



FACULTAD DE INGENIERÍA

Memoria del proyecto para optar al Título de
Ingeniero Civil Oceánico

ANÁLISIS DE EFECTOS DE SALINIDAD EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE PRUEBA DE INTEMPERISMO ACELERADO

Juan Pablo Esteban Jorquera García

Abril 2014

**ANÁLISIS DE EFECTOS DE SALINIDAD EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN MEDIANTE
PRUEBA DE INTEMPERISMO ACELERADO**

Juan Pablo Esteban Jorquera García

COMISIÓN REVISORA

NOTA

FIRMA

RAÚL UGALDE P.
Profesor guía

JORGE ROJAS A.
Docente

ROBERTO PRADO F.
Docente

DECLARACIÓN

Este trabajo, o alguna de sus partes, no ha sido presentado anteriormente en la Universidad de Valparaíso, institución universitaria chilena o extranjera u organismo de carácter estatal, para evaluación, comercialización u otros propósitos. Salvo las referencias citadas en el texto, confirmo que el contenido intelectual de este Proyecto de Título es resultado exclusivamente de mis esfuerzos personales.

La Universidad de Valparaíso reconoce expresamente la propiedad intelectual del autor sobre esta Memoria de Titulación. Sin embargo, en caso de ser sometida a evaluación para los propósitos de obtención del Título Profesional de Ingeniero Civil Oceánico, el autor renuncia a los derechos legales sobre la misma y los cede a la Universidad de Valparaíso, la que estará facultada para utilizarla con fines exclusivamente académicos.

AGRADECIMIENTOS

A las empresas que aportaron con insumos para la ejecución de la presente investigación,

A Cecilia Chávez y Angel Espitia por el apoyo prestado en la ejecución de los ensayos de laboratorio,

A Raúl Ugalde quien me orientó en la ejecución del presente texto,

A mi madre que financió mis locuras,

A mi hermana que corrigió mis errores, y

A México por forjar mi filosofía.

CONTENIDO

DECLARACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS	IV
CONTENIDO	V
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABLAS.....	VIII
RESUMEN	X
1 INTRODUCCIÓN	1
2 MARCO TEÓRICO.....	2
2.1 DESCRIPCIÓN DEL HORMIGÓN.....	2
2.1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL HORMIGÓN	2
2.1.2 HISTORIA DE LA INNOVACIÓN DEL HORMIGÓN	3
2.1.3 MATERIALES DEL HORMIGÓN	3
2.1.4 RELACIÓN AGUA CEMENTO.....	7
2.1.5 RESISTENCIA DEL HORMIGÓN	8
2.1.6 ACCIONES Y EFECTOS SOBRE EL HORMIGÓN.....	9
2.1.7 HORMIGÓN ARMADO.....	11
2.2 EFECTOS DE AMBIENTES MARINOS EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN	12
2.2.1 ENTORNO MARINO.....	12
2.2.2 PROCESO DE CORROSIÓN DEL HORMIGÓN ARMADO.....	15
2.2.3 FACTORES QUE INFLUYEN AL PROCESO DE CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO.....	16
2.3 INTEMPERISMO ACELERADO	17
2.3.1 DEFINICIÓN.....	17
2.3.2 NORMATIVAS DE APLICACIÓN.....	18
2.4 ESTADO DEL ARTE	18
2.4.1 RECOMENDACIONES BIBLIOGRÁFICAS	18
2.4.2 ESTUDIOS DE INTERÉS	20
2.4.3 INNOVACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	22
3 OBJETIVOS.....	23
3.1 GENERAL	23
3.2 ESPECÍFICOS	23
4 METODOLOGÍA.....	24
4.1 LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	24
4.2 MATERIALES Y EQUIPOS.....	24
4.2.1 CEMENTOS UTILIZADOS.....	24
4.2.2 ÁRIDOS.....	26
4.2.3 ACERO DE REFUERZO.....	29
4.2.4 AGUA	29
4.2.5 SULFATO DE SODIO ANHIDRO	29
4.2.6 EQUIPO DE COMPRESIÓN Y TRACCIÓN	30
4.3 ETAPAS DE IMPLEMENTACIÓN.....	31
4.3.1 PREPARACIÓN DE INSUMOS.....	31
4.3.2 MEZCLADO DE HORMIGÓN	33
4.3.3 CALENDARIZACIÓN DE LA APLICACIÓN DE INTEMPERISMO ACELERADO	34

4.3.4	PREPARACIÓN y ENSAYO DE CILINDROS Y ACERO DE REFUERZO.....	35
5	PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	37
5.1	CILINDROS DE HORMIGÓN.....	37
5.1.1	ETAPA 1: ANTES DE APLICACIÓN DEL CICLO DE INTEMPERISMO	37
5.1.2	ETAPA 2: DESPUÉS DE APLICACIÓN DEL CICLO DE INTEMPERISMO	38
5.1.3	ETAPA 3: ENSAYO DE CILINDROS	41
5.2	ACERO DE REFUERZO	42
5.2.1	ETAPA 1: ACERO ANTES DEL FRAGUADO.....	42
5.2.2	ETAPA 2: DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DE INTEMPERISMO ACELERADO	43
5.2.3	ETAPA 3: ENSAYO DE ACERO DE REFUERZO	45
6	CONCLUSIONES	47
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: PARTICIPACIÓN DE LOS COMPUESTOS DEL HORMIGÓN EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN.	5
FIGURA 2: RELACIÓN AGUA/CEMENTO.	8
FIGURA 3: INFLUENCIA DE LA HUMEDAD AMBIENTAL SOBRE LA RESISTENCIA.	9
FIGURA 4: MODELO DE RAÍZ DE TIEMPO DE INTRUSIÓN POR CARBONATACIÓN.	10
FIGURA 5: SALINIDAD DEL AGUA DE MAR SUPERFICIAL EN EL MUNDO.	13
FIGURA 6: PERFIL DE TEMPERATURA Y SALINIDAD FRENTE A LAS COSTAS DE VALPARAÍSO.	14
FIGURA 7: PROCESOS DE DETERIORO EN ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN.	15
FIGURA 8: DIAGRAMA DE LA DESTRUCCIÓN DE CAPA PASIVANTE POR EFECTO DE CLORUROS.	16
FIGURA 9: COLUMNA AFECTADA POR "CORROSIÓN MARINA".	21
FIGURA 10: UBICACIÓN DE FACULTAD DE CIENCIAS MARINAS, UCOL.	24
FIGURA 11: RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DEL CPC 30R.	25
FIGURA 12: RESISTENCIA AL ATAQUE DE LOS SULFATOS.	26
FIGURA 13: GRAVA UTILIZADA.	27
FIGURA 14: ARENA UTILIZADA.	27
FIGURA 15: TAMIZADORA PIFI 2010.	28
FIGURA 16: ACERO DE REFUERZO UTILIZADO EN LA INVESTIGACIÓN.	29
FIGURA 17: EMPAQUE DE DISTRIBUCIÓN DE SULFATO DE SODIO EN ANHIDRO.	30
FIGURA 18: MÁQUINA DE ENSAYO DE COMPRESIÓN.	30
FIGURA 19: MÁQUINA DE ENSAYO DE TRACCIÓN.	31
FIGURA 20: RECIPIENTES PARA CILINDROS DE HORMIGÓN.	32
FIGURA 21: CAJÓN DE MADERA.	32
FIGURA 22: ARMADURA DE ACERO.	33
FIGURA 23: EFECTO DEL CURADO EN LA RESISTENCIA DEL HORMIGÓN.	33
FIGURA 24: VIGAS DE HORMIGÓN SUMERGIDAS PARCIALMENTE.	34
FIGURA 25: CILINDRO CABECEADO EN EQUIPO A COMPRESIÓN.	35
FIGURA 26: BARRA DE ACERO SOMETIDA A TRACCIÓN SUJETA POR MANDÍBULAS DE ACERO.	36
FIGURA 27: CILINDROS DE HORMIGÓN.	38
FIGURA 28: PRESENCIA DE CRISTALES DE Na_2SO_4 EN CILINDROS.	40
FIGURA 29: VIGAS DE HORMIGÓN A LOS 14 DÍAS DE EXPOSICIÓN.	43
FIGURA 30: ZONAS DISTINGUIBLES EN VIGAS DE HORMIGÓN.	44
FIGURA 31: BARRA DE ACERO ENSAYADA.	46
FIGURA 32: ESTIMACIÓN DE VIDA RESIDUAL DE UNA ESTRUCTURA.	48

LISTA DE TABLAS

TABLA 1: COMPUESTOS BÁSICOS DEL CLÍNKER.	4
TABLA 2: CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPUESTOS BÁSICOS DEL CLÍNKER.	4
TABLA 3: CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS SEGÚN COMPOSICIÓN.	5
TABLA 4: CEMENTO PORLAND SEGÚN ASTM.	6
TABLA 5: COMPOSICIÓN DE IONES PARA AGUA DULCE Y DE MAR.	12
TABLA 6: CLASIFICACIÓN DE AGUA SEGÚN SALINIDAD.	13
TABLA 7: REQUISITOS PARA HORMIGÓN EXPUESTO A SOLUCIONES QUE CONTIENEN SULFATOS.	19
TABLA 8: RESISTENCIA DE ALGUNAS ROCAS EN [KGF/CM ²].	20
TABLA 9: GRANULOMETRÍA DE GRAVA.	28
TABLA 10: GRANULOMETRÍA DE ARENA.	28
TABLA 11: CALENDARIO DE APLICACIÓN DE PRUEBA DE INTEMPERISMO.	35
TABLA 12: INFORMACIÓN DE CILINDROS ANTES DE LA APLICACIÓN DE ACCIÓN QUÍMICA.	37
TABLA 13: INFORMACIÓN DE CILINDROS DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DE ACCIÓN QUÍMICA.	39
TABLA 14: VARIACIÓN DE LA MASA DE CILINDROS SEGÚN TIPO DE CEMENTO.	39
TABLA 15: VARIACIÓN DEL VOLUMEN DE CILINDROS SEGÚN TIPO DE CEMENTO.	40
TABLA 16: VARIACIÓN DE DENSIDAD DE CILINDROS SEGÚN TIPO DE CEMENTO.	40
TABLA 17: RESULTADOS DE RESISTENCIA DE CILINDROS LUEGO DE 14 DÍAS.	41
TABLA 18: MASA DE ACERO DE REFUERZO ANTES DE COLOCARLAS EN LA VIGA.	42
TABLA 19: MASA DE ACERO DE REFUERZO DESPUÉS DE COLOCARLAS EN LA VIGA.	44
TABLA 20: RESISTENCIA PROMEDIO DE BARRAS DE ACERO DE REFUERZO.	45
TABLA 21: DEFORMACIÓN PROMEDIO EN BARRAS DE ACERO DE REFUERZO.	45

Dedicada a
mi viejo, mi vieja, mis hermanos,
amigos y amigos de Triple XXX

RESUMEN

La investigación presenta un análisis a la resistencia del hormigón y acero de refuerzo en ambientes salinos mediante la prueba de "Intemperismo Acelerado", utilizando sulfato de sodio (Na_2SO_4), que se le aplica a los áridos, con el objeto de estimar pérdidas o ganancias de carga de los elementos.

El agua de mar, al estar en contacto con otra superficie, generará diversos efectos desde la abrasión (por efecto del oleaje) o la penetración de cloruros por los intersticios del hormigón. Esto posibilita un desmembramiento de la capa superficial y la corrosión del acero en su interior. Producto a lo anterior se estará afectando la resistencia a la compresión y también a la flexión de elementos de hormigón.

Considerando que el hormigón se constituye casi en un 80% de áridos, además de material cementante y agua, se presume que la prueba de intemperismo acelerado, (asumiendo que los efectos que se producen en ambientes salinos son de similar efecto a las consecuencias provocados por la prueba), resultará muy adecuada para estimar las variación a la resistencia en probetas cilíndricas de hormigón como de acero de refuerzo con diversos recubrimientos.

Para realizar la prueba se utilizó una mezcla de hormigón de $f_c=250[\text{kg}/\text{cm}^2]$, además de recubrimientos de 3, 5 y 7 [cm], además el uso de cemento corriente y resistente a sulfatos. Para la mezcla no se utilizaron aditivos y se manipularon áridos utilizados en obra.

Los cilindros de hormigón fueron ensayados a compresión luego de 14 días, durante el cual se sometieron a regímenes completos en saturación mediante prueba de intemperismo acelerado. Además se aplicó una combinación mixta de saturación y exposición al aire, así como cilindros de control para comparar sus resultados. Por otra parte, las barras de acero fueron ensayadas a tracción luego de ser recuperadas siendo sometidas previamente a diversos recubrimientos con exposiciones continuas de saturación de sulfato de sodio.

Los resultados concluyen que, debido a su composición, el cemento corriente adquiere una alta resistencia en un breve periodo siendo despreciables los efectos de los agentes químicos aplicados. Las cualidades del cemento especial hacen que su resistencia se aprecie reducida frente a agentes químicos debido a su resistencia de diseño la alcanza en forma tardía. Por otra parte en las barras de acero no se distingue mayor variedad de resistencia debido a que en el plazo no se evidenció corrosión en sus piezas.