled aggregate

NR = No restriction

La Tabla 2-5 resume algunos de los criterios de aceptación para agregados de concreto reciclado a nivel mundial.

Tabla 2-5: Criterios de aceptación de agregado reciclado para diferentes países

Country or standard	Recycled aggregate type	Oven-dry density criterion (kg/m ³)	Absorption ratio of aggregate criterion (%)
Australia (AS1141.6.2) (AS 1996)	<i>Class 1A</i>	≥2,100	≤6
	<i>Class 1B</i>	≥1,800	≤8
Germany (DIN 4226-100) (DIN 2002)	<i>Type 1</i>	≥2,000	≤10
	<i>Type 2</i>	≥2,000	≤15
	<i>Type 3</i>	≥1,800	≤20
	<i>Type 4</i>	≥1,500	No limit
Hong Kong (Works Bureau of Hong Kong 2002)	–	≥2,000	≤10
Japan (JIS A 5021, 5022 and 5023) (JIS 2011, 2012a, b)	Coarse— <i>Class H</i>	≥2,500	≤3
	Fine— <i>Class H</i>	≥2,500	≤3.5
	Coarse— <i>Class M</i>	≥2,300	≤5
	Fine— <i>Class M</i>	≥2,200	≤7
	Coarse— <i>Class L</i>	No limit	≤7
	Fine— <i>Class L</i>	No limit	≤13
Korea (KS F 2573) (KS 2002)	Coarse	≥2,500	≤3
	Fine	≥2,200	≤5
RILEM (1994)	<i>Type 1</i>	≥1,500	≤20
	<i>Type 2</i>	≥2,000	≤10
	<i>Type 3</i>	≥2,500	≤3
Spain (EHE 2000)	–	≥2,000	≤5

2.5 Propiedades eléctricas del concreto

2.5.1 Microestructura del concreto

Para el estudio de las propiedades eléctricas del concreto es vital el conocimiento de la concentración de iones en el agua del concreto así como el tipo y clase de poros al interior de este material.

El concreto como indica (Rebolledo, 2010) está compuesto por dos fases: una fase sólida y una fase porosa. La fase sólida está compuesta por partículas de cemento, arena y grava, mientras que la fase porosa se compone de poros de tamaño muy variado, alguno de ellos aislados entre si y no conectados con el exterior (porosidad bloqueada o cerrada) y el resto interconectados entre si formando canales de conexión con el exterior (porosidad conectada o abierta)

Dentro de la fase porosa del concreto, se distinguen los poros según su tamaño, en poros de gel o productos hidratados, de tamaño inferior a 10 nm (interconectados entre 1 y 10 nm), poros capilares, entre 10 nm y 1 micra, que contribuyen a los procesos de transporte, y poros

mayores de 1 micra, asociados al contenido en aire atrapado, según lo indicado por (Cruz. J.M. J, Landine. L. F, Lalinde y FITA. I.C, 2010).

- **Poros de gel**

Sobre su superficie puede quedar absorbida una película de agua de como máximo 3-4 moléculas de espesor, lo que lleva a despreciar su contribución a la capacidad de transporte de fluidos en el material.

- **Poros capilares**

Los poros capilares corresponden a la fracción del espacio total que no está ocupado por la suma del volumen de los productos de hidratación del cemento y el cemento que no ha sido hidratado. Por tal razón el tamaño de los poros capilares dependerá de la relación agua/cemento y del grado de hidratación del cemento.

Los poros capilares son los más importantes desde el punto de vista de durabilidad, ya que controlan el transporte de material en el interior del concreto, debido a las fuerzas capilares y a la tensión superficial de estos huecos y también por la penetración y difusión de agentes externos. (Rebolledo, 2010).

- **Iones en el agua del concreto**

En el agua presente en la matriz de pasta de cemento se encuentran disueltos tanto los iones provenientes del cemento (OH^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ y Ca^{2+}) como los que penetran desde el exterior (Cl^-).

La concentración inicial de los iones varía en función de la composición del cemento y del contenido de agua o la relación agua/cemento. Para el Calcio, la concentración inicial de los iones Ca^{2+} supera la de saturación, Luego y debido a la formación de los sulfoaluminatos, la concentración de los iones SO_4^{2-} y Ca^{2+} disminuye con el tiempo y en la misma medida aumenta la concentración de los iones Na^+ y K^+ , lo que trae como resultado que se obtengan valores en el PH superiores a 12. (Rebolledo, 2010).

La fase acuosa contenida en la estructura porosa de la pasta de cemento endurecida, puede clasificarse en función del grado de enlace con las superficies de los poros. El agua se encuentra en la pasta de cemento endurecida y saturada en tres formas, clasificadas según el mayor o menor grado para ser eliminada.

Agua combinada químicamente o adsorbida: Es el agua que forma parte de la estructura de los productos hidratados y no se pierde por secado (salvo cuando se calienta el material hasta 1000°C). La eliminación de este tipo de agua genera la descomposición de los productos.

Agua interlaminar: Es el agua asociada a la estructura laminar del gel CSH y por lo tanto es agua estructural. Su pérdida se produce en condiciones secas, cerca del 11% de la humedad relativa, o a temperaturas mayores de los 100°C. Las consecuencias de su pérdida con irreversibles en la estabilidad del material.

Agua capilar: Se define como el agua presente en los poros capilares.

2.5.2 Propiedades conductoras del concreto

El volumen de agua evaporable encontrada en la pasta de un concreto varía desde un 60% en el momento de mezclado hasta un 40% cuando el cemento está completamente hidratado. Esta agua contiene iones cuya concentración varía con el tiempo y que afectan la conductividad del concreto.

Cuando la concentración de los iones OH^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ y Ca^{2+} es muy alta, comienza la asociación iónica, dando lugar a la formación de CSH y ettringita, que genera una capa de aislamiento eléctrico en los granos de cemento, lo que lleva a la disminución de la movilidad de los iones, disminuyendo así la conductividad. La disminución de la conductividad con el tiempo también es debida al descenso de la porosidad y al aumento de la tortuosidad. (Rebolledo, 2010).

Actualmente, se están desarrollando muchas técnicas no destructivas para el estudio de la evolución de las propiedades micromecánicas durante las sucesivas fases de hidratación del concreto para relacionarlas con las propiedades mecánicas y su durabilidad. Entre las técnicas más aplicadas están el uso del ultrasonido y la resistividad eléctrica.

- **Ensayos de ultrasonido**

Al enviar una onda ultrasónica a través de los materiales cementicios, la energía elástica se irradia en todas direcciones y se crean tres tipos de ondas que poseen su propia velocidad: ondas longitudinales, ondas transversales y ondas superficiales.

La onda elástica longitudinal se propaga de forma paralela al movimiento de las partículas y posee la mayor velocidad de todas. La onda transversal se propaga de forma transversal al movimiento de las partículas y la onda superficial se propaga a lo largo de la superficie. Existen expresiones para el cálculo de la velocidad de propagación de cada una de estas ondas, que están en función del módulo de elasticidad del material, la densidad y el coeficiente de Poisson.

De forma habitual, la aplicación de las técnicas ultrasónicas en los materiales cementicios, se limita a una clasificación cualitativa, para proporcionar una indicación de la calidad del material. En la tabla 2-6, se muestra una clasificación de la calidad del concreto en función de la velocidad de pulso ultrasónico para una muestra cilíndrica de 15 cm de diámetro y 30 cm de longitud. (Rebolledo, 2010)

Tabla 2-6: Relación entre la velocidad longitudinal y la calidad del hormigón. (Tobío 1967).

Calidad	Velocidad (m/s)	Resistencia a compresión aproximada (kg/cm ²)
Muy pobre	< 2000	
Pobre	2000 a 3000	≤40
Ligeramente bueno	3000 a 3500	≤100
Bueno	3500 a 4000	≤250
Muy bueno	4000 a 4500	≤400
Excelente	>4500	>400

La tabla anterior expresa una relación muy simplificada entre la calidad del concreto y la velocidad de pulso ultrasónico y no establece ninguna clasificación para diferentes tipos de concreto según la composición del cemento, tipo y cantidad de agregados y características de la matriz hidratada. (Rebolledo, 2010).

Dentro de las investigaciones realizadas, se encuentra la de (AlKhaleefi & Almutairi, 2007), quién llevo a cabo ensayos de velocidad de pulso ultrasónico sobre cuatro diferentes mezclas de concreto con reemplazos del 0%, 50% y 100% de agregado reciclado.

En la tabla siguiente se presentan los resultados obtenidos de la investigación en mención para la mezcla 1 (100% de ACR), mezcla 2(50% ACR) y la mezcla 3 y 4 con 0% de ACR. La relación agua/cemento usada en todas las mezclas fue de 0,53. Como conclusión, s establece que todas las mezclas ensayadas son clasificadas de calidad buena según la velocidad de pulso ultrasónico obtenida.

Tabla 2-7: Resultados de velocidad de pulso ultrasónico a edades de 28 días. (AlKhaleefi & Almutairi, 2007)

Mix No.	Sample No.	Direct / Indirect					Speed (m/s)
		L (m)	T ₁	T ₂	T ₃	Min. Time (μs)	
1	1	0.5/0.4	130.7/103.4	131.5/104	130.9/102.4	130.7/102.4	3830/3910
	2	0.499/0.4	130/105.3	129.4/105.9	129.1/105.2	129.1/105.2	3870/3800
	3	0.499/0.4	130.6/104.7	129.6/103.9	130.5/105.2	129.6/103.9	3850/3850
2	1	0.499/0.4	122.6/99.2	123/101.1	123/99.2	122.6/99.2	4070/4030
	2	0.499/0.4	122.2/99.9	123.4/97.7	122.5/99.2	122.6/99.2	4070/4030
	3	0.499/0.4	118.9/97.0	119/96.2	119.6/97.3	118.9/96.2	4200/4160
3	1	0.4995/0.4995	112.4/90.4	113.2/92.6	114.1/89.5	112.4/89.5	4440/5580
	2	0.49/0.49	114.5/92.8	114.4/91.8	114.8/91.5	114.4/91.5	4280/5360
	3	0.5/0.5	113.1/91.9	113.2/91.6	113.4/91.4	113.1/91.4	4420/5470
4	1	0.501/0.501	149.9/276	150.3/276.6	149.8/277.2	149.8/276	3340/1820
	2	0.503/0.503	151.5/231.4	151.4/230	150.8/232.2	150.8/230	3340/2190
	3	0.5/0.5	150.7/278	150.5/277.3	150.4/278	150.4/277.3	3320/1800

• Resistividad

Para definir el concepto de resistividad, es necesario definir inicialmente el concepto de resistencia eléctrica del concreto (R_e), que es la relación entre la diferencia de potencial (V) entre los electrodos y la intensidad de corriente (I) que circula por el interior de la probeta o testigo. (Norma española UNE 83988-1, 2008)

A través de la ley de Ohm se puede obtener la corriente directa que circula a través de un metal conductor sabiendo que es directamente proporcional al potencial aplicado e inversamente proporcional a la resistencia del conductor.

$$I = \frac{E}{R}$$

donde

I es la corriente medida en amperios

E es el potencial medido en voltios

R es la resistencia eléctrica medida en ohmios (Ω)

La resistividad eléctrica (ρ_e) (expresada en $\Omega.m$) se determina a partir de la medida volumétrica de la resistencia eléctrica (Ω). La (Norma española UNE 83988-1, 2008) define la resistividad como la resistencia eléctrica de la unidad de volumen del concreto. Es la inversa de la conductividad y se obtiene de la relación entre la diferencia de potencial y la intensidad de corriente referida a una geometría normalizada (cubo de 1m de arista). Se calcula a través de la siguiente expresión:

$$\rho_e = kR_e$$

Donde

ρ_e = resistividad eléctrica, en $\Omega.m$

k = constante de celda, en m

R_e = resistencia eléctrica del concreto en Ω

La constante de celda se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$k = \frac{S}{L}$$

donde

S = área de la cara de la probeta en la que se sitúa la esponja, en m^2

L = altura de la probeta, en m.

Inicialmente fue desarrollada en el campo de la geofísica y es una propiedad que refleja la capacidad de un medio poroso para el transporte de carga eléctrica en un volumen finito o semi-infinito.

Las técnicas de medida más empleadas son el método de las cuatro puntas o de Wenner, y el método de dos puntas que corresponden a medidas rápidas fáciles y económicas. En el método de Wenner se usan cuatro contactos (electrodos) igualmente espaciados y colocados en contacto con la superficie de concreto. Una pequeña corriente alterna es conducida entre los contactos externos. La diferencia de potencial obtenida entre los electrodos internos es medida. Esta técnica es muy simple, pero se ha demostrado que presenta grandes limitaciones.

La segunda técnica usada para determinar la resistividad del concreto es la de dos pines, basada en hacer pasar una corriente entre dos electrodos colocados sobre la superficie del concreto, midiendo el potencial entre ellos.

Estudios anteriores realizados por (Calleja 1960; Monfore 1968; McCarter and Ashfar 1988; Morris moreno et al 1966) tal como cita (Rebolledo, 2010) han demostrado que las propiedades eléctricas del concreto están directamente relacionadas con las características de la microestructura de la pasta y del concreto.

En un medio poroso como el concreto, la resistividad refleja la capacidad de transportar carga eléctrica en los iones disueltos en la fase acuosa del material en un determinado volumen, pudiéndose asumir los agregados como eléctricamente inertes ya que su resistividad resulta varios órdenes de magnitud superior a la de la solución porosa. De la misma manera es la resistividad en el concreto, es un parámetro que controla la velocidad de corrosión del acero embebido en este material.

Como indican los autores mencionados, “La resistividad eléctrica en corriente continua de un material poroso es proporcional a la movilidad de los iones en la porosidad conectada”, con lo cual se puede inferir como es la porosidad dentro de la estructura del concreto y que tan permeable puede ser. Adicionalmente “El factor de formación y la difusión de los iones en el medio poroso se pueden calcular a partir de la resistividad del material y la resistividad de la solución del poro”. Así las cosas conocida la resistividad del material se podría establecer criterios de afectación del acero de refuerzo dentro del concreto, toda vez que se puede calcular la difusión del ion cloruro que es responsable de la degradación de la estructura metálica del concreto como indica (Cruz. J.M. J, Landine. L. F, Lalinde y FITA. I.C, 2010). Igualmente se podría determinar cómo es la geometría de la porosidad del concreto y por consiguiente su permeabilidad, ya que la capacidad eléctrica del material está relacionada con dicha geometría.

La relación entre propiedades eléctricas y microestructura del concreto se basa en el desplazamiento y acumulación de la carga eléctrica. Los fenómenos eléctricos involucrados son: la corriente de iones en la solución de los poros, la acumulación de iones en las interfases

y la polarización de las moléculas. Este comportamiento eléctrico se cuantifica con la resistencia eléctrica en corriente continua y con la capacidad eléctrica (C). La resistencia eléctrica refleja la dificultad del movimiento de los iones en la solución de los poros conectados cuando se aplica un campo eléctrico. Es una propiedad macroscópica que nos permite calcular la resistividad ρ como el cociente entre resistencia eléctrica en corriente continua y el factor geométrico de la muestra.

La resistividad puede ser medida mediante el uso de una corriente AD o DC. El uso de esta última en elementos de concreto genera la polarización del electrolito y la formación de oxígeno e hidrógeno en los electrodos. Algunos investigadores sugieren el uso de corrientes AC antes que DC debido a la importante influencia electroquímica de la última. (Lizarazo, 2008)

Las condiciones internas de la microestructura del concreto, en cuanto al grado de saturación y temperatura, influyen fuertemente en la determinación de la resistividad eléctrica. Entre mayor sea el grado de saturación del concreto, mucho menor será la resistividad eléctrica de este material.

En cuanto a la temperatura, se observa que a mayor temperatura, aumenta la movilidad de iones, y por consiguiente disminuye la resistividad del hormigón (Hope Ip, et al. 1985) tal como cita (Rebolledo, 2010).

En la tabla 2-8, se presentan los criterios para evaluar el riesgo de corrosión del acero, en función de los valores de resistividad en la mezcla de concreto.

Tabla 2-8: Criterio general de valores de resistividad eléctrica del concreto para riesgo de corrosión

Valor [Ω -m]	Criterio
$\rho > 2000$	Poco Riesgo
$2000 > \rho > 100$	Riesgo Moderado
$\rho < 100$	Riesgo alto

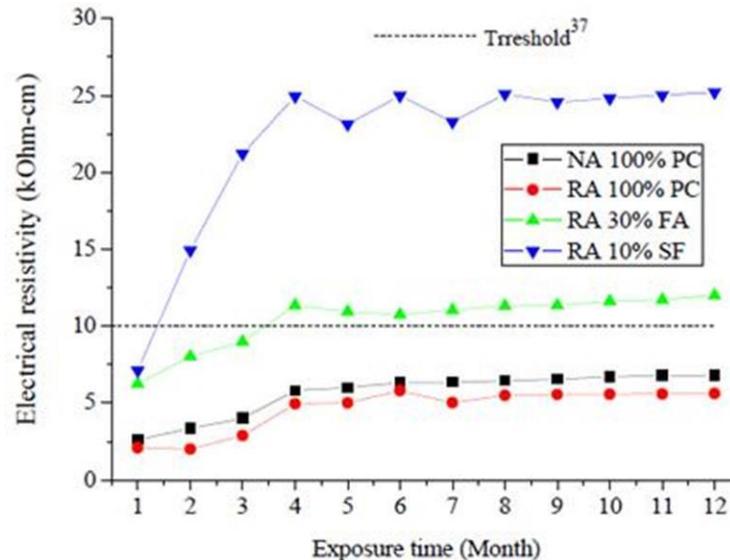
Para el caso de concretos con ACR, se ha encontrado que ellos tienen una microestructura diferente y una porosidad más alta que los concretos convencionales. La resistividad juega un papel importante en el análisis, ya que ella está relacionada con la microestructura de la matriz cementicia, la distribución de poros al interior del concreto y la tasa de corrosión en el acero de refuerzo. Por esta razón la resistividad eléctrica es empleada para evaluar la durabilidad del concreto. (R Corral Higuera, et al, 2011).

Dentro de las investigaciones realizadas, se encuentra la llevada a cabo por (R Corral Higuera, et al, 2011) quien realizó cuatro especímenes con una relación agua/cemento de 0,48. Las mezclas fueron realizadas con agregado natural y 100% de cemento Portland, 100% de ACR y 100% de cemento portland, 100% de ACR y 30% de cenizas volantes en reemplazo por el

cemento portland y 100% de ACR con 10% de humo de sílice en reemplazo por el cemento portland.

En la figura 2-3, se muestran los resultados obtenidos de resistividad del autor en mención:

Figura 2-3: Evolución de la resistividad eléctrica en función del tiempo. (R Corral Higuera, et al, 2011)



El autor indica que en la figura se puede apreciar que en los concretos con 100% de ACR se presentan incrementos de la conductividad eléctrica en el concreto, situación que es atribuida al incremento de porosidad que tienen los concretos con ACR por la presencia de las zonas de transición interfacial que facilitan la conducción iónica. De igual forma muestra los efectos positivos en el concreto al usar materiales cementantes complementarios como el humo de sílice y las cenizas volantes, demostrado en los altos valores de resistividad eléctrica obtenidos.

- **Espectrometría de impedancia**

Uno de los métodos no destructivos usados para relacionar las propiedades eléctricas con la microestructura es el de espectroscopia de impedancia eléctrica que consiste en medir la impedancia eléctrica en función de la frecuencia. Se trata de aplicar una corriente eléctrica de frecuencia variable mediante dos electrodos metálicos y medir su diferencia de potencial. La intensidad ha de ser pequeña para minimizar el efecto electroquímico. (Buozón Orgeira, 2011).

La impedancia eléctrica refleja la conductividad iónica en la fase húmeda del mortero. La magnitud de la conductividad así como su variación con la frecuencia, por tanto, nos darán información sobre la microestructura de porosidad como señala (Rebolledo, 2010).

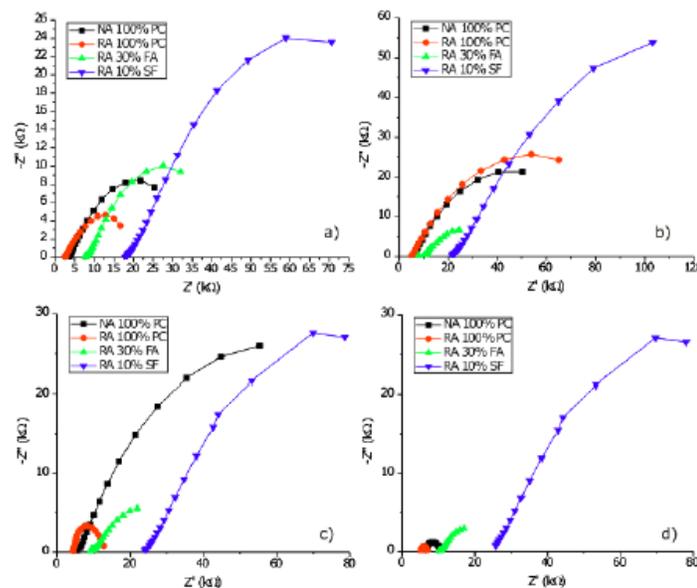
Las propiedades eléctricas del material en baja y media frecuencia (hasta el orden del MHz) indican como es el movimiento de iones en la solución de los poros y, por tanto, son función de la geometría de la porosidad.

Los ensayos de impedancia proporcionan mayor información con respecto al ensayo de resistividad al relacionar cada una de las frecuencias aplicadas en el ensayo que van desde Hz hasta MHz, con el valor de impedancia obtenido partiendo de las mediciones de respuesta de potencial, tiempo y corriente. La colección de estos valores se denomina espectro de impedancia, y se expresa mediante los gráficos de Nyquist o gráficos de Bode. Esta colección de valores junto con su representación gráfica, es propia para cada material, por lo cual con una muy buena base de datos de estos valores para diferentes mezclas de concreto, se podría identificar cuáles son las propiedades mecánicas y de durabilidad, basado en este ensayo. Adicionalmente estos gráficos pueden proporcionar información relacionada con la resistividad de la mezcla, la capacitancia y la inductancia.

Dentro de las investigaciones realizadas, se encuentra la llevada a cabo por (R Corral Higuera, et al, 2011), citada previamente, quien midió las propiedades dieléctricas y electroquímicas sistemas de concreto-acero, compuesto por especímenes cilíndricos de 30cm de altura y 15 cm de diámetro reforzado con dos barras de acero de 0,95 cm de diámetro con un área expuesta de 64cm^2 a edades de 3, 6, 9 y 12 meses, representadas en diagramas de Nyquist. Los diagramas obtenidos por (R Corral Higuera, et al, 2011), son los que se muestran en la figura 2-4.

Adicionalmente se encuentra la investigación de (Cassiano, 2010), quien encontró que las mezclas con adiciones tienen un valor de resistencia muy superior a las mezcla de control, concluyendo que las adiciones alteran las propiedades eléctricas del concreto, posiblemente por el cambio de la microestructura y la composición química de la mezcla.

Figura 2-4: Diagrama de Nyquist para sistemas acero-concreto a diferentes edades: a) 3 meses, b) 6 meses, c) 9 meses y d) 12 meses.



El autor concluye que los concretos con 100% de ACR y 100% de cemento portland presentan los valores más bajos de resistencia eléctrica de 1,22 a $3,30 \times 10^2 \text{ k}\Omega\text{-cm}^2$ lo que indica que el uso de concreto con 100% de ACR aumenta la conductividad eléctrica en los concretos. Sin embargo, cuando el cemento es reemplazado por cenizas volantes y humo de sílice la resistencia eléctrica se incrementa de manera significativa, (disminuye la conductividad eléctrica).

2.6 Investigaciones recientes realizadas en Colombia.

En el país por el desconocimiento de que se pueda elaborar concreto de buena calidad con material reciclado, por ausencia de normas técnicas colombianas que consideren los agregados reciclados como componente del concreto y por la falta de un marco jurídico que promueva el uso de concreto reciclado, no se han hecho intentos para reciclar materiales (Torres, Quiroga, 2010).

Por tal razón y teniendo en cuenta que la información disponible en el país proviene de estudios aislados y de alcance limitado, el Grupo de Investigación en Comportamiento Estructural de la Escuela Colombiana de Ingeniería, inició en el año 2009 un proyecto de alcance amplio para estudiar el efecto de variables tales como el contenido y tipo de agregados reciclados, relación agua-cemento y durabilidad (permeabilidad, absorción, resistencia a sulfatos, cloruros y carbonatación).

Adicionalmente se montó una planta piloto de reciclaje (ver figura 3-1) para utilizar escombros de ladrillo y concreto que resultan de las actividades de construcción y demolición dentro del campus y el laboratorio de la Escuela Colombiana de Ingeniería, con el propósito de realizar proyectos demostrativos que permitan ver el uso de concreto con agregados reciclados en la realidad, reducir la cantidad de escombros que la Escuela envía a las escombreras de la ciudad y demostrar a la comunidad, constructores, funcionarios y legisladores que es técnica y económicamente factible producir concreto de buena calidad con agregados reciclados.

Dentro de los trabajos de investigación desarrollados en los últimos 5 años en el país se encuentran los siguientes desarrollados en la Escuela Colombiana de Ingeniería “Julio Garavito”:

(Pinzón, 2009), en su trabajo de grado denominado “Valoración de Algunas Propiedades del Concreto Adicionado con Vidrio Pulverizado”, realizó una evaluación de las propiedades del concreto en estado endurecido, al adicionar vidrio pulverizado al concreto en cuatro porcentajes diferentes según peso del cemento (0%, 5%, 10% y 15%). Como resultado se obtuvo que el asentamiento del concreto disminuyó con el aumento de la dosis de vidrio. Todas las mezclas con alguna adición de vidrio (5, 10 y 15 %) presentaron menor resistencia respecto a la muestra patrón. Desde el punto de vista de durabilidad la adición en una mezcla

de concreto de 15% de vidrio pulverizado resulta favorable, ya que se disminuye la retracción y sus posibles efectos por el menor contenido de cemento portland. El módulo de elasticidad calculado según la norma NTC 4025 se incrementó a los 56 días, en todas las mezclas con adición de vidrio pulverizado en comparación con la mezcla patrón

(Fuertes, 2012), en su trabajo Hacia un Desarrollo sostenible en la Producción de Concreto a partir de Desechos de Construcción de Mampostería de Arcilla, evaluó mediante ensayos de laboratorio algunas propiedades de probetas elaboradas a base de concreto con contenido reciclado producto del aprovechamiento del desecho de mampostería de arcilla, concluyendo que como solución al manejo integral de los RCD, es posible aprovechar el material de desecho de arcilla en concretos no estructurales, bloques y adoquines de uso normal.

(Bojacá, 2013), en el trabajo de investigación denominado propiedades mecánicas y de durabilidad de concretos con agregados reciclados elaboró tres diferentes mezclas de concreto con ACR, con porcentajes de reemplazo del 0% (M1), 20% (M2) y 40% (M3) y una relación agua cemento de 0,5. En los ensayos encontró que el comportamiento del agregado reciclado comparado con el agregado natural, presenta mayor absorción, menor densidad (aparente y nominal), menor coeficiente de forma y mayor resistencia al desgaste en la máquina de Los Ángeles y Micro Deval.

En cuanto a las propiedades mecánicas encontró que el concreto con el 20% de reemplazo de agregado grueso reciclado, tuvo mayor resistencia a la compresión que el obtenido en el concreto convencional y los concretos con porcentajes de reemplazo de 20% y 40%. El módulo de elasticidad a los 3 y 28 días para el concreto reciclado fue menor que el módulo de elasticidad del concreto convencional y tiene tendencia a disminuir en la medida que se aumenta el porcentaje de reemplazo de agregado grueso reciclado en el concreto. En cuanto al módulo de rotura en el concreto con 20% de reemplazo de agregado reciclado tuvo un comportamiento similar al del concreto convencional.

En cuanto la durabilidad encontró que la permeabilidad a la penetración del ion cloruro en concretos reciclados y convencionales tuvieron una clasificación moderada. Adicionalmente se observó que el concreto convencional, fue el que transmitió mayor carga seguido del concreto reciclado. Adicionalmente el concreto reciclado tuvo menor penetración del frente de carbonatación calificando como concreto de calidad buena, entre tanto, el concreto convencional calificó como de calidad regular. En relación con la tasa inicial de absorción (ISAT) tanto el concreto reciclado como convencional calificaron como concretos de permeabilidad de absorción media, según la International Atomic Energy Agency, IAEA. La sortividad según la clasificación sugerida por GÓMEZ J. (2011), se cataloga como de calidad buena, tanto para el concreto convencional como reciclado. Los resultados en cuanto a sulfatos, no mostraron diferencias significativas tanto en el concreto convencional como reciclado.

En los ensayos de carbonatación se encontró que el concreto con reemplazo de agregado grueso del 20%, fue el que mejor se comportó. El frente de carbonatación para los concretos

reciclados M2 y M3, estuvo por debajo 44% y 31%, respectivamente comparados con el concreto convencional. Sin embargo hace la salvedad que los resultados obtenidos en este parámetro, difieren de otras investigaciones realizadas.

(Arriaga, 2013), en el trabajo de investigación denominado Utilización de agregado grueso de concreto reciclado en elementos estructurales de concreto reforzado, elaboró mezclas de concretos convencionales y mezclas de concreto con ACR con un porcentaje de reemplazo del 20% de este agregado, para evaluar el comportamiento estructural de vigas continuas, placas apoyadas en tres bordes, vigas altas y ménsulas. De manera general, se comprobó que para una sustitución del 20% del agregado grueso por agregado de concreto reciclado, se obtienen comportamientos satisfactorios desde el punto de vista de resistencia mecánica y las diferencias entre el concreto convencional y el concreto con agregado de concreto reciclado no son significativas, permitiendo su utilización en diversos tipos de elementos estructurales sin acarrear consecuencias negativas en contra de la seguridad.

3 Programa experimental

El procedimiento seguido en el presente estudio, inició con la trituración de probetas de concretos de diferentes ensayos llevados a cabo en los laboratorios de la Escuela Colombiana de Ingeniería "Julio Garavito". En la figura 3-1 se muestra la máquina usada para la trituración de las probetas de concreto. Los ACR producidos en la Universidad provenían de concretos de diferentes características y estos mismos fueron usados en la presente investigación. Se realizaron en total 8 mezclas de concreto, con dos relaciones agua-cemento (0,5 y 0,6) y cuatro diferentes contenidos de ACR (0%, 25%, 50% y 100%), realizando ensayos a edades de 3, 7, 28 y 90 días. El curado de los especímenes se realizó bajo inmersión en agua. (Ver figura 3-3).

Figura 3-1: Trituradora de la Escuela Colombiana de Ingeniería "Julio Garavito"



En la figura 3-2, se observan los agregados de concreto reciclado usados en todas las mezclas de concreto que hicieron parte del presente estudio.

Figura 3-2: Agregado de concreto reciclado usado en los ensayos



En la figura 3-3, se observa el método de curado para los especímenes de concreto usados en la presente investigación

Figura 3-3: Curado de especímenes de concreto



3.1 Caracterización de los materiales de las mezclas

Se realizaron ensayos sobre los agregados a emplear en las diferentes mezclas de concreto como se indica a continuación:

- **Gravilla natural de ¾"**

Peso unitario: Norma ASTM C 29-78

Peso unitario suelto= 1036 Kg/m³

Peso unitario compactado= 1494 Kg/m³

Densidad y absorción: Norma ASTM C 128-84

Densidad aparente= 2.338 g/cm³

Densidad nominal= 2.600 g/cm³

Absorción= 4.3%

Granulometría: Norma ASTM C 136 – 84a y C117-87

En el anexo 9, se presente la curva granulométrica para la gravilla de ¾"

- **Arena**

Peso unitario: Norma ASTM C 29-78

Peso unitario suelto= 1568 Kg/m³

Peso unitario compactado= 1742 Kg/m³

Densidad y absorción: Norma ASTM C 128-84

Densidad aparente= 2,593 g/cm³

Densidad cond. Saturada y seca=	2,633 g/cm ³
Densidad nominal=	2.700 g/cm ³
Absorción=	1.5%

Contenido de materia orgánica: Norma ASTM C 40 – 84

Resultado= Coloración No. 1

Granulometría: Norma ASTM C 136 – 84a y C117-87

En el anexo 9, se presente la curva granulométrica para la arena usada en los ensayos

- **Concreto triturado**

Peso unitario: Norma ASTM C 29-78

Peso unitario suelto=	1135 Kg/m ³
Peso unitario compactado=	1295 Kg/m ³

Densidad y absorción: Norma ASTM C 128-84

Densidad aparente=	2,107 g/cm ³
Densidad nominal=	2.635 g/cm ³
Absorción=	9.5%

Resistencia a la abrasión: Norma NTC-98 (ASTM C131)

Tabla 3-1: Resistencia a la abrasión de los ACR usados en los ensayos

Gradación usada	A
No. de esferas	12
No. de revoluciones	500
Peso inicial (g)	5000
Peso final (g)	3422
Pérdida (g)	1578
% de Desgaste	31.6

Granulometría: Norma ASTM C 136 – 84a y C117-87

En el anexo 9, se presente la curva granulométrica para el concreto triturado usado en los ensayos

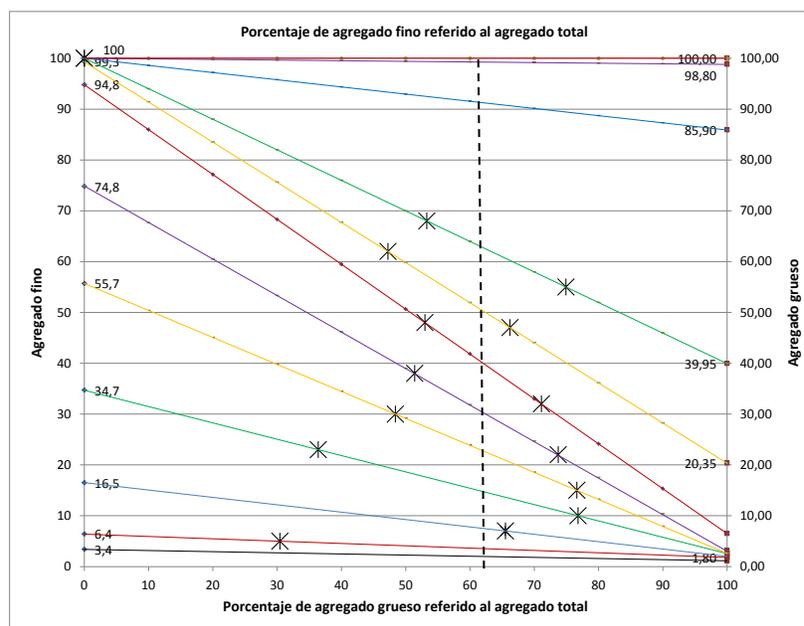
- **Cemento (Portland):** Cemex Tipo Estructural en bolsas de 42,5 kg.

Consistencia normal: Norma NTC 110 (ASTM C 187), Finura: Norma NTC 33 (ASTM C204),
Densidad: Norma NTC 221 (ASTM C 188), Tiempos de fraguado: Norma (NTC 110)

3.2 Diseño de mezclas para ensayos

Para el diseño de mezclas para la presente investigación, se usó la metodología de la ACI 211.1. La granulometría de los agregados para las diferentes mezclas de concreto fue optimizada siguiendo la metodología propuesta por Fuller y Thompson, que consiste en la combinación de los agregados de tal forma, que la granulometría del conjunto se adapte lo más cercanamente posible a la curva ideal con la que se obtenga una trabajabilidad y densidad adecuada. En la figura 3-4 se presenta el método gráfico usado para la optimización de los agregados de la mezcla ACR3-50 (50% ACR A/C=0,5) donde se obtuvo una combinación de 62% de agregado grueso y 38% de agregado fino.

Figura 3-4: Combinación de agregados para mezcla ACR3-50 según metodología de Fuller y Thompson



Como dato de partida para el diseño, se estableció un asentamiento de 80 mm para el diseño de todas las mezclas y dos relaciones agua cemento (0,5 y 0,6). La resistencia de diseño estimada para las mezclas de A/C= 0,5 fue de 28MPa y las de A/C=0,6 de 21 MPa.

Se elaboraron 8 mezclas diferentes de concreto. ↓ Para cada mezcla se ensayaron tres muestras con el fin de obtener resultados representativos.

En la tabla 3-2 se muestra la nomenclatura de cada una de las mezclas usadas en el presente estudio.

Tabla 3-2: Mezclas usadas en la investigación

Mezcla	% de agregado reciclado.	Relación A/C
AN 1-0	0%	0,50
ACR 2-25	25%	0,50
ACR 3-50	50%	0,50
ACR 4-100	100%	0,50
AN 5-0	0%	0,60
ACR 6- 25	25%	0,60
ACR 7- 50	50%	0,60
ACR 8-100	100%	0,60

Para los ensayos de resistividad, capacitancia e inductancia (según la Norma española UNE 83988-1) se realizaron ensayos a edades de 28 y 90 días mediante dos metodologías diferentes (Resistividad eléctrica y espectrometría de impedancias).

Para los ensayos de resistencia a la compresión y módulo de elasticidad (según la Norma NTC 673 y NTC 4025) se realizaron ensayos a edades de 3, 7, 28 y 90 días por cada mezcla.

Para la medición de velocidad de pulso ultrasónico (según la Norma NTC 4325) se realizaron ensayos a una edad de 3, 7, 28 y 90 días.

Para la medición de permeabilidad al Ion Cloruro (ASTM C1202-12: "Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration"), carbonatación y sortividad (ASTM C1585-11: "Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes"), se realizaron ensayos a edades de 28 y 90 días.

Con los resultados obtenidos de los ensayos previos para el análisis final, se correlacionaron las propiedades mecánicas y de durabilidad con las propiedades eléctricas del material para los diferentes ensayos realizados.

En las tablas 3-3 a la 3-6, se muestran los diseños de mezcla para las mezclas AN1-0, ACR2-25, AN5-0 y ACR6-25 objeto de análisis. El resto de diseños de mezcla se puede apreciar en el anexo 1. Las cantidades indicadas son para 1m³.

Tabla 3-3: Diseño de mezcla AN1-0 (0%ACR - A/C=0,5)

MATERIAL	PESO (Kg/m³)	DENSIDAD (Kg/m³)	VOLUMEN (M³/M³)	AJUSTES POR HUMEDAD (Kg/m³)
Cemento	400	3100	0,1290	400
Aire	0	0	0,02	0
Agua	200	1000	0,2	193,33
Grava	840	2439	0,344	832,97
Arena	807	2633	0,307	820,87
Aditivos				
TOTAL	2247		1,00	

Tabla 3-4: Diseño de mezcla ACR2-25 (25% ACR - A/C=0.5)

MATERIAL	PESO (Kg/m ³)	DENSIDAD (Kg/m ³)	VOLUMEN (M ³ /M ³)	AJUSTES POR HUMEDAD (Kg/m ³)
Cemento	400	3100	0,129	400
Aire	0	0	0,015	0
Agua	200	1000	0,2	207,65
Comb. Grava 3/4" 75%, ACR 25%	971	2310,0	0,420	944
Arena	621	2633	0,236	640
Aditivos				
TOTAL	2191		1,0	

Tabla 3-5: Diseño de mezcla AN5-0 (0%ACR- A/C=0,6)

MATERIAL	PESO (Kg/m ³)	DENSIDAD (Kg/m ³)	VOLUMEN (M ³ /M ³)	AJUSTES POR HUMEDAD (Kg/m ³)
Cemento	325	3100	0,1048	325
Aire	0	0	0,02	0
Agua	195	1000	0,195	174,55
Grava	878	2439	0,360	872,35
Arena	843	2633	0,320	869,15
Aditivos				
TOTAL	2241		1,00	

Tabla 3-6: Diseño de mezcla ACR6-25 (25%ACR - A/C=0,6)

MATERIAL	PESO (Kg/m ³)	DENSIDAD (Kg/m ³)	VOLUMEN (M ³ /M ³)	AJUSTES POR HUMEDAD (Kg/m ³)
Cemento	325	3100	0,105	325
Aire	0	0	0,015	0
Agua	195	1000	0,195	198,97
Comb. Grava 3/4" 75%, ACR 25%	1014	2310,0	0,439	1001
Arena	648	2633	0,246	658
Aditivos				
TOTAL	2182		1,0	

3.3 Elaboración de mezclas para ensayos

Una vez realizados los diseños de mezclas, se procedió a conformar las probetas necesarias para efectuar los ensayos de laboratorio. Se realizaron en total de 105 probetas de 100 mm x 200 mm para los ensayos de resistividad, impedancia, velocidad de pulso ultrasónico, resistencia a la compresión, módulo de elasticidad, permeabilidad al ion cloruro y sortividad y 24 probetas de 75 mm x 150 mm para los ensayos de carbonatación. Para cada ensayo se

realizaron en total tres repeticiones. En la figura 3-5, se muestra las probetas realizadas para la mezcla AN5-0.

Figura 3-5: Probetas obtenidas para la mezcla AN5-0 (0%ACR - A/C=0,6)



En estado plástico se llevaron a cabo ensayos de asentamiento con el fin de verificar la manejabilidad del concreto para las diferentes mezclas estudiadas. En la figura 3-6 se presenta el ensayo de asentamiento practicado a la mezcla AN5-0.

Figura 3-6: Ensayo de asentamiento en la mezcla AN5-0



3.4 Ensayos sobre especímenes elaborados con las mezclas de concreto.

3.4.1 Ensayos de resistencia a la compresión y módulo de elasticidad.

El ensayo de resistencia a la compresión se realizó de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC-673, ASTM C39. Los cilindros para los ensayos fueron de 100 x 200 mm para todas las mezclas. Se ensayaron en total cuatro (4) edades: 3, 7, 28 y 90 días, tres muestras por cada edad. Para el ensayo se utilizó una prensa hidráulica de 200 toneladas (Ver figura 3-7).

Figura 3-7: Prensa hidráulica para ensayos de resistencia a la compresión



3.4.2 Ensayos de módulo de elasticidad.

El presente ensayo se realizó según la Norma Técnica Colombiana NTC 4025, ASTM-C469. Se hizo sobre cilindros de concreto de dimensiones de 100 x 200 mm, para cuatro (4) edades: 3, 7, 28 y 90 días, se usaron deformímetros de precisión de 10^{-2} mm (Ver figura 3-8).

Figura 3-8: Ensayo de módulo de elasticidad sobre la mezcla ACR6-25



3.4.3 Ensayos de velocidad de pulso ultrasónico

El ensayo de velocidad de pulso ultrasónico (UPV) se realizó bajo los parámetros de la Norma Técnica Colombiana NTC 4325, sobre cilindros de concreto de dimensiones 100 x 200 mm, para las diferentes mezclas y edades. Este ensayo mide el tiempo de propagación que tarda en viajar una onda entre dos puntos de referencia. La figura 3-9 muestra el montaje del ensayo practicado sobre cilindros de la mezcla ACR3-50.

Figura 3-9: Ensayo de velocidad de pulso ultrasónico



3.4.4 Ensayos de permeabilidad al ion cloruro

Para la presente investigación se siguió la metodología contemplada en la norma técnica ASTM C1202-12 “Standard test Method for Electrical Indication of Concrete’s Ability to Resist Chloride Ion Penetration”. Este ensayo permite determinar la mayor o menor facilidad que ofrece el concreto al paso de corriente eléctrica con un diferencial de potencial de 60 voltios. La edad de ensayo para cada uno de los especímenes de concreto fue de 28 y 90 días.

Se utilizaron 48 rodajas de concreto de 100 x 50 mm, cortados de la parte superior del cilindro de concreto para todos los ensayos. Para el acondicionamiento de los especímenes de ensayo, cada rodaja fue sellada en el perímetro con Sikadur 32, introducida 1 día en agua destilada y luego introducidas en la cámara desecadora por un tiempo de 18 ± 2 horas. Posteriormente se introdujeron en el equipo de ensayo incorporando un tipo de solución compuesta por Cloruro de Sodio (NaCl) al 3%, y una solución de Hidróxido de Sodio (NaOH) de 0.3 M. La duración total del ensayo fue de seis (6) horas, tiempo en el cual se hizo el registro de la información. En la figura 3-10 se presenta el montaje del ensayo en el cual se ensayaron simultáneamente tres rodajas por cada mezcla.

Figura 3-10: Montaje de ensayo de permeabilidad al ion cloruro



3.4.5 Ensayos de carbonatación

Teniendo en cuenta que el proceso de carbonatación es un proceso lento, se utilizó una cámara de carbonatación acelerada con el objetivo de exponer los especímenes de concreto a un ambiente con mayor concentración de CO_2 (4%) y, posteriormente medir el avance del frente de carbonatación. Se utilizaron 48 cilindros de concreto de 75 x 150 mm (dos para cada mezcla de la mezcla AN1-0 a la mezcla ACR8-100). Una vez las probetas cumplían las edades de ensayo a 28 y 90 días, era sacadas de la piscina de curado, sus caras impermeabilizadas con SIKAFILL 5 hasta su secado y posteriormente ingresadas a la cámara de carbonatación. En la figura 3-11 se muestra la cámara de carbonatación usada para el ensayo en mención, así como los cilindros de concreto de 75 mm x 150 mm al costado izquierdo de la cámara usados en el presente estudio.

Figura 3-11: Cilindros de concreto de 75mm x 150 mm en cámara de carbonatación



El frente de carbonatación fue evaluado en cada cilindro de concreto a las 5 semanas, y 15 semanas de duración de la probeta dentro de la cámara de carbonatación.

En la figura 3-12, se presenta una fotografía del ensayo de carbonatación realizado a una edad de 5 semanas para el espécimen de la mezcla ACR2-25.

Figura 3-12: Fotografía ensayo de carbonatación sobre espécimen de la muestra ACR2-25.



3.4.6 Ensayos de sortividad

El método de ensayo es usado para determinar la tasa de absorción de agua, mediante la medición del incremento en la masa de un espécimen en el tiempo, que resulta de la absorción de agua cuando una de sus caras está en contacto con el agua. Este ensayo se realizó de acuerdo con la Norma Técnica ASTM C 1585-11 "Standard Test Method for measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes", usando rodajas de dimensiones de 100 mm de diámetro y 50 mm de altura, las cuales fueron tomadas de la sección intermedia de cilindros de 100 x 200 mm. Es importante aclarar que de cada cilindro de concreto se extraían 3 rodajas, de las cuales la más superficial se usó para el ensayo de permeabilidad al ion cloruro, la rodaja intermedia para el ensayo de sortividad y la rodaja de la parte inferior del cilindro para los ensayos de resistividad e impedancia. Las probetas se colocaron en un desecador para controlar la humedad relativa. En la figura 3-13, se muestra el montaje del ensayo.

Figura 3-13: Montaje del ensayo de sortividad



3.4.7 Ensayos resistividad e impedancia

Una vez se obtuvieron los especímenes de ensayo mediante el corte de rodajas de 100mm x 50 mm de los cilindros de concreto, se procedió a realizar ensayos de resistividad y espectrometría de impedancias a 28 y 90 días, para tres muestras de cada mezcla por cada edad.

El ensayo de resistividad fue realizado según la norma española de durabilidad del concreto (UNE 83988-1). Se utilizaron 48 rodajas de concreto de 100 x 50 mm, cortados de la parte inferior del cilindro de concreto para todos los ensayos.

En la figura 3-14 se muestra el montaje usado para el ensayo de resistividad, practicado en los laboratorios de la facultad de Ingeniería eléctrica de la Escuela Colombiana de Ingeniería "Julio Garavito".

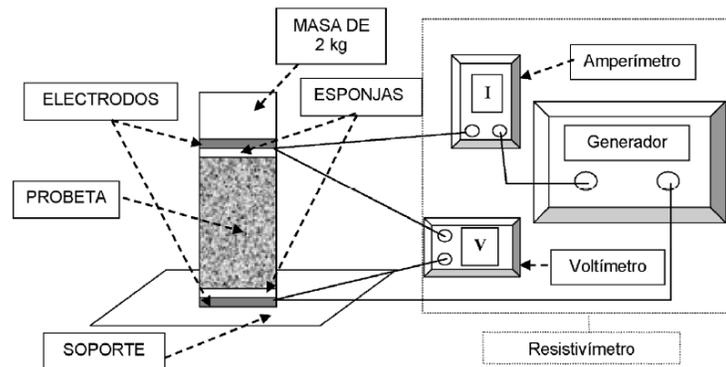
Figura 3-14: Montaje de ensayo de resistividad según norma UNE 83988-1



El ensayo consiste en la medida de la resistencia eléctrica del concreto endurecido por el método directo al aplicar un campo eléctrico uniforme mediante dos electrodos en contacto con la bases de la probeta.

En la figura 3-15 se presenta el esquema para la medida de la resistividad por el método directo. La masa de 2 kg indicada en el esquema sobre el electrodo, no fue usada en el montaje del ensayo, ya que cada electrodo tenía una masa de 2,917 kg y esta masa es simulada con el propio peso del electrodo.

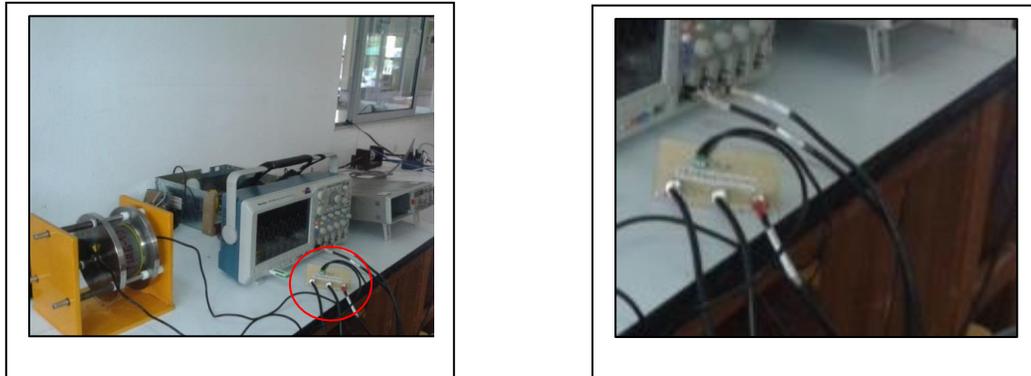
Figura 3-15: Esquema de medida de la resistividad por el método directo



Concluido en ensayo de resistividad y haciendo uso de las mismas rodajas se procedió a realizar el ensayo para evaluar la espectrometría de impedancias. Para tal efecto, se usó una adaptación al ensayo indicado la Norma Española de Durabilidad del Concreto (UNE 83988-1). La adaptación para el montaje del ensayo, fue tomada del proyecto desarrollado por el Ingeniero Juan Carlos Cassiano Fernández en su proyecto de grado denominado “Valoración de propiedades eléctricas y su correlación con algunas propiedades mecánicas y de durabilidad”, teniendo en cuenta que no se cuenta con una norma técnica que indique el uso de este ensayo para evaluar las propiedades eléctricas del concreto.

La metodología consistió en aplicar por medio de dos electrodos diferentes frecuencias de forma directa a las rodajas de concreto de 100 mm x 50mm curados en inmersión en agua, mediante dos electrodos metálicos colocados en una capsula y ubicados en las caras opuestas del cilindro. La finalidad de la capsula, es aplicar una carga aproximada de dos kilos, mediante la presión de unos resortes. En la figura 3-16 se presenta el montaje del ensayo en mención en donde se observa el osciloscopio empleado, el generador, los electrodos y la rodaja de concreto ensayada.

Figura 3-16: Montaje del ensayo de espectrometría de impedancias



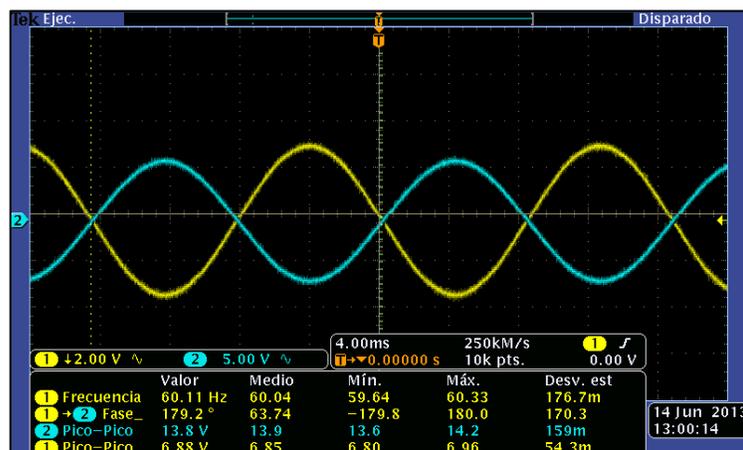
Las frecuencias que se aplicaron mediante un Generador de Ondas, son las siguientes: 60Hz, 600Hz, 1E3Hz, 6E3Hz, 8E3Hz, 10E3Hz, 20E3Hz, 30E3Hz, 40E3Hz, 50E3Hz, 60E3Hz, 70E3Hz, 80E3Hz, 90E3Hz, 100E3Hz, 200E3Hz, 300E3Hz, 400E3Hz, 500E3Hz, 600E3Hz, 700E3Hz, 800E3Hz, 900E3Hz, 1MHz, 2MHz, 3MHz, 4MHz, 5MHz, 6MHz y 6.5MHz. Se aplicaron las mismas frecuencias usadas en el trabajo de investigación denominado “VALORACIÓN DE PROPIEDADES ELÉCTRICAS DEL CONCRETO Y SU CORRELACIÓN CON ALGUNAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DE DURABILIDAD” llevado a cabo en la Escuela Colombiana de Ingeniería “Julio Garavito” (Cassiano, 2010).

En la figura 3-15 se puede observar en la tarjeta el uso de una resistencia eléctrica para la ejecución del ensayo. Las resistencias usadas fueron del orden de 450 ohmios y del mismo orden de magnitud de la resistencia eléctrica de la rodaja del concreto medida en el ensayo de resistividad. Esto con el fin de reducir la generación de ruido y distorsión en las ondas que traería inconvenientes a la hora de la medición de los ángulos de fase y amplitud de las ondas.

Al aplicar las frecuencias, se tomaban tres veces los datos del pico de voltaje para las ondas de corriente y de potencial generadas en el osciloscopio y el ángulo de desfase entre dichas ondas. Las mediciones indicadas se realizaron para cada frecuencia de ensayo.

En la figura 3-17 se muestra un pantallazo obtenido del osciloscopio de donde se tomaban los datos descritos previamente.

Figura 3-17: Ondas de voltaje y de corriente generadas por el osciloscopio



En la tabla 3-7 se muestra un ejemplo de los datos obtenidos por cada ensayo realizado a las muestras.

Tabla 3-7: Tabulación de datos para el ensayo de espectrometría de impedancias

	CH1 TENSION (V)					CH2 TENSION (V)					TIEMPO FASE				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Frecuencia (Hz)	Pico 1 (V)	Pico 1 (V)	Pico 1 (V)	Pico 1 (V)	Pico 1 (V)	Pico 2 (V)	Pico 2 (V)	Pico 2 (V)	Pico 2 (V)	Pico 2 (V)					
60	6,64	6,72	6,64	6,64	6,64	13,6	13,60	13,60	13,80	13,60	178,90	177,30	177,40	179,60	-179,90
600	6,96	6,88	6,88	6,8	6,88	13,8	13,60	13,60	13,80	13,80	-175,20	-178,40	-178,40	-177,70	-176,50
1000	6,96	6,88	6,88	6,96	6,96	13,6	13,80	13,60	13,60	13,60	-179,20	-176,20	-178,80	-179,90	179,00
6,00E+03	7,04	7,12	7,12	7,12	7,12	13,8	13,60	13,80	13,60	13,60	-178,50	-179,70	-179,90	-176,90	-177,60
8,00E+03	7,12	7,12	7,12	7,12	7,12	13,8	13,60	13,60	13,60	13,60	-176,00	-178,70	-178,20	178,30	-178,30
1,00E+04	7,2	7,12	7,04	7,04	7,2	13,6	13,60	13,80	13,80	13,80	-178,80	-178,00	-179,10	-178,90	178,50
2,00E+04	7,28	7,2	7,2	7,2	7,2	13,6	13,60	13,60	13,60	13,80	179,30	-179,70	178,80	-179,10	179,80
3,00E+04	7,2	7,12	7,2	7,2	7,2	13,6	13,80	13,60	13,80	13,80	178,60	-179,30	179,30	-179,90	-178,10
4,00E+04	7,12	7,2	7,12	7,12	7,28	13,6	13,60	13,40	13,60	13,60	178,40	178,50	-179,20	179,50	-178,90
5,00E+04	7,12	7,12	7,28	7,2	7,12	13,6	13,80	13,60	13,40	13,40	179,60	-179,60	178,90	-178,90	174,90
6,00E+04	7,2	7,2	7,28	7,2	7,2	13,6	13,60	13,60	13,40	13,60	179,40	-179,80	178,50	179,00	-178,30
7,00E+04	7,2	7,2	7,2	7,12	7,2	13,6	13,60	13,60	13,60	13,60	178,30	-178,20	-177,70	179,50	-179,90
8,00E+04	7,2	7,2	7,2	7,12	7,12	13,6	13,60	13,60	13,60	13,60	-179,90	178,70	178,50	178,50	178,50
9,00E+04	7,2	7,28	7,2	7,28	7,28	13,6	13,60	13,60	13,60	13,60	179,40	177,70	-178,10	-179,10	179,10
1,00E+05	7,28	7,2	7,28	7,2	7,2	13,6	13,60	13,40	13,60	13,60	177,50	-179,70	-178,60	179,40	178,60
2,00E+05	7,28	7,28	7,44	7,28	7,44	13,6	13,80	13,60	13,60	13,80	178,90	177,70	178,90	179,80	178,90
3,00E+05	7,36	7,36	7,44	7,36	7,36	13,6	13,60	13,60	13,60	13,60	179,10	174,00	179,30	178,90	179,00
4,00E+05	7,36	7,52	7,44	7,36	7,36	13,8	13,60	13,60	13,60	13,60	176,70	178,40	179,40	179,00	176,40
5,00E+05	7,44	7,52	7,44	7,36	7,36	13,8	13,60	13,60	13,60	13,60	178,80	179,10	178,30	176,80	176,80
6,00E+05	7,44	7,44	7,52	7,44	7,52	13,8	13,60	13,40	13,80	13,60	173,00	174,70	174,10	172,70	175,80
7,00E+05	7,52	7,44	7,44	7,44	7,52	13,8	13,60	13,40	13,80	13,40	-177,60	-178,40	-177,60	-176,90	-177,90
8,00E+05	7,44	7,6	7,52	7,6	7,52	13,6	13,80	13,80	13,60	13,40	174,10	175,00	173,70	173,20	176,20
9,00E+05	7,52	7,44	7,44	7,52	7,52	14	13,80	13,60	13,40	13,40	-178,30	-177,80	-177,00	-179,40	-176,80
1,00E+06	7,52	7,52	7,52	7,6	7,44	13,8	13,60	13,60	13,60	13,80	-177,80	-179,50	-178,90	-177,90	-179,50
2,00E+06	7,52	7,52	7,44	7,68	7,6	13,2	13,20	13,60	13,40	13,40	178,50	-179,70	179,60	-177,90	179,50
3,00E+06	7,44	7,44	7,44	7,44	7,44	13	13,20	13,20	13,40	13,20	175,70	177,10	177,50	177,40	177,20
4,00E+06	7,28	7,28	7,36	7,2	7,36	12,8	12,80	12,80	12,80	12,80	174,70	173,20	175,40	175,00	176,10
5,00E+06	7,04	7,12	7,12	7,12	7,28	12,6	12,60	12,40	12,40	12,60	171,40	168,80	171,00	170,40	169,60
5,69E+06	6,8	6,8	6,8	6,88	6,88	12	12,00	12,20	12,00	12,20	170,30	164,70	164,00	164,90	166,00

Nótese que para los canales de lectura CH1 y CH2, las lecturas están expresadas en voltios. Se debe aclarar, que la tensión aplicada al sistema, corresponde al valor mayor de lectura de tensiones de las obtenidas en los canales CH1 y CH2. Por tal motivo el valor de corriente se obtiene al aplicar la siguiente ecuación:

$$I = \frac{E}{R}$$

donde:

I = Corriente

E = Potencial menor de las lecturas para CH1 y CH2

R = Resistencia generada por el equipo de lectura, la cual es una constante de 100 ohmios

4 Resultados y análisis

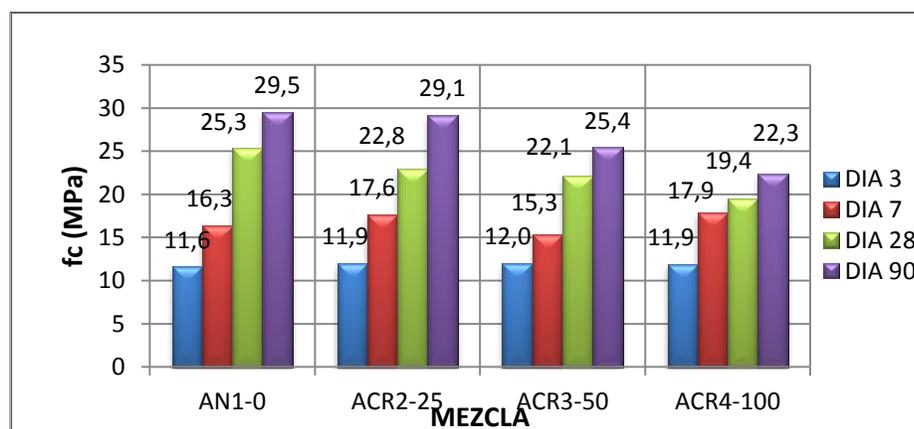
4.1 Propiedades mecánicas del concreto con ACR

4.1.1 Resistencia a la compresión

En la Figura 4-1 se muestran los resultados de resistencia a la compresión para las mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100 con una relación agua/cemento de 0,5. Se puede apreciar en el gráfico que a medida que aumenta el porcentaje de ACR en la mezcla, se observa una reducción en la resistencia a la compresión del concreto, similar a la encontrada en otras investigaciones.

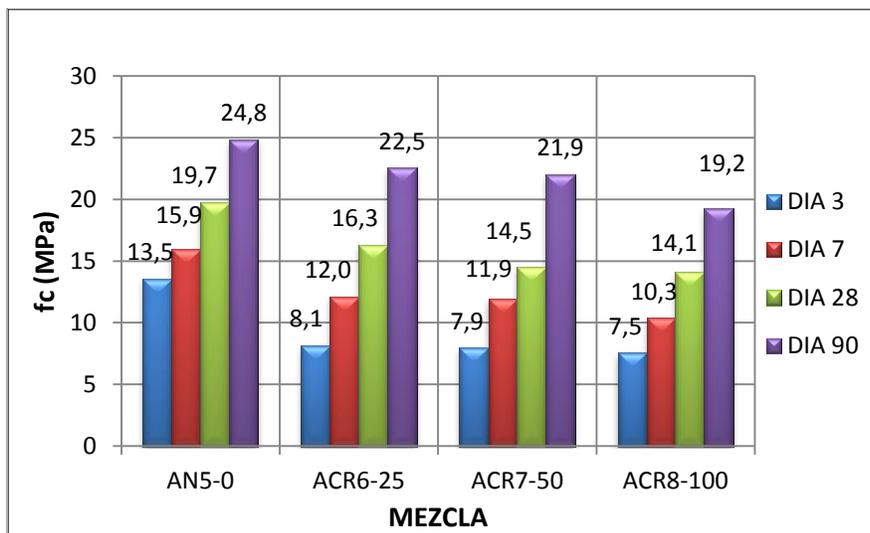
Estos resultados coinciden con lo encontrado por (Kang, Kim, Kwak, & Hong, 2012), quienes estudiaron diferentes mezclas con relación agua/cemento=0,5 y con porcentajes de reemplazo de ACR del 0%, 15%, 30% y 50%, encontrando que la resistencia a la compresión disminuía a medida que se aumentaba el porcentaje de ACR en la mezcla. Igualmente se encontró en el estudio de (Yang, Chung, & Ashour, 2008) que la resistencia a la compresión de la mezcla RG I con un porcentaje de reemplazo del 30% tuvo un comportamiento similar a la de la mezcla de control.

Figura 4-1: Gráfico comparativo de resultados de resistencia a la compresión para las mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100. (Relación A/C=0,5)



En la Figura 4-2 se muestran los resultados de resistencia a la compresión para las mezclas AN5-0, ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100 con una relación agua/cemento de 0,6. Se observa la misma tendencia que en la figura 4-1. Sin embargo al haber aumentado la relación agua/cemento, se observa una disminución en la resistencia a la compresión.

Figura 4-2: Gráfico comparativo de resultados de resistencia a la compresión para las mezclas AN5-0, ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100. (Relación A/C=0,6)



En las figuras 4-3 y 4-4, se aprecia la resistencia a la compresión de las mezclas AN1-0 a la ACR8-100 versus tiempo. En la tabla 4-1, se presenta el porcentaje de reducción de la resistencia a la compresión a la edad de 28 días de las mezclas ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100 con respecto a la mezcla de control (mezcla AN1-0). Los resultados son similares a los encontrados por (Exteberria, et al, 2007), quien realizó mezclas de concreto con porcentajes de 0%, 25%, 50% y 100% de reemplazo de agregado natural por ACR, encontrando que la resistencia a la compresión de mezclas con un 100% de ACR tenían una reducción con respecto a la mezcla de control del 20% al 25%.

Tabla 4-1: Porcentaje de reducción de f'_c para las mezclas ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100 a la edad de 28 días con respecto a la mezcla patrón.

% de reducción de f'_c a 28 días de las mezclas ACR2-25 a la ACR4-100		
Mezcla ACR2-25 (25% ACR)	Mezcla ACR3-50 (50% ACR)	Mezcla ACR4-100 (100% ACR)
9,57%	12,35%	23,16%

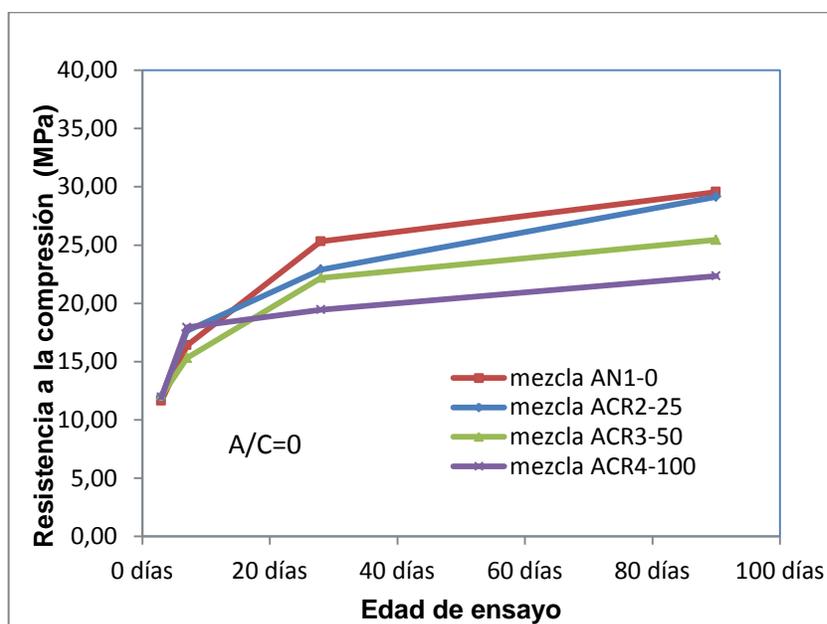
Se obtuvo un comportamiento similar a la edad de 90 días, encontrando los porcentajes de reducción de la resistencia a la compresión indicados en la tabla 4-2.

Tabla 4-2: Porcentaje de reducción de $f'c$ para las mezclas ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100 a la edad de 90 días con respecto a la mezcla patrón.

% de reducción de $f'c$ a 90 días de las mezclas ACR2-25 a la ACR4-100		
Mezcla ACR2-25 (25% ACR)	Mezcla ACR3-50 (50% ACR)	Mezcla ACR4-100 (100% ACR)
1,36%	13,87%	24,37%

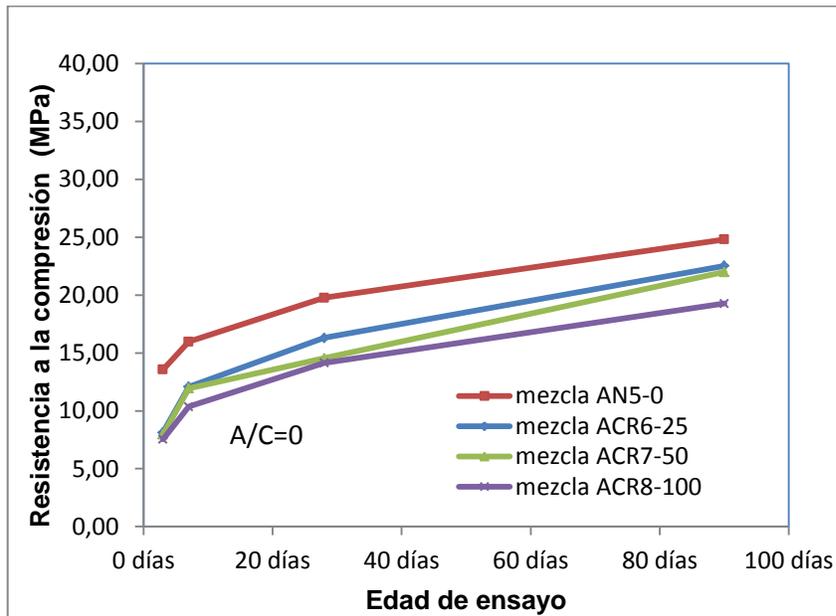
Es importante notar en la figura 4-3 que la resistencia a la compresión de la mezcla ACR2-25 y la mezcla AN1-0 (mezcla patrón) tiene una variación mínima a la edad de 90 días. Esto puede ser atribuido a la alta absorción del ACR, pues como este puede almacenar mayor cantidad de agua, esta agua podría ser liberada con el tiempo de tal forma que continúe el proceso de hidratación del cemento. (Yang, Chung, & Ashour, 2008)

Figura 4-3: Resistencia a la compresión vs tiempo. Mezcla AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100



En la figura 4-4, la resistencia a la compresión de la mezcla ACR6-25 (25% ACR), fue menor en un 9,2% con respecto a la mezcla de control (mezcla AN5-0). Comparando la mezcla de control con la mezcla ACR8-100 (100% ACR), esta mezcla tuvo una resistencia a la compresión menor del 22,31% a una edad de 90 días.

Figura 4-4: Resistencia a la compresión. Mezcla AN5-0 a la ACR8-100.



La reducción de la resistencia a la compresión encontrada en los diferentes especímenes ensayados, es influenciada por las propiedades del ACR, su cantidad en la mezcla y la relación agua/cemento del concreto. Dentro de las propiedades del ACR que afectan la resistencia a la compresión, esta su resistencia a la abrasión medida en la máquina de los Ángeles y su absorción. El ACR usado en la presente investigación reporta un desgaste del 31,6%, lo que incide considerablemente en los resultados de resistencia a la compresión de los especímenes ensayados, teniendo en cuenta que el porcentaje de desgaste obtenido está influenciado por la capa residual de mortero que poseen los ACR en la zona interfase agregado-pasta, la cual ante cargas externas puede romperse fácilmente afectando así la resistencia a la compresión del concreto. De la misma manera la resistencia a la compresión es influenciada por la absorción alta que presentan los ACR en comparación con los agregados naturales. La absorción de los ACR usada en el presente estudio fue de 9.5%, valor que sobrepasa los criterios de aceptación de este tipo de agregados en diferentes normas a nivel mundial como la norma Australiana (AS 1996) que especifica absorciones menores del 8%, la norma japonesa (JIS A5021, 5022y 5023) que especifica absorciones menores del 5% y la norma española (EHE 2000) que especifica absorciones menores del 5%. Los límites de absorción para el ACR en las normas citadas, se aprecian en la tabla 2-5.

Sin embargo es importante verificar en posteriores estudios, a largo plazo cual sería el comportamiento del concreto con ACR con valores de absorción altos, toda vez que la mayor capacidad de almacenamiento de agua de los ACR, podría traducirse en un incremento de la resistencia a largo plazo cuando esta agua almacenada se libere y continúe hidratando las partículas de cemento en el tiempo tal como indica (Yang, Chung, & Ashour, 2008).

El mortero adherido juega un papel fundamental, ya que este puede romperse en la zona de transición en la interfase agregado - pasta de cemento, por ser una zona débil en la estructura interna del concreto. Esta capa se constituye en una zona débil ya que este mortero es mucho más ligero comparado con el agregado natural, tiene una porosidad considerablemente alta que permite una gran acumulación de agua en esta zona, además su presencia podría suavizar los bordes del agregado original reduciendo su adherencia con la pasta de cemento. Tanto la absorción como el desgaste del ACR es influenciada por la cantidad de mortero adherido a su superficie.

Cuando el concreto convencional con agregado grueso natural, es sometido a cargas de compresión, su agregado grueso no tiene un revestimiento débil que perder por efecto de la carga, como si lo tiene el agregado en el concreto con ACR, por la presencia del mortero adherido el cual se rompe fácilmente durante el ciclo de carga. (Katrina McNeil & Thomas H.-K Kang, 2013).

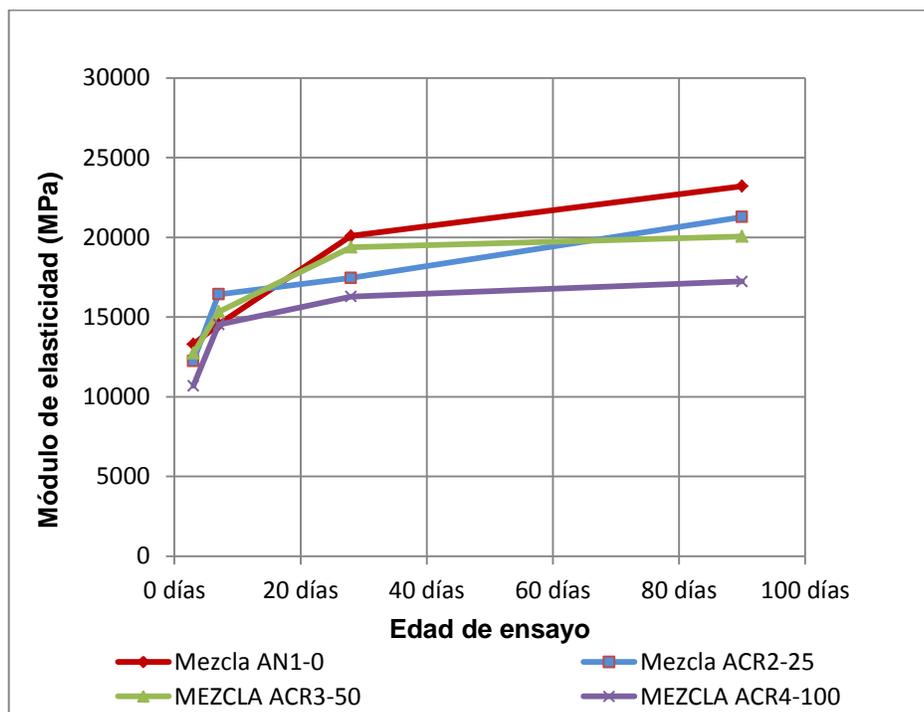
Otro factor relacionado con las propiedades del ACR que afecta la resistencia del concreto es la cantidad de contaminantes con que cuenta el agregado. Esta condición se descarta de la presente investigación toda vez que en inspección visual del ACR no se observaron rastros de contaminantes debido a que el concreto triturado pertenecía a cilindros ensayados que no habían tenido contacto con contaminantes. Adicionalmente los cilindros triturados eran concretos recientes.

Es recomendable para futuras investigaciones emprender ensayos de propiedades mecánicas, eléctricas y de durabilidad de concretos reciclados, con ACR proveniente de las fuentes de agregados reciclado comercialmente disponibles y legalmente constituidos en la ciudad de Bogotá, una vez se implemente la resolución No. 1115 del 26 de Septiembre de 2012.

Por último el porcentaje de reducción de la resistencia a la compresión puede variar para cada fuente de ACR usados en las mezclas de concreto.

4.1.2 Módulo de elasticidad.

En la figura 4-5, se muestra la variación del módulo elástico a las diferentes edades de ensayo para las mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100 con una relación agua/cemento de 0,5.

Figura 4-5: Influencia del contenido de ACR sobre el módulo elástico del concreto (A/C=0,5)**Tabla 4-3:** Porcentaje de reducción del módulo de elasticidad para las mezclas ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100 a la edad de 28 días

% de reducción del módulo de elasticidad a 28 días de las mezclas ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100		
Mezcla ACR2-25 (25% ACR)	Mezcla ACR3-50 (50% ACR)	Mezcla ACR4-100 (100% ACR)
13,11%	3,56%	18,92%

Tabla 4-4: Porcentaje de reducción del módulo de elasticidad para las mezclas ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100 a la edad de 90 días

% de reducción del módulo de elasticidad a 90 días de las mezclas ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100 ACR2-25 a la ACR4-100		
Mezcla ACR2-25 (25% ACR)	Mezcla ACR3-50 (50% ACR)	Mezcla ACR4-100 (100% ACR)
8,36%	13,58%	25,76%

En la tabla 4-3 Y 4-4 se presentan los porcentajes de reducción del módulo de elasticidad de las mezclas ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100 con respecto a la mezcla AN1-0 (mezcla patrón) a la edad de 28 y 90 días. Se aprecia que en la medida que se aumenta el porcentaje de ACR en las mezclas hay una reducción mayor en los valores de módulo de elasticidad.

En la figura 4-6, se muestra la variación del módulo elástico a las diferentes edades de ensayo para las mezclas AN5-0, ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100 con una relación agua cemento de 0,6. Comparando los resultados de las mezclas ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100 2 y ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100, se obtuvo como resultado que el módulo de elasticidad se redujo en la medida que se aumentó la relación agua/cemento.

Figura 4-6: Influencia del contenido de ACR, sobre el módulo elástico del concreto(A/C=0,6)

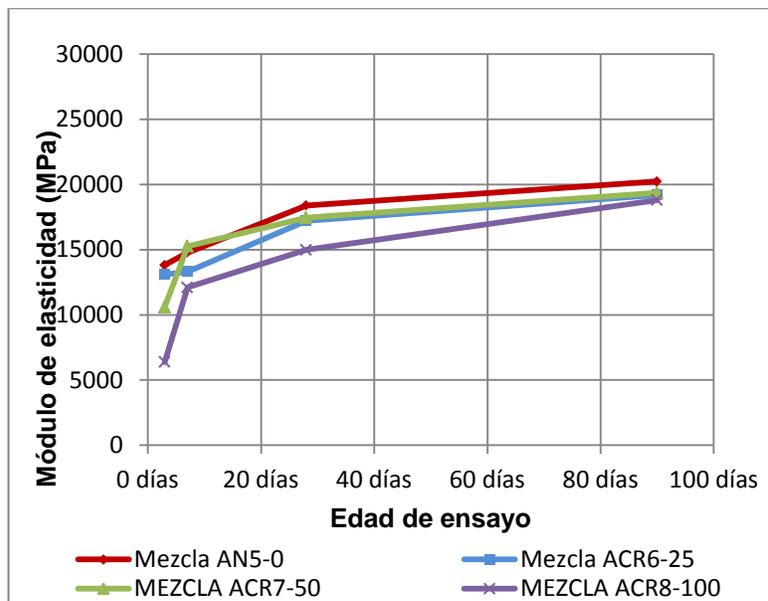


Tabla 4-5: Porcentaje de reducción del módulo de elasticidad para las mezclas ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100 a la edad de 28 días

% de reducción del módulo de elasticidad a 28 días de las mezclas ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100		
Mezcla ACR6-25 (25% ACR)	Mezcla ACR7-50 (50% ACR)	Mezcla ACR8-100 (100% ACR)
6,47%	5,10%	18,53%

Tabla 4-6: Porcentaje de reducción del módulo de elasticidad para las mezclas ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100 a la edad de 90 días

% de reducción del módulo de elasticidad a 90 días de las mezclas ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100		
Mezcla ACR6-25 (25% ACR)	Mezcla ACR7-50 (50% ACR)	Mezcla ACR8-100 (100% ACR)
5,18%	4,31%	7,07%

En la tabla 4-5 y 4-6 se presentan los porcentajes de reducción del módulo de elasticidad de las mezclas ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100 con respecto a la mezcla AN5-0 (mezcla patrón) a 28 y 90 días de edad. Se aprecia en la tabla que en la medida que se aumenta el porcentaje de ACR en las mezclas hay una reducción mayor en los valores de módulo de elasticidad. De igual forma a valores más altos de relación agua/cemento en el concreto, también se disminuye el módulo de elasticidad.

Al verificar los resultados del módulo de elasticidad obtenido en los ensayos, versus los obtenidos de la expresión para el cálculo del módulo de elasticidad dada en C.8.5.1 – (NSR-10: "Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente") ($4700 \cdot \sqrt{f'c}$), se encontraron diferencias considerables. Los resultados del ensayo se acercan más a los obtenidos por la ecuación $3900 \cdot \sqrt{f'c}$ dada en la NSR-98.

Las investigaciones realizadas en la medición del módulo de elasticidad, han evidenciado una reducción de este parámetro en la medida que se aumenta el porcentaje de agregado de concreto reciclado, sin embargo hay una variación significativa en los diversos estudios realizados en cuanto al porcentaje en que se reduce esta propiedad. (Froudinston-yannas, 1977), encontró porcentajes de reducción del orden del 60%. Por su parte (Mayurama, Sogo, Sobage, Sato, & Kawai, 2004) encontraron un porcentaje de reducción del 20%. Esto puede ser debido a las diferentes propiedades de ACR usadas en las investigaciones.

Uno de los principales factores que influyen en la reducción del módulo de elasticidad del concreto con ACR, es el módulo de elasticidad del agregado de concreto reciclado tal como indica (Katrina McNeil & Thomas H.-K Kang, 2013). Los ACR son más propensos a la deformación que los agregados naturales, por tal razón se evidencia una reducción en el módulo de elasticidad cuando se usa ACR en el concreto. El ACR puede verse afectado por los impactos a los que es sometido durante el proceso de trituración del concreto, lo cual trae como consecuencia una resistencia y rigidez más pobre del ACR con respecto a los agregados naturales. (Yang, Chung, & Ashour, 2008).

4.1.3 Velocidad de pulso ultrasónico

En las figuras 4-7 y 4-8, se muestra un gráfico comparativo de la velocidad de pulso ultrasónico en las mezclas AN1-0 a la ACR4-100 y AN5-0, a la ACR8-100 respectivamente. Se observa un incremento de la velocidad de pulso ultrasónico a mayor edad en cada mezcla de concreto. De igual forma se observa una tendencia de disminución del valor de esta medición en la mezclas con mayor contenido de agregado de concreto reciclado. Por último, la velocidad de pulso ultrasónico disminuyó en las mezclas con mayor relación agua-cemento. Estos resultados son consistentes con los encontrados por (Bojacá, 2013) quien realizó ensayos de pulso ultrasónico sobre especímenes de concreto con relación agua cemento de 0,5 y porcentajes de reemplazo

de agregado natural por ACR de 0%, 20% y 40%, encontrando a 28 días que la velocidad de pulso ultrasónico disminuyó en la medida que aumentaba el porcentaje de ACR en el concreto.

De igual manera los resultados son coincidentes con lo reportado por (AlKhaleefi & Almutairi, 2007), quien realizó en ensayos de pulso ultrasónico sobre especímenes de tres diferentes mezclas con 0%, 50% y 100% de reemplazo de agregado natural por ACR y una relación agua/cemento=0,53, obteniendo velocidades de pulso ultrasónico más altas para los concretos con menor porcentaje de ACR en la mezcla

Como la velocidad de pulso ultrasónico se ve influenciada por las propiedades del concreto que determinan su comportamiento elástico y su resistencia mecánica, se puede decir que los resultados obtenidos de esta variable, son consistentes con los obtenidos para la resistencia a la compresión y el módulo de elasticidad. Como el ACR presenta una porosidad mayor debido a la capa de mortero adherido que los rodea, es de suponer que la velocidad de pulso ultrasónico disminuya en los concretos con mayor porcentaje de ACR, ya que el pulso ultrasónico al encontrar zonas con mayor porosidad, zonas mal compactadas, hormigueros o material deteriorado, requiere de un tiempo mayor para atravesar el concreto.

Figura 4-7: Gráfico comparativo de la velocidad de pulso ultrasónico para las mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100. (A/C= 0,5).

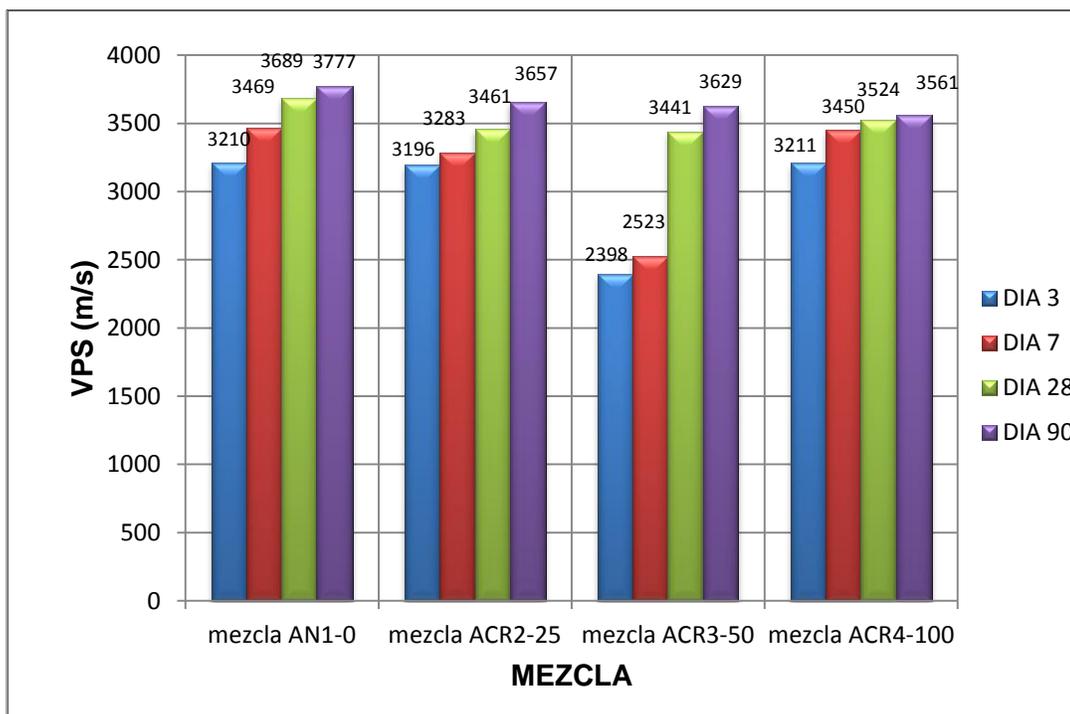
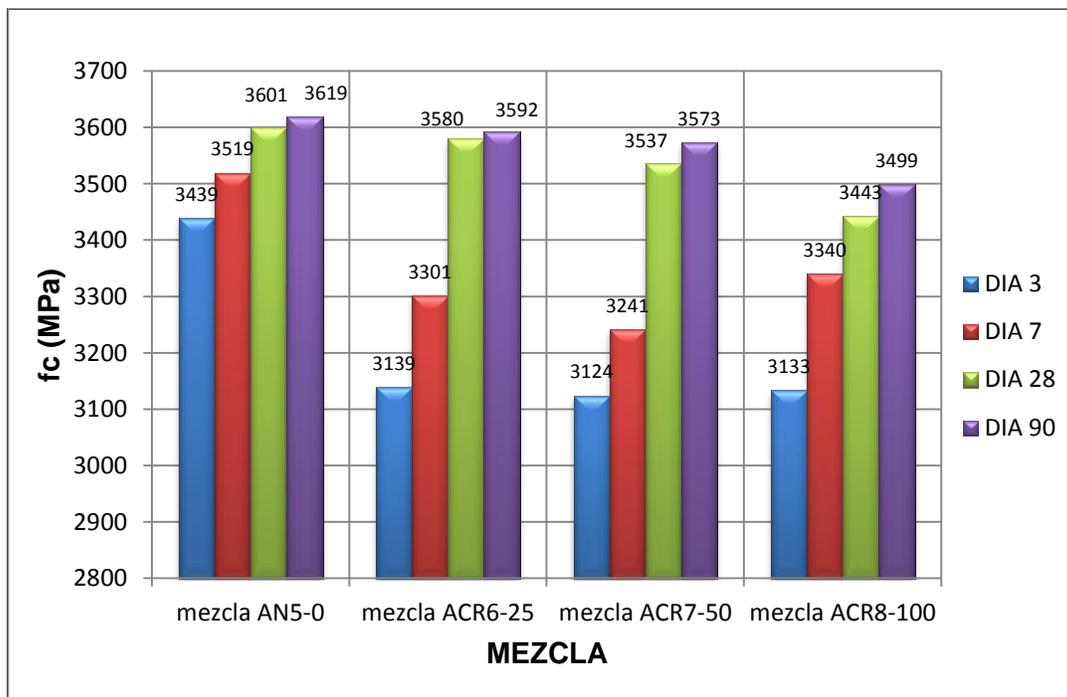


Figura 4-8: Gráfico comparativo de la velocidad de pulso ultrasónico para las mezclas AN-5, ACR6-25, ACR7-50 Y ACR8-100. (A/C=0,6)



4.2 Propiedades de durabilidad del concreto con ACR

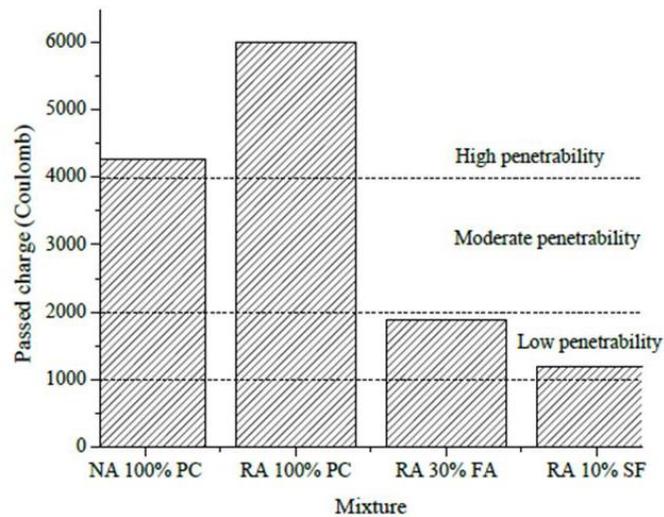
4.2.1 Permeabilidad al ion cloruro

En la figura 4-10 se observa un aumento significativo en la penetración al ion cloruro en la medida que se aumenta el porcentaje de agregado de concreto reciclado en la mezcla. Se obtuvo un aumento del 117% en este parámetro entre la mezcla AN1-0 (mezcla de control) y la mezcla ACR4-100. De la gráfica también se puede observar que a los 90 días de ensayo la penetración al ión cloruro disminuye con respecto a la medida a los 28 días de edad. Los resultados no coinciden con los obtenidos por (Bojacá, 2013), quién encontró que la mezcla patrón tenía una paso de carga (Coloumbs) mayor a los especímenes con agregado reciclado.

Sin embargo los resultados son similares a los obtenidos por (R Corral Higuera, et al, 2011) y (K.Y. Ann et al, 2008), quienes encontraron que el paso de carga en el ensayo para concretos con 100% de ACR fue mayor en comparación con concretos convencionales de 100% con agregado natural.

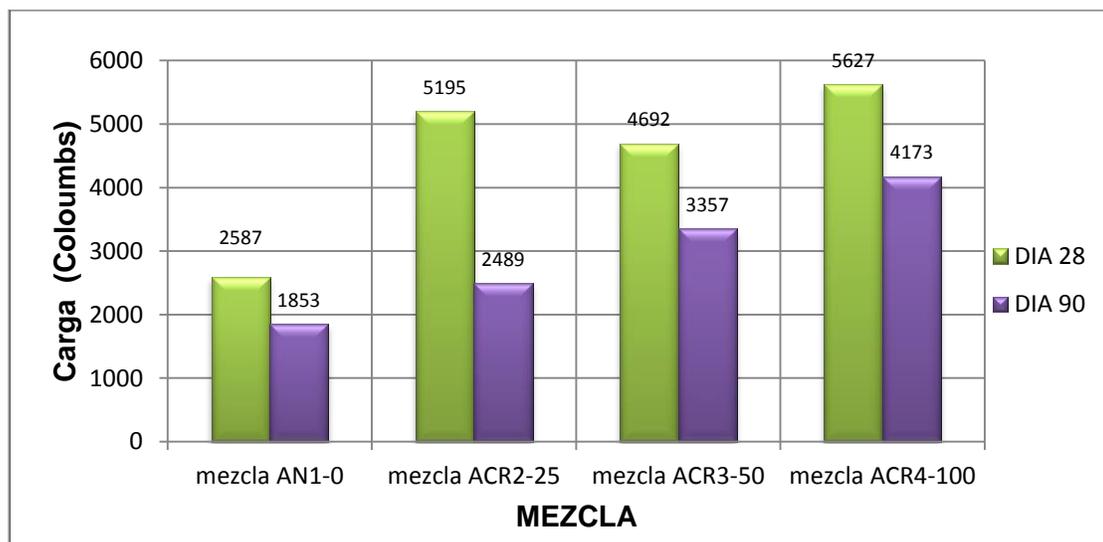
Los resultados de la investigación en mención, se muestran en la siguiente figura:

Figura 4-9: Resistencia a la penetración al ion cloruro. (R Corral Higuera, et al, 2011).



En todo caso es importante analizar la mejoría que tiene el concreto a 90 días en el cual se evidencia una menor penetración al ión cloruro en el concreto. A los 90 días, se observa una tendencia al aumento en la penetración de cloruros en el concreto en la medida que se aumenta el porcentaje de ACR en las mezclas. Esta tendencia es razonable, al analizar que entre menos poros haya en la mezcla mayor resistencia a la penetración de cloruros se debería esperar en el concreto. En la medida que se aumenta el porcentaje de ACR en la mezcla es muy probable que exista mayor porosidad en el concreto, confirmado con los resultados de resistencia a la compresión y velocidad de pulso ultrasónico.

Figura 4-10: Gráfico comparativo en el ensayo de permeabilidad al ion cloruro para las mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100. A/C=0,5



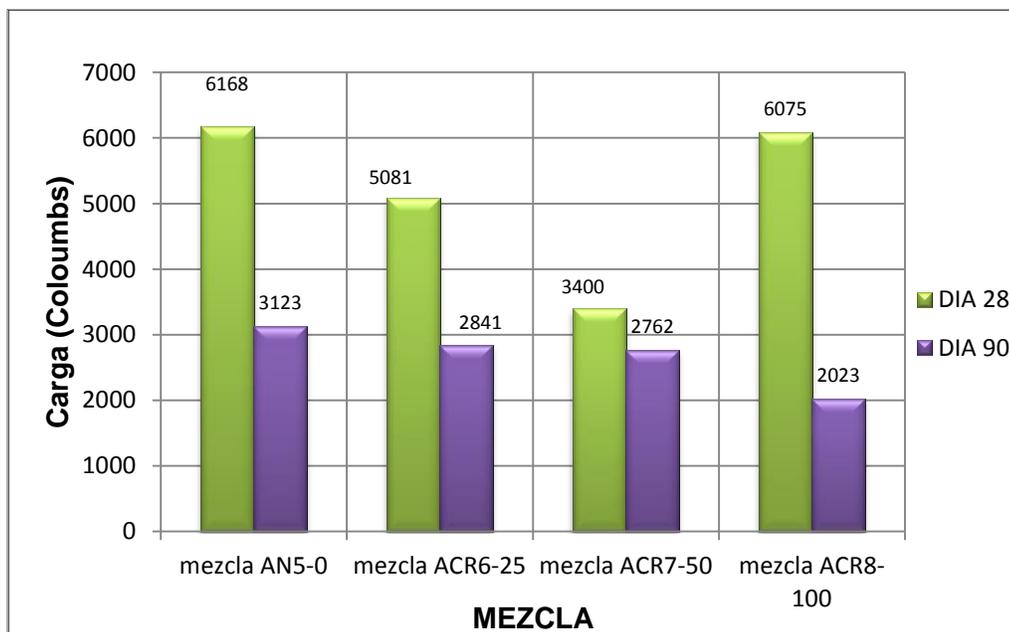
En la figura 4-11, se observa una tendencia contraria a la obtenida en la figura 4-10. No se observa un aumento en la penetración al ion cloruro en la medida que se aumenta el porcentaje de ACR en la mezcla lo cual no es consistente con los resultados de resistencia a la compresión obtenidos y velocidad de pulso ultrasónico.

Adicionalmente se esperaría que al haber aumentado la relación agua/cemento el paso de carga debería haber aumentado de acuerdo a lo obtenido por (Torres, 2009), en cuyos resultados de ensayos se observa como la carga transmitida aumenta en la medida que aumenta la relación agua/cemento en el concreto.

Por lo anteriormente descrito se consideran más confiables los resultados obtenidos en los especímenes de la mezcla AN1-0 a la ACR4-100 de la figura 4-9. Sin embargo el paso de carga para la mezcla patrón AN1-0 fue muy bajo en comparación de otros estudios realizados. Es de suma importancia llevar a cabo investigaciones adicionales, para obtener conclusiones definitivas sobre la afectación que tienen los concretos del ACR en la penetración al ion cloruro.

Hay muchos factores que afectan la exactitud del procedimiento en este ensayo. Se atribuyen las diferencias y resultados obtenidos a problemas durante la preparación de los especímenes y a la edad y curado de los especímenes de ensayo los cuales afectan dramáticamente los resultados (Grace Construction products, 2006). Otros factores que pueden afectar los resultados son el contenido de aire en la mezcla, el tipo de cemento, el tipo de agregado y la presencia de aditivos en el concreto con contenido de sales iónicas las cuales actúan como un medio de transporte de la carga a través del concreto.

Figura 4-11: Gráfico comparativo de ensayo de permeabilidad al ion cloruro para las mezclas AN5-0, ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100. A/C=0,6



De acuerdo con lo establecido en la ASTM C1202-12, tabla 4-7, se muestran los límites de permeabilidad:

Tabla 4-7: Permeabilidad al ion cloruro basado en la carga transmitida

Carga transmitida(Coloumbs)	Penetración del ión cloruro
>4.000	Alto
2.000 – 4.000	Moderado
1.000 – 2.000	Bajo
100 – 1.000	Muy bajo
<100	Insignificante

Se puede apreciar de acuerdo a la tabla anterior que los concretos de 28 a 90 días pasan de una clasificación alta a la penetración del ion cloruro a moderada. A 90 días todos los especímenes ensayados tienen una clasificación moderada a excepción de los especímenes de la mezcla ACR4-100 que se clasifican como alta.

4.2.2 Sortividad

En la figura 4-12 y 4-13, a manera de ejemplo se observan las gráficas obtenidas del ensayo de sortividad para las mezclas AN1-0 y ACR4-100 con una relación agua/cemento=0,5.

Figura 4-12: Tasa de absorción inicial para la mezcla AN1-0. Edad 28 días

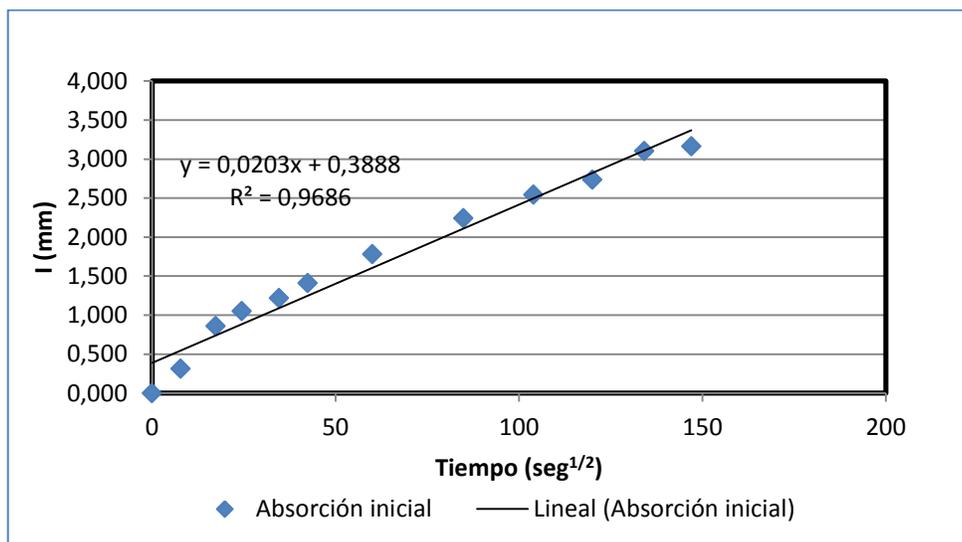
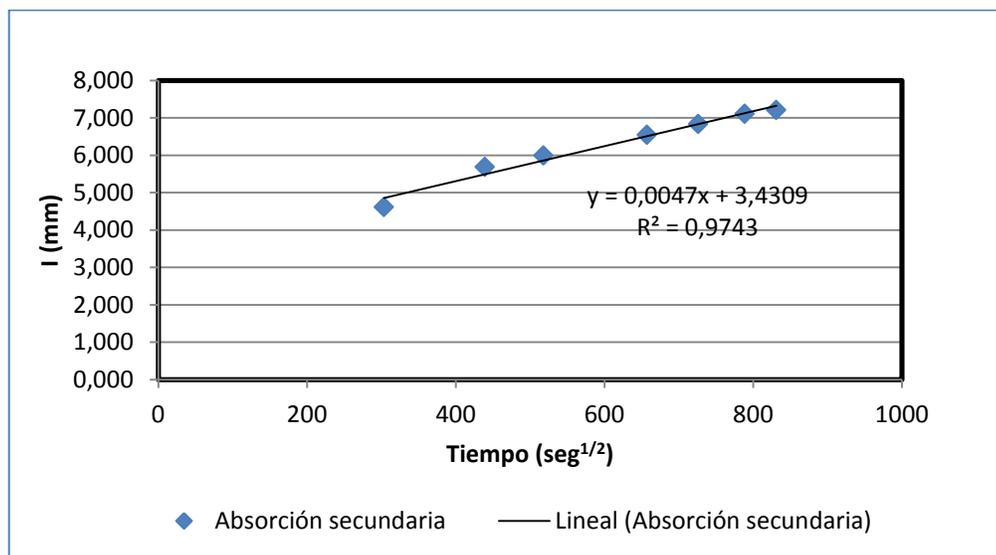


Figura 4-13: Tasa de absorción secundaria para la mezcla ACR4-100. Edad 28 días

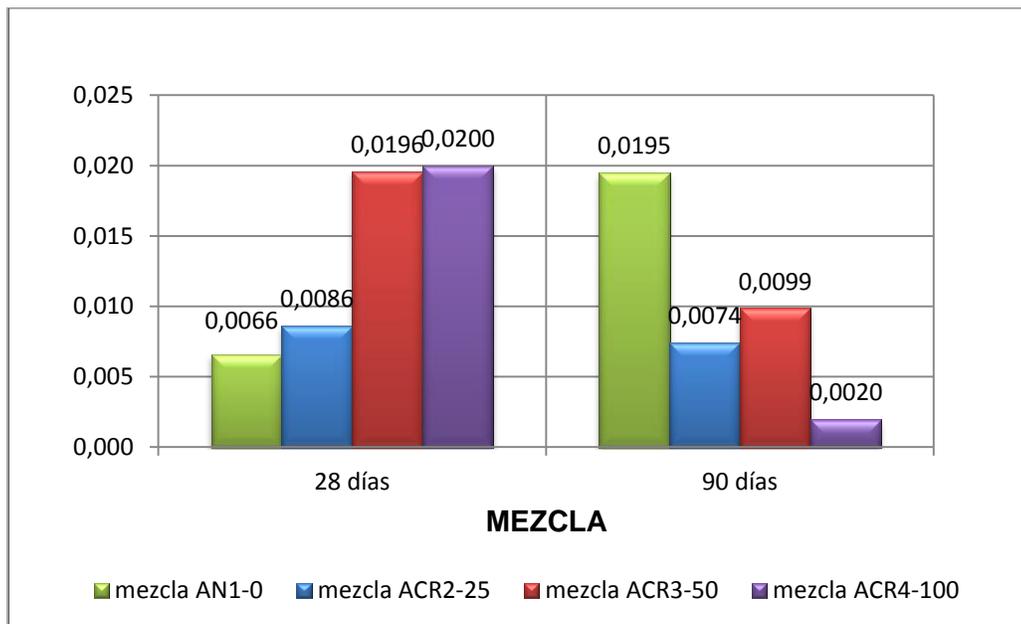


En la figura 4-14 se presenta un resumen del índice inicial de absorción para las mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100 para los especímenes ensayados a 28 días y 90 días.

Se observa en la edad de 28 días que en la medida que aumenta el contenido de ACR en la mezcla, aumentan la pendiente de las rectas para la absorción inicial. Este aumento de pendientes en las rectas indica que en los concretos con mayor contenido de ACR, tienen una mayor tasa de absorción. Estos resultados son similares a los obtenidos por (Bojacá, 2013), quien encontró a 28 días que el índice de absorción aumentaba cuando el concreto contenía mayor cantidad de agregado reciclado.

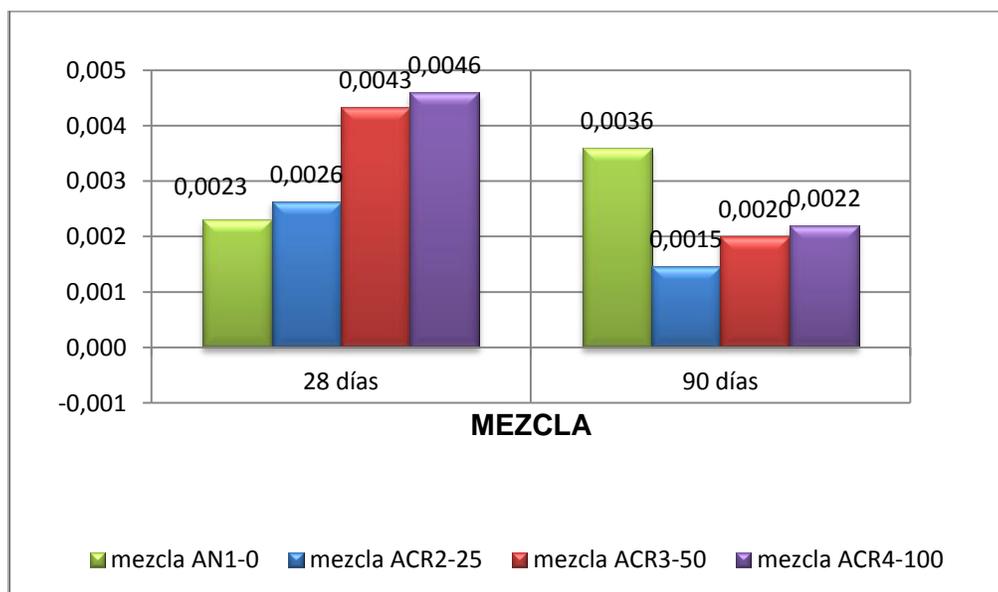
A 90 días se obtuvo una tendencia diferente, obteniendo un alto valor en la absorción inicial para la mezcla AN1-0 y una absorción muy baja para la mezcla ACR4-100, resultados que no coinciden con los resultados esperados ya que al aumentar el ACR en las mezclas de concreto, la porosidad de este material aumenta notoriamente lo que debería reflejar en un mayor índice de absorción.

Figura 4-14: Índice inicial de absorción para las mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100 (A/C=0,5)



En la figura 4-15, se confirman los resultados indicados de absorción inicial para las mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100 para los especímenes ensayados a 28 días. En la medida que aumenta el porcentaje de ACR, aumenta el índice de absorción inicial. Nuevamente se presenta una inconsistencia en el resultado obtenido del índice de absorción de la mezcla AN1-0 a 90 días. Es probable que se haya presentado a la edad de 90 días un error en la toma de datos para la mezcla AN1-0.

Figura 4-15: Índice secundario de absorción para las mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100 (A/C=0,5)



Nótese que existe una disminución del índice inicial de absorción a 90 días comparado con los resultados obtenidos a 28 días. La misma disminución se observa para los índices de absorción secundaria con respecto a los índices de absorción inicial.

En las figuras 4-16 y 4-17 se presentan tendencias similares para los especímenes ensayados con las mezclas AN5-0, ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100.

Figura 4-16: Índice inicial de absorción para las mezclas AN5-0, ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100 (A/C=0,6).

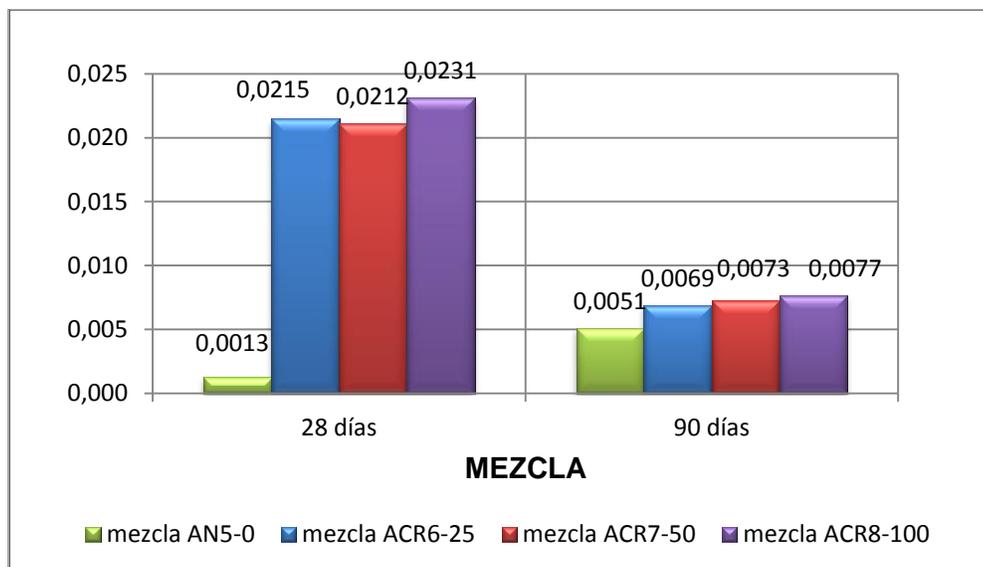
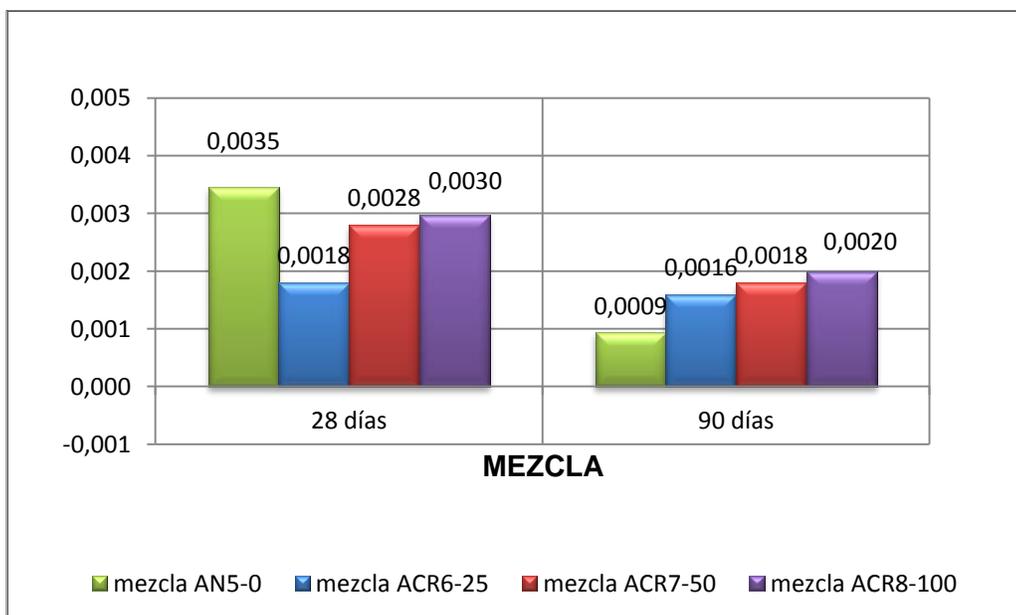


Figura 4-17: Índice secundario de absorción para las mezclas AN5-0, ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100



4.2.3 Carbonatación

En la tabla 4-8, se muestra la profundidad de carbonatación hallada durante un período de 104 días para las mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100. Una vez determinado este avance de carbonatación se determina el coeficiente de carbonatación obtenido en la cámara (Kc), mediante la ecuación dada por la segunda ley de difusión de Fick: $x = k\sqrt{t}$

Tabla 4-8: Profundidad de carbonatación inicial y final en mm

Mezcla	Profundidad de carbonatación inicial (Po) (36 días en la cámara)				Profundidad de carbonatación final (P) (106 días en la cámara)			
	Mezcla AN1-0	Mezcla ACR2-25	Mezcla ACR3-50	Mezcla ACR4-100	Mezcla AN1-0	Mezcla ACR2-25	Mezcla ACR3-50	Mezcla ACR4-100
P (mm)	1,8	2,4	10,3	3,4	19,2	22,4	30,3	23,0
t (años)	0,098	0,098	0,098	0,098	0,29	0,29	0,29	0,29

En la tabla 4-9 se presentan el frente de carbonatación y las constantes de carbonatación obtenidas para las mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100

Tabla 4-9: Constante de carbonatación acelerada (Kc)

Coefficiente de exposición (104 días)	Mezcla AN1-0	Mezcla ACR2-25	Mezcla ACR3-50	Mezcla ACR4-100
Frente de carbonatación	17,4	20,0	20,0	19,6
Valor de Kc	32	37	37,	36

Se esperaba en el ensayo una reducción en el frente de carbonatación, en la medida que se aumentaba el contenido de ACR en las mezclas, según lo obtenido en los estudios de la Waste & Resources Action Programme (WRAP) en donde se encontró que la profundidad de carbonatación disminuye en la medida que el contenido de ACR se incrementa en el concreto, probablemente por el incremento de la alcalinidad en el concreto debido al mortero adherido en los ACR. Sin embargo con los datos obtenidos no se puede llegar a esta conclusión ya que los valores de carbonatación inicial fueron mayores que para la mezcla de control como se observa en la tabla 4-8.

Los resultados no fueron consistentes con investigaciones llevadas a cabo en Colombia, como la de (Bojacá, 2013), en la Escuela Colombiana de Ingeniería “Julio Garavito”, quien investigó las PROPIEDADES MECÁNICAS Y DE DURABILIDAD DE CONCRETOS CON AGREGADO RECICLADO trabajando con tres mezclas, una mezcla patrón y las otras dos mezclas con reemplazos del 20% y 40% de ACR.

4.3 Propiedades eléctricas del concreto con ACR

4.3.1 Resistividad

En la figura 4-19, se observa una tendencia a la disminución del coeficiente de resistividad en el concreto cuando se aumenta el porcentaje de ACR en la mezcla, lo que indica que el acero que se embebe en este tipo de concretos tienen un riesgo más alto de corrosión. Con un porcentaje de reemplazo del 100% del agregado en la mezcla por ACR, se observa que hay una reducción del orden del 27% en los valores de resistividad con respecto a la mezcla patrón.

Adicionalmente se observa que a mayor edad en el concreto aumenta el valor de resistividad. Esto es atribuido al incremento de porosidad en los concretos con ACR, por la presencia de una zona de transición interfacial que facilita la conducción iónica.

Los resultados son congruentes con la investigación realizada por (R Corral Higuera, et al, 2011), quienes encontraron que la resistividad aumenta con el aumento en la edad del concreto. Adicionalmente encontraron que concretos con 100% de ACR tiene valores menores de resistividad que los concretos con 100% de agregado natural. Los resultados de la investigación mencionada, se presentan en la figura 4-18:

Figura 4-18: Evolución de la resistividad eléctrica en función del tiempo

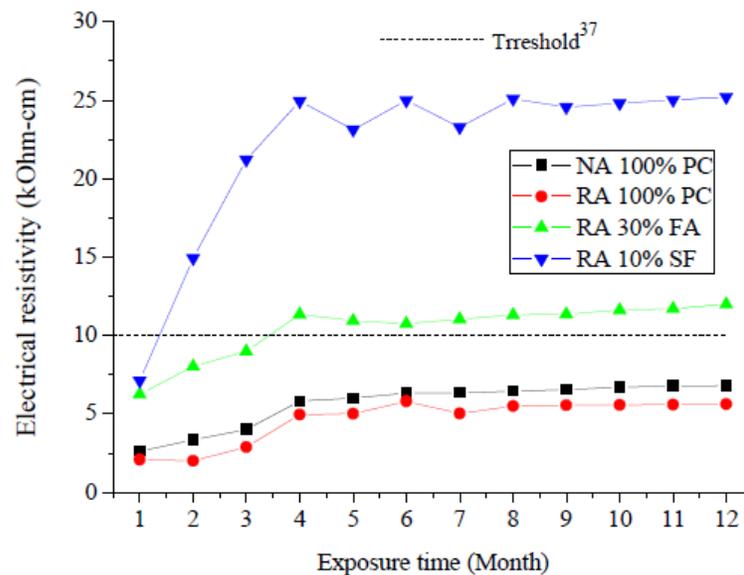
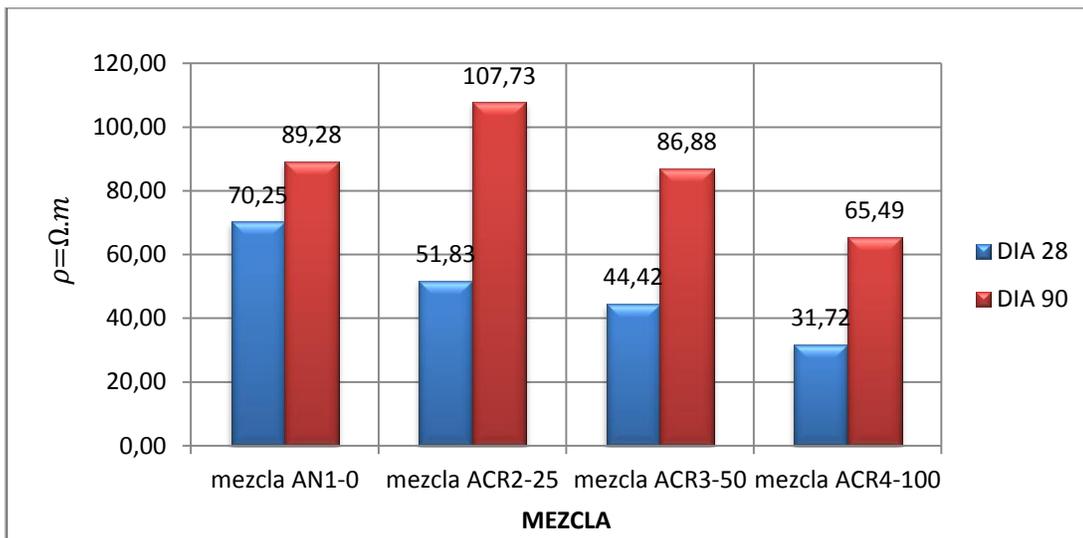
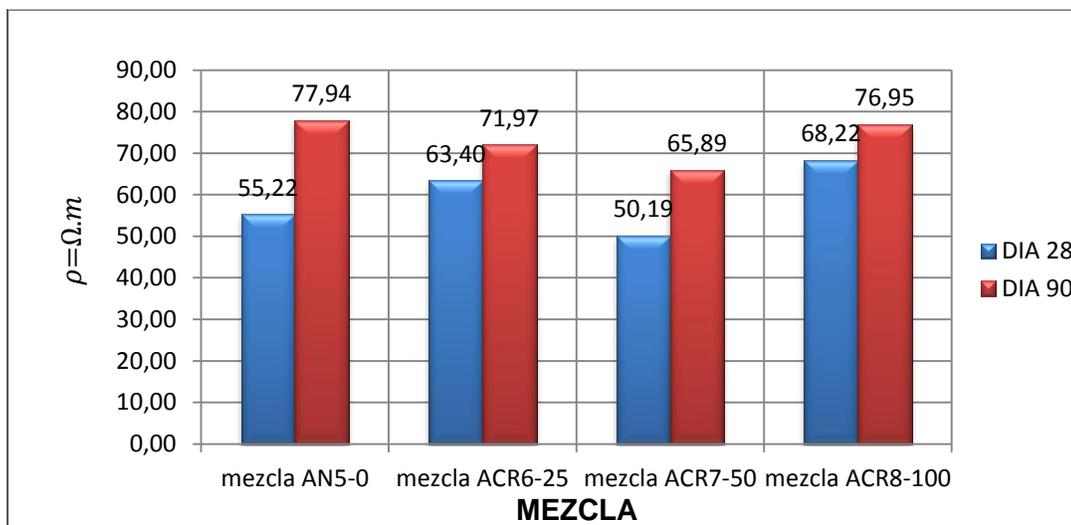


Figura 4-19: Gráfico comparativo de coeficientes de resistividad para las mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100. A/C=0,5



En la figura 4-20, se observa la misma tendencia de reducción del valor de resistividad cuando se aumenta el porcentaje de reemplazo de agregado natural por ACR.

Figura 4-20: Gráfico comparativo de coeficiente de resistividad para las mezclas AN5-0, ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100. A/C=0,6



En la tabla 4-10, se presentan los criterios para evaluar el riesgo de corrosión del acero, en función de los valores de resistividad en la mezcla de concreto.

Tabla 4-10: Criterio general de valores de resistividad eléctrica del concreto.

Valor [$\Omega\text{-m}$]	Criterio
$\rho > 2000$	Poco Riesgo
$2000 > \rho > 100$	Riesgo Moderado
$\rho < 100$	Riesgo alto

La mayoría de los concretos ensayados en el presente trabajo de acuerdo con la tabla 4-10, tienen presentan un alto riesgo de corrosión para los aceros que se embeben en estos concretos. Los valores de resistividad son similares a los obtenidos por (Cassiano, 2010) para la muestra patrón. Es posible el uso en el concreto de adiciones que puedan mejorar el riesgo del acero en este tipo de concretos, pues está comprobado que su uso aumenta los valores de resistividad.

4.3.2 Impedancia

En las figuras 4-21 a 4-24, se presentan los diagramas de Nyquist, obtenidos para la espectrometría de impedancia realizadas a las diferentes muestras, a las edades de 28 días.

Los gráficos de Nyquist, son propios para cada material y con una extensa base de datos de resultados sobre diferentes concretos, es posible mediante ensayos no destructivos inferir las características y propiedades de un determinado tipo de concreto. Con las gráficas obtenidas en este estudio se continua alimentando la base de datos ya iniciada en la Escuela Colombiana de Ingeniería en la investigación llevada a cabo por (Cassiano, 2010).

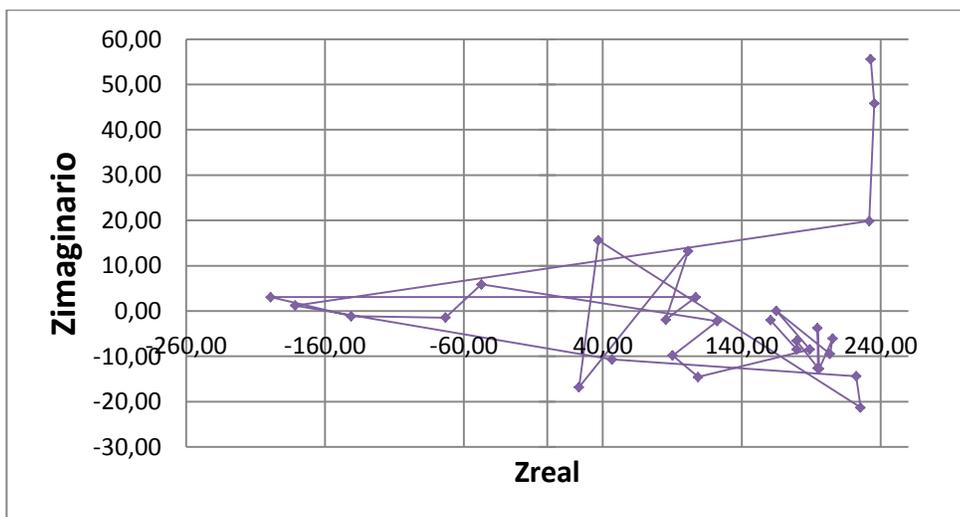
Figura 4-21: Gráfico de Nyquist para mezcla AN1-0. Edad 28 días

Figura 4-22: Gráfico de Nyquist para la mezcla ACR2-25. Edad 28 días

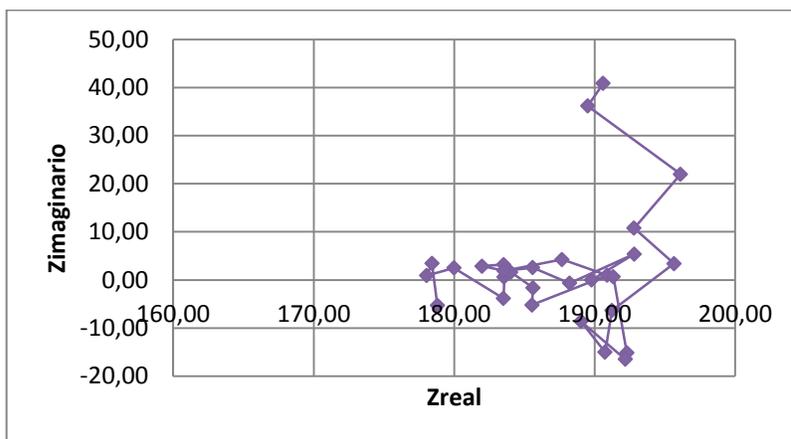


Figura 4-23: Gráfico de Nyquist para la mezcla ACR3-50. Edad 28 días

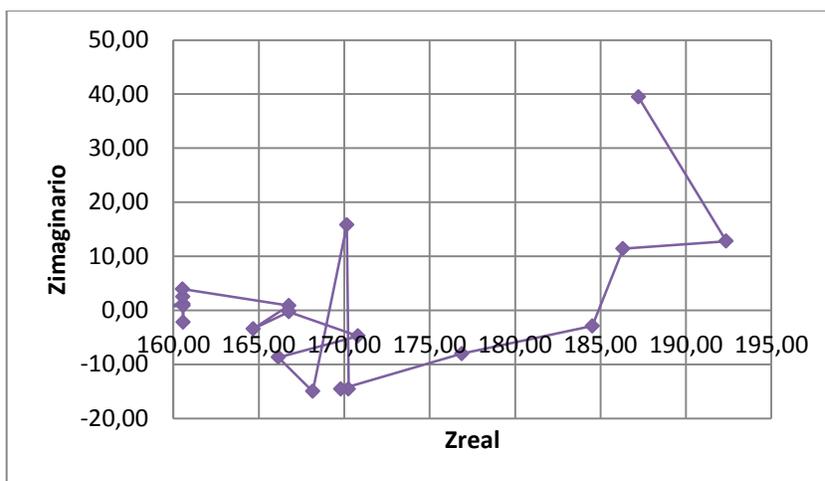
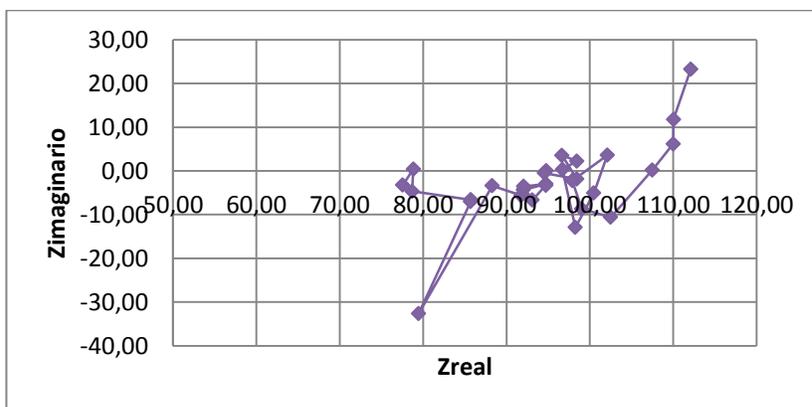


Figura 4-24: Gráfico de Nyquist para mezcla ACR4-100. Edad 28 días



Se observa en las gráficas anteriores que la resistencia obtenida de los gráficos de Nyquist a diferentes frecuencias es menor para los concretos con ACR en comparación con los concretos convencionales. Esto debido al cambio en la microestructura del concreto y las diferencias en la conductividad del material por la mayor porosidad presente.

Los resultados con consistentes con lo encontrado por (Cassiano, 2010) quien encontró que las mezclas con adiciones tienen un valor de resistencia muy superior a las mezcla de control, concluyendo que las adiciones alteran las propiedades eléctricas del concreto, posiblemente por el cambio de la microestructura y la composición química de la mezcla como se había indicado previamente.

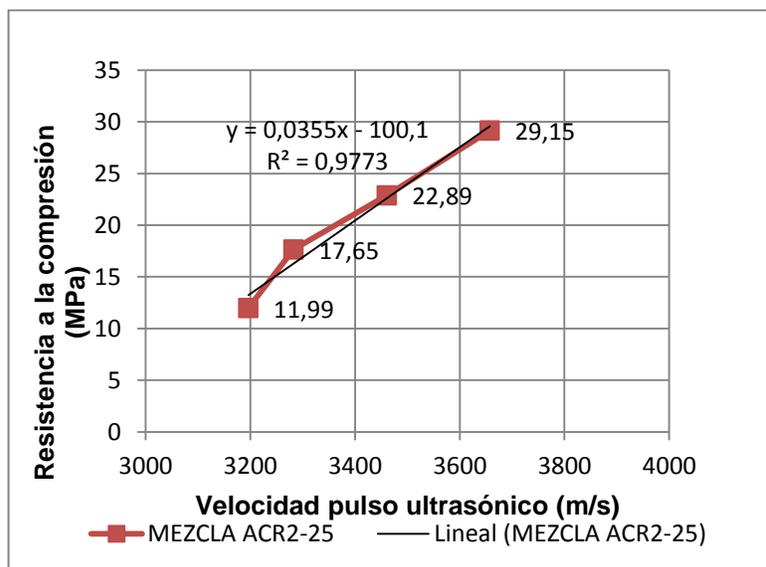
Al igual que lo indicado por (Cassiano, 2010) en su trabajo de investigación, se puede observar en los gráficos anteriores la poca similitud que hay entre ellos, lo cual indica que las propiedades eléctricas de las muestras son variables entre las diferentes mezclas. Lo anterior puede ser atribuible a su variación en la composición física y la porosidad existente en el material. La variación física puede entenderse como la modificación en la porosidad de la mezcla y la reacción de las partículas de cemento no hidratadas en el mortero adherido a los ACR.

4.4 Correlaciones

4.4.1 f'_c vs velocidad de pulso ultrasónico

En la figura 4-25 se presenta las correlaciones de ensayos de resistencia a la compresión con los resultados de velocidad de pulso ultrasónico para la mezcla ACR2-25. Se ajustó una tendencia de tipo lineal para estas correlaciones obteniendo coeficientes de correlación altos del orden de 0,97 para las mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100.

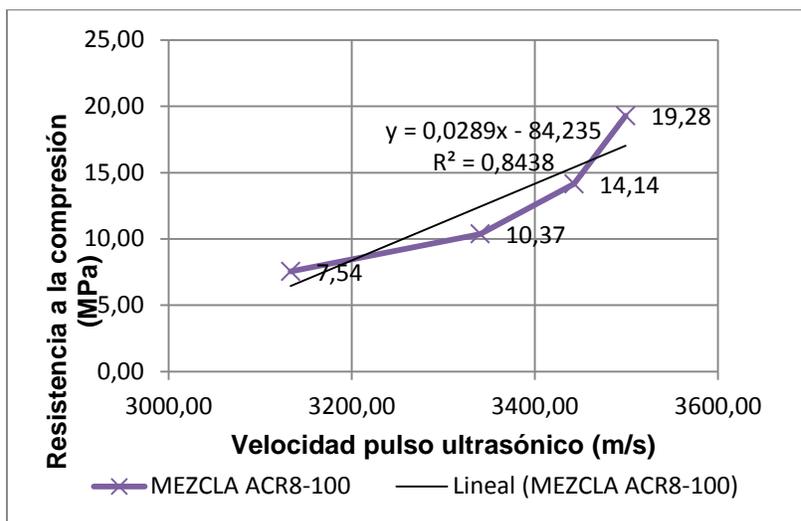
Figura 4-25: Correlación f'_c vs velocidad de pulso ultrasónico para la mezcla ACR2-25 (A/C=0,5)



Para las mezclas AN5-0, ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100, se obtuvieron coeficientes de correlación un poco mas bajos del orden de 0,84 como se aprecia en la figura 4-26.

El resto de gráficas de correlaciones, se puede apreciar en el anexo 11.

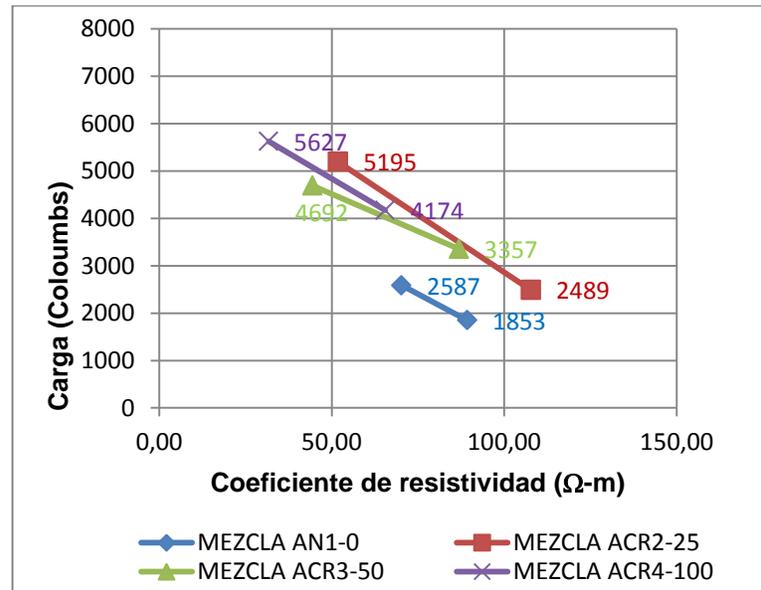
Figura 4-26: Correlación de f'_c vs velocidad de pulso ultrasónico para la mezcla ACR8-100 (A/C=0,6)



4.4.2 Permeabilidad al ion cloruro vs resistividad.

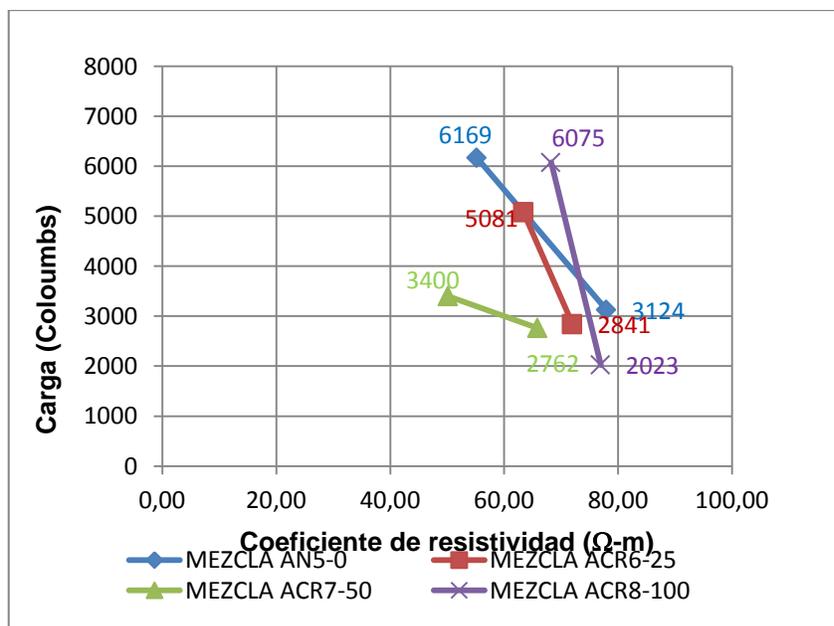
En la figura 4-27 se observa que en la medida que aumenta el paso de carga medida en el ensayo de permeabilidad al ión cloruro, disminuye el coeficiente de resistividad en el concreto. La interpretación se basa en que a medida que aumenta el paso de carga, la penetración del ion cloruro en el concreto es mas alta producto de una mayor porosidad en el concreto. La mayor porosidad en el concreto hace que el acero embebido en el concreto sea mas susceptible a la corrosión, razón por la cual se obtiene valores mas bajos de este parámetro de acuerdo a lo indicado en la tabla 4-10.

Figura 4-27: Relación entre la permeabilidad al ion cloruro vs resistividad. Mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100



La misma tendencia se obtuvo para los concretos de las mezclas AN5-0, ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100 5 a la 8, como se observa en la figura 4-28. Para obtener coeficientes de correlación, es necesario medir estos parámetros a más edades para obtener una mayor cantidad de datos para análisis. En la presente investigación solo se evaluaron la permeabilidad al ion cloruro y resistividad a 28 y 90 días.

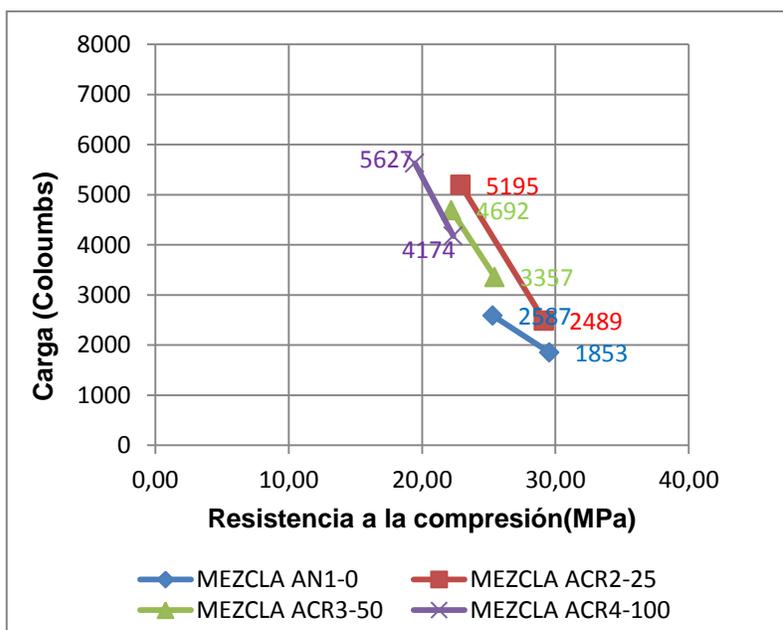
Figura 4-28: Relación entre la permeabilidad al ion cloruro vs resistividad. Mezclas AN5-0, ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100. (A/C=0,6)



4.4.3 Permeabilidad al ion cloruro vs resistencia a la compresión.

En la figura 4-29 se presenta el gráfico de correlación entre los resultados de los ensayos de permeabilidad al ión cloruro y resistencia a la compresión para las mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100. Se puede apreciar que a mayor paso de carga en Coulombs, se presenta una menor resistencia a la compresión del concreto. Los resultados son similares con los obtenidos por (Torres, 2009), quien encontró una tendencia polinómica de la curva donde correlaciono estas dos variables para concretos curados con una humedad relativa del 95%. Las mezclas AN5-0, ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100 tuvieron la misma tendencia.

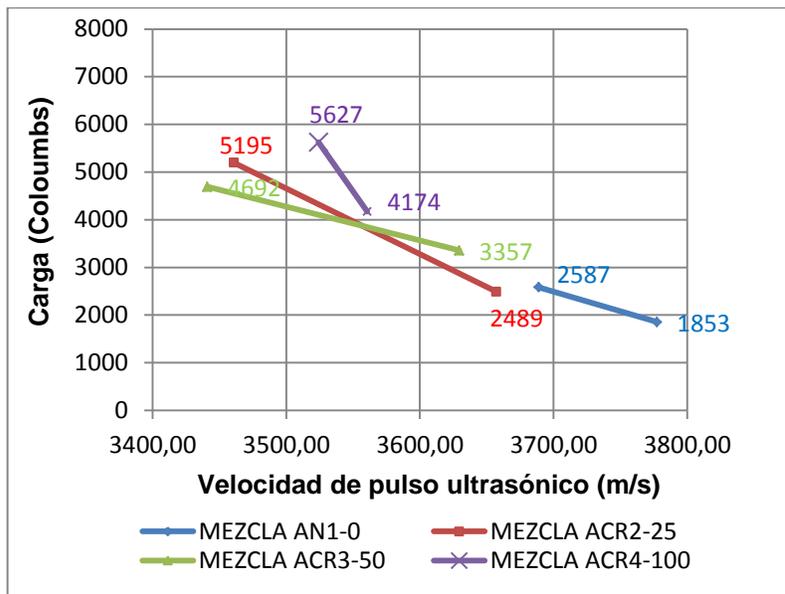
Figura 4-29: Relación entre la permeabilidad al ion cloruro vs resistencia a la compresión. Mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100. (A/C=0,5)



4.4.4 Permeabilidad al ion cloruro vs velocidad de pulso ultrasónico.

En la figura 4-30 se presenta el gráfico de correlación entre los resultados de los ensayos de permeabilidad al ion cloruro y velocidad de pulso ultrasónico para las mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100. Se puede apreciar que a mayor paso de carga en Coulombs, se presenta una menor velocidad de pulso ultrasónico en el concreto. Los resultados son similares con los obtenidos por (Torres, 2009), quien encontró una tendencia polinómica de la curva donde correlaciono estas dos variables para concretos curados con una humedad relativa del 95%. Las mezclas AN5-0, ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100 tuvieron la misma tendencia.

Figura 4-30: Relación entre la permeabilidad al ion cloruro vs Velocidad de pulso ultrasónico. Mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100. (A/C=0,5)



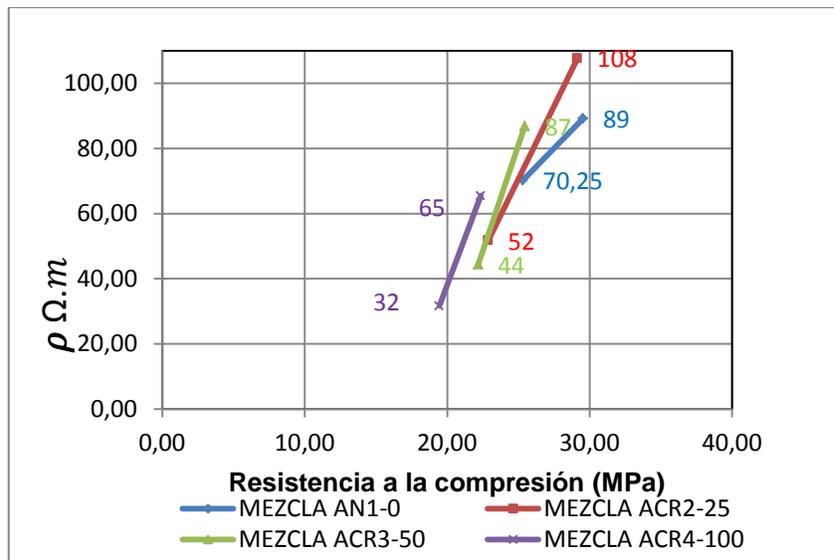
4.4.5 Resistividad vs Resistencia a la compresión.

En la figura 4-31 se presenta la relación entre los resultados de los ensayos de resistividad y resistencia a la compresión para los especímenes ensayados correspondientes a la mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100.

Se observa en la gráfica que a mayor resistividad en los concretos, mayor resistencia a la compresión se presenta. Los resultados son acordes a lo esperado, teniendo en cuenta que a mayor resistencia a la compresión se espera una menor porosidad dentro del concreto lo que a su vez se traduce en un menor riesgo de corrosión del acero de refuerzo.

La misma tendencia se obtuvo para las mezclas AN5-0, ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100.

Figura 4-31: Relación entre la Resistividad vs Resistencia a la compresión. Mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100.



Se ha encontrado en investigaciones realizadas que existe un coeficiente de correlación alto entre la resistividad y la resistencia a la compresión. (Rebolledo, 2010), encontró para morteros con relación agua cemento de 0,45, 0,50 y 0,65, coeficientes de correlación del orden de 0,97 entre estas dos variables, tal cual como se muestra en la figura siguiente:

5 Conclusiones y recomendaciones

Con base en los resultados obtenidos en este trabajo se puede concluir que:

- Las causas que inciden en la reducción de la resistencia a la compresión de concretos con ACR, son las propiedades del ACR, así como su cantidad en la mezcla. Sin embargo hasta ciertos porcentajes de reemplazo es viable el reemplazo de este tipo de agregados en el concreto. Un concreto con un reemplazo de agregado natural por ACR hasta el 25%, tiene un comportamiento similar al del concreto convencional, como se pudo comprobar en este estudio ya que la reducción de la resistencia a la compresión es tan solo el 10%, lo que implica que es viable su uso en el país.
- Es importante conocer las propiedades de los ACR, entre ellos su absorción, densidad, contenido de contaminantes, contenido de mortero adherido y resistencia a la abrasión, ya que estos factores inciden en la resistencia a la compresión del concreto. Con una clasificación adecuada de estos ACR y la creación de normas técnicas tanto para estos agregados como para los concretos, se podría implementar en el país el uso del concreto con ACR, ayudando al desarrollo sostenible al reducir la carga contaminante en las escombreras y los impactos negativos generados por la producción y transporte de agregados naturales. Ya en otros países se han establecido especificaciones para ACR como para concretos con ACR que han sido satisfactorias.
- El módulo de elasticidad del concreto se reduce en la medida que se aumenta el porcentaje de ACR en las mezclas. La reducción del módulo de elasticidad para el tipo de ACR utilizado en este estudio fluctúa entre un 18% a un 25% cuando el porcentaje de reemplazo de ACR en las mezclas es del 100%. Sin embargo con porcentajes de reemplazo menores se obtuvieron reducciones menores en este parámetro del orden del 13% al 5%. Lo anterior indica que es viable el uso de ACR en los concretos, limitando el porcentaje de reemplazo de ACR en las mezclas. Teniendo en cuenta que uno de los principales factores que influyen en la reducción del módulo de elasticidad del concreto con ACR, es el módulo de elasticidad del agregado de concreto reciclado tal como indica (Katrina McNeil

& Thomas H.-K Kang, 2013) al ser más propensos a la deformación, es importante adelantar investigaciones con diferentes tipos de ACR, realizando una caracterización de los mismos para verificar como estos diferentes tipos de ACR afectan el valor del módulo de elasticidad del concreto.

- En la evaluación de algunas de las propiedades del concreto con ACR examinados, se pudo observar que a mayor porcentaje de reemplazo del agregado natural por ACR, hay una afectación en el desempeño del concreto. Es así como se evidenció una tendencia de disminución de la velocidad de pulso ultrasónico (mayor porosidad), un aumento significativo en la penetración al ion cloruro y una tendencia a la disminución del coeficiente de resistividad, lo que indica que el acero que se embebe en este tipo de concretos tienen un riesgo más alto de corrosión. Sin embargo se hace énfasis en que para porcentajes de reemplazo bajos de ACR en el concreto, la afectación de la durabilidad no es tan significativa.
- Se confirmó en el presente estudio, lo encontrado en otras investigaciones respecto a que el valor de resistividad aumenta en la medida que aumenta la edad en el concreto para concretos con ACR. De la misma manera se pudo establecer para las mezclas AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100 que el valor de resistividad se reduce con el aumento en la proporción de ACR en la mezcla de concreto lo que trae como consecuencia un mayor riesgo a la corrosión del acero de refuerzo en este tipo de concretos. Esto indica que la conductividad en concretos con mayor porcentaje de ACR es mayor debida a la mayor porosidad del material debida zona de transición en la interfase agregado - pasta de cemento.
- Se confirmó en el presente estudio que la resistencia obtenida de los gráficos de Nyquist a diferentes frecuencias es menor para los concretos con ACR en comparación con los concretos convencionales. Esto debido al cambio en la microestructura del concreto y las diferencias en la conductividad del material por la mayor porosidad presente.
- En el ensayo de velocidad de pulso ultrasónico, la mayoría de los especímenes ensayados mostraron que las mezclas de concreto con ACR están clasificadas como ligeramente buenos a buenos según la tabla 2-6. Adicionalmente se observó que a mayor porcentaje de reemplazo de ACR por agregado natural en los concretos ensayados, se presenta una reducción en la velocidad de pulso ultrasónico. Esto indica que en los concretos con ACR el pulso ultrasónico demora un tiempo mayor en su recorrido, debido a una mayor porosidad en el material.
- Es recomendable realizar un análisis similar el realizado en el presente estudio a concretos con ACR proveniente de diversas fuentes conformadas por los centros de tratamiento y/o aprovechamiento, definidos en la resolución No. 1115 de 26 de septiembre de 2012, con el propósito de confirmar la factibilidad del uso de agregados

reciclados en la industria del concreto, para analizar su efecto en las propiedades del concreto.

- Se recomienda realizar investigaciones posteriores del comportamiento del concreto con ACR en miembros estructurales y de la misma manera evaluar los fenómenos de flujo plástico y retracción del concreto con estos agregados.
- Con el fin de mejorar las propiedades de durabilidad de concretos con ACR, es recomendable realizar investigaciones posteriores haciendo uso de adiciones y puzolanas como cenizas volantes, humo de sílice y metacaolin.
- Es necesario realizar ensayos adicionales de permeabilidad al ion cloruro según la (ASTM C1202-12: "Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration"), teniendo en cuenta que los resultados obtenidos no fueron concordantes con otras investigaciones realizadas. Adicionalmente las tendencias obtenidas entre las mezclas de relación A/C=0,5 (AN1-0, ACR2-25, ACR3-50 y ACR4-100), fueron diferentes a las de las mezclas con relación A/C=0,6 (AN5-0, ACR6-25, ACR7-50 y ACR8-100), lo que no permite concluir de manera precisa cual es el efecto de los ACR en la penetración al ion cloruro. Hay muchos factores que afectan la exactitud del procedimiento en este ensayo. Se atribuyen las diferencias y resultados obtenidos a problemas durante la preparación de los especímenes y a la edad y curado de los especímenes de ensayo los cuales afectan dramáticamente los resultados (Grace Construction products, 2006).
- Es necesario realizar ensayos de carbonatación adicionales teniendo en cuenta que con los datos obtenidos no se puede concluir de manera precisa cual es el comportamiento de los concretos con ACR. Se esperaba una reducción en el frente de carbonatación, en la medida que se aumentaba el contenido de ACR en las mezclas, según lo obtenido en los estudios de la Waste & Resources Action Programme (WRAP) en donde se encontró que la profundidad de carbonatación disminuye en la medida que el contenido de ACR se incrementa en el concreto, probablemente por el incremento de la alcalinidad en el concreto debido al mortero adherido en los ACR.

A. Anexo 1: Diseños de mezcla objeto de la investigación

Tabla A-1: Diseño de mezcla ACR3-50 (50%ACR - A/C=0,5)

MATERIAL	PESO (Kg/m ³)	DENSIDAD (Kg/m ³)	VOLUMEN (M ³ /M ³)	AJUSTES POR HUMEDAD (Kg/m ³)
Cemento	400	3100	0,129	400
Aire	0	0	0,015	0
Agua	200	1000	0,2	207,65
Comb. Grava 3/4" 75%, ACR 25%	971	2310,0	0,420	944
Arena	621	2633	0,236	640
Aditivos				
TOTAL	2191		1,0	

Tabla A-2: Diseño de mezcla ACR4-100 (100%ACR - A/C=0,5)

MATERIAL	PESO (Kg/m ³)	DENSIDAD (Kg/m ³)	VOLUMEN (M ³ /M ³)	AJUSTES POR HUMEDAD (Kg/m ³)
Cemento	400	3100	0,129	400
Aire	0	0	0,015	0
Agua	200	1000	0,2	133,33
Comb. Grava 3/4" 0%, ACR 100%	1077	2370,0	0,454	1123
Arena	531	2633	0,201	552
Aditivos				
TOTAL	2208		1,0	

Tabla A-3: Diseño de mezcla ACR7-50 (50%ACR - A/C=0,6)

MATERIAL	PESO (Kg/m ³)	DENSIDAD (Kg/m ³)	VOLUMEN (M ³ /M ³)	AJUSTES POR HUMEDAD (Kg/m ³)
Cemento	325	3100	0,105	325
Aire	0	0	0,015	0
Agua	195	1000	0,195	142,82
Comb. Grava 3/4" 50%, ACR 50%	1062	2370,0	0,448	1071
Arena	624	2633	0,237	668
Aditivos				
TOTAL	2206		1,0	

Tabla A-4: Diseño de mezcla ACR8-100 (100%ACR - A/C=0,6)

MATERIAL	PESO (Kg/m3)	DENSIDAD (Kg/m3)	VOLUMEN (M3/M3)	AJUSTES POR HUMEDAD (Kg/m3)
Cemento	325	3100	0,105	325
Aire	0	0	0,015	0
Agua	195	1000	0,195	168,27
Comb. Grava 3/4" 0%, ACR 100%	1167	2500,0	0,467	1163
Arena	575	2633	0,218	606
Aditivos				
TOTAL	2262		1,0	

B. Anexo 2: Datos de resultados de ensayos de resistencia a la compresión

Tabla B-1: Resultados de ensayos de resistencia a la compresión para cilindros de la mezcla AN1-0

Días	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN						Promedio (MPa)
	I-1		I-2		I-3		
	Kg	MPa	Kg	MPa	Kg	MPa	
3	9000	11,47	9600	11,53	9700	11,88	11,62
7	13700	16,45			13600	16,33	16,39
28	19200	23,51	20500	25,61	21900	26,82	25,31
90	25100	30,73	23900	29,26	23400	28,65	29,55

Tabla B-2: Resultados de ensayos de resistencia a la compresión para cilindros de la mezcla ACR2-25.

Días	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN						Promedio (MPa)
	I-1		I-2		I-3		
	Kg	MPa	Kg	MPa	Kg	MPa	
3	8800	10,99	10400	12,73	9700	12,24	11,99
7	14800	17,77			14600	17,53	17,65
28	16200	19,45	20200	24,73	19600	24,48	22,89
90	23600	28,61	25100	30,13	23900	28,69	29,15

Tabla B-3: Resultados de ensayos de resistencia a la compresión para cilindros de la mezcla ACR3-50.

Días	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN						Promedio (MPa)
	I-1		I-2		I-3		
	Kg	MPa	Kg	MPa	Kg	MPa	
3	9100	11,84	9800	12,24	9700	12,12	12,06
7	12700	15,25			12800	15,37	15,31
28	18700	22,45			17900	21,92	22,18
90	22200	26,65	21000	25,21	20400	24,49	25,45

Tabla B-4: Resultados de ensayos de resistencia a la compresión para cilindros de la mezcla ACR4-100.

Días	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN						
	I-1		I-2		I-3		Promedio (MPa)
	Kg	MPa	Kg	MPa	Kg	MPa	
3	9500	11,99	9700	11,65	10000	12,24	11,96
7	14600	17,88	14400	17,99			17,93
28					16200	19,45	19,45
90	18700	22,45	18500	23,11	17900	21,49	22,35

Tabla B-5: Resultados de ensayos de resistencia a la compresión para cilindros de la mezcla AN5-0

Días	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN						
	I-1		I-2		I-3		Promedio (MPa)
	Kg	MPa	Kg	MPa	Kg	MPa	
3	10600	13,51	10200	13,00	11600	14,20	13,57
7	13700	16,77	12400	15,49	12800	15,67	15,98
28	15500	18,98	16100	19,33	17500	21,01	19,77
90	19000	23,73			21150	25,90	24,81

Tabla B-6: Resultados de ensayos de resistencia a la compresión para cilindros de la mezcla ACR6-25.

Días	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN						
	I-1		I-2		I-3		Promedio (MPa)
	Kg	MPa	Kg	MPa	Kg	MPa	
3	6400	7,84	6700	8,04	6700	8,54	8,14
7	9100	11,14	10200	12,74	9900	12,37	12,08
28	12800	16,31			13700	16,29	16,30
90					18400	22,53	22,53

Tabla B-7: Resultados de ensayos de resistencia a la compresión para cilindros de la mezcla ACR7-50.

Días	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN						
	I-1		I-2		I-3		Promedio (MPa)
	Kg	MPa	Kg	MPa	Kg	MPa	
3	6700	8,04	6500	8,12	6300	7,71	7,96
7	9500	11,87	10100	12,37	9200	11,61	11,95
28			12000	14,55			14,55
90	17900	21,70	17800	22,48	17800	21,79	21,99

Tabla B-8: Resultados de ensayos de resistencia a la compresión para cilindros de la mezcla ACR8-100.

Días	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN						
	I-1		I-2		I-3		Promedio (MPa)
	Kg	MPa	Kg	MPa	Kg	MPa	
3	6000	7,20	6200	7,59	6400	7,84	7,54
7	8900	10,90	9300	11,17	7100	9,05	10,37
28	10100	12,87	12500	15,01	12000	14,55	14,14
90	16700	20,25	15400	18,73	15400	18,86	19,28

C. Anexo 3: Datos de resultados de ensayos de módulo de elasticidad

Tabla C-1: Resultados de ensayos de módulo de elasticidad para cilindros de la mezcla AN1-0.

Días	MÓDULO DE ELASTICIDAD			
	E-1	E-2	E-3	Promedio (MPa)
3	12878,8	12786,5	14200,8	13288,7
7	15971,8	13335,9	14317,1	14541,6
28	19506,2	22741,5	18019,7	20089,1
90	23453,2	23888,8	22290,9	23211,0

Tabla C-2: Resultados de ensayos de módulo de elasticidad para cilindros de la mezcla ACR2-25.

Días	MÓDULO DE ELASTICIDAD			
	E-1	E-2	E-3	Promedio (MPa)
3	11532,2	13103,8	12083,1	12239,7
7	15934,2	18819,5	14504,9	16419,5
28	18533,2	18165,3	15668,3	17455,6
90	21748,4	21311,5	20753,2	21271,0

Tabla C-3: Resultados de ensayos de módulo de elasticidad para cilindros de la mezcla ACR3-50.

Días	MÓDULO DE ELASTICIDAD			
	E-1	E-2	E-3	Promedio (MPa)
3	14678,5	11473,8	12054,1	12735,4
7	13668,9	16716,8	15578,6	15321,4
28	18483,8	22142,3	17496,5	19374,2
90	19892,0	20989,6	19296,9	20059,5

Tabla C-4: Resultados de ensayos de módulo de elasticidad para cilindros de la mezcla ACR4-100.

Días	MÓDULO DE ELASTICIDAD			
	E-1	E-2	E-3	Promedio (MPa)
3	9617,1	11949,4	10500,0	10688,9
7	14379,9	14146,4	15048,1	14524,8
28	16307,1	15439,8	17115,0	16287,3
90	16936,4	16780,9	17978,8	17232,0

Tabla C-5: Resultados de ensayos de módulo de elasticidad para cilindros de la mezcla AN5-0.

Días	MÓDULO DE ELASTICIDAD			
	E-1	E-2	E-3	Promedio (MPa)
3	13499,8	14696,9	13234,0	13810,3
7	13878,1	15663,9	14794,4	14778,8
28	15848,4	20177,4	19145,0	18390,3
90	21642,5	17572,1	21490,8	20235,1

Tabla C-6: Resultados de ensayos de módulo de elasticidad para cilindros de la mezcla ACR6-25.

Días	MÓDULO DE ELASTICIDAD			
	E-1	E-2	E-3	Promedio (MPa)
3	12766,3	14035,6	12427,3	13076,4
7	12099,0	13932,6	13895,9	13309,2
28	17079,6	16251,5	18272,8	17201,3
90	19302,9	19720,2	18540,3	19187,8

Tabla C-7: Resultados de ensayos de módulo de elasticidad para cilindros de la mezcla ACR7-50.

Días	MÓDULO DE ELASTICIDAD			
	E-1	E-2	E-3	Promedio (MPa)
3		11410,4	9775,1	10592,7
7	16444,8	14103,1	15237,3	15261,7
28	16077,9	18745,1	17533,2	17452,0
90	19817,3	19297,4	18976,3	19363,7

Tabla C-8: Resultados de ensayos de módulo de elasticidad para cilindros de la mezcla ACR8-100.

Días	MÓDULO DE ELASTICIDAD			
	E-1	E-2	E-3	Promedio (MPa)
3	6005,4	6374,9	6764,9	6381,7
7	12656,7	11073,2	12584,6	12104,8
28	15475,9	14532,2	14939,1	14982,4
90		18731,3	18877,3	18804,3

D. Anexo 4: Datos de resultados de ensayos de velocidad de pulso ultrasónico

Tabla D-1: Resultados de ensayos de VPS para la mezcla AN1-0 a edades de 3,7,28 y 90 días.

Días	VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO			
	E-1	E-2	E-3	Promedio (m/s)
3	3223,0	3235,0	3172,9	3210,3
7	3472,8	3509,9	3424,2	3469,0
28	3704,2	3673,5		3688,8
90	3831,4	3824,5	3676,1	3777,3

Tabla D-2: Resultados de ensayos de VPS para la mezcla ACR2-25 a edades de 3,7,28 y 90 días.

Días	VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO			
	E-1	E-2	E-3	Promedio (m/s)
3	3212,0		3180,6	3196,3
7	3282,5			3282,5
28			3460,9	3460,9
90	3690,3	3633,1	3648,4	3657,3

Tabla D-3: Resultados de ensayos de VPS para la mezcla ACR3-50 a edades de 3,7,28 y 90 días.

Días	VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO			
	E-1	E-2	E-3	Promedio (m/s)
3		2397,6		2397,6
7		2515,7	2530,6	2523,2
28	3456,9	3468,9	3396,9	3440,9
90	3639,1	3587,9	3661,2	3629,4

Tabla D-4: Resultados de ensayos de VPS para la mezcla ACR4-100 a edades de 3,7,28 y 90 días.

Días	VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO			
	E-1	E-2	E-3	Promedio (m/s)
3	3150,8	3233,2	3248,5	3210,8
7	3437,9	3468,2	3445,1	3450,4
28		3524,2		3524,2
90		3560,5		3560,5

Tabla D-5: Resultados de ensayos de VPS para la mezcla AN5-0-100 a edades de 3,7,28 y 90 días.

Días	VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO			
	E-1	E-2	E-3	Promedio (m/s)
3		3437,9	3439,3	3438,6
7	3519,1			3519,1
28	3600,7			3600,7
90	3618,8			3618,8

Tabla D-6: Resultados de ensayos de VPS para la mezcla ACR6-25 a edades de 3,7,28 y 90 días.

Días	VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO			
	E-1	E-2	E-3	Promedio (m/s)
3	3342,6	2726,0	3348,2	3139,0
7	3257,3	3367,2	3278,4	3301,0
28		3556,6	3603,2	3579,9
90	3581,6	3650,9	3544,0	3592,2

Tabla D-7: Resultados de ensayos de VPS para la mezcla ACR7-50 a edades de 3,7,28 y 90 días.

Días	VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO			
	E-1	E-2	E-3	Promedio (m/s)
3	3171,1	3166,2	3033,2	3123,5
7	3250,7	3232,1		3241,4
28	3546,1	3542,8	3520,7	3536,5
90	3535,7	3607,9	3575,2	3572,9

Tabla D-8: Resultados de ensayos de VPS para la mezcla ACR8-100 a edades de 3,7,28 y 90 días.

Días	VELOCIDAD DE PULSO ULTRASONICO			
	E-1	E-2	E-3	Promedio (m/s)
3	3075,2	3133,5	3191,2	3133,3
7	3374,2	3301,8	3344,4	3340,1
28		3494,0	3391,5	3442,7
90			3499,1	3499,1

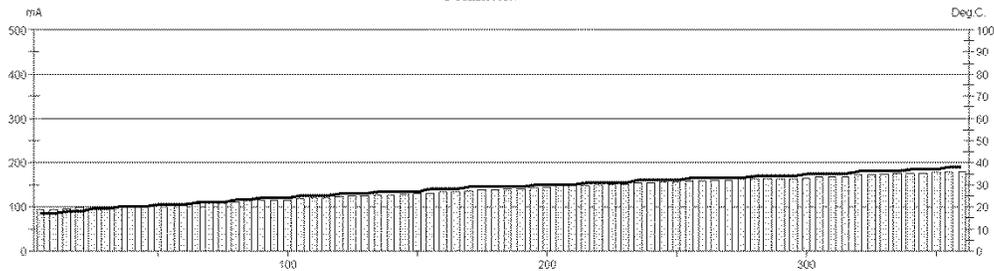
E. Anexo 5: Datos de resultados de ensayos de permeabilidad al ion cloruro

Figura E-1: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla AN1-0, espécimen 1 a edad de 28 días.



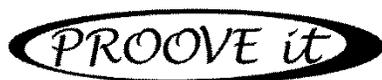
Test report

Voltage Used: 60
 Testing time: 06:00 hour
 Charge passed: 2983
 Adjusted Charge passed: 2588
 Permeability class: Moderate
 Instrument number: 090603
 Channel number: 1
 Report date: 29/05/2013
 Testing by: LAVERDE
 Reference: LN1-1A
 Sample diameter: 102
 Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	17	93,5	01:35	24	116,9	03:05	29	140,9	04:35	33	162,3
00:10	17	94,6	01:40	24	117,0	03:10	29	141,5	04:40	34	162,7
00:15	18	95,8	01:45	25	117,8	03:15	30	142,8	04:45	34	164,4
00:20	18	97,9	01:50	25	120,2	03:20	30	144,9	04:50	34	164,0
00:25	19	96,5	01:55	25	121,4	03:25	30	146,4	04:55	34	163,5
00:30	19	99,2	02:00	26	122,4	03:30	30	147,0	05:00	35	165,9
00:35	20	99,0	02:05	26	124,2	03:35	31	148,1	05:05	35	167,1
00:40	20	100,9	02:10	26	124,7	03:40	31	149,2	05:10	35	167,9
00:45	20	103,1	02:15	27	127,5	03:45	31	150,9	05:15	35	168,2
00:50	21	102,9	02:20	27	127,9	03:50	31	151,9	05:20	36	170,9
00:55	21	105,1	02:25	27	130,3	03:55	32	153,4	05:25	36	172,1
01:00	21	107,5	02:30	27	131,5	04:00	32	153,8	05:30	36	173,2
01:05	22	107,7	02:35	28	132,1	04:05	32	155,3	05:35	36	176,0
01:10	22	109,1	02:40	28	133,4	04:10	32	156,8	05:40	37	175,6
01:15	22	110,3	02:45	28	134,3	04:15	33	157,8	05:45	37	175,5
01:20	23	112,4	02:50	29	136,1	04:20	33	159,4	05:50	37	177,7
01:25	23	114,0	02:55	29	137,7	04:25	33	159,7	05:55	38	178,3
01:30	24	115,3	03:00	29	139,3	04:30	33	159,9	06:00	38	180,1

Figura E-2: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla AN1-0, espécimen 2 a edad de 28 días.



ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

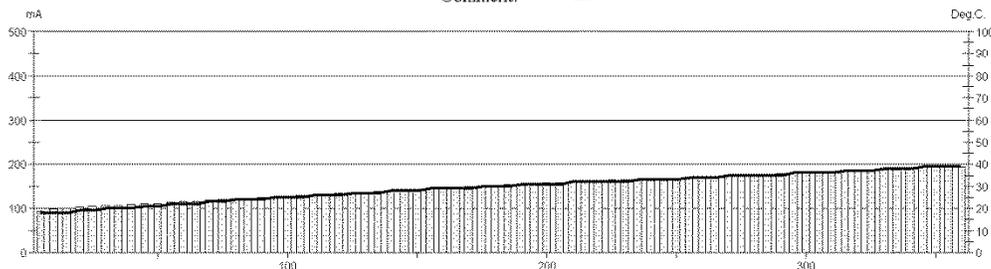
Your own logo
size=20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
DENMARK
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 229 9999
Fax: (847) 229 8888

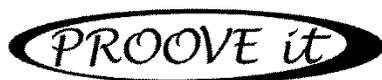
Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 3231
Adjusted Charge passed: 2803
Permeability class: Moderate
Instrument number: 090603
Channel number: 2
Report date: 29/05/2013
Testing by: LAVERDE
Reference: LN2-2
Sample diameter: 102
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	18	94,5	01:35	25	125,6	03:05	30	153,1	04:35	35	174,2
00:10	18	98,3	01:40	25	127,1	03:10	31	154,6	04:40	35	175,8
00:15	18	100,9	01:45	25	128,8	03:15	31	156,2	04:45	35	176,6
00:20	19	102,9	01:50	26	130,3	03:20	31	157,5	04:50	35	178,1
00:25	19	104,7	01:55	26	131,7	03:25	31	158,9	04:55	36	179,5
00:30	20	106,5	02:00	26	133,3	03:30	32	160,4	05:00	36	181,0
00:35	20	108,0	02:05	27	134,9	03:35	32	161,6	05:05	36	181,9
00:40	20	109,6	02:10	27	136,4	03:40	32	163,0	05:10	36	181,7
00:45	21	111,2	02:15	27	138,0	03:45	32	164,2	05:15	37	185,3
00:50	21	112,5	02:20	28	139,6	03:50	32	165,4	05:20	37	184,5
00:55	22	114,0	02:25	28	141,1	03:55	33	164,9	05:25	37	186,6
01:00	22	115,4	02:30	28	142,7	04:00	33	165,3	05:30	38	188,1
01:05	22	116,9	02:35	29	144,3	04:05	33	166,6	05:35	38	189,6
01:10	23	118,4	02:40	29	146,0	04:10	33	167,2	05:40	38	190,5
01:15	23	119,9	02:45	29	147,2	04:15	34	169,8	05:45	39	191,4
01:20	24	121,3	02:50	29	148,9	04:20	34	170,6	05:50	39	192,6
01:25	24	122,7	02:55	30	150,2	04:25	34	171,4	05:55	39	194,0
01:30	24	124,1	03:00	30	151,9	04:30	35	173,7	06:00	39	195,3

Figura E-3: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla AN1-0, espécimen 3 a edad de 28 días.



ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

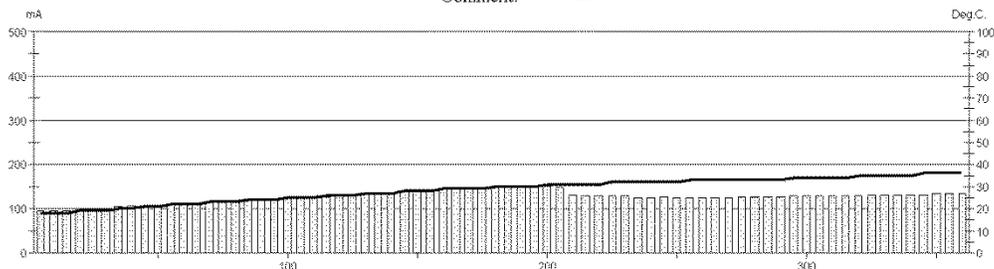
Your own logo
size=20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
DENMARK
Phone: +45 3067 7117
Fax: +45 3067 3167
USA
Phone: (847) 229 9999
Fax: (847) 229 8888

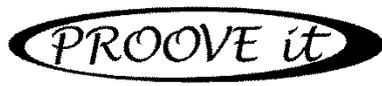
Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 2732
Adjusted Charge passed: 2370
Permeability class: Moderate
Instrument number: 090603
Channel number: 3
Report date: 29/05/2013
Testing by: LAVERDE
Reference: LN1-3
Sample diameter: 102
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	18	95,9	01:35	24	121,9	03:05	30	148,4	04:35	33	127,2
00:10	18	95,5	01:40	25	124,2	03:10	30	149,0	04:40	33	128,1
00:15	18	97,0	01:45	25	125,8	03:15	30	150,2	04:45	33	128,2
00:20	19	99,4	01:50	25	127,7	03:20	31	151,2	04:50	33	128,3
00:25	19	100,3	01:55	26	127,9	03:25	31	146,4	04:55	34	128,4
00:30	19	99,9	02:00	26	130,6	03:30	31	131,4	05:00	34	128,7
00:35	20	104,9	02:05	26	131,0	03:35	31	128,4	05:05	34	129,0
00:40	20	106,2	02:10	27	134,3	03:40	31	128,6	05:10	34	129,4
00:45	21	107,1	02:15	27	134,8	03:45	32	128,8	05:15	34	129,6
00:50	21	107,6	02:20	27	135,5	03:50	32	128,4	05:20	35	130,0
00:55	22	111,1	02:25	28	137,3	03:55	32	126,1	05:25	35	130,9
01:00	22	109,9	02:30	28	138,9	04:00	32	125,6	05:30	35	131,2
01:05	22	112,5	02:35	28	139,6	04:05	32	126,6	05:35	35	131,6
01:10	23	115,4	02:40	29	142,2	04:10	32	125,2	05:40	35	131,9
01:15	23	116,6	02:45	29	142,3	04:15	33	124,6	05:45	36	132,5
01:20	23	117,6	02:50	29	143,4	04:20	33	124,5	05:50	36	133,1
01:25	24	119,4	02:55	29	145,5	04:25	33	125,3	05:55	36	133,5
01:30	24	121,1	03:00	30	146,7	04:30	33	125,8	06:00	36	133,7

Figura E-4: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla AN1-0, espécimen 1 a edad de 90 días.

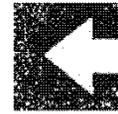


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

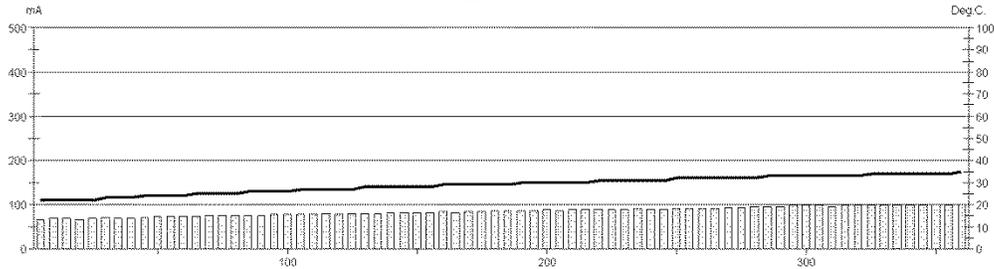
Your own logo
size=20x80mm



DENMARK
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 229-9999
Fax: (847) 229-8888

Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 1839
Adjusted Charge passed: 1919
Permeability class: Low
Instrument number: 090603
Channel number: 3
Report date: 08/10/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LN1-3 90
Sample diameter: 93
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	22	66,4	01:35	26	77,1	03:05	29	86,2	04:35	32	93,8
00:10	22	68,4	01:40	26	77,5	03:10	30	87,0	04:40	32	96,2
00:15	22	69,3	01:45	27	78,7	03:15	30	88,0	04:45	33	96,2
00:20	22	67,8	01:50	27	78,9	03:20	30	88,8	04:50	33	95,2
00:25	22	68,6	01:55	27	79,3	03:25	30	87,3	04:55	33	97,4
00:30	23	70,4	02:00	27	78,7	03:30	30	88,7	05:00	33	97,8
00:35	23	69,4	02:05	27	80,5	03:35	30	88,8	05:05	33	97,3
00:40	23	69,6	02:10	28	81,4	03:40	31	88,7	05:10	33	96,5
00:45	24	70,6	02:15	28	80,9	03:45	31	88,4	05:15	33	97,5
00:50	24	74,0	02:20	28	83,1	03:50	31	88,9	05:20	33	97,7
00:55	24	74,0	02:25	28	83,4	03:55	31	90,6	05:25	34	97,7
01:00	24	74,7	02:30	28	83,7	04:00	31	89,9	05:30	34	97,2
01:05	25	73,0	02:35	28	81,5	04:05	31	90,4	05:35	34	98,3
01:10	25	74,8	02:40	29	84,5	04:10	32	92,3	05:40	34	98,8
01:15	25	74,9	02:45	29	83,1	04:15	32	92,0	05:45	34	98,5
01:20	25	75,0	02:50	29	85,6	04:20	32	92,5	05:50	34	100,0
01:25	26	75,5	02:55	29	84,8	04:25	32	91,5	05:55	34	98,7
01:30	26	76,1	03:00	29	86,7	04:30	32	93,2	06:00	35	100,0

Figura E-5: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla AN1-0, espécimen 2 a edad de 90 días.

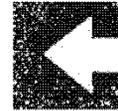


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

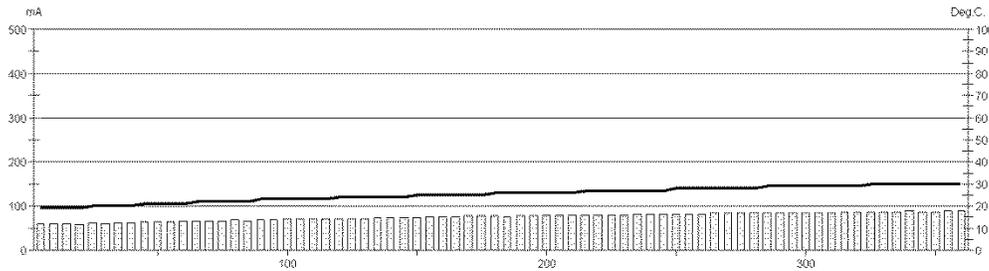
Your own logo
Size=20x80mm



GERMANN INSTRUMENTS
DEZIMARE
Phone: +43 2067 7117
Fax: +43 2067 3167
USA
Phone: (947) 829 9999
Fax: (947) 829 8888

Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 1648
Adjusted Charge passed: 1720
Permeability class: Low
Instrument number: 090603
Channel number: 1
Report date: 08/10/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LN1-1 90
Sample diameter: 93
Comment: ---



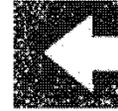
Time	°C	mA									
00:05	19	59,5	01:35	23	69,9	03:05	26	76,8	04:35	28	84,5
00:10	19	60,4	01:40	23	70,7	03:10	26	79,0	04:40	28	84,4
00:15	19	59,2	01:45	23	70,6	03:15	26	78,4	04:45	29	85,5
00:20	19	59,0	01:50	23	70,6	03:20	26	79,5	04:50	29	84,5
00:25	20	62,0	01:55	23	71,1	03:25	26	79,5	04:55	29	84,8
00:30	20	61,1	02:00	24	71,2	03:30	26	80,1	05:00	29	85,3
00:35	20	63,5	02:05	24	71,3	03:35	27	80,5	05:05	29	85,2
00:40	20	62,6	02:10	24	71,7	03:40	27	81,2	05:10	29	85,7
00:45	21	64,5	02:15	24	73,0	03:45	27	80,7	05:15	29	86,6
00:50	21	64,3	02:20	24	72,9	03:50	27	81,3	05:20	29	86,1
00:55	21	65,2	02:25	24	73,7	03:55	27	82,7	05:25	30	86,7
01:00	21	66,8	02:30	25	74,2	04:00	27	82,0	05:30	30	87,6
01:05	22	66,2	02:35	25	75,3	04:05	27	81,9	05:35	30	88,0
01:10	22	66,7	02:40	25	75,8	04:10	28	83,1	05:40	30	88,2
01:15	22	67,3	02:45	25	75,5	04:15	28	83,0	05:45	30	87,9
01:20	22	69,0	02:50	25	77,2	04:20	28	83,7	05:50	30	88,1
01:25	22	67,9	02:55	25	78,3	04:25	28	83,8	05:55	30	88,8
01:30	23	69,4	03:00	26	77,1	04:30	28	84,1	06:00	30	89,6

Figura E-6: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla AN1-0, espécimen 3 a edad de 90 días.



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

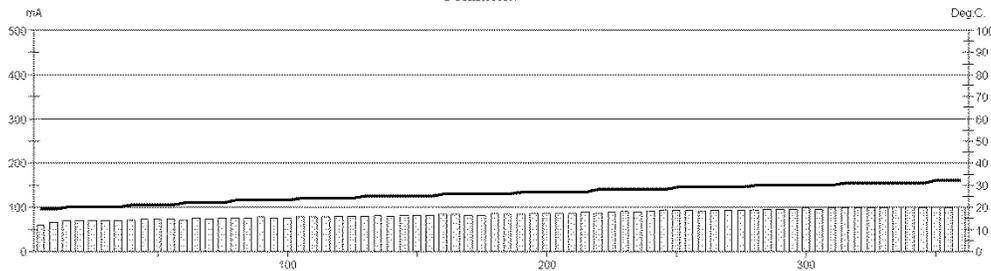
Your own logo
size=30x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
DENMARK
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 229-9999
Fax: (847) 229-8888

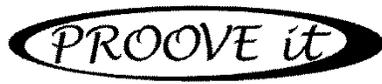
Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 1841
Adjusted Charge passed: 1921
Permeability class: Low
Instrument number: 090603
Channel number: 2
Report date: 08/10/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LN1-2.90
Sample diameter: 93
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	19	59,8	01:35	23	77,0	03:05	26	85,1	04:35	29	94,5
00:10	19	67,6	01:40	23	76,7	03:10	27	85,2	04:40	30	94,5
00:15	20	69,0	01:45	24	78,8	03:15	27	87,4	04:45	30	96,2
00:20	20	69,4	01:50	24	77,7	03:20	27	87,3	04:50	30	95,8
00:25	20	70,2	01:55	24	79,2	03:25	27	87,8	04:55	30	96,8
00:30	20	70,0	02:00	24	80,5	03:30	27	87,6	05:00	30	97,2
00:35	20	69,1	02:05	24	79,4	03:35	27	89,4	05:05	30	96,9
00:40	21	71,4	02:10	25	80,7	03:40	28	87,9	05:10	30	98,6
00:45	21	72,6	02:15	25	81,9	03:45	28	88,6	05:15	31	97,8
00:50	21	73,2	02:20	25	80,7	03:50	28	91,2	05:20	31	98,7
00:55	21	73,0	02:25	25	83,2	03:55	28	90,1	05:25	31	99,0
01:00	22	72,2	02:30	25	82,1	04:00	28	91,6	05:30	31	97,5
01:05	22	75,1	02:35	25	81,9	04:05	28	92,7	05:35	31	100,8
01:10	22	74,3	02:40	26	84,5	04:10	29	93,3	05:40	31	99,9
01:15	22	74,8	02:45	26	85,1	04:15	29	93,4	05:45	31	98,7
01:20	23	76,0	02:50	26	83,7	04:20	29	92,5	05:50	32	100,4
01:25	23	75,0	02:55	26	83,5	04:25	29	93,1	05:55	32	99,1
01:30	23	77,8	03:00	26	86,5	04:30	29	94,7	06:00	32	100,2

Figura E-7: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR2-25, espécimen 1 a edad de 28 días.

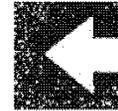


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

Your own logo
Size: 30x60mm

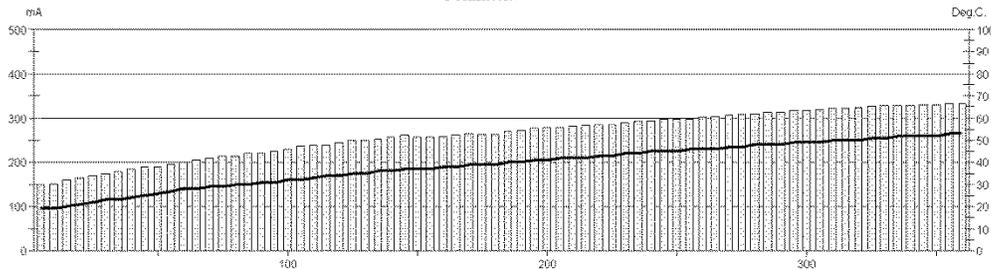


GERMANY INSTRUMENTS
DENMARK
Phone: +45 3067 7117
Fax: +45 3067 3167

USA
Phone: (847) 329 9999
Fax: (847) 329 8888

Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 5672
Adjusted Charge passed: 4920
Permeability class: High
Instrument number: 090603
Channel number: 3
Report date: 28/05/2013
Testing by: LAVERDE
Reference: LR2-1
Sample diameter: 102
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	19	150,0	01:35	31	226,3	03:05	40	270,7	04:35	47	309,1
00:10	19	152,8	01:40	32	230,3	03:10	40	272,1	04:40	48	310,0
00:15	20	160,0	01:45	32	236,2	03:15	41	275,8	04:45	48	311,8
00:20	21	164,6	01:50	33	238,1	03:20	41	278,3	04:50	48	313,2
00:25	22	169,6	01:55	34	239,1	03:25	42	280,1	04:55	49	316,0
00:30	23	173,7	02:00	34	245,9	03:30	42	281,8	05:00	49	316,8
00:35	23	178,7	02:05	35	249,1	03:35	42	283,7	05:05	49	319,5
00:40	24	184,8	02:10	35	249,9	03:40	43	286,6	05:10	50	320,9
00:45	25	190,2	02:15	36	252,6	03:45	43	286,8	05:15	50	321,3
00:50	26	189,6	02:20	36	257,1	03:50	44	290,8	05:20	50	324,6
00:55	27	197,5	02:25	37	261,5	03:55	44	292,5	05:25	51	325,7
01:00	28	201,2	02:30	37	256,5	04:00	45	294,3	05:30	51	327,1
01:05	28	205,7	02:35	37	257,3	04:05	45	297,3	05:35	52	328,4
01:10	29	209,1	02:40	38	260,0	04:10	45	297,4	05:40	52	328,5
01:15	29	213,9	02:45	38	260,4	04:15	46	297,1	05:45	52	329,9
01:20	30	215,3	02:50	39	264,6	04:20	46	301,7	05:50	52	330,0
01:25	30	220,2	02:55	39	263,2	04:25	46	303,5	05:55	53	332,6
01:30	31	221,8	03:00	39	263,6	04:30	47	306,2	06:00	53	332,7

Figura E-8: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR2-25, espécimen 2 a edad de 28 días.

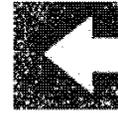


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

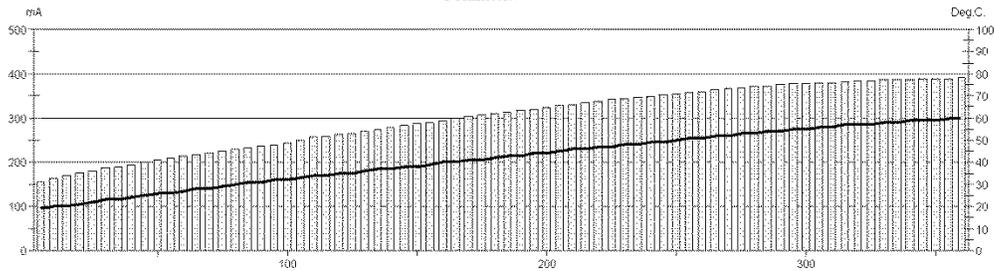
Your own logo
Size=30x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
DENMARK
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 829 9999
Fax: (847) 829 8888

Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 6474
Adjusted Charge passed: 5616
Permeability class: High
Instrument number: 090603
Channel number: 4
Report date: 28/05/2013
Testing by: LAVERDE
Reference: LR2-2
Sample diameter: 102
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	19	157,2	01:35	32	239,9	03:05	43	313,2	04:35	53	367,6
00:10	20	163,0	01:40	32	242,3	03:10	43	317,4	04:40	53	369,7
00:15	20	169,8	01:45	33	249,3	03:15	44	320,2	04:45	54	371,2
00:20	21	175,5	01:50	34	256,3	03:20	44	324,2	04:50	54	374,8
00:25	22	180,8	01:55	34	260,0	03:25	45	327,3	04:55	55	376,6
00:30	23	187,2	02:00	35	263,4	03:30	46	331,3	05:00	55	378,0
00:35	23	190,6	02:05	35	266,7	03:35	46	334,6	05:05	56	379,4
00:40	24	195,2	02:10	36	269,9	03:40	47	336,7	05:10	56	380,2
00:45	25	200,3	02:15	37	274,0	03:45	47	340,7	05:15	57	382,3
00:50	26	205,3	02:20	37	278,6	03:50	48	343,0	05:20	57	383,0
00:55	26	209,2	02:25	38	283,5	03:55	48	346,0	05:25	57	383,9
01:00	27	213,6	02:30	38	287,4	04:00	49	349,3	05:30	58	385,7
01:05	28	217,5	02:35	39	290,7	04:05	49	351,9	05:35	58	385,8
01:10	28	221,1	02:40	40	295,7	04:10	50	354,9	05:40	59	387,0
01:15	29	225,4	02:45	40	299,5	04:15	51	357,2	05:45	59	387,7
01:20	30	229,3	02:50	41	303,0	04:20	51	360,1	05:50	59	388,0
01:25	31	231,8	02:55	41	306,1	04:25	52	362,8	05:55	60	388,7
01:30	31	236,2	03:00	42	309,5	04:30	52	365,6	06:00	60	390,0

Figura E-9: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR2-25, espécimen 3 a edad de 28 días.



ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

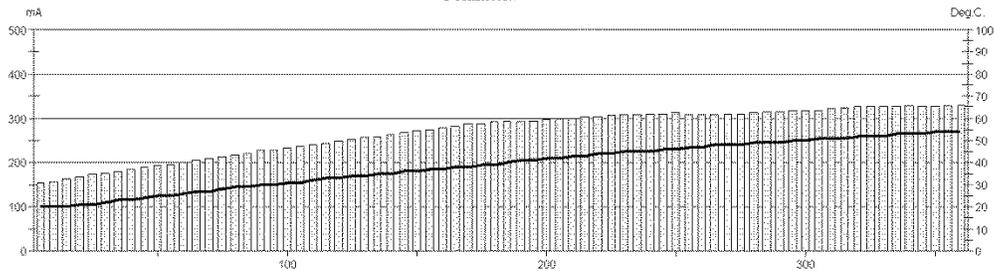
Your own logo
size=20x80mm



GERMANN INSTRUMENTS
DENMARK
Phone: +45 2967 7117
Fax: +45 2967 3167
USA
Phone: (947) 829 9999
Fax: (947) 829 8888

Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 5822
Adjusted Charge passed: 5050
Permeability class: High
Instrument number: 090603
Channel number: 5
Report date: 28/05/2013
Testing by: LAVERDE
Reference: LR2-3
Sample diameter: 102
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	20	153,7	01:35	30	228,2	03:05	40	294,6	04:35	48	310,9
00:10	20	157,2	01:40	31	232,7	03:10	41	293,1	04:40	49	313,1
00:15	20	163,9	01:45	31	237,6	03:15	41	294,8	04:45	49	315,4
00:20	21	167,6	01:50	32	241,9	03:20	42	296,6	04:50	49	315,3
00:25	21	173,0	01:55	33	243,6	03:25	42	299,4	04:55	50	317,1
00:30	22	176,8	02:00	33	248,6	03:30	43	299,8	05:00	50	317,1
00:35	23	180,8	02:05	34	252,5	03:35	43	302,6	05:05	51	317,9
00:40	23	184,8	02:10	34	257,4	03:40	44	303,9	05:10	51	320,8
00:45	24	189,6	02:15	35	260,0	03:45	44	304,7	05:15	51	324,3
00:50	25	194,3	02:20	35	263,9	03:50	45	307,1	05:20	52	325,6
00:55	25	196,8	02:25	36	267,7	03:55	45	307,2	05:25	52	325,3
01:00	26	200,8	02:30	36	272,0	04:00	45	310,2	05:30	52	325,4
01:05	27	204,9	02:35	37	274,4	04:05	46	309,6	05:35	53	326,6
01:10	27	209,5	02:40	37	279,8	04:10	46	311,7	05:40	53	327,8
01:15	28	212,8	02:45	38	282,0	04:15	47	308,1	05:45	53	325,9
01:20	29	217,5	02:50	38	287,4	04:20	47	308,6	05:50	54	326,8
01:25	29	221,5	02:55	39	288,3	04:25	48	308,9	05:55	54	328,2
01:30	30	226,6	03:00	39	291,5	04:30	48	309,7	06:00	54	330,1

Figura E-10: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR2-25, espécimen 1 a edad de 90 días.

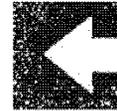


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

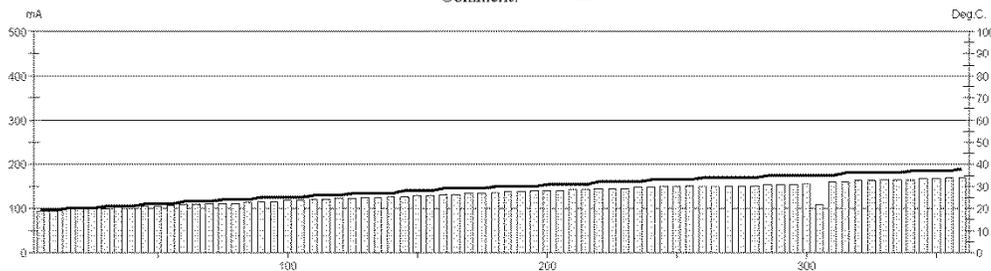
Your own logo
Size: 30x60mm



GERMANY INSTRUMENTS
DENMARK
Phone: +45 3067 7117
Fax: +45 3067 3167
USA
Phone: (847) 329 9999
Fax: (847) 329 8888

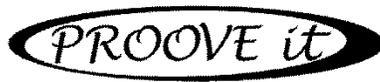
Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 2885
Adjusted Charge passed: 2604
Permeability class: Moderate
Instrument number: 090603
Channel number: 1
Report date: 13/08/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LR2-1
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	19	93,8	01:35	25	116,3	03:05	30	137,4	04:35	34	151,6
00:10	19	95,3	01:40	25	119,0	03:10	30	137,8	04:40	34	152,7
00:15	20	98,0	01:45	25	119,1	03:15	30	139,6	04:45	35	153,1
00:20	20	97,8	01:50	26	119,9	03:20	31	140,1	04:50	35	154,6
00:25	20	97,1	01:55	26	119,8	03:25	31	141,0	04:55	35	154,2
00:30	21	98,1	02:00	26	121,9	03:30	31	142,8	05:00	35	155,6
00:35	21	102,2	02:05	27	123,7	03:35	31	143,3	05:05	35	108,8
00:40	21	101,5	02:10	27	124,5	03:40	32	144,7	05:10	35	159,7
00:45	22	104,7	02:15	27	126,0	03:45	32	146,1	05:15	36	160,6
00:50	22	104,4	02:20	27	128,1	03:50	32	146,2	05:20	36	162,7
00:55	22	106,3	02:25	28	127,3	03:55	32	147,6	05:25	36	163,8
01:00	23	108,4	02:30	28	129,9	04:00	33	148,3	05:30	36	164,7
01:05	23	108,5	02:35	28	130,4	04:05	33	149,6	05:35	36	165,6
01:10	23	110,7	02:40	29	131,1	04:10	33	150,4	05:40	37	166,2
01:15	24	110,8	02:45	29	132,5	04:15	33	151,5	05:45	37	167,0
01:20	24	111,2	02:50	29	133,1	04:20	34	150,4	05:50	37	168,1
01:25	24	113,3	02:55	29	133,4	04:25	34	150,4	05:55	37	168,7
01:30	25	116,5	03:00	30	135,6	04:30	34	151,1	06:00	38	169,9

Figura E-11: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR2-25, espécimen 2 a edad de 90 días.

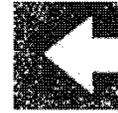


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

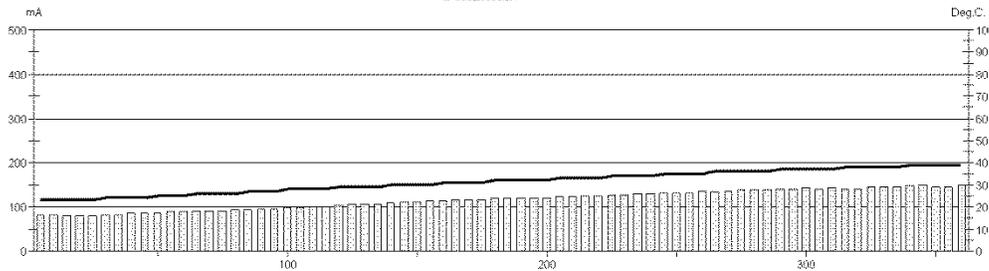
Your own logo.
Size=20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
BENHARBE
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 329 9999
Fax: (847) 329 8888

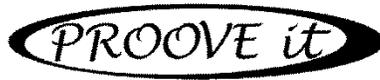
Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 2517
Adjusted Charge passed: 2272
Permeability class: Moderate
Instrument number: 090603
Channel number: 2
Report date: 13/08/2013
Testing by: ALBJANDRO LAVERDE
Reference: LR2-2
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA	Time	°C	mA	Time	°C	mA	Time	°C	mA
00:05	23	82,3	01:35	27	96,8	03:05	32	119,7	04:35	36	137,3
00:10	23	82,7	01:40	28	98,9	03:10	32	120,9	04:40	36	138,5
00:15	23	81,1	01:45	28	99,1	03:15	32	121,1	04:45	36	137,5
00:20	23	80,9	01:50	28	99,7	03:20	32	121,2	04:50	37	140,2
00:25	23	81,4	01:55	28	99,7	03:25	33	122,5	04:55	37	140,7
00:30	24	83,4	02:00	29	103,2	03:30	33	123,7	05:00	37	141,8
00:35	24	82,1	02:05	29	106,7	03:35	33	124,3	05:05	37	140,7
00:40	24	88,1	02:10	29	107,0	03:40	33	125,4	05:10	37	142,5
00:45	24	87,6	02:15	29	106,8	03:45	34	128,0	05:15	38	141,1
00:50	25	88,0	02:20	30	109,5	03:50	34	127,6	05:20	38	140,3
00:55	25	89,2	02:25	30	110,9	03:55	34	129,3	05:25	38	146,1
01:00	25	90,4	02:30	30	110,8	04:00	34	128,4	05:30	38	145,3
01:05	26	91,5	02:35	30	113,6	04:05	35	131,0	05:35	38	145,6
01:10	26	92,5	02:40	31	113,6	04:10	35	131,1	05:40	39	147,8
01:15	26	91,8	02:45	31	115,2	04:15	35	132,5	05:45	39	149,7
01:20	26	93,2	02:50	31	115,7	04:20	35	135,4	05:50	39	146,2
01:25	27	94,7	02:55	31	117,0	04:25	36	134,6	05:55	39	145,7
01:30	27	96,4	03:00	32	119,5	04:30	36	135,9	06:00	39	150,6

Figura E-12: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR2-25, espécimen 3 a edad de 90 días.

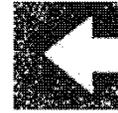


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

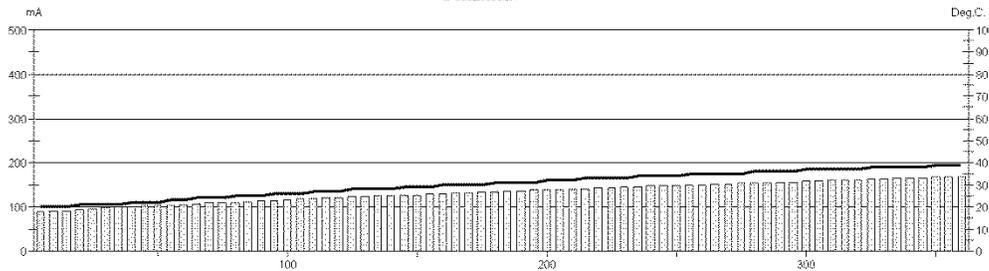
Your own logo.
Size=20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
BENHARBE
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 329 9999
Fax: (847) 329 8888

Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 2872
Adjusted Charge passed: 2592
Permeability class: Moderate
Instrument number: 090603
Channel number: 3
Report date: 13/08/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LR2-3
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	20	89,7	01:35	26	113,7	03:05	31	135,2	04:35	35	153,6
00:10	20	90,9	01:40	26	115,6	03:10	31	136,7	04:40	36	155,0
00:15	20	92,6	01:45	26	117,2	03:15	31	137,7	04:45	36	155,1
00:20	21	94,0	01:50	27	118,5	03:20	32	138,6	04:50	36	156,2
00:25	21	96,3	01:55	27	120,3	03:25	32	139,5	04:55	36	157,1
00:30	21	97,9	02:00	27	120,9	03:30	32	141,0	05:00	37	158,1
00:35	21	99,7	02:05	28	122,4	03:35	33	141,4	05:05	37	159,1
00:40	22	100,9	02:10	28	123,3	03:40	33	142,3	05:10	37	159,9
00:45	22	101,8	02:15	28	124,6	03:45	33	143,3	05:15	37	161,1
00:50	22	103,3	02:20	28	125,7	03:50	33	144,6	05:20	37	161,7
00:55	23	103,4	02:25	29	126,8	03:55	34	145,2	05:25	38	162,5
01:00	23	105,6	02:30	29	128,0	04:00	34	146,4	05:30	38	163,5
01:05	24	106,9	02:35	29	129,0	04:05	34	147,5	05:35	38	164,4
01:10	24	108,3	02:40	30	129,5	04:10	34	147,9	05:40	38	165,2
01:15	24	109,6	02:45	30	131,1	04:15	35	149,4	05:45	38	165,7
01:20	25	110,2	02:50	30	132,5	04:20	35	150,2	05:50	39	166,6
01:25	25	111,8	02:55	30	133,4	04:25	35	151,4	05:55	39	167,3
01:30	25	113,4	03:00	31	134,4	04:30	35	152,4	06:00	39	168,0

Figura E-13: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR3-50, espécimen 1 a edad de 28 días.

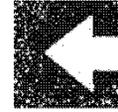


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

Your own logo
size=20x80mm



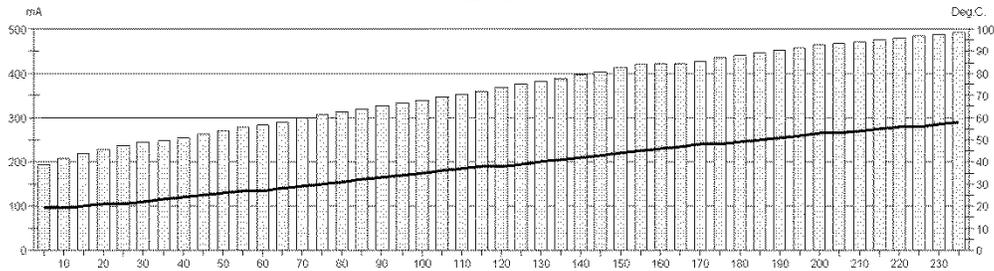
GERMANN INSTRUMENTS

DENMARK
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167

USA
Phone: (047) 329 9999
Fax: (047) 329 8888

Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 5096
Adjusted Charge passed: 4421
Permeability class: High
Instrument number: 090603
Channel number: 1
Report date: 06/08/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LR3-1
Sample diameter: 102
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	19	194,9	01:05	28	291,1	02:05	39	374,7	03:05	50	446,1
00:10	19	207,6	01:10	29	298,2	02:10	40	381,9	03:10	51	452,2
00:15	20	218,0	01:15	30	306,4	02:15	41	389,3	03:15	52	458,5
00:20	21	228,6	01:20	31	313,6	02:20	42	396,3	03:20	53	464,5
00:25	21	237,0	01:25	32	319,4	02:25	43	404,2	03:25	53	468,1
00:30	22	244,6	01:30	33	326,5	02:30	44	411,9	03:30	54	471,0
00:35	23	248,0	01:35	34	332,2	02:35	45	418,6	03:35	55	475,9
00:40	24	254,6	01:40	35	339,6	02:40	46	421,8	03:40	56	479,7
00:45	25	262,7	01:45	36	346,3	02:45	47	422,1	03:45	56	484,7
00:50	26	269,3	01:50	37	353,3	02:50	48	426,8	03:50	57	488,7
00:55	27	278,1	01:55	38	360,2	02:55	48	435,3	03:55	58	493,1
01:00	27	283,7	02:00	38	368,6	03:00	49	440,1			

Figura E-14: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR3-50, espécimen 2 a edad de 28 días.



ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

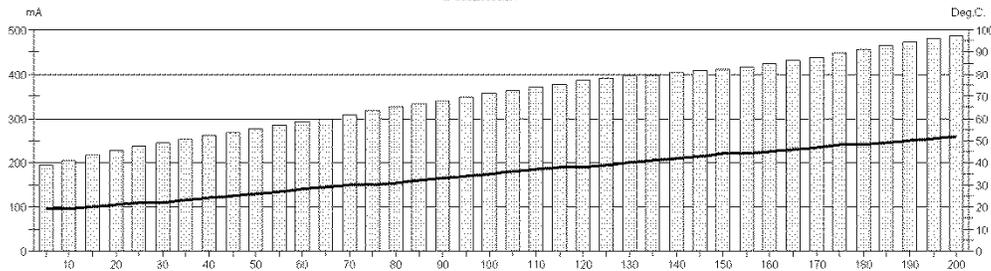
Your own logo
Size=20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
BENZHEIM
Phone: +49 3967 7117
Fax: +49 3967 3167
USA
Phone: (847) 329 9999
Fax: (847) 329 8888

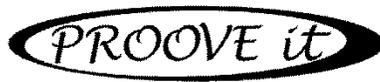
Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 4204
Adjusted Charge passed: 3647
Permeability class: Moderate
Instrument number: 090603
Channel number: 6
Report date: 06/08/2013
Testing by: ---
Reference: ---
Sample diameter: 102
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	19	194,3	00:55	27	285,1	01:45	36	362,8	02:35	44	415,1
00:10	19	205,4	01:00	28	293,4	01:50	37	370,2	02:40	45	423,5
00:15	20	217,1	01:05	29	299,9	01:55	38	377,5	02:45	46	431,2
00:20	21	226,9	01:10	30	308,5	02:00	38	385,2	02:50	47	438,6
00:25	22	236,6	01:15	30	317,2	02:05	39	391,1	02:55	48	448,4
00:30	22	245,3	01:20	31	324,8	02:10	40	395,3	03:00	48	455,2
00:35	23	252,7	01:25	32	332,7	02:15	41	398,2	03:05	49	465,1
00:40	24	261,5	01:30	33	340,3	02:20	42	403,6	03:10	50	473,2
00:45	25	268,2	01:35	34	347,9	02:25	43	409,1	03:15	51	480,0
00:50	26	277,9	01:40	35	356,2	02:30	44	411,8	03:20	52	486,2

Figura E-15: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR3-50, espécimen 3 a edad de 28 días.

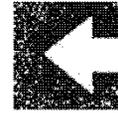


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

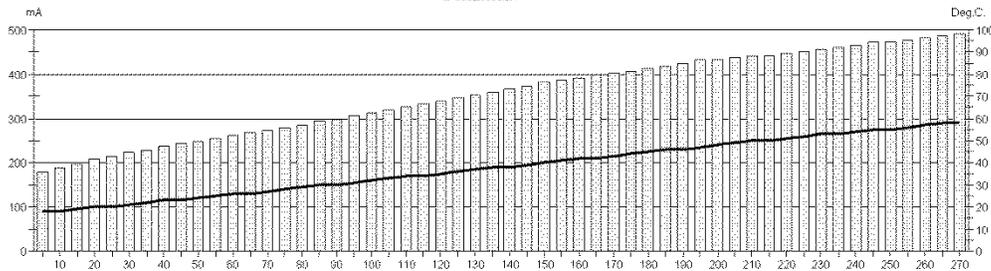
Your own logo
Size: 20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
BENHARBE
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 829 9999
Fax: (847) 829 8888

Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 5721
Adjusted Charge passed: 4963
Permeability class: N.A. do to Hi current duing test
Instrument number: 090603
Channel number: 2
Report date: 06/08/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LR3-2
Sample diameter: 102
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	18	177,5	01:15	28	280,1	02:25	39	373,3	03:35	50	442,5
00:10	18	186,6	01:20	29	285,7	02:30	40	380,6	03:40	51	446,3
00:15	19	197,4	01:25	30	293,7	02:35	41	385,6	03:45	52	452,0
00:20	20	206,5	01:30	30	297,8	02:40	42	390,5	03:50	53	455,5
00:25	20	213,2	01:35	31	306,4	02:45	42	399,7	03:55	53	460,2
00:30	21	223,2	01:40	32	313,5	02:50	43	401,9	04:00	54	465,3
00:35	22	228,0	01:45	33	319,1	02:55	44	406,1	04:05	55	472,1
00:40	23	235,6	01:50	34	326,1	03:00	45	412,1	04:10	55	474,2
00:45	23	242,4	01:55	34	332,9	03:05	46	418,0	04:15	56	477,8
00:50	24	246,8	02:00	35	339,8	03:10	46	423,1	04:20	57	481,2
00:55	25	254,7	02:05	36	345,7	03:15	47	432,0	04:25	58	487,3
01:00	26	260,6	02:10	37	353,5	03:20	48	433,8	04:30	58	491,8
01:05	26	267,5	02:15	38	358,4	03:25	49	436,9			
01:10	27	272,0	02:20	38	365,6	03:30	50	439,7			

Figura E-16: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR3-50, espécimen 1 a edad de 90 días.



ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

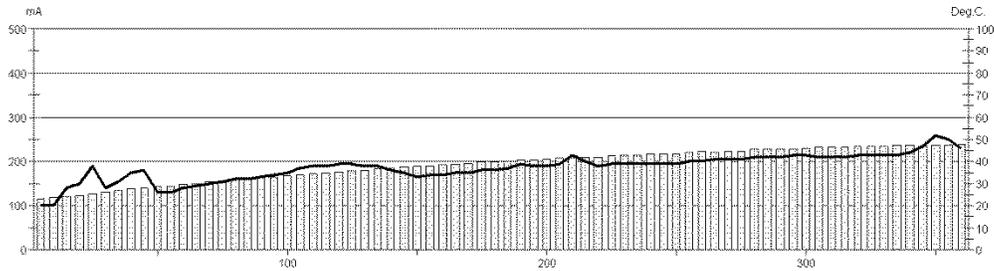
Your own logo
size=20x80mm



GERMANN INSTRUMENTS
DENMARK
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 229 9999
Fax: (847) 229 8888

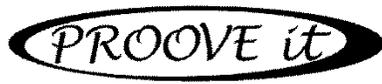
Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 4149
Adjusted Charge passed: 3744
Permeability class: Moderate
Instrument number: 090603
Channel number: 1
Report date: 14/08/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LR3-1 90
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	20	117,1	01:35	34	165,0	03:05	37	201,3	04:35	41	223,8
00:10	20	119,0	01:40	35	167,2	03:10	39	202,8	04:40	42	226,8
00:15	28	121,0	01:45	37	169,6	03:15	38	204,0	04:45	42	226,6
00:20	30	123,4	01:50	38	171,8	03:20	38	204,9	04:50	42	228,0
00:25	38	127,7	01:55	38	173,9	03:25	39	207,0	04:55	43	228,3
00:30	28	131,1	02:00	39	176,5	03:30	43	207,9	05:00	43	229,0
00:35	31	134,3	02:05	39	178,5	03:35	40	209,4	05:05	42	231,3
00:40	35	137,6	02:10	38	180,5	03:40	38	210,4	05:10	42	232,2
00:45	36	141,3	02:15	38	183,1	03:45	39	211,8	05:15	42	232,9
00:50	26	143,3	02:20	36	184,9	03:50	39	213,2	05:20	43	233,5
00:55	26	143,8	02:25	35	186,6	03:55	39	214,5	05:25	43	234,4
01:00	28	148,1	02:30	33	189,1	04:00	39	216,5	05:30	43	234,3
01:05	29	150,6	02:35	34	190,7	04:05	39	217,1	05:35	43	236,4
01:10	30	153,4	02:40	34	191,5	04:10	39	217,6	05:40	44	236,1
01:15	31	154,9	02:45	35	194,2	04:15	40	220,0	05:45	47	235,1
01:20	32	157,8	02:50	35	196,1	04:20	40	223,1	05:50	52	235,5
01:25	32	160,3	02:55	36	197,7	04:25	41	221,7	05:55	50	237,5
01:30	33	162,9	03:00	36	199,4	04:30	41	222,6	06:00	46	239,7

Figura E-17: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR3-50, espécimen 2 a edad de 90 días.

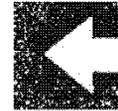


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

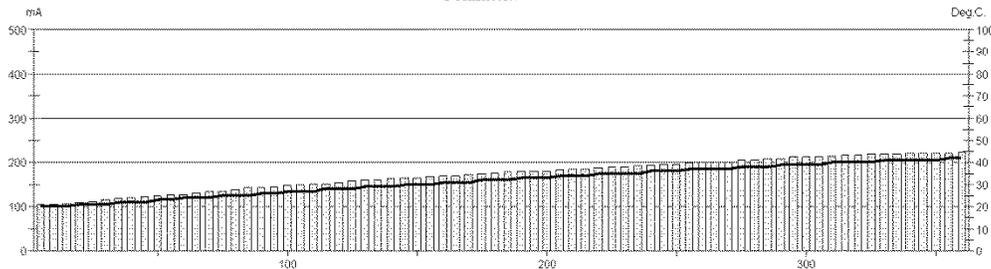
Your own logo
size=30x80mm



GERMANN INSTRUMENTS
DENMARK
Phone: +45 3067 7117
Fax: +45 3067 3167
USA
Phone: (847) 829 9999
Fax: (847) 829 8888

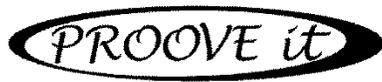
Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 3726
Adjusted Charge passed: 3363
Permeability class: Moderate
Instrument number: 090603
Channel number: 2
Report date: 14/08/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LR3-2 90
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	20	105,1	01:35	26	144,3	03:05	32	178,2	04:35	38	205,1
00:10	20	104,5	01:40	27	147,8	03:10	33	180,3	04:40	38	205,3
00:15	20	106,6	01:45	27	149,8	03:15	33	180,1	04:45	38	207,6
00:20	21	110,3	01:50	27	151,3	03:20	33	181,2	04:50	39	207,8
00:25	21	112,6	01:55	28	152,5	03:25	34	183,4	04:55	39	211,2
00:30	21	116,7	02:00	28	155,0	03:30	34	185,2	05:00	39	212,1
00:35	22	119,2	02:05	28	158,2	03:35	34	186,1	05:05	39	213,0
00:40	22	121,5	02:10	29	159,9	03:40	35	187,4	05:10	40	215,1
00:45	22	123,1	02:15	29	160,3	03:45	35	188,7	05:15	40	215,5
00:50	23	125,0	02:20	29	162,0	03:50	35	189,9	05:20	40	216,9
00:55	23	126,3	02:25	30	165,4	03:55	35	191,9	05:25	40	217,8
01:00	24	127,8	02:30	30	165,5	04:00	36	194,4	05:30	41	218,7
01:05	24	132,1	02:35	30	167,8	04:05	36	195,5	05:35	41	218,9
01:10	24	134,0	02:40	31	169,9	04:10	36	197,1	05:40	41	220,5
01:15	25	134,6	02:45	31	170,3	04:15	37	198,9	05:45	41	221,2
01:20	25	138,8	02:50	31	171,3	04:20	37	200,0	05:50	41	222,0
01:25	25	141,8	02:55	32	174,9	04:25	37	201,1	05:55	42	222,0
01:30	26	143,4	03:00	32	176,1	04:30	37	201,8	06:00	42	223,1

Figura E-18: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR3-50, espécimen 3 a edad de 90 días.

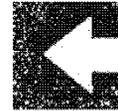


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

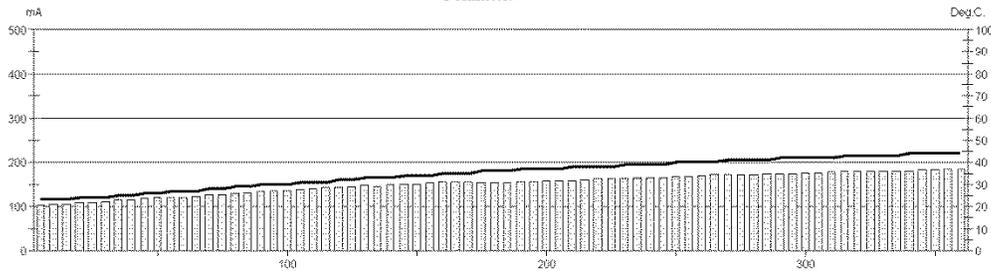
Your own logo
size=20x80mm



GERMANN INSTRUMENTS
DENMARK
Phone: +45 2967 7117
Fax: +45 2967 3167
USA
Phone: (947) 829 9999
Fax: (947) 829 8888

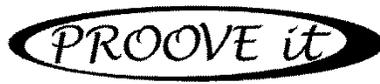
Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 3284
Adjusted Charge passed: 2964
Permeability class: Moderate
Instrument number: 090603
Channel number: 3
Report date: 14/08/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LR3-3 90
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	23	103,1	01:35	30	136,0	03:05	36	154,8	04:35	41	172,7
00:10	23	105,3	01:40	30	137,0	03:10	37	156,2	04:40	41	172,7
00:15	23	106,0	01:45	31	138,3	03:15	37	157,2	04:45	41	174,1
00:20	24	109,7	01:50	31	140,1	03:20	37	157,9	04:50	42	173,9
00:25	24	109,3	01:55	31	141,8	03:25	37	158,4	04:55	42	175,2
00:30	24	112,1	02:00	32	143,7	03:30	38	159,5	05:00	42	175,8
00:35	25	115,7	02:05	32	145,7	03:35	38	160,3	05:05	42	176,6
00:40	25	116,5	02:10	33	146,6	03:40	38	162,1	05:10	42	179,3
00:45	26	117,4	02:15	33	145,5	03:45	38	163,8	05:15	43	179,7
00:50	26	119,8	02:20	33	148,8	03:50	39	163,9	05:20	43	179,7
00:55	27	121,3	02:25	34	151,7	03:55	39	165,0	05:25	43	179,7
01:00	27	121,6	02:30	34	152,3	04:00	39	165,9	05:30	43	180,9
01:05	27	123,1	02:35	34	153,3	04:05	39	165,9	05:35	43	181,3
01:10	28	126,4	02:40	35	155,3	04:10	40	167,2	05:40	44	181,8
01:15	28	127,6	02:45	35	156,4	04:15	40	168,2	05:45	44	183,6
01:20	29	130,5	02:50	35	156,1	04:20	40	170,2	05:50	44	183,8
01:25	29	131,7	02:55	36	153,8	04:25	40	171,0	05:55	44	184,2
01:30	30	133,6	03:00	36	154,4	04:30	41	171,8	06:00	44	184,2

Figura E-19: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR4-100, espécimen 1 a edad de 28 días.

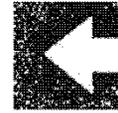


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

Your own logo.
Size=20x80mm

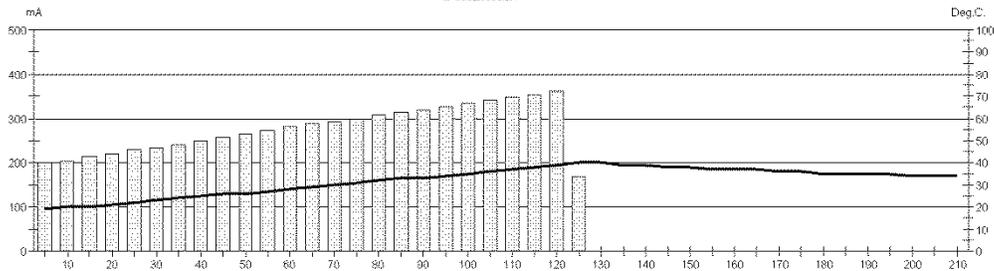


GERMANY INSTRUMENTS
BENZHEIM
Phone: +49 3967 7117
Fax: +49 3967 3167

USA
Phone: (847) 829 9999
Fax: (847) 829 8888

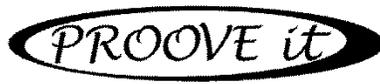
Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 2079
Adjusted Charge passed: 1803
Permeability class: Low
Instrument number: 090603
Channel number: 1
Report date: 06/11/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LR4-1
Sample diameter: 102
Comment: ---



Time	°C	mA	Time	°C	mA	Time	°C	mA	Time	°C	mA
00:05	19	200,7	01:00	28	280,8	01:55	38	353,3	02:50	36	0,4
00:10	20	203,7	01:05	29	287,3	02:00	39	361,6	02:55	36	0,4
00:15	20	213,6	01:10	30	292,3	02:05	40	167,8	03:00	35	0,4
00:20	21	220,5	01:15	31	298,0	02:10	40	0,3	03:05	35	0,4
00:25	22	230,1	01:20	32	307,2	02:15	39	0,4	03:10	35	0,4
00:30	23	234,9	01:25	33	314,1	02:20	39	0,4	03:15	35	0,4
00:35	24	241,9	01:30	33	319,2	02:25	38	0,3	03:20	34	0,4
00:40	25	250,2	01:35	34	326,3	02:30	38	0,3	03:25	34	0,4
00:45	26	257,8	01:40	35	334,7	02:35	37	0,3	03:30	34	0,4
00:50	26	266,4	01:45	36	341,8	02:40	37	0,3			
00:55	27	272,8	01:50	37	347,4	02:45	37	0,4			

Figura E-20: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR4-100, espécimen 2 a edad de 28 días.

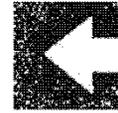


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

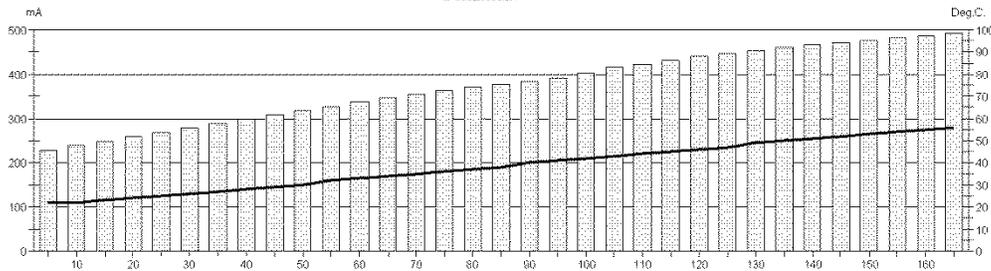
Your own logo
Size: 20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
BENZIGER
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 329 9999
Fax: (847) 329 8888

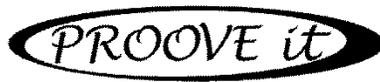
Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 3698
Adjusted Charge passed: 3208
Permeability class: Moderate
Instrument number: 090603
Channel number: 6
Report date: 06/11/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LR4-3
Sample diameter: 102
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	22	226,6	00:50	30	317,1	01:35	41	391,4	02:20	51	465,5
00:10	22	239,4	00:55	32	326,6	01:40	42	402,4	02:25	52	471,3
00:15	23	248,3	01:00	33	336,4	01:45	43	414,7	02:30	53	474,9
00:20	24	258,6	01:05	34	345,5	01:50	44	422,8	02:35	54	482,3
00:25	25	268,5	01:10	35	354,0	01:55	45	430,9	02:40	55	486,2
00:30	26	278,6	01:15	36	364,4	02:00	46	440,5	02:45	56	492,4
00:35	27	288,4	01:20	37	370,7	02:05	47	446,4			
00:40	28	298,6	01:25	38	377,6	02:10	49	454,2			
00:45	29	308,7	01:30	40	384,0	02:15	50	459,1			

Figura E-21: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR4-100, espécimen 3 a edad de 28 días.

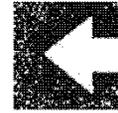


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

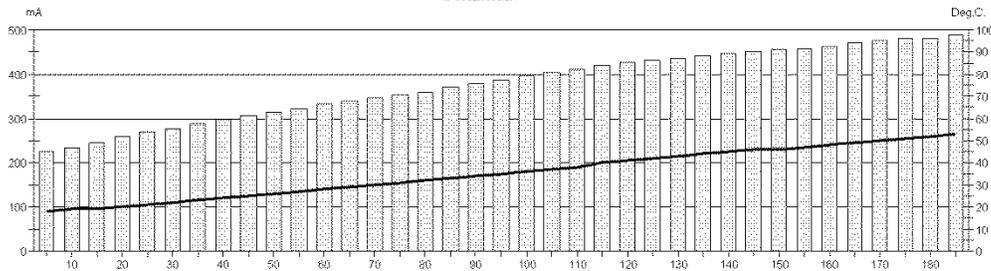
Your own logo
Size=20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
BENHARBE
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 329 9999
Fax: (847) 329 8888

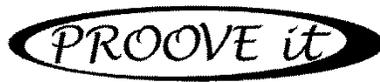
Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 4181
Adjusted Charge passed: 3627
Permeability class: Moderate
Instrument number: 090603
Channel number: 3
Report date: 06/11/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LR4-2
Sample diameter: 102
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	18	226,1	00:55	27	322,1	01:45	37	403,2	02:35	47	457,6
00:10	19	234,4	01:00	28	332,3	01:50	38	411,8	02:40	48	463,0
00:15	19	246,6	01:05	29	339,0	01:55	40	419,7	02:45	49	470,5
00:20	20	258,5	01:10	30	345,0	02:00	41	426,9	02:50	50	474,6
00:25	21	269,1	01:15	31	353,1	02:05	42	431,4	02:55	51	480,9
00:30	22	276,9	01:20	32	359,2	02:10	43	436,2	03:00	52	480,3
00:35	23	287,8	01:25	33	369,8	02:15	44	441,5	03:05	53	488,0
00:40	24	297,8	01:30	34	379,2	02:20	45	446,4			
00:45	25	306,6	01:35	35	386,0	02:25	46	450,2			
00:50	26	315,6	01:40	36	394,6	02:30	46	454,8			

Figura E-22: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR4-100, espécimen 1 a edad de 90 días.

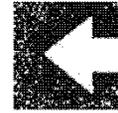


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

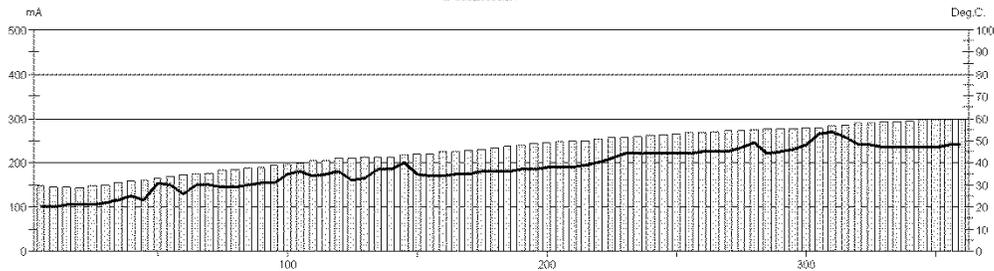
Your own logo
Size: 20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
BENMARK
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 329 9999
Fax: (847) 329 8888

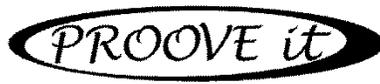
Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 4970
Adjusted Charge passed: 4485
Permeability class: High
Instrument number: 090603
Channel number: 1
Report date: 15/08/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LR4-1 90
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	20	147,2	01:35	31	194,4	03:05	36	236,1	04:35	47	272,2
00:10	20	144,6	01:40	35	196,7	03:10	37	238,0	04:40	49	273,7
00:15	21	145,5	01:45	36	199,5	03:15	37	243,4	04:45	44	276,3
00:20	21	143,1	01:50	34	204,8	03:20	38	245,0	04:50	45	277,0
00:25	21	147,5	01:55	35	205,3	03:25	38	248,4	04:55	46	276,9
00:30	22	150,0	02:00	36	209,8	03:30	38	249,3	05:00	48	278,8
00:35	23	155,3	02:05	32	210,8	03:35	39	250,1	05:05	53	279,3
00:40	25	158,0	02:10	33	211,4	03:40	40	251,8	05:10	54	283,5
00:45	23	160,4	02:15	37	211,3	03:45	42	255,9	05:15	52	285,2
00:50	31	164,5	02:20	37	212,6	03:50	44	255,6	05:20	48	289,2
00:55	30	168,6	02:25	40	216,9	03:55	44	258,9	05:25	48	290,4
01:00	26	171,3	02:30	35	220,1	04:00	44	261,5	05:30	47	292,0
01:05	30	174,6	02:35	34	221,9	04:05	44	263,9	05:35	47	292,7
01:10	30	176,6	02:40	34	225,5	04:10	44	266,5	05:40	47	294,1
01:15	29	182,5	02:45	35	226,5	04:15	44	267,7	05:45	47	295,8
01:20	29	185,6	02:50	35	227,6	04:20	45	268,8	05:50	47	297,3
01:25	30	188,0	02:55	36	230,9	04:25	45	270,3	05:55	48	297,8
01:30	31	190,1	03:00	36	233,7	04:30	45	271,4	06:00	48	297,9

Figura E-23: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR4-100, espécimen 1 a edad de 90 días.

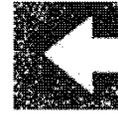


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

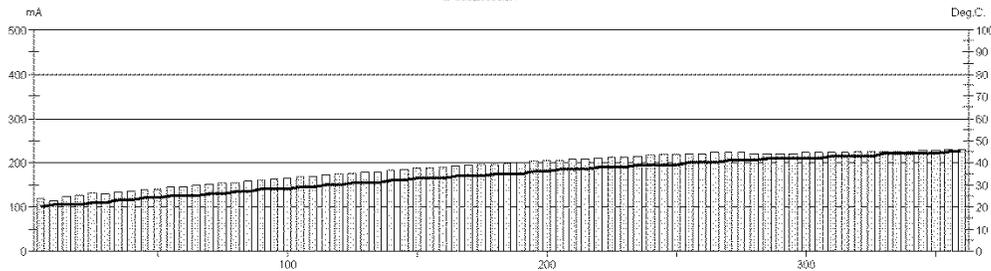
Your own logo.
Size: 20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
BENMARK
Phone: +45 3927 7117
Fax: +45 3927 3127
USA
Phone: (847) 829 9999
Fax: (847) 829 8888

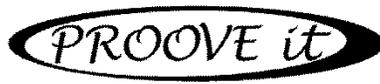
Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 4091
Adjusted Charge passed: 3692
Permeability class: Moderate
Instrument number: 090603
Channel number: 2
Report date: 15/08/2013
Testing by: ALJANDRO LAVERDE
Reference: LR4-2 90
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	20	117,6	01:35	28	162,3	03:05	35	199,0	04:35	41	222,9
00:10	21	114,9	01:40	28	165,9	03:10	35	201,3	04:40	41	221,6
00:15	21	123,1	01:45	29	167,1	03:15	36	202,4	04:45	42	221,3
00:20	21	127,2	01:50	29	169,5	03:20	36	205,2	04:50	42	221,5
00:25	22	130,6	01:55	30	171,2	03:25	37	206,2	04:55	42	221,8
00:30	22	129,6	02:00	30	173,5	03:30	37	208,4	05:00	42	223,3
00:35	23	133,4	02:05	31	177,0	03:35	37	208,2	05:05	42	223,5
00:40	23	136,3	02:10	31	178,0	03:40	38	210,2	05:10	43	224,2
00:45	24	138,7	02:15	31	179,4	03:45	38	211,5	05:15	43	224,0
00:50	24	140,4	02:20	32	182,5	03:50	38	213,1	05:20	43	225,3
00:55	25	144,8	02:25	32	184,5	03:55	39	214,1	05:25	43	226,3
01:00	25	145,7	02:30	33	187,1	04:00	39	216,5	05:30	44	225,8
01:05	25	150,2	02:35	33	188,4	04:05	39	218,4	05:35	44	226,2
01:10	26	151,3	02:40	33	190,0	04:10	39	218,7	05:40	44	226,5
01:15	26	153,2	02:45	34	191,9	04:15	40	220,7	05:45	44	227,8
01:20	27	154,9	02:50	34	193,6	04:20	40	221,2	05:50	44	228,6
01:25	27	158,2	02:55	34	195,7	04:25	40	223,0	05:55	45	228,9
01:30	28	159,7	03:00	35	197,5	04:30	41	223,4	06:00	45	229,3

Figura E-24: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR4-100, espécimen 3 a edad de 90 días.

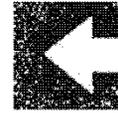


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

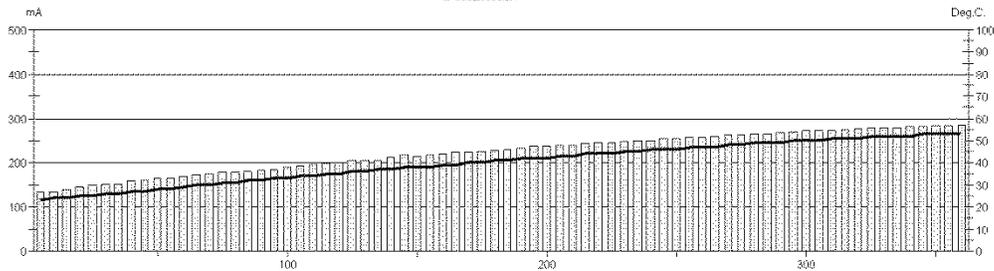
Your own logo.
Size: 20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
DENMARK
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 829 9999
Fax: (847) 829 8888

Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 4813
Adjusted Charge passed: 4344
Permeability class: High
Instrument number: 090603
Channel number: 3
Report date: 15/08/2013
Testing by: ALBJANDRO LAVERDE
Reference: LR4-3 90
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	23	134,7	01:35	33	186,3	03:05	41	229,6	04:35	48	263,5
00:10	24	135,0	01:40	33	190,4	03:10	42	232,1	04:40	49	264,7
00:15	24	139,2	01:45	34	192,6	03:15	42	235,5	04:45	49	266,6
00:20	25	144,5	01:50	34	197,4	03:20	42	236,3	04:50	49	268,3
00:25	25	149,6	01:55	35	198,6	03:25	43	238,6	04:55	50	269,5
00:30	26	152,7	02:00	35	201,8	03:30	43	239,6	05:00	50	271,4
00:35	26	152,4	02:05	36	204,6	03:35	44	243,7	05:05	50	271,7
00:40	27	157,9	02:10	36	206,2	03:40	44	244,7	05:10	51	273,3
00:45	27	161,6	02:15	37	206,1	03:45	44	246,2	05:15	51	274,0
00:50	28	164,4	02:20	37	211,7	03:50	45	248,1	05:20	51	275,9
00:55	28	165,7	02:25	38	216,0	03:55	45	249,9	05:25	52	278,0
01:00	29	170,3	02:30	38	215,3	04:00	46	249,4	05:30	52	278,9
01:05	30	170,9	02:35	38	216,9	04:05	46	253,6	05:35	52	280,1
01:10	30	174,7	02:40	39	220,5	04:10	46	254,2	05:40	52	280,3
01:15	31	177,5	02:45	39	222,4	04:15	47	256,4	05:45	53	282,0
01:20	31	178,4	02:50	40	222,2	04:20	47	257,5	05:50	53	282,5
01:25	32	181,5	02:55	40	225,4	04:25	47	259,9	05:55	53	284,2
01:30	32	182,8	03:00	41	228,1	04:30	48	262,3	06:00	53	285,2

Figura E-25: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla AN5-0, espécimen 1 a edad de 28 días.

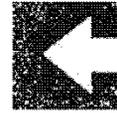


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

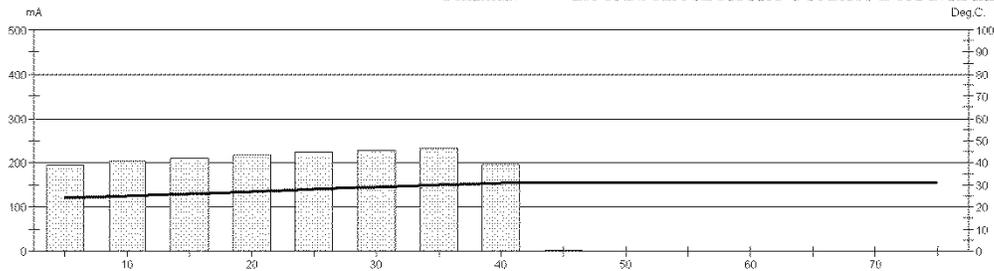
Your own logo.
Size=20x80mm



GERMANN INSTRUMENTS
BENNINGEN
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 829 9999
Fax: (847) 829 8888

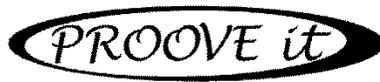
Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 512
Adjusted Charge passed: 462
Permeability class: Very Low
Instrument number: 090603
Channel number: 1
Report date: 06/12/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LN5-1
Sample diameter: 100
Comment: LA CAPSULA SE FISURO Y PARTIO DURANTE EL ENSAYO



Time	°C	mA	Time	°C	mA	Time	°C	mA	Time	°C	mA
00:05	24	193,2	00:25	28	223,0	00:45	31	2,3	01:05	31	0,4
00:10	25	202,6	00:30	29	227,9	00:50	31	1,0	01:10	31	0,6
00:15	26	210,4	00:35	30	231,8	00:55	31	0,5	01:15	31	0,5
00:20	27	217,0	00:40	31	196,3	01:00	31	0,4			

Figura E-26: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla AN5-0, espécimen 2 a edad de 28 días.

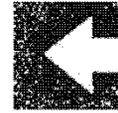


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

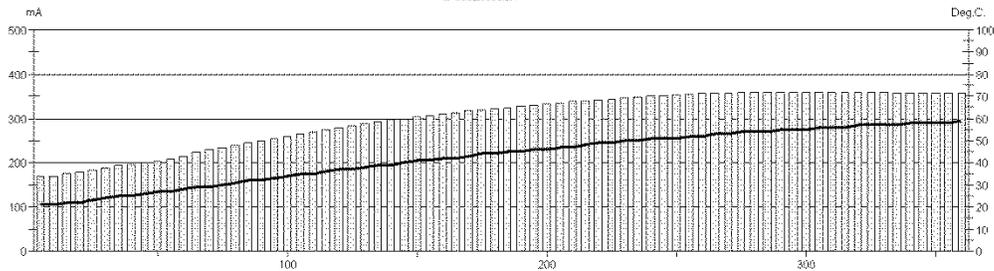
Your own logo
Size: 20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
BENZHEIM
Phone: +49 3967 7117
Fax: +49 3967 3167
USA
Phone: (847) 329 9999
Fax: (847) 329 8888

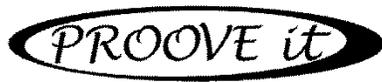
Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 6483
Adjusted Charge passed: 5851
Permeability class: High
Instrument number: 090603
Channel number: 2
Report date: 06/12/2013
Testing by: ALJANDRO LAVERDE
Reference: LN5-2
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	21	169,6	01:35	33	254,8	03:05	45	324,7	04:35	54	358,9
00:10	21	169,5	01:40	34	259,2	03:10	45	328,1	04:40	54	359,7
00:15	22	176,1	01:45	35	265,1	03:15	46	330,2	04:45	54	360,0
00:20	22	178,5	01:50	35	269,7	03:20	46	333,3	04:50	55	360,2
00:25	23	184,0	01:55	36	274,8	03:25	47	335,8	04:55	55	360,2
00:30	24	187,9	02:00	37	279,4	03:30	47	338,2	05:00	55	360,2
00:35	25	193,7	02:05	37	283,4	03:35	48	340,3	05:05	56	360,4
00:40	25	197,1	02:10	38	287,3	03:40	49	342,5	05:10	56	360,3
00:45	26	200,7	02:15	39	291,6	03:45	49	344,6	05:15	56	359,6
00:50	27	203,2	02:20	39	295,9	03:50	50	346,6	05:20	57	360,1
00:55	27	208,4	02:25	40	299,2	03:55	50	347,9	05:25	57	359,5
01:00	28	214,1	02:30	41	302,9	04:00	51	349,9	05:30	57	358,9
01:05	29	224,1	02:35	41	306,9	04:05	51	351,2	05:35	57	358,0
01:10	29	229,4	02:40	42	309,8	04:10	51	352,7	05:40	58	357,8
01:15	30	234,1	02:45	42	313,0	04:15	52	355,0	05:45	58	357,8
01:20	31	239,1	02:50	43	315,9	04:20	52	356,2	05:50	58	357,5
01:25	32	244,8	02:55	44	319,7	04:25	53	357,0	05:55	58	356,8
01:30	32	250,2	03:00	44	322,3	04:30	53	357,7	06:00	59	356,3

Figura E-27: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla AN5-0, espécimen 3 a edad de 28 días.

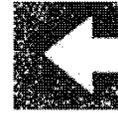


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

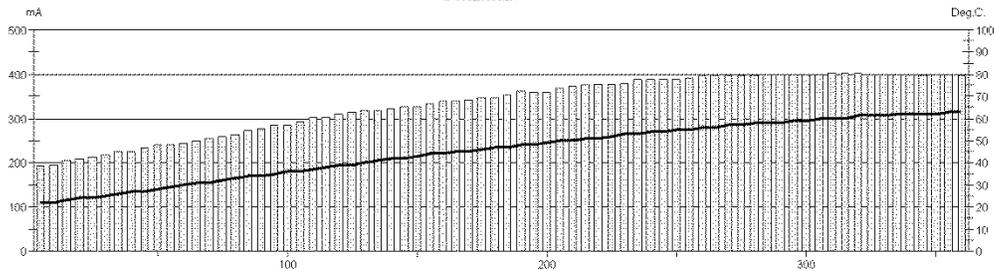
Your own logo
Size: 20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
BENHARBE
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 329 9999
Fax: (847) 329 8888

Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 7187
Adjusted Charge passed: 6486
Permeability class: High
Instrument number: 090603
Channel number: 3
Report date: 06/12/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LN5-3
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	22	191,0	01:35	35	284,9	03:05	47	351,9	04:35	57	397,9
00:10	22	193,5	01:40	36	286,2	03:10	48	361,4	04:40	58	397,4
00:15	23	204,4	01:45	36	292,3	03:15	48	360,4	04:45	58	399,6
00:20	24	207,5	01:50	37	302,1	03:20	49	360,2	04:50	58	398,8
00:25	24	211,5	01:55	38	302,1	03:25	50	368,0	04:55	59	400,5
00:30	25	216,6	02:00	39	310,8	03:30	50	371,7	05:00	59	399,9
00:35	26	225,4	02:05	39	315,4	03:35	51	375,5	05:05	60	398,8
00:40	27	224,5	02:10	40	317,6	03:40	51	377,1	05:10	60	400,8
00:45	27	233,6	02:15	41	316,4	03:45	52	378,0	05:15	60	401,8
00:50	28	240,1	02:20	42	321,8	03:50	53	378,9	05:20	61	401,0
00:55	29	241,9	02:25	42	325,4	03:55	53	387,3	05:25	61	400,4
01:00	30	243,7	02:30	43	326,3	04:00	54	388,1	05:30	61	400,0
01:05	31	249,2	02:35	44	332,7	04:05	54	387,5	05:35	62	399,9
01:10	31	253,4	02:40	44	338,4	04:10	55	389,5	05:40	62	398,8
01:15	32	258,2	02:45	45	339,3	04:15	55	391,2	05:45	62	397,4
01:20	33	263,8	02:50	45	341,9	04:20	56	394,8	05:50	62	399,5
01:25	34	271,7	02:55	46	345,9	04:25	56	395,4	05:55	63	399,8
01:30	34	275,9	03:00	47	346,3	04:30	57	397,6	06:00	63	396,9

Figura E-28: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla AN5-0, espécimen 1 a edad de 90 días.

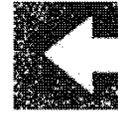


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

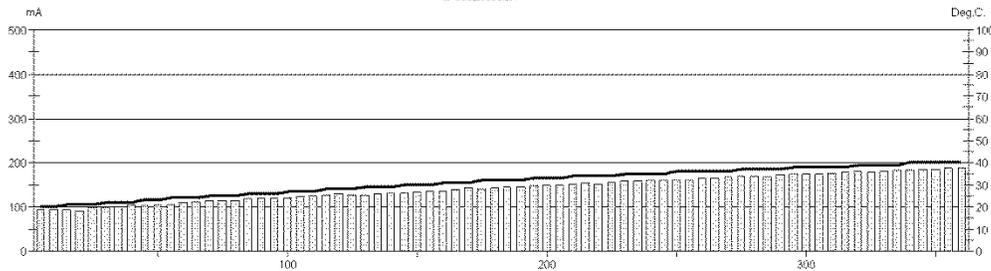
Your own logo.
Size=20x80mm



GERMANN INSTRUMENTS
BENZHEIM
Phone: +49 3967 7117
Fax: +49 3967 3167
USA
Phone: (847) 829 9999
Fax: (847) 829 8888

Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 3077
Adjusted Charge passed: 2777
Permeability class: Moderate
Instrument number: 090603
Channel number: 1
Report date: 16/08/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LR5-1 90
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	20	94,7	01:35	26	119,7	03:05	32	144,9	04:35	37	169,2
00:10	20	94,3	01:40	27	120,6	03:10	32	144,4	04:40	37	168,8
00:15	21	93,0	01:45	27	123,4	03:15	33	146,4	04:45	37	168,0
00:20	21	92,0	01:50	27	125,2	03:20	33	148,7	04:50	37	171,6
00:25	21	97,5	01:55	28	127,0	03:25	33	149,2	04:55	38	173,3
00:30	22	97,7	02:00	28	128,8	03:30	34	151,3	05:00	38	174,4
00:35	22	100,7	02:05	28	128,0	03:35	34	153,9	05:05	38	175,2
00:40	22	103,9	02:10	29	127,1	03:40	34	152,4	05:10	38	175,7
00:45	23	102,4	02:15	29	128,4	03:45	34	156,0	05:15	38	177,5
00:50	23	105,3	02:20	29	131,7	03:50	35	157,8	05:20	39	179,8
00:55	24	104,7	02:25	30	132,3	03:55	35	158,4	05:25	39	179,4
01:00	24	109,3	02:30	30	133,8	04:00	35	160,6	05:30	39	181,0
01:05	24	110,6	02:35	30	136,1	04:05	35	160,1	05:35	39	182,2
01:10	25	112,9	02:40	31	136,8	04:10	36	161,7	05:40	40	183,9
01:15	25	113,9	02:45	31	138,4	04:15	36	161,7	05:45	40	184,6
01:20	25	114,7	02:50	31	141,8	04:20	36	165,7	05:50	40	184,8
01:25	26	117,4	02:55	32	141,1	04:25	36	164,7	05:55	40	186,4
01:30	26	119,5	03:00	32	142,1	04:30	36	167,2	06:00	40	187,2

Figura E-29: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla AN5-0, espécimen 2 a edad de 90 días.

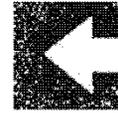


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

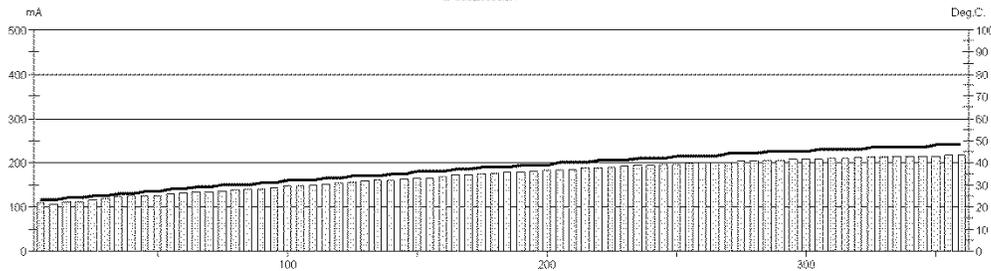
Your own logo.
Size: 20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
BENZMARE
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 329 9999
Fax: (847) 329 8888

Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 3707
Adjusted Charge passed: 3346
Permeability class: Moderate
Instrument number: 090603
Channel number: 2
Report date: 16/08/2013
Testing by: ALBJANDRO LAVERDE
Reference: LRS-2 90
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	23	110,2	01:35	31	143,6	03:05	38	178,0	04:35	44	203,4
00:10	23	107,1	01:40	32	147,2	03:10	39	179,0	04:40	44	203,7
00:15	24	110,9	01:45	32	148,4	03:15	39	181,7	04:45	45	205,1
00:20	24	111,6	01:50	32	149,0	03:20	39	182,9	04:50	45	206,2
00:25	25	115,3	01:55	33	151,0	03:25	40	184,0	04:55	45	207,8
00:30	25	119,1	02:00	33	153,4	03:30	40	186,1	05:00	45	207,5
00:35	26	122,5	02:05	34	155,8	03:35	40	188,1	05:05	46	208,7
00:40	26	124,5	02:10	34	158,1	03:40	41	188,5	05:10	46	208,9
00:45	27	125,7	02:15	34	159,7	03:45	41	190,2	05:15	46	210,8
00:50	27	125,1	02:20	35	161,4	03:50	41	191,8	05:20	46	211,2
00:55	28	129,3	02:25	35	162,8	03:55	42	193,3	05:25	47	211,3
01:00	28	132,3	02:30	36	165,0	04:00	42	194,9	05:30	47	212,2
01:05	29	132,9	02:35	36	164,8	04:05	42	196,4	05:35	47	213,9
01:10	29	135,0	02:40	36	168,3	04:10	43	197,5	05:40	47	213,7
01:15	30	135,5	02:45	37	170,8	04:15	43	198,5	05:45	47	213,9
01:20	30	137,9	02:50	37	172,8	04:20	43	200,6	05:50	48	214,6
01:25	30	141,7	02:55	38	173,3	04:25	43	200,3	05:55	48	215,6
01:30	31	141,3	03:00	38	176,8	04:30	44	201,4	06:00	48	216,4

Figura E-30: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla AN5-0, espécimen 3 a edad de 90 días.

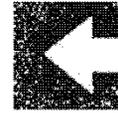


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

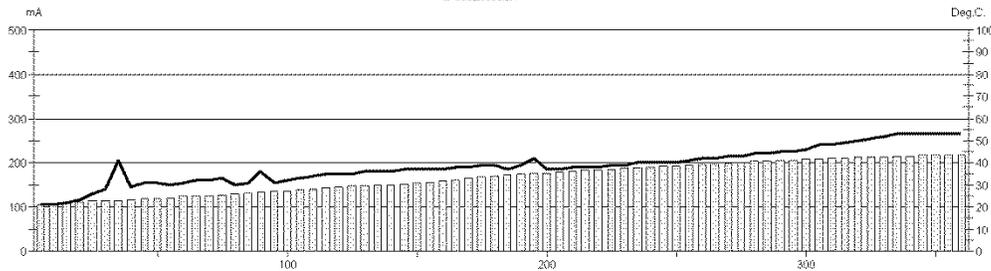
Your own logo.
Size=20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
BENZHEIM
Phone: +49 3967 7117
Fax: +49 3967 3167
USA
Phone: (847) 829 9999
Fax: (847) 829 8888

Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 3599
Adjusted Charge passed: 3248
Permeability class: Moderate
Instrument number: 090603
Channel number: 3
Report date: 16/08/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LRS-3 90
Sample diameter: 100
Comment: ---



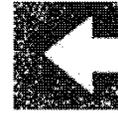
Time	°C	mA									
00:05	21	104,6	01:35	31	135,7	03:05	37	171,1	04:35	43	201,0
00:10	21	107,0	01:40	32	136,4	03:10	39	173,2	04:40	44	202,2
00:15	22	109,6	01:45	33	138,3	03:15	42	175,4	04:45	44	203,8
00:20	23	111,6	01:50	34	140,8	03:20	37	177,1	04:50	45	205,1
00:25	26	112,9	01:55	35	142,9	03:25	37	179,2	04:55	45	205,9
00:30	28	114,3	02:00	35	144,4	03:30	38	180,1	05:00	46	206,6
00:35	41	114,2	02:05	35	146,4	03:35	38	182,4	05:05	48	208,4
00:40	29	116,5	02:10	36	147,8	03:40	38	183,5	05:10	48	209,2
00:45	31	117,8	02:15	36	150,1	03:45	39	185,4	05:15	49	210,6
00:50	31	118,8	02:20	36	150,1	03:50	39	187,1	05:20	50	211,8
00:55	30	121,2	02:25	37	152,5	03:55	40	188,6	05:25	51	212,9
01:00	31	124,4	02:30	37	153,1	04:00	40	189,9	05:30	52	212,7
01:05	32	125,6	02:35	37	156,6	04:05	40	191,9	05:35	53	213,8
01:10	32	125,8	02:40	37	159,1	04:10	40	193,0	05:40	53	214,8
01:15	33	127,9	02:45	38	160,2	04:15	41	194,8	05:45	53	215,8
01:20	30	130,0	02:50	38	164,3	04:20	42	195,9	05:50	53	216,9
01:25	31	131,8	02:55	39	167,3	04:25	42	197,3	05:55	53	217,5
01:30	36	134,6	03:00	39	169,3	04:30	43	199,0	06:00	53	217,6

Figura E-31: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR6-25, espécimen 1 a edad de 28 días.



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

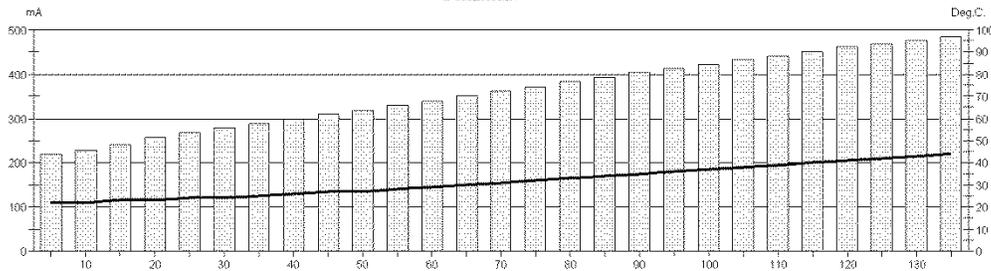
Your own logo.
Size: 20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
BENHARBE
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 829 9999
Fax: (847) 829 8888

Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 2905
Adjusted Charge passed: 2622
Permeability class: Moderate
Instrument number: 090603
Channel number: 1
Report date: 13/06/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LR6-1
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	22	218,8	00:40	26	298,2	01:15	32	369,8	01:50	39	438,8
00:10	22	228,0	00:45	27	310,3	01:20	33	383,1	01:55	40	450,4
00:15	23	241,5	00:50	27	316,7	01:25	34	392,5	02:00	41	461,3
00:20	23	256,0	00:55	28	330,7	01:30	35	404,0	02:05	42	469,3
00:25	24	267,7	01:00	29	339,7	01:35	36	412,0	02:10	43	476,3
00:30	24	278,5	01:05	30	351,2	01:40	37	420,8	02:15	44	483,9
00:35	25	288,6	01:10	31	360,6	01:45	38	433,1			

Figura E-32: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR6-25, espécimen 2 a edad de 28 días.



ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

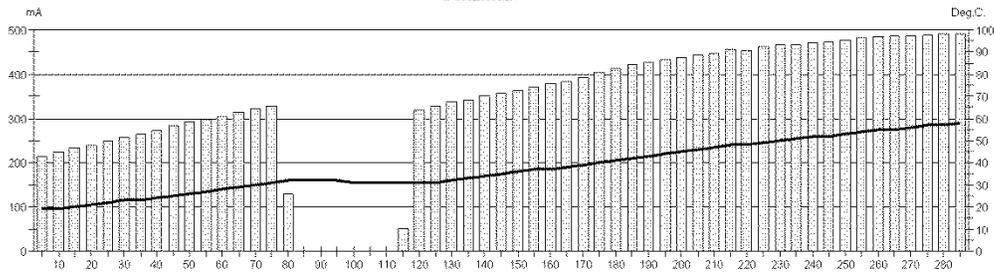
Your own logo
Size=20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
BENNINGEN
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 829 9999
Fax: (847) 829 8888

Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 5630
Adjusted Charge passed: 5081
Permeability class: High
Instrument number: 090603
Channel number: 2
Report date: 13/06/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LR6-2
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	19	214,6	01:20	32	128,5	02:35	37	371,6	03:50	50	466,9
00:10	19	223,0	01:25	32	0,0	02:40	37	379,0	03:55	51	467,3
00:15	20	233,5	01:30	32	0,0	02:45	38	383,8	04:00	52	471,1
00:20	21	239,8	01:35	32	0,0	02:50	39	392,0	04:05	52	474,3
00:25	22	249,6	01:40	31	0,0	02:55	40	403,1	04:10	53	477,3
00:30	23	256,1	01:45	31	0,0	03:00	41	413,4	04:15	54	482,7
00:35	23	265,7	01:50	31	0,0	03:05	42	421,5	04:20	55	484,8
00:40	24	272,5	01:55	31	51,5	03:10	43	425,9	04:25	55	487,5
00:45	25	283,7	02:00	31	318,3	03:15	44	433,1	04:30	56	487,5
00:50	26	291,9	02:05	31	327,6	03:20	45	438,6	04:35	57	488,5
00:55	27	297,7	02:10	32	336,1	03:25	46	443,9	04:40	57	490,7
01:00	28	303,5	02:15	33	342,2	03:30	47	446,6	04:45	58	491,1
01:05	29	315,3	02:20	34	349,7	03:35	48	455,0			
01:10	30	321,8	02:25	35	357,2	03:40	48	453,8			
01:15	31	328,9	02:30	36	363,2	03:45	49	462,0			

Figura E-33: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR6-25, espécimen 3 a edad de 28 días.

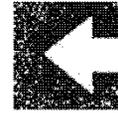


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

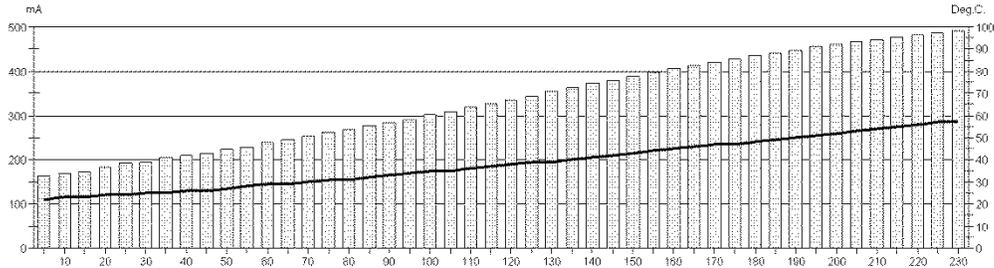
Your own logo
Size: 20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
BENHARBE
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 329 9999
Fax: (847) 329 8888

Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 4570
Adjusted Charge passed: 4124
Permeability class: High
Instrument number: 090603
Channel number: 3
Report date: 14/06/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LR6-3
Sample diameter: 100
Comment: MUESTRA ENSAYADA AL SIGUIENTE DIA



Time	°C	mA									
00:05	22	163,0	01:05	29	244,9	02:05	39	343,6	03:05	49	439,6
00:10	23	170,0	01:10	30	251,9	02:10	39	355,2	03:10	50	446,7
00:15	23	171,1	01:15	31	261,3	02:15	40	363,3	03:15	51	454,3
00:20	24	183,9	01:20	31	267,9	02:20	41	372,0	03:20	52	459,9
00:25	24	192,9	01:25	32	275,8	02:25	42	380,3	03:25	53	466,5
00:30	25	195,3	01:30	33	283,4	02:30	43	388,3	03:30	54	471,8
00:35	25	205,7	01:35	34	290,5	02:35	44	397,4	03:35	55	477,7
00:40	26	210,9	01:40	35	300,5	02:40	45	405,8	03:40	56	481,9
00:45	26	213,8	01:45	35	308,1	02:45	46	412,7	03:45	57	486,4
00:50	27	223,5	01:50	36	318,4	02:50	47	419,9	03:50	57	491,2
00:55	28	227,1	01:55	37	325,1	02:55	47	427,8			
01:00	29	237,9	02:00	38	335,0	03:00	48	434,2			

Figura E-34: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR6-25, espécimen 1 a edad de 90 días.

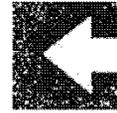


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

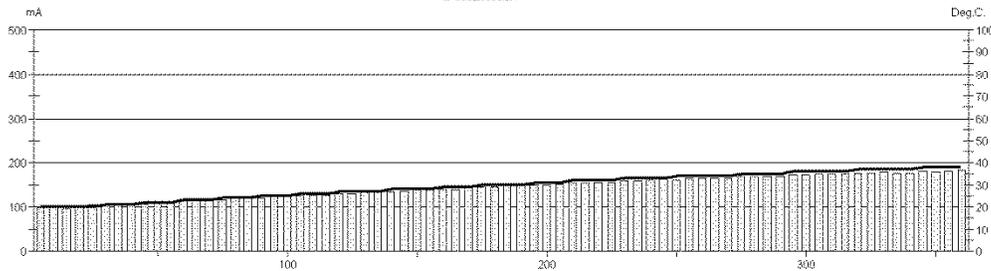
Your own logo.
Size=20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
BENHARBE
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 829 9999
Fax: (847) 829 8888

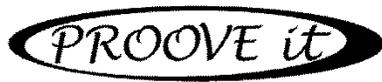
Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 3109
Adjusted Charge passed: 2806
Permeability class: Moderate
Instrument number: 090603
Channel number: 1
Report date: 28/08/2013
Testing by: ALBJANDO LAVERDE
Reference: LR6-1 90
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	20	98,3	01:35	25	124,0	03:05	30	146,4	04:35	35	168,3
00:10	20	98,3	01:40	25	124,5	03:10	30	148,2	04:40	35	167,4
00:15	20	96,9	01:45	26	124,0	03:15	31	149,0	04:45	35	169,4
00:20	20	100,6	01:50	26	127,4	03:20	31	149,8	04:50	35	170,3
00:25	20	104,5	01:55	26	128,3	03:25	31	151,6	04:55	36	170,8
00:30	21	105,9	02:00	27	129,7	03:30	32	153,8	05:00	36	172,0
00:35	21	106,2	02:05	27	130,5	03:35	32	154,3	05:05	36	173,9
00:40	21	107,5	02:10	27	133,3	03:40	32	155,8	05:10	36	174,1
00:45	22	108,1	02:15	27	134,5	03:45	32	156,9	05:15	36	175,6
00:50	22	110,7	02:20	28	134,8	03:50	33	158,3	05:20	37	175,7
00:55	22	111,9	02:25	28	135,1	03:55	33	158,0	05:25	37	176,9
01:00	23	114,3	02:30	28	138,6	04:00	33	160,7	05:30	37	178,0
01:05	23	113,6	02:35	28	139,8	04:05	33	162,5	05:35	37	177,1
01:10	23	114,5	02:40	29	140,2	04:10	34	161,5	05:40	37	177,4
01:15	24	117,0	02:45	29	141,3	04:15	34	164,1	05:45	38	180,5
01:20	24	118,3	02:50	29	142,3	04:20	34	165,0	05:50	38	178,1
01:25	24	120,1	02:55	30	144,5	04:25	34	165,3	05:55	38	181,6
01:30	25	121,2	03:00	30	145,9	04:30	34	164,8	06:00	38	182,3

Figura E-35: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR6-25, espécimen 2 a edad de 90 días.

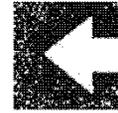


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

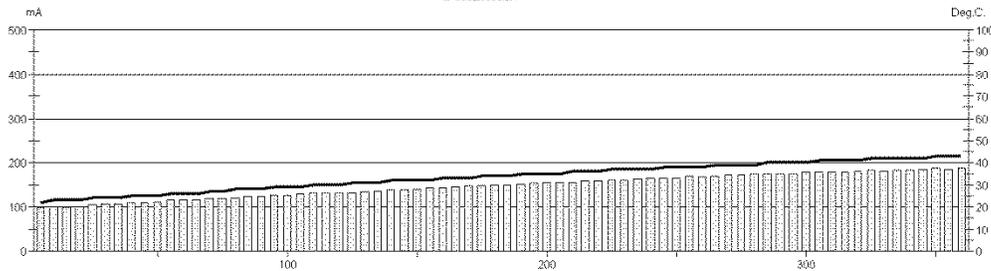
Your own logo.
Size=20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
BENZMARE
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 329 9999
Fax: (847) 329 8888

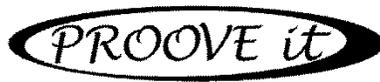
Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 3184
Adjusted Charge passed: 2874
Permeability class: Moderate
Instrument number: 090603
Channel number: 2
Report date: 28/08/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LR6-2 90
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	22	98,4	01:35	29	126,9	03:05	34	150,6	04:35	39	172,2
00:10	23	99,9	01:40	29	127,3	03:10	35	151,8	04:40	39	173,9
00:15	23	99,3	01:45	29	128,6	03:15	35	153,1	04:45	40	174,0
00:20	23	101,2	01:50	30	130,8	03:20	35	155,2	04:50	40	174,6
00:25	24	105,8	01:55	30	132,0	03:25	35	156,3	04:55	40	175,0
00:30	24	106,1	02:00	30	132,2	03:30	36	157,0	05:00	40	177,5
00:35	24	107,1	02:05	31	132,8	03:35	36	158,0	05:05	41	179,0
00:40	25	109,8	02:10	31	134,4	03:40	36	157,6	05:10	41	179,3
00:45	25	108,5	02:15	31	136,9	03:45	37	161,1	05:15	41	179,0
00:50	25	111,6	02:20	32	138,7	03:50	37	160,8	05:20	41	179,7
00:55	26	115,1	02:25	32	139,2	03:55	37	163,2	05:25	42	182,1
01:00	26	116,6	02:30	32	141,2	04:00	37	164,8	05:30	42	181,9
01:05	26	117,1	02:35	32	142,8	04:05	38	165,6	05:35	42	183,5
01:10	27	118,4	02:40	33	143,9	04:10	38	164,5	05:40	42	183,4
01:15	27	119,4	02:45	33	145,5	04:15	38	168,6	05:45	42	184,5
01:20	28	121,3	02:50	33	147,8	04:20	38	167,7	05:50	43	186,4
01:25	28	123,7	02:55	34	147,1	04:25	39	169,2	05:55	43	185,2
01:30	28	122,2	03:00	34	150,1	04:30	39	171,5	06:00	43	187,0

Figura E-36: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR6-25, espécimen 3 a edad de 90 días.

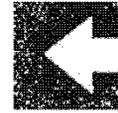


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

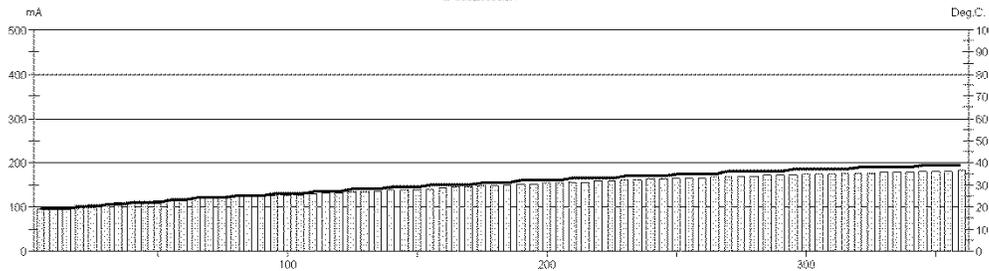
Your own logo.
Size=20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
BENHARBE
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 829 9999
Fax: (847) 829 8888

Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 3151
Adjusted Charge passed: 2844
Permeability class: Moderate
Instrument number: 090603
Channel number: 3
Report date: 28/08/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LR6-3 90
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	19	96,3	01:35	26	124,7	03:05	31	149,1	04:35	36	168,8
00:10	19	96,3	01:40	26	126,2	03:10	32	150,7	04:40	36	169,8
00:15	19	100,1	01:45	26	127,6	03:15	32	152,0	04:45	36	170,8
00:20	20	102,3	01:50	27	128,5	03:20	32	153,6	04:50	36	171,8
00:25	20	104,8	01:55	27	130,7	03:25	32	154,0	04:55	37	172,5
00:30	21	106,8	02:00	27	132,3	03:30	33	155,3	05:00	37	173,2
00:35	21	108,4	02:05	28	133,4	03:35	33	156,2	05:05	37	174,1
00:40	22	110,0	02:10	28	134,8	03:40	33	157,6	05:10	37	174,9
00:45	22	111,7	02:15	28	136,6	03:45	33	158,8	05:15	37	175,7
00:50	22	113,9	02:20	29	137,8	03:50	34	160,4	05:20	38	176,7
00:55	23	115,4	02:25	29	139,0	03:55	34	161,1	05:25	38	177,3
01:00	23	117,1	02:30	29	140,4	04:00	34	162,3	05:30	38	177,7
01:05	24	118,5	02:35	30	141,7	04:05	34	163,4	05:35	38	178,8
01:10	24	118,5	02:40	30	143,1	04:10	35	164,4	05:40	38	179,6
01:15	24	120,2	02:45	30	144,2	04:15	35	165,4	05:45	39	180,0
01:20	25	121,8	02:50	30	145,6	04:20	35	166,2	05:50	39	180,9
01:25	25	122,7	02:55	31	147,1	04:25	35	167,4	05:55	39	181,8
01:30	25	122,7	03:00	31	147,8	04:30	36	168,3	06:00	39	182,5

Figura E-37: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR7-50, espécimen 1 a edad de 28 días.

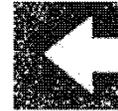


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

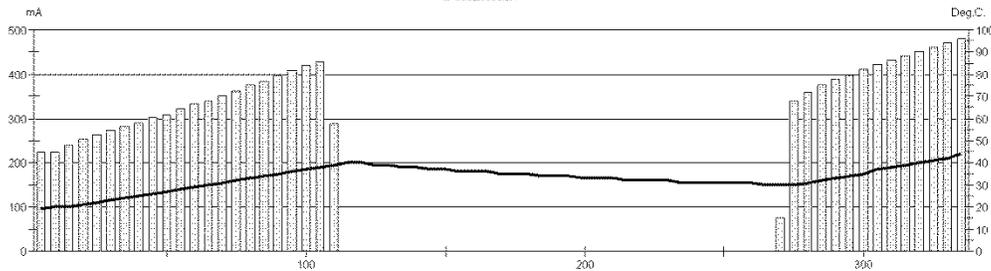
Your own logo
Size: 20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
BENZHEIM
Phone: +49 3967 7117
Fax: +49 3967 3167
USA
Phone: (847) 829 9999
Fax: (847) 829 8888

Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 3767
Adjusted Charge passed: 3400
Permeability class: Moderate
Instrument number: 090603
Channel number: 1
Report date: 14/06/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LR7-1
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA	Time	°C	mA	Time	°C	mA	Time	°C	mA
00:05	19	223,6	01:30	35	395,7	02:55	35	0,0	04:20	31	0,0
00:10	20	223,1	01:35	36	408,0	03:00	35	0,2	04:25	30	0,0
00:15	20	238,7	01:40	37	419,5	03:05	34	0,0	04:30	30	75,6
00:20	21	251,5	01:45	38	428,6	03:10	34	0,0	04:35	30	338,7
00:25	22	264,5	01:50	39	288,0	03:15	34	0,0	04:40	31	359,9
00:30	23	272,2	01:55	40	0,1	03:20	33	0,0	04:45	32	375,3
00:35	24	282,0	02:00	40	0,0	03:25	33	0,0	04:50	33	387,4
00:40	25	289,3	02:05	39	0,0	03:30	33	0,1	04:55	34	397,8
00:45	26	300,6	02:10	39	0,0	03:35	32	0,1	05:00	35	411,7
00:50	27	307,0	02:15	38	0,0	03:40	32	0,1	05:05	37	421,3
00:55	28	320,5	02:20	38	0,0	03:45	32	0,1	05:10	38	429,9
01:00	29	331,7	02:25	37	0,0	03:50	32	0,1	05:15	39	440,2
01:05	30	340,2	02:30	37	0,0	03:55	31	0,2	05:20	40	450,0
01:10	31	351,3	02:35	36	0,1	04:00	31	0,0	05:25	41	460,2
01:15	32	362,7	02:40	36	0,0	04:05	31	0,0	05:30	42	470,7
01:20	33	374,1	02:45	36	0,0	04:10	31	0,1	05:35	44	479,7
01:25	34	384,4	02:50	35	0,0	04:15	31	0,0			

Figura E-38: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR7-50, espécimen 2 a edad de 28 días.

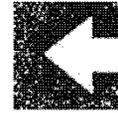


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

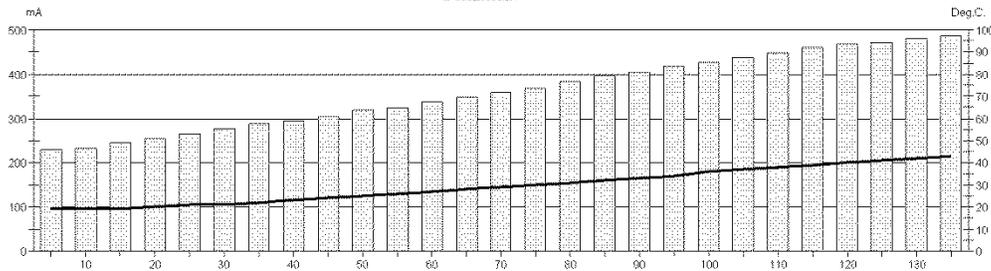
Your own logo.
Size: 20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
BENHARBE
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 829 9999
Fax: (847) 829 8888

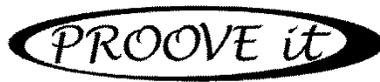
Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 2918
Adjusted Charge passed: 2633
Permeability class: Moderate
Instrument number: 090603
Channel number: 2
Report date: 14/06/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LR7-2
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	19	230,7	00:40	23	295,6	01:15	30	368,6	01:50	38	447,6
00:10	19	231,7	00:45	24	302,6	01:20	31	384,9	01:55	39	459,6
00:15	19	244,5	00:50	25	319,1	01:25	32	394,5	02:00	40	468,8
00:20	20	255,2	00:55	26	324,6	01:30	33	404,6	02:05	41	471,7
00:25	21	264,7	01:00	27	337,6	01:35	34	416,6	02:10	42	479,3
00:30	21	276,1	01:05	28	348,7	01:40	36	427,4	02:15	43	486,0
00:35	22	286,9	01:10	29	359,9	01:45	37	437,7			

Figura E-39: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR7-50, espécimen 1 a edad de 90 días.

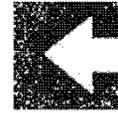


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

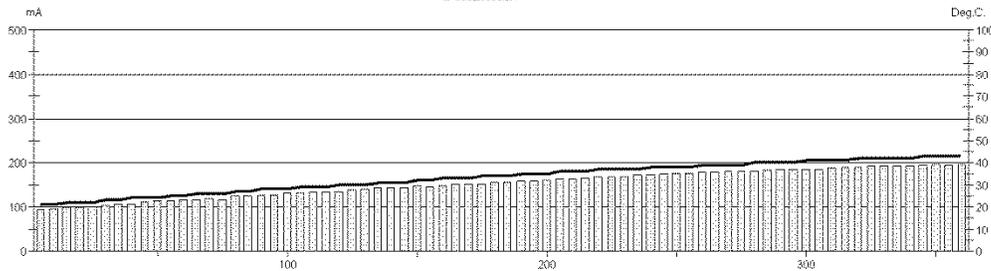
Your own logo.
Size=20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
BENHARBE
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 829 9999
Fax: (847) 829 8888

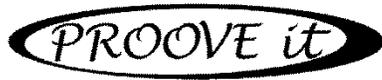
Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 3293
Adjusted Charge passed: 2972
Permeability class: Moderate
Instrument number: 090603
Channel number: 1
Report date: 09/03/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LR7-1 90
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	21	92,8	01:35	28	128,0	03:05	34	156,8	04:35	39	180,5
00:10	21	95,6	01:40	28	130,7	03:10	35	158,2	04:40	40	181,4
00:15	22	98,2	01:45	29	131,6	03:15	35	158,6	04:45	40	182,9
00:20	22	99,0	01:50	29	133,3	03:20	35	159,9	04:50	40	184,6
00:25	22	100,0	01:55	29	134,3	03:25	36	163,3	04:55	40	185,8
00:30	23	102,7	02:00	30	134,4	03:30	36	163,2	05:00	41	185,6
00:35	23	107,5	02:05	30	138,2	03:35	36	165,4	05:05	41	186,2
00:40	24	106,4	02:10	30	140,6	03:40	37	167,2	05:10	41	188,1
00:45	24	111,7	02:15	31	142,3	03:45	37	167,9	05:15	41	189,9
00:50	24	113,2	02:20	31	142,8	03:50	37	168,0	05:20	42	190,5
00:55	25	114,8	02:25	31	143,5	03:55	37	172,0	05:25	42	191,8
01:00	25	116,4	02:30	32	146,9	04:00	38	172,5	05:30	42	191,7
01:05	26	116,3	02:35	32	145,9	04:05	38	173,9	05:35	42	191,9
01:10	26	119,2	02:40	33	148,1	04:10	38	175,5	05:40	42	193,0
01:15	26	116,9	02:45	33	151,6	04:15	38	175,7	05:45	43	193,7
01:20	27	124,2	02:50	33	152,1	04:20	39	178,4	05:50	43	196,2
01:25	27	124,8	02:55	34	152,8	04:25	39	178,4	05:55	43	193,5
01:30	28	127,3	03:00	34	155,5	04:30	39	179,9	06:00	43	195,6

Figura E-40: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR7-50, espécimen 2 a edad de 90 días.

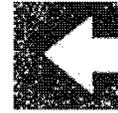


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

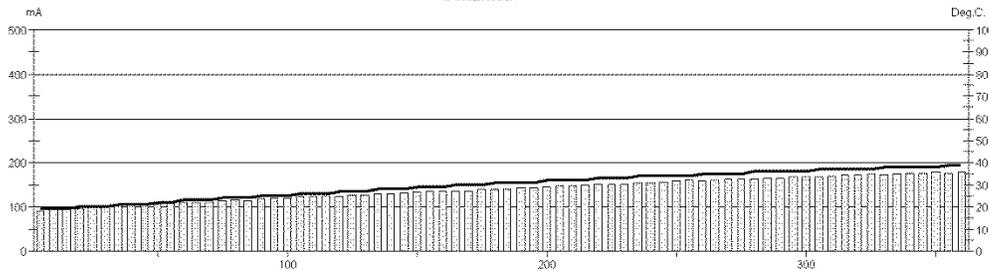
Your own logo.
Size=20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
BENHARBE
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 829 9999
Fax: (847) 829 8888

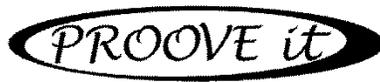
Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 3014
Adjusted Charge passed: 2720
Permeability class: Moderate
Instrument number: 090603
Channel number: 2
Report date: 09/03/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LR7-2 90
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	19	91,2	01:35	25	119,5	03:05	31	140,8	04:35	35	162,8
00:10	19	93,7	01:40	25	119,5	03:10	31	142,7	04:40	36	164,0
00:15	19	94,0	01:45	26	122,5	03:15	31	143,9	04:45	36	165,8
00:20	20	96,0	01:50	26	122,6	03:20	32	144,9	04:50	36	165,8
00:25	20	98,0	01:55	26	124,0	03:25	32	147,9	04:55	36	168,0
00:30	20	100,6	02:00	27	123,1	03:30	32	147,1	05:00	36	167,9
00:35	21	101,7	02:05	27	127,0	03:35	32	150,4	05:05	37	167,9
00:40	21	104,0	02:10	27	127,8	03:40	33	151,4	05:10	37	170,5
00:45	21	105,8	02:15	28	128,5	03:45	33	151,6	05:15	37	171,0
00:50	22	106,1	02:20	28	129,6	03:50	33	152,6	05:20	37	171,7
00:55	22	108,3	02:25	28	131,7	03:55	34	154,7	05:25	37	173,5
01:00	23	109,3	02:30	29	134,1	04:00	34	154,7	05:30	38	172,0
01:05	23	108,3	02:35	29	135,5	04:05	34	156,1	05:35	38	174,5
01:10	23	111,7	02:40	29	136,3	04:10	34	158,2	05:40	38	176,0
01:15	24	112,8	02:45	30	135,8	04:15	34	159,9	05:45	38	176,0
01:20	24	115,4	02:50	30	137,0	04:20	35	159,5	05:50	38	177,9
01:25	24	114,1	02:55	30	139,9	04:25	35	160,7	05:55	39	177,4
01:30	25	118,0	03:00	31	140,5	04:30	35	162,4	06:00	39	179,2

Figura E-41: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR7-50, espécimen 3 a edad de 90 días.

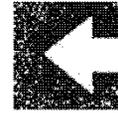


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

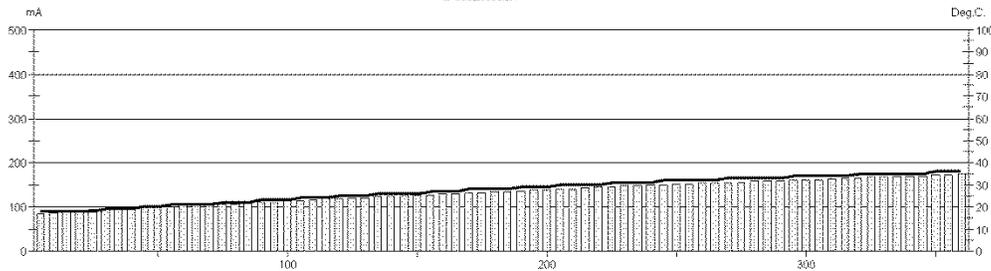
Your own logo.
Size=20x80mm



GERMANN INSTRUMENTS
BENZIGER
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 329 9999
Fax: (847) 329 8888

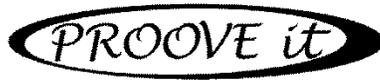
Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 2874
Adjusted Charge passed: 2594
Permeability class: Moderate
Instrument number: 090603
Channel number: 3
Report date: 09/03/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LR7-3 90
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	18	85,4	01:35	23	112,0	03:05	28	134,9	04:35	33	156,5
00:10	18	87,0	01:40	23	113,2	03:10	29	136,9	04:40	33	157,8
00:15	18	89,8	01:45	24	114,5	03:15	29	137,9	04:45	33	158,2
00:20	18	90,9	01:50	24	115,6	03:20	29	138,5	04:50	33	159,4
00:25	18	93,8	01:55	24	117,6	03:25	30	140,6	04:55	34	160,2
00:30	19	94,7	02:00	25	117,7	03:30	30	141,6	05:00	34	161,3
00:35	19	96,0	02:05	25	119,8	03:35	30	142,4	05:05	34	161,5
00:40	19	97,2	02:10	25	120,8	03:40	30	144,0	05:10	34	162,7
00:45	20	98,5	02:15	26	123,2	03:45	31	145,1	05:15	34	164,3
00:50	20	100,0	02:20	26	124,3	03:50	31	146,9	05:20	35	164,8
00:55	21	100,9	02:25	26	124,9	03:55	31	147,6	05:25	35	166,3
01:00	21	102,9	02:30	26	126,9	04:00	31	149,0	05:30	35	166,9
01:05	21	103,8	02:35	27	127,4	04:05	32	149,9	05:35	35	168,8
01:10	21	104,8	02:40	27	129,0	04:10	32	151,1	05:40	35	169,5
01:15	22	106,2	02:45	27	130,5	04:15	32	152,3	05:45	35	170,4
01:20	22	107,5	02:50	28	131,0	04:20	32	153,5	05:50	36	171,0
01:25	22	109,2	02:55	28	132,6	04:25	32	154,9	05:55	36	171,8
01:30	23	110,6	03:00	28	134,0	04:30	33	155,0	06:00	36	173,0

Figura E-42: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR8-100, espécimen 1 a edad de 28 días.

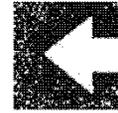


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

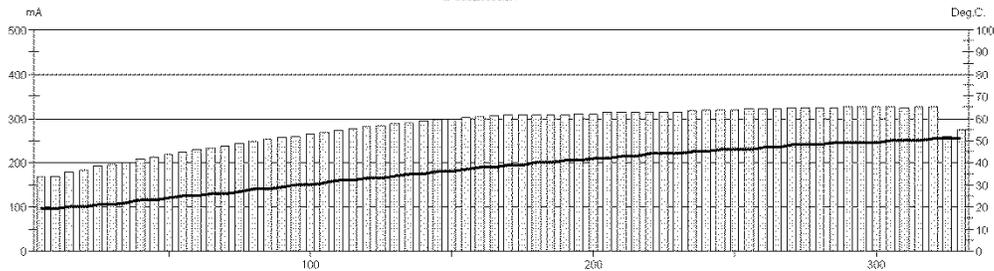
Your own logo
Size: 20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
BENHARKE
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 329 9999
Fax: (847) 329 8888

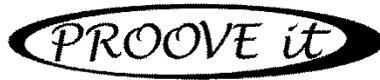
Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 5557
Adjusted Charge passed: 5015
Permeability class: High
Instrument number: 090603
Channel number: 1
Report date: 15/06/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LR8-1
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	19	168,3	01:30	29	256,5	02:55	39	308,0	04:20	47	321,6
00:10	19	170,2	01:35	30	259,8	03:00	40	308,6	04:25	47	322,3
00:15	20	178,5	01:40	30	265,3	03:05	40	307,2	04:30	48	322,7
00:20	20	183,0	01:45	31	268,2	03:10	41	308,6	04:35	48	322,9
00:25	21	191,0	01:50	32	272,5	03:15	41	309,7	04:40	48	324,2
00:30	21	195,8	01:55	32	276,7	03:20	42	309,7	04:45	49	324,6
00:35	22	201,6	02:00	33	281,5	03:25	42	313,8	04:50	49	325,2
00:40	23	207,2	02:05	33	283,8	03:30	43	313,7	04:55	49	325,0
00:45	23	211,7	02:10	34	287,5	03:35	43	314,4	05:00	49	326,0
00:50	24	218,5	02:15	35	289,4	03:40	44	314,9	05:05	50	325,5
00:55	25	223,1	02:20	35	294,3	03:45	44	315,7	05:10	50	324,5
01:00	25	228,8	02:25	36	296,3	03:50	44	315,5	05:15	50	324,8
01:05	26	233,0	02:30	36	299,3	03:55	45	317,9	05:20	51	326,1
01:10	26	237,3	02:35	37	302,0	04:00	45	318,8	05:25	51	260,0
01:15	27	242,3	02:40	38	303,1	04:05	46	318,5	05:30	51	274,2
01:20	28	247,8	02:45	38	306,7	04:10	46	319,2			
01:25	28	252,5	02:50	39	307,2	04:15	46	320,4			

Figura E-43: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR8-100, espécimen 2 a edad de 28 días.

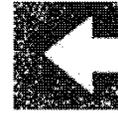


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

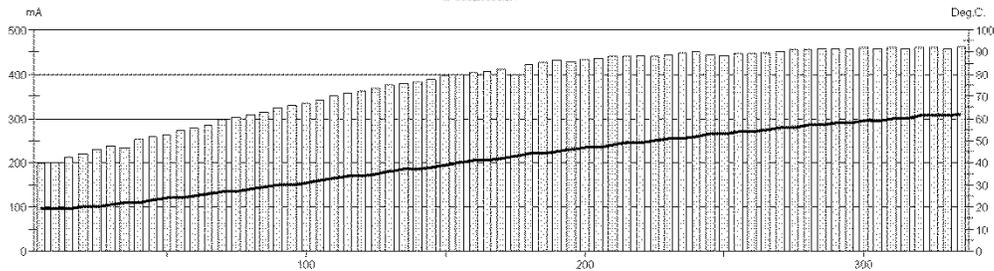
Your own logo
Size: 20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
BENZHEIM
Phone: +49 3967 7117
Fax: +49 3967 3167
USA
Phone: (847) 329 9999
Fax: (847) 329 8888

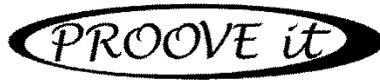
Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 7617
Adjusted Charge passed: 6874
Permeability class: High
Instrument number: 090603
Channel number: 2
Report date: 15/06/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LR8-2
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	19	198,9	01:30	30	322,9	02:55	43	400,5	04:20	54	446,0
00:10	19	200,5	01:35	30	330,2	03:00	44	422,6	04:25	55	448,1
00:15	19	212,0	01:40	31	335,4	03:05	44	427,3	04:30	56	450,1
00:20	20	221,3	01:45	32	342,1	03:10	45	431,0	04:35	56	454,9
00:25	20	229,3	01:50	33	351,5	03:15	46	429,3	04:40	57	455,9
00:30	21	235,8	01:55	34	357,2	03:20	47	432,4	04:45	57	457,8
00:35	22	235,3	02:00	34	362,7	03:25	47	434,7	04:50	58	456,8
00:40	22	252,8	02:05	35	368,0	03:30	48	439,0	04:55	58	457,0
00:45	23	258,7	02:10	36	374,7	03:35	49	440,1	05:00	59	459,1
00:50	24	263,3	02:15	37	378,8	03:40	49	442,6	05:05	59	458,4
00:55	24	272,3	02:20	37	381,6	03:45	50	439,9	05:10	60	459,7
01:00	25	280,0	02:25	38	387,6	03:50	51	444,9	05:15	60	457,5
01:05	26	285,4	02:30	39	396,0	03:55	51	447,6	05:20	61	459,8
01:10	27	295,9	02:35	40	400,1	04:00	52	451,2	05:25	61	458,9
01:15	27	300,6	02:40	41	404,5	04:05	53	443,4	05:30	61	458,7
01:20	28	308,3	02:45	41	405,9	04:10	53	442,1	05:35	62	462,3
01:25	29	315,7	02:50	42	410,2	04:15	54	446,3			

Figura E-44: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR8-100, espécimen 3 a edad de 28 días.

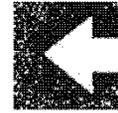


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

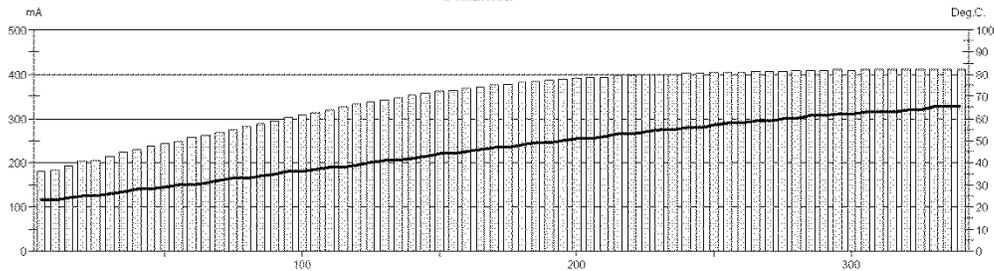
Your own logo
Size: 20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
BENZHEIM
Phone: +49 3967 7117
Fax: +49 3967 3167
USA
Phone: (847) 829 9999
Fax: (847) 829 8888

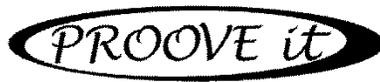
Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 7022
Adjusted Charge passed: 6337
Permeability class: High
Instrument number: 090603
Channel number: 3
Report date: 15/06/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LR8-3
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA									
00:05	23	179,7	01:30	35	295,7	02:55	47	378,2	04:20	58	404,8
00:10	23	183,8	01:35	36	302,0	03:00	48	380,9	04:25	59	405,7
00:15	24	192,6	01:40	36	308,0	03:05	49	383,6	04:30	59	406,8
00:20	25	202,6	01:45	37	312,6	03:10	49	386,1	04:35	60	407,1
00:25	25	206,2	01:50	38	318,9	03:15	50	389,2	04:40	60	408,1
00:30	26	214,3	01:55	38	325,2	03:20	51	390,0	04:45	61	408,2
00:35	27	222,5	02:00	39	331,5	03:25	51	392,6	04:50	61	408,6
00:40	28	229,8	02:05	40	337,5	03:30	52	393,1	04:55	62	409,9
00:45	28	236,4	02:10	41	341,4	03:35	53	395,3	05:00	62	408,7
00:50	29	242,4	02:15	41	347,0	03:40	53	396,7	05:05	63	411,2
00:55	30	248,2	02:20	42	351,9	03:45	54	399,2	05:10	63	409,6
01:00	30	256,8	02:25	43	356,9	03:50	55	399,7	05:15	63	410,5
01:05	31	260,8	02:30	44	360,7	03:55	55	400,2	05:20	64	410,2
01:10	32	268,2	02:35	44	364,1	04:00	56	401,8	05:25	64	410,6
01:15	33	275,1	02:40	45	367,8	04:05	56	402,9	05:30	65	410,9
01:20	33	280,9	02:45	46	371,5	04:10	57	403,8	05:35	65	411,5
01:25	34	288,5	02:50	47	374,7	04:15	58	403,8	05:40	65	411,1

Figura E-45: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR8-100, espécimen 1 a edad de 90 días.

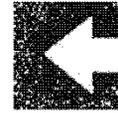


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

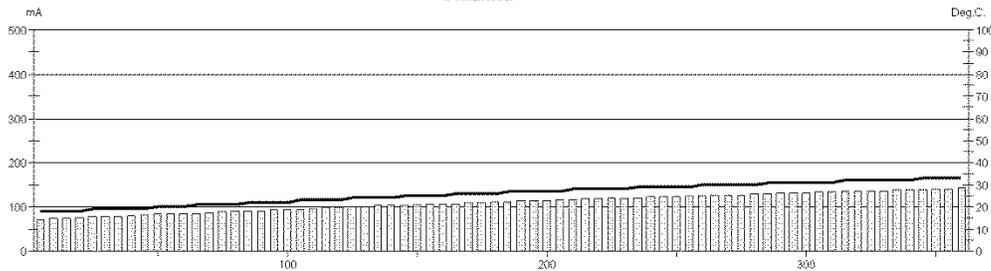
Your own logo.
Size=20x80mm



GERMANN INSTRUMENTS
BENNINGER
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 829 9999
Fax: (847) 829 8888

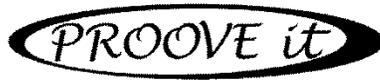
Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 2374
Adjusted Charge passed: 2143
Permeability class: Moderate
Instrument number: 090603
Channel number: 1
Report date: 09/04/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LR8-1 90
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA	Time	°C	mA	Time	°C	mA	Time	°C	mA
00:05	18	71,7	01:35	22	93,6	03:05	27	111,9	04:35	30	128,3
00:10	18	74,1	01:40	22	94,1	03:10	27	113,0	04:40	30	129,3
00:15	18	73,9	01:45	23	94,8	03:15	27	113,1	04:45	31	129,8
00:20	18	76,9	01:50	23	96,3	03:20	27	114,5	04:50	31	131,1
00:25	19	77,8	01:55	23	97,4	03:25	27	115,5	04:55	31	131,7
00:30	19	79,0	02:00	23	98,4	03:30	28	116,9	05:00	31	132,6
00:35	19	78,3	02:05	24	100,1	03:35	28	117,6	05:05	31	133,5
00:40	19	81,1	02:10	24	101,4	03:40	28	118,5	05:10	31	133,9
00:45	19	82,0	02:15	24	102,0	03:45	28	119,7	05:15	32	135,4
00:50	20	84,2	02:20	24	102,9	03:50	28	119,2	05:20	32	135,7
00:55	20	84,8	02:25	25	103,5	03:55	29	121,3	05:25	32	136,7
01:00	20	85,3	02:30	25	105,0	04:00	29	121,9	05:30	32	137,1
01:05	21	85,2	02:35	25	106,3	04:05	29	122,8	05:35	32	138,0
01:10	21	87,1	02:40	25	106,9	04:10	29	123,4	05:40	32	139,2
01:15	21	88,6	02:45	26	108,1	04:15	29	125,1	05:45	33	139,3
01:20	21	90,6	02:50	26	109,0	04:20	30	125,3	05:50	33	140,7
01:25	22	91,7	02:55	26	110,1	04:25	30	126,8	05:55	33	140,5
01:30	22	92,4	03:00	26	110,8	04:30	30	127,3	06:00	33	142,1

Figura E-46: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR8-100, espécimen 2 a edad de 90 días.

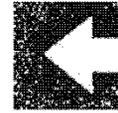


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

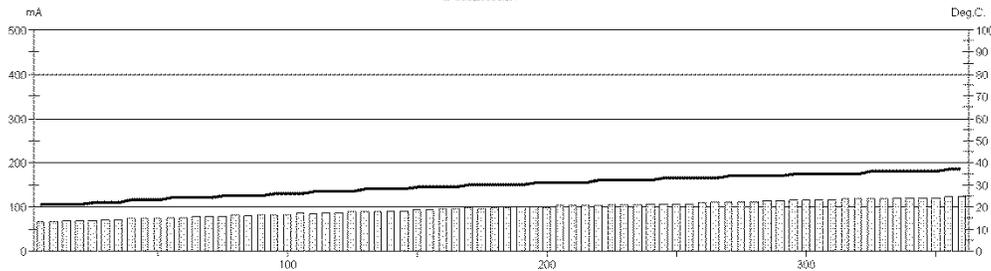
Your own logo.
Size=20x80mm



GERMANY INSTRUMENTS
BENHARBE
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 829 9999
Fax: (847) 829 8888

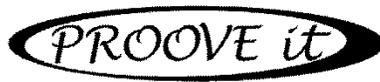
Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 2094
Adjusted Charge passed: 1890
Permeability class: Low
Instrument number: 090603
Channel number: 2
Report date: 09/04/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LRS-2 90
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA	Time	°C	mA	Time	°C	mA	Time	°C	mA
00:05	21	66,4	01:35	26	83,2	03:05	30	98,7	04:35	34	112,4
00:10	21	66,8	01:40	26	82,9	03:10	30	99,9	04:40	34	111,7
00:15	21	69,0	01:45	26	86,5	03:15	31	100,0	04:45	34	114,2
00:20	21	69,7	01:50	27	85,9	03:20	31	99,3	04:50	34	113,8
00:25	22	70,2	01:55	27	88,1	03:25	31	103,2	04:55	35	115,4
00:30	22	71,6	02:00	27	86,8	03:30	31	102,4	05:00	35	115,5
00:35	22	72,5	02:05	27	88,7	03:35	31	103,3	05:05	35	115,5
00:40	23	74,7	02:10	28	89,2	03:40	32	102,1	05:10	35	116,4
00:45	23	74,3	02:15	28	90,4	03:45	32	105,1	05:15	35	117,6
00:50	23	74,5	02:20	28	90,9	03:50	32	105,8	05:20	35	118,9
00:55	24	75,2	02:25	28	92,0	03:55	32	105,5	05:25	36	118,6
01:00	24	76,9	02:30	29	93,7	04:00	32	106,9	05:30	36	119,2
01:05	24	77,3	02:35	29	94,1	04:05	33	106,8	05:35	36	120,4
01:10	24	78,8	02:40	29	95,1	04:10	33	107,4	05:40	36	120,2
01:15	25	79,1	02:45	29	95,2	04:15	33	107,6	05:45	36	121,3
01:20	25	81,7	02:50	30	97,1	04:20	33	109,8	05:50	36	121,1
01:25	25	81,3	02:55	30	96,8	04:25	33	110,7	05:55	37	121,9
01:30	25	82,9	03:00	30	98,0	04:30	34	111,8	06:00	37	123,4

Figura E-47: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR8-100, espécimen 3 a edad de 90 días.

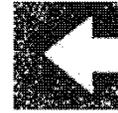


ASTM C 1202-05



Test-compagny
Testing street 45
CompagnyCity
Some Country

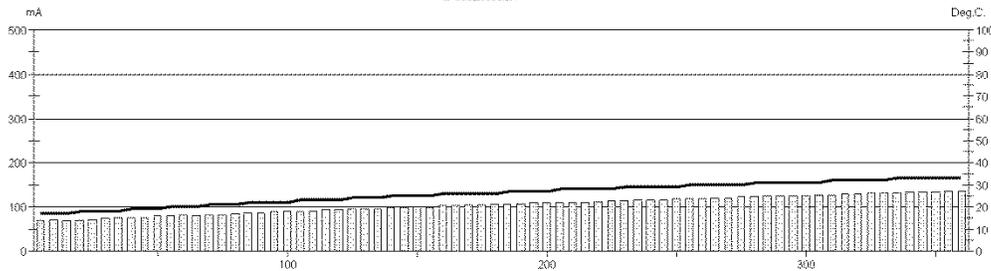
Your own logo.
Size=20x80mm



GERMANN INSTRUMENTS
BENHARBE
Phone: +45 3967 7117
Fax: +45 3967 3167
USA
Phone: (847) 329 9999
Fax: (847) 329 8888

Test report

Voltage Used: 60
Testing time: 06:00 hour
Charge passed: 2256
Adjusted Charge passed: 2036
Permeability class: Moderate
Instrument number: 090603
Channel number: 3
Report date: 09/04/2013
Testing by: ALEJANDRO LAVERDE
Reference: LRS-3 90
Sample diameter: 100
Comment: ---



Time	°C	mA	Time	°C	mA	Time	°C	mA	Time	°C	mA
00:05	17	70,3	01:35	22	89,6	03:05	27	106,3	04:35	30	122,9
00:10	17	70,9	01:40	22	90,9	03:10	27	106,6	04:40	31	122,7
00:15	17	68,7	01:45	23	89,8	03:15	27	108,9	04:45	31	124,0
00:20	18	68,1	01:50	23	90,9	03:20	27	108,4	04:50	31	125,5
00:25	18	71,8	01:55	23	92,8	03:25	28	109,2	04:55	31	126,0
00:30	18	74,7	02:00	23	93,7	03:30	28	110,4	05:00	31	126,1
00:35	18	75,3	02:05	24	95,9	03:35	28	110,2	05:05	31	127,0
00:40	19	76,4	02:10	24	95,7	03:40	28	112,1	05:10	32	128,1
00:45	19	76,6	02:15	24	96,5	03:45	28	113,8	05:15	32	129,2
00:50	19	79,8	02:20	25	98,0	03:50	29	114,2	05:20	32	130,1
00:55	20	80,7	02:25	25	97,4	03:55	29	115,0	05:25	32	130,6
01:00	20	82,7	02:30	25	99,8	04:00	29	115,0	05:30	32	131,0
01:05	20	81,3	02:35	25	99,3	04:05	29	116,7	05:35	33	132,1
01:10	21	81,5	02:40	26	102,0	04:10	29	117,9	05:40	33	132,9
01:15	21	82,4	02:45	26	102,6	04:15	30	117,4	05:45	33	133,5
01:20	21	84,2	02:50	26	104,5	04:20	30	119,2	05:50	33	134,1
01:25	22	86,5	02:55	26	104,9	04:25	30	120,1	05:55	33	135,2
01:30	22	87,4	03:00	26	106,3	04:30	30	121,0	06:00	33	136,0

Tabla E-1: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla AN1-0, a edades de 28 días y 90 días

MEZCLA	FECHA ENSAYO	PASO DE CARGA LN1-1 (mA)	TIEMPO ENSAYO (horas)	PASO DE CARGA LN1-2 (mA)	TIEMPO ENSAYO (horas)	PASO DE CARGA LN1-3 (mA)	TIEMPO ENSAYO (horas)	PROMEDIO
DIA 28	29-may-13	2588	06:00	2803	06:00	2370	06:00	2587
DIA 90	10-ago-13	1720	06:00	1921	06:00	1919	06:00	1853

Tabla E-2: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR2-25, a edades de 28 días y 90 días.

MEZCLA	FECHA ENSAYO	PASO DE CARGA LR2-1 (mA)	TIEMPO ENSAYO (horas)	PASO DE CARGA LR2-2 (mA)	TIEMPO ENSAYO (horas)	PASO DE CARGA LR2-3 (mA)	TIEMPO ENSAYO (horas)	PROMEDIO
DIA 28	28-may-13	4920	06:00	5616	06:00	5050	06:00	5195
DIA 90	11-ago-13	2604	06:00	2272	06:00	2592	06:00	2489

Tabla E-3: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR3-50, a edades de 28 días y 90 días.

MEZCLA	FECHA ENSAYO	PASO DE CARGA LR3-1 (mA)	TIEMPO ENSAYO (horas)	PASO DE CARGA LR3-2 (mA)	TIEMPO ENSAYO (horas)	PASO DE CARGA LR3-3 (mA)	TIEMPO ENSAYO (horas)	PROMEDIO
DIA 28	08-jun-13	4421	03:55	4963	04:30			4692
DIA 90	14-ago-13	3744	06:00	3363	06:00	2964	06:00	3357

Tabla E-4: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR4-100, a edades de 28 días y 90 días.

MEZCLA	FECHA ENSAYO	PASO DE CARGA LR4-1 (mA)	TIEMPO ENSAYO (horas)	PASO DE CARGA LR4-2 (mA)	TIEMPO ENSAYO (horas)	PASO DE CARGA LR4-3 (mA)	TIEMPO ENSAYO (horas)	PROMEDIO
DIA 28	11-jun-13			5627	03:05			5627
DIA 90	15-ago-13	4485	06:00	3692	06:00	4344	06:00	4174

Tabla E-5: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla AN5-0, a edades de 28 días y 90 días.

MEZCLA	FECHA ENSAYO	PASO DE CARGA LN5-1 (mA)	TIEMPO ENSAYO (horas)	PASO DE CARGA LN5-2 (mA)	TIEMPO ENSAYO (horas)	PASO DE CARGA LN5-3 (mA)	TIEMPO ENSAYO (horas)	PROMEDIO
DIA 28	12-jun-13			5851	06:00	6486	06:00	6169
DIA 90	18-ago-13	2777	06:00	3346	06:00	3248	06:00	3124

Tabla E-6: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR6-25, a edades de 28 días y 90 días.

MEZCLA	FECHA ENSAYO	PASO DE CARGA LR6-1 (mA)	TIEMPO ENSAYO (horas)	PASO DE CARGA LR6-2 (mA)	TIEMPO ENSAYO (horas)	PASO DE CARGA LR6-3 (mA)	TIEMPO ENSAYO (horas)	PROMEDIO
DIA 28	13-jun-13			5081	04:45			5081
DIA 90	28-ago-13	2806	06:00	2874	06:00	2844	06:00	2841

Tabla E-7: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR7-50, a edades de 28 días y 90 días.

MEZCLA	FECHA ENSAYO	PASO DE CARGA LR7-1 (mA)	TIEMPO ENSAYO (horas)	PASO DE CARGA LR7-2 (mA)	TIEMPO ENSAYO (horas)	PASO DE CARGA LR7-3 (mA)	TIEMPO ENSAYO (horas)	PROMEDIO
DIA 28	14-jun-13	3400	05:35					3400
DIA 90	03-sep-13	2972	06:00	2720	06:00	2594	06:00	2762

Tabla E-8: Resultados de ensayo de permeabilidad al ión cloruro para la mezcla ACR8-100, a edades de 28 días y 90 días.

MEZCLA	FECHA ENSAYO	PASO DE CARGA LR8-1 (mA)	TIEMPO ENSAYO (horas)	PASO DE CARGA LR8-2 (mA)	TIEMPO ENSAYO (horas)	PASO DE CARGA LR8-3 (mA)	TIEMPO ENSAYO (horas)	PROMEDIO
DIA 28	15-jun-13	5015	05:30	6874	05:35	6337	05:40	6075
DIA 90	04-sep-13	2143	06:00	1890	06:00	2036	06:00	2023

Tabla F-14: Resultados de ensayos de carbonatación para la mezcla ACR7-50 con edad de curado de 28 días y 15 semanas en la cámara de carbonatación.

	Medida 1 (cm)	Medida 2 (cm)	Medida 3 (cm)	Medida 4 (cm)	Medida 5 (cm)	Medida 6 (cm)	Profundidad de carbonatación (mm)
Muestra 1	C	C	C	C	C	C	C
Muestra 2	C	C	C	C	C	C	C
							C

C= Carbonatado en toda el área

Tabla F-15: Resultados de ensayos de carbonatación para la mezcla ACR8-100 con edad de curado de 28 días y 5 semanas en la cámara de carbonatación.

	Medida 1 (cm)	Medida 2 (cm)	Medida 3 (cm)	Medida 4 (cm)	Medida 5 (cm)	Medida 6 (cm)	Profundidad de carbonatación (mm)
Muestra 1	3,1	3,1	6,8	6,6	3	3,5	4,4
Muestra 2	4	5	3	4	2	6	4,0
							4,2

Tabla F-16: Resultados de ensayos de carbonatación para la mezcla ACR8-100 con edad de curado de 28 días y 15 semanas en la cámara de carbonatación.

	Medida 1 (cm)	Medida 2 (cm)	Medida 3 (cm)	Medida 4 (cm)	Medida 5 (cm)	Medida 6 (cm)	Profundidad de carbonatación (mm)
Muestra 1	C	C	C	C	C	C	C
Muestra 2	C	C	C	C	C	C	C
							C

C= Carbonatado en toda el área

G. Anexo 7: Datos de resultados de ensayos de sortividad

Tabla G-1: Resultados de ensayos de sortividad para la mezcla AN1-0 a edad de 28 días

Indice de absorción.	Mezcla AN1-0		Mezcla 2		Mezcla 3		Mezcla 4	
	28 días	90 días	28 días	90 días	28 días	90 días	28 días	90 días
Indice inicial de absorción	0,0066	0,0195	0,0086	0,0074	0,0196	0,0099	0,0200	0,0020
Indice secundario de absorción	0,0023	0,0036	0,0026	0,0015	0,0043	0,0020	0,0046	0,0022

Tabla G-2: Resultados de ensayos de sortividad para la mezcla AN1-0 a edad de 90 días

Indice de absorción.	Mezcla 5		Mezcla 6		Mezcla 7		Mezcla 8	
	28 días	90 días						
Indice inicial de absorción	0,0013	0,0051	0,0215	0,0069	0,0212	0,0073	0,0231	0,0077
Indice secundario de absorción	0,0035	0,0009	0,0018	0,0016	0,0028	0,0018	0,0030	0,0020

H. Anexo 8: Datos de resultados de ensayos de resistividad

Tabla H-1: Coeficientes de resistividad para la mezcla AN1-0 a edades de 28 y 90 días.

Edad (días)	A (m ²)	L (m)	k (A/L)							
				Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
28	0,0079	0,05	0,157	441,6	450,0	450,0	69,4	70,7	70,7	70,2
90	0,0079	0,05	0,157	600,3	563,8	541,0	94,3	88,6	85,0	89,3

Tabla H-2: Coeficientes de resistividad para la mezcla ACR2-25 a edades de 28 y 90 días.

Edad (días)	A (m ²)	L (m)	k (A/L)							
				Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
28	0,0079	0,05	0,157	306,41	349,67	333,87	48,13	54,93	52,44	51,83
90	0,0079	0,05	0,157	659,73	649,31	748,44	103,63	101,99	117,57	107,73

Tabla H-3: Coeficientes de resistividad para la mezcla ACR3-50 a edades de 28 y 90 días.

Edad (días)	A (m ²)	L (m)	k (A/L)							
				Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
28	0,0079	0,05	0,157	276,93	298,91	272,45	43,50	46,95	42,80	44,42
90	0,0079	0,05	0,157	552,86	557,38	548,99	86,84	87,55	86,24	86,88

Tabla H-4: Coeficientes de resistividad para la mezcla ACR4-100 a edades de 28 y 90 días.

Edad (días)	A (m ²)	L (m)	k (A/L)							
				Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
28	0,0079	0,05	0,157	207,31	215,81	182,71	32,56	33,90	28,70	31,72
90	0,0079	0,05	0,157	401,84	449,21	399,75	63,12	70,56	62,79	65,49

Tabla H-5: Coeficientes de resistividad para la mezcla AN5-0 a edades de 28 y 90 días.

Edad (días)	A (m ²)	L (m)	k (A/L)							
				Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
28	0,0079	0,05	0,157	345,93	371,28	337,45	54,34	58,32	53,01	55,22
90	0,0079	0,05	0,157	497,82	497,57	493,18	78,20	78,16	77,47	77,94

Tabla H-6: Coeficientes de resistividad para la mezcla ACR6-25 a edades de 28 y 90 días.

Edad (días)	A (m ²)	L (m)	k (A/L)							
				Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
28	0,0079	0,05	0,157	387,6	416,4	406,9	60,9	65,4	63,9	63,4
90	0,0079	0,05	0,157	463,5	452,9	528,4	72,8	71,1		72,0

Tabla H-7: Coeficientes de resistividad para la mezcla ACR7-50 a edades de 28 y 90 días.

Edad (días)	A (m ²)	L (m)	k (A/L)							
				Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
28	0,0079	0,05	0,157	387,238	313,730	325,322		49,28	51,10	50,19
90	0,0079	0,05	0,157	463,48	422,66	416,28		66,39	65,39	65,89

Tabla H-8: Coeficientes de resistividad para la mezcla ACR8-100 a edades de 28 y 90 días.

Edad (días)	A (m ²)	L (m)	k (A/L)							
				Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
28	0,0079	0,05	0,157	433,05	433,34	436,57	68,02	68,07	68,58	68,22
90	0,0079	0,05	0,157	489,87	535,83	515,61	76,95			76,95

I. Anexo 9: Resultados de ensayos de espectrometría de impedancias

Figura I-1: Gráfico de Nyquist para la mezcla AN1-0 a la edad de 28 días

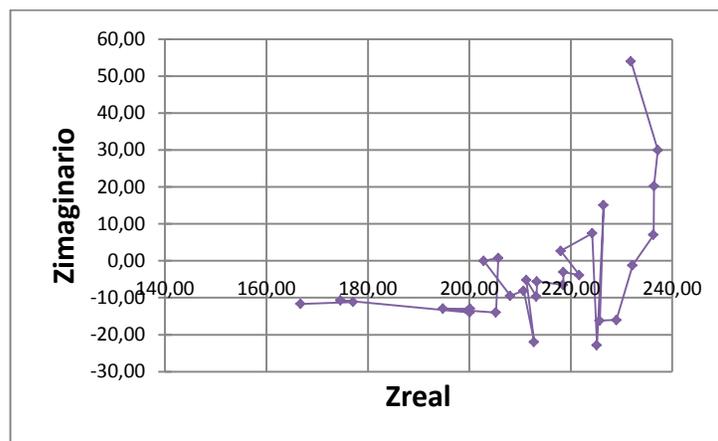


Figura I-2: Gráfico de Nyquist para la mezcla AN1-0 a la edad de 90 días

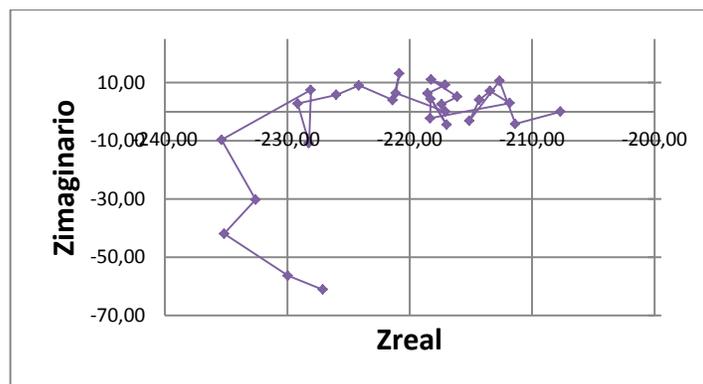


Figura I-3: Gráfico de Nyquist para la mezcla ACR2-25 a la edad de 28 días

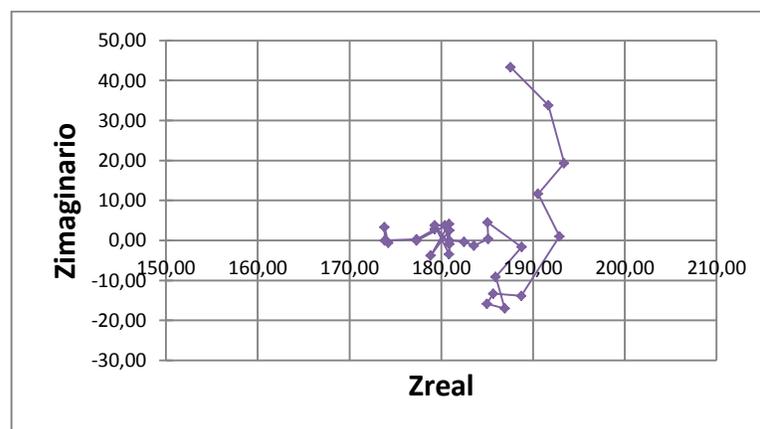


Figura I-4: Gráfico de Nyquist para la mezcla ACR2-25 a la edad de 90 días

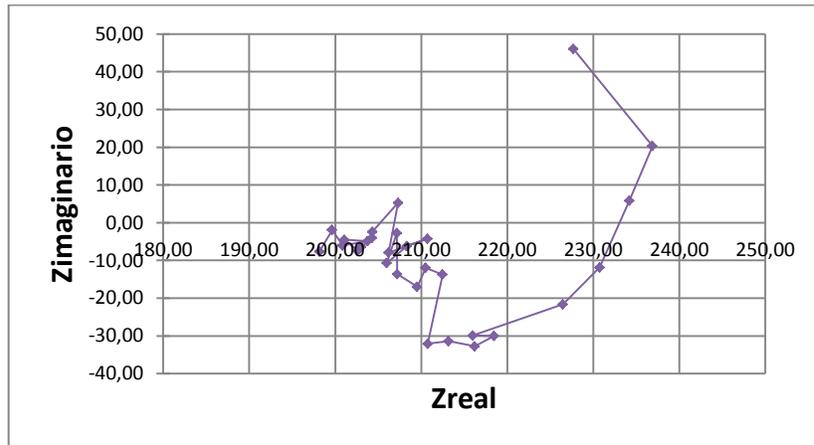


Figura I-5: Gráfico de Nyquist para la mezcla ACR3-50 a la edad de 28 días

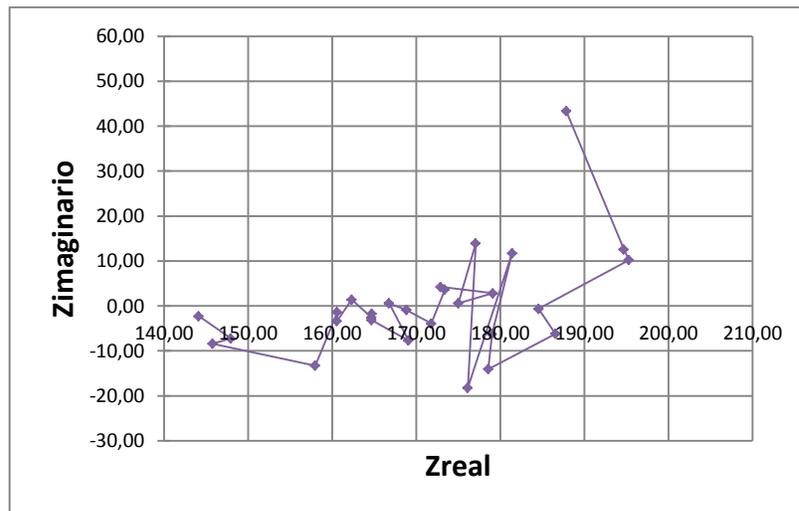


Figura I-6: Gráfico de Nyquist para la mezcla ACR3-50 a la edad de 90 días

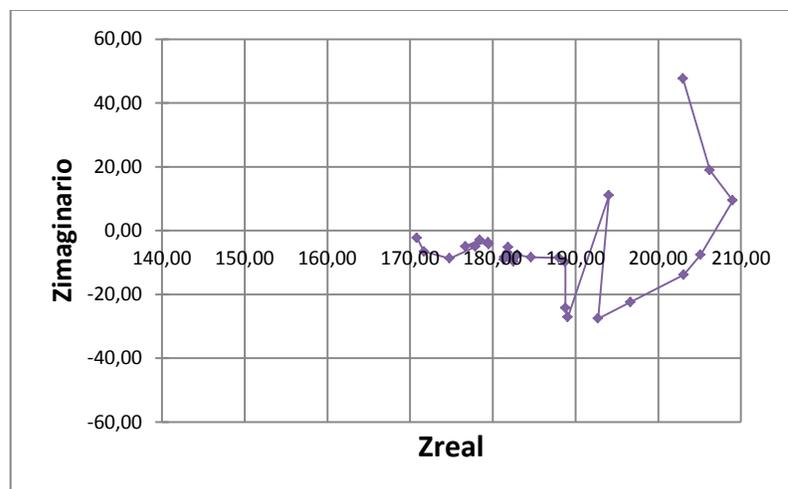


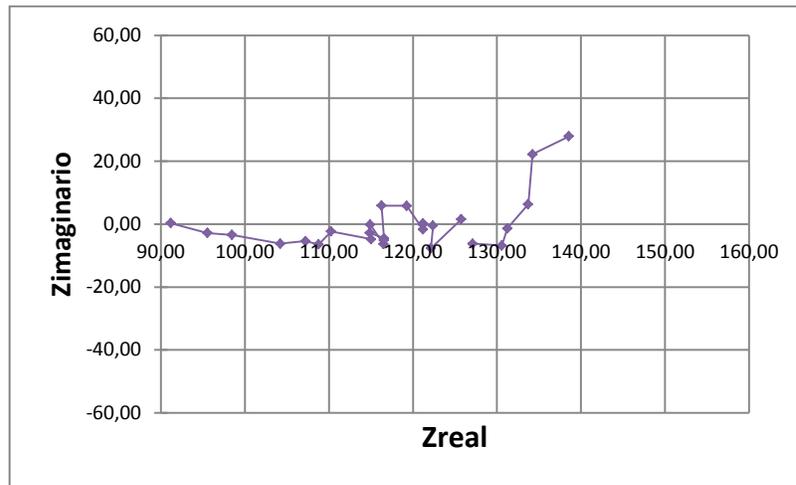
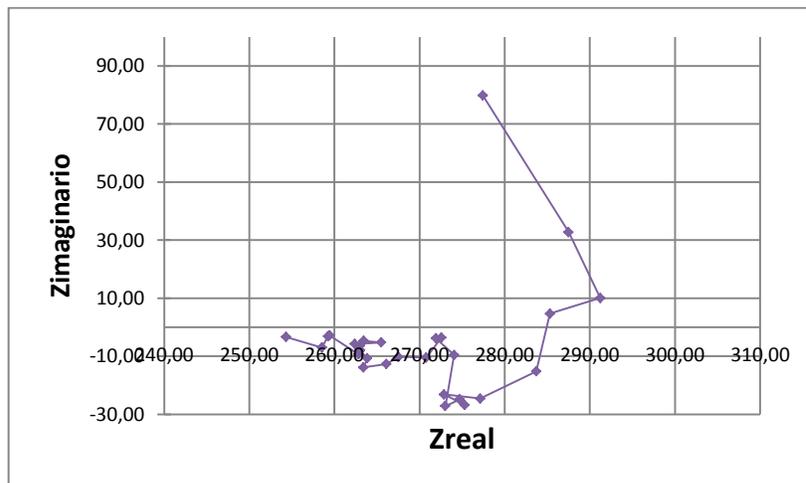
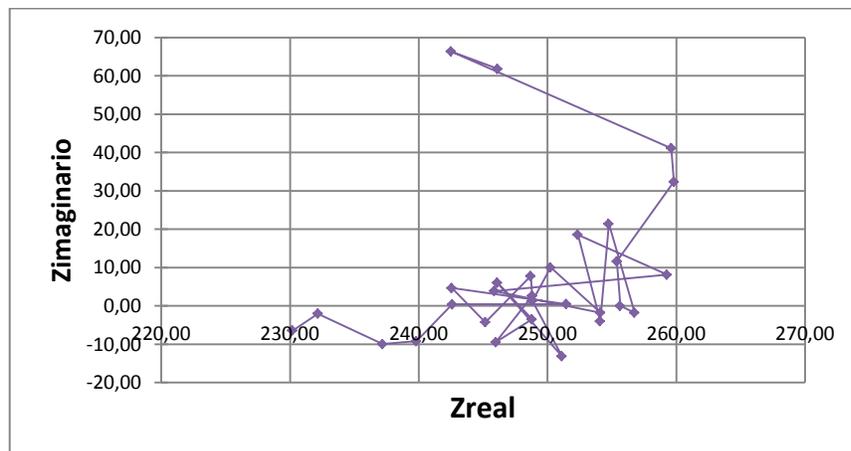
Figura I-7: Gráfico de Nyquist para la mezcla ACR4-100 a la edad de 28 días**Figura I-8:** Gráfico de Nyquist para la mezcla ACR4-100 a la edad de 90 días**Figura I-9:** Gráfico de Nyquist para la mezcla AN5-0 a la edad de 28 días

Figura I-10: Gráfico de Nyquist para la mezcla AN5-0 a la edad de 90 días

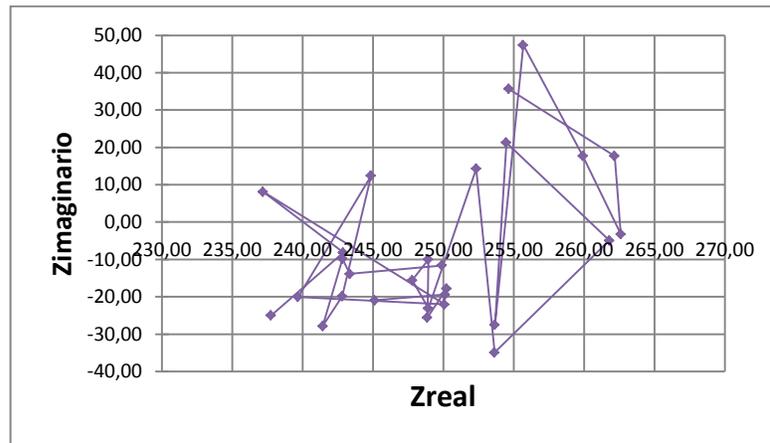


Figura I-11: Gráfico de Nyquist para la mezcla ACR6-25 a la edad de 28 días

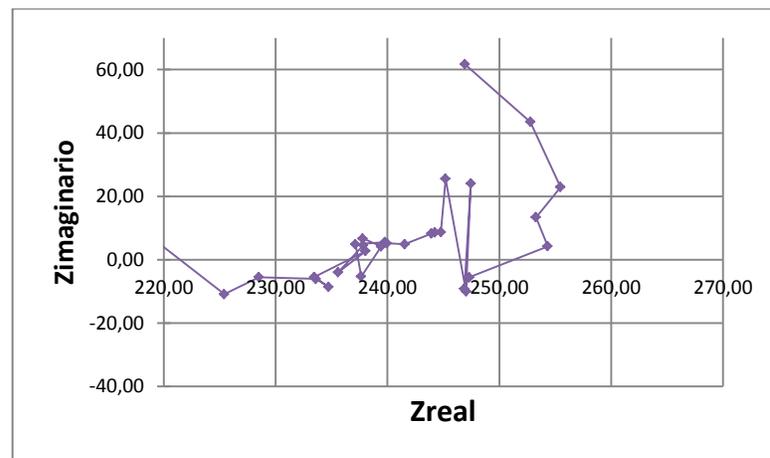


Figura I-12: Gráfico de Nyquist para la mezcla ACR6-25 a la edad de 90 días

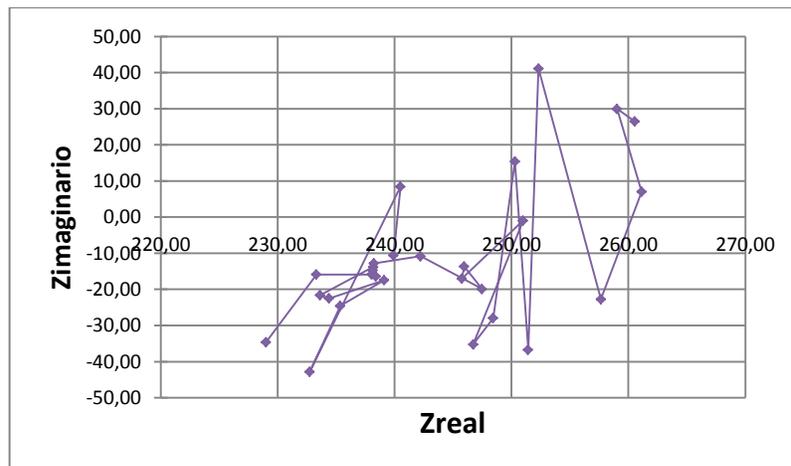


Figura I-13: Gráfico de Nyquist para la mezcla ACR7-50 a la edad de 28 días

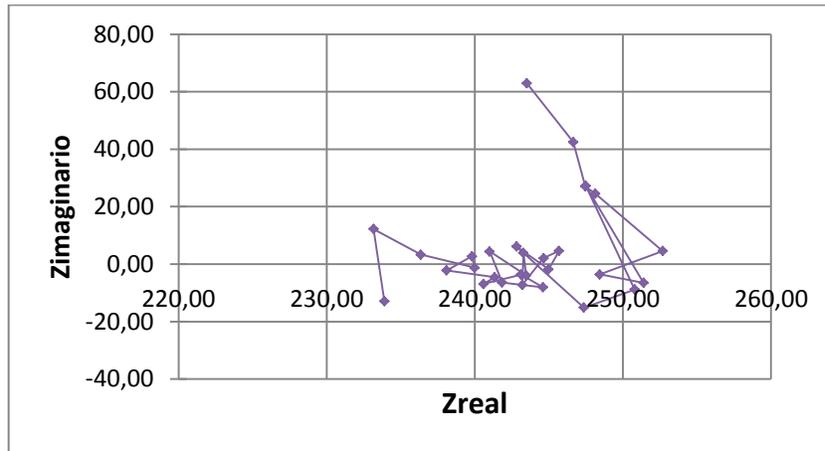


Figura I-14: Gráfico de Nyquist para la mezcla ACR7-50 a la edad de 90 días

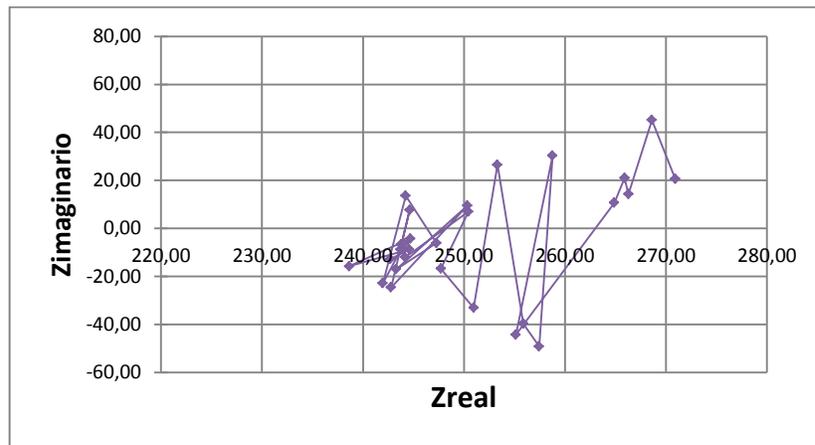


Figura I-15: Gráfico de Nyquist para la mezcla ACR8-100 a la edad de 28 días

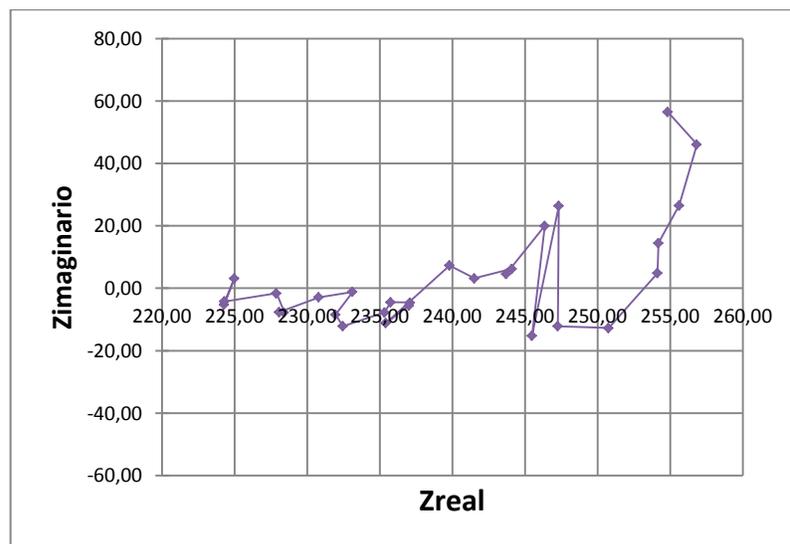
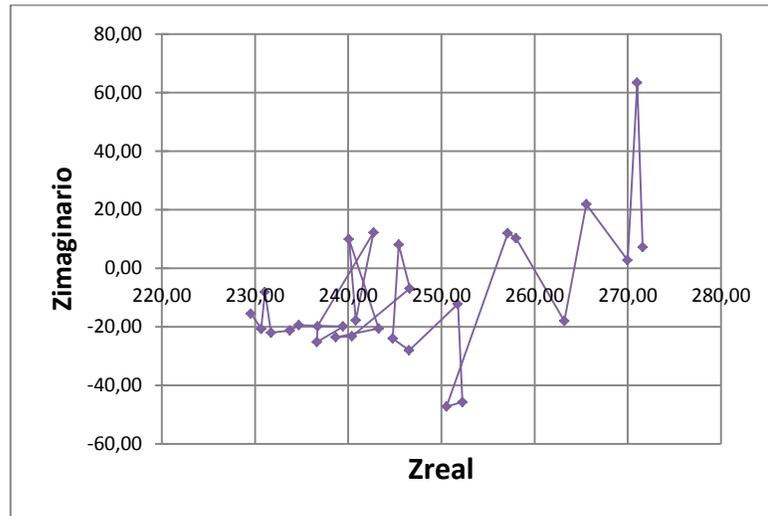


Figura I-16: Gráfico de Nyquist para la mezcla ACR8-100 a la edad de 90 días



Bibliografía

AlKhaleefi, A., & Almutairi, N. (2007). Ultrasonic pulse testing, chloride content and sulphate content of recycled concrete as coarse aggregate. *Our World in Concrete & Structures*. Singapore.

Arriaga, L. e. (2013). *Utilización de agregado grueso de concreto reciclado en elementos estructurales de concreto reforzado*. Bogotá - Colombia: Tesis de Maestría Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE GESTORES DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN. (Noviembre de 2010, pág. 6.). *Control de los Residuos de Construcción y Demolición, en los Ayuntamientos*. España.

ASOCRETO. (2011). Agregados reciclados presentes en la rehabilitación de estructuras. *ASOCRETO*, Edición 108 pág 62.

(s.f.). *ASTM C1202-12: "Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration"*.

(s.f.). *ASTM C1585-11: "Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes"*.

Bojacá, N. R. (2013). *Propiedades mecánicas y de durabilidad de concretos con agregados reciclados*. Tesis de Maestría Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Buozón Orgeira, N. (2011). *Evaluación del proceso de hidratación de morteros de cemento con ceniza volante mediante métodos destructivos y no destructivos*. Tesis de Maestría Universidad Politécnica de Valencia: Valencia - España.

-
- Cassiano. (2010). *Valoración de propiedades eléctricas del concreto y su correlación con algunas propiedades mecánicas y de durabilidad*. Bogotá - Colombia: Tesis de Maestría Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.
- Cement & Concrete Association from New Zeland. (2011). *Best practice guide for the use of recycled aggregates in new concrete*. New Zeland.
- COAMBIENTE S.A. (2009). *"Gestión Integral de escombros – Anteproyecto para la gestión integral de los RC&D en el distrito Capital"*. Bogotá , Colombia.
- Cortina Ramírez, J. M. (2007). *Guía para el manejo de residuos sólidos generados en la industria de la construcción*. Cholula, Puebla, México.
- Cruz. J.M. J, Landine. L. F, Lalinde y FITA. I.C. (2010). *Evaluación de las propiedades eléctricas de morteros de cemento con puzolanas*. Valencia - España: Tesis de Maestría Universidad Politécnica de Valencia.
- Desai, SB and Limbachiya, MC. (Kingston University, 2006). Coarse recycled aggregate – a sustainable concrete solution. *The indian concrete journal*, 17-23 ACC Limited Maharashtra.
- Exteberria, M., Vásquez, E., & Marí, A.R. (2007). Influence of amount or recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete research*, 735-742.
- Froudinston-yannas, S. (1977). *Waste concrete as aggregate for new concrete*. ACI Journal.
- Fuertes, A. (2012). *Hacia un Desarrollo Sostenible en la Producción de Concreto a partir de Desechos de Construcción de Mampostería de Arcilla*. Bogotá.
- Grace Construction products. (2006). *Technical Bulletin TB - 0100 "Understanding AASHTO T277 y ASTM C1202 Rapid Chloride Permeability Test"*.
- Guzmán, D. S. (2002). *Durabilidad y patología del concreto*. Bogotá - Colombia: Instituto del Concreto Asocreto, ISBN: 958-96709-7-0.
- Kang, T.-K., Kim, J. W., Kwak, Y.-K., & Hong, S.-G. (2012). The choice of recycled concrete aggregate for flexural members. *Proceedings of 18th international association for bridge and structural engineering congress on innovative infrastructures*, Seoul, Korea.
- Katrina McNeil & Thomas H.-K Kang. (2013). *Recycled Concrete Aggregates: A Review*. USA.
- Limbachiya et al. (2000). Use of recycled aggregate in highstrength concrete. *Materials and Structures*, 574-580.

-
- Lizarazo, J. (2008). Ensayos típicos en la Dterminación de la durabilidad del concreto.
Seminario ACI Ataque químico en el concreto.
- Maruyama, I. S. (2004). Flexural properties of reinforced recycled beams. *Proceedings of international RILEM conference on the use of recycled materials in buildings and structures.* 525-535.
- Mayurama, I., Sogo, M., Sobage, T., Sato, R., & Kawai, K. (2004). Flexural properties of reinforced recycled beams. *Proceedings of international RILEM conference on the use of recycled materials in bulidings and structures.*
- NATALANI, MARIO B. – KLEES, DELIA R. – TIRNER. (2000). *Reciclaje y reutilización de materiales residuales de construcción y demolición. Universidad Nacional del Nordeste Argentina.* Argentina: pág 1.
- Norma española UNE 83988-1. (2008). Durabilidad del hormigón. Método de ensayo. Determinación de la resistividad eléctrica Parte 1: Método directo (método de referencia).
- (s.f.). *NSR-10: "Reglamento Colombiano de Construcción Sismoresistente".*
- Pinzón, H. (2009). *Valoración de Algunas Propiedades del Concreto Adicionado con Vidrio Pulverizado.* Bogotá.
- R Corral Higuera, S.P Arredondo-Rea, M.A Neri Flores, J.M Gómez-Soberón, J.L Almaral Sánchez, J.H Casterona González, A. MArtínez Villafane, F. Almeraya Calderón. (2011). *Chloride Ion Penetrability and Corrosion Behavior of Steel in Concrete with Sustainability Characteristics.*
- Rashwan, MS and Abourizh, S. (1997). The Properties of Recycled Concrete. *Concrete. USA.*
- Rebolledo, N. R. (2010). *Aplicación de técnicas no destructivas al estudio del hormigón fresco.* Madrid, España: Tesis de Maestría, Universidad Politécnica de Madrid.
- Shayan, A., & Xu A. (2003). *Performance and properties of structural concrete made with recycled concrete aggregate.* ACI Materials Journal 100(5), 371 - 380.
- Torres, N. (2009). Valoración del paso de cloruros en concretos con diferentes características. *Boletín técnico de la seccional Colombiana del Instituto Americano del Concreto ACI.* Universidad Nacional de Colombia.
- Torres, Quiroga. (2010). Concreto con agregados provenientes de escombros de construcción y demolición en Colombia. *Boletín Técnico de la Seccional Colombiana del Instituto Americano del Concreto ACI.*

Yang, K., Chung, H.-s., & Ashour, A. (2008). *Influence of Type and replacement Level of recycled Aggregates on Concrete properties*. ACI Materials Journal.

Zhang, M. I. (2009). *Recycled Concrete Aggregate and its Application in New Zealand Ready mixed Production*. New Zealand Concrete Industries Conference.