



*UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ*

*FACULTAD DE INGENIERÍA*

*TESIS DE GRADO*

*PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:  
INGENIERO CIVIL*

*TEMA:*

*ANÁLISIS DE LA CARBONATACIÓN EN EL PUENTE RÍO CAÑA  
UBICADO EN LA PARROQUIA SAN LORENZO DEL CANTÓN MANTA.*

*AUTOR:*

*JOSÉ JHONNY TUAREZ BRAVO*

*TUTOR:*

*ING. FREDDY MENDOZA BRANDS*

*MANTA-ECUADOR*

*2015*

Ing. Freddy Mendoza Brands Docente de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí,  
en calidad de Director de Tesis.

### **CERTIFICO:**

Que la presente Tesis titulada: “Análisis de la Carbonatación en el Puente Río Caña ubicado en la Parroquia San Lorenzo del Cantón Manta”, ha sido exhaustivamente revisada en varias sesiones de trabajo, se encuentra listo para su presentación y apto para su defensa.

Las opiniones y conceptos vertidos en esta Tesis son fruto del trabajo, perseverancia y originalidad de su autor: José Jhonny Tuárez Bravo, siendo de su exclusiva responsabilidad.

Manta, Julio del 2015

.....

Ing. Freddy Mendoza Brands

TUTOR

## **DECLARACIÓN DE AUTORÍA**

La responsabilidad de las opiniones, investigaciones, resultados, conclusiones y recomendaciones presentados en esta Tesis, es exclusividad de su autor.

Manta, Julio del 2015

.....

José Jhonny Tuarez Bravo

**AUTOR**

# **DEDICATORIA**

A Dios Todopoderoso, le dedico este trabajo de tesis, por ser fuente infinita de amor y sabiduría.

A mi Mami Janeth, por brindarme su apoyo incondicional y desinteresado a lo largo de mi vida, brindándome consejos que me servirán para toda la vida.

A mi Mami Dalinda, por ser más que una abuelita, ¡mi segunda Madre! desde el día en que nací, la he visto a mi lado, dándome un amor y cariño especial, siendo para mí un ejemplo de trabajo y honradez.

A mi Papi Wacho, por ser más que un abuelo, ¡ Mi Padre!, dándome ejemplos de cómo ser un hombre de bien, enseñándome que en la vida no todo es dinero y que la mejor herencia es el estudio.

A mi Tío Javico, quien a lo largo de mi vida siempre ha estado allí como un padre, corrigiéndome y brindándome apoyo cuando lo necesito.

A mi Novia Marilú, por convertirse en parte fundamental en mi vida, siendo mi mano derecha, dándome amor y respeto en todo momento, solo puedo resumir lo que siento por usted señorita, ¡Amor y respeto!

A mis hermanas, Martí y Geannelly, por soportar mis bromas y mi forma de ser, ¡siempre las llevo en mi corazón hermanitas!

A mi Sobrinita, Brianna por hacerme reír cuando estoy enojado con sus locuras de niña traviesa.

A mis amigos, gracias por su amistad y apoyo.

***JOSÉ JHONNY TUAREZ BRAVO***

## **AGRADECIMIENTO**

Para la realización de este trabajo de tesis, muchas personas en el transcurso de este largo proceso aportaron con su granito de arena, que al final resulto ser una volqueta llena de arena; por ello, mi gratitud, de manera especial a Dios Creador y Todopoderoso por brindarme la fuerza y la sabiduría para continuar con esta tarea y no apartarme de mi meta.

No puedo dejar de mencionar a mi querida Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, a la facultad de Ingeniería y a la Escuela de Ingeniería Civil; al Ingeniero Freddy Mendoza Brands, Director de mi trabajo de tesis, a la Srta. Thalía Vélez por su gran ayuda y consejos, a las autoridades de MTOP e INOCAR, por brindarme información valiosa para la realización del presente trabajo.

***JOSÉ JHONNY TUAREZ BRAVO***

## **RESUMEN**

Este trabajo investigativo consiste en mostrar la gravedad de la carbonatación del hormigón armado, específicamente en el puente Rio Caña; ya que, en la actualidad ha salido a la luz este tema, que en el pasado era solo un mito. Se planteó como objetivo general, determinar si el hormigón disminuyó su resistencia a causa de este fenómeno, para esto se tomó como punto de partida la recolección de la información sobre la carbonatación. Luego se realizaron varios ensayos, entre ellos el de determinar que existe la carbonatación en el puente; para esto se utilizó una solución con fenolftaleína y se aplicó en distintas partes del puente, donde dio el resultado afirmativo a la patología. Para comprobar la resistencia del hormigón del puente se efectuó un ensayo con el esclerómetro, se lo realizó dando golpeteos en distintas partes del puente y dando resultados que son explicados en el capítulo IV. Se ejecutaron también ensayos para establecer el nivel de alcalinidad y humedad relativa del hormigón en el laboratorio del Centro de Servicios para el Control de Calidad. (CE.SE.C.CA). Se determinó la humedad relativa del aire mediante el método de bulbo seco y bulbo húmedo, dando como resultado la humedad relativa del ambiente. Mediante una inspección visual a todos los elementos de la estructura se pudo comprobar el porcentaje de daño de la estructura. A partir de los resultados obtenidos por los ensayos y análisis, se formularon las conclusiones y recomendaciones.

## SUMMARY

This research project consists in demonstrating the serious issue of the carbonation of concrete, specifically in Rio Caña bridge, since this particular subject recently came to matter whereas in the past it was only a myth. It was set as a general goal to determine if the concrete decreased its strength of because of this phenomenon. As a starting point, the recollection of information regarding the carbonation was taken first, then several tests were performed including determining the carbonation on the bridge. A phenolphthalein solution was used and applied in different parts of the bridge, which led to an affirmative result of pathology. Moreover, to determine the strength of the concrete bridge, a test with sclerometer was conducted by giving poundings in different parts of the bridge and expected results were given which are explained in Chapter IV; then a test of alkalinity of concrete was performed in the laboratory Centro de Servicios para el Control de Calidad. (CE.SE.C.CA). then another test was conducted to determine moisture in the concrete in the laboratory CE.SE.C.CA. The relative humidity was determined by the method of dry bulb and wet bulb giving as a result the relative humidity, then by doing a visual inspection to all elements of the structure, it was able to be determine the percentage of damage of the structure. Since the results that were offered by the tests and analysis, conclusions and recommendations were omitted.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<b>N° Pág.</b>
Introducción.....	1
Justificación.....	2
Antecedentes del problema.....	2
Contextos.....	2
Contexto Macro.....	2
Contexto Meso.....	3
Contexto Micro.....	4
Diseño científico.....	4
Problema científico.....	4
Objeto de la investigación.....	4
Campo de la investigación.....	4
Objetivos.....	5
Objetivo general.....	5
Objetivos Específicos.....	5
Hipótesis.....	5
Variables.....	5
Variable independiente.....	5
Variable dependiente.....	5
Métodos y Materiales.....	5
Técnicas de recolección de información.....	6
Metodología.....	6



Tipos de investigación.....	6
Nivel de la investigación.....	6
Materiales.....	7
Resultados esperados.....	7
<b>1 CAPÍTULO 1 FACTORES QUE PRODUCEN EL DETERIORO EN EL HORMIGÓN ARMADO.</b>	
1.1. La carbonatación.....	9
1.2. Los factores que influyen en la carbonatación.....	10
1.2.1 Dióxido de Carbono.....	10
1.2.2 Humedad.....	12
1.2.3 Aire.....	12
1.2.4 Temperatura.....	13
1.2.4.1 Altas Temperaturas.....	13
1.2.4.2 Bajas Temperaturas.....	13
1.2.4.3 Cemento.....	13
1.2.4.4 Proporción de material cementante.....	14
1.2.4.5 Características del Cemento.....	14
1.2.5 Recubrimientos mínimos.....	14
1.2.6 Economía.....	14
1.2.7 Contaminación.....	14
1.3 Efectos de la carbonatación.....	15
1.3.1 Corrosión del acero de refuerzo.....	15
1.4 Otros factores que desencadenan la corrosión.....	16
1.5 Ambiente urbano.....	16
1.6 Ambiente rural.....	16

1.7	Zona costera.....	17
1.8	Vida útil del hormigón armado.....	18
2	CAPÍTULO 2. INSPECCIÓN FÍSICA DEL PUENTE RIO CAÑA.	
2.1	Ubicación del Puente Rio Caña.....	19
2.2	Puente Rio Caña.....	19
2.3	Materiales utilizados.....	20
2.4	Inspección visual.....	21
2.5	El viento.....	25
2.6	La temperatura.....	29
3	CAPÍTULO 3 ENSAYOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.	
3.1	Ensayo de fenolftaleína.....	35
3.2	Resultado del ensayo con fenolftaleína.....	38
3.3	Ensayo con el esclerómetro.....	39
3.4	Resultados obtenidos del esclerómetro.....	41
3.5	Ensayo para determinar la alcalinidad del hormigón (Carbonato de calcio y pH). .....	53
3.6	Resultado del ensayo de la alcalinidad del hormigón.....	55
3.7	Ensayo para determinar la humedad del hormigón.....	56
3.8	Resultado del ensayo de la humedad del hormigón.....	57
3.9	Determinación de la humedad relativa del aire.....	58
3.10	Resultados de la humedad relativa.....	61
3.11	Resultados en porcentajes de daño del puente.....	62
3.12	Evaluación de la velocidad de carbonatación.....	62
3.13	Análisis de resultados.....	63

3.14 Propuesta de solución.....65

3.15 Conclusiones.....66

3.16 Recomendaciones.....67

Bibliografía

Webgrafía.

Anexos

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>N° Pág.</b>
Tabla 1.1. Componentes de la atmósfera.....	11
Tabla 2.1. Especificaciones de los materiales utilizados.....	20
Tabla 2.2. Severidad y clase de exposición para la categoría C.....	21
Tabla 3.1. Resumen de resultados del esclerómetro.....	41
Tabla 3.2. Costado izquierdo de pasamanos del puente punto 1.....	42
Tabla 3.3. Costado izquierdo de pasamanos del puente punto 2.....	43
Tabla 3.4. Costado derecho de muro del puente punto 1.....	44
Tabla 3.5. Costado derecho de muro del puente punto 2.....	45
Tabla 3.6. Tablero del puente.....	46
Tabla 3.7. Bajo del puente en el muro 1 lado izquierdo.....	47
Tabla 3.8. Bajo del puente en el muro 1 lado derecho.....	48
Tabla 3.9. Bajo del puente en el muro 2 lado derecho.....	49
Tabla 3.10. Bajo del puente en el muro 2 lado derecho.....	50
Tabla 3.11. Costado de pasamanos del puente punto 1.....	51
Tabla 3.12. Costado de pasamanos del puente punto 2.....	52
Tabla 3.13. Método para determinar la alcalinidad.....	54
Tabla 3.14. Resultado del ensayo de alcalinidad.....	55
Tabla 3.15. Método para determinar la humedad.....	56
Tabla 3.16. Resultado del ensayo para determinar la humedad.....	57
Tabla 3.17. Temperaturas del bulbo seco durante el mes de octubre.....	58
Tabla 3.18. Temperaturas del bulbo húmedo durante el mes de octubre.....	58

Tabla 3.19. Promedio de temperaturas del bulbo seco y húmedo durante el mes de octubre.....	58
Tabla 3.20. Temperaturas del bulbo seco durante el mes de noviembre.....	59
Tabla 3.21. Temperaturas del bulbo húmedo durante el mes de noviembre.....	59
Tabla 3.22. Promedio de temperaturas del bulbo húmedo durante el mes de noviembre.....	59
Tabla 3.23. Temperaturas del bulbo seco durante el mes de diciembre.....	59
Tabla 3.24. Promedio de temperaturas del bulbo húmedo durante el mes de noviembre.....	59
Tabla N°28 Promedio de temperaturas del bulbo húmedo durante el Mes de diciembre.....	60
Tabla N°29: Temperaturas del bulbo seco durante el mes de enero.....	60
Tabla N°30 Promedio de temperaturas del bulbo húmedo durante el mes de enero.....	60
Tabla N°31 Promedio de temperaturas del bulbo húmedo durante el Mes de enero.....	60
Tabla N°32 Temperaturas del bulbo seco durante el mes de febrero.....	60
Tabla N°33 Promedio de temperaturas del bulbo húmedo durante el mes de febrero.....	61
Tabla N°34 Promedio de temperaturas del bulbo húmedo durante el mes de febrero.....	61
Tabla N°35: Resultado del ensayo para determinar la humedad relativa del Ambiente.....	61
Tabla N°36: Resultados de porcentaje de daño del puente.....	62

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>N° Pág.</b>
Figura 1.1. Proceso de carbonatación.....	10
Figura 1.2. Fisuras por retracción plástica.....	13
Figura 2.1. Ubicación del Puente.....	19
Figura 2.2. Vista superior del Puente.....	19
Figura 2.3. Puente Rio Caña.....	20
Figura 2.4. Corrosión del acero de refuerzo.....	22
Figura 2.5. Desprendimiento del hormigón.....	23
Figura 2.6. Parte posterior del pasamano.....	23
Figura 2.7. Desprendimientos del hormigón y corrosión en el acero de refuerzo.....	24
Figura 2.8. Erosión en el estribo derecho.....	24
Figura 2.9. Capa de material orgánico y erosión visible en el estribo izquierdo.....	24
Figura 2.10. Visibilidad de acero de refuerzo y corrosión.....	25
Figura 2.11. Perceptibilidad y corrosión en el acero de refuerzo del tablero.....	25
Figura 2.12. Viento marino superficial ASCAT 27.77 KM, el 06/10/2014.....	26
Figura 2.13. Viento marino superficial ASCAT 27.77 KM, 03/11/2014.....	26
Figura 2.14. Viento marino superficial ASCAT 27.77 KM, 01/12/2014.....	27
Figura 2.15. Viento marino superficial ASCAT 27.77 KM, 05/01/2015.....	27
Figura 2.16. Viento marino superficial ASCAT 27.77 KM, 02/02/2015.....	28
Figura 2.17. Temperaturas Superficiales del Aire del mes de febrero.....	29
Figura 2.18. Temperaturas Superficiales del Aire del mes de Marzo.....	29
Figura 2.19. Temperaturas Superficiales del Aire del mes de Abril.....	30
Figura 2.20. Temperaturas Superficiales del Aire del mes de Mayo.....	30

Figura 2.21. Temperaturas Superficiales del Aire del mes de Junio.....	31
Figura 2.22. Temperaturas Superficiales del Aire del mes de Julio.....	31
Figura 2.23. Temperaturas Superficiales del Aire del mes de Agosto.....	32
Figura 2.24. Temperaturas Superficiales del Aire del mes de Septiembre.....	32
Figura 2.25. Temperaturas Superficiales del Aire del mes de Octubre.....	33
Figura 2.26. Temperaturas Superficiales del Aire del mes de Noviembre.....	33
Figura 2.27. Temperaturas Superficiales del Aire del mes de Diciembre.....	34
Figura 3.1. Pesaje de la cantidad de fenolftaleína.....	35
Figura 3.2. Mezcla del alcohol con el agua. ....	36
Figura 3.3. Disolución de la Fenolftaleína con el alcohol y el agua.....	36
Figura 3.4. Materiales para la prueba.....	37
Figura3.5.Roción de la fenolftaleína en el punto a observar.....	37
Figura 3.6. Resultado.....	38
Figura 3.7. Esclerómetro.....	39
Figura 3.8. Golpes del esclerómetro.....	40
Figura 3.9. Extracción de muestras del puente.....	53
Figura 3.10. Pulverización de la muestra.....	53
Figura 3.11. Trituración de las muestras.....	56

## ÍNDICE DE ECUACIONES

	<b>Nº Pág.</b>
Ecuación 1.1: La velocidad de la carbonatación.....	9
Ecuación 3.1: Ecuación para determinar la velocidad de la carbonatación según la Instrucción Española del Hormigón Estructural (EHE).....	62



## INTRODUCCIÓN

En el hormigón existen muchas patologías, una de ellas es la carbonatación, podríamos decir que es como el cáncer del hormigón atacando al acero de refuerzo. En el hormigón común, no acarrea mayores consecuencias, pero en el hormigón armado es un gran riesgo; ya que, el hormigón pierde la capacidad de proteger el acero por la disminución del potencial de Hidrógeno (pH) la capa de óxido protectora y pasivadora deja de ser estable y empieza la corrosión del acero de refuerzo, reduciendo su capacidad resistente y adherente con el hormigón.

Esto puede causar que la integridad de la estructura pueda verse afectada. Sabiendo la importancia de la carbonatación en el hormigón armado, este trabajo de tesis tiene como tema **“Análisis de la carbonatación en el puente Rio Caña, ubicado en la Parroquia San Lorenzo del Cantón Manta”**.

Al transitar por el puente se puede notar a simple vista el deterioro del hormigón, producto de la carbonatación. Esta es la razón que nos lleva a estudiar las causas por las que se produce este fenómeno en este puente, donde transitan vehículos tanto pesados como livianos y el tránsito peatonal, de ahí proviene la importancia de este estudio.

Ahora, lo que no se sabe es el grado de carbonatación, para eso se opta por hacer pruebas in situ y en laboratorio con el fin de tener datos reales del estado corrosivo de este puente, se utiliza productos químicos como la fenolftaleína para medir el pH del hormigón.

En equipos de laboratorio, se realizan ensayos para medir la carbonatación de la estructura. Además una máquina de ensayos de resistencia a compresión in situ (Esclerómetro) para comprobar la resistencia del hormigón afectado por la patología. Otro equipo a utilizar es un termómetro para determinar la humedad relativa (HR) del ambiente. Para evaluar la velocidad de la carbonatación se utiliza la ecuación de la Instrucción del Hormigón Estructural (EHE). El factor económico, es otro aspecto fundamental para que se pueda producir este fenómeno, porque al utilizar materiales de baja calidad, además de una pobre dosificación dan paso a la producción de hormigones de baja resistencia, con una capacidad protectora para el acero de refuerzo muy baja, que disminuye significativamente con el pasar del tiempo y los constantes cambios de temperatura.

## **JUSTIFICACIÓN**

Al ver el grado de deterioro de las estructuras de hormigón armado, es imperativa la necesidad de estudiar qué tipo de fenómeno causa el efecto de corrosión en el acero de refuerzo del hormigón armado, por lo que se procede con el estudio de la carbonatación como base de este proyecto.

El propósito de este proyecto de investigación es dar a conocer las causas y los efectos de la carbonatación en el hormigón del Puente Rio Caña, mediante un estudio que comprende de análisis físicos y químicos, con el fin obtener información necesaria sobre este fenómeno.

Es de gran importancia esta investigación, porque se centrará en la carbonatación en el Puente Rio Caña e implícitamente la carbonatación en general, ya que el principio de corrosión es el mismo en las estructuras de hormigón armado. Esperamos que este trabajo estimule futuros estudios referentes al tema de la carbonatación y aportar a la sociedad en general, con un trabajo de investigación que sirva como elemento de consulta para los estudiantes y profesores de las carreras de Ing. Civil, Arquitectura y afines a la construcción, a conocer y prepararse más sobre esta patología del hormigón.

## **ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.**

### **CONTEXTOS**

#### **CONTEXTO MACRO**

Desde hace mucho tiempo la carbonatación ya no es un mito, es una realidad en el mundo entero. Realizando una investigación referente al tema se encontró la siguiente tesis doctoral, “Carbonatación del Hormigón: Combinación de CO<sub>2</sub> con las Fases Hidratadas del cemento y frente de cambio de pH”, de la autora: Isabel Galán García García (2011).<sup>1</sup> Explica que algunas de las relaciones existentes entre la disminución del pH y la combinación de CO<sub>2</sub>, no siempre en mismas cantidades de CO<sub>2</sub>, inciden en la variación del pH del hormigón. Absorbido durante un proceso de carbonatación, pueden corresponder a diferentes valores de pH, en función de la humedad relativa (HR), el tiempo y la concentración de CO<sub>2</sub> ambiental. Además, cuanto mayor sea el potencial de absorción de CO<sub>2</sub> del hormigón, más lento avanzará el frente de cambio de pH.

---

<sup>1</sup> Galán García I. (2011). *carbonatación del hormigón: combinación de co<sub>2</sub> con las fases hidratadas del cemento y frente de cambio de ph*. Madrid.

## CONTEXTO MESO

Continuando con la investigación encontramos un trabajo de investigación en Chile que tiene como tema: “La Carbonatación en Edificios de Santiago”, Autores: Hugo Barrera v., Ing. Civil, Horacio Pérez G. Ing. civil, Román Sandoval P. Ing. Civil. Barrera. Pérez. Sandoval, (2003) <sup>2</sup> Los autores de este trabajo publican en su resumen, que un estudio meteorológico de diversos porcentajes de humedad relativa, dentro de los umbrales reconocidos como peligrosos, a esto se le suma la presencia del CO<sub>2</sub>, permite pronosticar que la carbonatación podría, a largo plazo, llegar a constituirse en un peligro real para los edificios de Santiago.

Se proponen algunas medidas para mitigar el problema en los edificios existentes y para controlarlo en las nuevas construcciones. También se tuvo la oportunidad de consultar el tema: “Acción del CO<sub>2</sub> sobre un cemento portland I. Influencia sobre las características químicas y fisicomecánicas”, de los Autores: Demetrio Caspar-Tebar; Miguel Muñoz-Plaza Vol. 27, No 165 Caspar-Tebar. Muñoz-Plaza. (1977)<sup>3</sup> Los autores de esta investigación llegan a la conclusión que la acción del CO<sub>2</sub> sobre los compuestos hidratados del cemento portland produce una modificación de la estructura mineralógica y de la composición química de dichos compuestos, incrementándose los contenidos de residuo insoluble en HCl (1:5) y disminuyendo los de SiO<sub>2</sub>, procedentes de los silicatos de calcio hidratados solubles en dicho ácido, a la vez que fijan CO<sub>2</sub> formando diversos compuestos carbonatados.

En la presente investigación también consultamos un artículo titulado “La carbonatación, enemigo olvidado del concreto” este artículo se publicó en Concrete Repair Digest y se reproduce con la autorización de The Aberdeen Group. Repair Digest, (2000)<sup>4</sup> Donde expresa: la carbonatación puede inclusive causar problemas de corrosión aun en concreto de alta calidad. Un recubrimiento bajo del concreto y defectos de superficie tales como grietas y pequeños hoyos proporcionan una ruta directa al acero de refuerzo. Un artículo muy interesante que tiene gran influencia en el tema de la carbonatación es la “influencia de la agresividad corrosiva en el deterioro de cuatro estructuras en la ciudad de la

---

<sup>2</sup> Barrera H., Pérez G., y Sandoval P. (2003). *la carbonatación en edificios de Santiago. Santiago.*

<sup>3</sup> Demetrio, Caspar, Y Tébar, Muñoz M. (1977). *acción del co2 sobre un cemento portland i: influencia sobre las características químicas y fisicomecánicas. vol. 27, no 165.*

<sup>4</sup> Montani R. (2000). *Director de producto de Ingeniería en Sika corp, lyndhurst, n.j: la carbonatación, enemigo olvidado del concreto. este artículo se publicó en concrete repair digest y se reproduce con la autorización de The Aberdeen group. revista imcyc*

Habana”, autor: msc. Ing. Abel Castañeda Valdés. Castañeda (2014)<sup>5</sup> Se enfocaron un Edificio de Malecón y F, Estudios realizados a los 5 y 32 años de su construcción llegaron a la conclusión de que la agresividad corrosiva existente en esa zona es alta, llegando a ser extrema durante los meses invernales siendo consecuencia de su cercanía al mar. Esto ha traído como resultado, además de la falta de mantenimiento y reparación, una fuerte penetración de los agentes agresivos como los iones cloruro, a través de los poros del hormigón que llegan a los aceros de refuerzo provocando la corrosión.

### **CONTEXTO MICRO**

Dentro de la investigación se toma como referencia un trabajo de tesis de estudiantes de la ESPOL con el tema, “Corrosión del acero en elementos de hormigón armado: vigas y columnas”, autores: Josué Paredes, Juan Prieto, Ing. Eduardo Santos. Paredes, Prieto y Santos (2013)<sup>6</sup> Ellos expresan que, en ambientes con elevadas concentración de CO<sub>2</sub> en la que la humedad sea baja, se libera en el acero un proceso de corrosión que afecta homogéneamente su sección. En ambientes salinos, por otro lado, ante relaciones agua/cemento bajas y recubrimientos mínimos, la acción de los iones de cloruro pueden afectar al acero , principalmente de manera localizada, ocasionándose una corrosión de tipo picadura, que afecta heterogéneamente la sección y favorece la concentración de esfuerzos triaxiales en las armaduras.

### **DISEÑO CIENTÍFICO**

#### **PROBLEMA CIENTÍFICO**

El efecto de la carbonatación en la estructura del puente “Rio Caña”.

#### **OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN**

La carbonatación en la estructura de puente “Rio Caña”.

#### **CAMPO DE LA INVESTIGACIÓN**

Ingeniería.

---

<sup>5</sup> Castañeda, A. (2014) *influencia de la agresividad corrosiva en el deterioro de cuatro estructuras. La Habana.*

<sup>6</sup> Josué Paredes J., Prieto J. y Santos E. (2013). *Corrosión del acero en elementos de hormigón armado: vigas y columnas. Guayaquil.*

## **OBJETIVOS.**

### **OBJETIVO GENERAL.**

Analizar la carbonatación en el puente Río Caña ubicado en la parroquia San Lorenzo del cantón Manta.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Realizar la prueba cualitativa de la fenolftaleína para detectar la carbonatación en el puente.
- Ejecutar ensayos con el esclerómetro para determinar la resistencia del hormigón en la estructura del puente.
- Establecer las condiciones actuales de carbonatación a través de inspección in situ.
- Determinar parámetros físicos y químicos (carbonato de calcio, pH y humedad en el hormigón además HR del aire) que influyen en la carbonatación.

### **HIPÓTESIS.**

La carbonatación incide en la disminución de la resistencia en el hormigón armado del puente “Río Caña”.

### **VARIABLES.**

#### **VARIABLE INDEPENDIENTE.**

La Carbonatación en el puente Río Caña.

#### **VARIABLE DEPENDIENTE.**

Disminución de la resistencia en el hormigón armado del puente Río Caña de la parroquia San Lorenzo.

### **MÉTODOS Y MATERIALES.**

En concordancia con el problema de investigación y por las características del trabajo se aplicará dos métodos que son:

**Empírico:** se utiliza este método porque mediante los hechos se pueden establecer las condiciones actuales de carbonatación a través de inspección in situ, consiguiendo captar resultados para aportar con esta investigación y ratificar o desmentir la hipótesis y poder hacer un análisis físico del estado de la estructura.

**Teórico:** con este método se tiene una concordancia entre la teoría y la experiencia que se necesita para este estudio y poder plantear una hipótesis; es muy importante para lograr explicar el problema de la carbonatación en el puente Río Caña y sus posibles soluciones.

## **TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.**

**Observación:** Mediante esta técnica se observa de manera directa el estado del objeto de este estudio y comparar la teoría con la práctica.

**Recopilación documental:** Esta técnica tiene como finalidad obtener datos e información a partir de fuentes documentales con el fin de utilizarlos dentro de este estudio.

**Toma de muestra:** Esta técnica mediante la toma de muestra para su estudio, esclarece de una manera más precisa el deterioro de la estructura.

## **METODOLOGÍA.**

### **TIPOS DE INVESTIGACIÓN.**

Esta investigación de Tesis de Grado se realizó en la Parroquia Río Caña del Cantón Manta, y se aplicó una investigación de campo; por lo que, se efectuó varios viajes al lugar en estudio para tener una perspectiva general del puente, se apoyó además en la investigación Web Gráfica, para obtener más datos informativos de internet, se requirió también de una investigación documental; para obtener información de libros, revistas y artículos científicos, se requirió además una investigación fundamental, puesto que, se realizó ensayos en laboratorios.

### **NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN.**

Esta investigación comprende los siguientes niveles de investigación: explicativo y descriptivo.

**Descriptivo:** El mismo que permitió investigar la carbonatación y el deterioro en el puente “Río Caña” y conocer las principales causas y efectos de este fenómeno estructural y la necesidad de aplicar reparaciones en diferentes partes del puente que se ven con un grado de afectación mayor.

Es una investigación cuasi experimental ya que se determinarán las causas y consecuencias de un problema que se produce de manera natural como es la Carbonatación y disminución de la resistencia en el hormigón armado del puente Río Caña de la parroquia San Lorenzo.

**Explicativo:** Medirá el grado de relación entre variables las cuales permitirán definir el estado del puente, en este caso la carbonatación y su impacto en la disminución de la resistencia en el hormigón armado, determinando el nivel de la primera con la calidad de la segunda.

## **MATERIALES.**

Para el desarrollo de la tesis se utilizan:

- Transporte de equipos (camioneta).
- Computadora portátil.
- Papel para imprimir.
- Solución de fenolftaleína.
- Esclerómetro Schmidt.
- Termómetros.

## **RESULTADOS ESPERADOS.**

Se espera comprobar mediante los ensayos en el laboratorio in situ y las observaciones visuales, la hipótesis, los objetivos generales y específicos planteados en esta investigación, y recabar información sobre el problema que afecta la vida útil de la estructura del puente Rio Caña, y brindarle recomendaciones que ayuden al tratamiento del problema y tomar medidas oportunas para este y futuros estudios relacionados con el tema; además tener un impacto positivo en la sociedad en general y específicamente en los diferentes niveles estudiantiles y profesionales sobre esta investigación, dando a conocer la patología existente en el hormigón armado del puente Rio Caña, y en general a todas las estructuras de hormigón armado. Los ensayos y análisis de este trabajo investigativo, se realizan de una manera metódica para que sirvan como base a futuros estudios sobre esta misma patología. Se desea despertar el sentido investigador en las personas que lean este trabajo de investigación.

## **ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO.**

El presente proyecto consta de tres capítulos entre los cuales tenemos:

1. FACTORES QUE PRODUCEN EL DETERIORO EN EL ARMADO DEL HORMIGÓN ARMADO.
2. INSPECCIÓN FÍSICA DEL PUENTE RIO CAÑA.
3. PROCEDIMIENTOS, ENSAYOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

En el capítulo 1, se puede encontrar la teoría referente a la carbonatación del hormigón armado, los factores tanto atmosféricos como del medio ambiente que inducen al deterioro de la vida útil de las estructuras.

Continuando, en el capítulo 2 se realiza una inspección detallada del puente, donde se localizan las zonas con mayor deterioro de la estructura del puente.

Y por último en el capítulo 3 se encuentran los procedimientos y los ensayos realizados con la prueba cualitativa de la fenolftaleína, el esclerómetro, el pH, la basicidad o alcalinidad y humedad en el hormigón, como también la humedad relativa del ambiente, el porcentaje de daño del puente y la evaluación de la velocidad de la carbonatación en el puente, además del análisis de los resultados obtenidos en este proyecto.

Y en la parte final se encuentran las conclusiones y la correspondiente recomendación de la carbonatación en el puente Rio Caña.



## **CAPÍTULO 1.**

### **FACTORES QUE PRODUCEN EL DETERIORO EN EL HORMIGÓN ARMADO.**

#### **1.1 LA CARBONATACIÓN.**

Es sin dudas una enfermedad grave en el hormigón armado a causa del CO<sub>2</sub>, que se encuentra en la atmósfera de la tierra, este al tener contacto con la fase acuosa del hormigón en la cual se encuentra, una así llamada "reserva alcalina" con un PH que oscila entre 12 y 14. Se produce una disminución considerable de esta reserva alcalina, pero cuando el PH protector del acero es próximo a 8-9 o menos, es cuando queda desprotegido al acero de refuerzo y permitiendo su pronta corrosión causando serios problemas a la estructura hasta llegar al colapso.

Según, Santiago (2010), el elevado contenido de pH se debe a la presencia de hidróxido de calcio. Este se muestra cuando se hidrata el cemento portland, en una medida aproximada del 25 % de la masa del cemento. Si se encuentra saturado el hormigón de hidróxido de calcio, el pH es alto. Pero se puede elevar si hay una aparición de hidróxido de potasio y calcio, este pH sube brindando mayor protección al acero de refuerzo.<sup>7</sup>

La velocidad de la carbonatación tiene una evolución pausada que se somete a la siguiente ecuación:

$$x=k\sqrt{t} \qquad \text{ec.1.1}$$

Dónde:

X: es la distancia carbonatada.

T: es el tiempo que tiene construida la estructura.

K: es una constante que depende de algunos factores como: la calidad y resistencia del hormigón, y de la humedad en el ambiente.

Montani (2000), se plantea la siguiente pregunta, porque es un problema la pérdida de pH y se responde asegurando que el concreto con su ambiente alcalino protege al acero de refuerzo, expresa que esta protección se da por la capa de óxido pasivo que se la ubica sobre exterior del acero siempre y cuando el ambiente sea alcalino; es decir, tenga un pH alto, ahora esta capa, es la misma que atacan los cloruros una vez que alcanzan al acero de refuerzo.<sup>8</sup> Según Olaya Núñez, W. B., & Peña Estrella, J. (2012). La carbonatación

---

<sup>7</sup> Santiago Hurtado G. (2010). *Determinación del nivel de corrosión y de perfil de carbonatación en vigas de concreto reforzado con 3 años de exposición al medio ambiente.* Xalapa: México.

<sup>8</sup> Montani R. (2000). *Director de producto de Ingeniería en Sika corp, lyndhurst, n.j: la carbonatación, enemigo olvidado del concreto. este artículo se publicó en concrete repair digest y se reproduce con la autorización de The Aberdeen group. revista imcyc.*

ocurre al existir una reacción entre el CO<sub>2</sub> el aire con el hormigón como se observa a continuación:  $\text{CO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ .<sup>9</sup>

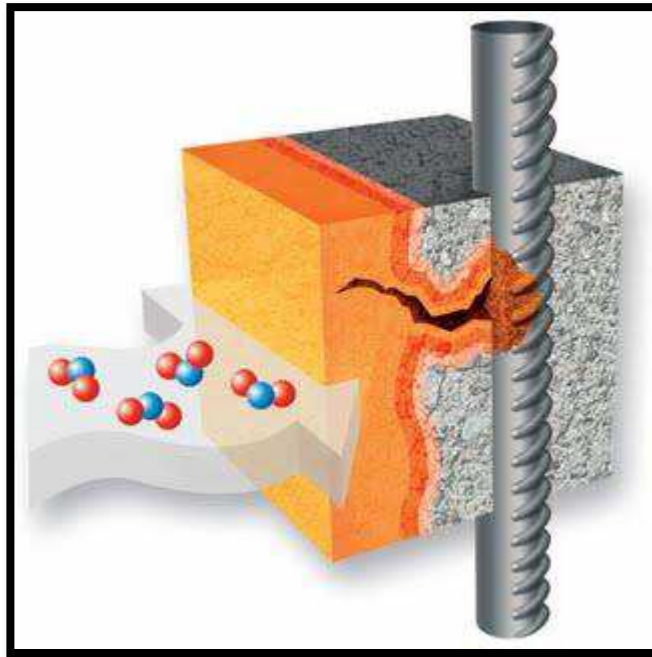


Figura 1.1. Proceso de carbonatación.

Fuente: <http://civilgeeks.com/wp-content/uploads/2011/10/11.jpg>

## 1.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA CARBONATACIÓN.

Existen muchas causas para que se produzca la carbonatación en un hormigón armado, unas con mayor y otras con menor incidencia, que al final la suma de estos factores tienen efectos desastrosos en la estructura, entre las cuales tenemos:

### 1.2.1. DIÓXIDO DE CARBONO.

Conocido también como anhídrido carbónico, el dióxido de carbono es la mezcla del oxígeno y el carbono, Se genera por la combustión principalmente de combustibles fósiles, la que excesiva de oxígeno, o la respiración de seres vivos.

---

<sup>9</sup> Olaya Núñez, W. B., & Peña Estrella, J. (2012) *Implementación de un equipo de campo para análisis cinético y electroquímico en hormigón armado*. Guayaquil

Tabla 1.1. Componentes de la atmósfera.

Gases Permanentes			Gases Variables			
Gas	Símbolo	Porcentaje (en volumen)	Gas y partículas	Símbolo	Porcentaje (en volumen)	ppm
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	78.08	Vapor de agua	H <sub>2</sub> O	0 a 4	
Oxígeno	O <sub>2</sub>	20.95	Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	0.037	368
Argón	Ar	0.93	Metano	CH <sub>4</sub>	0.00017	1.7
Neón	Ne	0.0018	Oxido de Nitrógeno	N <sub>2</sub> O	0.00003	0.3
Helio	He	0.0005	Ozono	O <sub>3</sub>	0.000004	0.04
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	0.00006	Partículas		0.000001	0.01-0.15
Xenon	Xe	0.000009	CFC <sub>s</sub>		0.00000002	0.0002

Fuente: [http://corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/sites/corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/files/images/unidad6/Composici%3%b3n%20de%20la%20atmosfera\\_0.jpg](http://corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/sites/corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/files/images/unidad6/Composici%3%b3n%20de%20la%20atmosfera_0.jpg)

El dióxido de carbono no tiene olor y tiene el mismo peso que el aire, no representa peligro para los seres vivos porque no es tóxico, pero cuando hay una concentración excesiva de CO<sub>2</sub> puede ocasionar asfixia en las personas. Al hacer falta el oxígeno. Su ingreso al hormigón es por medio de los poros. Por ser un gas puede transportarse sobre cualquier superficie.

Moreno (2010), dice que, ante la existencia de CO<sub>2</sub> en la atmósfera terrestre, este accede entre todas las pequeñas porosidades que contengan el hormigón y progresar de cara al interior de la estructura reduciendo significativamente el pH del hormigón al reaccionar directamente con el hidróxido de calcio con el fin de originar carbonato de calcio en el hormigón.<sup>10</sup>

La intensidad de los daños ocasionados por la carbonatación, en el hormigón disminuye con el tiempo, obviamente el CO<sub>2</sub> habrá de adentrarse a mayores distancias en el hormigón con referencia al tiempo. La prontitud de carbonato de calcio y posiblemente la adicional hidratación del cemento, además se cree que contribuyen a la celeridad de ingreso.

Muchos factores afectan a la rapidez de carbonatación, Por lo normal, el hormigón de baja permeabilidad es más duradero. La carbonatación tiende a resultar de manera

<sup>10</sup> Moreno Briones S. (2010). *Determinación de la profundidad de carbonatación y penetración de cloruros mediante experimentación empleando: Procesos de difusión térmica en varios diseños de hormigón. Guayaquil.*

acelerada en altos valores de humedad relativa, poseer los valores más altos de humedad deja que se disuelva fácilmente el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , restringe en visible intensidad el tránsito del  $\text{CO}_2$

### **1.2.2. HUMEDAD.**

La humedad tiene una gran responsabilidad para que se produzca la carbonatación, y a paso seguido la corrosión del acero de refuerzo; con solo presentar una pequeña cantidad de humedad en los poros del hormigón, aunque la velocidad de expansión del dióxido de carbono en el agua es más pausado que en el aire.

Barrera., Pérez., Sandoval., (2003), explica que cuando existe una humedad al exterior del hormigón constante, se puede establecer o determinar un equilibrio entre la humedad relativa en el ambiente y la humedad interior del hormigón.<sup>11</sup> Olaya (2012) dice, que el hormigón es una material que contiene fácilmente la humedad, pero en otro sentido seca a paso lento.<sup>12</sup>

Chávez., Anquen., (2011) explica, ha sido lo más frecuente que se pueda descubrir en esta parte de la región, sin ningún problema ha sido esta la causa que produce daños debido a la existencia de la humedad ambiental.<sup>13</sup> Esta particularidad se podría definir como la presencia no deseada de agua en estado fluido en un preciso ciclo de tiempo, en un elemento estructural. Se presenta en la superficie o la parte interna de la estructura.<sup>14</sup>

### **1.2.3. AIRE.**

El aire, es la causa más importante para que se produzca la carbonatación, por el motivo que se encuentra de manera espontánea el  $\text{CO}_2$  Atmosférico, sumado a esto la presencia de combustibles fósiles hacen un conglomerado destructivo para el hormigón armado. Serrano., Silva., (2010) comenta que en el hormigón armado se encuentra un estimado de hasta el 5% de aire; en unas obras resulta beneficioso mientras que en otras indeseables, en cualquiera de los casos reduce la resistencia mecánica del concreto.<sup>15</sup>

---

<sup>11</sup> Barrera H. y Pérez G., Sandoval P. (2003). *la carbonatación en edificios de Santiago. Santiago.*

<sup>12</sup> Olaya W. (2012). *Implementación de un equipo de campo para análisis cinético y electroquímico en hormigón armado. Guayaquil*

<sup>13</sup> Chávez A. y Unquen A. (2011). *método de evaluación de patologías en edificaciones de hormigón armado. Punta arenas.*

<sup>14</sup> Chávez A. y Unquen A. (2011). *método de evaluación de patologías en edificaciones de hormigón armado. Punta arenas*

<sup>15</sup> Serrano I. y Moreno E. (2006). *Películas barreras: una opción contra la carbonatación del concreto reforzado. México.*

#### **1.2.4. TEMPERATURA.**

La temperatura es otro factor predominante en el envejecimiento de las estructuras de hormigón. Desde diferentes extremos pueden afectar de gran manera las:

##### **1.2.4.1. ALTAS TEMPERATURAS.**

Las altas temperaturas, ayudan a que se expandan las moléculas aportando a movimiento de sustancias. Chávez., Anquen., (2011) dice que: “las elevadas temperaturas pueden provocar fisuras por retracción plástica, esta se presenta en las primeras horas de colocación del hormigón. Esto se produce por el secado excesivo del agua contenida en el hormigón”.<sup>16</sup>



Figura 1.2. Fisuras por retracción plástica

Fuente: <http://blogargos.smdigitaltest.com/wp-content/uploads/2012/03/argosc2.jpg>

##### **1.2.4.2. BAJAS TEMPERATURAS.**

Dan presencia de una condensación, que posteriormente puede producir un aumento en el nivel de humedad en el hormigón. Chávez., Anquen., (2011) expresa que las bajas temperaturas dan lugar a agrietamientos en la estructura. Además dan una recomendación muy importante, que al momento de quitar el encofrado se lo debe retirar lentamente para no permitir un choque de temperatura en el hormigón, y así tener fallas posteriores en las fluctuaciones de temperatura<sup>17</sup>.

##### **1.2.4.3. CEMENTO.**

El cemento, es un factor muy importante y exclusivo para que se produzca la carbonatación y posteriormente la corrosión del acero de refuerzo por razones fundamentales, entre las cuales tenemos:

---

<sup>16</sup> Chávez A. y Unquen A. (2011). *método de evaluación de patologías en edificaciones de hormigón armado*. Punta arenas.

<sup>17</sup> Chávez A. y Unquen A. (2011). *método de evaluación de patologías en edificaciones de hormigón armado*. Punta arenas.

#### **1.2.4.4. PROPORCIÓN DE MATERIAL CEMENTANTE.**

Ente más alta sea la relación agua/cemento, se tiene como producto un hormigón con mayor trabajabilidad, pero menor resistencia, además con un aumento en su porosidad, lo que permite una mayor infiltración de agentes nocivos para el acero de refuerzo.

#### **1.2.4.5. CARACTERÍSTICAS DEL CEMENTO.**

Según el medio en que se construye se utiliza cementos de características distintas, con alcalinidad variable según el tipo de cemento.

#### **1.2.5. RECUBRIMIENTOS MÍNIMOS.**

La carbonatación de produce desde el primer momento en la parte exterior del hormigón, este fenómeno se produce de afuera para adentro, por esta razón al tener recubrimientos mínimos en las estructuras en especial la sometidas a la agresividad ambiental, es como dar carta blanca a la carbonatación, por la poca protección que se le da al acero.

Montani., (2000) explica que los bordes son evidentes por su sospecha de que se comience por este punto la carbonatación, si no se tuviese un recubrimiento adecuado en los bordes esto desencadenaría un corrosión en muy pocos años.<sup>18</sup>

#### **1.2.6. ECONOMÍA.**

En construcción se busca emplear el mayor rendimiento a los materiales y recurso humano, Con el afán de rendimiento se recurre constantemente a la reutilización de equipo y disminución de materiales destinado para la construcción, lo que hace que las estructuras tengan una mala dosificación y fallas en el acabado, entre las fallas podemos citar por ejemplo: las ratoneras. Haciéndose visible a simple vista la porosidad del hormigón lo cual contribuye de manera segura de que con el pasar de los días, meses o años. Dependiendo también del lugar donde este la construcción, que se produzca la carbonatación.

#### **1.2.7. CONTAMINACIÓN.**

En lugares con una gran contaminación en el ambiente y constantes lluvias, el hormigón puede llegar a tener fácilmente valores menores a 7, en algunas partes del mundo se produce un fenómeno conocido como lluvia ácida, tiene el mismo poder destructivo o peor que la misma carbonatación.

---

<sup>18</sup> Montani R. (2000). Director de producto de Ingeniería en Sika corp, lyndhurst, n.j: la carbonatación, enemigo olvidado del concreto. este artículo se publicó en concrete repair digest y se reproduce con la autorización de The Aberdeen group. revista imcyc.

### **1.3. EFECTOS DE LA CARBONATACIÓN.**

Existen muchos efectos procedentes de la carbonatación, uno de ellos es la disminución en la resistencia del hormigón, este al perder resistencia con la que se diseñó, pierde su capacidad de soportar las cargas y con esto se convierte en un peligro para la vida de quienes convergen cerca de él; sumado a esto, la corrosión del acero, es el crecimiento en el volumen del hierro llegando a reventarse, haciendo vulnerable a toda la estructura.

#### **1.3.1. CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO.**

El ataque del oxígeno al acero de refuerzo produce la corrosión, como consecuencia de la repulsión entre un metal y el medio en el que encuentra. El tipo de corrosión más habitual es la electroquímica, la cual se presenta cuando empieza a condensarse el vapor del agua que se encuentra en el aire. También existe otro tipo de corrosión la que se produce a altas temperaturas.

Paredes., Prieto., Santos., (2013) explican que los iones de cloruro encontrados en el ambiente penetran en el hormigón, siendo causales de la corrosión en el acero. Además la presencia de cloruro puede ser derivada de los componentes del cemento, los agregados o los aditivos además del ambiente.<sup>19</sup>

Andrade (1992) expresa que, Cuando la corrosión se encuentra presente, la variable básica que permite la existencia de elevadas humedades del ambiente o agua (bajantes, desagües, filtraciones, etc.).<sup>20</sup> Cuando el componente no se va a reemplazar es esencial suprimir radicalmente el camino de humedad a la armadura, lo que desde otro punto de vista resulta verdaderamente difícil sabiendo que el hormigón actúa de esponja, que no se seca fácilmente y es complejo de impermeabilizar por las ciertas presiones de vapor que se da internamente en las variaciones de temperatura.

Según Gonzales (2010) dice, que existen varios tipos de corrosión entre los cuales son: Corrosión bimetalica: Básicamente esta es cuando dos metales de distintas características, expuestos a situaciones corrosivas o atmosféricas húmedas; Corrosión uniforme: Cuando la corrosión tiene igual magnitud por toda el área del acero; Corrosión localizada: Esta corrosión afecta a una determinada parte del área del acero.<sup>21</sup>

---

<sup>19</sup> Josué Paredes J., Prieto J. y Santos E. (2013). *Corrosión del acero en elementos de hormigón armado: vigas y columnas*. Guayaquil.

<sup>20</sup> Andrade M. (1992). *Corrosión de armaduras y su inspección en hormigones de cemento aluminoso*. España.

<sup>21</sup> González J. (2010). *Protección frente a la corrosión metálica con recubrimientos poliméricos: estudio electroquímico y microelectroquímico*

Corrosión por picaduras: Este tipo de corrosión se presenta en forma de picaduras muy pequeñas. Y son de mucho riesgo porque al ser muy pequeñas son difíciles de determinar; Corrosión por grietas y hendiduras: Se presentan generalmente en uniones; Corrosión – erosión: Se entiende como el aumento de la velocidad del deterioro del acero.

#### **1.4. OTROS FACTORES QUE DESENCADENAN LA CORROSIÓN.**

Pérez., (2010) explica que otro factor que influye en gran medida a la corrosión son las fisuras, pero la infiltración del agua y los agentes agresivos a través de estas fisuras hasta alcanzar la armadura provocan la corrosión.<sup>22</sup>

#### **1.5. AMBIENTE URBANO.**

En las ciudades actualmente se encuentra mucha contaminación, lo cual incrementa el dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>) y el óxido de nitrógeno (NO), dos compuestos altamente corrosivos. Sin dudas, la contaminación no solo afecta al ser humano, sino también al hormigón simple y armado, pero en mayor impacto al hormigón armado.

En la actualidad las ciudades industrializadas, cuentan con un alto grado de contaminantes ambientales, lo que puede provocar un fenómeno llamado "lluvia ácida", afectando de manera directa al hormigón, provocándole erosión o desprendimiento del recubrimiento que protege al acero de refuerzo.

#### **1.6. AMBIENTE RURAL.**

Constantemente en el ambiente rural se encuentran distintos tipos de emisiones perjudiciales para el hormigón, las cuales son: De vehículos, por el constante paso de vehículos, tanto livianos como pesados; Diferentes cantidades de amoniaco, existente en los fertilizantes, es muy utilizado en zonas rurales y notablemente dañino para los humanos y en este caso para el hormigón.

Nitrógeno, el cual se encuentra de forma natural en: Las heces fecales del ganado, las granjas de la industria avícola, el guano de las aves marinas y otras deposiciones de animales como los murciélagos, tienden a acumularse como resultado de las actividades humanas o de los hábitos de ciertos animales. Estos han sido y son empleados en la agricultura como abonos orgánicos naturales.

Estas emisiones unidas, con la salinidad por la cercanía al mar, la humedad, hacen vulnerable a la estructura. Si bien es cierto, existe la creencia que en el ambiente rural no existe contaminación, este es un pensamiento herrado, ya que la contaminación existe en todo lugar, donde habita el ser humano.

---

<sup>22</sup> Barrera H. y Pérez G., Sandoval P. (2003). *la carbonatación en edificios de Santiago. Santiago.*



Los tipos de emisiones perjudiciales, antes ya expuestos. Claramente nos muestra que tanto en el ambiente rural como urbano, nuestras estructuras tienen que protegerse para garantizar su vida útil.

### **1.7. ZONA COSTERA.**

La tierra está formada por tres cuartas partes de agua y de esas tres cuartas partes, 90% es agua salada; además de esto el hombre vive constantemente cerca del mar, para su desarrollo, por lo cual, construye estructuras de madera, hierro, hormigón, entre otras.

En nuestro caso el hormigón, al estar cerca de un ambiente marino queda expuesto al contacto del agua de mar, al aire marino, a la humedad; situaciones que ponderan la degradación del hormigón, al quedar expuesto de manera violenta a los embates de la naturaleza.

Según, Santiago (2010), en construcciones de hormigón armado cerca al mar, si la cimentación por debajo del agua salobre, la capilaridad y el evaporamiento del agua, pueden provocar un ataque químico sobre el hormigón armado.<sup>23</sup> En ciertas zonas costeras la combinación de sulfatos y cloruros pueden causar en poco tiempo grandes daños en la estructura.

Escalante (2010) dice, Por otro lado en el ambiente marino se aumentan los índices de deterioro en las estructuras de hormigón armado, por la intervención directa de los agentes marinos. La corrosión en el hormigón, se vincula con la temperatura y humedad. Así como se sabe que el aumento de temperatura incrementa todas las reacciones químicas, se considera que una subida de temperatura duplica la rapidez de reacción. La corrosión por carbonatación se activa en un estimado cerca al 90 % de la humedad relativa.<sup>24</sup>

Las estructuras de hormigón ubicadas en la costa o cercanas a ella, son prácticamente indefensas a la corrosión por cloro en suspensión en la atmósfera, en manera de pequeñas gotas del agua marina; en la neblina o atomizador, la congregación salobral de cloruros y sulfatos eventualmente podría ser superior que en el agua marina.

### **1.8. VIDA ÚTIL DEL HORMIGÓN ARMADO.**

La vida útil de las estructuras de hormigón armado, tiene mucha dependencia de los materiales, la dosificación y el medio que lo rodea; estas dependencias bien logradas, nos garantiza una protección y alcalinidad para que el acero de refuerzo esté protegido. Una

---

<sup>23</sup> Santiago Hurtado G. (2010). *Determinación del nivel de corrosión y de perfil de carbonatación en vigas de concreto reforzado con 3 años de exposición al medio ambiente. Xalapa: México.*

<sup>24</sup> •ESCALANTE S. (2010). *Durabilidad del concreto armado en viviendas de zonas costeras: Por acción del medio ambiente en la conurbación Barcelona, lechería, puerto la cruz y guanta del estado Anzoátegui: Barcelona.*

vez en funcionamiento la estructura, pueden ingresar en el hormigón, llegando al acero de refuerzo; una vez allí se produce la corrosión causando los siguientes problemas: Se percibe un descenso en el área y la capacidad resistente del acero de refuerzo, Se producen óxidos expansivos, induciendo a fisuramientos. Serrano., Silva., (2010) sostiene que la vida útil, es un período de tiempo en que una estructura sigue manteniendo su resistencia, seguridad; entre otras, sin necesidad de mantener ningún tipo de mantenimiento.<sup>25</sup>

Con respecto al mantenimiento de una estructura de hormigón armado, es necesario de acuerdo a mi experiencia, corregir fallas que se notan al poco tiempo de construido.

Un enfoque, al entorno que rodea a la estructura, es muy importante para saber a qué tipo de amenazas se enfrentará, y prever futuras fallas.

Andrade (1992) dice que, Se podría definir como el lapso de tiempo en el que la estructura conserva todas las características de operatividad, protección, firmeza y aspecto superficial, con un grado de estabilidad aceptable.<sup>26</sup>

---

<sup>25</sup> Serrano I. y Moreno E. (2006). *Películas barreras: una opción contra la carbonatación del concreto reforzado*. México.

<sup>26</sup> Andrade M. (1992). *Corrosión de armaduras y su inspección en hormigones de cemento aluminoso*. España.

## CAPÍTULO 2.

### INSPECCIÓN FÍSICA DEL PUENTE RIO CAÑA.

#### 2.1. UBICACIÓN DEL PUENTE RIO CAÑA.

El puente se encuentra ubicado en el Cantón Manta, en la Parroquia Rural San Lorenzo ubicada a 28 km de la Ciudad de Manta, forma parte de la ruta del Spondylus.



Figura 2.1. Ubicación del Puente.

Fuente:<https://www.google.es/maps/place/1%C2%B004'58.0%22S+80%C2%B05>



Figura 2.2. Vista superior del Puente.

Fuente:<https://www.google.es/maps/place/1%C2%B004'58.0%22S+80%C2%B054'04.5%22W/@-1.0825133,-80.9020745,238m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x0:0x0>

#### 2.2. PUENTE RIO CAÑA.

El Puente Río Caña fue construido en el año 2001, como parte de la "construcción de la carretera San Mateo-San Lorenzo-Puerto Cayo, tramo: San Lorenzo-San José"; siendo en la actualidad un aporte muy importante para el transporte de las personas que constantemente transitan por el lugar, no solo por la necesidad personal, sino también de trabajo, convirtiéndose en un icono de desarrollo para la Parroquia San Lorenzo del Cantón Manta.

El puente, construido de hormigón armado en su losa, estribos, vigas y pasamanos, de tipología estructural, típica de construcción de estos puentes de carretera. En la siguiente foto se muestra una vista del puente en estudio.



Figura 2.3. Puente Rio Caña.

Fuente: El Autor

### 2.3. MATERIALES UTILIZADOS.

Se muestra en la siguiente tabla, los materiales con los que se construyó el puente:

Tabla 2.1. Especificaciones de los materiales utilizados.

#### INFRAESTRUCTURA

Material	Especificaciones
Gaviones	-----
Excavación y relleno para puentes	-----
Material filtrante	-----
Hormigón Estructural de cemento	clase B $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$
Hormigón Estructural de cemento	clase C $f'c= 175 \text{ kg/cm}^2$
Acero de refuerzo en barras	$f'y= 4200 \text{ kg/cm}^2$
Placas de neopreno	Dureza shore 70(0.29*0.27*0.03)m
Tubo de P.V.C.	Diam= 10cm(para drenaje)

#### SUPERESTRUCTURA

Hormigo Estructural de cemento	clase B $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$
Acero de refuerzo en barras	$f'y= 4200 \text{ kg/cm}^2$
Tubo de P.V.C.	Diam= 10cm(para drenaje)
Junta de Dilatación	(Tipo III-MOP)

Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO).

Mediante observación de los materiales de la infraestructura y de la superestructura, se nota que son valores, que normalmente se utilizan para la construcción de estos puentes, que se visualizan en gran cantidad al transitar por las costas ecuatorianas.

#### 2.4. INSPECCIÓN VISUAL.

Para poder determinar el, o los motivos que llevan al deterioro de una estructura, es de vital importancia realizar una inspección visual, y con ello poder determinar qué tipo de ensayos se pueden realizar y dar con la causa del problema.

En la inspección visual se puede recabar los siguientes datos: Identificación del medio ambiente en el que se desenvuelve la estructura, identificación de las zonas más afectadas, fotos del estado de la estructura, apuntes del estado de deterioro de la estructura.

El código ACI 318; clasifica a las estructuras teniendo en cuenta a la exposición a la que este expuesta. Como se muestra en la tabla 1.

Tabla 2.2. Severidad y clase de exposición para la categoría C.

SEVERIDAD	CLASE	CONDICION
No aplicable	C0	Hormigón seco o protegido a la humedad
Moderada	C1	Hormigón expuesto a humedad pero sin fuentes de cloruros
Severa	C2	Hormigón expuesto a humedad con una fuente externa de fuentes Cloruros provenientes de químicos para el deshielo, sal, agua salada. O rocío de estas.

Fuente: Norma ACI-318.

En la Figura 2.4. Se puede ver la corrosión total del acero de refuerzo en el pasamano derecho del Puente.

A simple vista se puede observar que el acero ha perdido sus propiedades tanto físicas como mecánicas, debido a la agresividad de la naturaleza que deteriora rápidamente la estructura. En un lapso de tiempo relativamente corto, desde construcción en el año 2001 hasta la fecha actual.



Figura 2.4. Corrosión del acero de refuerzo.

Fuente: El Autor.

En la Figura 2.5. Se observa la rotura del hormigón y corrosión de la armadura de acero. La siguiente foto es tomada en el pasamano derecho, indicando que el pasamano izquierdo se encuentra en iguales o peores condiciones.



Figura 2.5. Desprendimiento del hormigón.

Fuente: El Autor.

En la Figura 2.6. Se observa una semi reparación y corrosión del acero en la parte posterior del pasamano.



Figura 2.6. Parte posterior del pasamano.

Fuente: El Autor.

En la Figura 2.7. Es evidente el Desprendimiento del hormigón y corrosión del acero de refuerzo en el estribo derecho con vista al mar.

Se nota oxido en las barras de acero, debido a su exposición directa al ambiente marino.



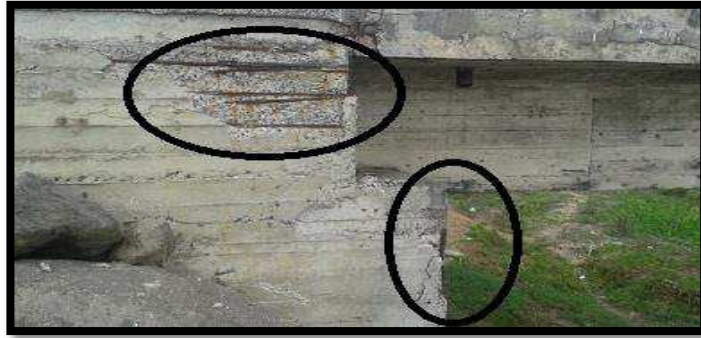


Figura 2.7. Desprendimientos del hormigón y corrosión en el acero de refuerzo.

Fuente: El Autor.

En la Figura 2.8. Se encuentra una notoria erosión del hormigón, la cual causa un desprendimiento del mismo, en el estribo del puente.



Figura 2.8. Erosión en el estribo derecho.

Fuente: El Autor.

En la Figura 2.9. Se evidencia una capa de material orgánico y erosión en el hormigón, amabas convirtiéndose en una amenaza a corto y mediano plazo.

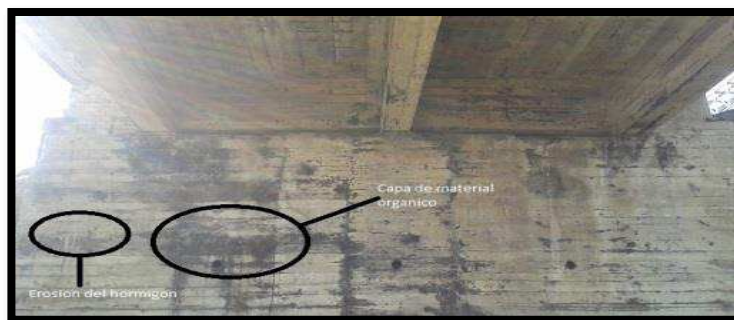


Figura 2.9. Capa de material orgánico y erosión visible en el estribo izquierdo.

Fuente: El Autor.

En la Figura 2.10. Se puede apreciar el desprendimiento del hormigón y la corrosión de las varillas en las vigas de amarre del puente.



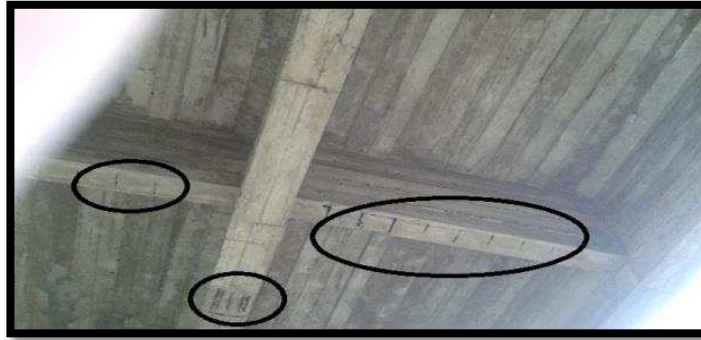


Figura 2.10. Visibilidad de acero de refuerzo y corrosión.

Fuente: El Autor.

En la Figura 2.11. Se observa claramente el acero de refuerzo y la corrosión del mismo, como también el bajo recubrimiento en el tablero del puente.



Figura 2.11. Perceptibilidad y corrosión en el acero de refuerzo del tablero.

Fuente: El Autor.

## 2.5. EL VIENTO.

Es un factor a tomar en cuenta en los procesos corrosivos de las estructuras, porque puede producir la erosión del hormigón, brindando transporte a materiales que son proyectados hacia el hormigón causando su desgaste, y de manera indirecta al producir este desgaste deja camino libre al tránsito del  $\text{CO}_2$  hacia el interior de la estructura, produciendo corrosión del acero de refuerzo.

En las zonas costeras se evidencia un gran flujo de viento en los meses de octubre, noviembre y diciembre del año 2014 como también los meses de enero y febrero del año 2015, como a continuación se evidencia en la Figura 2.12, 2.13, 2.14, 2.15, 2.16, respectivamente. Datos provenientes del Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR).

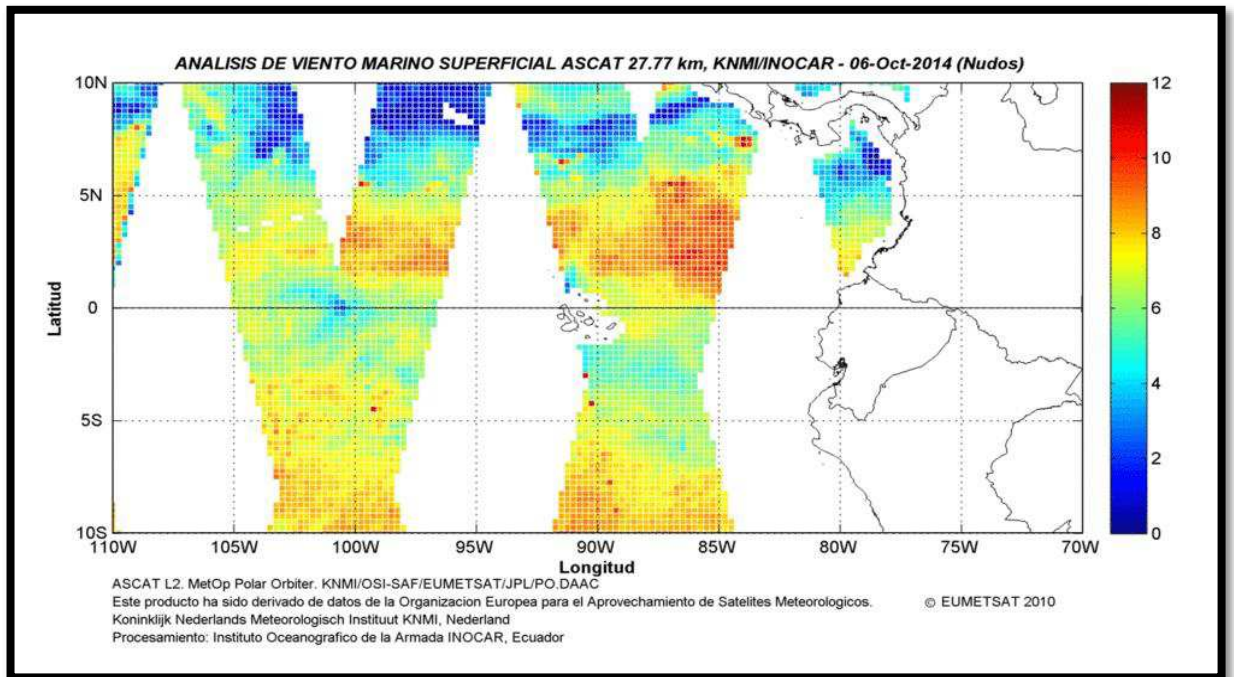


Figura 2.12. Vientos marino superficial ASCAT 27.77 KM, el 06/10/2014.

Fuente: INOCAR

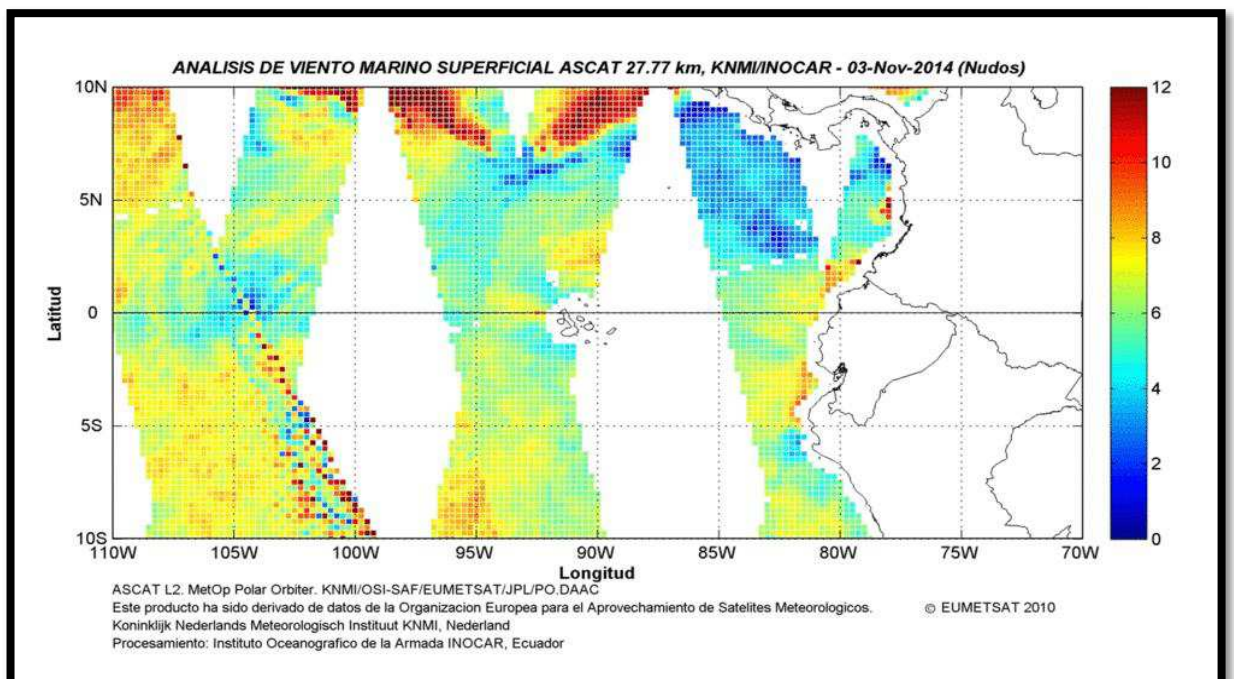


Figura 2.13. Vientos marino superficial ASCAT 27.77 KM, 03/11/2014.

Fuente: INOCAR

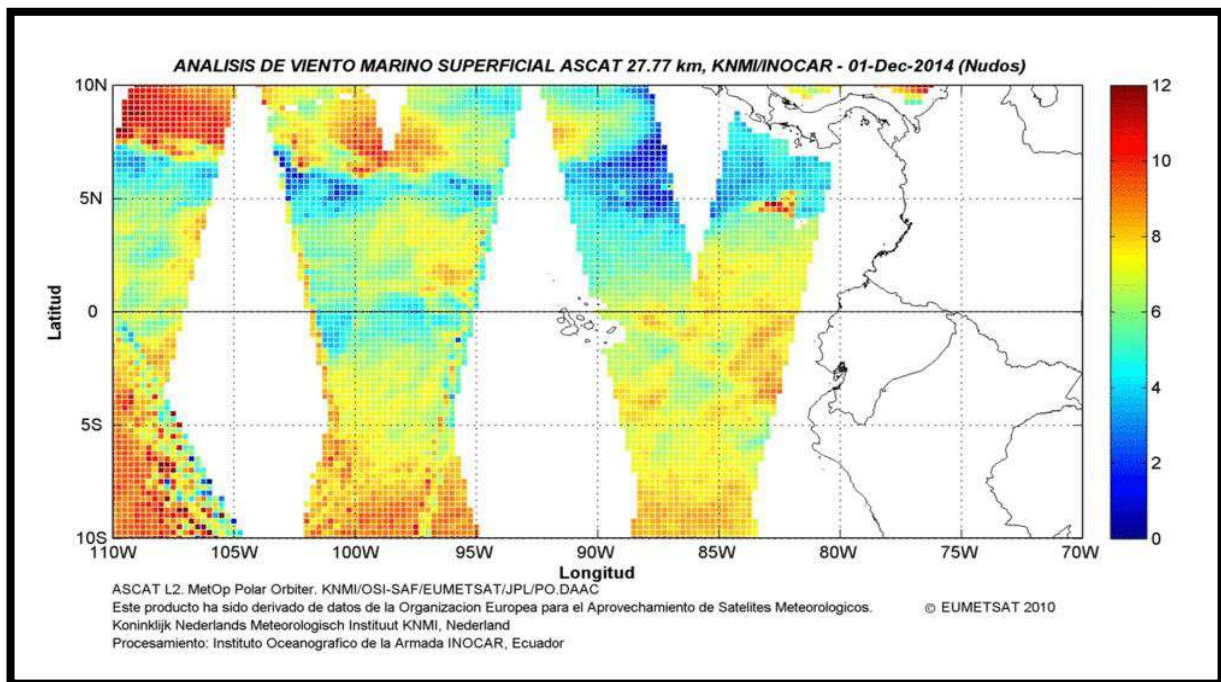


Figura 2.14. Vientos marino superficial ASCAT 27.77 KM, 01/12/2014.

Fuente: INOCAR

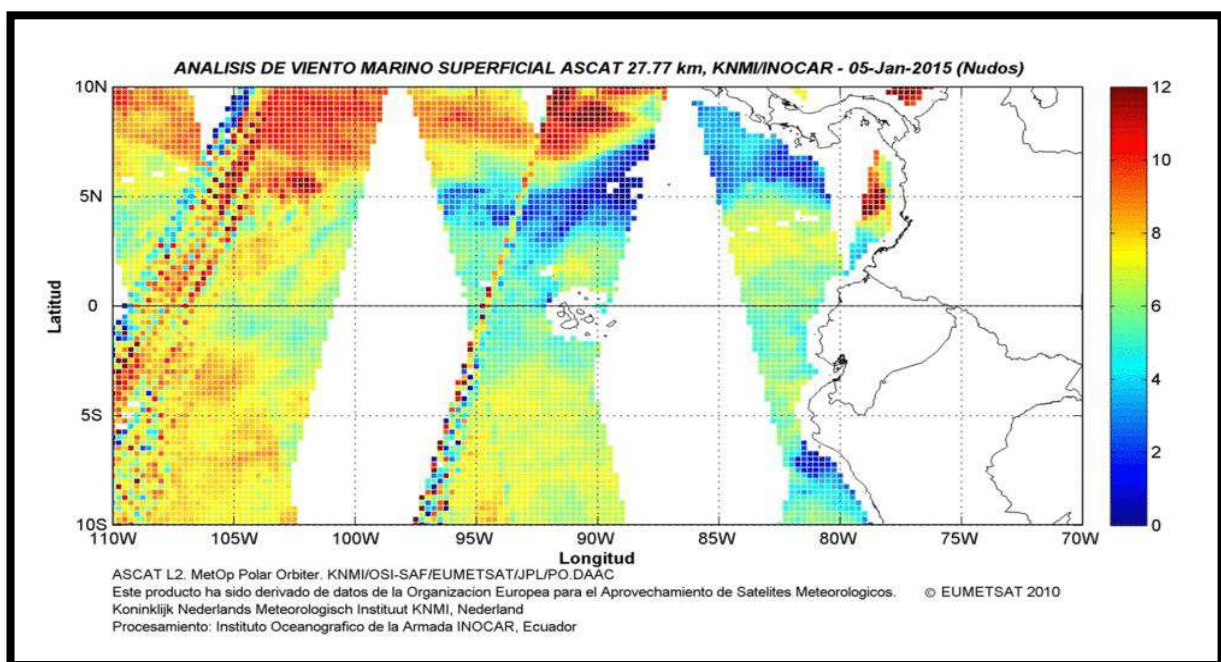


Figura 2.15. Vientos marino superficial ASCAT 27.77 KM, 05/01/2015.

Fuente: INOCAR



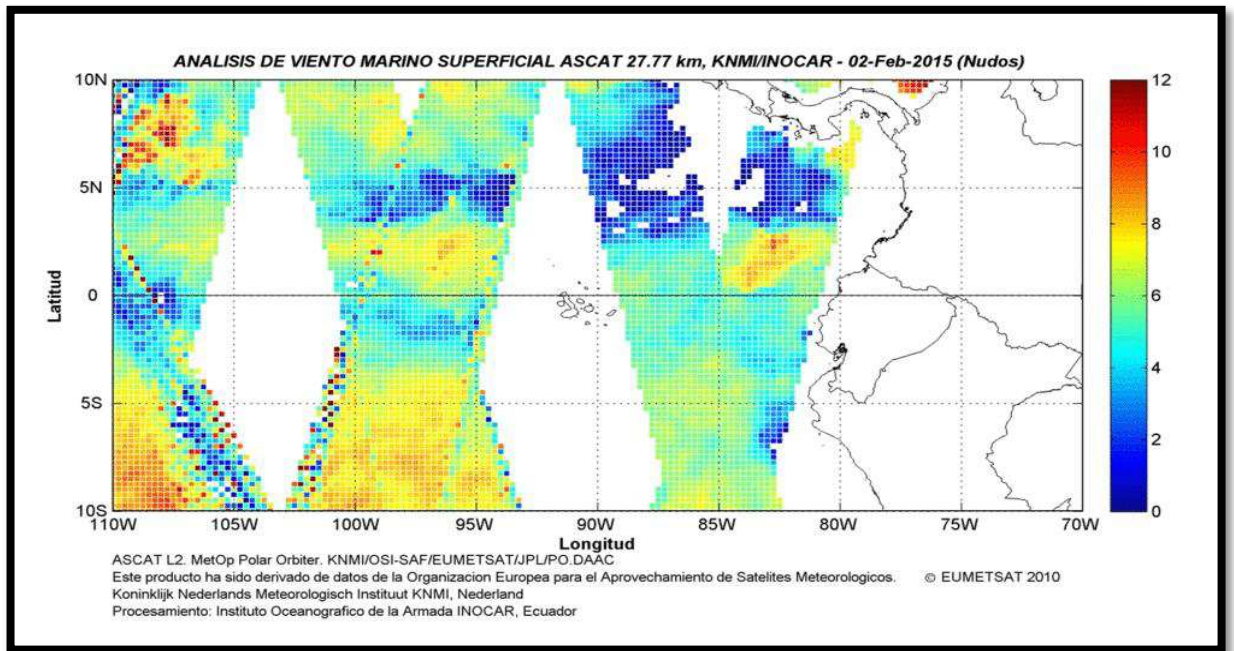


Figura 2.16. Vientos marino superficial ASCAT 27.77 KM, 02/02/2015.

Fuente: INOCAR

## 2.6. LA TEMPERATURA.

En la zona se pudo evidenciar los diferentes cambios de temperaturas a la que está sometido el puente; siendo este, un factor que en gran medida aportó a la carbonatación de la estructura.

En la Figura 2.17, 2.18, 2.19, 2.20, 2.21, 2.22, 2.26, 2.27, 2.28, 2.29, 2.30. Se muestran las temperaturas diarias durante los meses del año 2014, datos proporcionados por el Instituto Oceanográfico de la Armada (INOCAR).

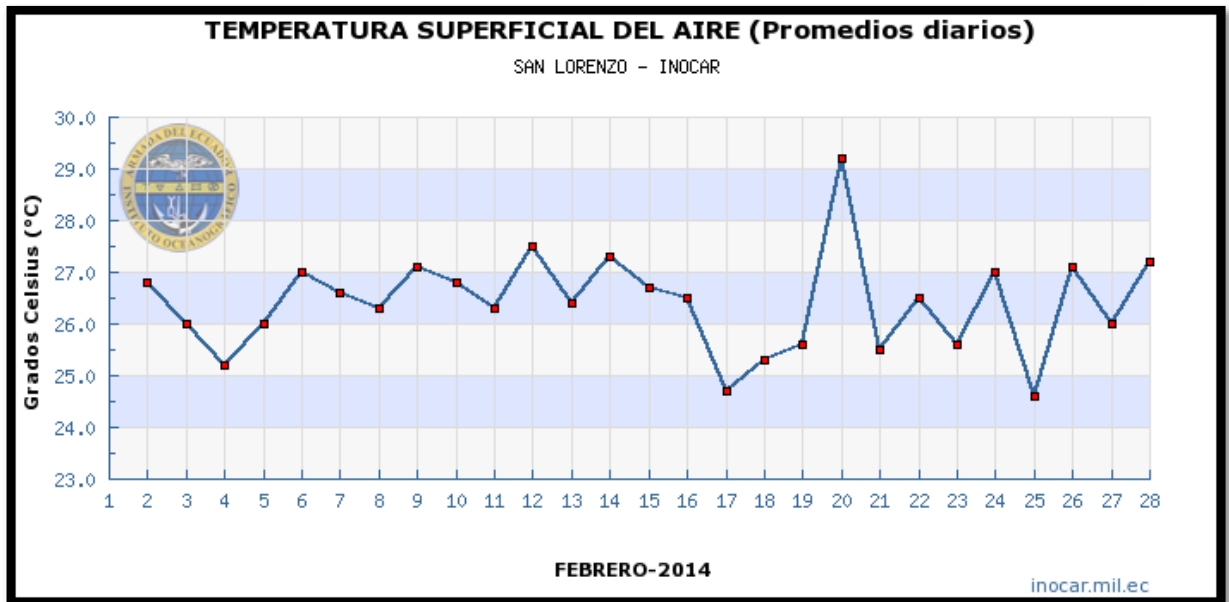


Figura 2.17. Temperaturas Superficiales del Aire del mes de febrero.

Fuente: INOCAR

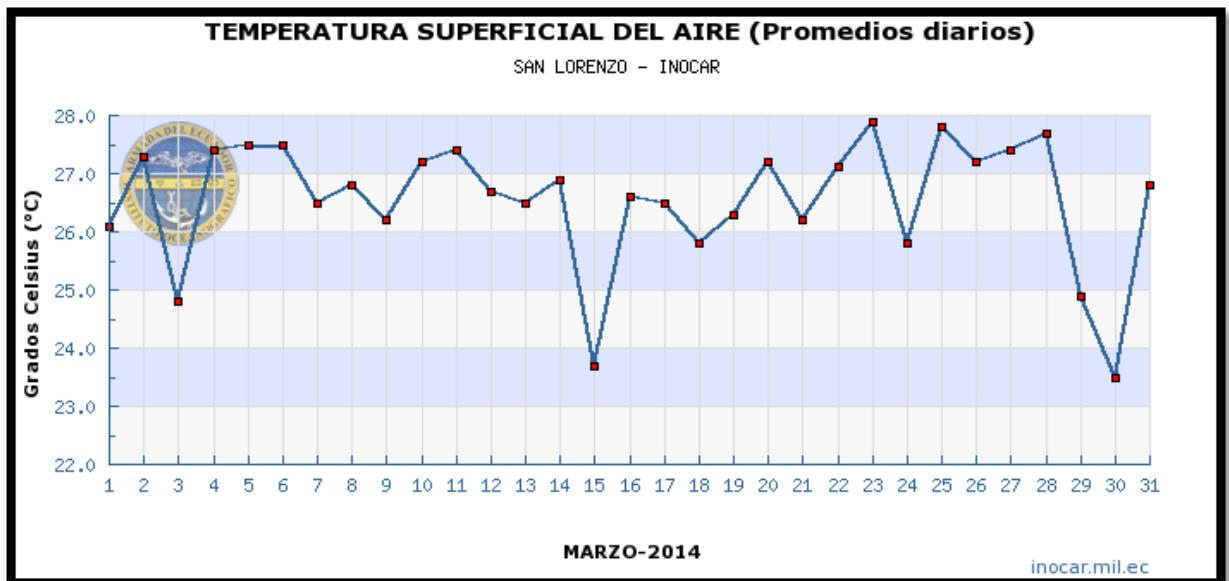


Figura 2.18. Temperaturas Superficiales del Aire del mes de Marzo.

Fuente: INOCAR

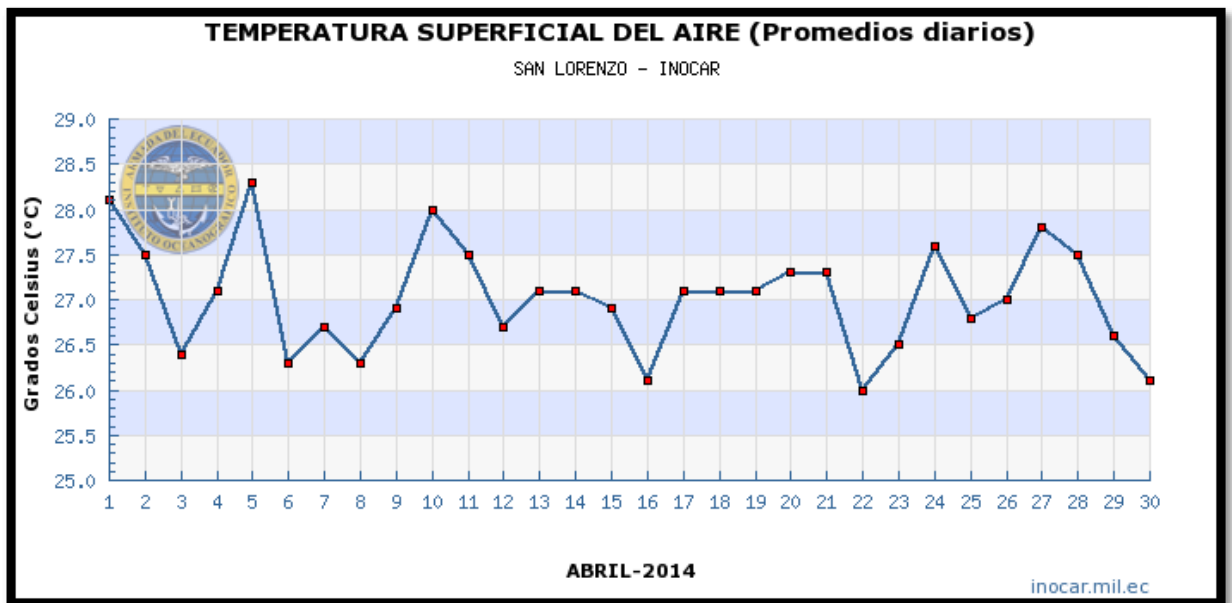


Figura 2.19. Temperaturas Superficiales del Aire del mes de Abril.

Fuente: INOCAR

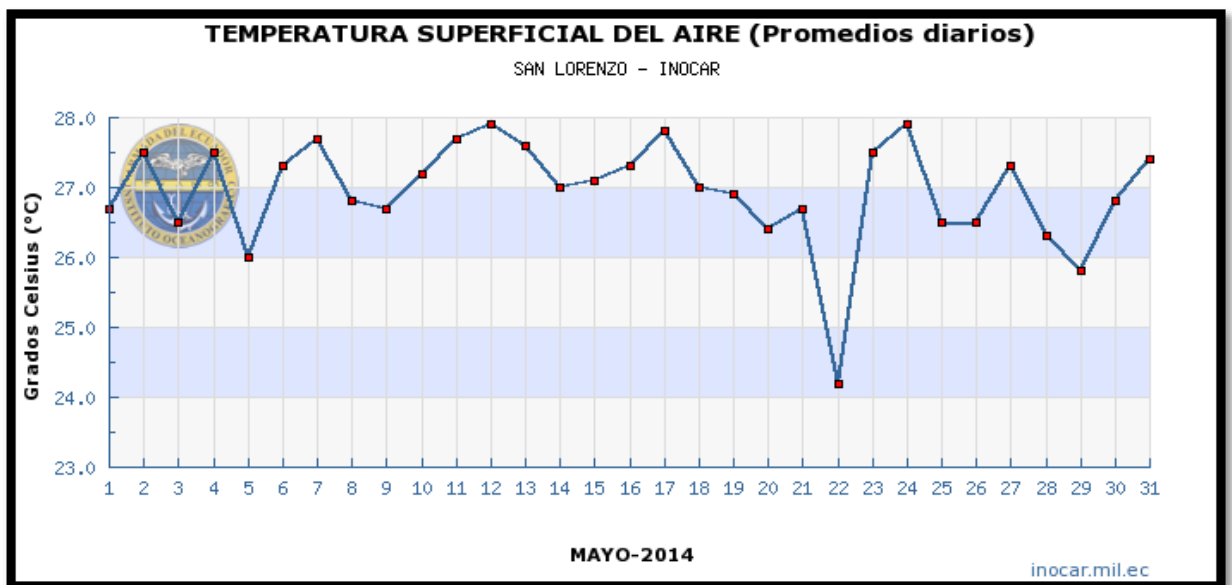


Figura 2.20. Temperaturas Superficiales del Aire del mes de Mayo.

Fuente: INOCAR

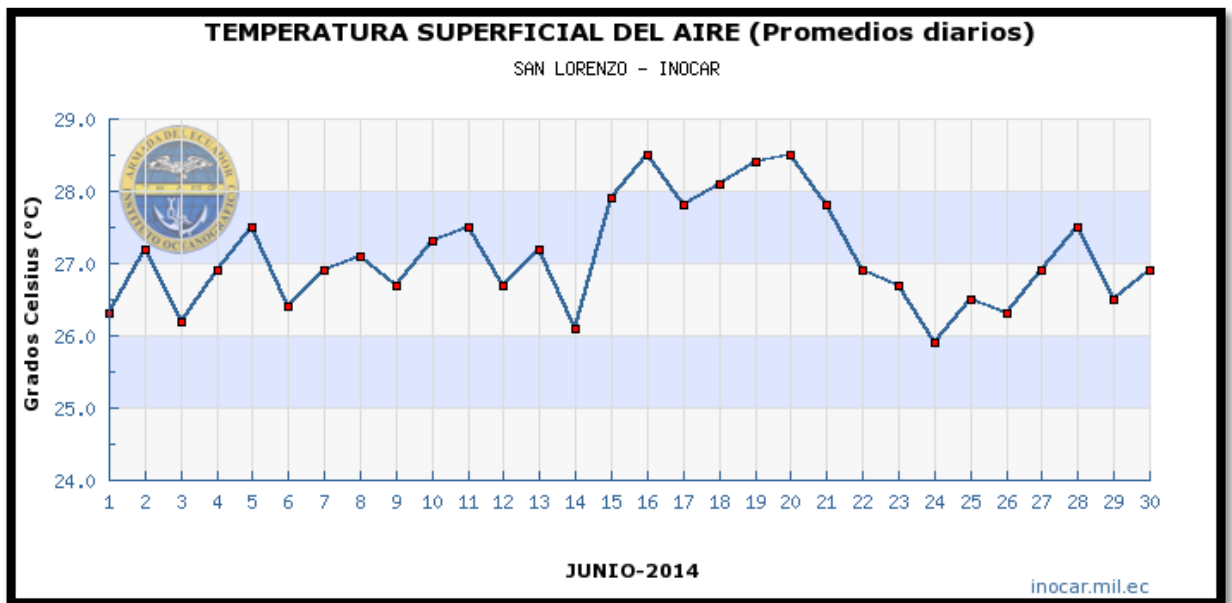


Figura 2.21. Temperaturas Superficiales del Aire del mes de Junio.

Fuente: INOCAR

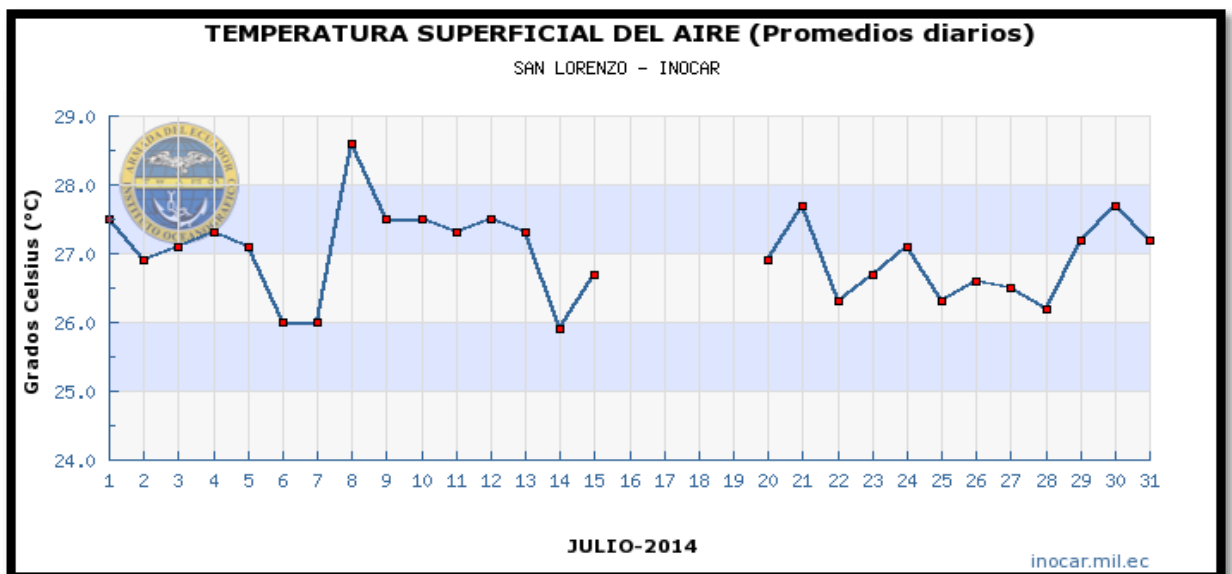


Figura 2.22. Temperaturas Superficiales del Aire del mes de Julio.

Fuente: INOCAR

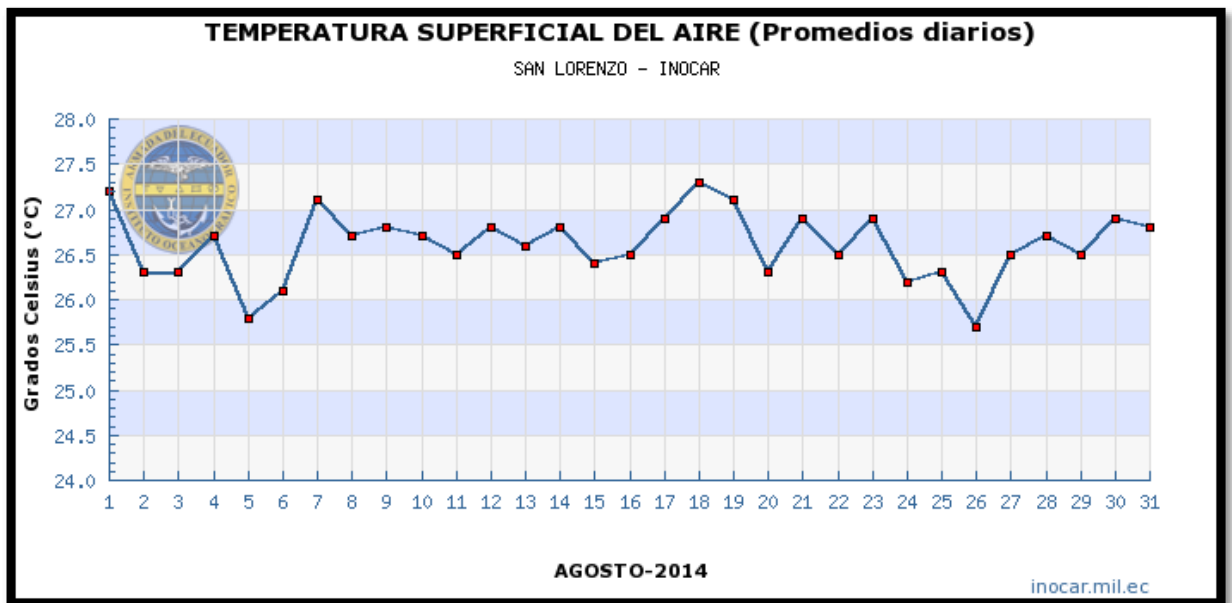


Figura 2.23. Temperaturas Superficiales del Aire del mes de Agosto.

Fuente: INOCAR

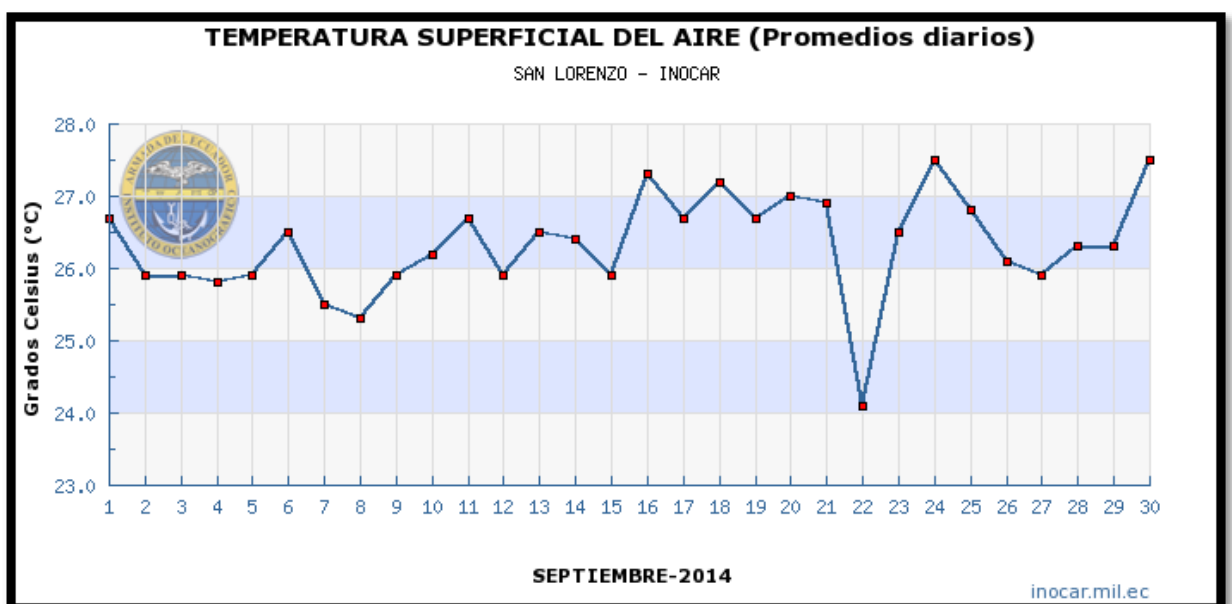


Figura 2.24. Temperaturas Superficiales del Aire del mes de Septiembre.

Fuente: INOCAR



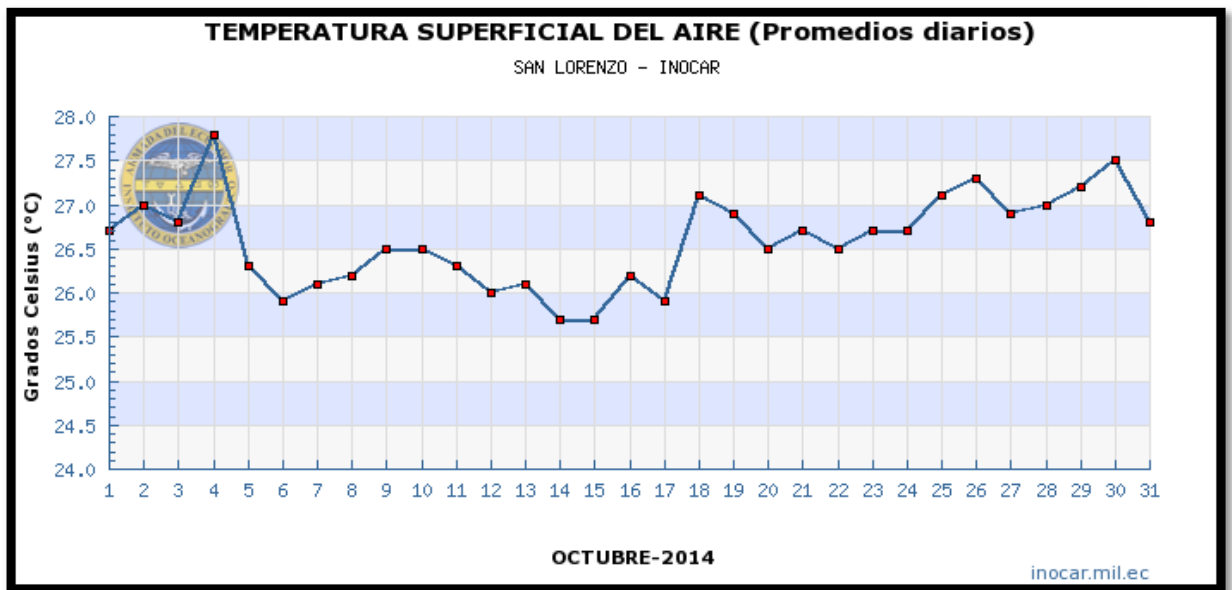


Figura 2.25. Temperaturas Superficiales del Aire del mes de Octubre.

Fuente: INOCAR

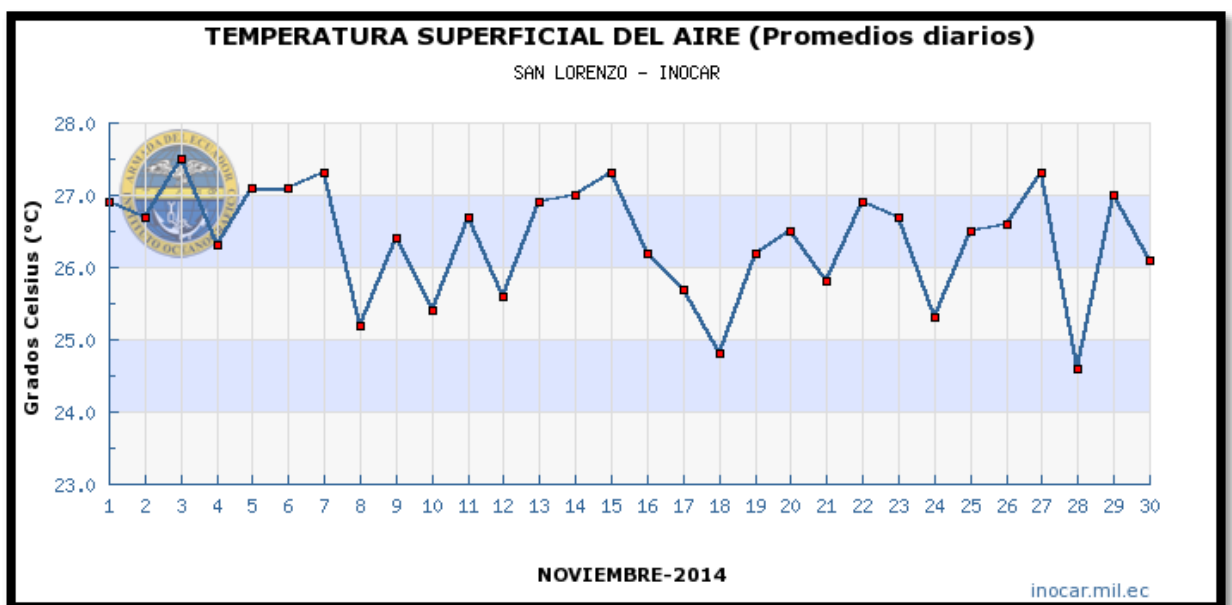


Figura 2.26. Temperaturas Superficiales del Aire del mes de Noviembre.

Fuente: INOCAR

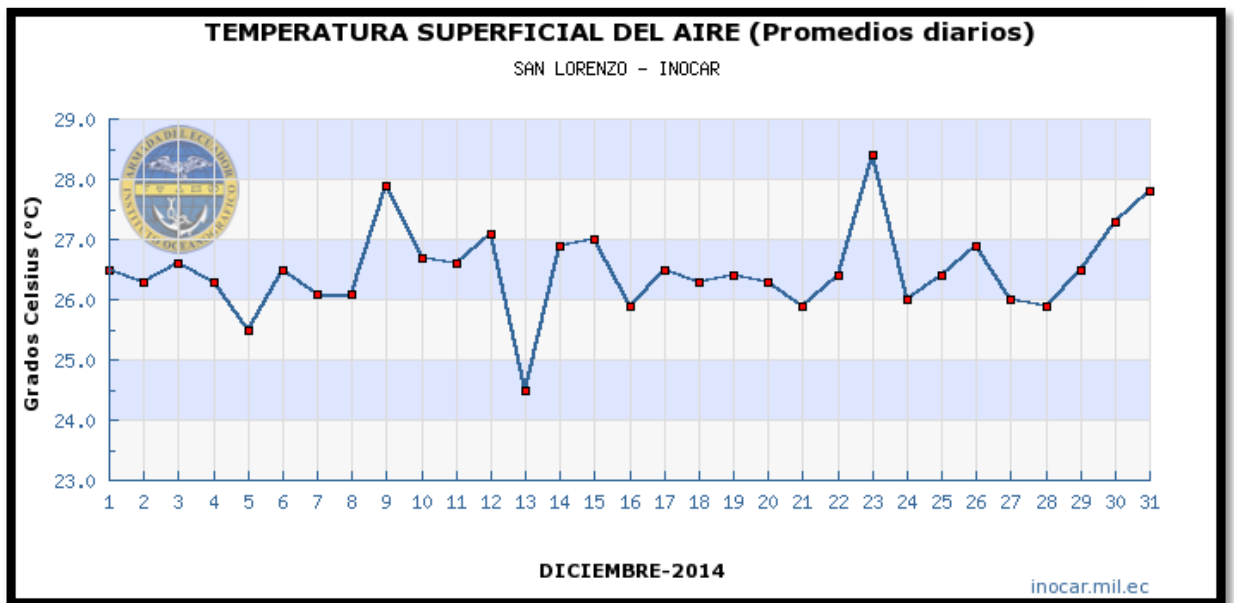


Figura 2.27. Temperaturas Superficiales del Aire del mes de Diciembre.

Fuente: INOCAR

En el año 2014 la temperatura más baja se dio en el mes de septiembre llegando a 24 °C, mientras que la temperatura más alta se dio en el mes de febrero a 29.20 °C.

### **CAPÍTULO 3.**

#### **ENSAYOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.**

##### **3.1 ENSAYO DE FENOLFTALEÍNA.**

###### **Preparación.**

Para poder producir este indicador de la reducción de pH del hormigón tenemos listos los materiales, la ventaja de este ensayo es que no requiere ningún tipo de destrucción al puente, se realiza "in situ" y no tiene ningún efecto colateral al puente.

Este Indicador toma un color Morado, cuando el hormigón cuenta con valores altos de pH y caso contrario si tuviese valores bajos la solución no cambia de color al ponerse en contacto el hormigón.

La solución se la prepara con 1 g de fenolftaleína en polvo, disuelta en 89 ml de alcohol industrial con 11ml de agua purificada.

Se debe tomar en cuenta el agua potable, por contener una alta cantidad de minerales, que pueden entorpecer el ensayo afectando a la alcalinidad del hormigón.

Adicionalmente, de requerirá una cámara fotográfica y un rociador para el Indicador de Fenolftaleína.

En la Figura 3.1. Se pesó la muestra de fenolftaleína, para garantizar una dosificación adecuada.



Figura 3.1. Pesaje de la cantidad de fenolftaleína.

Fuente: El Autor.

En la Figura 3.2. Se realiza la mezcla del agua con el alcohol con las cantidades exactas para una disolución adecuada.



Figura 3.2. Mezcla del alcohol con el agua.

Fuente: El Autor.

En la Figura 3.3. Ya se realiza la disolución de la fenolftaleína con el agua y alcohol antes mencionado.

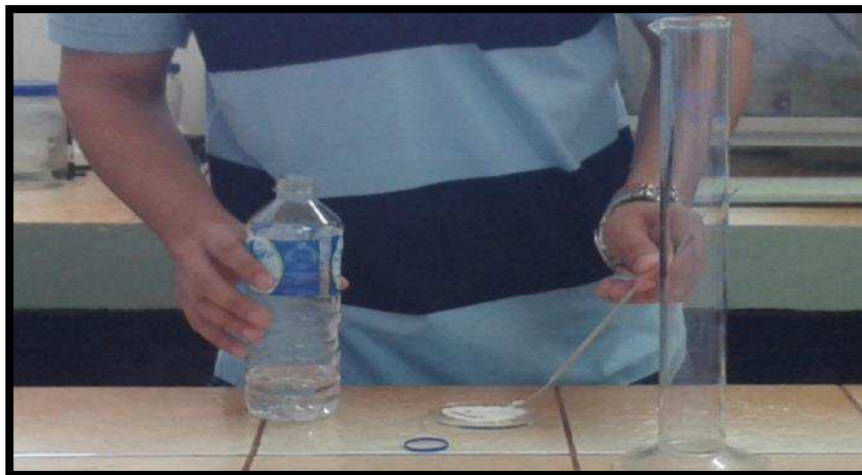


Figura 3.3. Disolución de la Fenolftaleína con el alcohol y el agua.

Fuente: El Autor.

### **Método.**

Este método, es considerado como un ensayo no destructivo. Se debe hacer en la parte que el investigador crea conveniente.

Se limpia bien la parte afectada, inmediatamente se procede a rociar la fenolftaleína sobre el punto a observar.

Se debe rociar hasta observar el color morado o púrpura en el hormigón y se procede a medir con una regla.

En la Figura 3.4. Ya in situ se realiza fotografía, de los elementos a utilizar, correspondiente al ensayo de la fenolftaleína.



Figura 3.4. Materiales para la prueba.

Fuente: El Autor.

En la Figura 3.5. Se aplica la disolución de fenolftaleína en un punto crítico de la estructura donde a simple vista denota una carbonatación, exponiendo al acero de refuerzo al medio agresivo en el que se encuentra la estructura.

La presencia de cloruros, en el ambiente marino da un mayor riesgo a la estructura de una corrosión acelerada.



Figura 3.5. Roció de la Fenolftaleína en el punto a observar.

Fuente: El Autor.



### 3.2. RESULTADO DEL ENSAYO CON FENOLFTALEÍNA.

En la Figura 3.6. Luego de rociar la disolución de fenolftaleína y esperar alrededor de 30 minutos para que haga efecto la solución indicadora, se pudo notar en la superficie del área localizada en el pasamanos, que no cambio de color, manteniendo su color original; corroborando con esta acción, que existe carbonatación y en un alto grado.



Figura 3.6. Resultado.

Fuente: El Autor.

Se muestra evidente el resultado del ensayo. La muestra no se tornó de ningún color, y continua teniendo su color característico, esto comprueba lo que a simple vista se observa, un deterioro avanzado en su estructura y que existe la carbonatación y en una fase avanzada con un  $\text{pH} < 8$ .

Existe desprendimiento del hormigón ocasionado por la falta de adherencia con el acero de refuerzo y otros factores como: Pérdida total de alcalinidad, aumento de volumen del acero.

### 3.3. ENSAYO CON EL ESCLERÓMETRO.

El esclerómetro es un equipo utilizado para medir la resistencia in situ de los hormigones, es un ensayo no destructivo de la resistencia del hormigón, lo que lo hace atractivo a la hora de hacer una prueba en una estructura delicada. Básicamente, trabaja enviando un golpe y mediante una respuesta determina si el material al que golpeó es duro o blando.

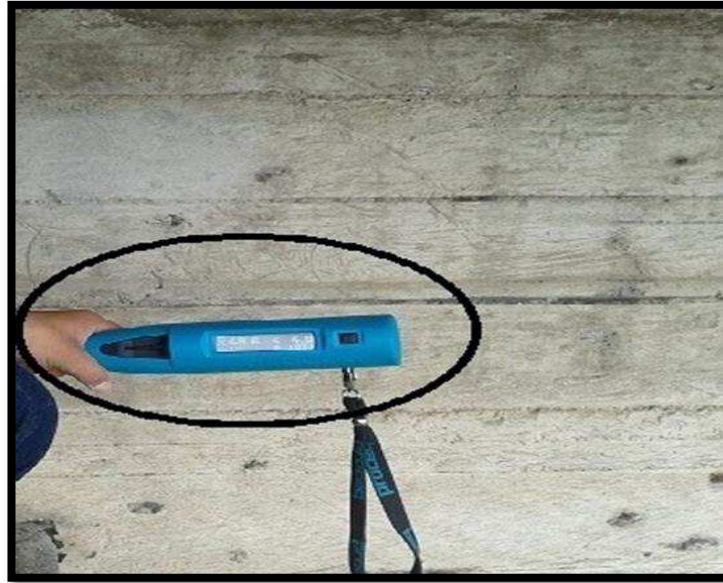


Figura 3.7. Esclerómetro.

Fuente: El Autor.

### **Preparación**

En primer lugar se debe calibrar en función de la estructura que se requiere determinar la resistencia del hormigón in situ, es muy importante conocer el grado de carbonatación de la estructura, porque es de gran importancia conocer esos valores, para tener resultados satisfactorios.

### **Método**

Al momento de realizar el ensayo de debe limpiar la zona donde se realizarán los golpeteos, se puede utilizar lija o piedra pómez; es muy importante que la superficie esté limpia y lisa.

Los golpeteos van a una distancia aproximada de 2.5 cm, evitando que coincida el golpe con el acero de refuerzo.

En la Figura 3.8. Se realiza el ensayo no destructivo con el esclerómetro, antes de hacer el ensayo, se limpió la zona a investigar con los instrumentos ya antes mencionado.



Figura 3.8. Golpes del esclerómetro.

Fuente: El Autor.

Ver RESULTADO EN ANEXO A



### 3.4. RESULTADOS OBTENIDOS DEL ESCLERÓMETRO.

Tabla 3.1. Resumen de resultados del esclerómetro.

▲ CONTADOR DE IMPACTOS	NOMBRE	FECHA Y HORA	VALOR MEDIO	MODO PROMEDIO	VALORES ABERRANTES SUPERIORES	VALORES ABERRANTES INFERIORES	VÁLIDO/ TOTAL	DESV. ØP.	CURVA DE CONV.	FACTOR DE FORMA	FACTOR DE CARBONATACIÒN
☒ 1811	Costado izquierdo de pasamanos del puente	07/02/2015 15:30	Serie no vàlida (120 kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio ASTM	0	0	2/10	3 kg/cm <sup>2</sup>	Curve EU	Cilindro (80%)	0.50
☒ 1821	Costado izquierdo de pasamanos del puente	07/02/2015 15:30	Serie no vàlida (120 kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio ASTM	0	0	6/10	30 kg/cm <sup>2</sup>	Curve EU	Cilindro (80%)	0.50
☒ 1851	Costado derecho de muro del puente	07/02/2015 16:00	Serie no vàlida (395 kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio ASTM	0	0	4/10	110 kg/cm <sup>2</sup>	Curve EU	Cilindro (78%)	0.80
☒ 1871	Costado derecho de muro del puente	07/02/2015 16:00	Serie no vàlida (380 kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio ASTM	0	0	5/10	93 kg/cm <sup>2</sup>	Curve EU	Cilindro (78%)	0.80
☒ 1891	Costado inferior del puente	07/02/2015 16:30	300 kg/cm <sup>2</sup>	Promedio ASTM	0	0	10/10	73 kg/cm <sup>2</sup>	Curve EU	Cilindro (83%)	0.85
☒ 1901	Bajo del puente en el muro 1 lado izquierdo	07/02/2015 16:30	495 kg/cm <sup>2</sup>	Promedio ASTM	0	0	9/10	85 kg/cm <sup>2</sup>	Curve EU	Cilindro (83%)	0.80
☒ 1911	Bajo del puente en el muro 1 lado derecho	07/02/2015 16:30	495 kg/cm <sup>2</sup>	Promedio ASTM	0	0	10/10	100 kg/cm <sup>2</sup>	Curve EU	Cilindro (83%)	0.80
☒ 1921	Bajo del puente en el muro 2 lado derecho	07/02/2015 16:30	360 kg/cm <sup>2</sup>	Promedio ASTM	0	0	9/10	75 kg/cm <sup>2</sup>	Curve EU	Cilindro (81%)	0.80
☒ 1831	Bajo del puente en el muro 2 lado izquierdo	07/02/2015 16:30	455 kg/cm <sup>2</sup>	Promedio ASTM	0	0	8/10	73 kg/cm <sup>2</sup>	Curve EU	Cilindro (80%)	0.80
☒ 1951	Costado derecho de pasamanos del puente	07/02/2015 16:40	165 kg/cm <sup>2</sup>	Promedio ASTM	0	0	9/10	28 kg/cm <sup>2</sup>	Curve EU	Cilindro (80%)	0.50
☒ 1961	Costado derecho de pasamanos del puente	07/02/2015 16:40	170 kg/cm <sup>2</sup>	Promedio ASTM	0	0	10/10	25 kg/cm <sup>2</sup>	Curve EU	Cilindro (80%)	0.50

En la tabla 3.1 se muestran los valores de cada uno de los elementos estudiados resumidos y desglosados.

Tabla 3.2. Costado izquierdo de pasamanos del puente punto 1.

▲ CONTADOR DE IMPACTOS	NOMBRE	FECHA Y HORA	VALOR MEDIO	MODO PROMEDIO	VALORES ABERRANTES SUPERIOR	VALORES ABERRANTES INFERIOR	VÁLIDO/ TOTAL	DESV. ÒP.	CURVA DE CONV.	FACTOR DE FORMA	FACTOR DE CARBONATACIÒN																						
☒ 1811	Costado izquierdo de pasamanos del puente punto 1	07/02/2015 15:30	Serie no vàlida (120 kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio ASTM	0	0	2/10	3 kg/cm <sup>2</sup>	Curve EU	Cilindro (80%)	0.50																						
<p><b>Diagrama de valores = Q= (ordenados por medición)</b></p> <table border="1"> <caption>Data for Diagrama de valores = Q=</caption> <thead> <tr> <th>Medición</th> <th>Valor (Q)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>24,5</td></tr> <tr><td>2</td><td>35,0</td></tr> <tr><td>3</td><td>34,5</td></tr> <tr><td>4</td><td>51,5</td></tr> <tr><td>5</td><td>35,0</td></tr> <tr><td>6</td><td>52,0</td></tr> <tr><td>7</td><td>43,0</td></tr> <tr><td>8</td><td>56,0</td></tr> <tr><td>9</td><td>42,5</td></tr> <tr><td>10</td><td>50,0</td></tr> </tbody> </table>					Medición	Valor (Q)	1	24,5	2	35,0	3	34,5	4	51,5	5	35,0	6	52,0	7	43,0	8	56,0	9	42,5	10	50,0	<p>VALORES = Q=</p> <p>24,5 35,0 34,5 51,5 35,0 52,0 43,0 56,0 42,5 50,0</p>		<p>ESTADÍSTICAS</p> <p>Mediciones N= 10 Mediciones no validas Ni = 8 ( 80%) Valor medio f= Serie no vàlida (120 kg/ cm<sup>2</sup> (42,8 Q) Desviacion típica s= 3 kg/ cm<sup>2</sup> (0,4 Q)</p> <p>CONFIGURACIÒN</p> <p>Modo promedio Promedio ASTM Curva de conversiòn Curve EU Factor de forma Cilindro (80%) Factor de carbonataciòn 0,50 Unidad kg/ cm<sup>2</sup> Numero de serie SH01-004-0449 Tipo de resorte SilverSchmidt N</p>				
Medición	Valor (Q)																																
1	24,5																																
2	35,0																																
3	34,5																																
4	51,5																																
5	35,0																																
6	52,0																																
7	43,0																																
8	56,0																																
9	42,5																																
10	50,0																																
<p>COMENTARIO (Añadir)</p>																																	

Fuente: El Autor.

Los resultados obtenidos con el esclerómetro en el costado izquierdo del pasamanos punto 1, dan como resultado una resistencia de 120 Kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación típica de 3 Kg/cm<sup>2</sup>, y un factor de carbonatación de 0.50, en el diagrama de valores, el software del esclerómetro realiza un valor medio de todos los datos, dando como resultado un 42.8 Q.

Tabla 3.3. Costado izquierdo de pasamanos del puente punto 2.

▲ CONTADOR DE IMPACTOS	NOMBRE	FECHA Y HORA	VALOR MEDIO	MODO PROMEDIO	VALORES ABERRANTES SUPERIOR	VALORES ABERRANTES INFERIOR	VÁLIDO/ TOTAL	DESV. ØP.	CURVA DE CONV.	FACTOR DE FORMA	FACTOR DE CARBONATACIÒN																						
3 1821	Costado izquierdo de pasamanos del puente punto 2	07/02/2015 15:30	Serie no vàlida (120 kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio ASTM	0	0	6/10	30 kg/cm <sup>2</sup>	Curve EU	Cilindro (80%)	0.50																						
<p><b>Diagrama de valores = Q= (ordenados por medición)</b></p> <table border="1"> <caption>Data for Diagrama de valores = Q=</caption> <thead> <tr> <th>Medición</th> <th>Valor (kg/cm<sup>2</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>24,0</td></tr> <tr><td>2</td><td>37,0</td></tr> <tr><td>3</td><td>42,0</td></tr> <tr><td>4</td><td>41,0</td></tr> <tr><td>5</td><td>44,5</td></tr> <tr><td>6</td><td>35,0</td></tr> <tr><td>7</td><td>53,0</td></tr> <tr><td>8</td><td>48,0</td></tr> <tr><td>9</td><td>44,5</td></tr> <tr><td>10</td><td>59,0</td></tr> </tbody> </table>					Medición	Valor (kg/cm <sup>2</sup> )	1	24,0	2	37,0	3	42,0	4	41,0	5	44,5	6	35,0	7	53,0	8	48,0	9	44,5	10	59,0	<p><b>VALORES = Q=</b></p> <p>24,0 37,0 42,0 41,0 44,5 35,0 53,0 48,0 44,5 49,5</p> <p><b>ESTADÍSTICAS</b></p> <p>Mediciones N= 10 Mediciones no validas Ni = 4 ( 40%) Valor medio f= serie no vàlida(120 kg/ cm<sup>2</sup> (42,8 Q)) Desviacion típica s= 30 kg/ cm<sup>2</sup> (3,8 Q)</p> <p><b>CONFIGURACIÒN</b></p> <p>Modo promedio Promedio ASTM Curva de conversiòn Curve EU Factor de forma Cilindro (80%) Factor de carbonataciòn 0,50 Unidad kg/ cm<sup>2</sup> Numero de serie SH01-004-0449 Tipo de resorte SilverSchmidt N</p>						
Medición	Valor (kg/cm <sup>2</sup> )																																
1	24,0																																
2	37,0																																
3	42,0																																
4	41,0																																
5	44,5																																
6	35,0																																
7	53,0																																
8	48,0																																
9	44,5																																
10	59,0																																
<p><b>COMENTARIO</b> (Añadir)</p>																																	

Fuente: El Autor.

Los resultados obtenidos del costado izquierdo del pasamanos del puente punto 2, arroja como resultado el esclerómetro una resistencia del hormigón de 120 Kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación típica de 30 Kg/cm<sup>2</sup>, y un factor de carbonatación de 0.50, en el diagrama de valores, el software del esclerómetro realiza una media de todos los datos, dando como resultado un 42.8 Q.

Tabla 3.4. Costado derecho de muro del puente punto 1.

▲ CONTADOR DE IMPACTOS	NOMBRE	FECHA Y HORA	VALOR MEDIO	MODO PROMEDIO	VALORES ABERRANTES SUPERIOR	VALORES ABERRANTES INFERIOR	VÁLIDO/ TOTAL	DESV. ÒP.	CURVA DE CONV.	FACTOR DE FORMA	FACTOR DE CARBONATACIÒN																									
3 1851	Costado derecho de muro del puente punto 1	07/02/2015 16:00	Serie no vàlida (395 kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio ASTM	0	0	4/10	110 kg/cm <sup>2</sup>	Curve EU	Cilindro (78%)	0.80																									
			<p><b>Diagrama de valores = Q= (ordenados por medición)</b></p> <table border="1"> <caption>Data for Diagrama de valores = Q=</caption> <thead> <tr> <th>Medición</th> <th>Valor (kg/cm<sup>2</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>53,5</td></tr> <tr><td>2</td><td>57,5</td></tr> <tr><td>3</td><td>65,5</td></tr> <tr><td>4</td><td>47,5</td></tr> <tr><td>5</td><td>56,5</td></tr> <tr><td>6</td><td>42,5</td></tr> <tr><td>7</td><td>59,5</td></tr> <tr><td>8</td><td>43,0</td></tr> <tr><td>9</td><td>59,0</td></tr> <tr><td>10</td><td>37,5</td></tr> </tbody> </table>				Medición	Valor (kg/cm <sup>2</sup> )	1	53,5	2	57,5	3	65,5	4	47,5	5	56,5	6	42,5	7	59,5	8	43,0	9	59,0	10	37,5	<p>VALORES = Q=</p> <p>53,5 57,5 65,5 47,5 56,5 42,5 59,5 43,0 59,0 37,5</p>				<p>ESTADÍSTICAS</p> <p>Mediciones N= 10 Mediciones no validas Ni = 6 ( 60%) Valor medio f= Serie no vàlida (395 kg/ cm<sup>2</sup> (53,8 Q)) Desviación típica s= 110 kg/ cm<sup>2</sup> (4,5 Q)</p> <p>CONFIGURACIÒN</p> <p>Modo promedio Promedio ASTM Curva de conversiòn Curve EU Factor de forma Cilindro (78%) Factor de carbonataciòn 0,80 Unidad kg/ cm<sup>2</sup> Numero de serie SH01-004-0449 Tipo de resorte SilverSchmidt N</p>			
Medición	Valor (kg/cm <sup>2</sup> )																																			
1	53,5																																			
2	57,5																																			
3	65,5																																			
4	47,5																																			
5	56,5																																			
6	42,5																																			
7	59,5																																			
8	43,0																																			
9	59,0																																			
10	37,5																																			
			<p>COMENTARIO (Añadir)</p>																																	

Fuente: El Autor.

Los resultados obtenidos con el esclerómetro en el Costado derecho de muro del puente punto 1, dan como resultado una resistencia de 395 kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación típica de 110 Kg/cm<sup>2</sup>, y un factor de carbonatación de 0.80, en el diagrama de valores, el software del esclerómetro realiza un valor medio de todos los datos, dando como resultado un 53.8 Q

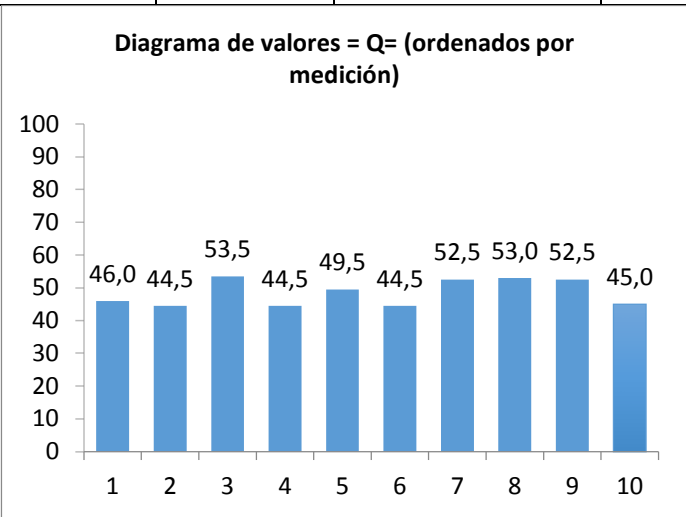
Tabla 3.5 Costado derecho de muro del puente punto 2.

▲ CONTADOR DE IMPACTOS	NOMBRE	FECHA Y HORA	VALOR MEDIO	MODO PROMEDIO	VALORES ABERRANTES SUPERIOR	VALORES ABERRANTES INFERIOR	VÁLIDO/ TOTAL	DESV. ÒP.	CURVA DE CONV.	FACTOR DE FORMA	FACTOR DE CARBONATACIÒN
3 1871	Costado derecho de muro del puente punto 2	07/02/2015 16:00	Serie no valida (380 kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio ASTM	0	0	5/10	93 kg/cm <sup>2</sup>	Curve EU	Cilindro (78%)	0.80
<p><b>Diagrama de valores = Q= (ordenados por medici3n)</b></p> <p>COMENTARIO (Añadir)</p>					<p>VALORES = Q=</p> <p>63,0 58,0 50,0 55,5 49,5 63,5 52,5 43,5 41,0 61,0</p>		<p>ESTADISTICAS</p> <p>Mediciones N= 10 Mediciones no validas Ni = 5 ( 50%) Valor medio f= Serie no valida (380 kg/ cm<sup>2</sup> (53,1 Q)) Desviacion típica s= 93 kg/ cm<sup>2</sup> (3,6 Q)</p> <p>CONFIGURACIÒN</p> <p>Modo promedio Promedio ASTM Curva de conversi3n Curve EU Factor de forma Cilindro (78%) Factor de carbonataci3n 0,80 Unidad kg/ cm<sup>2</sup> Numero de serie SH01-004-0449 Tipo de resorte SilverSchmidt N</p>				

Fuente: El Autor.

Los resultados obtenidos con el escler3metro en el costado derecho de muro del puente punto 2, dan como resultado una resistencia de 380 Kg/cm<sup>2</sup>, con una desviaci3n típica de 93 Kg/cm<sup>2</sup>, y un factor de carbonataci3n de 0.80, en el diagrama de valores, el software del escler3metro realiza un valor medio de todos los datos, dando como resultado un 53.1 Q.

Tabla 3.6. Tablero del puente.

▲ CONTADOR DE IMPACTOS	NOMBRE	FECHA Y HORA	VALOR MEDIO	MODO PROMEDIO	VALORES ABERRANTES SUPERIOR	VALORES ABERRANTES INFERIOR	VÁLIDO/TOTAL	DESV. ÒP.	CURVA DE CONV.	FACTOR DE FORMA	FACTOR DE CARBONATACIÒN																								
3 1891	Tablero del puente	07/02/2015 16:30	300 kg/cm <sup>2</sup>	Promedio ASTM	0	0	10/10	73 kg/cm <sup>2</sup>	Curve EU	Cilindro (83%)	0.85																								
			<p><b>Diagrama de valores = Q= (ordenados por medición)</b></p>  <table border="1"> <caption>Data for Diagrama de valores = Q=</caption> <thead> <tr> <th>Medición</th> <th>Valor (kg/cm<sup>2</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>46,0</td></tr> <tr><td>2</td><td>44,5</td></tr> <tr><td>3</td><td>53,5</td></tr> <tr><td>4</td><td>44,5</td></tr> <tr><td>5</td><td>49,5</td></tr> <tr><td>6</td><td>44,5</td></tr> <tr><td>7</td><td>52,5</td></tr> <tr><td>8</td><td>53,0</td></tr> <tr><td>9</td><td>52,5</td></tr> <tr><td>10</td><td>45,0</td></tr> </tbody> </table>				Medición	Valor (kg/cm <sup>2</sup> )	1	46,0	2	44,5	3	53,5	4	44,5	5	49,5	6	44,5	7	52,5	8	53,0	9	52,5	10	45,0	<p>VALORES = Q=</p> <p>46,0 44,5 53,5 44,5 49,5 44,5 52,5 53,0 52,5 45,0</p>		<p>ESTADÍSTICAS</p> <p>Mediciones N= 10 Mediciones no validas Ni = 0 ( 0%) Valor medio f= 300 kg/ cm<sup>2</sup> (48,6 Q) Desviacion tipica s= 73 kg/ cm<sup>2</sup> (4,0 Q)</p> <p>CONFIGURACIÒN</p> <p>Modo promedio Promedio ASTM Curva de conversiòn Curve EU Factor de forma Cilindro (83%) Factor de carbonataciòn 0,85 Unidad kg/ cm<sup>2</sup> Numero de serie SH01-004-0449 Tipo de resorte SilverSchmidt N</p>				
Medición	Valor (kg/cm <sup>2</sup> )																																		
1	46,0																																		
2	44,5																																		
3	53,5																																		
4	44,5																																		
5	49,5																																		
6	44,5																																		
7	52,5																																		
8	53,0																																		
9	52,5																																		
10	45,0																																		
			<p>COMENTARIO</p> <p>(Añadir)</p>																																

Fuente: El Autor.

Los resultados obtenidos con el esclerómetro en el Tablero del puente, dan como resultado una resistencia de 300 Kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación típica de 73 Kg/cm<sup>2</sup>, y un factor de carbonatación de 0.85, en el diagrama de valores, el software del esclerómetro realiza un valor medio de todos los datos, dando como resultado un 48.6 Q

Tabla 3.7. Bajo del puente en el muro 1 lado izquierdo.

▲ CONTADOR DE IMPACTOS	NOMBRE	FECHA Y HORA	VALOR MEDIO	MODO PROMEDIO	VALORES ABERRANTES SUPERIOR	VALORES ABERRANTES INFERIOR	VÁLIDO/TOTAL	DESV. ÒP.	CURVA DE CONV.	FACTOR DE FORMA	FACTOR DE CARBONATACIÒN																					
3 1901	Bajo del puente en el muro 1 lado izquierdo	07/02/2015 16:30	495 kg/cm <sup>2</sup>	Promedio ASTM	0	0	9/10	85 kg/cm <sup>2</sup>	Curve EU	Cilindro (83%)	0.80																					
			<p><b>Diagrama de valores = Q= (ordenados por medición)</b></p> <table border="1"> <caption>Data for Diagrama de valores = Q=</caption> <thead> <tr> <th>Medición</th> <th>Valor (kg/cm<sup>2</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>54,5</td></tr> <tr><td>2</td><td>61,0</td></tr> <tr><td>3</td><td>56,0</td></tr> <tr><td>4</td><td>60,5</td></tr> <tr><td>5</td><td>53,5</td></tr> <tr><td>6</td><td>57,5</td></tr> <tr><td>7</td><td>50,0</td></tr> <tr><td>8</td><td>56,0</td></tr> <tr><td>9</td><td>60,0</td></tr> <tr><td>10</td><td>59,0</td></tr> </tbody> </table>		Medición	Valor (kg/cm <sup>2</sup> )	1	54,5	2	61,0	3	56,0	4	60,5	5	53,5	6	57,5	7	50,0	8	56,0	9	60,0	10	59,0	<p>VALORES = Q=</p> <p>54,5 61,0 56,0 60,5 53,5 57,5 50,0 56,0 60,0 59,0</p>		<p>ESTADÍSTICAS</p> <p>Mediciones N= 10 Mediciones no validas Ni = 1 ( 10%) Valor medio f= 495 kg/ cm<sup>2</sup> (57,6 Q) Desviacion tipica s= 85 kg/ cm<sup>2</sup> (2,7 Q)</p>		<p>CONFIGURACIÒN</p> <p>Modo promedio Promedio ASTM Curva de conversiòn Curve EU Factor de forma Cilindro (83%) Factor de carbonataciòn 0,80 Unidad kg/ cm<sup>2</sup> Numero de serie SH01-004-0449 Tipo de resorte SilverSchmidt N</p>	
Medición	Valor (kg/cm <sup>2</sup> )																															
1	54,5																															
2	61,0																															
3	56,0																															
4	60,5																															
5	53,5																															
6	57,5																															
7	50,0																															
8	56,0																															
9	60,0																															
10	59,0																															
			<p>COMENTARIO (Añadir)</p>																													

Fuente: El Autor.

Los resultados obtenidos con el esclerómetro Bajo del puente en el muro 1 lado izquierdo, dan como resultado una resistencia de 495 Kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación típica de 85 Kg/cm<sup>2</sup>, y un factor de carbonatación de 0.80, en el diagrama de valores, el software del esclerómetro realiza un valor medio de todos los datos, dando como resultado un 57.6 Q

Tabla 3.8. Bajo del puente en el muro 1 lado derecho.

▲ CONTADOR DE IMPACTOS	NOMBRE	FECHA Y HORA	VALOR MEDIO	MODO PROMEDIO	VALORES ABERRANTES SUPERIOR	VALORES ABERRANTES INFERIOR	VÁLIDO/ TOTAL	DESV. ÒP.	CURVA DE CONV.	FACTOR DE FORMA	FACTOR DE CARBONATACIÒN																						
Σ 1911	Bajo del puente en el muro 1 lado derecho	07/02/2015 16:30	495 kg/cm <sup>2</sup>	Promedio ASTM	0	0	10/10	100 kg/cm <sup>2</sup>	Curve EU	Cilindro (83%)	0.80																						
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center;"><b>Diagrama de valores = Q= (ordenados por medición)</b></p> <table border="1"> <caption>Data for Diagrama de valores = Q=</caption> <thead> <tr> <th>Medición</th> <th>Valor (kg/cm<sup>2</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>53,5</td></tr> <tr><td>2</td><td>56,5</td></tr> <tr><td>3</td><td>59,5</td></tr> <tr><td>4</td><td>63,5</td></tr> <tr><td>5</td><td>59,0</td></tr> <tr><td>6</td><td>55,5</td></tr> <tr><td>7</td><td>54,5</td></tr> <tr><td>8</td><td>60,5</td></tr> <tr><td>9</td><td>58,5</td></tr> <tr><td>10</td><td>55,5</td></tr> </tbody> </table> </div> <div style="width: 50%;"> <p><b>VALORES = Q=</b></p> <p>53,5 56,5 59,5 63,5 59,0 55,5 54,5 60,5 58,5 55,5</p> <p><b>ESTADÍSTICAS</b></p> <p>Mediciones N= 10 Mediciones no validas Ni = 0 ( 0%) Valor medio f= 495 kg/ cm<sup>2</sup> (57,7 Q) Desviacion tipica s= 100 kg/ cm<sup>2</sup> (3,1 Q)</p> <p><b>CONFIGURACIÒN</b></p> <p>Modo promedio Promedio ASTM Curva de conversiòn Curve EU Factor de forma Cilindro (83%) Factor de carbonataciòn 0,80 Unidad kg/ cm<sup>2</sup> Numero de serie SH01-004-0449 Tipo de resorte SilverSchmidt N</p> </div> </div> <p style="text-align: center;"><b>COMENTARIO</b> (Añadir)</p>												Medición	Valor (kg/cm <sup>2</sup> )	1	53,5	2	56,5	3	59,5	4	63,5	5	59,0	6	55,5	7	54,5	8	60,5	9	58,5	10	55,5
Medición	Valor (kg/cm <sup>2</sup> )																																
1	53,5																																
2	56,5																																
3	59,5																																
4	63,5																																
5	59,0																																
6	55,5																																
7	54,5																																
8	60,5																																
9	58,5																																
10	55,5																																

Fuente: El Autor.

Los resultados obtenidos con el esclerómetro Bajo del puente en el muro 1 lado derecho, emiten una resistencia de 495 Kg/cm<sup>2</sup>, desviación típica de 100 Kg/cm<sup>2</sup>, factor de carbonatación de 0.80, en el diagrama de valores, el valor medio de todos los datos, dando como resultado un 57.7Q.



Tabla 3.9. Bajo del puente en el muro 2 lado derecho.

▲ CONTADOR DE IMPACTOS	NOMBRE	FECHA Y HORA	VALOR MEDIO	MODO PROMEDIO	VALORES ABERRANTES SUPERIOR	VALORES ABERRANTES INFERIOR	VÁLIDO/TOTAL	DESV. ØP.	CURVA DE CONV.	FACTOR DE FORMA	FACTOR DE CARBONATACIÒN																						
Σ 1921	Bajo del puente en el muro 2 lado derecho	07/02/2015 16:30	360 kg/cm <sup>2</sup>	Promedio ASTM	0	0	9/10	75 kg/cm <sup>2</sup>	Curve EU	Cilindro (81%)	0.80																						
<p><b>Diagrama de valores = Q= (ordenados por medición)</b></p> <table border="1"> <caption>Data for Diagrama de valores = Q=</caption> <thead> <tr> <th>Medición</th> <th>Valor (kg/cm<sup>2</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>53,5</td></tr> <tr><td>2</td><td>44,5</td></tr> <tr><td>3</td><td>51,5</td></tr> <tr><td>4</td><td>56,0</td></tr> <tr><td>5</td><td>55,5</td></tr> <tr><td>6</td><td>46,5</td></tr> <tr><td>7</td><td>52,0</td></tr> <tr><td>8</td><td>52,0</td></tr> <tr><td>9</td><td>53,5</td></tr> <tr><td>10</td><td>52,5</td></tr> </tbody> </table>					Medición	Valor (kg/cm <sup>2</sup> )	1	53,5	2	44,5	3	51,5	4	56,0	5	55,5	6	46,5	7	52,0	8	52,0	9	53,5	10	52,5	<p>VALORES = Q=</p> <p>53,5 44,5 51,5 56,0 55,5 46,5 52,0 52,0 53,5 52,5</p>		<p>ESTADÍSTICAS</p> <p>Mediciones N= 10 Mediciones no validas Ni = 1 ( 10%) Valor medio f= 360 kg/ cm<sup>2</sup> (52,6 Q) Desviacion tipica s= 75 kg/ cm<sup>2</sup> (2,8 Q)</p> <p>CONFIGURACIÒN</p> <p>Modo promedio Promedio ASTM Curva de conversiòn Curve EU Factor de forma Cilindro (81%) Factor de carbonataciòn 0,80 Unidad kg/ cm<sup>2</sup> Numero de serie SH01-004-0449 Tipo de resorte SilverSchmidt N</p>				
Medición	Valor (kg/cm <sup>2</sup> )																																
1	53,5																																
2	44,5																																
3	51,5																																
4	56,0																																
5	55,5																																
6	46,5																																
7	52,0																																
8	52,0																																
9	53,5																																
10	52,5																																
<p>COMENTARIO (Añadir)</p>																																	

Fuente: El Autor.

Resultados obtenidos con el esclerómetro Bajo del puente en el muro 2 lado derecho, arrojan una resistencia de 360 Kg/cm<sup>2</sup>, desviación típica de 75 Kg/cm<sup>2</sup>, factor de carbonatación de 0.80, el diagrama de valores realiza un valor medio de todos los datos 52.6Q.

Tabla 3.10. Bajo del puente en el muro 2 lado derecho.

▲ CONTADOR DE IMPACTOS	NOMBRE	FECHA Y HORA	VALOR MEDIO	MODO PROMEDIO	VALORES ABERRANTES SUPERIOR	VALORES ABERRANTES INFERIOR	VÀLIDO/ TOTAL	DESV. ÒP.	CURVA DE CONV.	FACTOR DE FORMA	FACTOR DE CARBONATACIÒN																					
3 1831	Bajo del puente en el muro 2 lado izquierdo	07/02/2015 16:30	455 kg/cm <sup>2</sup>	Promedio ASTM	0	0	8/10	73 kg/cm <sup>2</sup>	Curve EU	Cilindro (80%)	0.80																					
			<p><b>Diagrama de valores = Q= (ordenados por medición)</b></p> <table border="1"> <caption>Data for Diagrama de valores = Q=</caption> <thead> <tr> <th>Medición</th> <th>Valor (kg/cm<sup>2</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>55,5</td></tr> <tr><td>2</td><td>58,5</td></tr> <tr><td>3</td><td>53,0</td></tr> <tr><td>4</td><td>52,5</td></tr> <tr><td>5</td><td>54,5</td></tr> <tr><td>6</td><td>48,5</td></tr> <tr><td>7</td><td>54,0</td></tr> <tr><td>8</td><td>60,0</td></tr> <tr><td>9</td><td>57,5</td></tr> <tr><td>10</td><td>66,5</td></tr> </tbody> </table>				Medición	Valor (kg/cm <sup>2</sup> )	1	55,5	2	58,5	3	53,0	4	52,5	5	54,5	6	48,5	7	54,0	8	60,0	9	57,5	10	66,5	<p><b>ESTADÍSTICAS</b></p> <p>Mediciones N= 10  Mediciones no validas Ni = 2 ( 20%)  Valor medio f= 455 kg/ cm<sup>2</sup> (55,7 Q)  Desviacion típica s= 73 kg/ cm<sup>2</sup> (2,7 Q)</p> <p><b>CONFIGURACIÒN</b></p> <p>Modo promedio Promedio ASTM  Curva de conversiòn Curve EU  Factor de forma Cilindro (80%)  Factor de carbonataciòn 0,80  Unidad kg/ cm<sup>2</sup>  Numero de serie SH01-004-0449  Tipo de resorte SilverSchmidt N</p>			
Medición	Valor (kg/cm <sup>2</sup> )																															
1	55,5																															
2	58,5																															
3	53,0																															
4	52,5																															
5	54,5																															
6	48,5																															
7	54,0																															
8	60,0																															
9	57,5																															
10	66,5																															
			<p><b>COMENTARIO</b> (Añadir)</p>																													

Fuente: El Autor.

Los resultados obtenidos con el esclerómetro Bajo del puente en el muro 2 lado izquierdo, dan como resultado una resistencia de 455 Kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación típica de 73 Kg/cm<sup>2</sup>, y un factor de carbonatación de 0.80, en el diagrama de valores, el software del esclerómetro realiza un valor medio de todos los datos, dando como resultado un 55.7Q.

Tabla 3.11. Costado de pasamanos del puente punto 1.

▲ CONTADOR DE IMPACTOS	NOMBRE	FECHA Y HORA	VALOR MEDIO	MODO PROMEDIO	VALORES ABERRANTES SUPERIOR	VALORES ABERRANTES INFERIOR	VÁLIDO/ TOTAL	DESV. ÒP.	CURVA DE CONV.	FACTOR DE FORMA	FACTOR DE CARBONATACIÒN																						
Σ 1951	Costado derecho de pasamanos del puente punto 1	07/02/2015 16:40	165 kg/cm <sup>2</sup>	Promedio ASTM	0	0	9/10	28 kg/cm <sup>2</sup>	Curve EU	Cilindro (80%)	0.50																						
<p><b>Diagrama de valores = Q= (ordenados por medición)</b></p> <table border="1"> <caption>Data for Diagrama de valores = Q=</caption> <thead> <tr> <th>Medición</th> <th>Valor (kg/cm<sup>2</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>48,0</td></tr> <tr><td>2</td><td>48,5</td></tr> <tr><td>3</td><td>46,0</td></tr> <tr><td>4</td><td>49,0</td></tr> <tr><td>5</td><td>48,0</td></tr> <tr><td>6</td><td>55,0</td></tr> <tr><td>7</td><td>45,5</td></tr> <tr><td>8</td><td>45,0</td></tr> <tr><td>9</td><td>44,5</td></tr> <tr><td>10</td><td>59,0</td></tr> </tbody> </table>					Medición	Valor (kg/cm <sup>2</sup> )	1	48,0	2	48,5	3	46,0	4	49,0	5	48,0	6	55,0	7	45,5	8	45,0	9	44,5	10	59,0	<p><b>VALORES = Q=</b></p> <p>48,0 48,5 46,0 49,0 48,0 55,0 45,5 45,0 44,5 59,0</p>		<p><b>ESTADÍSTICAS</b></p> <p>Mediciones N= 10 Mediciones no validas Ni = 1 ( 10%) Valor medio f= 165 kg/ cm<sup>2</sup> (47,7 Q) Desviacion típica s= 28 kg/ cm<sup>2</sup> (3,2 Q)</p> <p><b>CONFIGURACIÒN</b></p> <p>Modo promedio Promedio ASTM Curva de conversiòn Curve EU Factor de forma Cilindro (80%) Factor de carbonataciòn 0,50 Unidad kg/ cm<sup>2</sup> Numero de serie SH01-004-0449 Tipo de resorte SilverSchmidt N</p>				
Medición	Valor (kg/cm <sup>2</sup> )																																
1	48,0																																
2	48,5																																
3	46,0																																
4	49,0																																
5	48,0																																
6	55,0																																
7	45,5																																
8	45,0																																
9	44,5																																
10	59,0																																

Fuente: El Autor.

Los resultados obtenidos con el esclerómetro en el Costado derecho de pasamanos del puente punto 1, dan como resultado una resistencia de 165 Kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación típica de 28 Kg/cm<sup>2</sup>, y un factor de carbonatación de 0.50, en el diagrama de valores, el software del esclerómetro realiza un valor medio de todos los datos, dando como resultado un 47.7 Q.

Tabla 3.12. Costado de pasamanos del puente punto 2.

▲ CONTADOR DE IMPACTOS	NOMBRE	FECHA Y HORA	VALOR MEDIO	MODO PROMEDIO	VALORES ABERRANTES SUPERIOR	VALORES ABERRANTES INFERIOR	VÁLIDO/ TOTAL	DESV. ÒP.	CURVA DE CONV.	FACTOR DE FORMA	FACTOR DE CARBONATACIÒN																									
Σ 1961	Costado derecho de pasamanos del puente punto 2	07/02/2015 16:40	170 kg/cm <sup>2</sup>	Promedio ASTM	0	0	10/10	25 kg/cm <sup>2</sup>	Curve EU	Cilindro (80%)	0.50																									
			<p><b>Diagrama de valores = Q= (ordenados por medición)</b></p> <table border="1"> <caption>Data for Diagrama de valores = Q=</caption> <thead> <tr> <th>Medición</th> <th>Valor (kg/cm<sup>2</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>47,5</td></tr> <tr><td>2</td><td>46,5</td></tr> <tr><td>3</td><td>43,0</td></tr> <tr><td>4</td><td>49,0</td></tr> <tr><td>5</td><td>53,0</td></tr> <tr><td>6</td><td>50,5</td></tr> <tr><td>7</td><td>46,5</td></tr> <tr><td>8</td><td>48,0</td></tr> <tr><td>9</td><td>51,0</td></tr> <tr><td>10</td><td>48,0</td></tr> </tbody> </table>				Medición	Valor (kg/cm <sup>2</sup> )	1	47,5	2	46,5	3	43,0	4	49,0	5	53,0	6	50,5	7	46,5	8	48,0	9	51,0	10	48,0	<p><b>VALORES = Q=</b></p> <p>47,5 46,5 43,0 49,0 53,0 50,5 46,5 48,0 51,0 48,0</p>				<p><b>ESTADÍSTICAS</b></p> <p>Mediciones N= 10 Mediciones no validas Ni = 0 ( 0%) Valor medio f= 170 kg/ cm<sup>2</sup> (48,3 Q) Desviacion tipica s= 25 kg/ cm<sup>2</sup> (2,8 Q)</p> <p><b>CONFIGURACIÒN</b></p> <p>Modo promedio Promedio ASTM Curva de conversiòn Curve EU Factor de forma Cilindro (80%) Factor de carbonataciòn 0,50 Unidad kg/ cm<sup>2</sup> Numero de serie SH01-004-0449 Tipo de resorte SilverSchmidt N</p>			
Medición	Valor (kg/cm <sup>2</sup> )																																			
1	47,5																																			
2	46,5																																			
3	43,0																																			
4	49,0																																			
5	53,0																																			
6	50,5																																			
7	46,5																																			
8	48,0																																			
9	51,0																																			
10	48,0																																			
			<p><b>COMENTARIO</b> (Añadir)</p>																																	

Fuente: El Autor.

Los resultados obtenidos del Costado derecho de pasamanos del puente punto 2, arroja como resultado el esclerómetro una resistencia del hormigón de 170 Kg/cm<sup>2</sup>, con una desviación típica de 25 Kg/cm<sup>2</sup>, y un factor de carbonatación de 0.50, en el diagrama de valores, el software del esclerómetro realiza una media de todos los datos, dando como resultado un 48.3 Q.

### 3.5. ENSAYO PARA DETERMINAR LA ALCALINIDAD DEL HORMIGÓN (CARBONATO DE CALCIO Y PH).

#### PREPARACIÓN.

Se extrajeron muestras del puente, ver Figura 3.9, con el fin de estudiar la alcalinidad del hormigón de la estructura, las muestras fueron limpiadas y llevadas al laboratorio de suelos y hormigón “Bolívar Ortiz” de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, para posteriormente pulverizar las caras externas de los pasamanos, estribos y vigas, utilizando una lija y receptor las partículas en un recipiente ver Figura 3.10.

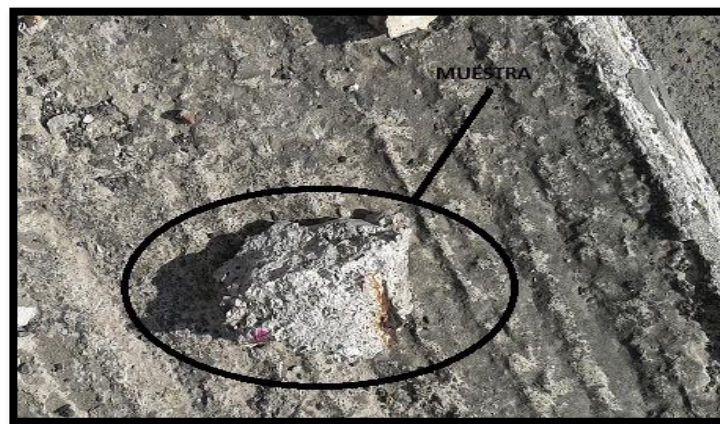


Figura 3.9. Extracción de muestras del puente.

Fuente: El Autor



Figura 3.10. Pulverización de la muestra.

Fuente: El Autor

Luego se llevó el material para proceder con el ensayo al laboratorio de CE.SE.C.CA (Centro de Servicios para el Control de Calidad) de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, para su análisis.

Se realizó el análisis químico para determinar la alcalinidad del hormigón en el Puente, mediante el siguiente método:

Tabla 3.13. Método para determinar la alcalinidad.

<b>ENSAYO</b>	<b>MÉTODO</b>
ALCALINIDAD	PEE/CESECCA/QC/21 STANDARD METHOD

Fuente: CE.SE.C.CA.

Ver RESULTADO EN ANEXO B y C

### 3.6. RESULTADO DEL ENSAYO DE LA ALCALINIDAD DEL HORMIGÓN (CARBONATO DE CALCIO Y PH).

Tabla 3.14. Resultado del ensayo de alcalinidad.

ENSAYO	LOTE	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA (K=2)	LÍMITES	MÉTODO
Carbonato de calcio CaCO <sub>3</sub>	Muestra compuesta del PUENTE RIO CAÑA	mg/l	2.05	-	-	PEE/CESECCA/QC/21 STANDARD METHOD
pH	Muestra compuesta del PUENTE RIO CAÑA	-	8,5	-	-	PEE/CESECCA/QC/21 STANDARD METHOD

Fuente: CE.SE.C.CA

Se realiza el ensayo de la alcalinidad del hormigón, a una muestra compuesta del puente y mediante el método PEE/CESECCA/QC/21 STANDARD METHOD. Se observa un resultado del 2.05 mg/l de carbonato de calcio en la estructura del puente, y un 8,5 en el pH en el hormigón.

### 3.7. ENSAYO PARA DETERMINAR LA HUMEDAD DEL HORMIGÓN.

#### Preparación.

Luego de la recolección de las muestras, rápidamente se la ubicó en un sitio seguro, evitando que tenga contacto con los rayos del sol o agentes externos, y se la trasladó al laboratorio de suelos y hormigón “Bolívar Ortiz” de la Escuela de Ingeniería Civil de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, para proceder con la trituration del material ver Figura 3.11. Posteriormente se recogió la muestra en un recipiente y fue llevado al laboratorio de CE.SE.C.CA (Centro de Servicios para el Control de Calidad) de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.



Figura 3.11. Trituración de las muestras

Fuente: El Autor

Se realizó el análisis químico para determinar la humedad del hormigón en el puente, mediante el siguiente método:

Tabla 3.15. Método para determinar la humedad.

ENSAYO	MÉTODO
HUMEDAD	PEE/CESECCA/QC/12 Método de Referencia AOAC Ed 19,2012 Cap.4.1.03.934.01 Instrucciones del Analizador de Humedad MA 30

Fuente: CE.SE.C.CA.

Ver RESULTADO EN ANEXO D



### 3.8. RESULTADO DEL ENSAYO DE LA HUMEDAD DEL HORMIGÓN.

Tabla 3.16. Resultado del ensayo para determinar la humedad.

ENSAYO	LOTE	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA (K=2)	LIMITES	MÉTODO
Humedad	Muestra compuesta del PUENTE RIO CAÑA	%	11.4	-	-	PEE/CESECCA/QC /12 Método de Referencia AOAC Ed 19,2012 Cap.4.1.03.934.01 Instrucciones del Analizador de Humedad MA 30

Fuente: CE.SE.C.CA

Mediante el ensayo de humedad del hormigón que se realiza en una muestra compuesta del puente Rio Caña, se determinó por el método PEE/CESECCA/QC/12 Método de Referencia AOAC Ed 19,2012 Cap.4.1.03.934.01 Instrucciones del Analizador de Humedad MA 30, que cuenta con una humedad del 11.4%. Conclusión: es muy perjudicial tener humedad en el hormigón y este mezclarse con el CO<sub>2</sub>, dan presencia a carbonatos de calcio ya antes mencionado con el ensayo anterior, pero es imperativo mencionar este punto; ya que todo, es un conglomerado para que se produzca la carbonatación.

### 3.9. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE.

Se tomaron datos de distintas humedades relativas, durante los meses de Octubre del 2014 a Marzo del 2015, brindando una realidad del ambiente en que se encuentra el puente.

#### Preparación.

Se utilizó dos termómetros comunes, uno para determinar el bulbo seco y otro para determinar el bulbo húmedo.

#### Método.

Para determinar el bulbo seco, solo se requiere de la temperatura que arroja normalmente un termómetro, mientras que para el bulbo húmedo se humedeció un algodón cubriendo el bulbo del termómetro. Una vez contando con los resultados del bulbo seco y húmedo, se realiza una resta de los bulbos y mediante una tabla, VER ANEXO E, se puede determinar la humedad relativa del aire.

Tabla 3.17. Temperaturas del bulbo seco durante el mes de octubre.

SEMANA	TEMPERATURA °C
1	26
2	25 MIN
3	26
4	28 MAX

Fuente: El Autor.

Tabla 3.18. Temperaturas del bulbo húmedo durante el mes de octubre.

SEMANA	TEMPERATURA °C
1	23
2	18 MIN
3	24
4	28 MAX

Fuente: El Autor.

Tabla 3.19. Promedio de temperaturas del bulbo seco y húmedo durante el mes de octubre.

BULBO SECO °C	BULBO HÚMEDO °C
26	23,5

Fuente: El Autor.

Tabla 3.20. Temperaturas del bulbo seco durante el mes de noviembre.

SEMANA	TEMPERATURA °C	
1	27	MAX
2	25	MIN
3	26	
4	26	

Fuente: El Autor.

Tabla 3.21. Temperaturas del bulbo húmedo durante el mes de noviembre.

SEMANA	TEMPERATURA °C	
1	19,5	MIN
2	25	MAX
3	23	
4	22	

Fuente: El Autor.

Tabla 3.22. Promedio de temperaturas del bulbo húmedo durante el mes de noviembre.

BULBO SECO °C	BULBO HÚMEDO °C
26	22,5

Fuente: El Autor.

Tabla 3.23. Temperaturas del bulbo seco durante el mes de diciembre.

SEMANA	TEMPERATURA °C	
1	26	MIN
2	27	MAX
3	26	
4	26	

Fuente: El Autor.

Tabla 3.24. Promedio de temperaturas del bulbo húmedo durante el mes de noviembre.

SEMANA	TEMPERATURA °C	
1	21	
2	27	MAX
3	17,5	MIN
4	25	

Fuente: El Autor.

Tabla 3.25. Promedio de temperaturas del bulbo húmedo durante el mes de diciembre.

BULBO SECO °C	BULBO HÚMEDO °C
26	22,6

Fuente: El Autor.

Tabla 3.26. Temperaturas del bulbo seco durante el mes de enero.

SEMANA	TEMPERATURA °C
1	25 MIN
2	28 MAX
3	27
4	26

Fuente: El Autor.

Tabla 3.27. Promedio de temperaturas del bulbo húmedo durante el mes de enero.

SEMANA	TEMPERATURA °C
1	17,5 MIN
2	22
3	25
4	26 MAX

Fuente: El Autor.

Tabla 3.28. Promedio de temperaturas del bulbo húmedo durante el mes de enero.

BULBO SECO °C	BULBO HÚMEDO °C
26	22,6

Fuente: El Autor.

Tabla 3.29. Temperaturas del bulbo seco durante el mes de febrero.

SEMANA	TEMPERATURA °C
1	28
2	26 MIN
3	30 MAX
4	29

Fuente: El Autor.

Tabla 3.30. Promedio de temperaturas del bulbo húmedo durante el mes de febrero.

SEMANA	TEMPERATURA °C
1	21
2	16,5 MIN
3	22
4	28 MAX

Fuente: El Autor.

Tabla 3.31. Promedio de temperaturas del bulbo húmedo durante el mes de febrero.

BULBO SECO °C	BULBO HÚMEDO °C
28	24

Fuente: El Autor.

### 3.10. RESULTADOS DE LA HUMEDAD RELATIVA.

Tabla 3.32. Resultado del ensayo para determinar la humedad relativa del ambiente.

	MEDIA	MIN	MAX
octubre	80	48	100
noviembre	75	47	100
diciembre	74	40	100
enero	74	45	100
febrero	70	33	92

Fuente: El Autor.

La humedad relativa durante los meses de octubre a marzo, alcanzó un porcentaje mínimo de 33% y una máxima de 100%, teniendo en cuenta que al llegar al 100% la humedad relativa, es porque ya no cabe más vapor en el aire y por consiguiente se hace líquido este vapor, siendo muy perjudicial para el hormigón.

En conclusión estos valores de humedad relativa están dentro del rango para que se produzca la carbonatación.

### 3.11. RESULTADOS PORCENTAJE DE DAÑO DEL PUENTE IN SITU.

Tabla 3.33. Resultados de porcentaje de daño del puente in situ.

ELEMENTOS	PORCENTAJE DE IMPORTANCIA DE CADA ELEMENTO EN LA ESTRUCTURA	GRADO DE AFECTACIÓN DE LOS ELEMENTOS A CAUSA DE LA CARBONATACIÓN	PONDERADO DE LOS DAÑOS.
Cimentación	35%	0%	0%
Estribos	20%	5%	1%
Vigas	25%	10%	2.50%
Tablero	15%	10%	1.50%
Pasamanos	5%	80%	4%
	<b>100%</b>		<b>9%</b>

Fuente: El Autor.

Se citan los elementos estructurales a estudiar y dependiendo de su función en la estructura, se le asigna un porcentaje de importancia; mediante inspección visual se le asigna un grado de afectación por cada elemento y de acuerdo con el porcentaje de importancia y de afectación, se saca un promedio ponderado del daño, elemento por elemento. Luego se realiza una sumatoria total, dando como resultado un 9% de daño en la estructura a nivel global, dando como conclusión que es posible una reparación de los daños del puente.

### 3.12. EVALUACIÓN DE LA VELOCIDAD DE CARBONATACIÓN.

Según, La EHE (2008), sugiere la siguiente ecuación para determinar la velocidad de la carbonatación: VER ANEXO F.

$$t = (d/Kc)^2 \quad \text{ec.3.1}$$

Donde:

d= Profundidad en mm

t= Tiempo en años

El coeficiente de carbonatación Kc puede obtenerse como:

$$Kc = C_{ENV} * C_{air} * a * F_{cm}^b$$

Donde:

$F_{cm}$  = Resistencia media del hormigón a compresión en N/mm<sup>2</sup> que puede estimarse a través de la resistencia media específica ( $F_{ck}$ ).

$$F_{cm} = F_{ck} + 8$$

$C_{env}$  = Coeficiente de ambiente, según la tabla A.9.1 del ANEXO F

$C_{air}$  = Coeficiente de aireantes, según la tabla A.9.2 del ANEXO F

$a, b$  = Parámetros en función del tipo de conglomerantes, según la tabla A.9.3 del ANEXO F

### **Desarrollo.**

$$F_{cm} = F_{ck} + 8$$

$$F_{cm} = 27.45862 + 8$$

$$F_{cm} = 35.45862$$

$$K_c = 0.5 * 1 * 1800 * 35.45862^{-1.7}$$

$$K_c = 2.087927428$$

$$t = (8 / 2.087927428)^2$$

$$t = 14.3150607 \text{ años}$$

Según la ecuación de la EHE. Se estima que para un tiempo de 14 años, el Puente Rio Caña, debería tener una profundidad de carbonatación de 8mm, lo cual no tiene que ver con la realidad; ya que, el recubrimiento en algunas partes del puente está totalmente destruido a causa de esta patología.

### **3.13. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.**

Para analizar el puente Rio Caña, se deben presentar las causas que afectan al deterioro de la estructura, tanto al hormigón como al acero de refuerzo.

Estas causas fueron anteriormente mencionadas a lo largo de los capítulos de esta investigación; y consisten en las observaciones visuales, la ubicación de los elementos estructurales, la carbonatación en el hormigón, la basicidad o alcalinidad, humedad; resistencias presentes en el hormigón de los elementos estructurales, la humedad relativa del ambiente y el porcentaje de daño de la estructura.

Como se citó, la inspección visual ayuda en un alto grado para saber el estado de deterioro de la estructura. Se incorporó a esta investigación la información que pudo ser almacenada, previamente a las visitas al lugar de estudio. La escasa información con respecto a la construcción del puente, limita hacer un seguimiento del deterioro del puente. Con la inspección visual, se observa en la estructura, el desprendimiento del revestimiento de hormigón y corrosión en el acero de refuerzo; a causa de que el recubrimiento está por debajo del espesor, recomendado para para este tipo de construcciones, según la Norma Ecuatoriana de la Construcción, (2011). Actualmente se

utilizan recubrimientos de 5 cm como mínimo, este tipo de recubrimientos brindan protección al acero de refuerzo impidiendo que tenga contacto con el medio ambiente. En partes de la estructura donde hay evidencia de corrosión se puede notar el desprendimiento del hormigón. Justamente en estas partes la carbonatación se torna más peligrosa acelerando el proceso corrosivo. Con los datos correspondientes y ratificados en el lugar de estudio, que la cercanía del mar al puente afecta a toda la estructura, y en mayor magnitud a la cara izquierda del puente, por recibir de frente los vientos marinos y salpicaduras del mar cuando hay marea alta.

Igualmente, se debe considerar los resultados de la carbonatación; se observa que existe carbonatación en la estructura del puente a causa de la penetración del  $\text{CO}_2$  al interior del hormigón, situación que desencadena que el pH descienda en el hormigón, haya llegado al acero de refuerzo causando la corrosión en el acero de refuerzo como se muestra en la Figura 3.6.

Continuando y analizando los resultados del esclerómetro muestran una particularidad que el lado izquierdo del pasamanos del puente, tiene una resistencia más baja que el lado derecho; mientras que en el resto de los elementos de la estructura en el lado derecho tiene mayor resistencia, esto se debe a que la penetración del  $\text{CO}_2$  se da de manera directa en la parte izquierda, donde la parte más desprotegida son los pasamanos. En los estribos y vigas se resalta una mayor resistencia, en estos elementos estructurales cabe resaltar que se evaluaron en dos puntos del mismo elemento variando en sus resistencias en un porcentaje bajo.

A esto se le suma a los resultados de alcalinidad en el hormigón que muestran que existen carbonatos de calcio en el hormigón, producto de la reacción química entre el  $\text{CO}_2$  y el hidróxido de calcio, este último compuesto presente en el cemento fabricado. Este resultado confirma la carbonatación en el hormigón. Además, los resultados del pH del hormigón, muestran un valor del 8,5 en su basicidad; este valor indica que se reduce la protección del hormigón al acero de refuerzo. En el ensayo de humedad del hormigón, confirman que existe humedad y convirtiéndose en otra vía de transporte del  $\text{CO}_2$  y causar carbonatación y corrosión del acero de refuerzo.

En este estudio se identificaron humedades relativas con valores entre el 33% y 100%. Durante los meses de octubre del 2014 a febrero 2015.

Los resultados del porcentaje de daño del puente dados por la inspección visual a la estructura, hacen un ponderado del daño por cada elemento; siendo el pasamano el elemento con mayor grado de afectación de toda la estructura y a manera global se



encuentra un 9% total de daño, siendo posible una reparación del puente. Según la ecuación de la EHE, para determinar la profundidad de carbonatación, para un tiempo de 14 años, la edad del Puente Río Caña; se debería tener 8mm de profundidad de carbonatación. En teoría este resultado debería ser el óptimo, pero en realidad la profundidad llega hasta el acero de refuerzo consumiendo todo el recubrimiento en los pasamanos y la parte lateral de los estribos que se localizan frente al mar. También parte del tablero se encuentra sin recubrimiento evidenciando corrosión en el acero de refuerzo.

### **3.14. PROPUESTA DE SOLUCIÓN.**

Basado en el análisis de la carbonatación en el puente Río Caña se propone lo siguiente: Reconstruir los pasamanos (izquierdo y derecho) o reemplazarlo por completo con acero galvanizado, debido al mal estado que presenta y la inseguridad que ocasiona a los peatones que transitan por el puente; limpiar el óxido del acero de refuerzo en partes del puente como: los estribos, el tablero y las vigas del puente; despojar los estribos de todo material orgánico proveniente de la flora del lugar; realizar un revestimiento en el tablero, vigas y estribos. Luego de haber ejecutado la propuesta de solución, realizar un mantenimiento rutinario a la estructura.

### **3.14. CONCLUSIONES.**

1. La prueba cualitativa de la fenolftaleína, brinda resultados rápidos y sencillos en un lapso corto de tiempo, para tener una idea preliminar de la patología.
2. Existe un descenso en la resistencia del hormigón del puente, a causa de la carbonatación.
3. Existe la posibilidad de reparación, ya que el porcentaje de daño del puente no es considerable.
4. Los parámetros físicos y químicos, datan valores que contribuyen a la carbonatación y por ende acortar la vida útil del puente.

### **3.15. RECOMENDACIONES.**

1. Incorporar pruebas no destructivas para medir el grado de carbonatación en el hormigón.
2. Adquirir el equipo GECOR 8, para determinar el avance de la corrosión en el acero de refuerzo.
3. Capacitar a estudiantes y profesionales de Ingeniería civil, arquitectura y afines a la construcción sobre el manejo del esclerómetro, para obtener mayor exactitud en los resultados.
4. Emplear para el revestimiento, un producto de las siguientes características: elástico, monocomponente a base de agua, pigmentado, formulado con polímeros acrílicos de altas prestaciones.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Andrade, M. D. C. (1992). Corrosión de armaduras y su inspección en hormigones de cemento aluminoso. En *Informes de la Construcción*. Consultado 20 de Enero de 2015. Disponible en <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/1303/1386>
2. Castañeda, A. (2014). Influencia de la agresividad corrosiva en el deterioro de cuatro estructuras de la Habana. En *La Revista Cubana de la Construcción*. Consultado 15 de Febrero del 2015. Disponible en [http://www.unaicc.cu/biblioteca/revistas/obras/06/Ciencia\\_%20Tecnica.htm](http://www.unaicc.cu/biblioteca/revistas/obras/06/Ciencia_%20Tecnica.htm).
3. Certificación, A. E. D. N. Y. (2008). Instrucción Española de Hormigón Estructural. EHE-2008. Madrid, España.
4. Chávez, A. y Unquen, A. (2011). *Método de evaluación de patologías en edificaciones de hormigón armado en Punta arenas*. Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Universidad de Magallanes, Chile.
5. De la Norma Ecuatoriana, C. E. (2011). De la Construcción. Norma Ecuatoriana de la construcción.
6. Escalante, D. (2010). *Durabilidad del concreto armado en viviendas de zonas costeras por acción del medio ambiente en la Conurbación Barcelona, Lechería, Puerto la Cruz y Guanta del Estado Anzoátegui*. Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Universidad de Oriente, Venezuela.
7. García, I. G. (2011). *Carbonatación del hormigón: combinación de CO<sub>2</sub> con las fases hidratadas del cemento y frente de cambio de pH*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Complutense de Madrid, España.

8. Gaspar-Tebar, D., & Plaza, M. M. (1977). Acción del CO<sub>2</sub> sobre un cemento portland I. Influencia sobre las características químicas y fisicomecánicas. *Materiales de construcción*, (165), 37-54.
9. González, J. (2010). *Protección frente a la corrosión metálica con recubrimientos poliméricos: estudio electroquímico y microelectroquímico*, Facultad de Ingeniería, Universidad de la Laguna, España.
10. Hugo, B. V., Pérez, H., & Sandoval, R. (2003). *La carbonatación en edificios de Santiago. Publicado por admin en XIV Jornadas*.
11. Montani, R. (2000). La carbonatación, enemigo olvidado del concreto. En *Revista Construcción y Tecnología*. Consultado el 15 de febrero del 2015. Disponible en <http://www.imcyc.com/revista/2000/dic2000/carbonatacion.htm>.
12. Moreno, S. (2010). *Determinación de la profundidad de carbonatación y penetración de cloruros mediante experimentación empleando: Procesos de difusión térmica en varios diseños de hormigón*. Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador.
13. Olaya Núñez, W. B., & Peña Estrella, J. (2012). *Implementación de un equipo de campo para análisis cinético y electroquímico en hormigón armado*. Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador.
14. Paredes, J., Prieto, J., & Santos, E. (2013). *Corrosión del acero en elementos de hormigón armado: vigas y columnas*. Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Ecuador.
15. Santiago Hurtado, G. (2010). *Determinación del nivel de corrosión y perfil de carbonatación en vigas de concreto reforzado con 3 años de exposición al medio ambiente de la Cd. de Xalapa, Ver.* Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Veracruzana, México.

16. Serrano Ixtepan D., Moreno E. I. (2006). Películas barrera: Una opción contra la carbonatación del concreto reforzado. En: *Revista Académica de la FI-UADY*, 10-2, pp. 37-45.
  
17. Stuardo, K. (2008). *Metodología de evaluación estructural de elementos de hormigón armado existentes*. Informe de Proyecto de Título, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Católica de la Santísima Concepción. México.

## **WEBGRAFÍA**

1. Fuente: <http://civilgeeks.com/wp-content/uploads/2011/10/11.jpg>
2. Fuente: [http://corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/sites/corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/files/images/unidad6/Composici%c3%b3n%20de%20la%20atmosfera\\_0.jpg](http://corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/sites/corinto.pucp.edu.pe/quimicageneral/files/images/unidad6/Composici%c3%b3n%20de%20la%20atmosfera_0.jpg)
3. Fuente: <http://blogargos.smdigitaltest.com/wpcontent/uploads/2012/03/argosc2.jpg>
4. Fuente: <https://www.google.es/maps/place/1%C2%B004'58.0%22S+80%C2%B0054'04.5%22W/@-1.0825133,-80.9020745,238m/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x0:0x0>

# ANEXOS

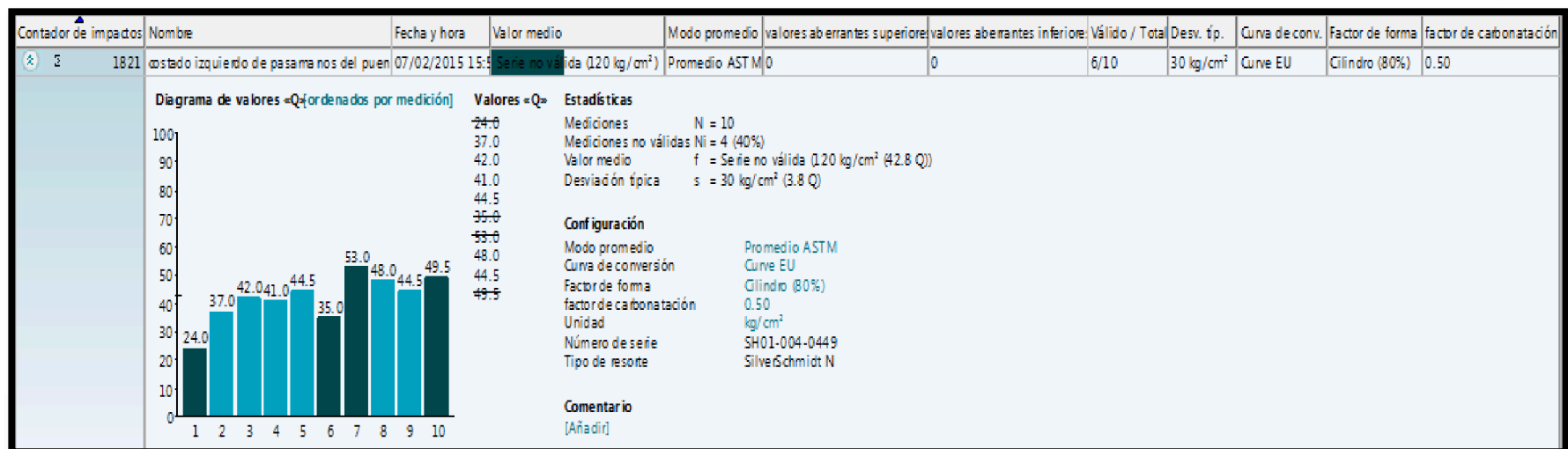
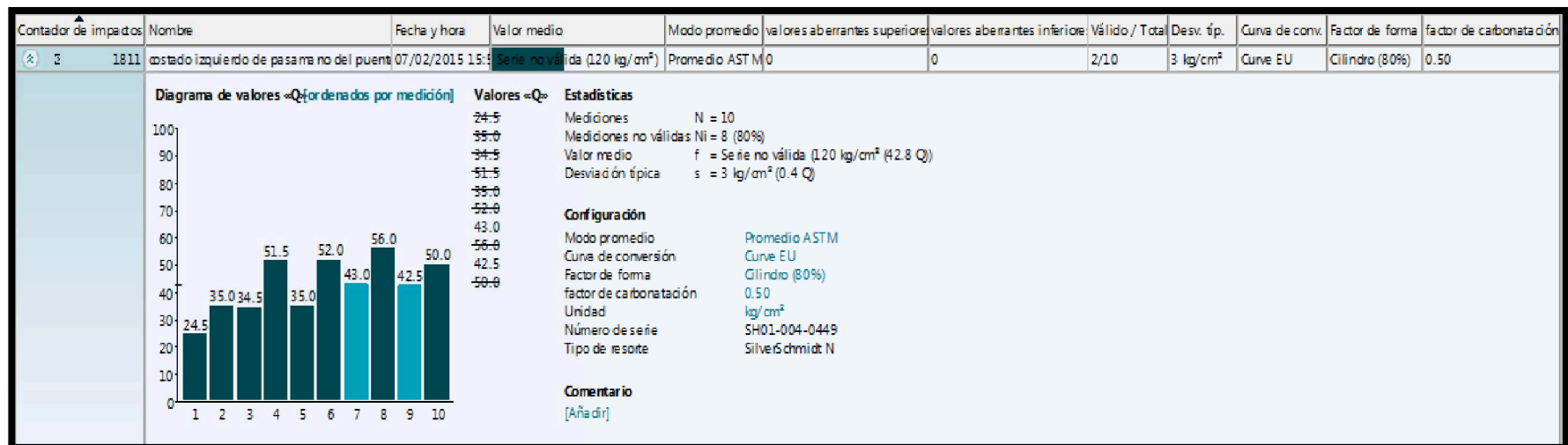


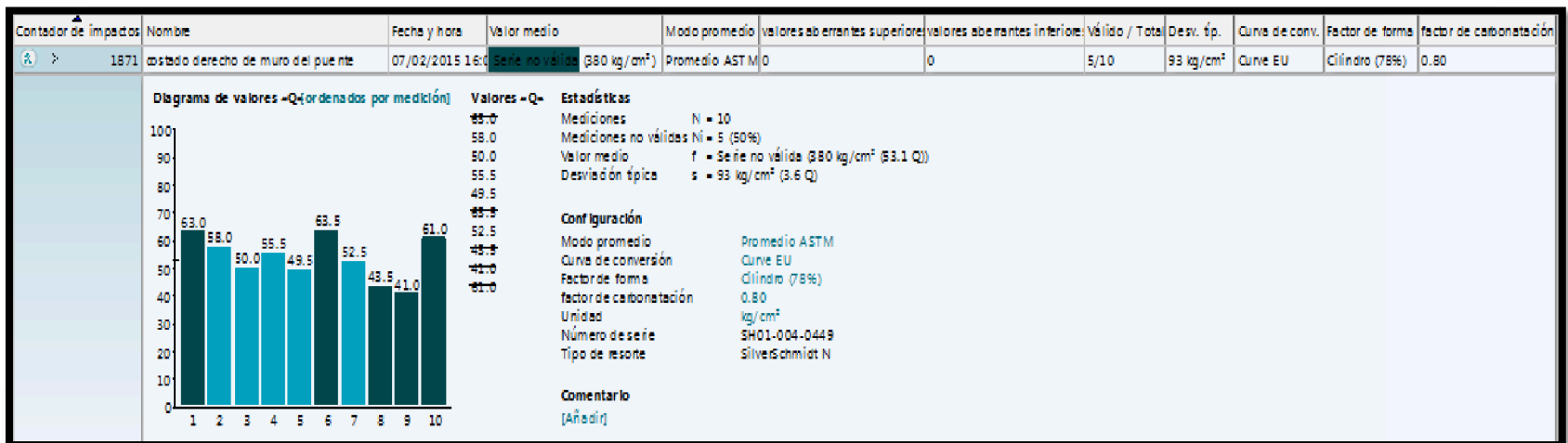
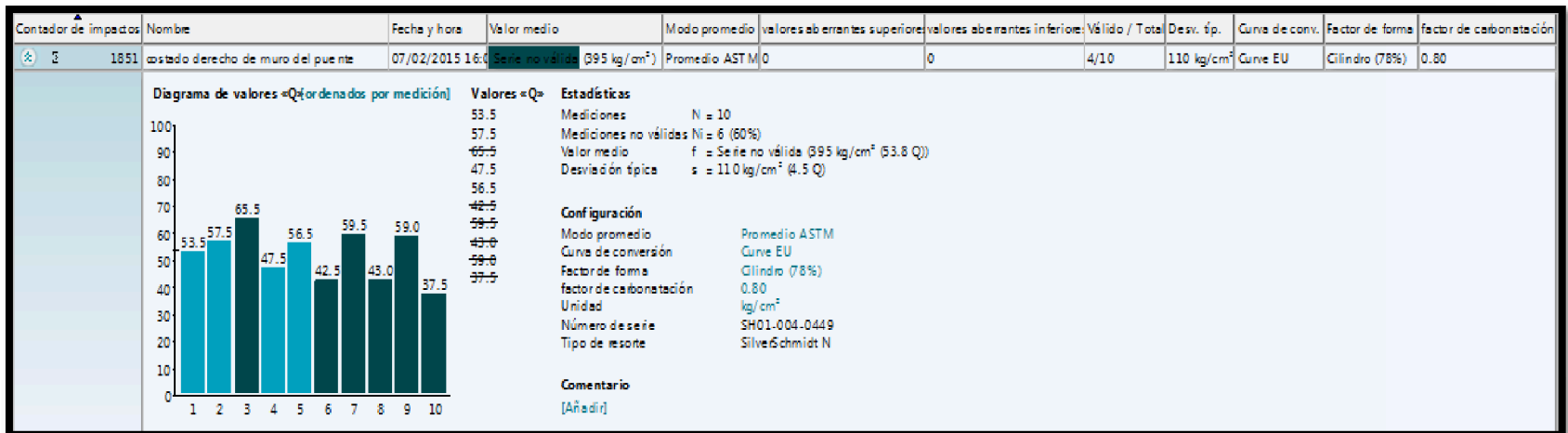
## ANEXOS

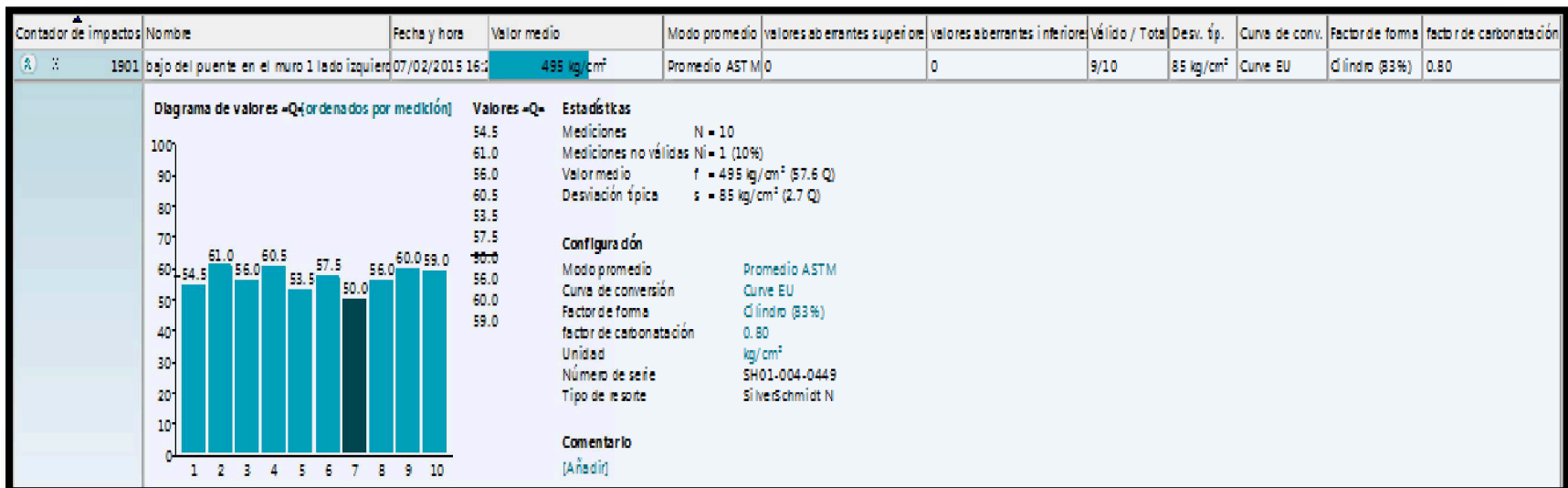
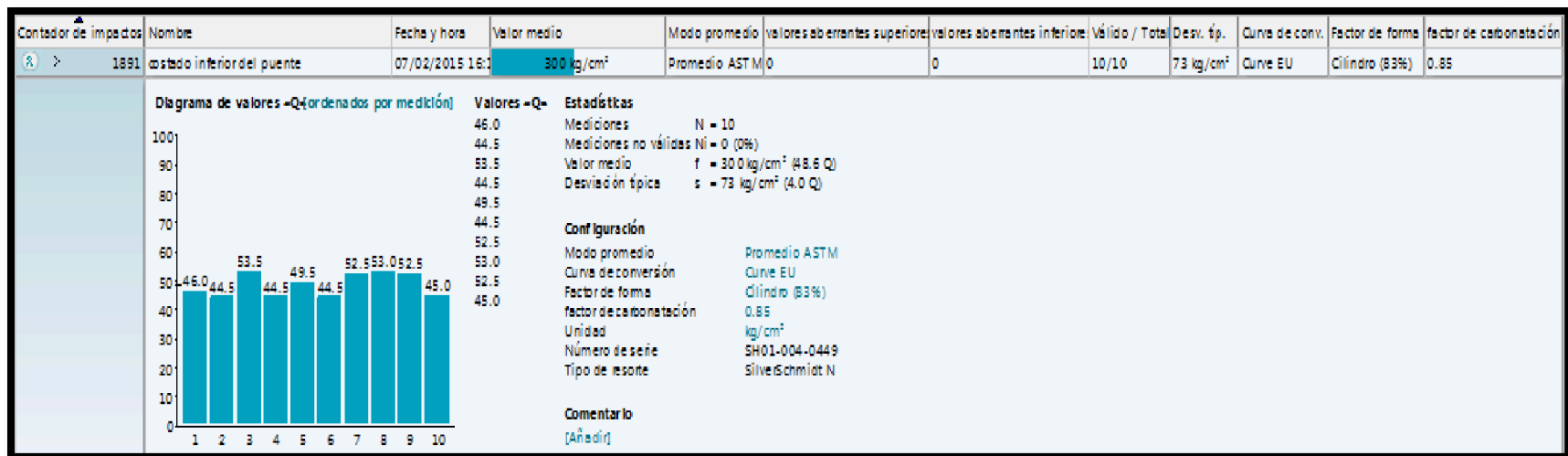
### ANEXO A

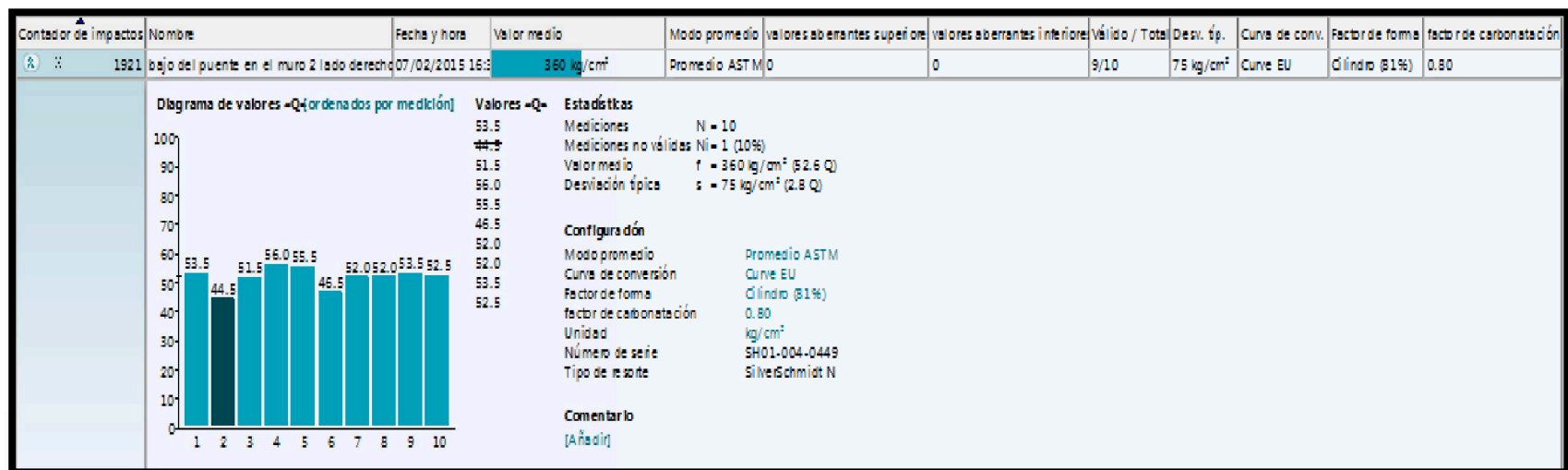
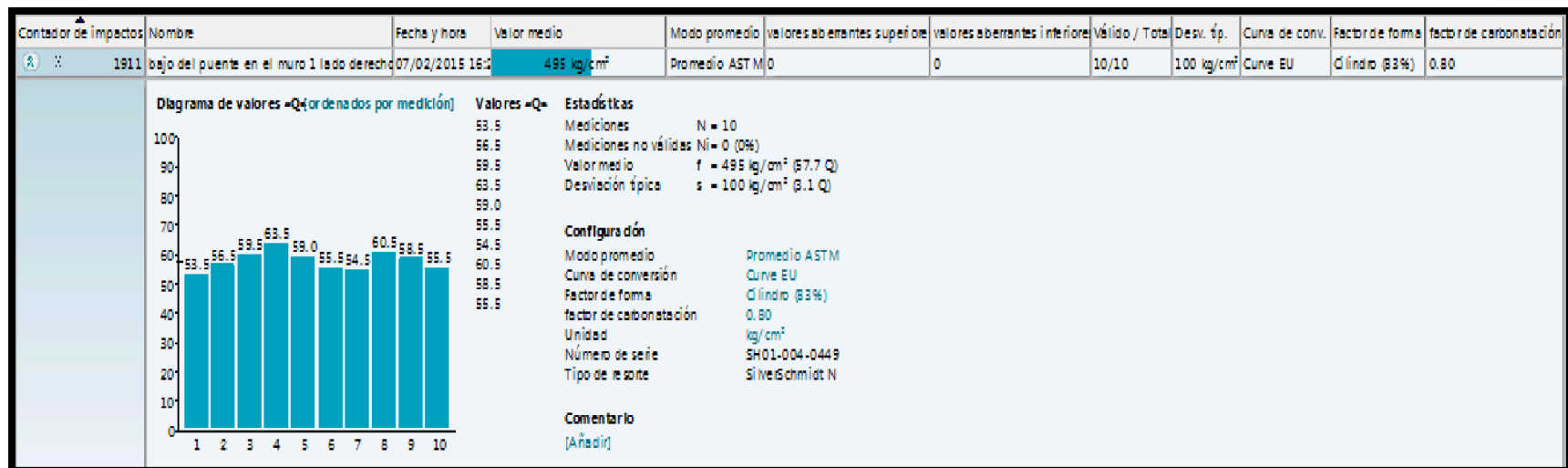
#### RESULTADOS DEL ESCLERÓMETRO

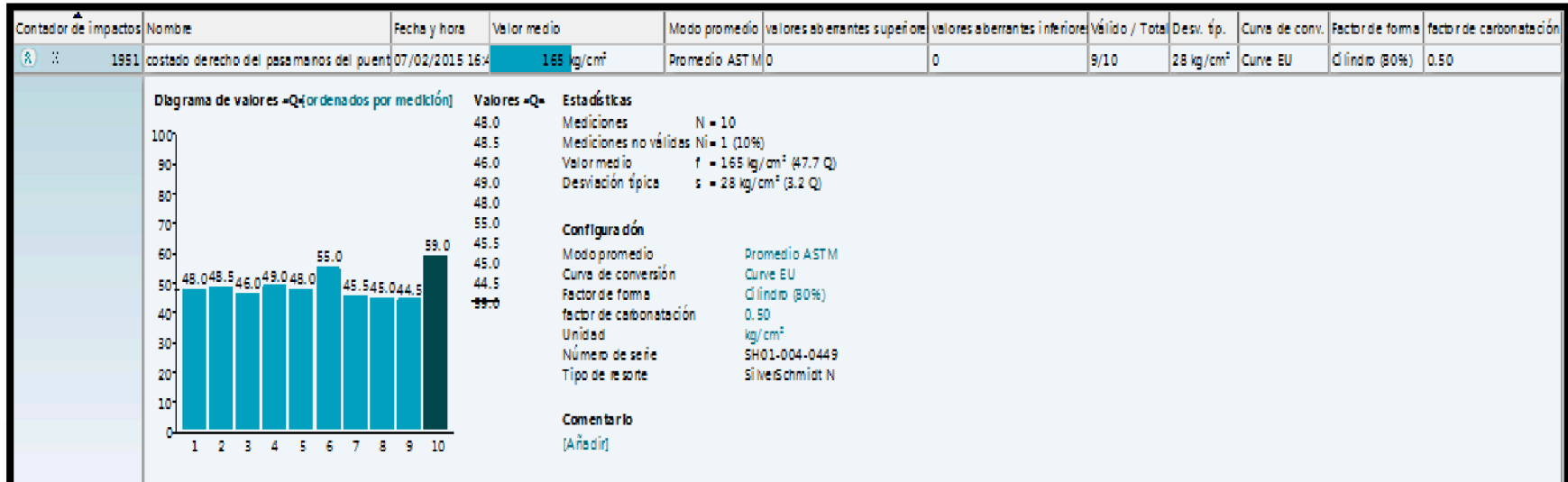
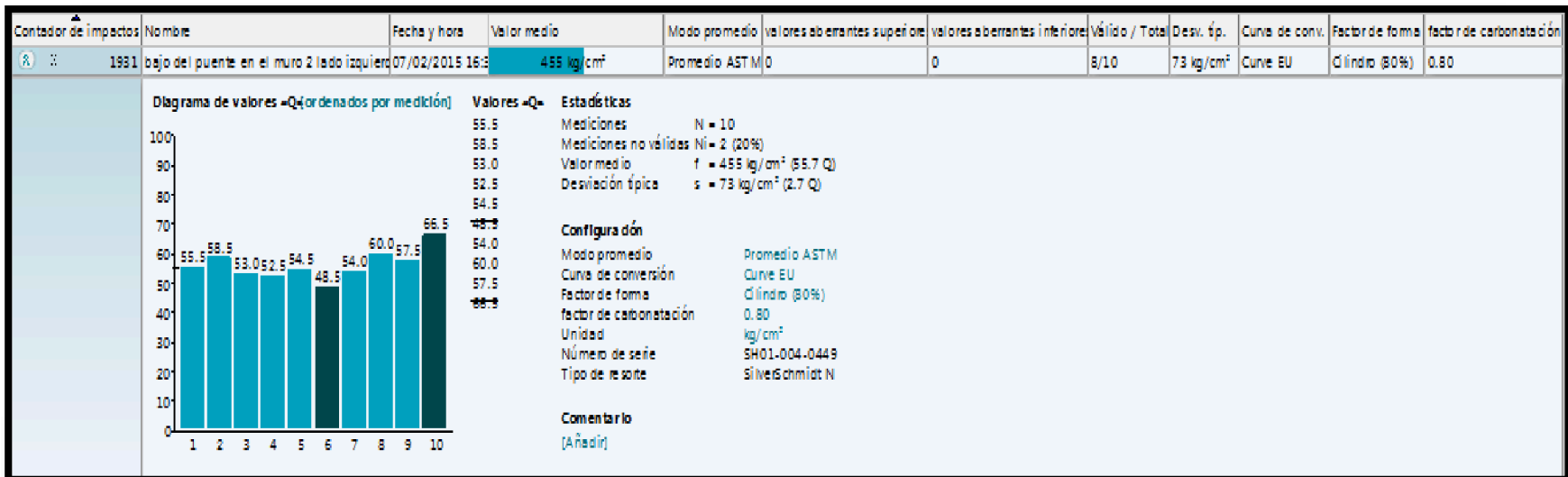
Contador de impactos	Nombre	Fecha y hora	Valor medio	Modo promedio	valores aberrantes superiores	valores aberrantes inferiores	Válido / Total	Desv. tip.	Cuna de conv.	Factor de forma	factor de carbonatación
3	1811 costado izquierdo de pasamanos del puente	07/02/2015 15:53	Serie no válida (120 kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio ASTM 0	0	0	2/10	3 kg/cm <sup>2</sup>	Cuna EU	Cilindro (80%)	0.50
3	1821 costado izquierdo de pasamanos del puente	07/02/2015 15:53	Serie no válida (120 kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio ASTM 0	0	0	6/10	30 kg/cm <sup>2</sup>	Cuna EU	Cilindro (80%)	0.50
3	1851 costado derecho de muro del puente	07/02/2015 16:00	Serie no válida (995 kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio ASTM 0	0	0	4/10	110 kg/cm <sup>2</sup>	Cuna EU	Cilindro (78%)	0.80
3	1871 costado derecho de muro del puente	07/02/2015 16:00	Serie no válida (980 kg/cm <sup>2</sup> )	Promedio ASTM 0	0	0	5/10	93 kg/cm <sup>2</sup>	Cuna EU	Cilindro (78%)	0.80
3	1891 costado inferior del puente	07/02/2015 16:00	300 kg/cm <sup>2</sup>	Promedio ASTM 0	0	0	10/10	73 kg/cm <sup>2</sup>	Cuna EU	Cilindro (83%)	0.85
3	1901 bajo del puente en el muro 1 lado izquierdo	07/02/2015 16:00	495 kg/cm <sup>2</sup>	Promedio ASTM 0	0	0	9/10	85 kg/cm <sup>2</sup>	Cuna EU	Cilindro (83%)	0.80
3	1911 bajo del puente en el muro 1 lado derecho	07/02/2015 16:00	495 kg/cm <sup>2</sup>	Promedio ASTM 0	0	0	10/10	100 kg/cm <sup>2</sup>	Cuna EU	Cilindro (83%)	0.80
3	1921 bajo del puente en el muro 2 lado derecho	07/02/2015 16:00	360 kg/cm <sup>2</sup>	Promedio ASTM 0	0	0	9/10	75 kg/cm <sup>2</sup>	Cuna EU	Cilindro (81%)	0.80
3	1931 bajo del puente en el muro 2 lado izquierdo	07/02/2015 16:00	455 kg/cm <sup>2</sup>	Promedio ASTM 0	0	0	8/10	73 kg/cm <sup>2</sup>	Cuna EU	Cilindro (80%)	0.80
Σ	1951 costado derecho de pasamanos del puente	07/02/2015 16:04	165 kg/cm <sup>2</sup>	Promedio ASTM 0	0	0	9/10	28 kg/cm <sup>2</sup>	Cuna EU	Cilindro (80%)	0.50
Σ	1961 costado derecho de pasamanos del puente	07/02/2015 16:04	170 kg/cm <sup>2</sup>	Promedio ASTM 0	0	0	10/10	25 kg/cm <sup>2</sup>	Cuna EU	Cilindro (80%)	0.50












Contador de impactos	Nombre	Fecha y hora	Valor medio	Modo promedio	valores aberrantes superiores	valores aberrantes inferiores	Válido / Total	Desv. típ.	Curva de conv.	Factor de forma	factor de carbonatación																						
A	1961	costado derecho de pasamanos el puente	07/02/2015 16:4	170 kg/cm <sup>2</sup>	Promedio ASTM	0	0	10/10	25 kg/cm <sup>2</sup>	Curva EU	Cilindro (80%)	0.50																					
<p><b>Diagrama de valores -Q- (ordenados por medición)</b></p> <table border="1"> <caption>Data for Impact Resistance Diagram</caption> <thead> <tr> <th>Medición</th> <th>Valor (kg/cm<sup>2</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>47.5</td></tr> <tr><td>2</td><td>46.5</td></tr> <tr><td>3</td><td>43.0</td></tr> <tr><td>4</td><td>49.0</td></tr> <tr><td>5</td><td>53.0</td></tr> <tr><td>6</td><td>50.5</td></tr> <tr><td>7</td><td>46.5</td></tr> <tr><td>8</td><td>48.0</td></tr> <tr><td>9</td><td>51.0</td></tr> <tr><td>10</td><td>48.0</td></tr> </tbody> </table> <p><b>Valores -Q-</b></p> <p>47.5 46.5 43.0 49.0 53.0 50.5 46.5 48.0 51.0 48.0</p> <p><b>Estadísticas</b></p> <p>Mediciones N = 10  Mediciones no válidas Ni = 0 (0%)  Valor medio <math>\bar{x}</math> = 170 kg/cm<sup>2</sup> (48.3 Q)  Desviación típica s = 25 kg/cm<sup>2</sup> (2.8 Q)</p> <p><b>Configuración</b></p> <p>Modo promedio Promedio ASTM  Curva de conversión Curva EU  Factor de forma Cilindro (80%)  factor de carbonatación 0.50  Unidad kg/cm<sup>2</sup>  Número de serie SH01-004-0449  Tipo de resorte SilveSchmidt N</p> <p><b>Comentario</b></p> <p>[Añadir]</p>												Medición	Valor (kg/cm <sup>2</sup> )	1	47.5	2	46.5	3	43.0	4	49.0	5	53.0	6	50.5	7	46.5	8	48.0	9	51.0	10	48.0
Medición	Valor (kg/cm <sup>2</sup> )																																
1	47.5																																
2	46.5																																
3	43.0																																
4	49.0																																
5	53.0																																
6	50.5																																
7	46.5																																
8	48.0																																
9	51.0																																
10	48.0																																

ANEXO B

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE ALCALINIDAD (CARBONATO DE CALCIO).



**UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO" DE MANABÍ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**  
**CENTRO DE SERVICIOS PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD**  
**"CE.SE.C.C.A."**

---

INFORME DE LABORATORIO

IE/CESECCA/42504

CLIENTE: SR. JOSE TUAREZ BRAVO  
 ATENCIÓN: SR. JOSE TUAREZ BRAVO  
 DIRECCIÓN: MANTA  
 ESPECIE: N/A  
 TIPO DE ENVASE: FUNDAS  
 No. CAJAS: N/A  
 UNIDADES/PESO: 1/500g  
 MARCA: N/A  
 TIPO DE PRODUCTO: HORMIGON PULVERIZADO

FECHA MUESTREO: N/A  
 FECHA DE INGRESO: 04/03/2015  
 FECHA INICIO DE ENSAYO: 04/03/2015  
 FECHA FINALIZACION ENSAYO: 05/03/2015  
 FECHA EMISION RESULTADOS: 05/03/2015  
 FACTURA: 18148  
 ORDEN: 42504  
 PAIS DE DESTINO: N/A

ENSAYO	LOTE	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE Expandida (k=2)	LIMITES	MÉTODO
Carbonato de Calcio CaCO <sub>3</sub>	Muestra compuesta del puente rio caña(estribos, pasamanos y vigas)	%	2,05	-	-	PEE/CESECCA/QC/21 STANDARD METHOD


Observaciones:

---


Muestreo realizado Por:  El cliente (X)  El Laboratorio ( )


Nota 1 Los resultados reportados corresponden unicamente a la(s) muestra(s) analizada(s) en el laboratorio. Esta reporte no debe ser reproducido total o parcialmente, excepto con la aprobación escrita del laboratorio.

N/A: No aplica  
 ND: No detectable



Ing. Amado Alcivar Cuadros  
Jefe Técnico de Laboratorio  
CESECCA





Ing. Leonor Yizueté Galbar  
Directora General  
CESECCA

U.L.E.A.M

MC2201-10

DIR: Cda. Universitaria Km. 1 Vía Manta- San Mateo • Telefax.593-5-2629053 /2678211/ 2678243  
 E- mail: cesecca@uleam.edu.ec / uleam.cesecca@yahoo.com  
 Manta - Manabí - Ecuador

Página 1 de 1



ANEXO C

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE ALCALINIDAD (PH).



UNIVERSIDAD DE INGENIERIA INDUSTRIAL  
CESECCA

**UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO" DE MANABÍ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**  
**CENTRO DE SERVICIOS PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD**  
**"CE.SE.C.CA."**

---

INFORME DE LABORATORIO

IE/CESECCA/42504

CLIENTE: SR. JOSE TUAREZ BRAVO  
 ATENCIÓN: SR. JOSE TUAREZ BRAVO  
 DIRECCIÓN: MANTA  
 ESPECIE: N/A  
 TIPO DE ENVASE: FUNDAS  
 No. CAJAS: N/A  
 UNIDADES/PESO: 1/500g  
 MARCA: N/A  
 TIPO DE PRODUCTO: HORMIGON PULVERIZADO

FECHA MUESTREO: N/A  
 FECHA DE INGRESO: 04/03/2015  
 FECHA INICIO DE ENSAYO: 04/03/2015  
 FECHA FINALIZACION ENSAYO: 05/03/2015  
 FECHA EMISION RESULTADOS: 05/03/2015  
 FACTURA: 18148  
 ORDEN: 42504  
 PAIS DE DESTINO: N/A

ENSAYO	LOTE	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE Expandida (k=2)	LIMITES	MÉTODO
pH	Muestra compuesta del puente rio caña(estribos, pasamanos y vigas)	-	8,5	-	-	PEE/CESECCA/QC/21 STANDARD METHOD


Observaciones:

---

Muestreo realizado Por:  El cliente (X)  El Laboratorio ( )

Nota 1 Los resultados reportados corresponden unicamente a la(s) muestra(s) analizada(s) en el laboratorio. Este reporte no debe ser reproducido total o parcialmente, excepto con la aprobación escrita del laboratorio.

N/A: No aplica  
 ND: No detectable



Ing. Amado Alcívar Cuadros  
Jefe Técnico de Laboratorio  
CESECCA





Ing. Leonor Vizueta Gallo  
Directora General  
CESECCA

U.L.E.A.M


MC2201-10

DIR: Cda. Universitaria Km. 1 Via Manta- San Mateo • Telefax.593-5-2629053 /2678211/ 2678243  
 E- mail: cesecca@uleam.edu.ec / uleam.cesecca@yahoo.com  
 Fecha: Mayo, 2015  
 Manta - Manabí - Ecuador

Página 1 de 1

ANEXO D

RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE HUMEDAD



**CESECCA**

**UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO" DE MANABÍ**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**  
**CENTRO DE SERVICIOS PARA EL CONTROL DE LA CALIDAD**  
**"CE.SE.C.C.A."**

---

**INFORME DE LABORATORIO**

IE/CESECCA/42504

**CLIENTE:** SR. JOSE TUAREZ BRAVO  
**ATENCIÓN:** SR. JOSE TUAREZ BRAVO  
**DIRECCIÓN:** MANTA  
**ESPECIE:** N/A  
**TIPO DE ENVASE:** FUNDAS  
**Nº. Cajas:** N/A  
**UNIDADES/PESO:** 1/500g  
**MARCA:** N/A  
**TIPO DE PRODUCTO:** HORMIGON PULVERIZADO

**FECHA MUESTREO:** N/A  
**FECHA DE INGRESO:** 04/03/2015  
**FECHA INICIO DE ENSAYO:** 04/03/2015  
**FECHA FINALIZACIÓN ENSAYO:** 05/03/2015  
**FECHA EMISIÓN RESULTADOS:** 05/03/2015  
**FACTURA:** 18348  
**ORDEN:** 42504  
**PAÍS DE DESTINO:** N/A

ENSAYO	LOTE	UNIDADES	RESULTADOS	INCERTIDUMBRE Estandar (s.e)	LÍMITES	MÉTODO
Humedad	Muestra compuesta del puente río Cajas (entradas, pasamanos y vigas)	%	11	-	-	PRENDECOAGC01 STANDARD METHOD


*Observaciones:*


---


Muestreo realizado Por:  El cliente (C)  El Laboratorio (L)

*Nota 1:* Los resultados reportados corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s) en el laboratorio. Este reporte no debe ser reproducido total o parcialmente, excepto con la aprobación escrita del laboratorio.

N/A: No aplica  
 ND: No detectable

  
 Jairo Arrieta-Alcázar, Ceedor  
 Jefe Técnico de Laboratorio  
 CESECCA



  
 Eng. Lázaro Andrade Calder  
 Director General  
 CESECCA

U.L.E.A.M

DIR: Cda. Universitaria Km. 1 Vía Manta- San Mateo • Telefax. 593-5-2629053 /2678211/ 2678243

E- mail: cesceca@uleam.edu.ec / uleam.cesceca@yahoo.com

Manta - Manabí - Ecuador

MG2004.10
Página 1 de 1

ANEXO E

TABLA PSICOMÉTRICA PARA EL CÁLCULO DE LA HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE.

**TABLAS PSICOMÉTRICAS PARA EL CÁLCULO DE LA HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE.**

Temperatura (°C) del Termómetro seco	Diferencia (°C) entre las temperaturas del termómetro seco y húmedo																			
	0,0*	0,5*	1,0*	1,5*	2,0*	2,5*	3,0*	3,5*	4,0*	4,5*	5,0*	5,5*	6,0*	6,5*	7,0*	7,5*	8,0*	8,5*	9,0*	9,5*
0	100	90	80	72	64	55	48	42	35	30	24	19	15	10	5	-	-	-	-	-
1	100	90	80	73	64	55	48	42	35	30	24	19	15	10	5	-	-	-	-	-
2	100	90	81	73	64	55	48	42	35	30	24	19	15	10	5	-	-	-	-	-
3	100	91	83	74	65	57	48	43	35	30	24	19	15	10	5	-	-	-	-	-
4	100	91	83	75	66	59	50	45	35	30	24	19	15	10	5	-	-	-	-	-
5	100	92	84	76	68	60	52	48	38	31	24	19	15	10	5	-	-	-	-	-
6	100	92	85	77	70	62	55	50	41	34	27	20	15	10	5	-	-	-	-	-
7	100	92	85	77	71	63	57	52	44	37	30	24	18	12	5	-	-	-	-	-
8	100	93	86	79	72	65	58	53	46	40	33	27	21	15	9	3	-	-	-	-
9	100	93	86	79	73	66	60	54	48	42	35	30	24	18	13	7	3	-	-	-
10	100	93	87	80	74	68	62	56	50	44	38	33	27	21	16	10	5	-	-	-
11	100	93	87	82	75	69	62	57	52	46	40	35	30	24	19	13	8	4	-	-
12	100	93	87	82	76	70	63	58	53	48	42	37	32	27	22	17	12	7	-	-
13	100	93	88	82	77	71	65	60	55	50	45	40	35	30	25	20	15	10	6	-
14	100	94	88	83	77	72	66	61	56	52	47	42	37	32	27	23	18	13	9	6
15	100	94	89	83	78	73	67	62	57	53	49	44	39	34	30	25	21	17	12	8
16	100	94	89	83	79	74	69	63	59	55	50	46	41	36	32	27	23	19	15	11
17	100	95	90	84	80	75	70	64	60	56	52	48	43	38	34	30	24	22	18	14
18	100	95	90	85	80	76	71	65	61	57	53	49	45	40	37	32	28	24	20	16
19	100	95	90	85	81	77	72	66	62	58	55	51	47	42	38	34	30	27	23	20
20	100	95	90	85	82	77	72	68	63	60	56	52	48	44	41	37	32	29	25	22
21	100	95	91	86	82	78	73	69	64	60	57	53	49	46	42	38	34	31	27	24
22	100	95	91	87	82	78	74	70	65	62	57	54	51	47	43	40	37	33	29	27
23	100	95	91	87	83	79	75	70	66	63	58	56	52	48	45	41	38	35	31	28
24	100	95	92	87	83	79	76	71	67	63	60	57	53	50	46	43	39	37	33	30
25	100	96	92	87	83	80	76	72	68	63	61	58	54	51	48	45	41	38	35	32
26	100	96	92	87	84	80	77	73	69	65	62	58	56	52	48	46	42	39	37	33
27	100	96	92	88	84	81	77	73	70	66	62	59	57	53	50	47	43	39	37	33
28	100	96	92	88	84	81	78	74	70	67	63	60	57	54	51	48	45	42	38	36
29	100	96	92	88	85	82	78	75	71	67	64	61	58	55	52	49	46	43	40	38
30	100	96	93	89	85	82	78	75	72	68	65	62	58	56	53	50	47	44	42	39
31	100	96	93	89	86	82	79	76	73	69	66	63	60	57	54	51	48	45	43	40
32	100	96	93	89	86	83	79	76	73	70	67	63	60	58	55	52	49	47	43	41
33	100	96	93	89	86	83	80	77	73	70	67	64	61	58	56	53	50	48	45	43
34	100	96	93	90	87	83	80	77	74	71	68	64	62	59	57	53	51	48	46	43
35	100	96	93	90	87	83	80	77	74	72	68	65	63	60	58	54	52	49	47	44
36	100	96	93	90	87	83	81	78	75	72	69	66	63	60	58	55	53	50	48	45
37	100	96	93	90	87	84	81	78	75	72	69	67	64	61	59	56	54	51	49	46
38	100	96	93	90	87	84	82	78	76	73	70	68	64	62	59	57	55	52	49	47
39	100	96	93	90	87	84	82	78	76	73	70	68	65	63	60	58	55	53	50	48
40	100	96	93	90	88	85	82	79	77	73	71	68	66	63	61	58	56	53	51	48
41	100	97	93	91	88	85	82	79	77	74	71	69	66	63	61	59	57	54	52	50
42	100	97	93	91	88	85	82	80	77	74	72	69	67	64	62	60	57	55	53	50
43	100	97	94	91	88	85	83	80	77	74	72	69	67	64	62	60	58	55	53	51
44	100	97	94	91	89	86	83	80	78	75	72	71	68	65	63	61	58	56	54	52
45	100	97	94	91	89	86	83	80	78	76	73	70	68	66	63	61	59	57	54	52
46	100	97	94	91	89	86	83	81	78	76	73	71	68	66	63	61	59	57	55	53
47	100	97	94	91	89	86	83	81	78	76	73	71	68	66	64	62	60	57	56	53
48	100	97	94	92	89	86	83	81	78	76	73	71	69	66	64	62	60	57	56	54
49	100	97	94	92	89	87	84	82	79	76	74	72	69	67	65	63	61	59	57	54
50	100	97	94	92	89	87	84	82	79	77	74	72	69	67	65	63	61	59	57	55

## ANEXO F

### EVALUACIÓN DE LA VELOCIDAD DE LA CARBONATACIÓN SEGÚN LA (EHE).

$$t = (d/K_c)^2$$

donde:

- $d$  Profundidad, en mm.  
 $t$  Tiempo, en años.

El coeficiente de carbonatación  $K_c$  puede obtenerse como:

$$K_c = c_{env} \cdot c_{air} \cdot a \cdot f_{cm}^b$$

donde:

- $f_{cm}$  Resistencia media del hormigón a compresión, en N/mm<sup>2</sup>, que puede estimarse a partir de la resistencia característica especificada ( $f_{ck}$ ).

$$f_{cm} = f_{ck} + 8$$

- $c_{env}$  Coeficiente de ambiente, según tabla A.9.1.  
 $c_{air}$  Coeficiente de aireantes, según tabla A.9.2.  
 $a, b$  Parámetros función del tipo de conglomerante, según tabla A.9.3.

Tabla A.9.1 Coeficiente  $c_{env}$

Ambiente	$c_{env}$
Protegido de la lluvia	1
Expuesto a la lluvia	0,5

Tabla A.9.2 Coeficiente  $c_{air}$

Aire ocluido (%)	$c_{air}$
<4,5 %	1
≥ 4,5 %	0,7

Conglomerante	Cementos de la Instrucción RC 03	a	b
Cemento Portland	CEM I CEM II/A CEM II/B-S CEM II/B-L CEM II/B-LL CEM II/B-M CEM V	1800	-1,7
Cemento Portland + 28% cenizas volantes	CEM II/B-P CEM II/B-V CEM IV/A CEM IV/B	380	-1,2
Cemento Portland + 9% humo de sílice	CEM II/A-D	400	-1,2
Cemento Portland + 65 % escorias	CEM III/A CEM III/B	380	-1,2