

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

PROYECTO DE REPARACIÓN DEL PUENTE DE ACCESO DE UN MUELLE MARINO. INCLUYE ESTUDIO DIAGNÓSTICO

**Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
para optar al Título de Ingeniero
Civil.**

**Por las Brs. Arias U. Claudia P. y
Zaá S. Jenniffer C.**

Caracas, Junio de 2005.

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

PROYECTO DE REPARACIÓN DEL PUENTE DE ACCESO DE UN MUELLE MARINO. INCLUYE ESTUDIO DIAGNÓSTICO

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Velazco Gilberto

**Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
para optar al Título de Ingeniero
Civil.**

**Por las Brs. Arias U. Claudia P. y
Zaá S. Jenniffer C.**

Caracas, Junio de 2005.

ACTA

El día 14-06-2005 se reunió el jurado formado por los profesores:

GILBERTO VELAZCO, NELSON CAMACHO, AGUSTÍN MAZZEO

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: **PROYECTO DE REPARACIÓN DEL PUENTE DE ACCESO DE UN MUELLE MARINO. INCLUYE ESTUDIO DIAGNÓSTICO.**

Presentado en la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al título de Ingeniero Civil.

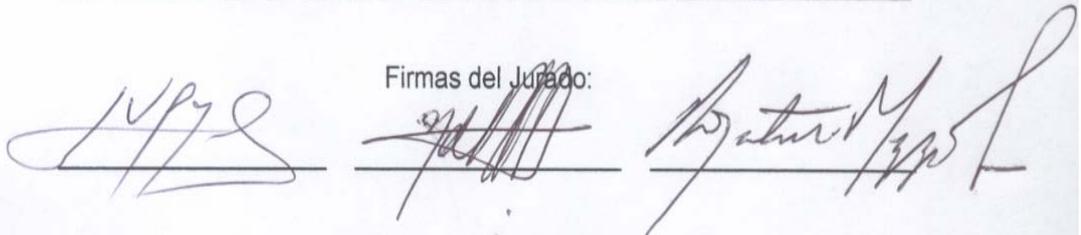
Una vez oída la defensa que el bachiller hiciera de su Trabajo Especial, este jurado decidió la siguiente calificación:

NOMBRES	CALIFICACIÓN	
	NÚMERO	LETRAS
Arias U., Claudia P. y	20	VEINTE
Zaá S., Jenniffer C.	20	VEINTE

RECOMENDACIONES (si las hubiera)

MENCION PUBLICACION

Firmas del Jurado:



Caracas, 14 de Junio del 2005.

DEDICATORIA

Este Trabajo Especial de Grado no sólo representa la culminación de mi carrera, sino el logro de una meta que quiero dedicar a los seres más importantes en este momento de mi existencia.

A Dios. Sentir su presencia en una señal que no desaparece, en un no sé qué dentro de mí, en un imposible que sucede, en una soledad acompañada,... es lo que ha hecho que no desfallezca en esas etapas de mi vida en que las circunstancias exigen de mí más de lo que creo que puedo dar. Gracias no sólo por escucharme y secar mis lágrimas, sino por las respuestas y la fuerza que me das para poder seguir adelante.

A mis padres: Janet Sayers y José Zaá. Los patrocinantes de mi carrera, las personas que más creen en mí, y mis mejores modelos de responsabilidad, éxito y generosidad; los seres, que después de Dios, amo más en mi paso por esta vida. Gracias por su apoyo incondicional y su amor.

A mis hermanos: José Rafael, es imposible pensar en rendirme, si en ti encuentro el mejor ejemplo de constancia y de que las cosas se pueden lograr a pesar de las dificultades. Jorge Luis y Jean Carlos, cada uno, de una forma particular, trae alegrías a mi vida que nadie más podría proporcionarme.

A Héctor Ángel, mi novio. Produces en mí una felicidad indescriptible; que si la teoría de Paulo Coelho fuese cierta, te definiría como mi Otra Parte. Gracias por tu comprensión, paciencia, apoyo y amor en estos últimos meses.

A mi Abuela Matilde, Hugo, Maribel y Virginia. No lo hubiese logrado sino hubiese conseguido junto a ustedes un hogar. Gracias.

A mis amigas Claudia y Adriana. Más que amigas son mis hermanas. Claudia hemos recorrido mucho juntas, te quiero muchísimo. Adrianita mi mejor compañera de cuarto, me enseñaste muchas cosas, gracias.

A María Eugenia, Eguzki, Eripmar, Corallys, Corina, Carolina, Gabriel, Juan, Luis y José Julián. Mis amigos y compañeros de estudio, que hicieron de mi vida universitaria una gran experiencia.

A la Universidad Central de Venezuela. Porque cada uno de tus espacios me hacen quererte y cuidarte. Muchos de tus profesores han dejado en mí, huellas imborrables y aprendizajes eternos.

Jenniffer Christy

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado en primer lugar a Dios: Diosito, tú te has encargado de darme las fuerzas necesarias para culminar cada una de las labores que me he propuesto; tu, con tu sabiduría me has hecho tomar las decisiones correctas, me has puesto en el lugar y sitio adecuado para aprovechar las oportunidades de la mejor manera, quizás no siempre la que genera los mejores resultados, pero si los mejores aprendizajes. Gracias por permitirme nacer en el entorno en el que nací, no podría tener mejores papitos, los escogiste muy bien para mí. Gracias por mi hermanita, es un sol, como siempre lo he dicho, “un almita diferente en el universo”, gracias por mi familia completa, y especiales gracias por mis amigos, no podría haber conocido mejores personas. ¡Gracias Diosito!

En segundo lugar, no menos importante, se lo dedico a mis padres, Gerardo y Nora, son las mejores personas que conozco. Les agradezco enormemente el estar ahí siempre, educarme, aconsejarme, acompañarme... Les agradeceré siempre haberme inculcado desde pequeña la importancia de los valores, principios, familia y educación, y por moldear en mí la persona que hoy soy. Gracias por ese amor incondicional, por tanta paciencia, por tener unos brazos tan grandotes que me arropan en los momentos que más los necesito y por ser esa esponja infinita que absorbe todas mis lagrimas. Sin ustedes no sería nada, me han dado la vida, y las herramientas para darle la carita al sol día a día. ¡Gracias papitos!

Para ti también mi gorda, Yeshenia. No tienes idea de lo importante que eres en mi vida, quizás no te lo he sabido hacer notar. Eres mi primera amiga, mi primera compañera de juegos, mi hermana más que por el nexo de sangre, por el infinito amor que entre nosotras existe. Gracias por enseñarme a leer, por empeñarte en que hiciera las planas de las vocales cuando quería ver televisión, por enseñarme a sumar números de más de 1 cifra. ¿Que tal? Sin leer ni sumar, ¿cómo habría llegado hasta aquí? Gracias también por David, trajiste una personita al mundo que le ha dado a mi vida una visión distinta: Bebe precioso gracias por dejarte amar de esta manera tan linda y particular. Gracias por llenar mis días de ternura. Los adoro!!! Dios los bendiga.

También se lo dedico a mis abuelitos: abuelitas Rosario y Teresita, son un indescriptible nidito de amor y sabiduría. Les doy gracias por muchísimas cosas, pero la más importante, por haberme dado a mis papitos, ese par de soles que iluminan mi vida. Abuelito Miguelito, también va para ti. No fue mucho lo que pude disfrutarte, y lo aproveché muy poco. Muchos gestos tuyos calaron en mí, y espero que estén siempre, así siempre estarás vivo en

mi. ¡Gracias a todos por darme la familia que tengo: tíos, primos, gracias por todo!

¡Amigos! Les llegó su turno: Jenny, llegamos a la culminación de este trabajo juntas, luego de mucho trabajo, trasnochos, y dedicación. Gracias por haber sido mi compañera y amiga todo este tiempo y por ser una muleta incansable en momentos rudos. Sigue trabajando siempre con tantísimo empeño, nunca lo pierdas y jamás olvides el lema “TESIS SI, ESTRÉS NO”. Gracias amigos por estar siempre ahí: Egu, Caro, Maru, Juan, Erip, Jenny, Cori, Cora, Luisito, Fuly, Daniel, Sagi, Giovanni, Gus, gracias por ser mi familia en Caracas todo este tiempo, y gracias a sus padres por abrirme las puertas de sus casas. Gabrielito, gracias muy especiales por tanta compañía, tanto cariño, por esa paciencia incansable que te caracteriza. Te adoro gordo, eres una persona muy importante para mí.

Gracias a toda gente que desde Cagua me viene acompañando: amigos gracias por estar siempre tan pendientes de mí. Mabel, Togui, Naho, Rose, Rafa, Malex, Benny, Andrés, Kleiver, Luisfer, Maye, Villy, Yoxe, Santi los quiero mucho, gracias por su presencia. Adri, Rosita, gracias por ser mis compañeras, amigas, hermanas, por compartir conmigo tantos momentos lindos y duros, discúlpenme las lloronas, Adri gracias por ayudarme a superar momentos tan difíciles que amenazaron con no dejarme seguir. Yare gracias por ser una linda compañía estos meses, vivir juntas ha sido una bonita experiencia. Kenny, eres una ternurita total, hemos compartido mucho tiempo, y seguimos contando... Javi, está de más repetir la importancia que tienes en mi vida. Gracias por haberme dado tanto cariño, gracias por la paciencia y comprensión, por haber sido mi compañía por tanto tiempo. Mi carrera también va dedicada a ti. Amigos: Los Adoro a todos.

Este trabajo también se lo dedico muy especialmente a aquellos profesores universitarios que definitivamente tuvieron un papel muy importante en la realización de mi carrera. Profes, gracias por tantos conocimientos, tantas experiencias para contar, tantos consejos, en fin, tanto crecimiento personal. Profesor Gilberto: Mi dedicatoria y agradecimientos muy especiales para usted, por ser el tutor de mi trabajo especial de grado, mi profesor y mi amigo. Gracias por ayudarme desinteresadamente en aquellos momentos que ni sabía que necesitaba ayuda.

Dedico este trabajo a cada persona y ser vivo que ha contribuido a mis experiencias a lo largo de mi existencia, a cada cielo azul, cada respiro que doy, a las mañanas y a las noches.

Gracias a todos y a todo por formar parte de mi vida.

Claudia Patricia

RECONOCIMIENTOS

Para nuestro tutor Gilberto Velazco, por sus llamados de atención siempre que fue necesario, por guiarnos en la realización y culminación de la tesis, por su gran amistad, y por enseñarnos a pensar como ingenieras y defender nuestros criterios como tales.

Para el profesor Agustín Mazzeo, sus conocimientos, su infinita experiencia y la amistad única que nos ofreció, nos guiaron para solucionar una de las mayores dificultades que se nos presentó.

Para los profesores Nelson Camacho, Sergio Rodríguez, Cesar Peñuela y Yolanda Balestrini, por su valiosa y precisa asesoría para solventar los obstáculos que aparecieron en el camino.

Para el profesor Juan José Tejón, porque en los momentos en el que el tiempo y las circunstancias parecían no estar de nuestro lado, usted nos prestó su apreciada ayuda, y pudimos tener en nuestras manos el ansiado tomo de la tesis a tiempo.

Para nuestro amigo y compañero de estudios Gabriel Urbina, por hacer de su hogar nuestro hogar cada vez que lo necesitamos.

Para nuestra amiga y compañera de estudios Eguzki Arozena, por su dedicación, tiempo y amabilidad para ayudarnos en el momento preciso.

Y un reconocimiento especial para todos nuestros amigos, padres, y familiares, y todas aquellas personas que sin saberlo o sabiéndolo, aportaron su granito de arena afectivo, académico o servicial, para que lográramos culminar nuestro Trabajo Especial de Grado.

INDICE

LISTA DE CUADROS.....	xi
LISTA DE GRÁFICOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO	
I EL PROBLEMA.....	2
1. Planteamiento del Problema	2
1.1 Descripción del Puente de Acceso a la Plataforma Principal del Muelle Marino	2
1.2 Antecedentes de la Problemática	4
1.3 Situación Actual.....	7
1.4 Importancia.....	8
2. Objetivos de la Investigación	8
2.1 Objetivos Generales	8
2.2 Objetivos Específicos	9
3. Alcance de la Investigación.....	9
II MARCO TEÓRICO	10
1. Antecedentes de la Investigación	10
2. Daños más frecuentes en las Estructuras de Concreto Reforzado.....	13
3. Causas más probables de Daños en las Estructuras de Concreto.....	18
4. Corrosión	21
4.1 Tipos de Corrosión	21
4.2 Mecanismo de la Corrosión del Acero.....	22
4.3 Formación de las Pilas Electroquímicas.....	23
4.4 Protección del Acero dentro del Concreto	23
4.5 Pérdida de la ‘Capa Pasivadora’	24
4.6 Corrosión por tensión	25
4.7 Factores que Aumentan el Riesgo de Corrosión	26

	5. Reparaciones más frecuentes en Estructuras de Concreto Reforzado que presentan daños	27
	6. Concreto Precomprimido	30
III	MARCO METODOLÓGICO	31
	1. Tipo de Investigación	31
	2. Diseño de la Investigación	31
	3. Etapas de la Investigación	32
	3.1 Definición de los Propósitos y Objetivos.....	32
	3.2 Revisión Bibliográfica	32
	3.3 Investigación Preliminar	32
	3.4 Planteamiento del Problema	33
	3.5 Investigación Detallada (Estudio Diagnóstico)	33
	3.6 Proyecto de Reparación	37
	4. Muestreo y Ensayos.....	37
	4.1 Ensayos realizados	37
	4.2 Tamaño de la Muestra.....	39
	5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	41
	6. Técnicas de Análisis de los Datos.....	43
IV	ESTUDIO DIAGNÓSTICO.....	44
	1. Inspección Preliminar.....	44
	2. Catastro	46
	2.1 Nomenclatura de los Daños y de los Elementos Estructurales	47
	2.2 Análisis del Catastro.....	50
	2.3 Conclusiones del Catastro.....	59
	3. Muestreo y Ensayos.....	63
	3.1 Especificaciones para el Muestreo y la Extracción de Especímenes	63
	3.2 Resultados y Análisis de los Ensayos	66
	3.3 Conclusiones de la Toma de Muestras y de los Resultados de los Ensayos.....	69
	4. Análisis estructural	70
	4.1 Cargas de Servicio	71
	4.2 Cables de Postensado	76
	4.3 Revisión de Esfuerzos.....	77

4.4	Momento Resistente de la Sección Actual	81
4.5	Corte Resistente de la Sección Actual	86
4.6	Conclusiones del Análisis Estructural	91
5.	Diagnóstico del Estado de la Estructura	92
V	PROYECTO DE REPARACIÓN	95
1.	Posibles Soluciones para Mantener Operativo el Muelle	95
2.	Proyecto de Reparación.....	97
2.1	Generalidades	97
2.2	Procedimientos de Reparación.....	98
2.3	Descripción de los Productos Recomendados	111
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	113
	BIBLIOGRAFÍA.....	114
	ANEXOS	117

LISTA DE CUADROS

CUADRO

1	Criterios de Severidad de Daños	47
2	Cables Rotos y Expuestos (Comparación de 1993 y 2004).....	54
3	Ancho Tributario de la Losa para cada Tipo de Viga	71
4	Cargas permanentes sobre la Losa.	71
5	Momentos Máximos y Mínimos producidos por la Carga del Camión HS-20-44	72
6	Momentos producidos por las Cargas Permanentes	74
7	Momentos producidos por la Carga Variable: Camión HS-20-44 más Impacto	75
8	Momentos producidos por la Carga Variable: Correa Transportadora....	76
9	Momentos Actuantes Totales: Cargas Permanentes + Cargas Variables	76
10	Esfuerzos en la Sección $x= 15m.$ de la Estructura Original	78
11	Esfuerzos en la sección $x= 15m.$ de la Estructura con Muletas	78
12	Esfuerzos en las secciones críticas de las vigas con una y dos muletas	80
13	Momentos Resistentes en las Secciones Críticas.	83
14	Cuadro Comparativo de los Momentos Actuantes y Resistentes	84
15	Fuerzas Cortantes Últimas y Actuantes en la Sección 1-1	88
16	Cálculo del Momento de Agrietamiento	89
17	Momento Mayorado, Corte Mayorado y Corte Resistente en la Sección 2-2	90
18	Fuerzas Cortantes Últimas y Actuantes en la Sección 2-2	90
19	Tipos de daños y Procedimientos de Reparación Correspondiente	110
19	Continuación. Tipos de daños y Procedimientos de Reparación Correspondiente.....	111

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO

1	Número de Cables Rotos por Tipo de Viga.....	51
2	Número de Cables Expuestos por Tipo de Viga	51
3	Número de Casos de Exposición o Rotura de Cables por Viga.....	52
4	Roturas y Exposiciones de los cables a lo largo del puente	53
5	Daño: Oxidación Grave del Acero de Refuerzo y de los Cables de Postensado.	56
6	Daño: Agrietamiento Grave del Concreto.	56
7	Daño: Desprendimiento Grave del Concreto	56
8	Daños Graves en los Separadores Sur y Norte de todos los Vanos.....	57
9	Cabezales de 2 y 4 pilotes	58
10	Agrietamientos Graves en Cabezales.....	58
11	Agrietamientos Moderados en Cabezales	59
12	Sección Transversal del Puente de Acceso.....	70
13	Línea de Influencia para el Cálculo del Factor de Distribución de Carga Viva	73
14	Línea de Influencia para el Cálculo del Factor de Distribución de la Carga de la Correa Transportadora.....	74
15.	Esquema Estructural Inicial.....	77
16	Estructura con una y dos Muletas.....	79
17	Diagrama de Momentos de Carga Permanente en Vigas con una Muleta.	80
18	Diagrama de Esfuerzos	82
19	Secciones críticas a corte	86
20	Sección 1-1.....	87
21	Curvatura del cable desde la sección 1-1 a la 2-2.	87
22	Sección 2-2.....	89

Arias U. Claudia P. y Zaá S. Jenniffer C.

**PROYECTO DE REPARACIÓN DEL PUENTE DE ACCESO
DE UN MUELLE MARINO. INCLUYE ESTUDIO DIAGNÓSTICO**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Gilberto Velazco.

Trabajo Especial de Grado. Caracas, UCV. Facultad de Ingeniería.

Escuela de Ingeniería Civil. 2005. 186 Páginas.

Palabras Claves: Puente de Acceso, Vigas Postensadas, Corrosión, Diagnóstico, Reparación.

Resumen.

El presente Trabajo Especial de Grado contempla la realización de un proyecto de reparación del puente de acceso a un muelle marino basado en un estudio diagnóstico, el cual se llevó a cabo en varias etapas. En primer lugar se realizó una inspección preliminar que permitió conocer el estado del puente de acceso, luego se hizo un levantamiento de los daños en la estructura, llegando a la conclusión de que los elementos más dañados son las vigas postensadas debido a la ruptura de sus cables de postensado. Posteriormente se realizaron ensayos en el concreto de las vigas que permitieron conocer que el escaso recubrimiento, la penetración de los cloruros y la forma en la que se depositan las sales sobre las vigas, están propiciando el progreso de los daños. Se realizó un análisis estructural que permitió constatar que los pilotes de acero (muletas), que se colocaron en 1993, están reduciendo las solicitaciones en las vigas y por ello estas últimas son capaces de soportar las cargas de servicio. Finalmente se concluyó que el deterioro del puente de acceso se debe a la corrosión por formación de pilas electroquímicas, escaso recubrimiento y las condiciones ambientales agresivas. Sobre la base del estudio diagnóstico realizado se planteó un proyecto para reparar cada uno de los elementos estructurales, especificando los procedimientos que se deben ejecutar según el grado y tipo de daño, y los productos sugeridos. Se recomendó un mantenimiento constante de la estructura que reducirá la formación de pilas diferenciales, y de nuevo, el deterioro consecuente del puente de acceso.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo de investigación trata el deterioro del puente de acceso a un muelle marino que está ubicado en las costas venezolanas y que pertenece a una planta de cementos. Este puente presenta graves problemas de corrosión desde hace años, y se ha tratado de reparar en numerosas oportunidades sin obtener una solución efectiva.

Por lo tanto, se plantea no sólo la necesidad de repararlo con prontitud, porque de su funcionamiento depende en gran parte las actividades de la planta, sino que también, requiere realizar un estudio diagnóstico que permita determinar los posibles factores que están causando los daños, para de esta manera poder plantear un proyecto de reparación eficaz, que evite en lo posible la aparición recurrente de éstos.

Es por esta razón que los objetivos de este trabajo de investigación son realizar un estudio diagnóstico estructural del puente de acceso al muelle, y con base en él, plantear un proyecto de reparación de la estructura.

A continuación se presenta el informe de la investigación, el cual quedó estructurado de la siguiente manera: en el Capítulo I se desarrolla el planteamiento del problema, en el Capítulo II se presentan trabajos de investigación similares y precedentes a éste, y se muestran las bases teóricas de la investigación, en el Capítulo III se describen los procedimientos utilizados, en el Capítulo IV se desarrolla el estudio diagnóstico del deterioro de la estructura, y finalmente en el Capítulo V se plantea y desarrolla un proyecto de reparación del puente de acceso.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1. Planteamiento del Problema

En la costa venezolana fue construido en el año 1978 un muelle marino, el cual tendría la finalidad de dar servicio a una nueva planta de cemento en el país, permitiendo la recepción de materia prima (yeso) y el embarque de productos procesados, clinker y cemento principalmente, para la carga en buques destinados a la exportación.

El muelle marino es de concreto reforzado y postensado, y para su construcción se tomó en cuenta la posibilidad de dar servicio a gabarras, independientemente del tamaño de la embarcación de diseño.

Actualmente el muelle es utilizado para transportar cemento a granel a través de una correa transportadora, y sacos de cemento mediante el uso de camiones, para la exportación al Caribe y otras regiones.

1.1 Descripción del Puente de Acceso a la Plataforma Principal del Muelle Marino

El muelle está conformado por un puente de acceso, una plataforma de acceso y una plataforma principal de carga. El muelle tiene una orientación de sur a norte con dos puestos de atraque: ubicados uno al este y el otro al oeste. Sobre la plataforma principal, de concreto reforzado, de 21 metros de ancho por 50 metros de largo, se apoya la estructura de descarga, el equipo cargador y una estructura metálica.

En este trabajo de investigación el objeto de estudio es el puente de acceso a dicho muelle. Este puente se encuentra sobre agua de mar, y es

utilizado para el paso de camiones y como estructura de soporte de la correa transportadora de cemento a granel.

El puente de acceso conecta la plataforma principal con la costa. Tiene una losa de concreto reforzado construida por paneles prefabricados, cada panel tiene 7.05 metros de largo (variable en los tramos finales) por 2 metros de ancho y 18 centímetros de espesor. Para el paso de camiones el puente de acceso dispone de una trocha de 3.05 metros de ancho del lado de sotavento. La correa transportadora que se apoya sobre el puente está ubicada hacia el lado de barlovento, y es de 2 metros de ancho, aproximadamente.

El puente está formado por 19 vanos, los 16 primeros de 30 metros de longitud, cada uno está soportado por tres vigas longitudinales, las cuales se denominarán: Sotavento, Central y Barlovento, para efectos prácticos y debido a su ubicación respecto a la dirección del viento. Los tres últimos vanos, de sur a norte, es decir, los más cercanos a la plataforma principal, tienen una longitud de 24 metros, están soportados por dos vigas cada uno, las cuales debido a su continuidad con los vanos anteriores se denominarán Sotavento y Central. En total el puente tiene una longitud de 552 metros.

Las vigas son de concreto postensado de sección I (llamada también doble T) de 1.45 metros de altura y una longitud de 30 metros. El postensado de las vigas está conformado por tres cables: dos en los extremos del patín inferior, denominados cables Sotavento y Barlovento, cada uno formado por 37 varillas de 7 mm. de diámetro; el tercer cable, ubicado en el centro del patín inferior, tiene 42 varillas de 7 mm. de diámetro. La resistencia última a tracción de los cables es de 17.000 kg/cm^2 y fueron tensados a 70% de su resistencia última, resultando 170 toneladas para los cables laterales, y 192 toneladas para el cable Central.

Las vigas están soportadas por cabezales de concreto reforzado y pilotes Raymond de concreto pretensado de 36 pulgadas de diámetro y 5 pulgadas de espesor. El puente posee dos tipos de cabezales, uno de ellos de base rectangular con dos pilotes, y el otro con su base en forma de cruz, tiene cuatro. Esta base en forma de cruz es el resultado de adicionar dos cubos centrales, uno al norte y uno al sur, a la base rectangular.

Las vigas se encuentran unidas por unos rigidizadores o separadores de concreto postensado en sus extremos, y descansan sobre los cabezales a través de aparatos de apoyo que están constituidos por tres láminas de neopreno de 30cm.x 30cm. que se encuentran superpuestas.

El esquema estructural original de las vigas es simplemente apoyadas (isostáticas). El puente de acceso así como el muelle en general, fueron diseñados para las cargas de servicio, incluyendo el paso de un camión HS 20-44, peso propio más impacto.

1.2 Antecedentes de la Problemática

En el año 1993, se lleva a cabo un proyecto de reparación de las vigas prefabricadas del puente de acceso. La empresa consultora encargada de este proyecto realizó una inspección ocular, la cual consistió en la observación del estado de las vigas longitudinales del puente de acceso en ambas caras laterales y en su parte inferior. Ellos constataron la existencia de algunas zonas profundamente afectadas por la acción corrosiva del agua de mar, así como otras con menor intensidad de daño, pero afirmaron que existían evidentes indicios de tener en un futuro los mismos síntomas que las anteriores.

Encontraron que hacia el centro de la luz de cada tramo, las vigas presentaban en su gran mayoría un aspecto satisfactorio, sin presencia de grietas ni manchas de oxidación del refuerzo, concentrándose tales

problemas en los tercios extremos, es decir, en las cercanías a los apoyos. Concluyeron que los daños de gran magnitud se encontraban ubicados a una distancia aproximada de $1/5$ a $1/6$ de la luz de la viga con respecto al apoyo de las mismas, y que 12 de las 54 vigas presentaban daños graves.

La empresa consultora menciona además que:

Estas vigas prefabricadas poseen tres cables de postensado y en algunos tramos se detectó falla en dos de ellos, sin embargo, la sección de máximos requerimientos de refuerzo se encuentra suficientemente alejada de la zona dañada lo que explica que no se haya sobrepasado la capacidad estructural de la viga. En todo caso se esperaría que la corrosión de los cables pudiera seguir su avance hacia el centro del tramo lo que sería mucho más crítico y conduce a la necesidad de subsanar el problema mediante la incorporación de acero de refuerzo corriente. (NOUEL INGENIEROS, 1993)

Con respecto al tablero del puente, en su cara inferior, observaron que éste se encontraba en buen estado, con excepción de contadas zonas donde se observó desprendimiento del recubrimiento. Igualmente detectaron daños de grietas y manchas de oxidación del refuerzo en varios de los pilotes, concluyendo que los más afectados eran los pilotes de los cabezales 3-4, 6-7, 7-8, 16-17, 17-18 y 18-19.

Éstas fueron sus conclusiones del levantamiento de los daños:

Los daños detectados durante la inspección de las vigas del puente vehicular representan distintos niveles de deterioro de las mismas. Una clasificación en orden creciente de gravedad de dichos daños es la siguiente:

1. Zonas afectadas fuertemente por el salpique (manchas oscuras) hacia los apoyos, algunas veces con formación de flora marina (manchas verdes).
2. Puntos de sangramiento leves en el alma.
3. Sangramientos pronunciados en la cara inferior de la viga, lo cual es indicio de la corrosión del acero de refuerzo.
4. Fisuras y grietas de distinta abertura, profundidad y longitud, en zonas cercanas a los apoyos.
5. Desconchamiento o separación del recubrimiento a nivel del alma de las vigas.

6. Desprendimiento del recubrimiento con el acero expuesto corroído superficialmente.

7. Desprendimiento profundo del concreto con corrosión severa de los cables de postensado.

8. Rotura de algunos puntos de los cables de postensado.
(NOUEL INGENIEROS, 1993)

Para corregir las consecuencias estructurales que causa la rotura de los cables de postensado, la empresa consultora llevó a cabo un proyecto de apuntalamiento y reparación de las vigas postensadas del puente de acceso. El apuntalamiento consistió en la colocación de dos pilotes verticales de acero llamados también muletas, de 12 pulgadas de diámetro, en el centro o a los tercios del vano, a fin de disminuir la longitud libre de las vigas. Tres de los 19 vanos (2, 3 y 7) tienen dos apuntalamientos (a $1/3$ y $2/3$ de la luz de las vigas), el resto de los vanos tiene una muleta cada uno, en el centro de las vigas. El procedimiento consistió en demoler parcialmente la losa del tablero del puente para permitir la hincada de los pilotes metálicos, que posteriormente se conectaron a las vigas postensadas y a la losa, mediante nuevos cabezales que atravesaron el alma de las vigas. Estos cabezales, denominados en esta investigación vigas transversales, son de concreto reforzado, su espesor es 10 cm. mayor al diámetro de los pilotes de acero y su altura es igual a la de las vigas. Se le denomina 'dado', al recubrimiento que se observa en la cara externa del alma de las vigas Sotavento y Barlovento, este recubrimiento sella la abertura que se le efectuó a las vigas postensadas para poder pasar las barras de refuerzo de los nuevos cabezales y realizar la conexión entre ellas.

Igualmente, se realizó la reposición de concreto en aquellas zonas donde había desprendimiento producto de la corrosión y ruptura de los cables. Otra de las acciones realizadas en dicha reparación, fue la soldadura de los alambres rotos de los cables de postensado de las vigas con barras de acero ordinario, para reconectarlos e intentar continuar con la función estructural que cumple el postensado.

Se utilizó un sistema de protección catódica para las muletas o apuntalamientos de acero, usando ánodos de sacrificio de aluminio. Con la finalidad de mantener el mismo potencial en los dos pilotes o muletas de cada vano, una vez descabezados se procedió a la interconexión de ellos por medio de un cable. Estas conexiones quedaron embutidas en el concreto de sus cabezales.

Algunas entrevistas realizadas al personal que trabaja en la Planta de Cementos, dieron a conocer la ocurrencia de un acontecimiento del cual no se tiene registro alguno, el cual es la colisión de un buque con el puente de acceso por el lado de Barlovento, a la altura del cabezal 15-16, el cual luego se desplazó transversal y longitudinalmente hacia tierra (Sur) y Sotavento. También mencionaron que posteriormente a la reparación y apuntalamiento, se han realizado nuevas reparaciones en algunas de las vigas postensadas, cada tres años en promedio.

1.3 Situación Actual

En una visita realizada a mediados del año 2004, se realizó una inspección general del puente de acceso que manifestó la presencia de los mismos daños observados por la consultora en el año 1993; sin embargo, estos daños se han incrementado y los agentes causantes de dichos daños han atacado a la mayoría de las vigas, lo que causa preocupación tanto a los propietarios como a los demás usuarios del muelle marino.

La consultora en el año 1993 ya había anunciado que este proceso corrosivo y de deterioro iba a continuar, pero unido a esto la falta de mantenimiento y el paso de camiones con carga superior a la de diseño parecen haber agravado la situación.

1.4 Importancia

El 80% de la producción de la Planta de Cementos es distribuida por vía marítima a través del muelle, por lo cual la reparación del puente de acceso es vital para la continuación de las funciones de esta planta. La expectativa de la empresa es prolongar la vida útil del muelle, y por consiguiente del puente de acceso, 50 años más, porque la reserva de materia prima está estimada para perdurar hasta ese tiempo.

Lograr aumentar la vida útil de un puente con daños corrosivos tan avanzados implica conocer los agentes causantes de estos daños y la manera en que actúan, a través de un estudio diagnóstico exhaustivo; para posteriormente poder delinear un proyecto de reparación que satisfaga en lo posible las expectativas de la empresa, con la visión de disminuir las acciones de estos agentes.

Consecuentes con lo planteado, este trabajo de investigación tiene como finalidad responder las siguientes inquietudes:

¿Cuál es la situación actual del puente de acceso a la plataforma principal del muelle? ¿Cuáles son los agentes causantes de los daños en el puente y como actúan éstos sobre él? ¿Cuál sería la solución más idónea para establecer un proyecto de reparación de este puente?

2. Objetivos de la Investigación

2.1 Objetivos Generales

1.- Realizar el diagnóstico estructural del puente de acceso que conecta la plataforma principal con la costa.

2.- Elaborar un proyecto de reparación de la estructura.

2.2 *Objetivos Específicos*

1.- Caracterizar los daños en los diferentes elementos que conforman la estructura a través de un catastro exhaustivo.

2.- Determinar los factores que ocasionaron los daños en los diferentes elementos estructurales.

3.- Estimar la resistencia mecánica actual del concreto y su durabilidad mediante la realización de los ensayos pertinentes.

4.- Determinar la capacidad resistente actual de la estructura por medio del análisis de tensiones debido a carga viva y carga muerta.

5.-Plantear soluciones de reparación en función de sistemas y productos disponibles en el mercado.

6.- Elaborar un proyecto factible de reparación de la estructura del puente de acceso a la plataforma principal del muelle con base en la solución seleccionada.

3. Alcance de la Investigación

El estudio incluye la evaluación del estado de deterioro de los diferentes elementos que conforman el puente de acceso, y la evaluación de la capacidad estructural y de la calidad del concreto de las vigas postensadas. El análisis estructural no toma en cuenta el riesgo sísmico.

No se contempla realizar inspección de los pilotes por debajo del nivel del mar ni determinar la capacidad actual de atraque del muelle.

El proyecto de reparación no contiene análisis de precios unitarios, cálculos métricos, ni presupuesto.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

1. Antecedentes de la Investigación

Al hacer revisión de trabajos de investigación precedentes, pueden encontrarse diferentes patologías en puentes que demuestran la frecuencia de este tipo de casos y el interés en hallar soluciones de reparación que aumenten la vida útil de tales estructuras.

Bozo Pinto y otros (1993), estudian la Patología de los Puentes de la Troncal 009 Tramo Kempis - Boca de Uchire. En esta investigación, específicamente en los puentes de concreto las condiciones patológicas más frecuentes son los daños en los aparatos de apoyo, el deterioro general de las juntas de dilatación, la corrosión en las losas, y el agrietamiento y ruptura de la calzada. En los aparatos de apoyo observaron “un deterioro general de los materiales que componen estos apoyos (neoprene, etc.), el cual se traduce en un incremento del punzonado que resquebraja y fractura las vigas en sus descansos” (p. 293), mencionan que las causas más probables de estos daños es el desgaste de los materiales con el tiempo, pero que en algunos casos puede deberse a un insuficiente espesor de los mismos o el uso de materiales poco aptos para soportar las cargas de servicio. Con respecto a las juntas de dilatación aseguran que “se usaron, como sellantes de juntas, materiales que actualmente presentan un deterioro tal que les imposibilita cumplir con sus funciones, incluso a veces, se han observado juntas desprovistas de todo producto sellante” (p. 274), comentan que su deterioro se debe fundamentalmente al tiempo de servicio. En los puentes de la Troncal 009, las losas fueron las más afectadas por la corrosión, representando “una situación muy peligrosa, ya que siendo un proceso

invasivo origina la destrucción de las barras de acero de refuerzo, influyendo sustancialmente en el deterioro general de los tableros disminuyendo su capacidad resistente” (p. 278), en este sentido concluyen que los factores que favorecieron la corrosión fueron “un proceso constructivo defectuoso de estas losas unido a condiciones ambientales, en cierto modo hostiles” (p. 278). Además de las causas antes mencionadas para los diversos daños que los investigadores encontraron en estos puentes, la “carencia de eficientes políticas de mantenimiento” es un factor importante que da origen a la problemática estudiada. Las sobrecargas no fueron un factor causante de daños en estos puentes, los autores comentan que “una prueba de ello es el hecho de no haberse observado grietas o deflexiones en vigas, fallas en estribos o pilas” (p. 317).

Velazco (1979) estudia la Corrosión en el Puente General Rafael Urdaneta. El autor determinó que los casos más relevantes de corrosión se encuentran en las zonas cercanas a la línea de agua, que sufren ciclos de sequedad y humedad, ubicadas en el lado norte de la estructura, donde el sol calienta predominantemente, esta cara sufre considerables diferencias de temperatura entre las horas diurnas y nocturnas. Es decir, que las zonas que presentan mayor corrosión son las que padecen fuertes diferencias de humedad y temperatura. La variable estudiada fue la profundidad de penetración de los cloruros y su distribución, con la finalidad de conocer la procedencia de los cloruros. Velazco comenta que:

Contenidos semejantes de cloruros a diferentes profundidades indicarían la presencia inicial de sales en la mezcla; por el contrario contenidos más altos de cloruros cerca de la superficie y disminución gradual con la profundidad llevarían a la conclusión de una mezcla no contaminada y penetración de sales del exterior. (p. 10)

Ya otros factores que inducen a la corrosión habían sido estudiados como son la calidad del concreto y el espesor del recubrimiento, concluyendo en ambos casos que estaban bien. En este estudio se concluyó “que los

cloruros no se encontraban presentes en la mezcla de concreto sino que penetraban la estructura desde el exterior” (p. 12). De esta manera el autor recomendó como solución de reparación “la extracción del concreto de zonas afectadas, limpieza del acero y reposición del material extraído a base de morteros de buena calidad adheridos o no con resinas epóxicas” (p. 13).

López Puerta y otros (1993) estudian la Patología de los Puentes del Municipio Vargas D.F. Ellos concluyen que los deterioros más graves en los puentes provienen de la corrosión del acero de refuerzo del concreto en losas y vigas, y comentan que la corrosión está “asociada a los principales daños que ocurren en las obras de concreto, como son el agrietamiento, la desagregación y la disgregación” (p. 211). En esta investigación “las causas más importantes que producen los agrietamientos en los elementos de concreto reforzado son las cargas excesivas en combinación con baja calidad de los materiales empleados” (p. 213). Afirman que las causas fundamentales de estos daños son: un medio ambiente agresivo, baja calidad del concreto, recubrimientos deficientes, sobrecargas e insuficiente mantenimiento. Además de los daños en losas y vigas por corrosión se observaron flechas excesivas debido a errores de proyecto unido con errores de ejecución en uno de los puentes; para este caso recomiendan aplicar “el postensado exterior que permite ejercer una contraflecha, a la vez que incrementa la capacidad resistente” (p. 227). También se encontró deterioro de las defensas, capa de rodamiento, aparatos de apoyos, pilas, estribos y fundaciones, y las juntas de dilatación; con respecto a estas últimas manifiestan que los principales daños observados son “la deficiente preparación de los bordes, el poco espacio que permita el libre movimiento del tablero y el desgaste de los materiales con que han sido sellados” (p. 214), y en las juntas abiertas “muchas veces se introducen objetos que limitan el movimiento del tablero originando esfuerzos perjudiciales” (p. 214). Como el daño estructural más grave encontrado fue debido a las

sobrecargas, los autores recomiendan reforzar las vigas con el método del encamisamiento o el método de topes en la cara inferior en varios casos.

2. Daños más frecuentes en las Estructuras de Concreto Reforzado.

Los daños más frecuentes en estructuras de concreto reforzado y que también pueden presentarse en estructuras de concreto precomprimido, se presentan a continuación:

2.1 Desagregación

La desagregación es un daño que se aprecia en la superficie del concreto, es producido por agentes químicos que atacan la pasta de cemento a través de diversos mecanismos. Muñoz Hidalgo (1994) explica que cuando un elemento de concreto reforzado es atacado por un agente químico “desde su interior o le afecta desde el exterior, se deshace o se desmorona. A esta destrucción química se le llama desagregación, mientras que si el ataque y la destrucción es por un medio físico se llama disgregación” (p. 196).

Según Porrero y otros (2004) “en el ataque externo del concreto, el agente agresor penetra por su superficie y va destruyendo la masa en una acción lenta y persistente que se denomina corrosión del concreto o desagregación” (p. 402). Según Ramírez y otros (1985) la desagregación ocurre cuando “el cemento va perdiendo su carácter conglomerante quedando, por consiguiente, los agregados libres de la unión que les proporciona la pasta” (p. 99). Este fenómeno se inicia en la superficie de los elementos de concreto con un cambio de coloración y desintegración de la pasta de cemento.

Los agentes agresores son poco frecuentes dentro de la misma pasta por lo cual se mencionan sólo algunos provenientes del medio externo:

2.1.1 Ácidos:

Los cementos son de carácter básico, por lo tanto los concretos son sensibles a ser atacados por sustancias ácidas. Para efectos de la agresión a la pasta de cemento resulta más dañina la reserva ácida que tenga la sustancia con la cual tiene contacto el concreto, que el nivel de pH de este último.

2.1.2 Sulfatos:

Según Porrero y otros (2004):

El ión sulfato, que es uno de los componentes principales del agua marina, al contacto con el concreto se combina especialmente con el aluminato tricálcico del cemento para dar lugar, con gran aumento de volumen, a sulfoaluminatos de calcio o Sal de Candlot. Esta acción sobre la pasta tiene un efecto destructor a pequeña escala, el cual se une a las acciones de deslavado y cristalización que deteriora la pasta aglomerante. (p. 405)

Este ataque químico da como resultado granos de agregados que van quedando aislados, y que luego se desprenden.

La Norma COVENIN 1753 presenta requisitos para concretos expuestos a sulfatos, limitando la concentración de sulfatos en suelos y exigiendo una mínima relación agua-cemento según el grado de exposición.

2.1.3 Anhídrido carbónico atmosférico:

Este agente agresor carbonata al hidróxido de calcio producto de la hidratación del cemento formando carbonato de calcio, este último bajo ciertas condiciones de humectación produce agrietamiento por retracción creando puntos de entrada a nuevos agentes contaminantes incluyendo el anhídrido carbónico, el cual disminuye el pH alcalino del concreto y el acero de refuerzo no puede mantenerse ya en estado de pasivación.

El proceso químico en el cual el anhídrido carbónico atmosférico reacciona con el hidróxido de calcio del cemento formando carbonato de calcio, es conocido como Carbonatación.

Para prevenir el ataque de la pasta es fundamental un concreto homogéneo, sin grietas ni huecos, con una relación agua-cemento baja.

López Puerta y otros (1993) comentan que “las acciones de tipo químico, tales como: gases contenidos en la atmósfera (CO₂, SO₂, etc.) aguas puras, turbias, ácidas, marinas, aceites, grasas, combustibles, etc., son las que generalmente producen la corrosión del concreto” (p. 20).

2.2 Agrietamiento

El concreto es conocido como un material frágil, por lo cual su capacidad de deformarse bajo esfuerzos de tracción es baja, lo que explica que las grietas siempre se formen por tracción.

Según Porrero y otros (2004) una grieta es la “separación total o parcial de dos o más partes de un elemento de concreto producida por rotura o fractura” (p. 454). Las grietas pueden estar activas o estabilizadas, según los autores mencionados las grietas activas “son aquellas cuyo ancho de abertura cambia con las acciones externas (temperatura, cargas cíclicas y otras)” las grietas estabilizadas son “grietas cuyo ancho no cambia con el tiempo; pueden ser selladas con productos relativamente rígidos” (p. 454).

Algunas grietas no comprometen el comportamiento estructural del concreto, sin embargo permiten la entrada de agua o de sustancias agresivas que podrían corroer el acero.

La posición y forma de las grietas en los elementos estructurales, son aspectos que deben observarse y analizarse para poder determinar la sollicitación que les dio origen, o si éstas son debidas a la corrosión del acero.

En este sentido Muñoz Hidalgo (1994) menciona que las grietas debidas a la flexión y el corte se sitúan cerca del apoyo, “con mayor abertura en la cara superior de la viga o zona de tracción, que se va cerrando a medida que va descendiendo, seccionando al elemento y tomando una inclinación comprendida entre 45° y 75°” (p. 225).

En los elementos de concreto precomprimido se asume que el concreto no sufrirá agrietamiento, por lo tanto la aparición de grietas en los elementos es un síntoma de que la estructura tiene problemas.

2.3 Corrosión del Acero de Refuerzo

La corrosión en el acero de refuerzo es una oxidación progresiva, sin pasivación. La pasivación es un proceso de amortiguamiento de la oxidación, que consiste en la formación de una película que no permite la oxidación interna.

La corrosión primero deteriora las barras de acero, con la formación de costras, picaduras y pérdida de sección, luego deteriora el concreto, primero manchándolo, después agrietándolo y por último causando desprendimiento del recubrimiento (debido a que el volumen del óxido producido es mucho mayor que el del metal sano del que proviene).

La corrosión puede ocurrir en muchos lugares geográficos pero tiene más probabilidades de presentarse en las zonas cercanas al mar, y en concretos porosos o agrietados que facilitan la penetración del oxígeno, gas carbónico, agua, salitre, etc.

El mecanismo de la corrosión y otros temas relativos a este tipo de daño serán tratados más adelante.

2.4 Eflorescencia

Las eflorescencias son manchas blanquecinas que aparecen debido a la precipitación de algunas sales. Según Porrero y otros (2004) las eflorescencias surgen “como consecuencia de distintos tipos de sales solubles que son transportadas con el agua de mezclado o el agua de lluvia, las cuales precipitan y se recristalizan cerca o lejos de la superficie”.

Las principales causas de las eflorescencias son la presencia de sales solubles y la humedad, esta última permite la disolución de las sales, y luego al evaporarse, la precipitación. Las sales pueden ser carbonatos, sulfatos, nitratos o cloruros.

2.5 Desgaste

Es el deterioro de la superficie externa por la acción de diversos factores, los cuales pueden ser: la abrasión por tránsito, humedad, erosión o impacto.

La abrasión por tránsito se produce por la fricción entre las ruedas de los vehículos y la superficie de concreto, así como también por el paso de personas. Sanjuán y Castro (2001) comentan que “este desgaste se incrementa debido a la presencia de partículas finas sobre el concreto que actúan como agente abrasivo” (p. 25). Porrero y otros (2004) afirman que “la resistencia al desgaste del concreto va a depender, esencialmente, de las características del agregado y de la adherencia entre la pasta y el agregado” (p. 393). Como la pasta tiene menor resistencia que los agregados gruesos, tiende a desgastarse primero y quedan estos últimos expuestos.

La abrasión húmeda se produce por el paso de agua a gran velocidad, puede contener arenas u otras partículas suspendidas. La diferencia con la abrasión por tránsito es que el concreto se encuentra húmedo lo cual hace

más vulnerable la pasta; este daño se puede observar en pilas de puentes o pilotes marinos.

La erosión tiene efectos más lentos, se produce por el choque de las partículas de arena arrastradas por el viento contra la estructura.

El impacto según Sanjuán y Castro (2001) “consiste en el golpeteo continuo o no, al que se ve sometido el concreto (...) por la caída de un objeto pesado sobre un pavimento de concreto” (p. 26).

Es importante mencionar que el desgaste unido con la acción de agentes agresivos externos que atacan la pasta produce efectos más graves.

2.6 Desprendimiento del Concreto

Su origen se debe a esfuerzos internos que dan lugar a fuertes tracciones que el concreto no está en posibilidades de soportar, éstas producen fisuras que pueden enlazarse entre si, haciendo que salte el concreto que se encuentra entre ellas. Estos esfuerzos internos pueden producirse por corrosión de las barras de refuerzo o por sobrecargas excesivas, entre otras.

3. Causas más probables de Daños en las Estructuras de Concreto

Entre las causas más importantes de daños en las estructuras de concreto, ya sea reforzado o precomprimido, se destacan:

3.1 Uso Normal

El uso normal son los acontecimientos que le ocurren a la estructura durante su puesta en servicio, y para los cuales fue diseñada, sin embargo, con el paso del tiempo los materiales van perdiendo sus propiedades originales, con lo que se hacen más vulnerables a la acción de los agentes

agresivos. Para disminuir o retrasar los daños producidos por esta causa es importante realizar a las estructuras su debido mantenimiento.

3.2 Sobrecargas

Las estructuras son calculadas utilizando un factor de mayoración de cargas y un factor de minoración de resistencias para poder soportar las cargas de servicio sin llegar al agotamiento, y con la rigidez y estabilidad adecuada. Cuando las sobrecargas exceden los límites establecidos por los coeficientes de mayoración pudieran producirse daños a largo o corto plazo. Según Bozo Pinto y otros (1993) “los efectos de sobrecargas excesivas no se manifiestan de forma inmediata sino cuando han pasado meses e incluso años, de la puesta en servicio de la estructura” (p. 13). Además agregan que “los daños aparecidos como consecuencia de sobrecargas dependen de la intensidad y la duración de la acción” (p. 13).

3.3 Calidad de los Materiales

Las estructuras son diseñadas empleando modelos que suponen materiales homogéneos. Sin embargo, el concreto reforzado es un material formado por cemento, agregados, agua y refuerzos de acero, por lo que es frecuente que los defectos de cada uno de ellos influyan desfavorablemente sobre las características más importantes de él: resistencia mecánica, estabilidad y durabilidad.

3.4 Errores de Ejecución

Una correcta ejecución y su control pertinente son primordiales para asegurar una adecuada durabilidad de la estructura.

Ramírez y otros (1985) resumen los defectos que puedan producirse en la ejecución, entre los cuales se encuentran: Asentamientos localizados de las superficies sobre las que se vacía, desplazamientos de los encofrados, mal

vibrado y segregaciones del concreto fresco. Bozo Pinto y otros (1993) coinciden con Ramírez y otros, pero añaden la retracción excesiva y el desencofrado prematuro.

La resistencia mecánica y la durabilidad del concreto están íntimamente relacionadas con su homogeneidad y compacidad, y dependen de la relación agua-cemento, elaboración, transporte, vertido, compactado y curado.

3.5 Efectos Reológicos

La fluencia, la retracción y la temperatura son factores dependientes del tiempo, que en condiciones de servicio de la estructura pueden provocar daños a la misma. En relación con esto López Puerta y otros (1993) afirman que los efectos reológicos producen en la estructura “tensiones y movimientos que de acuerdo a su magnitud pueden provocar: Agrietamiento no controlado, deflexiones excesivas, daños locales (estructurales o no), colapsos, etc.” (p. 23).

3.6 Reacciones Químicas

El concreto puede ser atacado y deteriorado por numerosos agentes químicos, tales como los sulfatos, las sales de magnesio, el agua de mar, las aguas orgánicas e incluso las aguas muy puras.

3.7 Errores de Proyecto

Los errores en el cálculo de la capacidad resistente de los elementos estructurales, en las especificaciones de proyecto o en la consideración de las cargas a las que estará sometida la estructura, pueden ser causas de daños cuando ésta se encuentra en servicio, e incluso en etapas constructivas. Según Ramírez y otros (1985) en la búsqueda de los errores del proyecto es importante comprobar en primer lugar que el deterioro es debido a una sobrecarga no considerada en el cálculo.

Otras causas de daños en las estructuras en general son eventos excepcionales tales como: sismos, incendios, tornados, impactos, etc.

4. Corrosión

Según Moulinier (1979), se define la corrosión como:

La destrucción del metal por reacción química o electroquímica con su ambiente, es decir la tendencia de los metales a volver a la naturaleza, siendo este estado el existente cuando se encuentran en las minas metálicas o minerales naturales, de que proceden. (p. 16)

Se conoce que dicho estado es el más estable o de menor energía potencial. Los procedimientos requeridos para la obtención de los metales les confieren una energía potencial mayor, y por lo tanto, les provoca inestabilidad.

4.1 Tipos de Corrosión

Según Johansson (1975) “la corrosión se puede efectuar mediante un proceso químico o electroquímico. La corrosión puramente química se realiza solamente en los gases o en líquidos no conductores” (p. 44).

Moulinier (1979) destaca las diferencias entre los dos tipos de corrosión: “Corrosión química es la que se produce por interacción directa entre el metal y el medio ambiente. La electroquímica implica una corriente eléctrica o desplazamiento de electrones de un lugar a otro del metal” (p. 17). La corrosión electroquímica requiere de un electrolito (el cual puede ser agua o cualquier otro conductor), y adicionalmente que exista diferencia de potencial entre dos puntos, de esta manera se forma un elemento de corrosión que actúa como conductor, compuesto de ánodo, cátodo y electrolito.

La corrosión química no es de interés para esta investigación, pero si la electroquímica, que es la que ocurre en los metales, y en particular en el acero que se encuentra embutido en el concreto.

4.2 Mecanismo de la Corrosión del Acero

El hierro, formador del acero, se encuentra inestable en el medio ambiente por lo cual trata de volver a su estado natural de mineral de óxido mediante la pérdida de electrones; la consecuencia es la oxidación del acero. Según Porrero y otros (2004) para que esto suceda “es necesario que esté en contacto con oxígeno y humedad. En ausencia de cualquiera de los dos no se produce corrosión” (p. 410).

La oxidación del acero dentro del concreto se debe a la formación de pilas electroquímicas, originadas por diferencias de potencial entre puntos del refuerzo.

El mecanismo se da de la siguiente manera: El hierro se disuelve en el ánodo en forma de cationes (Fe^{++} , Fe^{+++}) y se desprenden electrones, éstos son conducidos a través del electrolito (el concreto húmedo en este caso) hasta el cátodo, capaz de consumirlos. Allí se forman iones con carga negativa que regresan al ánodo donde se combinan con los iones positivos del hierro formando óxido de hierro. Los productos que se forman luego de todas estas reacciones tienen mucho mayor volumen que el hierro del que proceden (posiblemente unas 20 veces) lo cual produce agrietamientos en el concreto y hasta desprendimientos.

El ánodo es la parte de la pila en donde ocurre la corrosión y el cátodo es la zona que queda protegida, en este proceso el concreto húmedo sirve de electrolito y el acero pone la pila en corto circuito. Porrero y otros (2004) aseguran que “estas zonas se integran a su vez por numerosas micropilas con un punto anódico y otro próximo catódico (electrodos)” (p. 411).

4.3 Formación de las Pilas Electroquímicas

Como se menciona anteriormente, las pilas electroquímicas se forman debido a grandes diferencias de potencial. Estas diferencias de potencial pueden ser causadas por varios motivos; Velazco (1979) menciona algunos: “distinta temperatura, humedad o concentración salina en el concreto, cambios de tensión en el acero, etc.” (p. 5). Johansson (1975) dice que “pueden formarse grandes diferenciales de potencial cuando se unen dos metales distintos (...) Normalmente, uniones de esta índole conducen a la destrucción del metal con el menor potencial” (p. 45).

Porrero y otros (2004) comentan que “cualquier diferencia que se produzca entre áreas de concreto en contacto con el acero de refuerzo produce diferencias de tensión eléctrica sobre éste. Si la tensión alcanza cierto nivel, aparece la pila” (p. 410). Las partes más porosas, con menor recubrimiento, más cálidas, más húmedas o con más sales, son las anódicas.

4.4 Protección del Acero dentro del Concreto

En condiciones normales el acero de refuerzo no se corroe dentro del concreto debido a dos razones: En primer lugar si el recubrimiento es suficiente y el concreto bien compacto (poca porosidad) impide la entrada de agentes agresivos, de oxígeno y de humedad.

En segundo lugar porque “el ambiente altamente básico con elevado pH, que produce la pasta de cemento Pórtland en la cual está embebido el acero, recubre a éste con una delgada película de sales y óxidos que lo protegen” Porrero y otros (2004) (p. 410). Esta película es una capa fina de óxido que es llamada ‘capa pasivadora’, la cual impide la disolución del hierro.

4.5 Pérdida de la ‘Capa Pasivadora’

La película protectora del acero o ‘capa pasivadora’ puede perder su efectividad por varias causas:

4.5.1 Disminución del pH del Concreto por Carbonatación:

La formación de carbonato de calcio debido a este proceso químico, reduce el pH del concreto de 12-13 a 9 aproximadamente, con lo cual el acero ya no puede mantenerse en estado pasivo.

4.5.2 Penetración de sales (particularmente las que contienen cloruros):

Las sales presentes dentro de un elemento de concreto (sea reforzado o precomprimido) se debe a: la penetración desde el exterior, provenientes del agua de mar, de gotas de agua salobre arrastradas por el viento hasta la estructura, o por el contacto directo de la estructura con suelos salitrosos. También las sales pueden ser internas si fueron mezcladas junto con los demás componentes del concreto, esto sucede cuando los agregados, el agua, o el cemento están contaminados.

El mayor daño que producen los cloruros de las sales es despasivar la película protectora del acero. Porrero y otros (2004) aseguran que “los cloruros, al disminuir la capacidad de la película protectora, permiten que las electropilas funcionen con menor tensión, además de su influencia en la formación de pilas de concentración diferencial” (p. 411).

Velazco (1979) comenta que la concentración de las sales es:

Variable con el tiempo y depende de la agresividad del medio ambiente y de la permeabilidad del concreto. Siempre hay diferencias notables de contenidos de sales entre la cara expuesta y el interior del elemento; este gradiente es suficiente para generar pilas de concentración diferencial. (p. 7)

La Norma COVENIN 1753 en la tabla 4.5.3 limita el contenido del ión cloruro dentro del concreto proveniente de sus componentes para garantizar la protección contra la corrosión, según el grado de exposición a los cloruros que tendrá el elemento de concreto reforzado.

4.6 Corrosión por tensión

El fenómeno de la corrosión por tensión ocurre tanto en acero ordinario para concreto reforzado como en acero de alta resistencia utilizado para elementos de concreto precomprimido, pero el problema es más delicado en este último, por los diámetro de las varillas, y además porque se encuentran sometidos a grandes esfuerzos de tensión.

Johannson (1975) con respecto al acero de alta resistencia afirma que:

El diámetro pequeño de los hilos lo hace más sensible para una disminución parcial de su sección. Un hilo de 5mm pierde ya por la oxidación de 1 mm. de su superficie 64% de su área útil, por el contrario, la cabilla de 20 mm. perdería, con la misma capa oxidada, solamente 19%. (p. 43)

Porrero y otros (2004) comentan que:

Son pequeñas las diferencias de sensibilidad a la corrosión entre los distintos tipos y clases de aceros de refuerzo, con excepción de los cables de alta resistencia usados para concreto precomprimido que son altamente sensibles; bajo tensión, éstos pueden ser fácilmente seccionados si sufren corrosión. (p. 414)

Cuando las varillas de alta resistencia se encuentran sometidas a grandes tensiones y sufren corrosión, una pequeña picadura puede degenerar en una ruptura inminente de éstas, sin daños visibles y casi sin deformación previa, a esto se le conoce como corrosión por tensión.

Calavera Ruiz (1996) expone que:

En este tipo de corrosión el proceso anódico se inicia por una picadura que va profundizando la fisura. El proceso se desarrolla en el vértice de la grieta y debido al elevado grado de tensión de la barra, generalmente

del orden del 60% de la tensión de rotura, acaba produciendo una rotura frágil. (p. 52)

Este tipo de corrosión no se da en el concreto reforzado debido a que las tensiones sobre el acero no superan el 42% (1750 kg/cm^2) de su tensión de rotura (4200 kg/cm^2).

4.7 Factores que Aumentan el Riesgo de Corrosión

Los factores que conducen a la corrosión pueden ser clasificados en dos grupos:

4.7.1 Características del concreto

La porosidad del concreto es uno de los factores fundamentales, ya que permite la entrada y circulación de agentes agresores y de humedad. Un concreto compacto se logra con una baja relación agua-cemento entre otros. La Norma COVENIN 1753 recomienda un valor de 0.40 para concreto reforzado bajo condiciones de contacto directo o salpicaduras de aguas salobres o de mar.

Otro factor es el recubrimiento, el cual tiene la función de aislar el acero del medio externo. La Norma COVENIN 1753 en su artículo 7.7.5 dice:

Como medida adicional contra la corrosión se recomienda un recubrimiento mínimo de 5 cm. en muros, losas o placas y, 6 cm. para otros miembros. Para concreto prefabricado bajo condiciones de control en planta se recomienda un recubrimiento mínimo de 4 y 5 cm.

4.7.2 Condiciones ambientales

Existen innumerables factores que condicionan el medio que rodea una estructura, sin embargo desde el punto de vista de la corrosión, es importante considerar cómo estos factores producen gradientes de humedad y temperatura, que facilitan la formación de pilas electroquímicas.

Velazco (1979) explica:

Las zonas más afectadas por la corrosión en estructuras semi-sumergidas suelen ser aquellas expuestas a ciclos de mojado y secado, debido por ejemplo al movimiento de mareas y/o rociado. Las partes totalmente sumergidas presentan menos problemas por encontrarse en condiciones más estables y uniformes y por el difícil acceso de oxígeno. (p. 7)

Se pueden formar gradientes de temperatura entre caras opuestas de un elemento cuando el sol lo calienta por un solo lado.

En estructuras cercanas al mar o en contacto con éste, la dirección del viento es importante considerarla, ya que del lado de barlovento el concreto estará más expuesto al agua marina que el viento arrastra, creándose mayor concentración de cloruros de un lado que de otro.

5. Reparaciones más frecuentes en Estructuras de Concreto Reforzado que presentan daños

Los daños que más frecuentemente suceden en el concreto reforzado pueden corregirse o al menos detener el avance de su proceso. Porrero y otros (2004) señalan:

La reparación del concreto que ha sufrido algún daño de origen químico, sea en la mezcla o en el acero de refuerzo, consiste esencialmente en la extracción de los materiales afectados y su sustitución por otros sanos, garantizando la adecuada continuidad entre los remanentes y los nuevos. (p. 418)

En este mismo sentido, Fernández Cánovas (1994) menciona que “el espesor de la capa de hormigón a eliminar depende de la cantidad de cloruros que posea éste, de la porosidad del mismo y del grado de carbonatación que presente”. También indica que “esta operación es fundamental a fin de conseguir un núcleo sano sobre el que fijar el material de reparación” (p. 440). La eliminación del concreto se realiza generalmente mediante escarificado con martillo mecánico o picado con martillo y cincel.

Existen casos en que la sección de algunas barras de acero ha disminuido tanto debido a la corrosión que es necesario sustituirlas por unas nuevas, Fernández Cánovas (1994) comenta:

Cuando la pérdida de sección supera del 15 al 25 por 100 de la sección; (...), la restauración de las armaduras se hará cortando los trozos de barras excesivamente debilitadas y sustituyéndolos por otros soldados, si el acero es soldable, o atado a los sanos existentes en el caso en que no lo fueran. (p. 441)

Luego de restauradas las barras es necesario limpiar las superficies, no debe quedar polvo, grasas, ni fragmentos desprendibles, esta limpieza debe remover las sales presentes, si existiesen, además se debe eliminar totalmente la herrumbre de las barras de acero. La limpieza generalmente se realiza con chorros de arena, aunque en ocasiones debido al espacio no se puede, y se utilizan cepillos mecánicos de alambre. En relación con esto, Fernández Cánovas (1994) afirma que “la limpieza es fundamental para asegurar la adherencia de las resinas que se darán posteriormente para que actúen de barrera” (p. 441). Una vez realizada la limpieza debe colocarse una capa de adhesivo epoxi, la misión del epoxi es, según el mismo autor, “unir el hormigón existente con el nuevo a colocar y crear, al mismo tiempo, una barrera protectora que aisle al acero del exterior” (p. 442). El concreto retirado debe reponerse con un material de buena calidad rico en cemento, adherido directamente o mediante resinas acrílicas o epóxicas, que cuente con una resistencia superior al existente.

Porrero y otros (2004) mencionan que los cuatro materiales de reposición más frecuentes son: Concretos y morteros de cemento, látex no emulsionable, morteros de expansión controlada y resinas epóxicas.

Para la reparación de grietas es necesario determinar previamente si la grieta está activa o estabilizada, ya que si aun está viva, es muy probable que el material de la reparación, que es muy rígido, se separe del concreto, apareciendo una nueva grieta. Algunas grietas de hasta 1 mm. de abertura

pueden autosellarse. Porrero y otros (2004) aseguran que: “las grietas a través de las cuales percola agua, si se estabilizan o están en vía de estabilizarse, con muy poco movimiento activo, se pueden autosellar por carbonatación con carbonato de calcio” (p. 390).

Cuando las grietas son de dimensiones mayores, y no pueden ser selladas por mecanismos naturales se emplean productos y resinas para repararlas. Entre las resinas empleadas Porrero y otros (2004) mencionan las epóxicas y las acrílicas. Las resinas epóxicas pueden ser inyectadas en las grietas; tienen alta adherencia al concreto tanto en estado húmedo como seco. Estas resinas producen sellos rígidos, y cuando son inyectadas en grietas activas, el concreto volverá a romperse. Las resinas acrílicas tienen variados usos en las reparaciones, según Porrero y otros (2004) “su aplicación sobre las superficies de concreto agrietadas suele comenzar con un producto fluido, de baja viscosidad, el cual penetrará un cierto grado en las grietas, seguidas por la posterior aplicación de varias manos de productos más espesos” (p. 391). Las resinas acrílicas son más elásticas que las epóxicas pero no lo suficiente como para evitar la rotura del concreto si se aplica en grietas activas.

Aparte de estas resinas también pueden emplearse otros recubrimientos o pinturas para fines estéticos y de protección. Las pinturas elastoméricas son ideales para grietas activas ya que admiten pequeños movimientos. También pueden usarse, con el propósito de estancar grietas activas, sellos elastoplásticos los cuales se aplican dentro de un cajetín que se construye en dirección de la grieta. Porrero y otros (2004) señalan que “el mecanismo de funcionamiento del producto requiere que éste no se adhiera al fondo, pero si a los paredes del cajetín” (p. 392).

6. Concreto Precomprimido

El concreto precomprimido consiste en introducir esfuerzos de compresión al elemento estructural antes de aplicarle las sobrecargas, para disminuir o eliminar los efectos que éstas producen. Según Johansson (1975) la “pretensión significa introducir en una estructura un régimen de tensiones, de tal manera que contrarreste el régimen de tensiones originadas por las cargas exteriores” (p. 3).

6.1 Tipos de Concreto Precomprimido

Existen dos tipos de concreto precomprimido, el pretensado y el postensado. Los elementos de concreto pretensado se fabrican tensando los cables de acero entre anclajes externos antes de vaciar el concreto y al endurecerse el concreto fresco, se adhiere al acero. Cuando el concreto alcanza la resistencia requerida, se retira la fuerza de tensado aplicada por gatos, y esa misma fuerza es transmitida por adherencia, del acero al concreto, en mayor intensidad cerca de los extremos. En el caso de los elementos de concreto postensado, se colocan en los moldes de los elementos los ductos huecos que contienen a los tendones no esforzados, y que siguen la forma deseada, antes de vaciar el concreto. Los cables o tendones se tensan después de que ha endurecido el concreto y de que haya alcanzado suficiente resistencia. Habitualmente los ductos de los tendones se rellenan con mortero a alta presión después de que éstos han sido tensados.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

1. Tipo de Investigación

De acuerdo con el propósito de esta investigación el cual consiste en realizar un proyecto de reparación de la estructura del puente de acceso a la plataforma principal del muelle marino, sobre la base de un estudio diagnóstico estructural del mismo, esta investigación se enmarca en un Proyecto Factible (UPEL, 2003) el cual consiste en la “investigación, elaboración y desarrollo de una propuesta de un modelo operativo viable para solucionar problemas, requerimientos o necesidades de organizaciones o grupos sociales” (p. 16)

La propuesta está apoyada básicamente en una investigación de campo, por cuanto se trata de estudiar directamente la realidad existente en el puente de acceso a la plataforma principal del muelle marino ubicado en las costas venezolanas.

Por otra parte se trata de una investigación explicativa porque intenta determinar los factores (causas) que provocan los daños (efectos) en el puente de acceso. Según Arias (1997) la investigación explicativa “se encarga de buscar el por qué de los hechos mediante establecimiento de relaciones causa-efecto” (p. 49).

2. Diseño de la Investigación

Se trata de un diseño de investigación Ex-Post Facto por cuanto se van a determinar las causas de los daños que ha sufrido el puente y sobre las cuales el investigador no tiene ninguna influencia. Según Bisquerra (1996):

En la investigación Ex-Post Facto el investigador se plantea la validación de las hipótesis cuando el fenómeno ya ha sucedido. Generalmente se trata de una búsqueda de las causas que lo han producido, de forma 'retrospectiva', el término ex-post facto significa 'después del hecho'. (p. 217)

3. Etapas de la Investigación

3.1 Definición de los Propósitos y Objetivos:

Se describieron los propósitos y objetivos de la investigación de acuerdo con la naturaleza del problema.

3.2 Revisión Bibliográfica:

Se realizó la revisión bibliográfica, donde se precisaron: estudios previos relacionados con el problema de investigación, y conceptos y enfoques teóricos dirigidos a explicar las características del problema. Se organizó la información, y se formó el Marco Teórico de la investigación.

3.3 Investigación Preliminar:

- Se realizó la revisión de documentos relativos al proyecto de construcción del muelle marino, reportes de estudios previos acerca de los daños en la estructura del puente de acceso, y especificaciones del proyecto de reparación del puente de acceso llevado a cabo anteriormente.
- Se realizaron entrevistas al encargado y demás usuarios con respecto al progreso de los problemas en la estructura y su posible relación con el uso y las condiciones de servicio.
- Se efectuó una inspección general de la estructura que permitió fijar los alcances del estudio diagnóstico, así como hacer una descripción somera del deterioro de los elementos que conforman la estructura.

3.4 Planteamiento del Problema:

Se planteó definitivamente el problema con sus características más relevantes, lo cual contribuyó a formular la pregunta de investigación, que arroja la necesidad que se debe satisfacer mediante el Estudio Diagnóstico y la elaboración del Proyecto de Reparación.

3.5 Investigación Detallada (Estudio Diagnóstico):

Esta etapa de la investigación se subdividió en:

3.5.1 Catastro:

Se realizó un levantamiento de los daños de la estructura y un reporte exhaustivo de los daños en cada uno de los elementos del puente de acceso, lo cual implicó:

- a. Realizar la caracterización de los daños según los grados de severidad. Estos grados de severidad son representativos de las condiciones en la que se encuentra la estructura.
- b. Elaborar una Planilla de Catastro para cada uno de los elementos estructurales, considerando la geometría específica de cada uno y los daños que presentan.

Los aspectos registrados en esta planilla se basaron en lo descrito en el artículo 9.3 de la Norma ASTM C-823, del cual se hace un resumen a continuación:

Los aspectos del concreto anotados deben incluir: a) la naturaleza y extensión de las grietas y fracturas; b) evidencias de cambio de volumen, deflexión o dislocación de la construcción o partes de ella, etc.; c) las condiciones de las superficies expuestas, especialmente debilidades inusuales, desintegración, etc.; d) evidencias de reacción entre el cemento y

los agregados; e) depósitos secundarios sobre superficies, en grietas y en vacíos; f) la presencia y extensión de reparaciones y la calidad de éstas respecto al concreto original.

c. Definir una nomenclatura que permitiera un rápido llenado de la Planilla de Catastro, así como su fácil compresión para el análisis de los datos.

d. Registrar los daños en la Planilla de Catastro a través de la inspección visual de la estructura. La inspección se realizó mediante el uso de lanchas.

e. Llevar un registro fotográfico de aspectos relacionados con los daños, y otros factores que fueron importantes tomar en cuenta.

f. Considerar fenómenos que pudieran inducir al deterioro de la estructura, como lo menciona la Norma ASTM C-823 en el artículo 9.3.3. Seguidamente se presenta una síntesis del artículo:

Cualquier fenómeno indicador de peligro para el concreto debe ser estudiado como posible causa o factor que contribuya al problema, tales como: (...), las variadas condiciones de exposición de la obra durante y después de construida, que incluyen lo siguiente:

- Diferencias en la exposición térmica al calor del sol. Probablemente partes sombreadas están sometidas a rangos más bajos de ciclos térmicos diarios.

- Diferencias en la exposición a la humedad, la cual puede surgir por orientación de la construcción con respecto a los vientos.

g. Analizar los datos recopilados en las Planillas de Catastro.

h. Sacar conclusiones del catastro y plantear hipótesis acerca de los posibles factores que ocasionan los daños en la estructura.

3.5.2 Muestreo y Ensayos

Se realizaron ensayos que permitieron determinar la calidad del concreto y su durabilidad, los agentes externos o internos que estuvieran atacando al concreto, la ubicación real de los cables de postensado a lo largo de la viga, y el espesor del recubrimiento.

La extracción de las muestras y la ejecución de los ensayos fueron ejecutadas por una empresa con ratificada experiencia en estas actividades, la cual efectuó una visita preliminar al muelle para conocer la factibilidad de realizar los ensayos solicitados y la colocación del andamiaje.

Se elaboraron especificaciones para el muestreo y toma de especímenes. Los procedimientos que se indican para examen visual y muestreo en sitio se basaron en el documento ASTM C 823-75: Standard Practice for Examination and Sampling of Hardened Concrete in Construction, considerando los resultados arrojados por el catastro. Las especificaciones contienen las sugerencias hechas por la empresa contratada, referente a las condiciones operativas y, especialmente, ambientales del sitio, además de los equipos disponibles y procedimientos de trabajo.

El número de especímenes para las muestras fue calculado mediante criterios estadísticos que se muestran en el apartado 4.2.

Los resultados de los ensayos fueron analizados y se sacaron conclusiones acerca de la calidad del concreto y los factores que ocasionaron los daños, influenciados por la información obtenida a través del catastro, la investigación preliminar y la revisión bibliográfica.

3.5.3 Análisis Estructural

Se realizó un análisis estructural de las vigas de concreto postensado que permitió determinar su capacidad resistente actual. No se realizó el análisis

estructural de ningún otro elemento debido a que sólo las vigas presentan un estado tal que amenaza la estabilidad del puente.

Se consideró el efecto del peso propio de la viga, peso de la losa, brocales, barandas, asfalto, defensas, correa transportadora y el paso de un camión HS 20-44 más impacto.

Para el análisis de la carga sobre el puente se siguieron los procedimientos descritos en la norma AASTHO Standard Specifications for Highway Bridges, específicamente en la distribución de la carga permanente sobre las vigas, cálculo de los momentos producidos por el camión HS 20-44, cálculo del factor de impacto y del factor de distribución de carga viva. El factor MTC utilizado es un factor de mayoración que se utiliza en Venezuela para considerar posibles cargas mayores a la que representa el camión de diseño.

El análisis abarcó tres aspectos, en primer lugar la revisión del estado de esfuerzos en las vigas en su esquema original; cuando un cable de postensado lateral está seccionado y los otros dos trabajan; cuando los dos cables laterales están seccionados y sólo trabaja el Central; y cuando la estructura ya tiene las muletas y sólo trabaja el cable Central. En esta revisión se consideraron cada una de las etapas de carga por las cuales pasan estos elementos, las cuales son: peso propio de la viga más acción del postensado, peso de la losa, peso de las cargas adicionales sobre la losa, y cargas variables.

En segundo lugar se calculó la capacidad resistente de las secciones sometidas a mayores momentos positivos, y adicionalmente las secciones que podrían estar sufriendo momento negativo, contemplando dos escenarios de colocación de los pilotes de acero o muletas: El primer escenario con las muletas ubicadas en el centro de la luz del vano, y el segundo con muletas ubicadas a los tercios de la luz. En este cálculo se

consideró la condición más desfavorable, que los dos cables laterales estaban seccionados y sólo trabajaba el central.

En tercer lugar se calculó la capacidad resistente a corte de las vigas en diferentes secciones, también considerando sólo el cable Central trabajando.

Tanto para los esfuerzos permisibles como para el cálculo del momento resistente positivo y el corte resistente, se utilizó la Norma ACI 318-02.

Finalmente, luego de obtener los resultados del catastro, ensayos y análisis estructural de las vigas, y haber sacado conclusiones de cada uno de ellos, se expone el diagnóstico donde se explican los posibles factores causantes del deterioro de la estructura.

3.6 Proyecto de Reparación:

De acuerdo al diagnóstico obtenido se plantearon posibles soluciones al problema de deterioro del puente. Se escogió la solución más idónea que satisficiera las expectativas de los usuarios y personal encargado del muelle.

Las especificaciones para realizar la reparación se hicieron clasificando los métodos de reparación según el grado y tipo de daño, basados en una investigación previa de los sistemas y productos que se ofrecen en el mercado en la actualidad.

4. Muestreo y Ensayos

4.1 Ensayos realizados

El Estudio Diagnóstico de la patología del puente de acceso requirió de la elaboración de diversos ensayos y procedimientos, los cuales se nombran a continuación:

4.1.1 Medición directa de recubrimientos:

Se realizó la medición de los recubrimientos en las vigas postensadas con el objetivo de comprobar que se cumplieran los recubrimientos mínimos exigidos por la Norma COVENIN 1753 en su artículo 7.7.5., que garantiza su función de aislar al acero del medio externo.

4.1.2 Ubicación de los cables de postensado:

Este procedimiento se llevó a cabo con la finalidad de conocer la trayectoria real de los cables de postensado dentro de las vigas, y principalmente la del cable Central, el único que no se ha expuesto aún.

4.1.3 Ensayo de Resistencia a la Compresión de Núcleos de Concreto:

Este ensayo fue empleado para determinar la resistencia real del concreto de las vigas postensadas. Esto se hizo mediante el ensayo a compresión de núcleos de concreto endurecido extraídos de dichas vigas de tal manera de no comprometer su capacidad resistente. Los núcleos fueron de un diámetro tal que cumplían con el requerimiento de ser al menos tres veces el tamaño máximo del agregado empleado en el concreto, y se procuró no seccionar el acero de la viga. La extracción, preparación y ensayo de los núcleos se ejecutó bajo las Normas COVENIN 345: Método para la extracción de probetas cilíndricas y viguetas de concreto endurecido, y COVENIN 338: Método para la elaboración, curado y ensayo a compresión de cilindros de concreto.

4.1.4 Ensayo de contenido de cloruros:

Este método fue empleado para conocer el contenido y la profundidad de penetración de cloruros en las vigas postensadas. Los valores de contenidos de cloruros se compararon con los límites impuestos por la Norma COVENIN

1753, con la finalidad de determinar si una de las causas de la corrosión es la acción de ellos. La profundidad de penetración permitió conocer la distribución de los cloruros dentro del concreto, lo que esclareció la procedencia de estos. Este ensayo se ejecutó bajo la Norma ASTM C-1218 M - 99 Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete.

4.1.5 Ensayo de Profundidad de Carbonatación:

Este ensayo fue utilizado para determinar si el concreto ha sido atacado por el proceso químico denominado carbonatación, y la profundidad hasta la cual ha penetrado. Este método consiste en realizar titulaciones con un indicador que sobre la superficie de concreto, según el pH, cambia de color, lo que indica si hubo o no carbonatación. Para este ensayo se seguirá el procedimiento descrito en DURAR Subprograma XV Corrosión/ Impacto Ambiental sobre Materiales (2000) (p. 102).

No se realizó ningún ensayo para delimitar zonas de concreto homogéneo en las vigas postensadas (como el ensayo de ondas ultrasónicas o esclerómetro, entre otros) debido a que se asumió que al ser estas vigas prefabricadas, su confección fue similar y por consiguiente la calidad del concreto utilizado en ellas es la misma.

4.2 Tamaño de la Muestra

Los resultados de los ensayos son analizados a través de la distribución estadística gaussiana, donde la media (la magnitud investigada) se aproxima más al valor real, o media del universo, cuanto mayor sea el tamaño de la muestra que se haya utilizado para su cálculo. Por consiguiente fue necesario conocer cuantos especímenes se requerían para obtener un valor confiable de la magnitud investigada por medio del ensayo. Este número de especímenes se calculó mediante la siguiente fórmula estadística:

$$n = \left(\frac{z \cdot \sigma}{\mu - \bar{x}} \right)^2$$

Donde:

'n': es el número de especímenes.

'z': es la variable tipificada de la distribución normal que representa la probabilidad de que el resultado de todos los ensayos se encuentre en el intervalo $\mu \pm \bar{x}$.

$\mu - \bar{x}$: Es el error que existe entre la media real o del universo y la media muestral. Su magnitud representa la precisión esperada de la media muestral.

σ : Es la desviación estándar del universo o de la población.

A continuación se describe el valor que tomaron cada uno de estos parámetros para los ensayos donde fue necesario estimar el número de especímenes.

4.2.1 Resistencia a la Compresión de Núcleos de Concreto

Para este ensayo se estableció una probabilidad de ocurrencia central del 99,7%, por lo tanto z es igual a ± 3 , para obtener resultados de alta confiabilidad. La desviación estándar representa las variaciones reales de calidad que tiene el concreto, como las vigas postensadas son elementos prefabricados, debieron tener un control de calidad bueno en su proceso constructivo, por esta razón el valor de la desviación estándar debe ser bajo.

Conociendo esto, se establece que el error $\mu - \bar{x} \leq \sigma$. De esta forma el número de especímenes calculado es 9.

4.2.2 Ensayo de Contenido de Cloruros

Se utilizó una probabilidad de ocurrencia central del 95.5%, es decir, z igual a ± 2 , en este caso no se requería tanta precisión. En este ensayo los especímenes son extraídos sin diferenciar sectores en las vigas, por lo que en cada punto la entrada de cloruros podría ser particular, en consecuencia la dispersión es alta. Por esta razón se estableció que el error $\mu - \bar{x} \leq \frac{\sigma}{2}$. Finalmente el número de especímenes calculado es 16.

4.2.3 Ubicación de los cables de postensado:

En este caso la media del universo y la media muestral no son magnitudes, sino que son la trayectoria real de los cables y la trayectoria promedio respectivamente. Por lo tanto $\mu - \bar{x}$ es la diferencia en centímetros, del valor entre la media del universo y la media muestral medida en cualquier progresiva a lo largo de la viga.

Igual que en el ensayo de la resistencia a la compresión se estableció una probabilidad de ocurrencia central del 99,7%, por lo tanto z es igual a ± 3 , y el error $\mu - \bar{x} \leq \sigma$. 'n' representa el número de vigas a las cuales se les localizará la trayectoria de sus cables, y es igual a 9.

5. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

En la Inspección General y el Catastro se utilizó la técnica de la observación, por cuanto se recogieron los datos, producto de la observación directa de la realidad. Para el Catastro se utilizó un instrumento para el registro de la información el cual se ha denominado para efectos de esta investigación: "Planilla de Catastro".

Los resultados obtenidos de los ensayos efectuados para el Estudio Diagnóstico, fueron registrados de la siguiente manera:

5.1 Resistencia a la Compresión del Concreto

Se muestra el valor de la resistencia de cada espécimen, valor promedio, y rango ponderado.

5.2 Contenido de Cloruros

Se registra mediante una gráfica de perfiles de penetración de cloruros, en el eje de las abscisas se ubican las profundidades en el concreto y en el eje de las ordenadas el porcentaje de cloruros referido al peso del concreto.

5.3 Ubicación de los Cables de Postensado

Se realiza una tabla de trayectoria de cables de postensado donde se muestra en cada progresiva la profundidad de cada uno de ellos.

5.4 Medición de Recubrimientos

Se presenta el rango en el cual se encuentran los espesores de recubrimiento para las vigas postensadas.

5.5 Profundidad de Carbonatación

Se registra si es positiva o negativa la carbonatación, en caso afirmativo se añade la profundidad.

6. Técnicas de Análisis de los Datos

6.1 *En el catastro:*

Se utilizó un análisis cualitativo a través de la representación gráfica de los daños graves en las vigas, y un análisis estadístico porcentual para algunas condiciones particulares.

En cuanto a los demás elementos de la estructura del puente también se utilizaron estas dos técnicas de análisis pero sin la representación gráfica.

6.2 *En los ensayos:*

Los resultados de los ensayos de resistencia a la compresión del concreto, y ubicación de los cables de postensado se analizaron comparándolos con lo especificado en los planos. Para el caso de medición directa de recubrimientos y contenido de cloruros se analizaron comparándolos con los valores establecidos en la Norma COVENIN 1753 para las condiciones ambientales a las que se encuentra expuesto el concreto.

CAPÍTULO IV

ESTUDIO DIAGNÓSTICO

1. Inspección Preliminar

En una primera visita se realizó una inspección preliminar del estado del puente de acceso y de los daños existentes, lo cual permitió definir la tipología de daños, así como el diseño de las planillas a ser utilizadas posteriormente para el registro de los datos. Los resultados de esta inspección fueron los siguientes:

Vigas:

Se observó corrosión en las vigas de todos los vanos, la mayoría de los cables laterales se encontraban rotos, había desprendimiento y agrietamiento del concreto. En los patines inferiores de las vigas se observaron grietas horizontales significativas y desprendimientos de concreto.

Cabezales y Separadores

Se observaron grietas en ambos elementos. Algunos cabezales presentaban grandes desprendimientos de concreto.

Pilotes

Los pilotes se encuentran en condición aceptable. Presentaban flora y fauna marina sobre su superficie.

Losa

La parte superior de la losa se encontraba en buen estado, no obstante la parte inferior poseía manchas de corrosión.

Vigas Transversales.

Las vigas transversales que sirven de cabezales a las muletas presentan agrietamiento. Las muletas o pilotes de acero se encuentran en buen estado.

Correa Transportadora, Barandas, Brocales y Defensas

Los elementos no estructurales tienen daños menores: agrietamiento en brocales y en las barandas de concreto reforzado, las cuales también presentan desagregación del concreto en los tramos iniciales. Los apoyos de la correa no tienen ningún deterioro visible. Las barandas de metal en el lado de Barlovento estaban corroídas (algunas caídas).

1.1 Conclusiones

Los daños en el puente consisten principalmente en oxidación del acero de refuerzo y de los cables de postensado en las vigas, desprendimiento del concreto y agrietamiento en todos los elementos. En algunos casos presencia de desagregación de la pasta y exudados.

1.2 Recomendaciones

Realizar una inspección exhaustiva de cada uno de los elementos estructurales del puente, con la finalidad de formular hipótesis que respondan el por qué de los daños, e identificar los agentes causantes de ellos, así como sus vías de ataque; esto apoyado en las conclusiones de ensayos no destructivos, que sean propuestos basados en los resultados de esta inspección.

Debido a que el esquema estructural original ha cambiado, se recomienda realizar un análisis estructural de las vigas del puente, para conocer si éstas seguirán siendo capaces de resistir en un futuro las solicitaciones a las cuales están sometidas.

2. Catastro

En una segunda visita se llevó a cabo el levantamiento de los daños visibles en los elementos estructurales del puente de acceso (vigas postensadas, separadores, losas, vigas transversales, cabezales y soportes). En esta visita se emplearon lanchas que facilitaron la inspección de las superficies laterales e inferiores de los mencionados elementos, así como de la zona expuesta de los pilotes.

En este catastro, se reportan los daños observados, los cuales son:

- Oxidación del acero de refuerzo.
- Oxidación de los cables de postensado.
- Desagregación de la pasta.
- Agrietamiento del concreto.
- Desprendimiento del concreto.
- Exudados (Formación de estalactitas).

Cada tipo de daño se subdividió según el grado de severidad, en:

- Leve (L)
- Moderado (M)
- Grave (G)

Los criterios que permiten identificar el grado del daño, se establecieron tomando en cuenta el estado de los mismos en la estructura. Además, estos grados de severidad seleccionados son representativos de las condiciones que permitirán y ayudarán a que se inicie, y posteriormente progrese, la corrosión. Por ejemplo, las grietas delgadas permiten la entrada de humedad y oxígeno; las que tienen espesor superior a 1 mm. facilitan el ingreso de sales marinas; y las de mayor abertura, así como los desprendimientos,

indican un grado avanzado de corrosión. Los exudados son índices de la percolación de agua. De esta manera los criterios empleados son los siguientes:

Cuadro 1

Criterios de Severidad de Daños

TIPO DE DAÑO	SEVERIDAD DEL DAÑO		
	LEVE = L	MODERADO = M	GRAVE = G
Oxidación del acero de refuerzo	Manchas de óxido	Costra de corrosión. Pérdida de sección $\leq 20\%$	Costra de corrosión. Pérdida de sección $> 20\%$
Oxidación de los cables de postensado		Exposición del cable	Rotura del cable
Desagregación de la pasta	Picaduras en el concreto	Pérdida de la pasta de cemento	Agregados desnudos por desaparición de la pasta
Agrietamiento del concreto	Espesor ≤ 1 mm.	1mm. $<$ espesor ≤ 6 mm.	Espesor > 6 mm.
Desprendimiento de concreto	Abultamiento de la superficie	Pérdida de lascas o conchas de concreto	Desprendimiento total del concreto (recubrimiento)
Exudados	Manchas o eflorescencias	Formaciones, $l \leq 1$ cm.	Formaciones, $l > 1$ cm.

2.1 Nomenclatura de los Daños y de los Elementos Estructurales

El registro de los datos se hace mediante una planilla que muestra los elementos estructurales y los daños observados. Para ello se tiene una nomenclatura que identifica a cada elemento y la ubicación de los daños dentro de él. A continuación se describe la nomenclatura:

2.1.1 En cuanto a los elementos estructurales:

Vigas

Se identifican según el número del vano al cual pertenecen, contando de sur hacia norte (desde tierra hacia el mar), y con un nombre que indica su posición dentro del vano: Barlovento (hacia el este), Central (la intermedia) y Sotavento (hacia el oeste). Se distinguen tres caras: la inferior, la orientada a barlovento y la orientada a sotavento. En las caras laterales (barlovento y sotavento) se indican los daños de la siguiente manera:

Patín inferior: ai Alma: al Patín superior: as

La localización de los daños en las vigas está referenciada siempre al cabezal sur (el más cercano a tierra) donde se apoya cada viga. Por lo tanto se registra la distancia entre el daño y el cabezal mencionado de esta forma (a X m).

Separadores:

Cada vano posee 2 separadores, uno en el extremo Sur y otro en el Norte. Estos se identifican según el número del vano y su ubicación dentro de él. Ejemplo: el separador norte del vano 6 se denomina 6-Norte. Un separador tiene tres caras: la inferior, la norte y la sur. Para la localización del daño en el separador se hace la siguiente distinción: Ba: para distinguir el sector entre las vigas Barlovento y Central; y So: para distinguir el sector entre las vigas Central y Sotavento.

Losa:

Debido a que en la inspección general no se observaron daños en la parte superior de la losa, los registros se hicieron para la parte inferior. Se identificaron dos lados en la losa: el lado barlovento y el lado sotavento, para

distinguir el sector entre las vigas Barlovento y Central y el sector entre las vigas Central y Sotavento, respectivamente.

Vigas Transversales:

Son los cabezales de los nuevos pilotes (muletas). Debido a que su forma y disposición es parecida a la de los separadores, la identificación de sus caras y sectores se hará de la misma manera. Sin embargo, es necesario recordar que sólo los vanos 2, 3 y 7 tienen dos vigas transversales, los demás sólo poseen una.

Cabezal:

Los cabezales se identifican según el número de los vanos cuyas vigas son soportadas por ellos. Por ejemplo el cabezal 2-3 soporta las vigas del vano 2 y 3. Se distinguen cuatro caras: sotavento, norte, barlovento y sur.

Soportes:

Se identifican según su ubicación dentro del vano, sur o norte, y según la viga que soporten: *Ba* (Barlovento), *Ce* (Central) y *So* (Sotavento).

2.1.2 En cuanto a los daños:

Oxidación de los cables de postensado:

Como se mencionó anteriormente cada viga posee tres cables de postensado, los cuales se identifican de la siguiente forma: *Ba* (Barlovento), *Ce* (Central) y *So* (Sotavento). Ejemplo: So-G ai (a 7m), quiere decir que hay rotura del cable (G) de sotavento (So) en el patín inferior (ai) a 7 metros del cabezal sur de la viga estudiada (a 7m).

Agrietamiento del concreto:

Las grietas se presentan en tres direcciones:

H: horizontal V: vertical 45°: a 45 grados o un ángulo cercano.

De acuerdo a la ubicación de la grieta dentro del elemento se distingue (no aplica en vigas y losas): *s* (superior) e *i* (inferior).

2.1.3 Característica de los daños:

Longitud del daño: (L= X m) Área del daño: (X cm² o m²)

Estas características no aplican para el daño oxidación de los cables de postensado.

En el Anexo 1 se presentan las Planillas de Catastro.

2.2 Análisis del Catastro

Con base en la información contenida en las Planillas de Catastro se hace un análisis de la tendencia y ubicación de los daños en los diferentes elementos estructurales del puente de acceso.

2.2.1 Vigas:

Los daños graves en las vigas, correspondientes a oxidación del acero de refuerzo, agrietamiento y desprendimiento del concreto, y daños graves y moderados de oxidación de los cables de postensado, se replantean en una vista en planta de las vigas del puente de acceso, indicando su ubicación y extensión. Allí se observan los daños presentes en las caras sotavento y barlovento (que se muestran en los respectivos extremos de las vigas), y los daños en la cara inferior (que se muestran en el centro) (Ver Anexo 2). Esto permite analizar el deterioro de dichos elementos.

Oxidación de los Cables de Postensado:

El daño que más compromete la estabilidad de las vigas postensadas es la rotura de sus cables, por lo cual a continuación se estudia la ocurrencia de éste en cada uno de los cables de los tres tipos de vigas.

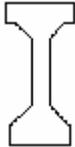
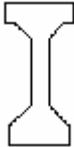
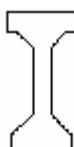
Cable So		Cable Ba	Cable So		Cable Ba	Cable So		Cable Ba
6	Viga Sotavento	7	7	Viga Central	11	5	Viga Barlovento	2
Total de cables rotos	13			18			7	
Total, en porcentajes %	34			47			19	

Gráfico 1. Número de Cables Rotos por Tipo de Viga

Se observa en el gráfico que de un total de 38 cables rotos de todas las vigas, la mayoría corresponden a vigas Central, teniendo las vigas Barlovento y Sotavento sólo 7 y 13 respectivamente.

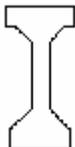
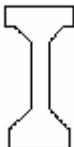
Cable So		Cable Ba	Cable So		Cable Ba	Cable So		Cable Ba
4	Viga Sotavento	4	3	Viga Central	2	0	Viga Barlovento	1
Total de cables expuestos	8			5			1	
Total, en porcentajes %	57			36			7	

Gráfico 2. Número de Cables Expuestos por Tipo de Viga

Haciendo el estudio para los cables que sólo se encuentran expuestos, en el gráfico se observa que son pocos los casos, sin embargo es importante aclarar que algunos de los cables que están rotos, también pueden presentar exposición o rotura en algún otro lugar de su extensión; la exposición de un cable induce a una rotura por corrosión inevitable.

Analizando los dos gráficos anteriores se establece que de los 52 cables dañados 38 están rotos (completamente seccionados) y 14 están sólo expuestos, lo que implica que de los 162 cables de postensado que posee la estructura 32% presentan deterioro. Tomando en cuenta solamente los cables Sotavento y Barlovento (108 cables en total) 48% tienen deterioro.

En el gráfico siguiente se muestra que de los 75 eventos de rotura o exposición de cables registrados en el catastro, 39% corresponden a la viga Sotavento, 51% a la Central y sólo un 10% a la Barlovento. Obsérvese la tendencia de los eventos hacia las vigas Sotavento y Central, además de su predominio en los cables situados en las caras que quedan en el sector encerrado por dos vigas.

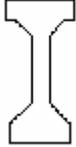
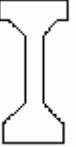
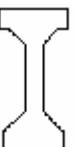
Cable So		Cable Ba	Cable So		Cable Ba	Cable So		Cable Ba
	Viga Sotavento			Viga Central			Viga Barlovento	
12		17	16		22	5		3
Total de cables expuestos y rotos por viga	29			38			8	
Total, en porcentajes %	39			51			10	

Gráfico 3. Número de Casos de Exposición o Rotura de Cables por Viga

Con la finalidad de distinguir la zona más afectada en las vigas por este daño, se estudia la aparición de roturas y exposiciones de los cables según su ubicación dentro del vano, distinguiéndose tres zonas: Tercio sur, tercio central y tercio norte.

Zona	Tercio Sur	Tercio Central	Tercio Norte
Cable Sotavento	4	6	2
Viga Sotavento			
Cable Barlovento	9	7	1
Cable Sotavento	4	8	3
Viga Central			
Cable Barlovento	8	12	3
Cable Sotavento	4	1	
Viga Barlovento			
Cable Barlovento	2	1	
Total de Roturas y Exposiciones en cada zona	31	35	9
Total de de Roturas y Exposiciones en el Puente de Acceso	75		
Porcentaje de Roturas y Exposiciones por zona	41	47	12

Gráfico 4. Roturas y Exposiciones de los cables a lo largo del puente

Del gráfico se concluye que las roturas y exposiciones de los cables se concentran en los tercios sur y central de las vigas, lo cual se repite para los demás daños, en el anexo 2 se observa esta tendencia.

Comparación del estado de los cables 1993 vs. 2004

En el año 1993 la consultora que llevó a cabo el proyecto de reparación registró el número de casos de rotura en los cables de postensado de las vigas y su ubicación a lo largo de ellas.

En la página siguiente se presenta un cuadro donde se muestran los casos de rotura y exposición de los cables encontrados en el catastro realizado en el año 2004 comparados con los de 1993. Se puede apreciar el progreso de los daños en los cables en los últimos once años.

Cuadro 2.

Cables Rotos y Expuestos (Comparación de 1993 y 2004).

# Vano	Viga Barlovento		Viga Central		Viga Sotavento	
	1993	2004	1993	2004	1993	2004
1	So-G (a 6m)	So-G (a 19m)			Ba-G(a 24m) So-G (a24m)	So-M(a 18m)
2	Ba-G (a 8m) So-G (a 8m)	Ba-G (a 9m) So-G (a 9m)		Ba-G (a 8m) y (a 16m) So-G (a 8m) y (a 11m)	So-G(a 7m)	Ba-G(a11m) So-G(a10m)
3	Ba-G (a 7m)	So-G(a 8m)	So-G(a 7m)	Ba-G (a 9m) So-G(a 11m) So-M(a 21m)		So-G(a 11m) Ba-M(a11m) So-M(a 11m)
4				Ba-G(a 16m)		Ba-G(a 16m)
5			Ba-G(a 8m)	Ba-G (a 3m) So-G (a 3m)	So-G(a 8m)	Ba-G(a 3m) So-G(a 3m) y (a 13m)
6				So-M(a 14m)		
7	Ba-G (a8m)			Ba-G(a 19m) So-G(a 19m)		Ba-G (a 8m) y (a 19m) Ba-M (a 9m) So-M(a 20m)
8				Ba-G(a 14m)		So-G (a 4m)
9		Ba-M (a11m)		Ba-G (a 7m), (a9m)(a14m) y (a18m) So-G (a 7m), (a13m)y(a 16m)		Ba-G (a 4m), (a 5m), (a 14m) y (a 16m)
10						
11		So-G (a 5m)	Ba-G(a 7m)	Ba-G (a 5m)	Ba-G (a7m)	Ba-G (a 6m) So-M (a14m)
12						
13		So-G (a 3m)		Ba-G (a 4m) Ba-M(a 16m) So-G (a 4m)		Ba-G (a 3m) So-G (a 3m)
14				Ba-M(a 24m)		Ba-M(a 16m)
15		Ba-G (a 6m)		Ba-M(a 14m)		Ba-M (a7m)
16						
17				Ba-G (a 8m) (a11m) y(a14m) So-M(a 14m)		
18				So-M(a 11m)		Ba-M (a 8m) y (a 21m) So-M (a21m)
19			Ba-G (a16m)	Ba-G(a12m), (a16m) y(a23m) Ba-M (a18m) So-G(a 21m) So-M(a 20m)		So-G(a 20m)

Desde 1993 hasta el 2004 el deterioro de los cables ha avanzado mucho más rápido que en los 15 años transcurridos desde su construcción hasta 1993. En 1993 se registraron 15 casos de exposición o rotura de un cable, en el año 2004 existen 75, lo que significa un incremento del 500%. Y de las 54 vigas existentes, en 1993 sólo 12 estaban afectadas por este daño, en el 2004 existen 36 afectadas, lo que representa un aumento del 300%.

En el cuadro 2 se observa que algunos casos de rotura en el año 1993 se repiten en el 2004, en la misma ubicación o cercana; lo cual coincide con lo observado en el catastro, donde algunos casos de rotura ocurrían en las reparaciones hechas a los cables por medio de la soldadura de barras de acero, justo en las conexiones entre dichas barras y los alambres que forman los cables, o cercanas a ellas.

Adicionalmente se nota que todos los casos de rotura en el año 1993, salvo en el vano 1 y 19, aparecen en el tercio sur de las vigas, y la cantidad de casos es similar en los tres tipos de vigas, a diferencia del año 2004 donde la mayoría de los casos se presentan tanto en el tercio sur como en el central, y predominan en las vigas Sotavento y Central.

Otros daños en las vigas

Con respecto a todos los daños en las vigas: Oxidación del acero de refuerzo, oxidación de los cables de postensado, agrietamiento y desprendimiento del concreto, de las 54 vigas que conforman el puente, 46 presentan daños graves, lo que se traduce en un 85% de las vigas.

Con base en el anexo 2, se realiza un análisis porcentual de los daños mencionados en el párrafo anterior, según como se presentan a lo largo de las vigas, aislados o junto con otro u otros daños. Esto permite establecer la relación entre los daños y las posibles causas que los generan.

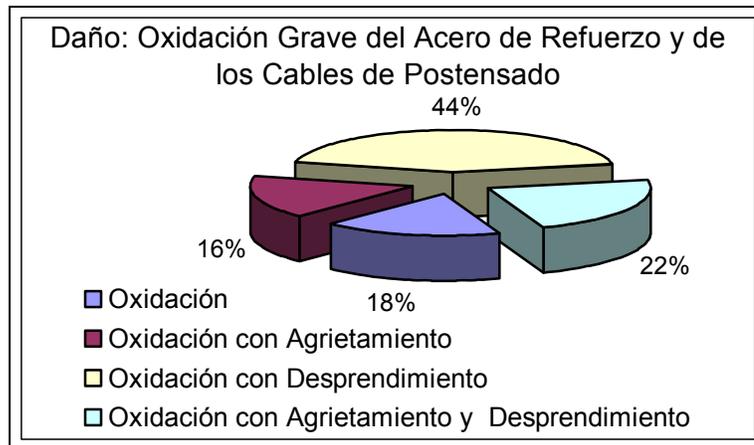


Gráfico 5. Daño: Oxidación Grave del Acero de Refuerzo y de los Cables de Postensado.

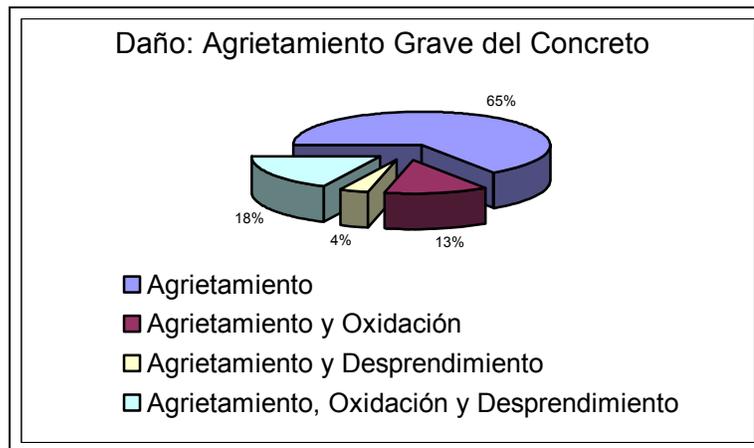


Gráfico 6. Daño: Agrietamiento Grave del Concreto.

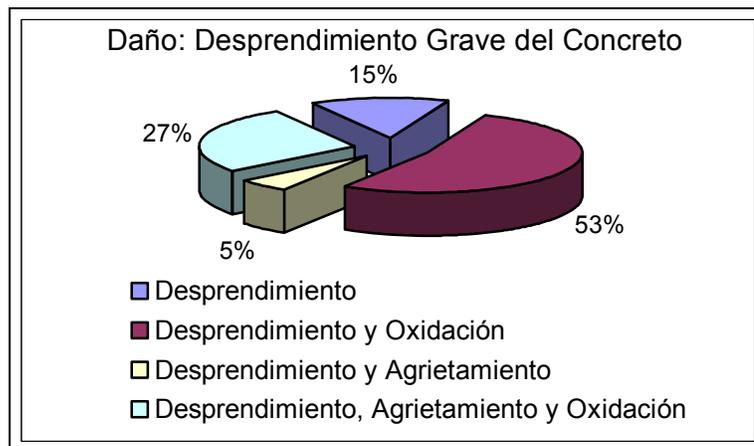


Gráfico 7. Daño: Desprendimiento Grave del Concreto

muletas, 13 están produciendo punzonado sobre estas vigas, lo que representa un 33%.

2.2.4 Cabezales:

En el análisis del deterioro de estos elementos se estudia la incidencia de los daños graves y moderados correspondientes a agrietamiento del concreto sobre sus caras, debido a que este es el daño más frecuente en ellos.

En el gráfico 9 se muestran los tipos de cabezales que tiene el puente de acceso, y las caras que son analizadas.

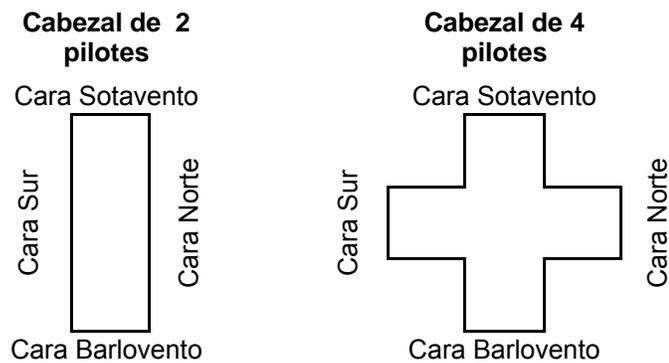


Gráfico 9. Cabezales de 2 y 4 pilotes

En los gráficos siguientes se muestra la aparición y ubicación de los agrietamientos graves y moderados en los cabezales, y se observa que estos daños predominan en las caras sur y norte de ellos. De 48 agrietamientos moderados registrados, 36 suceden en dichas caras.

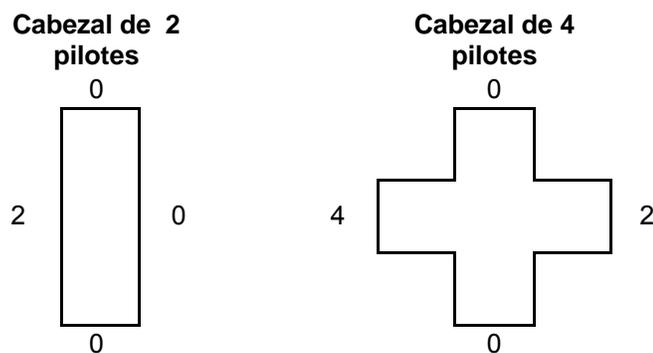


Gráfico 10. Agrietamientos Graves en Cabezales

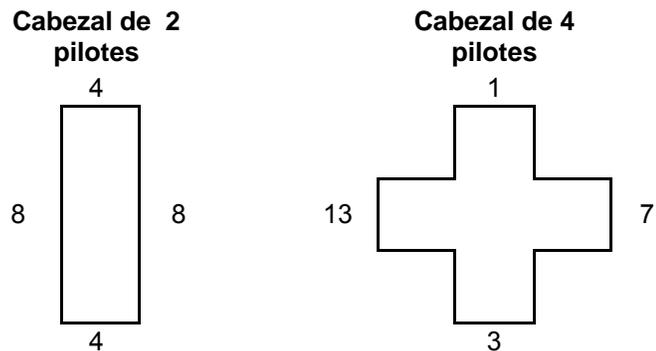


Gráfico 11. Agrietamientos Moderados en Cabezales

2.3 Conclusiones del Catastro

Vigas:

Las vigas de concreto postensado son los elementos estructurales que se encuentran más dañados en el puente de acceso. Las zonas de las vigas más dañadas son los patines inferiores, los cuales tienen el mayor contacto con el agua de mar.

Las vigas con más daños son las que se encuentran más cerca de la costa. Los daños graves se concentran en los tercios sur y central de las vigas. La dirección del viento, que no es completamente perpendicular al puente, puede estar causando mayor salpique hacia la zona sur.

El cable Central no está ni roto ni expuesto en ninguna de las vigas. Los cables laterales, Sotavento y Barlovento son los que han sufrido corrosión.

Del análisis del catastro se observa que el 41% de los eventos de rotura o exposición de los cables se encuentran hacia el sur, y el 47% hacia el centro. El 43% de los eventos se presenta a menos de un metro de las muletas, y un 55% a menos de dos metros. Esta tendencia no se observaba hace 11 años cuando la mayoría de los eventos aparecían a menos de ocho metros del apoyo sur.

Un caso particular son las vigas del vano 19 (último vano de 24 metros de longitud) que suelen presentar la rotura de sus cables cercanos al apoyo norte, la cercanía a las pilas que soportan la plataforma principal del muelle contribuye al incremento de salpique hacia estas vigas.

La mayoría de los casos de desprendimiento del concreto en las vigas son debidos a la corrosión, sin embargo en el agrietamiento no sucede lo mismo. Las grietas típicas, no asociadas a la corrosión, aparecen cercanas al apoyo, en las esquinas del patín inferior, y en las esquinas superiores a cuarenta y cinco grados; estas grietas parecen ser causa del impacto que produce el paso de los camiones de un vano a otro.

La mayoría de los casos de desprendimiento del concreto se observan en las reparaciones hechas en 1993, lo que evidencia que la reparación no fue bien ejecutada, ya sea porque la limpieza de las barras de acero no eliminó completamente las costras de corrosión y/o por falta de escarificación que permitiera penetrar suficiente para garantizar la adherencia entre concreto viejo y nuevo.

Las vigas Sotavento y Central son las que presentan más deterioro. Debido a su ubicación con respecto a la dirección del viento la viga Barlovento debería ser la que presentase más daños, sin embargo no es lo que sucede. Una hipótesis que intenta responder esta incompatibilidad es que las vigas Central y Sotavento son las encargadas de soportar la carga variable del camión HS 20-44, la cual representa mayores sollicitaciones que la correa transportadora ubicada en el sector de barlovento, y también produce mayores tensiones sobre estas vigas, a pesar de que hay menor luz entre ellas.

La viga Central es la que presenta más cables dañados y es importante notar que el cable más dañado suele ser el cable Barlovento. Una teoría que explica esta tendencia es que el viento que viene del Este choca

directamente con el lado barlovento de esta viga, y queda encerrado entre las vigas Barlovento y Central, causando más daños a las caras expuestas de los elementos que están en este sector, se puede observar que para la viga Barlovento, su cable más dañado es el Sotavento, aunque con menor intensidad que en la viga Central. Algo similar sucede con las vigas Central y Sotavento.

Separadores:

Los separadores presentan en su mayoría daños leves y moderados. Los daños graves son pocos, y en general la cantidad y forma de ellos es independiente de su ubicación dentro del vano. Se presentan sólo un 30% de separadores con daños graves.

Losas:

Las losas no presentan daños graves, sólo presentan manchas y algunas costras de oxidación (oxidación leve y moderada). En los vanos N° 14 y 15 se evidencian las huellas dejadas por el choque del buque, debido al desplazamiento de sus losas con respecto a la de los demás vanos, pero no causó desprendimientos de concreto graves.

Un daño no registrado en las Planillas de Catastro pero que es importante mencionar, es el deterioro de las juntas de las losas entre vano y vano, las cuales presentan desniveles, desprendimientos de las esquinas, etc. producidos por la falta de tapa juntas y el paso de camiones a alta velocidad. Este deterioro contribuye a dañar otros elementos por el impacto que produce el paso de los camiones sobre ellas.

Vigas Transversales:

Los daños predominantes en las vigas transversales son agrietamientos moderados y graves que evidencian la ocurrencia de punzonamiento

producido por los pilotes de acero (muletas) colocados en la reparación de 1993. La disposición de las grietas es radial a la ubicación de la muleta. Este punzonamiento ocurre durante la transferencia de esfuerzos entre las muletas y las vigas transversales que le sirven de cabezales, y se produce porque el ancho de las vigas es escaso, tan sólo diez centímetros mayor al diámetro de las muletas. Del análisis se observa que el 33% de las vigas transversales está padeciendo punzonamiento. Uno de los casos más graves de punzonamiento se encuentra en la muleta del vano 6.

Cabezales:

Las caras más dañadas de los cabezales son las caras sur y norte, posiblemente porque la dirección de la marea produce un mayor choque del agua con dichas caras. Los daños más frecuentes en estos elementos son agrietamientos leves, presentándose como típicas aquellas grietas ubicadas en las esquinas de los cubos centrales de los cabezales de 4 pilotes, estas grietas propician un desprendimiento del concreto de los bordes de los mismos.

Soportes:

El 35% de los soportes de neopreno que mantienen el contacto entre las vigas postensadas y los cabezales, se encuentran aplastados. Aunque muchos de ellos parecían ocultos, se pudo observar que, aún estando aplastados, mantenían sus tres láminas de neopreno completas. Únicamente en el soporte 2-sur se observó la rotura de una de las láminas. La falla de estos soportes induce tensiones adicionales en las vigas.

En general se observan pocos casos de exudados y desagregación de la pasta en los elementos estructurales, lo que indica que no ha habido significativa percolación de agua ni carbonatación.

Los vanos que se encuentran más críticos por el tipo, extensión y/o severidad de daños, son los siguientes: 2, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 18 y 19, por el estado de las vigas, y el número 6 por el doble punzonado de la muleta y el riesgo de falla del cabezal.

3. Muestreo y Ensayos

Con el fin de complementar la información recogida por el catastro y la revisión de planos y especificaciones, se realiza un muestreo y una serie de ensayos para determinar condiciones del concreto que no pueden conocerse visualmente.

3.1 Especificaciones para el Muestreo y la Extracción de Especímenes

3.1.1 Condiciones Generales:

Cualquier sitio de perforación o demolición parcial en la estructura del puente, con fines de muestreo, será lavado enérgicamente y será rellenado, lo más pronto posible luego de la perforación, con un mortero sin retracción, elaborado con agregado inerte y limpio, pasante del cedazo 3/8" para evitar la contaminación con salitre o agua de mar.

3.1.2 Medición directa de recubrimientos:

Se determinará el espesor de recubrimiento real mediante la medición con vernier con apreciación de 1 mm. en zonas sanas o dañadas para obtener así valores más precisos. Las mediciones se tomarán siempre que se presente acero descubierto (barras de refuerzo ordinario o ductos de postensado) bien sea por desprendimiento del concreto o por perforación o demolición parcial.

3.1.3 Ubicación de los cables de postensado:

La localización de los cables de postensado se hará por medio de un método magnético calibrado en sitio para reportar profundidad, con registro manual de resultados.

Antes de la realización de las lecturas, se realizará la preparación y limpieza del sitio. La auscultación se realizará hasta alcanzar la resolución del instrumento, estimada en 10 o 12 cm.

Las vigas a auscultar serán las 3 de los vanos: 1, 3 y 12, así como las 2 del vano 18. La exploración longitudinal del cable central será continua entre los 5 y los 25 metros para los vanos 1, 3 y 12; y entre los 4 y los 20 metros para el vano 18. Se reportará cualquier variación de profundidad o de alineación igual o mayor que un centímetro, indicando la correspondiente progresiva y la ubicación de singularidades cercanas que puedan afectar la lectura del instrumento.

La exploración transversal de los tres cables se efectuará en las siguientes progresivas aproximadas: 6, 11, 14, 16, 19 y 24 metros para los vanos 1, 3 y 12; y 4, 8, 11, 13, 16 y 20 metros para el vano 18.

Se realizará la inspección de los puntos de anclaje de los cables de postensado para localizar eventuales focos de corrosión, y conocer la orientación de las vigas.

3.1.4 Ensayo de Resistencia a la Compresión de Núcleos de Concreto:

Los especímenes o núcleos de concreto serán de 7.5 centímetros de diámetro y no menos de 15 centímetros de longitud. Los núcleos se extraerán del alma, horizontalmente, cerca del patín superior a 3,5 metros

aproximadamente del extremo de la viga, en el inicio de la cartela debido a que no compromete la capacidad resistente de las vigas.

Se extraerán un total de 9 núcleos distribuidos de la siguiente manera: (1) núcleo en el vano 1 y dos (2) núcleos en cada uno de los vanos 3, 9 12 y 18, no más de uno por viga.

Los puntos exactos de extracción serán ubicados en sitio en función de la sanidad de las vigas y de la localización del acero que se hará previamente con el Ferroskan u otro instrumento. Serán alternados entre los extremos norte y sur del vano así como entre las caras barlovento y sotavento.

3.1.5 Ensayo de Contenido de Cloruros

Se extraerán especímenes pulverizados mediante perforaciones de taladro empleando una mecha de 1/2" de diámetro, según el método aceptado en la norma ASTM C 1218-99.

En cada punto de extracción se procederá de la siguiente manera: Se limpiará la superficie de rastros de grasa, suciedad y otros contaminantes. Se empleará agua dulce, limpia, y cepillo suave de alambre; podrá utilizarse alcohol pero no derivados de hidrocarburos. Las herramientas serán lavadas de manera similar.

Se usará guantes para evitar contaminar los especímenes con transpiración al momento de ser recogidos y guardados.

El número total de puntos de extracción será 16, ubicados entre 1 y 2 metros desde un cabezal. El muestreo se realizará en el patín inferior de las vigas, perforando en dirección horizontal. Cada uno de los 16 puntos de extracción estará conformado por cuatro (4) perforaciones cercanas entre sí. El material extraído de las cuatro perforaciones correspondiente a una misma profundidad será recogido, guardado en una bolsa plástica y debidamente

identificado. Cada uno de los 16 perfiles tendrá cinco (5) lecturas con intervalos de 2,5 cm. de profundidad.

Los vanos seleccionados para el muestreo son: 1 (3), 3 (4), 9 (3), 12 (4) y 18 (2); los números entre paréntesis indican la cantidad de perfiles o puntos de extracción en cada vano. Deberá realizarse al menos un perfil en cada viga de los vanos seleccionados.

Los puntos exactos de extracción serán ubicados en sitio en función de la sanidad de las vigas y localización del acero a través del Ferroskan u otro instrumento apropiado. Serán alternados entre los extremos norte y sur del vano así como entre las caras barlovento y sotavento.

3.1.6 Ensayo de Profundidad de Carbonatación:

Este ensayo se ejecutará sobre los núcleos extraídos para el ensayo de resistencia a la compresión, por lo cual es necesario tener en cuenta la orientación del núcleo dentro de la viga para conocer la profundidad hasta la cual ha ocurrido carbonatación.

El indicador a utilizar es una solución de fenolftaleína al 3%, la cual se rociará sobre la superficie del núcleo luego de haber limpiado y humedecido la superficie con abundante agua limpia. Se registra si ocurre cambio de color o no. Si no cambia de color hay presencia de carbonatos y se mide la profundidad.

3.2 Resultados y Análisis de los Ensayos

A continuación se hace una síntesis de los resultados de los ensayos, y el análisis de ellos desde el punto de vista de esta investigación.

3.2.1 Recubrimientos:

Los valores medidos de recubrimiento están entre 3 y 5 cm. en el patín inferior y menos de 3 cm. en el alma de algunas vigas. La Norma COVENIN 1753 recomienda como valores mínimos para protección contra la corrosión 4 o 5 cm. en elementos prefabricados, y en los planos de las vigas se señala 4 cm. como recubrimiento mínimo.

3.2.2 Ubicación de los cables de postensado:

La trayectoria reportada de los ductos de postensado presenta desviaciones con los planos de proyecto disponibles. En general las diferencias en la trayectoria están entre 1 y 2 cm. por encima o por debajo de la especificada. Sin embargo, estas desviaciones no producen ningún efecto relevante en su comportamiento estructural.

No hay una orientación preferencial en cuanto al tensado de las vigas y su colocación en el puente.

3.2.3 Resistencia a la Compresión del Concreto de las Vigas:

Los ensayos de resistencia a la compresión de las probetas cilíndricas de concreto, de 7,5 cm. de diámetro arrojaron (después de la corrección por esbeltez) los siguientes resultados:

- El promedio de la resistencia de todos los cilindros es 431 kg/cm^2
- El valor mínimo fue 275 kg/cm^2
- El valor máximo fue 557 kg/cm^2
- El tamaño de la muestra estadística es 9, por lo tanto el rango ponderado es igual a 95 kg/cm^2 , este valor es una estimación del límite superior de la desviación estándar. Es alto, con respecto al asumido, porque involucra la extracción y ensayo de núcleos, que tiene una gran dispersión.

Tomando 275 como el 75% de la resistencia de cálculo (ya que la Norma COVENIN 1753 establece como uno de los criterios para aceptar el valor de resistencia de un núcleo que sea mayor o igual a 75% de f_c), esto implica que la resistencia de cálculo es 367 kg/cm^2 . Sabiendo que la resistencia real de cálculo es 350 kg/cm^2 y f_{cr} aproximadamente 367 kg/cm^2 , la probabilidad de que la resistencia del concreto sea menor a 350 es del 5%.

3.2.4 Contenido de Cloruros

Los valores de penetración de cloruros son muy elevados. En 8 de los 16 perfiles realizados, superan el 0,5% de ión Cloro referido al peso de concreto, en el intervalo superficial (0 a 2,5 cm. de profundidad).

Se puede estimar el contenido de cemento en el concreto de las vigas, entre 350 y 400 kg/m^3 , conociendo que la resistencia de cálculo es 350 kg/cm^2 , que según la Ley de Abrams la relación agua cemento sería 0,44, y sabiendo que el concreto para los elementos prefabricados suele tener un asentamiento bajo. Por lo tanto para ese contenido de cemento los valores máximos reportados equivalen a más de 3% en peso de ión cloro referido al peso de cemento. El valor máximo permitido por la Norma COVENIN 1753 es 0,15% para concreto reforzado habitualmente expuesto al ión cloruro.

La amortiguación del perfil de cloruros es muy rápida con la profundidad, encontrándose niveles aceptables a una distancia entre 6 y 10 cm. de la superficie.

3.2.5 Carbonatación

En todos los casos resultó negativa la presencia de carbonatos.

3.3 Conclusiones de la Toma de Muestras y de los Resultados de los Ensayos

Durante la toma de muestras se apreció un movimiento circular del viento en el sector encerrado por dos vigas, este movimiento del viento permite el depósito de sales y flora marina, entre otros, sobre la cartela de los patines inferiores, lo que implica la entrada de cloruros desde esta zona. Esto explica porque sólo los cables laterales son los afectados a lo largo de las vigas, y principalmente explica porque en el tercio central si todos los cables se encuentran a la misma profundidad (10 cm. medidos desde el patín inferior), sólo se deterioraban éstos. Finalmente, la entrada de agentes externos no está ocurriendo, con mayor influencia, desde la cara inferior del patín, sino desde las cartelas.

No hay una orientación preferencial en la colocación de las vigas, lo cual hubiese explicado (ya sea por el proceso constructivo, tensión de los cables, u otro factor desconocido) porque sólo la zona sur de las vigas es la más afectada.

Se observó la exposición de dos ductos de cables Central durante la toma de muestras, uno en el vano 2 y otro en el 17, podría haber otros debido a que fue casualidad, no se estaba haciendo una nueva inspección. Esto demuestra que el proceso de deterioro es bastante acelerado, en menos de 5 meses afloraron (desde la fecha del catastro hasta la toma de muestras).

Los valores de contenido de cloruro y su disminución con la profundidad evidencian la penetración desde el exterior debido al ambiente marino. No obstante, la rápida amortiguación así como la ausencia de carbonatación, demuestran una buena calidad del concreto y su baja porosidad, por lo cual recubrimientos mayores a 4 cm. hubiesen retrasado el proceso corrosivo.

No se pudo corroborar la contaminación con cloruros en las zonas cercanas a las muletas, debido a la posición de los cables, del acero de refuerzo, unido con que la mayoría de las vigas tienen dicha zona deteriorada y hubiese sido imposible tomar las muestras.

La variabilidad observada en los valores de recubrimiento, resistencia a la compresión de los núcleos y la trayectoria de los cables, no son consistentes con el grado de control que debe tener el proceso constructivo de unas vigas prefabricadas.

4. Análisis estructural

Del catastro se concluye que la capacidad resistente actual del puente depende principalmente de las vigas postensadas, ya que son los elementos que presentan el deterioro más grave. En el año 1993 se llegó a esta misma conclusión, por lo que se decidió llevar a cabo el proyecto de apuntalamiento.

Por lo tanto, en esta investigación, se realiza la evaluación estructural de las vigas postensadas ante diversas condiciones, que permiten conocer su capacidad resistente actual y los esfuerzos que han soportado.

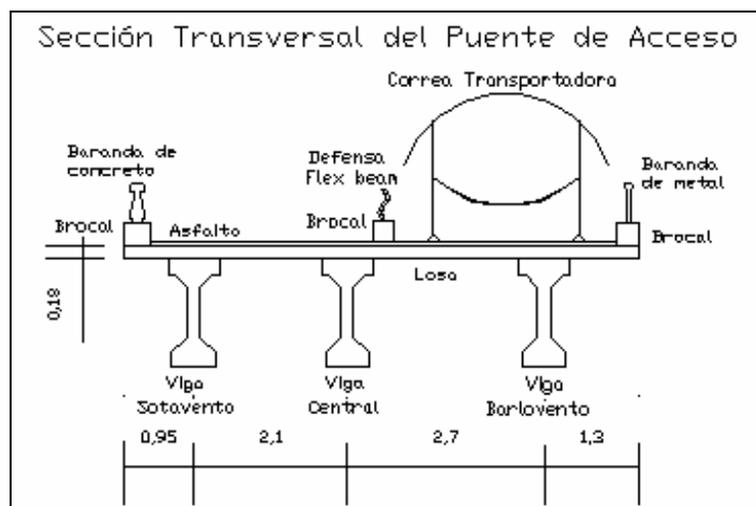


Gráfico 12. Sección Transversal del Puente de Acceso.

4.1 Cargas de Servicio

4.1.1 Cargas Permanentes

Las cargas permanentes son debidas al peso propio de la viga, peso de la losa y peso de los brocales, barandas, defensas y asfalto que se encuentran sobre el tablero, como se observa en el gráfico 12.

El peso propio de la viga es 1304.5 Kg./m.

El peso de la losa es 450 kg/m^2 , y se distribuirá según el ancho tributario que le corresponde a cada viga, como se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 3.

Ancho Tributario de la Losa para cada Tipo de Viga

Viga	Ancho Tributario (m)	Carga (Kg./m)
Sotavento	2	900
Central	2,4	1080
Barlovento	2,65	1192,5

El peso de los brocales, barandas, defensas, y asfalto se reparten por igual en todas las vigas independientemente de su ubicación en el tablero, debido a que fueron colocados cuando ya actuaba la sección transformada y los separadores.

Cuadro 4.

Cargas permanentes sobre la Losa.

Peso (Kg./m)	
Brocales 0,30m (2):	450
Brocal 0,35m:	262,5
Defensa Flex Beam:	100
Baranda de metal:	15
Baranda de concreto:	15
Asfalto:	742,4
Total	1584,9
Para cada viga	528,3

4.1.2 Cargas Variables

Las cargas variables son debidas al tráfico, que afecta a las vigas Sotavento y Central, y a la correa transportadora, que afecta a las vigas Central y Barlovento.

Tráfico: Paso de un Camión HS-20-44 más Impacto.

Se estudian dos casos de carga: un camión sobre la estructura en la posición más desfavorable y la sobrecarga equivalente, para calcular los momentos máximos y mínimos sobre las vigas. En el anexo 3 se observan las líneas de influencia de momento en las secciones más solicitadas, para el esquema estructural original de las vigas, cuando tienen una muleta en el centro del vano, y cuando tienen dos muletas, una a cada tercio. A continuación se presenta un cuadro con los momentos calculados a través de las líneas de influencia mencionadas.

Cuadro 5.

Momentos Máximos y Mínimos producidos por la Carga del Camión HS-20-44

Momentos (Ton.m)			
Esquema Estructural Inicial		Esquema Estructural con una Muleta	
	x= 15 m.	x= 5,6 m.	x= 15 m.
$M^{\text{máx}}$	206	67	0
$M^{\text{mín}}$	0	-15	-49
Esquema Estructural con dos Muletas			
	x= 4 m.	X= 10 m.	x= 15 m.
$M^{\text{máx}}$	36	6	28
$M^{\text{mín}}$	-7	-26	-11

Nótese que debido a los apoyos intermedios (muletas) se producen momentos negativos en algunas secciones, que no aparecían en la estructura original.

Los momentos mostrados en el cuadro 5 se multiplican por los siguientes factores para obtener los momentos de carga variable definitivos.

- Factor de distribución de carga viva: Para la viga externa (Sotavento) el factor se calcula con la línea de influencia mostrada en el gráfico 13, y para la viga interna (Central) se calcula con la siguiente expresión:

$$F_{DCV} = \frac{P}{2} \cdot \frac{S}{2.134}$$

donde S es la separación entre las vigas Sotavento y

Central, igual a 2.1 metros, y P no toma valor, pero representa la carga por eje.

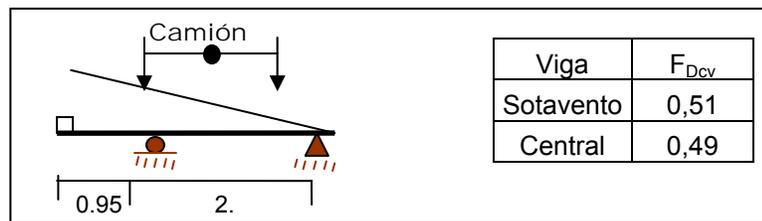


Gráfico 13. Línea de Influencia para el Cálculo del Factor de Distribución de Carga Viva

- Factor MTC: 1.2
- Factor de impacto: Se calcula con la expresión $F_I = 1 + \frac{15}{L + 38}$, donde L es la longitud que se impacta. Para la estructura original el factor es 1.22, para la estructura con una muleta es 1.28, y para la estructura con dos muletas es 1.30.

Correa transportadora

La correa transportadora pesa 600 kg/m cuando pasa sobre ella la carga máxima de cemento. El momento que produce la correa transportadora se distribuye de manera desigual sobre las vigas Barlovento y Central debido a su ubicación con respecto a ellas, por lo tanto se calcula a continuación un factor para determinar cuanta carga soporta cada una.

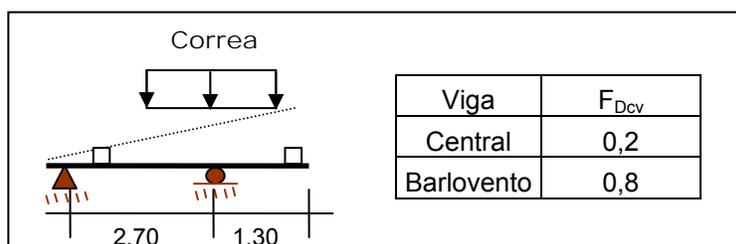


Gráfico 14. Línea de Influencia para el Cálculo del Factor de Distribución de la Carga de la Correa Transportadora

4.1.3 Momentos actuantes totales

Los momentos actuantes totales se calculan superponiendo los momentos producidos por las cargas permanentes y los producidos por las cargas variables. Es importante mencionar que se asume que las muletas fueron colocadas para que las vigas se apoyarán después de ocurrida su deformación debido a la carga permanente y al deterioro; y no, que con las muletas se intentó levantar una zona de las vigas que ya se había deformado. La primera suposición implica que el diagrama de momentos resultante de la acción de las cargas permanentes sigue siendo el mismo que en la estructura original (sin muletas), y que sólo la carga variable es la que produce momentos negativos en las vigas sobre los apoyos intermedios.

Cuadro 6.

Momentos producidos por las Cargas Permanentes

Momentos (Ton.m)				
Esquema estructural inicial				
Viga	x= 4 m.	x=5,6 m.	x= 10 m.	x= 15 m.
Sotavento	142	187	273	307
Central	152	199	291	328
Barlovento	157	207	303	340

En el cuadro anterior se presentan los momentos producidos por las cargas permanentes en el esquema estructural inicial, para cada una de las secciones más solicitadas en los esquemas actuales (con muletas).

En cuanto a los momentos que produce el paso del camión HS 20-44, al superponerlos con los de carga permanente, siempre resultan momentos positivos, por lo cual se tomaron los más desfavorables, es decir, los que al sumarlos producen los mayores valores positivos. Esto indica que para la suposición hecha, las vigas nunca están sometidas a un momento de signo negativo, para el cual no fueron diseñadas. De esta manera, los momentos más desfavorables en las secciones críticas de las vigas Sotavento y Central debido al camión HS-20-44 más impacto, se muestran en el cuadro 7.

Nótese que en uno de los casos el momento es 0, esto significa que se produce el mayor momento positivo cuando el camión no está sobre la estructura, y sólo actúa la carga permanente. Esto es válido debido a que el camión es una carga dinámica, que puede estar o no.

Cuadro 7.

Momentos producidos por la Carga Variable: Camión HS-20-44 más Impacto

Momentos (Ton.m)						
Esquema estructural inicial		Esquema estructural con una muleta		Esquema estructural con dos muletas		
Viga	x= 15 m.	x=5,6 m.	x=15 m.	X= 4 m.	x= 10 m.	x= 15 m.
Sotavento	154	52	0	29	5	23
Central	148	50	0	27	5	22

La correa transportadora, a diferencia del camión HS 20-44, no es una carga dinámica, siempre se encuentra sobre la estructura y produce un único momento en cada sección. Se clasificó como variable porque puede estar completamente cargada de cemento o no, sin embargo la diferencia en peso no es considerable. Por consiguiente, los momentos que produce sobre las vigas Central y Barlovento se presentan en el siguiente cuadro.

Cuadro 8.

Momentos producidos por la Carga Variable: Correa Transportadora

Momentos (Ton.m)						
Esquema estructural inicial		Esquema estructural con una muleta		Esquema estructural con dos muletas		
Viga	x= 15 m.	x=5,6 m.	x=5 m.	x= 4 m.	x= 10 m.	x= 15 m.
Central	13,5	1,9	-3,4	1,0	-1,2	0,3
Barlovento	54,0	7,6	-13,5	3,8	-4,8	1,2

Finalmente los momentos actuantes totales sobre las vigas en cada una de las secciones críticas de las tres condiciones, estructura original, estructura con una muleta y con dos, se presentan en el cuadro 9.

Cuadro 9.

Momentos Actuantes Totales: Cargas Permanentes + Cargas Variables

Momentos (Ton.m)						
Esquema estructural inicial		Esquema estructural con una muleta		Esquema estructural con dos muletas		
Viga	x= 15 m.	x=5,6 m.	x= 15 m.	x= 4 m.	x= 10 m.	x= 15 m.
Sotavento	461	239	307	171	278	330
Central	489	251	324	180	295	350
Barlovento	394	214	327	161	298	342

4.2 Cables de Postensado

La resistencia última a tracción de los cables de postensado es 17000 kg/cm², y fueron tensados a 11900 kg/cm². Los cables laterales, Sotavento y Barlovento, están formados por 37 varillas de 7 mm. de diámetro, lo que implica un área de acero para cada cable de 14,24 cm². El cable Central está formado por 42 varillas de 7 mm. de diámetro, por lo que su área de acero es

16,16 cm². De esta manera, la fuerza sobre los cables laterales es 170 toneladas, y para el cable Central 192.

Se asume que debido a la fluencia del concreto, acortamiento elástico, fluencia del acero, retracción del concreto, asentamiento del anclaje y curvatura de los cables, se produce una pérdida de la fuerza de tensado de aproximadamente 20%. De esta manera las fuerzas finales sobre cada cable son: el cable Central 153,6 toneladas, y los cables laterales 136.

4.3 Revisión de Esfuerzos

Se realiza la revisión de los esfuerzos en la fibra superior e inferior de las secciones más solicitadas en cada viga según diversas condiciones. Los esfuerzos se comparan con los permisibles establecidos en la Norma ACI-318-02: para compresión $0.6 \cdot f'c = 210 \text{Kg./cm}^2$, y para tracción $1.98 \cdot \sqrt{f'c} = 37.1 \text{Kg./cm}^2$.

4.3.1 Esquema Estructural Inicial

Inicialmente las vigas presentaban el esquema estructural mostrado en el siguiente gráfico, donde la sección más solicitada es $x = 15\text{m}$, y los tres cables de postensado se encuentran en buen estado y funcionando.

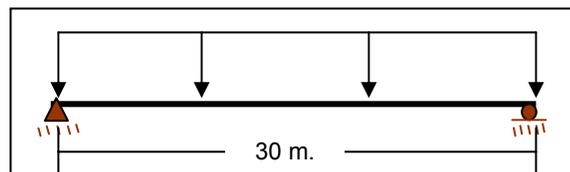


Gráfico 15. Esquema Estructural Inicial

Los esfuerzos finales que se producen en $x = 15\text{m}$ para esta condición, se presentan en el cuadro 10. Nótese que la sección está sometida completamente a compresión, y en ningún caso se supera el esfuerzo permisible.

Cuadro 10.**Esfuerzos en la Sección x= 15m. de la Estructura Original**

Viga	Fibra Superior kg/cm ²	Fibra Inferior kg/cm ²
Sotavento	-79	-28
Central	-84	-17
Barlovento	-62	-55

En el cuadro 11 se indican los esfuerzos que se producen en la sección x= 15m. en cada una de las vigas, cuando se rompe uno de sus cables laterales y cuando se rompen los dos. Fíjese que en ambos casos se supera el esfuerzo permisible a tracción en las fibras inferiores, y en el caso de los dos cables seccionados los esfuerzos son más de tres veces el permitido. Estas dos situaciones fueron observadas en algunas vigas antes de la colocación de las muletas en el año 1993, sin embargo, tracciones tan grandes son imposibles de soportar por el concreto, por lo que es posible suponer que la tensión de los cables no se perdió de manera inmediata al romperse.

Cuadro 11.**Esfuerzos en la sección x= 15m. de la Estructura con Muletas**

X = 15m Viga	Un Cable Lateral Seccionado			Dos Cables Laterales Seccionados		
	Sotavento	Central	Barlovento	Sotavento	Central	Barlovento
Esfuerzo en la fibra superior (Kg./cm ²)	-98	-104	-81	-118	-123	-101
Esfuerzo en la fibra inferior (Kg./cm ²)	46	57	19	119	130	92

4.3.2 Esquema Estructural con Una Muleta y con Dos Muletas, en Ambos Casos los Dos Cables Laterales Seccionados

Se estudia el caso mencionado en 4.1.3, en el cual las vigas se deformaron por carga permanente y por la rotura de los dos cables laterales, y luego se colocaron las muletas, por lo tanto la carga variable es la que produce momentos negativos sobre estos apoyos intermedios. Este es un

caso extremo, porque es el que produce las mayores tracciones en la fibra inferior.

Es importante mencionar que las 54 vigas se encuentran entre el caso mencionado y el otro extremo, en el cual las vigas se deformaron por la carga permanente pero la rotura de los cables laterales ocurrió luego de colocadas las muletas, en consecuencia la deformación debido a la pérdida de tensión de los cables fue tal, que las vigas se apoyaron completamente, y tanto la carga permanente como la variable producen momentos negativos sobre las muletas. Este caso produciría grandes tracciones en la fibra superior de las secciones que se encuentran sometidas a un momento negativo para el cual no fueron diseñadas, y en consecuencia aparecerían grietas. Sin embargo, estas grietas no se observaron en el catastro, por lo cual la realidad de las vigas se acerca más al extremo estudiado.

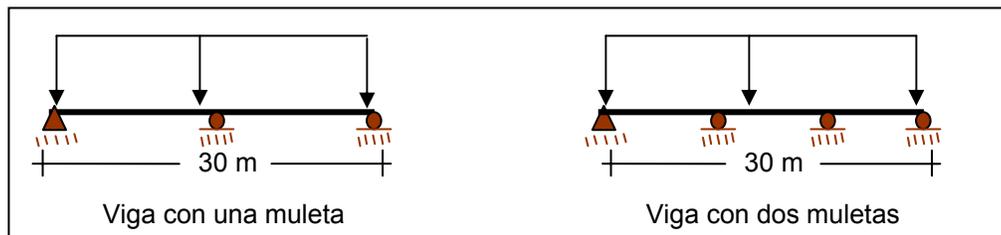


Gráfico 16. Estructura con una y dos Muletas.

Los esfuerzos en las secciones críticas de las vigas bajo los esquemas mostrados aparecen en el cuadro 12. Nótese que en la fibra inferior todos los esfuerzos superan al permisible, pero estos valores de tracción no son coherentes con el tamaño de las grietas encontradas, si realmente estuviesen ocurriendo estas tracciones, el concreto no lo hubiese resistido. Sin embargo estos esfuerzos son menores a los que se producirían en las vigas sin muletas (comparar con el cuadro 11, dos cables laterales seccionados).

Cuadro 12.

Esfuerzos en las secciones críticas de las vigas con una y dos muletas

Condición	Sección	Esfuerzo (Kg./cm ²)	Vigas		
			Sotavento	Central	Barlovento
Vigas con una muleta	x=5,6m.	Fibra Superior	-80	-83	-74
		Fibra Inferior	51	55	41
	x= 15m.	Fibra Superior	-87	-90	-88
		Fibra Inferior	60	66	66
Vigas con dos muletas	x= 4m.	Fibra Superior	-76	-78	-73
		Fibra Inferior	38	42	34
	x= 10m.	Fibra Superior	-78	-82	-80
		Fibra Inferior	48	55	55
	x= 15m.	Fibra Superior	-92	-95	-91
		Fibra Inferior	68	76	72

Por lo tanto la condición real de las vigas es que el diagrama de momentos debido a la carga permanente también ha sido afectado por las muletas, disminuyendo los momentos positivos que causan estas grandes tensiones. En el gráfico 17 se muestran los casos posibles del diagrama de momentos para vigas con una muleta, es similar para dos.

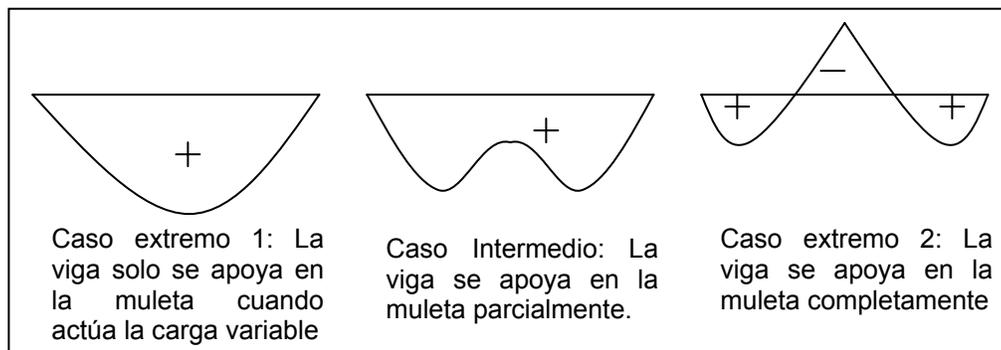


Gráfico 17. Diagrama de Momentos de Carga Permanente en Vigas con una Muleta.

4.4 Momento Resistente de la Sección Actual

Se determinan los momentos resistentes positivos y negativos para las vigas, considerando que sólo trabaja el cable Central, y los laterales se encuentran seccionados, porque aunque esta situación no se ha generalizado, es la más desfavorable. Se calcula para dos situaciones: vigas con una muleta, y vigas con dos muletas.

4.4.1 Momento Resistente Positivo

La Norma ACI 318-02 define el esfuerzo en el acero para el instante en que una viga precomprimida falla con un comportamiento subreforzado, como:

$$f_{ps} = f_{pu} \cdot \left(1 - \frac{\gamma_p}{\beta_1} \cdot \rho_s \cdot \frac{f_{pu}}{f'_c}\right)$$

Donde: $\gamma_p = 0.40$; $\beta_1 = 0.85$

Entonces: $f_{ps} = f_{pu} \cdot \left(1 - 0.47 \cdot \rho_s \cdot \frac{f_{pu}}{f'_c}\right)$

Donde: $\rho = \frac{A_s}{d \cdot b}$

A_s es el área de acero del cable de postensado, d es la distancia entre la fibra más comprimida y el centro de gravedad del acero que trabaja a tracción, y b es el ancho de la fibra más comprimida de la sección. Para determinar d es necesario conocer la profundidad “ r ” a la que se encuentra el cable central, medida desde la fibra más traccionada (en este caso desde el patín inferior) en la sección que se está evaluando.

Según la Norma, estas ecuaciones son aplicables para secciones de concreto precomprimido que puedan considerarse débilmente armadas, es

decir, donde el acero cede antes de que el concreto se triture. Para afirmar esta condición, debe cumplirse que:

$$w_p = \frac{\rho_s \cdot f_{ps}}{f'_c} \leq 0.3$$

El momento que resiste la sección se calcula multiplicando la fuerza de tracción “ T ” que soporta el acero, por el brazo o distancia que existe hasta el centro de compresión “ C ”. La zona de la sección que trabaja a compresión se considera en principio un rectángulo, que tiene una altura igual a “ a ”. Esta dimensión se obtiene igualando la fuerza de compresión y la fuerza de tracción en la sección:

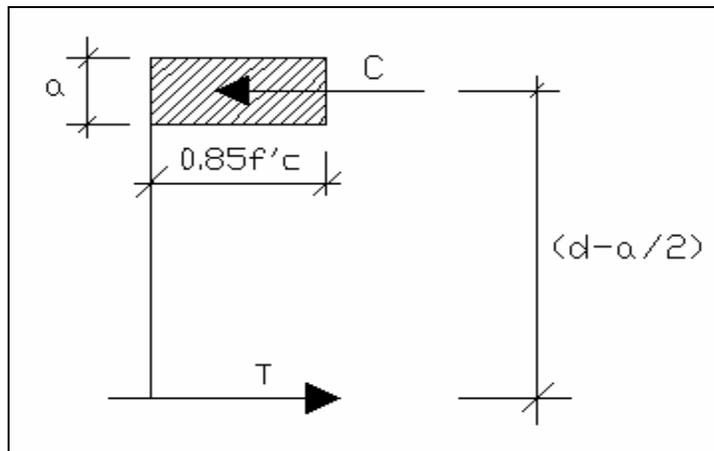


Gráfico 18. Diagrama de Esfuerzos

$$T = A_{ps} \cdot f_{ps}$$

$$C = 0.85 \cdot f'_c \cdot b \cdot a$$

$$\text{Entonces: } a = \frac{T}{(0.85 \cdot f'_c \cdot b)}$$

Si “ a ” resulta mayor a la altura de la losa, la sección está trabajando como una sección “ T ”, de lo contrario trabaja como sección rectangular.

Ubicado el centro de presiones de compresión, el momento resistente es:

$$Mu^+ = T \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right)$$

En definitiva, para cada una de las situaciones que se presentan, y en cada sección crítica, los valores de los parámetros descritos y los momentos resistentes respectivos, son:

Cuadro 13.

Momentos Resistentes en las Secciones Críticas.

Caso en Estudio	Viga Sotavento y Central					Viga Barlovento				
	Estructura con una muleta		Estructura con dos muletas			Estructura con una muleta		Estructura con dos muletas		
$X(m)$	x= 5,6 m.	X= 15 m.	X= 4 m.	x= 10 m.	X= 15 m.	x= 5,6 m.	x= 15 m.	x= 4 m.	x= 10 m.	x= 15 m.
$r (cm.)$	42	10	62,5	13,2	10	42	10	62,5	13,2	10
$d (m)$	1,21	1.53	1,005	1,498	1.53	1,21	1,53	1,005	1,498	1,53
$b (m)$	2,1	2,1	2,1	2.1	2,1	2,34	2,34	2,34	2,34	2,34
ρ	0,0006	0.0005	0,0008	0.0005	0.0005	0,0006	0.0004	0,0007	0.0005	0.0004
f_{ps} (Kg./cm ²)	16753	16805	16703	16800	16805	16778	16825	16733	16821	16825
W_p	0,030	0.024	0,030	0.025	0.024	0,027	0.022	0,030	0.022	0.022
$T (Ton)$	270,7	271,6	269,9	271,5	271,6	271,1	271,9	270,4	271,8	271,9
$a(cm.)$	4,33 Sección Rectán- gular	4,34 Sección Rectán- gular	4,32 Sección Rectán- gular	4,34 Sección Rectán- gular	4,34 Sección Rectán- gular	3,89 Sección Rectán- gular	3,91 Sección Rectán- gular	3,88 Sección Rectán- gular	3,9 Sección Rectán- gular	3,91 Sección Rectán- gular
Mu (Ton.m)	321	409	265	401	409	323	410	267	402	410

Las vigas Sotavento y Central poseen el mismo momento resistente porque el ancho de la sección transformada es el mismo, la viga Barlovento tiene un ancho mayor. Esta diferencia se debe a la separación entre vigas. Las propiedades de cada sección se observan en el anexo 4.

A continuación se presenta un cuadro comparativo de los momentos actuantes y los momentos resistentes en cada sección.

Cuadro 14.

Cuadro Comparativo de los Momentos Actuantes y Resistentes

Condición	Vigas		Sotavento	Central	Barlovento
	Momentos (Ton.m)				
Esquema estructural inicial	X= 15 m.	Momento actuante	461	489	394
		Momento resistente	409	409	410
Esquema estructural con una muleta	X=5,6 m.	Momento actuante	239	251	214
		Momento resistente	321	321	323
	X= 15 m.	Momento actuante	307	324	327
		Momento resistente	409	409	410
Esquema estructural con dos muletas	X= 4 m.	Momento actuante	171	180	161
		Momento resistente	265	265	267
	X= 10 m.	Momento actuante	278	295	298
		Momento resistente	401	401	402
	X= 15 m.	Momento actuante	330	350	342
		Momento resistente	409	409	410

Obsérvese que en los casos de la estructura con muletas siempre el momento resistente de la sección es mayor al momento actuante, al contrario de la estructura sin muletas, donde la sección no es capaz de resistirlo.

4.4.2 Momento Resistente Negativo

En caso de que en alguna sección de las vigas mande el momento negativo, lo cual sólo es factible si éstas se apoyaran completamente en las muletas; se calcula el momento negativo que es capaz de resistir la sección.

Las vigas postensadas no fueron diseñadas para soportar un momento de este signo, por lo cual no tienen acero que trabaje para ello. El acero que se considera para resistir un momento negativo es el que se encuentra en la sección para sostener los estribos, el cual está formado por dos barras de ½” ($A_s = 2.534 \text{ cm}^2$, $f_y = 4200 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$). No se considera que el acero de repartición que posee la losa contribuya a resistir momento negativo, debido a que en cada vano la losa está formada por paneles prefabricados que no mantienen la continuidad de este acero.

Igual que en el momento positivo, la sección posee un comportamiento subreforzado, y la diferencia en el cálculo consiste en que la sección trabaja como concreto reforzado, ya que el cable de postensado no cumple ninguna función en esta situación. De esta manera el cálculo se hace con las mismas expresiones pero con la diferencia de que el esfuerzo en el acero es f_y igual a 4200 kg/cm^2 :

$$T = A_s \cdot f_y ; \quad C = 0.85 \cdot f'c \cdot b \cdot a ; \quad a = \frac{T}{(0.85 \cdot f'c \cdot b)}$$

$$Mu^- = T \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right) \quad d = 140 \text{ cm}$$

En el momento negativo no se estudian varios casos para los diferentes tipos de vigas ya que, las tres poseen el mismo ancho de la fibra más comprimida ($b = 60 \text{ cm}$), y la cantidad de acero que trabaja es la misma en cualquier sección que se estudie.

En definitiva, $Mu^- = 14.87 \text{ Ton} \cdot m$, en promedio este momento resistente es veinte veces menor al momento resistente positivo en cualquier sección.

4.5 Corte Resistente de la Sección Actual

Se estudia la capacidad de resistir fuerzas cortantes de las vigas con sólo el cable Central trabajando, porque para efectos de corte, la curvatura de los cables de postensado contribuye a resistir parte de los esfuerzos cortantes. Por lo tanto, debido a la rotura de dos de los cables, la sección ha quedado debilitada también para esta sollicitación.

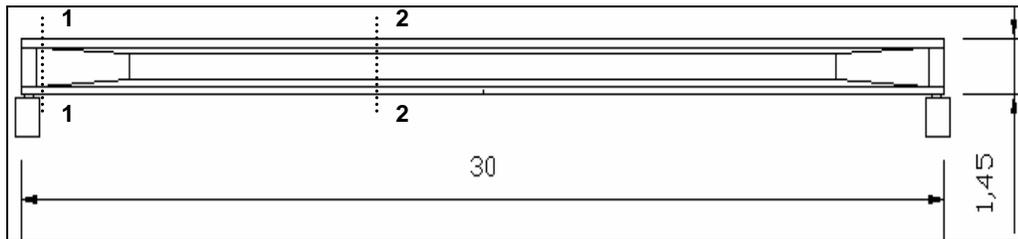


Gráfico 19. Secciones críticas a corte

Se estudian las secciones 1-1, ubicada a una distancia $h/2$ del apoyo ($x=0.725$ m.), y 2-2, a 3 metros del centro de la viga ($x= 12$ m.). La primera porque está sometida a grandes fuerzas de corte que pueden originar grietas en el alma, y la segunda porque la flexión puede originar eventuales grietas de corte en esa sección, se escogió la sección 2-2 porque es donde la trayectoria del cable comienza a ser horizontal.

4.5.1 Corte en la Sección 1-1

Según la Norma ACI 318-02, en esta sección predomina el esfuerzo cortante v_{cw} , el cual se calcula modificando la expresión 11-12 de fuerza cortante, de esta misma norma, resultando:

$$v_{cw} = 3.5 \cdot \sqrt{f'_c} + 0.3 \cdot f_{pc} + \frac{V_p}{b_w \cdot d} \quad (\text{psi})$$

f_{pc} es el esfuerzo causado por el postensado efectivo (ocurridas las pérdidas) en el centro de gravedad de la sección. b_w es el ancho del alma. V_p

es la fuerza originada por el postensado debido a la curvatura del cable que actúa en sentido contrario al que originan las cargas externas. d es $0.8h$.

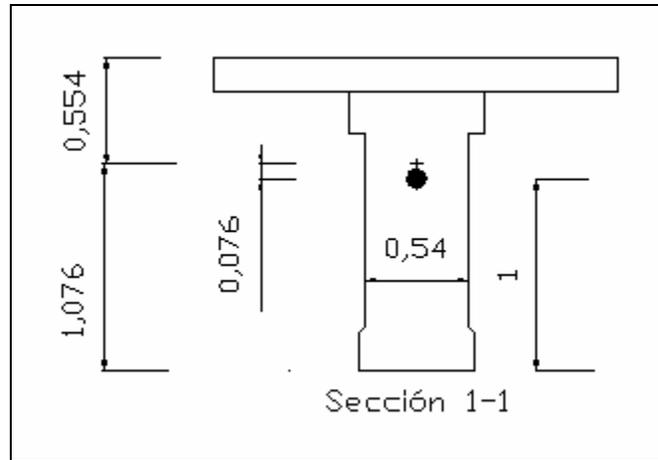


Gráfico 20. Sección 1-1.

Entonces, $f_{pc} = 265 \text{ psi} = 18.52 \text{ Kg./cm}^2$, $d = 116 \text{ cm}$. y $b_w = 54 \text{ cm}$.

V_p se calcula a partir del ángulo que forma el cable de postensado con la horizontal.

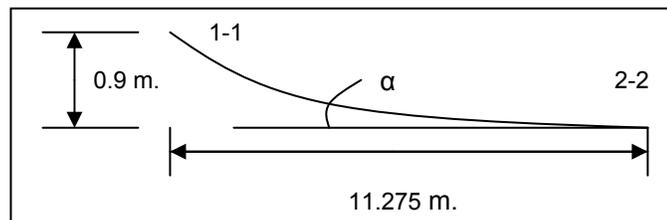


Gráfico 21. Curvatura del cable desde la sección 1-1 a la 2-2.

$$V_p = 153843 \text{ Kg.} \cdot \text{sen} \alpha = 12241 \text{ Kg.}$$

Finalmente, el esfuerzo cortante que es capaz de resistir el concreto en la sección 1-1 es $v_{cw} = 355 \text{ psi} = 25 \text{ Kg./cm}^2$ lo que equivale a una fuerza cortante de 156,6 toneladas.

El corte último y el corte actuante en esta sección para cada viga, se presentan el cuadro 14. El corte último es calculado con los factores que se utilizan para puentes, $1.3 (CM + 1.67CV)$ según la Norma AASTHO 1983.

Cuadro 15.**Fuerzas Cortantes Últimas y Actuantes en la Sección 1-1**

<i>Viga</i>	<i>Sotavento</i>	<i>Central</i>	<i>Barlovento</i>
$V_{actuante} \text{ (Ton)}$	50	54	50
$V_u \text{ (Ton)}$	75	79	65

En todas las vigas el concreto es capaz de resistir el corte actuante.

Sin embargo, adicionalmente, las vigas tienen estribos de $\varnothing \frac{1}{2}$ " cada 6 centímetros en una distancia $2h$ medida desde los apoyos. La fuerza cortante que es resistida por los estribos se calcula según la Norma COVENIN 1753 como:

$$V_s = \frac{A_s \cdot F_y \cdot d}{s}, \text{ y es igual a 40 toneladas.}$$

En total la sección 1-1 tiene la capacidad de resistir cortes iguales o inferiores a 196,6 toneladas.

4.5.2 Corte en la Sección 2-2

En esta sección predomina el esfuerzo cortante v_{ci} , por lo cual la fuerza cortante se calcula con la expresión 11-10 de la Norma ACI 318-02:

$$V_{ci} = 0.6 \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d + Vd + \frac{V_i \cdot M_{cr}}{M_{m\acute{a}x}} \text{ (libras)}$$

b_w es el ancho del alma. d es la distancia desde el centro de gravedad del cable a la fibra más comprimida por las cargas externas. Vd es el corte por peso propio de la viga sin mayorar en la sección considerada. $M_{m\acute{a}x}$ y V_i es el corte y la fuerza cortante debido a las sobrecargas permanentes y la carga viva, ambas mayoradas, en la sección considerada. M_{cr} es el momento de agrietamiento y tiene la siguiente expresión:

$$M_{cr} = \frac{I}{y_T} \cdot (6\sqrt{f'c} + f_{pe} - fd) \text{ (psi)}$$

Donde y_T es la distancia desde el centro de gravedad de la sección a la fibra extrema en tracción; f_{pe} es el esfuerzo de compresión en el concreto debido a la fuerza efectiva del postensado (ocurridas las pérdidas) en la fibra extrema donde las cargas externas producen tracción. f_d es el esfuerzo causado por las cargas permanentes sin mayorar en la fibra extrema donde las cargas externas producen tracción.

Como la sección transformada de las vigas y las cargas que soportan es diferente para cada una, los valores para calcular tanto el momento de agrietamiento como la fuerza cortante también son distintos.

Cuadro 16.

Cálculo del Momento de Agrietamiento

Viga	f_d (Ton/m ²)	f_{pe} (Ton/m ²)	Mcr. (Ton.m)
Sotavento	926	1096	36
Central	1001	1096	16
Barlovento	1035	1074	4

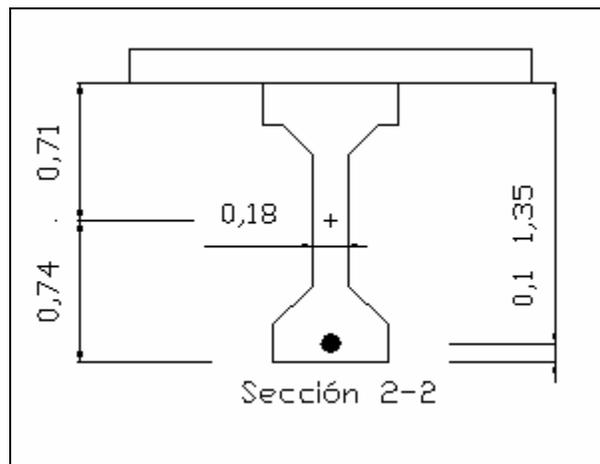


Gráfico 22. Sección 2-2.

$$b_w = 0.18m, d = 1.35m, \text{ y } Vd = 3.91Ton.$$

En el siguiente cuadro se muestran los valores de $M_{m\acute{a}x}$ y V_i y la fuerza cortante que resiste el concreto.

Cuadro 17.

Momento Mayorado, Corte Mayorado y Corte Resistente en la Sección 2-2

<i>Viga</i>	$M_{m\acute{a}x}$ (Ton.m)	V_i (Ton)	V_{ci} (Ton)
<i>Sotavento</i>	526	29	13
<i>Central</i>	556	29	12
<i>Barlovento</i>	309	9	11

El corte último y el corte actuante en esta sección para cada viga se muestran en el cuadro que aparece a continuación:

Cuadro 18.

Fuerzas Cortantes Últimas y Actuantes en la Sección 2-2

<i>Viga</i>	<i>Sotavento</i>	<i>Central</i>	<i>Barlovento</i>
$V_{actuante}$ (Ton)	19	19	11
V_u (Ton)	34	34	14

El concreto no es capaz de resistir el corte actuante y menos el corte último. No obstante, en esta sección, así como en toda la viga, excluyendo la distancia $2h$ medida desde los apoyos, las vigas tienen estribos de $\varnothing \frac{1}{2}$ cada 20 centímetros. La fuerza cortante que estos son capaces de resistir es igual a 36 toneladas, suficiente para resistir el corte último en las vigas.

En promedio la sección 2-2 tiene la capacidad de resistir cortes iguales o inferiores a 48 toneladas.

La comparación de la capacidad resistente a corte se realiza con las fuerzas cortantes que se producen en la estructura original, ya que estos valores son mayores a los que se producen en la estructura con muletas, como cumple para esta condición cumple también para las otras.

4.6 Conclusiones del Análisis Estructural

Las vigas se encuentran en una situación intermedia entre estar apoyadas completamente en las muletas, y que se apoyen sólo debido a la carga variable. Su situación se acerca más a esta última, en primer lugar porque en el proyecto de apuntalamiento de 1993, no se debió contemplar la idea de llevar a las vigas a su posición original (sin deformación o flecha), sino de añadirles un apoyo que las estabilizará en caso de un mayor deterioro; y en segundo lugar porque apoyarse completamente implica momentos negativos encima de las muletas que habrían ocasionado la formación de grietas en el patín superior (que no fueron observadas en el catastro), y las consecuentes rótulas plásticas, porque la capacidad de las vigas para soportar momentos de este signo es muy baja.

Por lo tanto se puede afirmar que como el nivel de deterioro de cada viga es distinto, cada una se encuentra en una situación particular, y lo que tienen en común es que todas están soportando momentos positivos, con un diagrama de momento diferente para cada una, que está siendo afectado por las muletas.

La colocación de las muletas redujo las solicitaciones sobre las vigas de tal manera, que éstas son capaces de resistir las cargas actuantes con sólo el cable Central trabajando. Sin embargo, no es posible explicar por qué la empresa que llevó a cabo el proyecto de reparación decidió colocar en algunos vanos una muleta y en otros dos.

De la revisión de esfuerzos para el caso extremo de tracciones en la fibra inferior de la sección, en la estructura con muletas, se puede observar que los esfuerzos de tracción son mayores al permisible en todos los casos, por lo cual se puede afirmar que si el cable Central también se secciona, se producirán mayores esfuerzos de tracción que los calculados, imposibles de soportar por el concreto, y ocurriría una falla frágil de las vigas.

5. Diagnóstico del Estado de la Estructura

Luego de realizar el levantamiento de daños en la estructura, el muestreo y los ensayos, y el análisis estructural, se concluye que el deterioro del puente de acceso se debe principalmente a la corrosión.

La corrosión probablemente se inició por grietas estructurales que aparecieron por sobrecargas no consideradas en el diseño, como la colocación de otro tren de carga en los camiones HS 20-44, y el exceso de velocidad de dichos camiones al pasar por el puente.

Estas grietas permitieron la entrada de sales, oxígeno y humedad. Se suma a esto, el escaso recubrimiento en algunas zonas y las condiciones ambientales agresivas a las que está expuesta la estructura.

El predominio de los daños hacia el lado sur de los vanos, en 1993 y en la actualidad, también se explica por el paso de estos camiones a gran velocidad, unido con los desniveles y el deterioro de las juntas de las losas nunca reparadas. Esto ocurre porque los camiones cargados que van hacia al muelle, transitan de sur a norte sobre el puente, y al pasar de un vano a otro, impactan al segundo, justo en su lado sur. No ocurre en la parte norte porque los camiones vienen vacíos del muelle, y a pesar de la velocidad, el impacto es menor.

De las conclusiones del muestreo y los ensayos se sabe, que en las vigas la concentración de las sales ocurre esencialmente en las cartelas de los patines inferiores, quedando el interior con menor contenido de sales; formándose así pilas de concentración diferencial de cloruros. Como los cables laterales se encuentran más cerca de las cartelas, funcionan como los ánodos y son los que se han corroído, y el cable Central, que está más alejado, es el cátodo y ha quedado protegido.

También se han formado pilas por ciclos de humedad y sequedad en los elementos más cercanos al nivel del agua. Y además pilas inducidas al colocar ánodos de sacrificio para los pilotes de acero (muletas), que hacen que estos trabajen como cátodos y no se dañen, pero obliga al acero de las vigas transversales y de las mismas vigas postensadas, a trabajar como ánodos, lo que explica el común deterioro de los cables de postensado a más o menos dos metros de ellas. Estas pilas son imposibles de eliminar, habría que desconectar las muletas, lo cual no es una opción porque son las que están aguantando a las vigas, o sustituir estas últimas.

No obstante, la corrosión ha evolucionado con mayor rapidez en los últimos años debido a tres razones fundamentales: primero porque el ánodo de sacrificio de las muletas ha inducido a la formación de pilas que no existían; segundo porque pudo haber ocurrido contaminación con cloruros en 1993 cuando se realizó la reparación (entrevistas al personal que trabaja en el muelle comentaron que en dicha reparación primero se escarificó todo, dejando expuesto el acero y el concreto por mucho tiempo, y luego fue que se reparó); y por último porque al seccionarse (por corrosión por tensión) los cables laterales, se produjeron esfuerzos de tracción en las vigas que aumentaron la aparición de grietas y la profundidad de las ya existentes, esto aceleró la penetración de los agentes externos.

En la actualidad las vigas dependen del cable Central, si se secciona este cable de postensado el puente de acceso al muelle podría colapsar. Esto no está muy lejos de suceder porque los desprendimientos en el patín inferior se han generalizado dejando casi al descubierto los ductos de este cable. La reparación debe realizarse en corto tiempo y de manera eficaz para evitar su deterioro.

Se cree que la tensión de los cables laterales seccionados no se ha perdido totalmente, ya que los que están seccionados no han tratado de

regresar a su longitud original (no se observó encogimiento), quizá porque se encuentran adheridos a los ductos producto del aumento de volumen que les causó la corrosión, o por el mortero inyectado (en algunos casos se detectó ausencia de éste).

Los daños graves en las vigas amenazan la estabilidad del puente, y la rápida evolución del deterioro indica que los daños moderados y leves se convertirán en graves en corto tiempo.

CAPÍTULO V

PROYECTO DE REPARACIÓN

1. Posibles Soluciones para Mantener Operativo el Muelle

El diseño original del puente de acceso y la posterior colocación de las muletas, su estado de deterioro y los factores causantes, además de la importancia que tiene para las actividades de la planta de cemento, no dan cabida a muchas opciones para repararlo.

A continuación se presentan tres posibles opciones para mantener el muelle en servicio, y las ventajas y desventajas de cada una.

1.1 Construir un Nuevo Puente de Acceso al Muelle

Construir un puente contiguo al existente que se acople con la plataforma principal del muelle implica: obstaculizar el atraque de las embarcaciones durante parte de la construcción, modificar el sistema de la correa transportadora que requiere detener por cierto tiempo la exportación de cemento a granel, y demoler parte del primer puente para concluir la conexión, ya que la plataforma no es tan ancha como para permitir la llegada de dos puentes.

Construir un nuevo puente, así como toda obra civil, requiere realizar diferentes trámites legales, un proyecto de diseño y un proceso constructivo, que representan un costo muy elevado y un período de tiempo muy largo para que la obra sea puesta en uso. Como la exportación de la planta de cementos depende del muelle, la empresa continuaría usando el puente de acceso deteriorado hasta que la nueva estructura entre en servicio, por lo tanto es necesario repararlo.

No obstante, un nuevo puente mantendría en servicio al muelle por más tiempo.

1.2 *Sustituir las Vigas Postensadas*

Como se demostró en el estudio diagnóstico los elementos más deteriorados del puente de acceso son las vigas de concreto postensado, de las cuales depende el funcionamiento de éste. Una posible solución es sustituir las vigas postensadas por otras existentes en el mercado que cumplan con los requerimientos del puente.

Esta solución obliga a remover otros elementos, como la losa, los separadores, las vigas transversales y la correa transportadora, ya que todos éstos se encuentran interconectados.

Las vigas se encuentran conectadas a los paneles prefabricados de losa, y desconectarlas implica demoler parte de ellos, y de lo que se encuentra sobre el tablero, por lo que no sería entonces sustituir sólo las vigas sino prácticamente la superestructura completa. También sería necesario retirar la correa transportadora que está anclada a la losa. Estas acciones dejarían al puente no operativo por mucho tiempo, y ya se sabe que esta no es una opción.

Al colocar nuevas vigas, una de las causas de la corrosión en el puente que es la pila inducida por los ánodos de sacrificio de las muletas, no existiría, ya que las nuevas vigas no necesitarían apoyarse en ellas.

1.3 *Reparar los Daños de los Elementos Estructurales*

Esta solución contempla reparar todos los elementos que se encuentren deteriorados para intentar preservarlos y extenderles su tiempo de vida útil. Estas acciones se realizarían lo más pronto posible ya que los daños están

progresando rápidamente y los que hoy son daños leves y moderados, en muy poco tiempo serán graves y de consecuencias irreversibles.

Esta es la solución más viable porque no representa costos tan elevados como las soluciones anteriores, y algunas acciones interrumpirían el servicio pero sólo por un corto tiempo, lo cual es muy importante para la empresa.

No obstante en esta solución la pila producida por las muletas no puede evitarse, pero sus efectos pueden minimizarse con un mantenimiento adecuado.

De las tres soluciones planteadas, la última es la que por su facilidad de ejecución, por los sistemas y productos que existen para llevarla a cabo, por el costo, y por representar poca interrupción a las actividades normales del muelle, resulta la mejor opción. A partir de esta solución se establece el proyecto factible de reparación del puente de acceso a la plataforma principal del muelle, cumpliéndose así uno de los objetivos fundamentales de esta investigación.

2. Proyecto de Reparación

2.1 Generalidades

En los procedimientos a realizar, las características de los materiales a ser empleados, dosificaciones y actividades no especificadas serán sometidas a la aprobación previa del Inspector.

En todos los procedimientos, sólo se empleará agua dulce para limpieza, mezclado y curado del concreto.

2.2 Procedimientos de Reparación

2.2.1 Procedimiento R1: Extracción y Sustitución de los Materiales Afectados

Se aplicará en zonas donde se observe: desprendimientos del concreto, grietas que indiquen corrosión, manchas de oxidación, acero expuesto y/o corroído, debilidad del material, diferencia de color, o de sonido ante el impacto con martillo o piqueta (abultamiento del concreto).

Debe seguirse estrictamente el procedimiento indicado a fin de garantizar la adecuada continuidad y adherencia entre los materiales remanentes y los nuevos.

Precauciones

- Podrán efectuarse demoliciones simultáneas en varios vanos pero sólo podrá intervenirse una viga por vez por vano.
- La longitud máxima de demolición del patín inferior de las vigas postensadas será de 3 metros en el tercio central, y de 6 metros en los tercios finales (Ver en el anexo 5 la figura 1).
- La longitud máxima de demolición en el alma de las vigas y en los separadores será 1 metro. No podrá intervenirse, simultáneamente, dos caras opuestas de la misma viga. (Ver en el anexo 5 la figura 1).
- Debe intervenirse lo menos posible los cables de postensado.

Remoción del Material Dañado

Podrá usarse martillo neumático, cincel, hidrodemolición u otro procedimiento. El material en malas condiciones deberá ser removido completamente hasta llegar a las partes sanas.

En el caso del acero oxidado deberá descubrirse hasta conseguir material sano, y 15 cm. más allá; se profundizará detrás del acero no menos de 2 cm., para permitir su inspección con espejos y/o al tacto. (Ver en el anexo 5 la figura 1).

El acero de refuerzo que, después de la limpieza, haya perdido más del 20% de su sección deberá ser removido. Los restos de los cables de postensado que se encuentren seccionados y fuera del ducto, serán cortados y desechados.

La cavidad abierta que deje la extracción del material dañado y parte del sano, deberá tener superficies rugosas y con bordes perpendiculares a la superficie, no en bisel, para garantizar la adherencia con el nuevo material. (Ver en el anexo 5 la figura 1).

La cavidad se extenderá un mínimo de 15 cm. dentro de las zonas sanas, y tendrá una profundidad mínima de:

- 6 cm. en el alma de las vigas, bajo el cable central en el patín inferior en el tercio central de las vigas, en las vigas transversales y en los separadores. (Ver en el anexo 5 la figura 1).

- 10 cm. alrededor de los cables laterales y bajo el cable central en el patín inferior, en los tercios extremos de las vigas, y en los cabezales.

Limpieza de las Superficies

Las superficies del acero oxidado serán limpiadas con cepillos de alambre de acero. Las costras de corrosión, no adheridas, serán removidas junto con el salitre depositado, grasa o aceite. Pueden dejarse manchas de óxido y partículas de corrosión adheridas, que serán recubiertas con un estabilizador de corrosión polimérico tipo Tanik o Tanitek. Los cables de postensado o

ductos que se encuentren oxidados serán recubiertos también con este polímero.

Las superficies descubiertas de concreto deberán ser cuidadosamente limpiadas de fragmentos desprendibles, grasa, agua de mar, salitre y polvo. Se empleará chorro de agua a presión.

Material de Reposición

El acero de refuerzo que sea removido deberá ser reemplazado por una pieza de igual calidad y denominación. Podrá emplearse cualquiera de las siguientes opciones para unir el acero nuevo con el viejo: (Ver en el anexo 5 la figura 2)

- Solape mínimo de 15 cm.

- Soldadura con filete mínimo de 8 cm.

- Perforación en el concreto e inserción mínima de 10 cm., con relleno epóxico; se permitirán dobleces en la barra insertada, con un ángulo máximo de 90°.

Se utilizará concreto con fibra de polipropileno en la proporción recomendada por el fabricante para reducir el riesgo de fisuración. Se utilizarán agregados limpios (canto rodado o material triturado) bien gradados, con tamaño máximo igual a 1/2", sin pasante del cedazo # 100.

La mezcla contendrá no menos de 350 Kg./m³ de cemento, una relación agua/cemento máxima de 0,40 y la fluidez necesaria para no requerir vibrado (autonivelante).

Para reducir el contenido de cal libre en el concreto y aumentar la durabilidad e impermeabilidad, se permitirá la adición de microsílíce a la mezcla.

Se permitirá la mezcla con una resina acrílica tipo látex no emulsionable, como Akрилcет o similares, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

Curado

Se mantendrá la zona reparada bajo curado húmedo, con agua dulce, no menos de 10 días, para garantizar la hidratación y reducir el riesgo de agrietamiento. Como alternativa, podrá usarse una membrana curadora que permita la aplicación de eventuales tratamientos posteriores, como el Curacret-HC-309 o similar.

2.2.2 Procedimiento R2: Relleno de Oquedades

Se utilizará este procedimiento para reparar cualquier perforación, intencional o no, y cualquier demolición parcial que produzca una oquedad o espacio confinado. Deberá seguirse estrictamente el procedimiento indicado a fin de garantizar la adecuada adherencia entre el concreto viejo y el mortero nuevo.

Remoción de Material

Podrá usarse cincel, hidrodemolición u otro procedimiento. La cavidad abierta deberá tener bordes perpendiculares a la superficie, no en bisel.

Limpieza

La superficie de la oquedad deberá limpiarse hasta quedar libre de fragmentos sueltos, grasa, agua de mar, salitre y polvo. Se empleará chorro de agua a presión y/o cepillo de alambre.

Material de Reposición.

Se empleará un mortero sin retracción o de expansión controlada ('grout'). Podrá usarse una formulación ya preparada tipo SonogROUT-Patch-V, o similar; o preparar un mortero.

En el caso del mortero se utilizarán agregados limpios, rugosos, bien gradados, con tamaño máximo igual a 1/2", sin pasante del cedazo #100. La mezcla contendrá no menos de 350 Kg./m³ de cemento, una relación agua/cemento máxima de 0,40 y la fluidez adecuada según las características del sitio a rellenar.

Curado

Se mantendrá la zona reparada bajo curado húmedo con agua dulce, no menos de 5 días, para garantizar la hidratación y reducir el riesgo de agrietamiento. Como alternativa, podrá usarse una membrana curadora que permita la aplicación de eventuales tratamientos posteriores, como el Curacret-HC-309 o similar.

2.2.3 Procedimiento R3: Tratamiento de Grieta Ancha con Abertura mayor o igual a 0,5 mm.

Se empleará Xypex Concentrado preparado en forma de pasta extra-seca.

Acondicionamiento de la Superficie

Se cortará el concreto a fin de abrir la grieta en forma de cajuela, de 2 a 3 cm. de ancho y de igual profundidad.

Todo el material suelto será removido por cepillado o empleando agua o aire a presión. La superficie deberá quedar 'abierta', limpia, libre de grasa y de cualquier contaminante.

Se saturará con agua el área a ser tratada para que se encuentre húmeda en el momento de la aplicación del producto.

Mezclado

Se preparará el volumen de mezcla que pueda ser debidamente colocado y acabado en veinte (20) minutos; en zonas sombreadas hasta treinta (30) minutos.

Se prepararán dos tipos de mezcla (No se añadirá aditivos):

- La lechada se dosificará a razón de tres (3) volúmenes de polvo por uno (1) de agua.
- La masilla (dry-pack) se dosificará a razón de seis (6) volúmenes de polvo por uno (1) de agua.

El procedimiento de mezclado deberá asegurar una mezcla uniforme. Se recomienda utilizar una paleta con un taladro eléctrico de baja velocidad. El mezclado manual podrá efectuarse con una varilla o con paleta. Se añadirá lentamente el agua (preferiblemente fría) al polvo, y se mezclará continuamente durante 5 minutos hasta obtener un producto uniforme.

La mezcla se hará más espesa con el transcurso del tiempo; deberá remezclarse sin añadir agua.

Aplicación

La superficie de concreto deberá estar húmeda pero sin exceso de agua. Utilizando brocha semi-rígida se aplicará una delgada capa de lechada en la fisura y no menos de 3 cm. alrededor (aproximadamente 1 mm. de espesor) y se dejará secar.

A continuación se aplicará la masilla preparada, en una sola capa. La masilla será colocada cuidadosa y uniformemente dentro de la grieta, utilizando lana o espátula y comprimiéndola fuertemente con un martillo y taco de madera. Se tendrá cuidado en distribuir uniformemente el producto.

Curado

Se humedecerá la superficie tratada tan pronto como endurezca lo suficiente para no ser dañada, aproximadamente 50 minutos después del inicio del mezclado.

Se mantendrá el área permanentemente húmeda durante diez días. Durante los primeros tres deberá evitarse el lavado producido por alta presión de agua o la lluvia.

No deberán colocarse láminas de plástico directamente sobre la superficie tratada porque se requiere circulación de aire para el curado adecuado del Xypex.

2.2.4 Procedimiento R4: Tratamiento de Fisuras con Abertura menor a 0,5 mm.

Se empleará el producto Xypex Concentrado.

Acondicionamiento de la Superficie

No hace falta repicar la superficie de concreto a menos que se observe una capa evidentemente débil y desprendible. Todo el material suelto será removido por cepillado o empleando agua o aire a presión. La superficie deberá quedar “abierta”, limpia, libre de grasa y de cualquier contaminante. Se saturará el área a ser tratada y se removerá el exceso de agua.

Mezclado

Se preparará el volumen de mezcla que pueda ser debidamente colocado y acabado en veinte (20) minutos; en zonas sombreadas hasta treinta (30) minutos.

La mezcla se dosificará a razón de tres (3) volúmenes de polvo por uno (1) de agua. No se añadirán aditivos.

El procedimiento de mezclado deberá asegurar una mezcla uniforme. Se recomienda utilizar una paleta con un taladro eléctrico de baja velocidad. El mezclado manual podrá efectuarse con una varilla o con paleta. Se añadirá lentamente el agua (preferiblemente fría) al polvo y se mezclará continuamente durante 5 minutos, hasta obtener un producto uniforme y de consistencia cremosa.

La mezcla se hará más espesa con el transcurso del tiempo; deberá remezclarse sin añadir agua.

Aplicación

La superficie de concreto deberá estar húmeda pero sin exceso de agua.

Se aplicará una sola capa de la mezcla preparada, con un espesor aproximado de 1 mm., espesores superiores pueden causar inconvenientes de curado.

La mezcla será colocada cuidadosa y uniformemente sobre la fisura y no menos de 4 cm. alrededor, utilizando brocha semi-rígida, rellenando la fisura y los poros visibles.

Se tendrá mucho cuidado en distribuir uniformemente el producto y remover el exceso de material aplicado.

Curado

Se humedecerá la superficie tratada tan pronto como endurezca lo suficiente para no ser dañada, aproximadamente 50 minutos después del inicio del mezclado.

Se mantendrá el área permanentemente húmeda durante diez días. Durante los primeros tres días deberá evitarse el lavado producido por alta presión de agua o la lluvia.

No deberán colocarse láminas de plástico directamente sobre la superficie tratada porque se requiere circulación de aire para el curado adecuado del Xypex.

2.2.5 Procedimiento R5: Reparación y Refuerzo de Apoyos de Vigas.

Se empleará cuando no sea posible aplicar el procedimiento R1 debido a que el daño se haya producido en la zona de apoyo de las vigas y la presencia de los soportes imposibilite la maniobra.

Precauciones

- Durante la realización del procedimiento, se suspenderá el transporte de cemento a granel y no podrá transitar ningún vehículo por la estructura.
- Se colocarán dos puntales metálicos bajo el separador contiguo a la viga que será intervenida. Para la viga central se colocarán dos puntales bajo cada separador.
- Este procedimiento será aplicado en una sola viga por vez por vano.
- La longitud máxima de demolición será de 80 cm. (Ver en el anexo 5 la figura 3).

Remoción del Material Dañado

Se empleará piqueta u otro procedimiento, para retirar el concreto suelto o en malas condiciones.

La extracción del material dañado deberá dejar superficies rugosas y aproximarse, en lo posible, a una cavidad con bordes perpendiculares a la superficie, no en bisel.

La cavidad se extenderá hasta encontrar acero sano, y 10 cm. adicionales dentro de la zona sana longitudinalmente hacia el centro de la viga. (Ver en el anexo 5 la figura 3).

La remoción y reposición del acero corroído se hará según R1.

Limpieza de las Superficies

La limpieza se hará de acuerdo a R1 hasta donde sea posible.

Material de Reposición

Se empleará un concreto modificado con una resina acrílica tipo látex no emulsionable, como Akirilcret o similar, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante.

Podrá mezclarse el concreto con fibra de polipropileno en la proporción recomendada por el fabricante.

Se utilizarán agregados limpios (canto rodado o material triturado) bien gradados, con tamaño máximo igual a 3/8", sin pasante del cedazo #100. La mezcla contendrá no menos de 380 Kg./m³ de cemento, una relación agua/cemento máxima de 0,40 y la fluidez necesaria para no requerir vibrado (autonivelante).

Para reducir el contenido de cal libre en el concreto y aumentar la durabilidad e impermeabilidad, se permitirá la adición de microsílíce a la mezcla.

Curado

Se mantendrá la zona reparada bajo curado húmedo, con agua dulce, no menos de 10 días, para garantizar la hidratación y reducir el riesgo de agrietamiento.

2.2.6 Procedimiento R6: Punzonado de Pilotes.

El procedimiento será aplicado en las vigas transversales donde se evidencie el efecto de punzonado, y se realizará luego del procedimiento R1.

Limpieza de la Superficie

Se aplicará el procedimiento R1.

Materiales

Se emplearán láminas, de 10 mm. de espesor, de acero de igual calidad que el empleado para la fabricación de los pilotes metálicos. Las planchas horizontales serán de 200 x 200 mm. Las aletas verticales serán triángulos isósceles con los catetos igual a 200 mm. (Ver en el anexo 5 la figura 4).

Se utilizará el procedimiento de soldadura y electrodos adecuados al material de los pilotes metálicos.

Refuerzo

Se dispondrá una plancha horizontal a cada lado del pilote de acero. Para facilidad operativa, las planchas podrán adherirse al concreto con pegamento epóxico. Cada plancha tendrá soldadas dos aletas verticales, dispuestas

radialmente que, a su vez, serán soldadas al pilote. (Ver en el anexo 5 la figura 5).

2.2.7 Procedimiento R7: Reparación de las Juntas de las Losas.

Este procedimiento se aplicará en todas las juntas de las losas del puente.

Remoción de Material

En el caso de que las juntas se encuentren agrietadas, tengan esquinas desprendidas o algún otro deterioro el material deberá removerse con cincel, hidrodemolición u otro procedimiento. La cavidad abierta deberá tener bordes perpendiculares a la superficie, no en bisel.

Limpieza

La superficie deberá limpiarse hasta quedar libre de fragmentos sueltos, grasa y polvo. Se empleará chorro de agua a presión y/o cepillo de alambre.

Material de Reposición.

Se empleará un mortero sin retracción o de expansión controlada ('grout'). Podrá usarse una formulación ya preparada tipo SonogROUT-Patch-V, o similar.

Se aplicará con la llana o espátula y se colocará de tal forma que se conserve la forma original del borde la losa.

Solución del Desnivel

Se utilizarán planchas de acero de 10 mm. de espesor que serán empotradas en los bordes de las losas de cada vano en un solo extremo, por lo tanto en la junta, un extremo tendrá la plancha empotrada, y en el otro extremo la plancha quedará sobrepuesta.

Los procedimientos descritos para tratar cada tipo de daño en los diferentes elementos, se resumen en el siguiente cuadro.

Cuadro 19.

Tipos de daños y Procedimientos de Reparación Correspondiente

Ubicación	Tipo de Daño	Procedimiento
Vigas	Rotura o exposición de cables de postensado	R1
	Rotura o exposición de acero ordinario	R1
	Desprendimiento o abultamiento del concreto	R1
	Manchas de óxido	R1
	Grietas y desprendimientos por compresión en las esquinas superiores	R1
	Grietas y desprendimientos en las esquinas inferiores, con oxidación del acero	R1 o R5 ¹
	Grietas leves o moderadas, sin indicios de oxidación	R3 o R4 ²
	Grietas, con oxidación del acero	R1
	Pérdida de sección de concreto en las zonas de apoyo de las vigas	R5
Separadores	Grietas longitudinales en la zona inferior de las caras laterales y en la cara inferior	R1 o R5 ¹
	Desprendimientos de arista superior	R1
	Desprendimientos de arista inferior	R1 o R5 ¹
	Agrietamiento leve o moderado, sin indicios de oxidación	R3 o R4 ²
Cabezales	Agrietamiento leve o moderado sin manchas de oxidación	R3 o R4 ²
	Agrietamiento leve o moderado con indicios de oxidación.	R1
	Agrietamiento severo o desprendimiento del concreto	R1
	Riesgo de pérdida de capacidad de soporte de la viga, por desprendimiento del concreto	R1

Cuadro 19. Continuación

Tipos de daños y Procedimientos de Reparación Correspondiente

Vigas Transversales	Grietas longitudinales en la cara inferior y en la zona inferior de las caras laterales	R1
	Desprendimientos de arista	R1
	Punzonado de los pilotes	R6
Losas	Agrietamiento, desprendimiento, oxidación o carcomido	R1
	Perforaciones, oquedades	R2
	Juntas desniveladas, agrietadas, esquinas rotas etc.	R7

Nota 1: El procedimiento R5 se aplicará en la viga y en el separador contiguo cuando no sea posible realizar el procedimiento R1 en la zona de apoyo de la viga.

Nota 2: La selección entre los procedimientos R3 y R4 dependerá del ancho de grieta.

Nota 3: Los recuadros sombreados señalan los daños cuya reparación es prioritaria.

2.3 Descripción de los Productos Recomendados

Tanitek

Es un pasivador de óxido que protege materiales ferrosos de la corrosión. Es un estabilizador de herrumbre (óxido en el nivel atómico).

Tecnofibra

Fibra de polipropileno para refuerzo secundario del concreto. Sustituye la malla de acero permitiendo mejorar las propiedades del concreto, disminuyendo la aparición de grietas de retracción.

Morteros Epóxicos

Morteros cuya matriz conglomerante es una resina y no cemento generalmente con base en adhesivos epóxicos (polímeros sintéticos). Adquieren altas resistencias en pocas horas y pueden emplearse como impermeabilizantes.

Microsílica

Aditivo a base de microsilíce para obtener altos niveles de resistencia, impermeabilidad y durabilidad del concreto. Mejora la resistencia de los concretos al ataque químico y la cohesividad del concreto proyectado.

Akrilcret

Aditivo a base de resina acrílica, para mejorar la adherencia de concretos o morteros frescos sobre viejos. Además mejora la cohesividad de la mezcla.

Curacret HC-309

Es una emulsión de resinas hidrocarbúricas formulada para actuar como membrana de curado sobre superficies de concreto.

Sonogrout – Patch – V

Es un conjunto de agregados especiales, cemento modificado y resinas acrílicas que da como resultado un mortero para reparaciones estructurales en superficies verticales sin necesidad de utilizar encofrado, por su consistencia pastosa.

Xypex Concentrado

Este producto es un polvo compuesto por cemento Portland y aditivos químicos que, al reaccionar en húmedo con la pasta de cemento endurecida, genera una estructura cristalina no soluble.

Masilla Dry Pack

Es una mezcla “empaque seco” que se realiza con 6 partes de Xypex concentrado en polvo con una parte de agua.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El deterioro del puente de acceso a la plataforma principal del muelle marino, se debe fundamentalmente a la corrosión. Los factores causantes de la corrosión fueron: grietas estructurales que no fueron reparadas a tiempo y permitieron la entrada de sales y humedad, los escasos recubrimientos, y el medio ambiente agresivo al que se encuentra expuesta la estructura.

La corrosión se ha intensificado en los últimos once años por la falta de mantenimiento y por la presencia de las pilas inducidas a través de los ánodos de sacrificio de las muletas o pilotes de acero colocados en el año 1993.

La estabilidad de la estructura depende del funcionamiento de las vigas postensadas, y éstas, a su vez, dependen del cable Central, el cual es el único cable de postensado que no ha sufrido daños, y es necesario resguardarlo.

La preservación del puente de acceso obedece a que se lleve a cabo correctamente el proyecto de reparación planteado, y lo más pronto posible para evitar que los daños sigan avanzando y pueda ocurrir el colapso.

Además es necesario un mantenimiento continuo del puente que se ocupe de la limpieza de las cartelas de los patines inferiores de las vigas, para evitar la formación de pilas de concentración diferencial, por la acumulación de sales y otros materiales sobre ellas; y que realice una inspección periódica del puente, para la posible localización de grietas incipientes u otros daños menores, y ejecute la reparación inmediata.

BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges. The American Association of State Highway and Transportation Officials. (1983)
- ACI 318-02. Building Code Requirements for Structural Concrete. Committee 318. (2002)
- ASTM C 823-75 Standard Practice for Examination and Sampling of Hardened Concrete in Constructions. (1975)
- ASTM C 1218-99. Standard Test Method for Water-Soluble Chloride in Mortar and Concrete. (1999)
- Arias F. (1997) *El Proyecto de Investigación. Guía para su elaboración*. (2da edición). Caracas. Editorial Episteme.
- Bisquerra, R. (1996) *Métodos de Investigación Educativa. Guía Práctica*. (2da edición). Barcelona, España. Ediciones CEAC.
- Bozo Pinto, A. E., Caballero Ruiz, M. J., Yabur Addiego, A. A. (1993) *Patología de los puentes de la troncal 009 tramo Kempis-Boca de Uchire*. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
- Calavera Ruiz, J. (1996). *Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado. Tomo I*. Madrid, España. INTEMAC (Instituto Técnico de Materiales y Construcciones)
- COVENIN 1753: 1987. Estructuras de Concreto Armado para Edificaciones. Análisis y Diseño. (Norma venezolana). Ministerio del Desarrollo Urbano. Comisión de Normas de Estructuras para Edificaciones. (Diciembre, 1987)
- DURAR Subprograma XV Corrosión / Impacto Ambiental sobre Materiales. (2000). *Manual de inspección, evaluación y diagnóstico de corrosión en*

estructuras de hormigón armado. 3ª edición. CYTED Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

Emmons, P. H. (1993) *Concrete repair and maintenance illustrated: Problem Analysis – Repair strategy – Techniques*. RS means. Copyright.

Fernández Cánovas, M. (1994). *Patología terapéutica del hormigón armado* (3ra edición). España. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos Servicio de Publicaciones.

Flores S., J. (s.f). Métodos de presforzado. (Documento en línea). Disponible: <http://www.construaprende.com/Tesis2/CAP2/CAP2.htm> (Consulta: 2004, Agosto 16)

Johannson J. (1975) *Diseño y cálculo de estructuras pretensadas*. España, Barcelona. MARCOMBO, S.A. de Boixareu Editores.

López Puerta, J. L. y Rojas Moreno, A. J. (1993) *Patología de los puentes del Municipio Vargas D.F.* Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

Mazzeo La Creta, A. (s/f) Apuntes de Clase de Concreto Pretensado.

Moulinier P., F. (1979) *Corrosión Marina*. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Metalúrgico. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

Muñoz Hidalgo, M. (1994) *Diagnosis y causas en patología de la edificación*. Madrid. Edita: El autor.

NOUEL INGENIEROS (1993) Proyecto de Apuntalamiento y Reparación de Vigas Prefabricadas del Puente de Acceso.

Porrero S., J., Ramos R., C., Grases G., J., Velazco, G. J. (2004). *Manual del concreto estructural*. (1ra. edición). Caracas. SIDETUR.

Ramírez, R., Martínez, D. y Párima, A. (1985) *Patología y Correctivos a daños en estructuras de concreto armado*. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Civil. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

San Juan B., M. A. y Castro B., P. (2001) *Acción de los agentes químicos y físicos sobre el concreto* (1ra. Edición). México. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto A.C.

Tecno-concret. (s/f) Catalogo de Productos.

Universidad Pedagógica Experimental Libertador, Vicerrectorado de Investigación y Postgrado (2003). Manual de trabajos de grado de especialización y maestría y tesis doctorales. Caracas. FEDUPEL.

Velazco P. G. (1979) *Investigaciones en el área de concreto*. Trabajo de ascenso. Universidad Central de Venezuela. Caracas.

ANEXOS

ANEXO 1

Planillas de Catastro

Vano # 1						
		Oxidación	Rotura de Cables	Agrietamiento	Desprendimiento	Observación
Viga Barlovento	Cara Sotavento	Gai(a19m)(L=2m); L(varios)	So-G(a 19m)	Mai(a24m)(L=80cm)	Gai(a19m)(L=2m)	
	Cara Barlovento	Lai y as (varios)		M(a29m)(L=80cm)		
	Cara Inferior	G(a19m)(L=2m); L(varios)	So-G(a 19m)		G(a19m)(L=2m); L(a26m)(2m²)	
Viga Central	Cara Sotavento	Mai(a19m)(1000cm²)			Gai(a19m)(1000cm²)	
	Cara Barlovento	L(varios)			L al (a 24m)(1m²)	
	Cara Inferior	L(a 25m)(varios)(L=5m)		M(a25m)(L=5m)	L(varios)(a25m)(L=5m)	
Viga Sotavento	Cara Sotavento	Gai(a17m)(L=1,5m); L(a19,5m)(borde norte dado); Mai(a26m)(1m²)	So-M(a18m)	Mai(L=15cm)V; M(borde norte dado)V; L(borde inf.dado)V	Gai(a17m)(L=1,5m); Mai(a26m)(1m²)	
	Cara Barlovento	Lai(a23m)		Gai(a23m)(L=4m)		
	Cara Inferior	G(a17m)(L=1,5m); L(varios); L (a 29,5m) (L=0,5m)	So-M(a18m)		G(a17m)(L=1,5m); L(a29,5m)(L=0,5m)	

		Vano # 1					
		Oxidación	Desagregación	Agrietamiento	Desprendimiento	Exudación	Observación
Separador Norte	Cara Norte						
	Cara Sur						
	Cara Inferior						
Separador Sur	Cara Norte	No tiene Separador Sur					
	Cara Sur						
	Cara Inferior						
Losa	Lado Barlovento						
	Lado Sotavento						
Viga Transversal	Cara Norte			Ba - G	Ba - G		Columna corta de concreto. Lado de sotavento luce bien
	Cara Inferior						
	Cara Sur						
Viga Transversal	Cara Norte						Dos columnas cortas circulares de acero, luce bien
	Cara Inferior						
	Cara Sur						
Cabezal 1-2	Cara Sur						
	Cara Barlovento						
	Cara Norte			Grieta esq.s con cara Ba M (pocas) V y H	L (bajo soporte Ba)		
	Cara Sotavento			M (2D)			
Soportes	Soporte 1 Sur	No Tiene Soporte Sur					
	Soporte 1 Norte						

Vano # 2						
		Oxidación	Rotura de Cables	Agrietamiento	Desprendimiento	Observación
Viga Barlovento	Cara Sotavento	Gai(a7m)(L=4,5m)	So-Gai(a9m)		Mal(a5m)(2m²); Gai(a7m)(L=4,5m); Lal(a26m)(1 m²)	
	Cara Barlovento	Gai(a7m)(L=4,5m); Lai(a23m) (600cm²); Lai(a27m) (600cm²); L(varios)	Ba-Gai(a9m)	Mai(a4m)(L=2,5m)H; Mai(a2m)(L=1,5m); Gai(a10m)(L=2,5m); Mai(a26m)(L=1m); Mesq.i (a30m); Mesq.s (a0m); Mal(a2m)(L=1,5m)H y 45°	Mal y as(a3m)(1200cm²) Gai (a 7m) (L=4,5m); Mai(a23m)(600cm²); Mai(a27m)(600cm²)	
	Cara Inferior	G(a7m)(L=4,5m)	Ba-G(a 9m); So-G (a 9 m)		G(a7m)(L=4,5m)	
Viga Central	Cara Sotavento	Gai(a5m)(L=6m); Gai(a10m)(L=1m); M(a20m)(L=2m)	So-Gai(a8m); So-Gai(a11m)	Gai(a0m)(reparación)(L=3m)	Gai(a5m)(L=6m); Gai(a10m)(L=1m); M(a20m)(L=2m)	
	Cara Barlovento	Gai(a5m)(L=6m); GaiØ¼(a15m)(L=2m); Lal(varios)	Ba-Gai(a8m); Ba-Gai(a16m)	Gai y al(reparación)cab1-2	Gai(a5m)(L=6m); GaiØ¼(a15m)(L=2m); Lal(a25m)	
	Cara Inferior	G(a5m)(L=6m); GØ¼ (a15m)(L=2m); G(a10m)(L=1m); MØ¼ (a20m)(L=2m)	Ba-G(a8m); So-G(a8m); Ba-G(a16m); So-G(a11m)		G (a 5m) (L=6m) G (a 10m) (L=1m) M Ø¼ (a 20m) (L=2m) G Ø¼(a 15m) (L=2m)	
Viga Sotavento	Cara Sotavento		So-Gai(a10m)	G(L=5m); Mesq.i(a30m)45°; Mal(a1,5m)(L=30cm); Mai(a1m)(L=30cm)	RxD; Gai(a9,5m)(L=1,5m); Lesq.icab2-3	
	Cara Barlovento	L(a29m)	Ba-Gai(a11m)	G(L=5m); Mesq.s(a30m)45°	RxD; Gai(a9,5m)(L=1,5m); L(a29m)(1m²)	
	Cara Inferior		Ba-G(a11m); So-G(a10m)	G(L=5m)	RxD; G(a9,5m)(L=1,5m); L(a24m)(L=6m)	

Vano # 2									
		Oxidación	Desagregación	Agrietamiento	Desprendimiento	Exudación	Observación		
Separador Norte	Cara Norte								
	Cara Sur			Ba-M H.i.; Ba-GH.i.; So-MH.i.; So-GH.i.					
	Cara Inferior								
Separador Sur	Cara Norte			Ba-M H.i.toda la longitud; So-MH.i.toda la longitud					
	Cara Sur								
	Cara Inferior			Ba-M H.i.toda la longitud; So-MH.i.toda la longitud					
Losa	Lado Batlovento	L(general)	M(a28m) (1m ²)			M(a28m)(1m ²)			
	Lado Sotavento	L(general); M(a11m)				G(a0,5m)(1m ²); G(a2m)(1m ²);G(a6 m)(1m ²); M (a11m)			6 orificios Ø 5cm (a 1m, a 2m y a 6,5 m)
Viga Transversal	Cara Norte			Ba-MH.i.; So- MH.i.; So-MHh/3					
	Cara Inferior			Grieta esq. v. Ba Grieta esq. v. So					
	Cara Sur			Ba-LH.i.; So-LH.i.; So- LHh/3					
Viga Transversal	Cara Norte								
	Cara Inferior			Grieta esq. v. Ba Grieta esq. v. So					
	Cara Sur								
Cabezal 2-3	Cara Sur			G V y H bajo v. Ce; L V y H bajo v. Ba; L V y H bajo v. So					Riesgo de quedar sin soporte la viga Central
	Cara Batlovento			L H					
	Cara Norte			G V y H bajo v. Ce; L V y H bajo v. Ba; L V y H bajo v. So					
	Cara Sotavento			M		Esquina desprendida			
Soportes	Soporte 2 Sur	Ba-mediano; Ce-lámina rota; So-mediano							
	Soporte 2 Norte	Ba-Oculto; Ce-Oculto; So-Oculto							

Vano # 3						
		Oxidación	Rotura de Cables	Agrietamiento	Desprendimiento	Observación
Viga Barlovento	Cara Sotavento	Gai(a7m) (L=2,5m)	So-Gai(a8m)		Mai(a5m)(500cm ²); Lal(a2m)(1m ²); Gai(a7m)(L=2,5m); RxD	
	Cara Barlovento	Gesq.s(a0m); Lesq.i(a0m); Mesq.s(a30m); Lai(a17,5m)		Mai(a3m)(L=4m); Mai(a1m)(L=40cm)	Gesq.s(a0m); Mesq.i(a0m); Mai(a26m)(100cm ²); Mesq.s(a30m); Mai(a17,5m) (100cm ²)	
	Cara Inferior	G(a7m)(L=2,5m); L(varios)	So-G(a8m)		G(a7m)(L=2,5m); RxD	
Viga Central	Cara Sotavento	Gai(a10m)(L=3m); L(varios); Mai(a20m) (L=2m)	So-G(a11m) So-M ai(a21m)		Gai(a10m)(L=3m); Mai(a20m)(L=2m)	
	Cara Barlovento	Gai(a8m)(L=3m); L(varios); Mal ai(entre 15y 18m)	Ba-Gai(a9m)	Gai(a4m)(L=4m); Mai(a22m)(L=3m); Gesq.s(a30m)45°	Gai(a8m)(L=3m); Mal ai(entre 15y 18m)	
	Cara Inferior	G(a10m)(L=3m); L(varios); M(a20m)(L=2m)	Ba-G(a9m) So-G(a11m) So-M(a21m)		RxD; G(a10m)(L=3m); M(a20m)(L=2m); L(varios)	
Viga Sotavento	Cara Sotavento	L(varios); Mai(a9,5m)	So-Gai(a11m)	Gai(a5m)(L=6m); Mai(a23m)(L=3m)	Mesq.s(a0m); Mas(a1,5m) (500cm ²); Mas(a4,5m)(500cm ²); ; Mai(a9,5m); RxD	
	Cara Barlovento	Mai(L=80cm); Lai(disperso)(entre 25 y 30cm)	Ba-M(a11m)ai	Mai(a0m)(L=6m)	RxD; ai(a26m)(1m ²); Mai(L=80cm)	
	Cara Inferior	M(a10m)(L=1m); L(varios); M(L=80cm); M(a9,5m)	So-M(a11m) So-G(a11m) Ba-M(a11m)	L (general); M (general)	M (a 10m) (L=1m) M (L=80cm) RxD; M(a9,5m)	

Vano # 3							
		Oxidación	Desagregación	Agrietamiento	Desprendimiento	Exudación	Observación
Separador Norte	Cara Norte						
	Cara Sur			Ba-M esq. 45°; So-M toda la long.			
	Cara Inferior			So-M toda la long.			
Separador Sur	Cara Norte						
	Cara Sur	Ba-G H.i.; So-G H.i.			Ba-G H.i. So-G H.i.		
	Cara Inferior	Ba-G; So-G			Ba-G So-G		
Losa	Lado Barlovento		M(a1m)(1m²); M(a3m)(1m²)		L(a1m)(1m²); L(a3m)(1m²)		
	Lado Sotavento				M(a1m)(1m²); M(a3m)(1m²)		
Viga Transversal	Cara Norte			So esq.i	So-L		
	Cara Inferior						
	Cara Sur			So esq.i			
Viga Transversal	Cara Norte						
	Cara Inferior						
	Cara Sur						
Cabezal 3-4	Cara Sur			M H.i.	esq.i con cara So casi desprendida		
	Cara Barlovento			L H y V			
	Cara Norte			L H.s. (L=3m) desde cara Ba		L H.i. (L=3m) desde cara Ba	
	Cara Sotavento						
Soportes	Soporte 3 Sur	Ba-semioculto; Ce-semioculto; So-semioculto					
	Soporte 3 Norte	Ba-oculto; Ce-oculto; So-oculto					

Vano # 4						
		Oxidación	Rotura de Cables	Agrietamiento	Desprendimiento	Observación
Viga Barlovento	Cara Sotavento	Lai(a27m)		L(a17m)	Lai(a27m)(1m ²); Lal(a3m)	
	Cara Barlovento			Gesq.s(a 30m)	Gesq.i(a0m); RxD; Mesq.s(a30m)	
	Cara Inferior			L(a0m)(L=6m)	L(a0m)(L=6m); L(a23m)(L=1m)	
Viga Central	Cara Sotavento					
	Cara Barlovento	GØ½@30cm(a27m)(2m ²)	Ba-G ai (a 16m)	Lai(a21m)(L=50cm); Las(a27m); Las(a30m); Gesq.s(a30m)	Mas(a3m); G(a14m)(L=3m); Lal(a17,5m); Las(a23m); GØ½(a27m)(2m ²); M(reparación)esq.s	
	Cara Inferior	GØ½(a1m); GØ¼(a14m)	Ba-G (a 16m)		L(a30m); G(a1m); G(a10m)(L=2m)(punzonado); RxD(a14m)(L=2m)	
Viga Sotavento	Cara Sotavento	GalØ½@20cm(a1m)(L=2m); Lesq.s(a0m); M(a27m)(50cm ²); M(a29,5m)(50cm ²)		Gal(a 0m)45°; Lai(a24m) H y V (L=6m)	GØ½al(a1m)(L=2m); Mesq.s(a0m); M(a27m)(50cm ²); M(a29,5m)(50cm ²)	
	Cara Barlovento	Gesq.s(a 0m)		Mai(a2m)(L=2m); Mas(a1m)(L=1m); Mal(a1m)45°; Gesq.s(a30m)	Lal(a1m)(2m ²); Gesq.s(a0m); M(reparación)esq.s	
	Cara Inferior			M(a0m)	L(a27m)(L=1m); M(a30m); L(a0m); G(a14m)(L=2m)re=5cm	

Vano # 4							
		Oxidación	Desagregación	Agrietamiento	Desprendimiento	Exudación	Observación
Separador Norte	Cara Norte	Ba-M extenso			Ba-M extenso		
	Cara Sur			So-L H.s.			
	Cara Inferior						
Separador Sur	Cara Norte			Ba-M	Ba-L		
	Cara Sur						
	Cara Inferior						
Losa	Lado Barlovento			G(a26m); G(a28m)	L(a26m)(2m²); L(a28m)(2m²)		
	Lado Sotavento				M(a2m)(1m²)volado; L(a0,5m)(1m²); L(a2m)(1m²); M(a3m)(800cm²); L(a20cm)		
Viga Transversal	Cara Norte			Ba-L; So-M			
	Cara Inferior						
	Cara Sur			Ba-L; So-M			
Cabezal 4-5	Cara Sur			Lextremos laterales H.i.; Mcubocentral H.i.			
	Cara Barlovento			L(general)			
	Cara Norte			MH.i.toda la long.; McuboSo V, H e I			
	Cara Sotavento			L V, H e I			
Soportes	Soporte 4 Sur	Ba-oculto; Ce-oculto; So-oculto					
	Soporte 4 Norte	Ce-aplastado					

Vano # 5						
		Oxidación	Rotura de Cables	Agrietamiento	Desprendimiento	Observación
Viga Barlovento	Cara Sotavento	Mai(a4m); Mai(a5m)			Lai(a4m); Lai(a5m)	
	Cara Barlovento	L (en anclajes del separador)				
	Cara Inferior				L RxD; M RxD	
Viga Central	Cara Sotavento	G(a0m)(L=7m); L(a12m)	So-G(a3m)	G(a0m)(L=7m)	G(a 0m)(L=7m); RxDal(a2m)	Muy grave
	Cara Barlovento	G(a0m)(L=7m)	Ba-G(a3m)	G(a0m)(L=7m)	Gcab(a0m)(L=7m); RxDal(a2m); Lal(a27m)	
	Cara Inferior	G(a0m)(L=7m); L(a12m)	So-G(a 3m); Ba-G(a 3m)	G(a0m)(L=7m)	G(a0m)(L=7m); RxD(a2m)	
Viga Sotavento	Cara Sotavento	G(a0m)(L=6m); Lal(a12m)	So-G(a3m); So- G(a13m)	G(a0m)(L=6m)	G(a0m)(L=6m)	Muy grave
	Cara Barlovento	G(a0m)(L=6m); Las(a4m); Las(a14m)	Ba-G(a 3m)	G(a0m)(L=6m); M(a3m)	G(a0m)(L=6m); Mas(a4m)	
	Cara Inferior	G(a0m)(L=6m); M(a28m)(L=2m)	So-G(a3m); Ba- G(a3m); So-G (a13 m)	G(a0m)(L=6m)	G(a 0m)(L=6m); G(a28m)(L=2m)	

Vano # 5							
		Oxidación	Desagregación	Agrietamiento	Desprendimiento	Exudación	Observación
Separador Norte	Cara Norte						
	Cara Sur			So-L H.i.; So-M H.s.			
	Cara Inferior						
Separador Sur	Cara Norte			Ba-L diagonales(X)	So-L i; So-Lesq.s		
	Cara Sur						
	Cara Inferior						
Losa	Lado Barlovento	L(varios)	L(a5m)(2m ²); L(a3m)(2m ²)		L(a5m)(2m ²); L(a3m)(2m ²)		
	Lado Sotavento	M(a1m)(2m ²); L(general)			M(a1m)(2m ²)		
Viga Transversal	Cara Norte						
	Cara Inferior	Ba-M; So-L		Ba-G (punzonado) So-G (punzonado)	Ba-L (punzonado); Ba-M(punzonado); So-L(punzonado)		
	Cara Sur			So-L H.i.			
Cabezal 5-6	Cara Sur			M H.i.			
	Cara Barlovento	L x3		L H y V (general)			
	Cara Norte			M H.i.(reparación) L H.c. (L=60cm)			
	Cara Sotavento						
Soportes	Soporte 5 Sur	Ba-parece nuevo					
	Soporte 5 Norte						

Vano # 6						
		Oxidación	Rotura de Cables	Agrietamiento	Desprendimiento	Observación
Viga Barlovento	Cara Sotavento	Mai(a2m)			RxDal(a2m)	Rotación de la viga hacia barlovento en el cabezal 6-7
	Cara Barlovento					
	Cara Inferior					
Viga Central	Cara Sotavento			Mai(a15m)(L=1m)	RxDai; RxD	☐Punzonado de ambos pilotes en la viga central. ☐Rotación hacia Sotavento en el cabezal 6-7. ☐Riesgo de pérdida de soporte de la viga por fractura y desprendimiento de esquina del cabezal
	Cara Barlovento	L(a29m)		L ai	RxDal; RxDai(a1m)(L=1m); M(a29m)	
	Cara Inferior	M(a0m)(L=1m); M(a14m)(L=2m)	So-M (a 14m)		M(a0m)(L=1m); M(a14m)(L=2m)	
Viga Sotavento	Cara Sotavento	M(a29m)(L=1m)		Lai(a13m)(L=60cm); L(en dado) H	G(a29m)(L=1m); RxD(general)	Rotación de la viga hacia barlovento en el cabezal 6-7
	Cara Barlovento	Las(a4m); Las(a5m); Las(a6m); L(a29m)		Mai(a0m)(L=1m); Mai(a3m)(L=1m)	Mas(a4m); Mas(a5m); Mas(a6m); M(a29m)	
	Cara Inferior	M(a0m)(L=2m); L(pocas)			RxD(general); RxD; M(a0m)(L=2m)	

Vano # 6							
		Oxidación	Desagregación	Agrietamiento	Desprendimiento	Exudación	Observación
Separador Norte	Cara Norte						
	Cara Sur	Ba-G			Ba-G (1m ²)		
	Cara Inferior						
Separador Sur	Cara Norte			Ba-M 45°; Ba-M H.; So-L H.i.	Ba-Mi; So (RxD)		
	Cara Sur						
	Cara Inferior				Ba-M		
Losa	Lado Barlovento	L(varios)					
	Lado Sotavento	L(a1m)(1m ²); L(pocas)			M(a1m)(1m ²); L(a5m); M(a5m)		
Viga Transversal	Cara Norte			Ba-M H.i.; So-M H.i.			
	Cara Inferior	Ba-L(punzonado); So-L(punzonado)			Ba-M(punzonado); So-M(punzonado)		
	Cara Sur			Ba-M H.i.; So-M H.i.			
Cabezal 6-7	Cara Sur			G bajo soporte v. Ce V; M H.i.; M H.s.	G soporte de la v. Ce puede desprenderse		
	Cara Barlovento			L H y V			
	Cara Norte			M H.i a lo largo; M cubo central H y V (falla típica)			
	Cara Sotavento			L H y V			
Soportes	Soporte 6 Sur	Ba-aplastado hacia Ba; Ce- aplastado a So; So-aplastado hacia Ba					
	Soporte 6 Norte						

Vano # 7						
		Oxidación	Rotura de Cables	Agrietamiento	Desprendimiento	Observación
Viga Barlovento	Cara Sotavento			Gai(a0m)(L=1m); Lai(a7m)(L=2m); Las(a0m)(L=40cm)	Lai(a0m)(L=1m)	Cangrejas a 27m
	Cara Barlovento			Lai(a1m)(L=80cm)	Lai(a26m)(L=30cm)	
	Cara Inferior	M(a29m)(1m²); L(general)		M(a0m)(L=7m)	M(a29m)(1m²); M(a0m)(L=7m)	Cangrejas a 27m
Viga Central	Cara Sotavento			Gai(a0m)(L=4m); Mai(a0m)(L=4m); M(a28m)(L=2m)	Lai(a3m)(1m²)	
	Cara Barlovento	Lai(a10m)		Gai(a10m); Mai(a28m)(L=60cm)		
	Cara Inferior	G(a0m)(1m²); G(a18m)(L=2m)	Ba-G (a 18m) So-G (a 18m)	L(a0m)(L=4m); M(a0m)(L=4m); L(a28m)(L=40cm)	G(a0m)(1m²); G(a18m)(L=2m); L(a29m)	Ø¼ soldada a 18m
Viga Sotavento	Cara Sotavento			G ai (a 2m) (L=4m) G ai (a 0m) (L=2m) G ai (a 18m) (L=5m) M (a 28m) (L=1m)	Lai(a3m)(1m²); Lai(a6m)(1m²); RxDal(a0m); Mesq.s(a0m)45°; Lai(a18m)(L=5m)	
	Cara Barlovento	M(a5m)(L=15m)		M(a0m)(L=5m); G(a0m)(L=5m)	G(a5m)(L=5m)	
	Cara Inferior	M(a5m)(L=5m); G(a18m)(L=2m); M(a19m)(L=2m)	Ba-G(a8m); Ba-M(a9m); Ba-G(a19m); So-M(a20m)			

Vano # 7							
		Oxidación	Desagregación	Agrietamiento	Desprendimiento	Exudación	Observación
Separador Norte	Cara Norte				Ba-M i.(1 m²)		
	Cara Sur						
	Cara Inferior						
Separador Sur	Cara Norte	So-M i.a lo largo		Ba-L s.a lo largo	So-G i.a lo largo		
	Cara Sur	Ba-G			Ba-G		
	Cara Inferior						
Losa	Lado Barlovento				M(a7m)(1m²)		Varias losas lucen nuevas al final del vano
	Lado Sotavento		M(a1m)(2m²); M(a3m)(1m²); M(a7m)(1m²)		M(a1m)(2m²); M(a3m)(1m²); M(a7m)(1m²); M volado(a0m)(2m²)		
Viga Transversal	Cara Norte			Ba-G H.i. (punzonado); So-G H.i. (punzonado)			
	Cara Inferior			Punzonado			
	Cara Sur			Ba-M H.i.; So-M H.i.			
Viga Transversal	Cara Norte			Ba-G H.i. toda la longitud; So-G H.i. toda la longitud			
	Cara Inferior			Punzonado			
	Cara Sur			Ba-L H.i.; So-L H.i.			
Cabezal	Cara Sur			L H.i.; L bajo soportes 45°			
	Cara Barlovento			M H. (varias)			
	Cara Norte			L H.i.; L H.s.; L esq. con cara Ba 45°			
	Cara Sotavento						
Soportes	Soporte 7 Sur	Ce-aplastado a So; So-aplastado a So					
	Soporte 7 Norte	Ba-Ce-So-parecen nuevos					

Vano # 8						
		Oxidación	Rotura de Cables	Agrietamiento	Desprendimiento	Observación
Viga Barlovento	Cara Sotavento	L(a16m)		Lai(a0m)(L=4m); Mesq.s(a30m); Mesq.i(a30m)	L(a16m)(40cm²); Lal(a18m)(1m²)	
	Cara Barlovento	Lesq.i(a30m)		Lai(a2m)(L=50cm)	Mesq.i(a30m)	
	Cara Inferior	L (a 0m) (L=1m)		M (a 0m) (L=1m)45° L (a 3m) (L=50cm)	L(a2m)(50cm²); L(a1m)(50cm²)	
Viga Central	Cara Sotavento			Mal(L=3m); Gai(a4m)(L=2m); Lai(a29m)(L=1m); Gesq.s(a30m); Lesq.i(a30m)	Lal(L=5m)	
	Cara Barlovento	Mesq.s(a30m); Lesq.i (a30m)		Mai(a0m)(L=2m); G(a3m)(L=1,5m); Gesq.i(a30m)	RxDal(a0m)(L=2m); Lal(a25m)(1m²); Lal(a26m)(1m²); Mesq.s(a30m)	
	Cara Inferior	G(a14m)(L=2m)	Ba-G(a14m)	G(a0m)(L=5m); M(a4m)(L=2m); L(a29m)(L=2m); M(a29m)(L=2m)	RxD(a0m)(L=5m); G(a14m)(L=2m)	
Viga Sotavento	Cara Sotavento	L ai (a 28m) (L=2m)		M ai (a 0m) (L=8m) L (dado v. trans.) L ai (a 28m) (L=2m) M esq.i (a 30m)	Lal(a3m)(L=50cm); RxD(a15m); Mal(a29m)(0,5m²); RxDai(a28m)(L=2m); Lal(a29m)(50cm²)	
	Cara Barlovento	M esq.s (a 30m) L al (a 3m)		M ai (a 26m) (L=30cm) L ai (a 2m) (L=2m) M esq.i (a 0m) H y V	Gesq.s(a30m); Lesq.i(a30m); Mal(a3m)(1m²); L esq.i (a 0m)	
	Cara Inferior	G(a3m)(L=3m)	So-G(a4m)	M(a0m)(L=3m)	G(a3m)(L=3m); L(15m)(1m²); RxD(a25m)(1m²)	

Vano # 8							
		Oxidación	Desagregación	Agrietamiento	Desprendimiento	Exudación	Observación
Separador Norte	Cara Norte						
	Cara Sur			Ba-LH.i.			
	Cara Inferior						
Separador Sur	Cara Norte				Ba-Lesq.s Ba		
	Cara Sur			Ba-M H.; Ba-Mesq.i45°			
	Cara Inferior						
Losa	Lado Barlovento				M(a1m)(1m²)		
	Lado Sotavento	M(a1m)(2m²)			M(a1m)(2m²)		
Viga Transversal	Cara Norte			Ba-M H.i.; So-M H.i.			
	Cara Inferior						
	Cara Sur			Ba-G H.i.; Ba-M H.i.; So-L H.i.			
Cabezal 8-9	Cara Sur			Cubo Central:GH.s; LyMresto del cubo; Extremo So: L H.i.; Mesq.s45°; Extremo Ba: L (general)			
	Cara Barlovento	L(general)		L(general)			
	Cara Norte	L(general)		M H.i.toda la long.; GH.i.toda la long.	Lesq.s con cara So		
	Cara Sotavento			L(general); Mesq.s con cara Sur			
Soportes	Soporte 8 Sur	Ce-oculto; So-oculto					
	Soporte Norte	Ba-Ce-So-aplastado					

Vano # 9						
		Oxidación	Rotura de Cables	Agrietamiento	Desprendimiento	Observación
Viga Barlovento	Cara Sotavento	M(a4m)(L=2m)		Lai(a1m)(L=7m); Mai(a1m)(L=7m); Mesq.i(a0m)H; Lai(a30m)(L=50cm)	M(a4m) (L=2m)	
	Cara Barlovento	Mesq.s(a0m); Lal(a3m); Lal(a4m); Lal(a5m); M(a11m)	Ba-M(a11m)		Mesq.s(a0m); Mal(a3m)re=0cm; Mal(a4m)re=0cm; Mal(a5m)re=0cm; M(a11m)	
	Cara Inferior	M(a4m)(L=2m); L(a2m)(L=1m); M(a30m)(1m ²)		L(a11m)(L=20cm)	M(a4m)(L=2m); M(a2m)(L=1m); M(a30m)(1m ²)	Cangrejas a 11 y 12m
Viga Central	Cara Sotavento	Mai(a6m)(20cm ²); Lai(a0m)(L=1m); G(varios)(entre12y16m)	So-G (a 7, 13, 16m)	Mai(a0m)(L=1m); Mai(a6m)(L=3m); Mesq.i(a0m)	Lal(a2m)(2m ²); Lal(a3m)(2m ²); Mesq.s(a30m); Mai(a6m)(20cm ²); Mas(a4m)(20cm ²); G(varios)(entre12y16m); Mesq.s(a0m)	
	Cara Barlovento	L(a2m); Lesq.s(a0m); Lesq.i(a0m)		Mal(a3m)(L=1m); Mal(a4m)(L=2m); Mesq.s(a0m); Mesq.i(a0m)	RxD; M(a2m)(3m ²)	
	Cara Inferior	G(varios)(entre5y10m); G(a6m); G(varios)(entre13y20m); L(a30m)	Ba-G(a 7, 9, 14, 18m) So-G (a 7,13 16m)		G(varios)(entre5y10m); G(varios)(entre13y20m); G(a6m); L(a30m)(1m ²)	
Viga Sotavento	Cara Sotavento	Mesq.s(a0m); Mesq.i(a0m); M(a4m)(L=2m); G(a4m)(L=2m); M(a29m)(L=1m)		Gal(a0m); Lai(a0m)(L=1m); L(a9m)(L=40cm); Lai(en zona reparada)	Gesq.s(a0m); Gesq.i(a0m); Lal(a1m)(2m ²); Mal(a1m)(2m ²); M(a29m)(L=1m); G(a4m)(L=2m)	
	Cara Barlovento			Gai(a30m)(L=3m); Lai(a26m)(L=2m); Mesq.s(a0m); Mesq.i(a0m)	RxDai; Lal(a3m)(1m ²)	
	Cara Inferior	G(a0m)(L=10m); L(a30m)	Ba-G (a 4, 5, 14, 16m)	G(a0m)(L=10m)	G(a0m)(L=10m); M(a30m)(1m ²); RxD	

Vano # 9							
		Oxidación	Desagregación	Agrietamiento	Desprendimiento	Exudación	Observación
Separador Norte	Cara Norte						
	Cara Sur						
	Cara Inferior						
Separador Sur	Cara Norte			Ba-Mi; So-M i.; So-L(varias) H.c.; So- L(varias)H.s.			
	Cara Sur						
	Cara Inferior						
Losa	Lado Barlovento				L(a0m)(2m²)		
	Lado Sotavento	M(a0m)(1m²)			M(a0m)(1m²)		
Viga Transversal	Cara Norte			Ba-MH.i.toda la long.; So-M H.i.toda la long.			
	Cara Inferior						
	Cara Sur			Ba-LH.i.toda la long.; So- LH.i.toda la long.			
Cabezal 9-10	Cara Sur	L		LH.i.toda la long.			
	Cara Barlovento	L H		M H			
	Cara Norte			L H.i. toda la long.; M en extremos V		L(en el centro)	
	Cara Sotavento						
Soportes	SopORTE 9 Sur	Ba-aplastado hacia Ba; Ce- aplastado a So; So-aplastado hacia Ba					
	SopORTE 9 Norte						

Vano # 10						
		Oxidación	Rotura de Cables	Agrietamiento	Desprendimiento	Observación
Viga Barlovento	Cara Sotavento	M(a0m)(L=2m)		Mai(a24m)(L=6m); Gai(a24m)(L=6m); M(a0m)(L=2m)	Mai y al(a27m)(1m²); M(a0m)(L=2m)	
	Cara Barlovento	Gesq.s(a30m)		Lai(entre24y30m) (varias)	Gesq.s(a30m)	
	Cara Inferior			M(a0m)(L=2m); M(en la reparación)	RxD(a25m)(L=1m)	
Viga Central	Cara Sotavento			Mal(a4m)(L=60cm); Mai(a0m)(L=2m); Mai(a0m)(L=3m); Mai(a26m)HyV(L=2m)	Lal(a3m)(1m²); Lesq.i(a0m)	
	Cara Barlovento	L(a25m)(1m²); L(a26m)(1m²)		Mal(a4m)(L=60cm); Mai(a0m)(L=4m)	Lal(a3m)(1m²); Mal(a25m)(1m²); Mal(a26m)(1m²)	
	Cara Inferior	L(a0m)(1m²)		G(a25m)(L=5m)	RxD(a25m)(L=5m); M(a0m)(1m²); RxD(a0m)(L=4m)	
Viga Sotavento	Cara Sotavento	Mal(a2m)(2m²); Mai(a4m)(L=3m); Lai(a28m)(L=2m); Mesq.i(a30m)(L=1m)		Mesq.i(a30m)(L=1m); Mai(a4m); Gai(a4m); Mai(a18m)(varias)V; Mai(a26m)(varias)V; Mai(a28m)(L=2m); Mesq.i(a30m)(L=1m)	M al (a 2m) (2m²) M ai (a 4m) (L=3m) M esq.i (a 30m)(L=1m)	
	Cara Barlovento	Lai(a13m)(L=2m); Lai(a17m)(L=50cm); Lal(a27m)(L=2m)		Mai(a26m)(L=4m); Gai(a26m)(L=4m); Lal(a2m)(L=10cm); Lai(a1m)(L=3m); Mai(a1m)(L=3m); Gai(a4m)(L=2m); Gai(a13m)(L=2m); Lai(a17m)(L=50cm)	Lesq.i(a0m); Lal(a3m)(0,5m²); Las(a16m)(L=40cm); Lal(a27m)(L=2m)	
	Cara Inferior	M(a0m)(L=4m); L(a13m)(L=2m)		L(a24m)(L=6m); M(a24m)(L=6m); M(a4m)(L=1m); M(a13m)(L=2m)	M(a0m)(L=4m); RxD(a4m)(L=3m); L(a13m)(L=2m); RxD(a24m)(L=6m)	

Vano # 10							
		Oxidación	Desagregación	Agrietamiento	Desprendimiento	Exudación	Observación
Separador Norte	Cara Norte	Ba-M			Ba-G		
	Cara Sur			Ba-LH.i.; So-LH.i.; So-Lesq.s45°			
	Cara Inferior	Ba-M			Ba-G		
Separador Sur	Cara Norte			So-L H.i.	So-L	So	
	Cara Sur						
	Cara Inferior						
Losa	Lado Barlovento	M(a2m)(1m²)		M(a26m)(L=1m) (transversal)	M(a2m)(1m²); L(a28m)(4m²)		
	Lado Sotavento	L(pocas)(entre0 y7m); L(a24m)(1m²); M(volado)(a29m)		M(a20m)(L=2m); M(a24m)(L=2m)(t ransversal)	M(a24m)(1m²); L(a24m)(2500cm²); G(volado)(a29m (1m²)		
Viga Transversal	Cara Norte			Ba-M H.i.; So-L H.i.			
	Cara Inferior			Ba-Lgeneral, Ba- M; So-M	Ba-RxD; So-RxD		
	Cara Sur			Ba-M H.i.; So-L H.i.			
Cabezal 10-11	Cara Sur			L H, V e I M esq.cubo M formando cuña bajo soporte viga Ba			
	Cara Barlovento			L (general)			
	Cara Norte	L esq.i con cara Ba		L (general)	M esq.i con cara Ba		
	Cara Sotavento	L		M H, V e I			
Soportes	Soporte 10 Sur	Ba-aplastado; Ce-aplastado; So-oculto					
	Soporte 10 Norte	Ce-longitud doble (60cm)					

Vano # 11						
		Oxidación	Rotura de cables	Agrietamiento	Desprendimiento	Observación
Viga Barlovento	Cara Sotavento	G(a3 m)(L=5m)	So-G(a5m)	Gai(a0m)(L=2m); Mai(a28m)(L=2m); Lai(a28m)(L=2m)	Mas(a4m)(1m2); Mal(a4m)(1m2); G(a3m)(L=5m); M(a0m)	
	Cara Barlovento			Lai(a50cm)(L=50cm); Lai(a27m)(L=3m)		
	Cara Inferior	G(a0m)(L=5m); L(a0m)	So-G(a5m)	M(a28m)(L=2m); L(a28m)(L=2m)	G(a3m)(L=5m); L(a0m)	
Viga Central	Cara Sotavento	Mai(a2m)(1m2)		Mai(a0m)(L=4m); Gai(a6m)(L=2m); Lai(a0m)(L=30cm)	Mai(a2m)(am2); Las(a4m)(0,5m2)	
	Cara Barlovento	G(a3m)(L=4m)	Ba-G (a5m)	G(a3m)(L=4m)	G(a3m)(L=4m)	
	Cara Inferior	G(a3m)(L=4m); L(a0m)(0,5m ²)	Ba-G (a5m)	G(a3m)(L=4m); M(a0m)(L=2m); L(a28m)(L=2m)	G(a3m); M(a0m)(0,5m2); R*D grl	
Viga Sotavento	Cara Sotavento	Mai(a12m)(L=3m); Lesqs(a0m); Lesqi(a0m); Lasvarios; Laivaros; MaiØ1/2 20cm(a29m)(L=4m)	So-M (a14m)	Mai(a16m)(L=2m); Lai(a23m)(L=1m)	Gai(a12m)(L=3m); Mesq s(a0m); Mesqi(a0m); Lal(a1m)(4m ²); GaiØ1/2 @20cm (a29m)(L=1m)	Agrietameinto moderado general en la reparación
	Cara Barlovento	Lal(a2m); Lai(a4m); Lai(a0m)(L=4m); Gai(a4m)(L=4m)	Ba-G (a6m)	G ai (a0m) (L=4m)	Mal(a2m)(2m2); Gai(a4m)(L=4m); Mai(a27m)(0,5m ²); Mesqi(a0m); Mesqs(a0m)	no rompio la cara inferior del cable de Ba. La reparación esta sin adherencia
	Cara Inferior	L(a0m)(L=7m); M(a12m)(L=3m); MØ1/2 @20cm(a29m)(L=1m)	So-M (a14m)		G(a12m)(L=3m); GØ1/2 20cm(a29m)(L=1m); RxD(a0m); RxD(a24m)(L=6m)	

Vano # 11							
		Oxidación	Desagregación	Agrietamiento	Desprendimiento	Exudación	Observación
Separador Norte	Cara Norte			So-M curva desciende del center line hacia S			
	Cara Sur						
	Cara Inferior						
Separador Sur	Cara Norte						
	Cara Sur						
	Cara Inferior						
Losa	Cara Barlovento	M(a4m)(4m2); Lvarias; L(a0,5m) (2500cm2)			M(a4m)(4m2); M(a0,5m) (2500cm2)		La losa bajó a sotavento y subió a barlovento con respecto al vano N° 10
	Cara Sotavento	L varias			L(a 0,5m) (1m2); L (a4m) (1m2)		
Viga Transversal	Cara Norte			Ba-m H.i; So-M H.i.			
	Cara Inferior			Ba- M: So-M			
	Cara Sur			Ba-G H.i; Ba-M; So-G H.i; So-M			
Cabezal 11-12 (2pilotes)	Cara Sur	L.Hi		LH.i.toda la long.			
	Cara Barlovento	L H		M H			
	Cara Norte			L H.i.		LH.I	
	Cara Sotavento						
Soportes	Soporte 11 Sur	So-aplastado (losa rotada)					
	Soporte 11 Norte						

Vano # 12						
		Oxidación	Rotura de cables	Agrietamiento	Desprendimiento	Observación
Viga Barlovento	Cara Sotavento	Las(a26m)(L=50cm)		Lesq i(a50cm); Lai(a4m)(L=50cm); Laivarias(a0m)(L=4m)V	Lai(a3m)(3m ²); Las(a26m)(L=50cm)	
	Cara Barlovento	Lai(a20cm)(L=1m)		Lai(a20cm)(L=1m)		
	Cara Inferior	M(a0m)(1m2); Lgrl(a0m)(L=7m)		M(a0m); L(a0m); L(a1m)(L=3m)	M(a0m)(1m2);RxDparc(a0m)	
Viga Central	Cara Sotavento	Mas(a26m) (200cm ²); Mai(a26m) (200cm ²); Lvarias		Mai(a0m)(L=3m); Lesq s45°; Mai(a0m)(L=3m); Mal(a2m)(L=1m)	Mas(a26m)(200m ²); Mai(a26m)(200cm ²)	
	Cara Barlovento	Lai(a0m)(L=5m); Lai(a13m)		Mai(a0m)(L=5m); Mai(a0m)(L=3m); Lai(a26m)(L=1m)		
	Cara Inferior	MØ1/2@ 5cm(a0m) (L=1,5m); M(a21m)(200cm2); Lvarias		M(a0m)(L=7m); L(a26m)(L=4m); M(a26m)(L=4m)	MØ1/2 @ 5cm(a0m)(L=1,5m); M(a21m)(200cm2); RxD(a0m)	
Viga Sotavento	Cara Sotavento	Lai(a0m)(1200cm ²); Lai(a2m)(1200cm2); Lai(a3m)(1200cm2); Lai(a5m)(1200cm2); Lai(a6m)(1200cm2); Lai(a8m)(1200cm2); Mai(a7m)(L=0,5m); Gesq i; Lvarias		Mai(a0m)(L=6m); Mai(a27m)(L=3m)	L ai (a0m) (1200cm"); L ai (a2m)(1200cm2); L ai (a3m) (1200cm2); L ai(a5m)(1200cm2); L ai (a6m)(1200cm2); Lai(a8m)(1200cm2); M ai (a7m)(L=0,5m); Gesq i	
	Cara Barlovento	L grl; L(a7m)(L=40cm)		M ai(a0m)(L=1m); G al(a2m)(L=1m); L ai (a27m)(L=5m)	L esq s; M(a7m)(L=40cm)	
	Cara Inferior	L(a0m); Lvarias; L(a7m)(L=40cm)		M(a0m)(L=3m); M(a25m)(L=5m)	RxD(L=7m); M(a0m); RxD(a25m); L varias; M(a7m)(L=40cm)	

Vano # 12							
		Oxidación	Desagregación	Agrietamiento	Desprendimiento	Exudación	Observación
Separador Norte	Cara Norte						
	Cara Sur			Ba-M H.i.	Ba-M esq i		
	Cara Inferior				Ba-M esq sur		
Separador Sur	Cara Norte	Ba-Lesq iBa(L=20cm)		Ba-Lesq iBa(L=20cm); So-L H.i.			
	Cara Sur						
	Cara Inferior						
Losa	Cara Barlovento	M(a1m)(0,5m2); Lvarias(de0a7m); Mvolado(a1,5m)(0,5m2)			M(a1m)(0,5m2); L(a28m)(1m2); L(a29,5m)(1m2); Mvolado(a1,5m)(0,5m2)		
	Cara Sotavento	M(a0m)(2m2); Lvarias			M(a0m)(2m2); Lvarias		
Viga Transversal	Cara Norte			Ba-M H.I.; So-M H.i.			
	Cara Inferior			Ba-M; So-G			Posible punzonado sector Ba, Punzonado sector So.
	Cara Sur	Ba-L esq i con viga Ce(1m2)		Ba-G H.I.; So-M H.I.	Ba-Lesq i con viga Ce(1m2)		
Cabezal 12-13 (4pilotes)	Cara Sur	L cubo		L 3D muchas; L 3D pocas extremo Ba			
	Cara Barlovento			M H.i.; M esq s V			
	Cara Norte	M cubo		L H.i.; M H.c; M H.s.; M H.i. En ambos extremos			
	Cara Sotavento	L varias		L H.i.; L V			
Soportes	SopORTE 12 Sur	Ba-aplastado; Ce-aplastado; So-aplastado					
	SopORTE 12 Norte	Ba-aplastado; Ce-aplastado a Ba, apoyado en lámina metálica con tres pletinas longitudinales; So-aplastado.					

Vano # 13						
		Oxidación	Rotura de cables	Agrietamiento	Desprendimiento	Observación
Viga Barlovento	Cara Sotavento	G(a0m)(L=6m)	So-G(a3m)	G(a0m)(L=6m); Lai(a29m)(L=60cm)	G(a0m)(L=6m); RxD(a0m)	
	Cara Barlovento			L esqi 45°	Mal; Mesq s; M(a18m)(L=1m)	
	Cara Inferior	G(a0m)(L=6m); Lrep(a28m)	So-G(a3m)	G(a0m)(L=6m); Lvarias(a28m)(L=2m)	G(a0m)(L=6m); RxD(a0m)	
Viga Central	Cara Sotavento	G(a0m)(L=8m); G(a14,5m)(L=2m)	So-G(a4m)	G(a0m)(L=8m)	G(a0m)(L=8m); RxD(a0m); G(a14,5m)(L=2m)	
	Cara Barlovento	G(a0m)(L=8m); G(a14,5m)(L=2m)	Ba-G(a4m)	G(a0m)(L=8m); M ai(a28m)(L=2m); M(a 28m)(L=2m)	G(a0m)(L=8m); RxD(a0m); RxD(a28m); L(a28m)(L=2m)	
	Cara Inferior	G(a0m)(L=8m); G(a14,5m)(L=2m)	Ba-G(a4m); So- G(a4m); Ba- M(a16m)	G(a0m)(L=8m); M(a28m)(L=2m)	G(a0m)(L=8m); RxD(a0m)(L=8m); G(a14,5m)(L=2m); RxD(a28m)(L=2m)	
Viga Sotavento	Cara Sotavento			L(a0m); Mas(a13m)(L=1m); Ldado cara norte H.c.; Mai(a28m)(L=1m); L(a29m)(L=1m)	L(a0m); RxD(a0m)	Carcomido L ai(a29m)(L1m)
	Cara Barlovento	L as; M(a13m)(200cm ²); Mai(a16m)(L=2m); L as varias		Gesqs(a0m); Gesqi(a0m); Lai(a0m)(L=7m); Mai(a0m)(L7m)	Mesqs(a0m); M esqi(a0m); Mal(a4m)(4m ²); RxD(a0m)(L=7m); RxD parcial; Mas; M(a13m)(200cm ²); L(a14m)(50cm ²); Mai(a16m)(L=2m); L(a27m)(a1m ²)	
	Cara Inferior	G(a0m)(L=6m); Mai(a16m)(L=2m)	Ba-G(a3m); So- G(a3m)	G(a0m)(L=6m); Mvarios(a28m)(L=2m)	G(a0m)(L=6m); RxD(a0m)(L=6m); Mai(a16m)(L=2m)	

Vano # 13							
		Oxidación	Desagregación	Agrietamiento	Desprendimiento	Exudados	Observación
Separador Norte	Cara Norte			Ba-L H.i.			
	Cara Sur			Ba-L esq i			
	Cara Inferior						
Separador Sur	Cara Norte			Ba-L esq i; So-LH.s; So-L.H.i	Ba-L		
	Cara Sur			Ba-G H.i.			
	Cara Inferior	Ba-M		Ba-G H.i.	Ba-L	Ba-L	
Losa	Cara Barlovento	L(a4m)(2m2); M volado (a0m)(1m2)			M(a4m)(2m2); M volado (a0m)(1m2)		
	Cara Sotavento	M(a0m)(4m2); M(a5m)(2m2); Mvolado(a0,2m)(1m2); Mvolado(a0,2m)(1m2); L(a3m)(1m2); L(a10m)(1m2)			M(a0m)(4m2); M(a5m)(2m2); L(a3m)(1m2); Mvolado(0,2m)(1m2); Mvolado(a11m)(1m2); L(a3m)(11m2); L(a10m)(1m2)		
Viga Transversal	Cara Norte			Ba-M H.i.; Ba-M H.i.; So-M H.i.			
	Cara Inferior			Ba-M; So-M			Punzonado en el sector Ba.
	Cara Sur			Ba-M H.i.; Ba-L H.i.; So-M H.i.; So-M H.i.			
Cabezal 13-14 (2 pilotes)	Cara Sur			MM-3D varias cubo; M . Bajo CeH.s; L ambos extremos			
	Cara Barlovento	M s; L varios		M H.i.	M s		
	Cara Norte			L grl escasos; M bajo Ce y extremo Ba(L=90cm) V			
	Cara Sotavento						
Soportes	Soporte 13 Sur	Ba-aplastado a S; Ce-oculto; So-aplastado a S					
	Soporte 13 Norte	Ba-parece nuevo					

Vano # 14						
		Oxidación	Rotura de cables	Agrietamiento	Desprendimiento	Observación
Viga Barlovento	Cara Sotavento			Gai(a23m)(L=2m)		
	Cara Barlovento	L esqs		Ldado Ba V; Lag(a0m)V		
	Cara Inferior			L(a23m)(L=7m)	RxD(a23m)(L=0,5m)	
Viga Central	Cara Sotavento			Mal(a1,5m)(L=2m); Mal(a1,5m)(L=2m); Mai(a0m)(L=1m); Mai(a27m)(L=3m)	Lal(a0m)(1m ²); Lal(a4m)(1m ²); Mesqs (a0m)	
	Cara Barlovento	Mal(a3m)(2m ²); Mesqi; M(a24m)(L=1m)	Ba-M(a24m)	Mai(a4m)(L=1,5m); Mai(a2m)(L=3m); Mai(a0m)(L=1m)	Mal(a3m)(2m ²); Mesqi; M(a24m)(L=1m); Mai(a28m)(20cm ²); Lai(a0m)(L=1m); Lal(a28m)(1m ²); Mesqs(a0m)	La viga redujo sección.
	Cara Inferior	M(a24m)(L=1m); Lvarios(a28-30m)	Ba-M(a 24)	M(a0m)(L=7m)	M(a24m)(L=1m); RxD(a24m)(L=6m); L(a0m)(L=7m); RxD(a0m)	Grieta longitudinal en ducto Ba.
Viga Sotavento	Cara Sotavento			Mai(a0m)(L=4m); Lai(a5m)(L=15cm); L ai(a6m)(L=15cm); L as varias (a10m);L al(a14m); LdadoSo V.c.; Ldado So H.c.; L varios (a23m)(L=7m); M varias(a23m) (L=7m)	Lai(a3m)(1m ²); Lai(a5m)(1m ²)	Carcomido: L ai(a13m) (L=4m)
	Cara Barlovento	Mal(a4m)(1m2); GØ1/2(a15,5m)(L=2m); M esqscab13-14	Ba-M(a16)	Lai(a0m)(L=1m); GØ1/2(a15,5m)(L=2m); Lai(a27m)(L=3m); Mai(a27m)(L=3m)	M alc(a4m)(1m2); GØ1/2(a15,5m)(L=2m); M esq(a0m)	
	Cara Inferior	GØ1/2(a15,5m)(L=2m); M(a28m)(1m ²); L(a0m)(L=7m)	Ba-M(a15,5m)	GØ1/2(a15,5) (L=2m); M(a23m)(L=7m); M(a0m)(L=7m)	GØ1/2(a15,5m)(L=2m); RxDparcial; M(a28m)(1m ²); L(a0m)(L=7m); RxD(a0m)(L=7m)	

Vano # 14							
		Oxidación	Desagregación	Agrietamiento	Desprendimiento	Exudados	Observación
Separador Norte	Cara Norte	Ba-G			Ba-G(bloques desprendidos)		
	Cara Sur			Ba-Gvarias; So-M varias H.i.; So-MvariasH.s.			
	Cara Inferior	Ba-M		Ba-G	Ba-M		
Separador Sur	Cara Norte			Ba-L h.i.; Ba-L(L=2/3h)(asc haciaCe). 45°; So-M(varias) (asc hacia So) 45°			
	Cara Sur			Ba-MH.i.; Ba-M 45°; Ba-MH CL (asc hacia Ba)			
	Cara Inferior						
Losa	Cara Barlovento	M(a0m)(2m ²)			M(a0m)(2m ²); L(a0m)(2m ²); L(a1m)(1m ²); L(a5m)(1m ²)		
	Cara Sotavento	M(a2m)(2m ²)	L(a7m)(2m ²)	M(a2m)(L=2m) T; M(a8m) (L=4m) L	M(a50cm)(1m2)		Huellas de impacto con buque
Viga Transversal	Cara Norte			Ba-M H.i.; So-M H.i.			
	Cara Inferior			Ba-M (pasa por el pilote) H.c); So-G(del pilote hacia S; punzonado			
	Cara Sur			Ba-M H.i.; SoG esqi conSo;So-G esqi So45°			Punzonado cara inferior sector Ba
Cabezal 14-15 (4pilotes)	Cara Sur			M varias cubo 3D; M H.s.	M esqs con Ba		Recibió impacto en el extremo Ba
	Cara Barlovento						
	Cara Norte			M cubo2D			
	Cara Sotavento						
Soportes	SopORTE 14 Sur	Ba-aplastado;; Ce-aplastado; So-aplastado					
	SopORTE 14 Norte	Ba-oculto; Ce-oculto; So-oculto					

Vano # 15						
		Oxidación	Rotura de cables	Agrietamiento	Desprendimiento	Observaciones
Viga Barlovento	Cara Sotavento	Gai(a5m)(L=3m)		G al(a4m)(1m ²); G ai(a4m)(L=5m); Gesqs	M ai(a1m)(50cm ²); I al(a4m)(1m ²); G ai(a5m)(L=3m); Mesqs	
	Cara Barlovento	M esq ϕ 1/2@6cm			M esq ϕ 1/2@6cm	
	Cara Inferior	L varias; G ai(a5m)(L=3m); M ϕ 1/2@6cm(a0m)(L=0,5m); Mesqs ϕ 1/2@6m	Ba-G (a6m)	G(a0m)(L=9m); M(a0m) (L=9m); L(a27,5m) (L=50cm); Lai(a29m) (L=50cm)	RxD; Gai(a5m)(L=3m); M ϕ 1/2@6cm (a0m)(L=0.5m); Mesqs ϕ 1/2@6cm	
Viga Central	Cara Sotavento	L esq s		Mai(a0m)(L=6m); Lai(a0m)(L=6m); Mas(a5m)(L=60cm)45°	Mesqs	
	Cara Barlovento	G(a14m)(L=2m); Lai(a0m)(L=7m); Las(a17,5m)	Ba-M(a14m)	Lai(a13,5m) (L=2m); Mai(a13,5m) (L=2m); Gai(a0m)(L=7m)	G(a14m)(L=2m); Lai(a1m)(50cm ²)	
	Cara Inferior	L(a0m)(L=10m); G(a14m) (L=2mm); L(a29m)(L=1m)	Ba-M(a14m)	M(a0m)(L=10m); G(a0m)(L=10m)	RxD(a0m); G(a14m)(L=2m)	
Viga Sotavento	Cara Sotavento	Mal(a5m)(0,5m ²); Lalc(a3,5m) (0,5m ²); Lai (a3,5m)(0,5m ²); L(a0m)(400cm ²)		Mai(a0m)(L=5m); G ai(a5m) (L=5m); Lalc(a3,5m)(0,5m ²); Lai(a3,5m)(0,5m ²); Mesqs; Mai(a26m)(L=1m); Mai(a29m)(L=1m)	Mal(a5m)(0,5m ²); M(a0m)(400cm ²); Lai y ai (a3.5m)(0.5m ²)	
	Cara Barlovento	M(a6m)(L=1m);	Ba-M(a7m)	Mai(a50cm)(L=1m); Mai(a4m)(L=1m); Lai ai(a27m)(L=2,5m)	G(a6m)(L=1m); Mesqs	
	Cara Inferior	G ϕ 1/2@5cm(a29m)(L=1m); L varios			RxD(a28m)(L=2m); G ϕ 1/2@5cm(a29m)(L=1m), RxD(a10m)	

Vano # 15							
		Oxidación	Desagregación	Agrietamiento	Desprendimiento	Exudados	Observación
Separador Norte	Cara Norte						
	Cara Sur			Ba-L H.c.(haciaBa) (L=50cm)			
	Cara Inferior						
Separador Sur	Cara Norte			Ba-G H. CL; So- L varias(asc hacia So) 45°			
	Cara Sur			Ba-G H.i.			
	Cara Inferior	Ba-M		Ba-G; So-M			
Losa	Cara Barlovento				L(a0m)(1m2)		Huellas leves de impacto en los volados Ba y So
	Cara Sotavento	M(a0m)(1m2); Lvarias(volado)			M(a0m)(1m2)		
Viga Transversal	Cara Norte			Ba-MH.i.; So-M H.i.			
	Cara Inferior			Ba-M; So-M			
	Cara Sur			Ba-M H.i.; So-M H.i.			
Cabezal 15-16 (2pilotes)	Cara Sur			M-3D(parecen selladas)			
	Cara Barlovento	G(todo el perimetro)			G(todo el perimetro)		
	Cara Norte	L 3D		M esqi con So (por desprenderse)		L3D	
	Cara Sotavento			L esqi (con norte)			
Soportes	Soporte 15 Sur	Ba-oculto; Ce-aplastado; So-aplastado					
	Soporte 15 Norte	Ba-aplastado; Ce-aplastado; So-aplastado					

Vano # 16						
		Oxidación	Rotura de cables	Agrietamiento	Desprendimiento	Observación
Viga Barlovento	Cara Sotavento	Las(a29,5m)		Mai(a0m)(L=2m); Lai(a0m)(L=2m); Mai(a22m)(L=5m); Mesqi (a0m)45°	Mas(a10m) (400cm ²)	
	Cara Barlovento	MaiØ1/2@22cm (a4m); Lesqi		Lai(a2m)(L=50cm)	MaiØ1/2@22cm(a4m); Mesqi	
	Cara Inferior	G Ø1/2@5cm (a0m)(L=1,5m)		L(a22m)(L=80cm); M(a2,5m)(L=1m)	GØ1/2@5cm(a0m) (L=1,5m); RxD(el resto)(L=1,5m); RxD(a0m)(L=2,5m); M(a0m)(L=20cm)	
Viga Central	Cara Sotavento			Lai(a2m)(L=1m); Mesqs 45°	Mai(a25,5m) (100cm ²)	
	Cara Barlovento	Mag(a0m) (L=4m); Lai(a14m) (L=2m)Lai(a26m)(L=1m)Lai(a28m) (L=60cm)		Mai(a0m)(L=3m); Mai(a14m)(L=2m); Mai(a26m)(L=1m); Lai(a28m) (L=60cm); mesqs(a0m)	La(a0m)(L=4m)	
	Cara Inferior	L(a14m)(L=2m)		L(a14m)(L=2m); M(a27m)(L=3m)	RxD(a0m)(L=2,5m); RxD(a27m)(L=3m)	
Viga Sotavento	Cara Sotavento	MaiØ1/2@5cm (a0m)(L=1m); MaiØ1/2@20cm (a0m)(L=2m); Mai(a3m)(L=1m); Lai(a3m)(L=1m); Las(a29m) (L=60cm)		Gai(a3m)(L=1m); Mesqs; Mai(a15m) (L=2m); Mesqi (a0m)45°; Lai (a16,5m)(L=50cm); Lai(a18m)V; Mai(a27m)(L=3m); Mas(a29m) (L=60cm)	GaiØ1/2@5cm (a0m)(L=1m); GaiØ1/2@20cm (a0m)(L=2m); Mai(a3m)(L=1m); Mai(a6m)(400cm ²); Mai(a29m) (100cm ²); Las(a29m) (L=60cm)	Recubrimiento =1,3cm y1cm sobre la barra.
	Cara Barlovento	Lai(a13-14m); Lal (a27m)(1m2); Lai(a0m)		Lai(a2,5m)(L=1m); Mai(a5m)(L=2m); Mesqi45°	Lal(a5m)(1m ²); Mesqs; Lal(a27m)(1m ²)	
	Cara Inferior	L varios(a0m) (L=1m); L(a0m)(L=2m)		G(a5m)(L=1,5m); L(a0m)(L=2m); M(a15m)(L=2m)	RxD(a0m)(L=2m); RxD(a27m)(L=3m)	

Vano # 16							
		Oxidación	Desagregación	Agrietamiento	Desprendimiento	Exudados	Observación
Separador Norte	Cara Norte			Ba-M H.i.; Ba-G 45°; So-M H.i. Hacia So(L=1/3luz)	Ba-L(de Bahacia Ce)(L=1/3luz)		
	Cara Sur			Ba-MH.i.; So-L esqiSo			
	Cara Inferior	Ba-M(1/2luz); Ba-G(1/2luz)			Ba-M(1/2 Luz); Ba-G(1/2luz)		
Separador Sur	Cara Norte						
	Cara Sur						
	Cara Inferior						
Losa	Cara Barlovento	Lvarias; L(a23m)(1m ²); Lvarias volado; M				L(a24m)(4m ²); M(a23m)(1m ²)	
	Cara Sotavento			M(a2,5m) (L=1m) T			Huellas de impacto con buque
Viga Transversal	Cara Norte			Ba-MH.i.			
	Cara Inferior						
	Cara Sur			Ba-MH.i.; So-L H.i.			
Cabezal 16-17 (4pilotes)	Cara Sur			M; G 3D ;M 3D	L esqi con So		
	Cara Barlovento	L varias		M varias H, Inclnadas			Manchas de oxido adicionales causadas por perfiles metálicos
	Cara Norte	L varias cubo		M varios cubo; L H.i. Extremos; M H.s. Extremos	L varias cubo		
	Cara Sotavento						
Soportes	Soporte 16 Sur	Ba-parece nuevo; Ce-parece nuevo; So-parece nuevo aplastado hacia So					
	Soporte 16 Norte	Ba-aplastado; Ce-aplastado; So-aplastado					

Vano # 17						
		Oxidación	Rotura de cables	Agrietamiento	Desprendimiento	Observación
Viga Central	Cara Sotavento	L ai(a4m); M Ø1/2@20cm (a13m)(L=1,5m)	So-M(a14m) (ducto agrietado)	M esqs(a0m); G ai(a10m)(L=3m); M ai(a10m)(L=3m)	M esqs(a0m); Mas(a50cm) (400cm ²); MØ1/2@20cm (a13m)(L=1,5m)	
	Cara Barlovento	L ai(a0m) (L=2m); Ldado Ba; Mdado Ba; Lai(a1m)(L=3m); Lai; Las; Gvarias(a6m) (L=10m); Mesqs(a0m)	Ba-G(a 8, 11, 14m)	Mai(a1m)(L=3m); Lai(a1m)(L=3m); M dado Ba; Gai(a0m)(L=2m); Mai(a0,5m) (L=2,5m)	Gvarias(a6m)(L=10m); Gesqs (a0m); M dado Ba	Exposición del cable inferior del separador
	Cara Inferior	L(a0m)(L=7m); G(a6m)(L=10m)	Ba-G(a 8, 11, 14m)	M(a0m)(L=7m); M(a0,5m)(L=1,5m); L(a0,5m)(L=1,5m)	RxD(sin adherencia); G(a6m)(L=10m); RxD(a0,5m) (L=1,5m)	Exudación L(a0,5m)
Viga Sotavento	Cara Sotavento	Mai(a3m) (2500cm ²)		Mai(a2,5m)(L=1,5m); M(a0m)(L=1m); Lai(a3m)(L=15cm); Mai(a3m)(L=9m); Gai(a3m)(L=9m); L H.c.(a7m); L al(a7m); L dadoi; G aiØ1/2@6cm(a0m)(L=50cm); G aiØ1/2@20cm (a0m)(L=1,5m); Lai(a14m) (L=20cm); Mai(a0m)(L=2,5m); Gai(a0m)(L=2,5m)	M ai(a3m) (2500cm ²); GaiØ1/2@6cm(a0m)(L=50cm); GaiØ1/2@20cm (a0m)(L=1,5m)	
	Cara Barlovento	Lai(a0m); Lai(a10m) (L=2m)		Mai(a4m)(L=1m); Lai(a30cm)(L=80cm); L V.i.(a30cm) (L=15cm); LV.i. (a30cm)(L=15cm); Gai(a10m)(L=2m); Gai(a16m)(L=2m); Lai(a13m)(L=1m); M H.i.(a50cm)(L=2m); Gesqs 45°	L ag(a3m)(1m ²)	
	Cara Inferior	L(a1m)		GØ1/2(a0m); LØ1/2@6cm(a0m)(L=50cm); M(a0m)(L=6m); L(a4m)(L=10m); L(a0m)(L=6m);	RxDØ1/2(a0m); fi1/2@6cm(a0m) (L=50cm); GØ1/2(a0m); LØ1/2@6cm(a0m) (L=50cm); RxD (sin adherencia)	

Vano # 17							
		Oxidación	Desagregación	Agrietamiento	Desprendimiento	Exudados	Observación
Separador Norte	Cara Norte						
	Cara Sur						
	Cara Inferior						
Separador Sur	Cara Norte			L H.i. Del CL hacia So(L=1/2luz); L V.i.(L=20cm)			
	Cara Sur						
	Cara Inferior			L T.V.			
Losa	Volado Barlovento	L varios					
	Volado Sotavento				L(a9m)(400cm2)		
	Central			M(a0.4m) (L=1,5m) T; L(a6m) (L=2m) L			
Viga Transversal	Cara Norte			L (L=2m) H.i.; M (L=2m)H.i			Altura de la muleta a Ba es 124cm, y 123 cm a So. La viga a Ba estaba más deflectada cuando se construyó la muleta
	Cara Inferior			L(del pilote hacia S)	L(del pilote hacia Ba(barriga))		
	Cara Sur			M (del pilote hacia Ba)H.i.; L (del pilote hacia So)H.i.			
Cabezal 17-18 (2pilotes)	Cara Sur			M H.i.; M (bajo soporte) (L=60cm)	L H.i.	L bajo soporte (L=60cm)	
	Cara Barlovento	L varias		L varias			
	Cara Norte	L H.i.		G H.i.; M esqs (ambas); L H.s.			
	Cara Sotavento			M . So esq s con sur H.s			Poste de luz se puede caer
Soportes	Soporte 17 Sur						
	Soporte 17 Norte	Ce-parece nuevo, aplastado a Ba; So-parece nuevo					

Vano # 18						
		Oxidación	Rotura de cables	Agrietamiento	Desprendimiento	Observación
Viga Central	Cara Sotavento	Lai(a10,5m)(L=1m); Las varios (200cm ² c/u); Lai(a20cm) (L=4m); Lesqs; Lesqs; Laivarias; Lasvarias		Lai(a3m)(L=60cm); Gai(a10,5m) (L=1m); Lai(a40cm) (L=60cm); Gai(a20m)(L=4m); Gesqs	Mas varios (200cm ² c/u); Lal(a20m)(2m ²)	
	Cara Barlovento	G Ø1/2@25cm (a3,5m) (L=80cm)(estribos@30cm); Lai(a2m) (400cm ²); Lai(a12m) (L=3m); Lai(a22,5m)(L=1,5m); Lai varios; Las varios; Mesqs; Mas(a24m) (200cm ²)		Lai(a0m)(L=7m); Mai(a0m)(L=7m); Gai(a12m)(L=3m); Mas(a10m)(L=1m); Lal (a11M) (L=1m) H; Gai(a22,5m) (L=1,5m); Mai(a22,5m) (L=1,5m); Lai(a22,5m) (L=60cm); Lai(a21m) (L=1m); Lesqi45°	GaiØ1/2@25cm (a3,5m)(L=80cm) (estribos @30cm); Lal(a5m)(3000cm ²); Mai(a2m)(400cm ²); Gesqs; Mas(a24m)(200cm ²)	
	Cara Inferior	M(a10,5m) (L=1,5m); L varios(a21m) (L=3m)	So-M(a11m)	G(a0m)(L=7m); M(a21m)(L=3m)	M(a10,5m)(L=1,5m); RxD(a0m); L(a0m)(L=7m); RxD	
Viga Sotavento	Cara Sotavento			Gai(a22,5m) (L=1,5m); Lai(a19m)(L=3m); Mai(a3m)(L=1,5m); Lai(a2m)(L=1m); L V.varias; Lai(a6m) (L=50cm); L dado So 2D	Lai(a0m)(L=2m)	
	Cara Barlovento	GØ1/2@20cm(a7m)(L=2m); Mesqs; Lesqi	Ba-M(a8m); Ba-M(a21m)	Lai varias (a5,5m)(L=12cm)V; Gai(a8,5m)(L=1m); Mas(a18m)(L=4m); Lesqi	GØ1/2@20cm(a7m) (L=2m); Mal(a7m)(1600cm ²); Lal(a20m)(2m ²); Las(a21m) (400cm ²); Gesq	
	Cara Inferior	GØ1/2@20cm(a7m)(L=2m); L(a12m); G(a19,5m)(L3m)	Ba-M(a8m); So-M(a21)	Mvarias (a8m)	GØ1/2@20cm(a7m) (L=2m); RxD(a12m); L(a22,5m)(L=1,5m); G(a19,5m)(L=3m)	

Vano # 18									
		Oxidación	Desagregación	Agrietamiento	Desprendimiento	Exudados	Observación		
Separador Norte	Cara Norte	M i			Gi				
	Cara Sur	M i			Gi				
	Cara Inferior	M			G				
Separador Sur	Cara Norte			L H.i. En CL(L=80cm)					
	Cara Sur	L H.i. En CL(L=80cm)		L H.i. En CL(L=80cm)					
	Cara Inferior								
Losa	Volado Barlovento	M(a1m)(L=1m); M(a1.5m)(L=1m); M(a3m)(L=1m); M(a7m)(L=1m)			M(a1m)(L=1m); M(a1.5m)(L=1m); M(a3m)(L=1m); M(a7m)(L=1m)				
	Volado Sotavento			L varias(a1-5m); M varias(a1-5m)					
	Central				L(a1m)(1600cm2); L(a27m)(1m2); M(a29m)(1m2)				
Viga Transversal	Cara Norte			L H.i.					
	Cara Inferior							Inicio del punzonado	
	Cara Sur			M H.i.					
Cabezal 18-19 (4 pilotes)	Cara Sur	LH.i.; L H.s.; L esq s cubo		M H.i.; M H.s.; M esqs cubo; M varias 2D		L extremos			
	Cara Barlovento								
	Cara Norte	L cubo	L 2D; M H.s. En extremos	G cubo; L extremo Ba 2D; M extremo Ba 2D	G cubo				
	Cara Sotavento			L V					
Soportes	Soporte 18 Sur	So-oculto							
	Soporte 18 Norte	Ce-oculto; So-oculto							

Vano # 19						
		Oxidación	Rotura de cables	Agrietamiento	Desprendimiento	Observación
Viga Central	Cara Sotavento	Lai(a1m); Lai(a2m); Gai(a19,5m) (L=3m)	So-G(a21m); So- M(a20m)	Lai(a0m)(L=2m); G esq s V; Mai(a10m)(L=2m); Lai(a10m)(L=2m); Gai(a19,5m)(L=3m); Gai(a12m)(L=6m); Mai(a10,5m) (L=1,5m)	Lal(a2m)(1m ²); Gai(a19,5m)(L=3m)	
	Cara Barlovento	Gai varios(a9m) (L=1,5m); Malg(a12m) (3000cm ²); Mesqs; Lai(a0m)(L=3m); Lai(a80cm) (L=1,5m)	Ba-G(a12m); Ba- M(a18m)	Gai varios (a9m)(L=15m); Lai(a0m)(L=3m); Lai(a80cm) (L=1,5m)	Gaivarios (a9m)(L=15m); M al(a12m)(3000cm ²); G esq s	
	Cara Inferior	M(a3m)(L=0,5m); G varios(a9m) (L=15m); G(a19,5m) (L=3m)	Ba-G(a12m);Ba- G(a16m); Ba- G(a23m); So- G(a21m); So- M(a20m)	G varios(a0m) (L=3m); G(a9m)(L=15m); G(a19,5m)(L=3m)	RxD(a0m)(L=3m); M(a3m)(L=0,5m); G varios(a9m) (L=15m); G(a19,5m)(L=3m)	
Viga Sotavento	Cara Sotavento	L(a3m) (2000cm ²); L(a4,5m) (2000cm ²); Gai(a19m) (L=1,5m)	So-G(a20m)	Gai(a0m)(L=2m); Lai(a1m)(L=3,5m); Mai(a3,5m) (L=3,5m); Lai(a3,5m)(L=1m); M esq i; L dado V.c.	M(a3m)(2000cm ²); M(a4,5m) (2000cm ²); Gai(a19m)(L=1,5m); L(a20m)(L=1m ²); L(a21m)(L=1m ²); L esqi	
	Cara Barlovento			Gai(a1m)(L=2m); Gai(a23m)(L=1m)	Lal(a2m)(1m ²); Lal(a21m)(2m ²); Lai(a19m)(900cm ²)	exudación L al(a21m) (2m ²)
	Cara Inferior	L(a0m)(L=3,5m); G(a19,5m) (L=1,5m); M(a20,5m) (L=3,5m)	So-G(a20m)	Ma0m)(L=3,5m); G(a0m)(L=3,5m)	RxD(a0m)(L=3,5m); G(a19m)(L=1,5m); M(a20,5m)(L=3,5m); G(a20,5m)(L=3,5m)	

Vano # 19							
		Oxidación	Desagregación	Agrietamiento	Desprendimiento	Exudados	Observación
Separador Norte	Cara Norte						
	Cara Sur			L H.i.			
	Cara Inferior			L			
Separador Sur	Cara Norte	G(mitad i de la cara)			G(mitad i de la cara)		
	Cara Sur			M H.i. De CL hacia So(L=1/3 luz)			
	Cara Inferior						
Losa	Volado Barlovento						
	Volado Sotavento			G(a2m(L=2m); G(a28m)(L=2m)			
	Central				L(a0m)(1500cm2); L(a0m)(1500cm2)		
Viga Transversal	Cara Norte			M H.i.			
	Cara Inferior						Punzonado
	Cara Sur			G .H.i.			
Cabezal 19 (2pilotes)	Cara Sur			G H.s.; MH.i.; M H.c.; M ambas esq cubo; G ambas esq cubo			
	Cara Barlovento						Arista norte por desprenderse
	Cara Norte			M V			
	Cara Sotavento	L esqi con sur por desprenderse	L esqi con sur por desprenderse	M 3D			
Soportes	Soporte 19 Sur	Ce-aplastado; So-aplastado					
	Soporte 19 Norte	Ce-aplastado totalmente; So-aplastado totalmente					

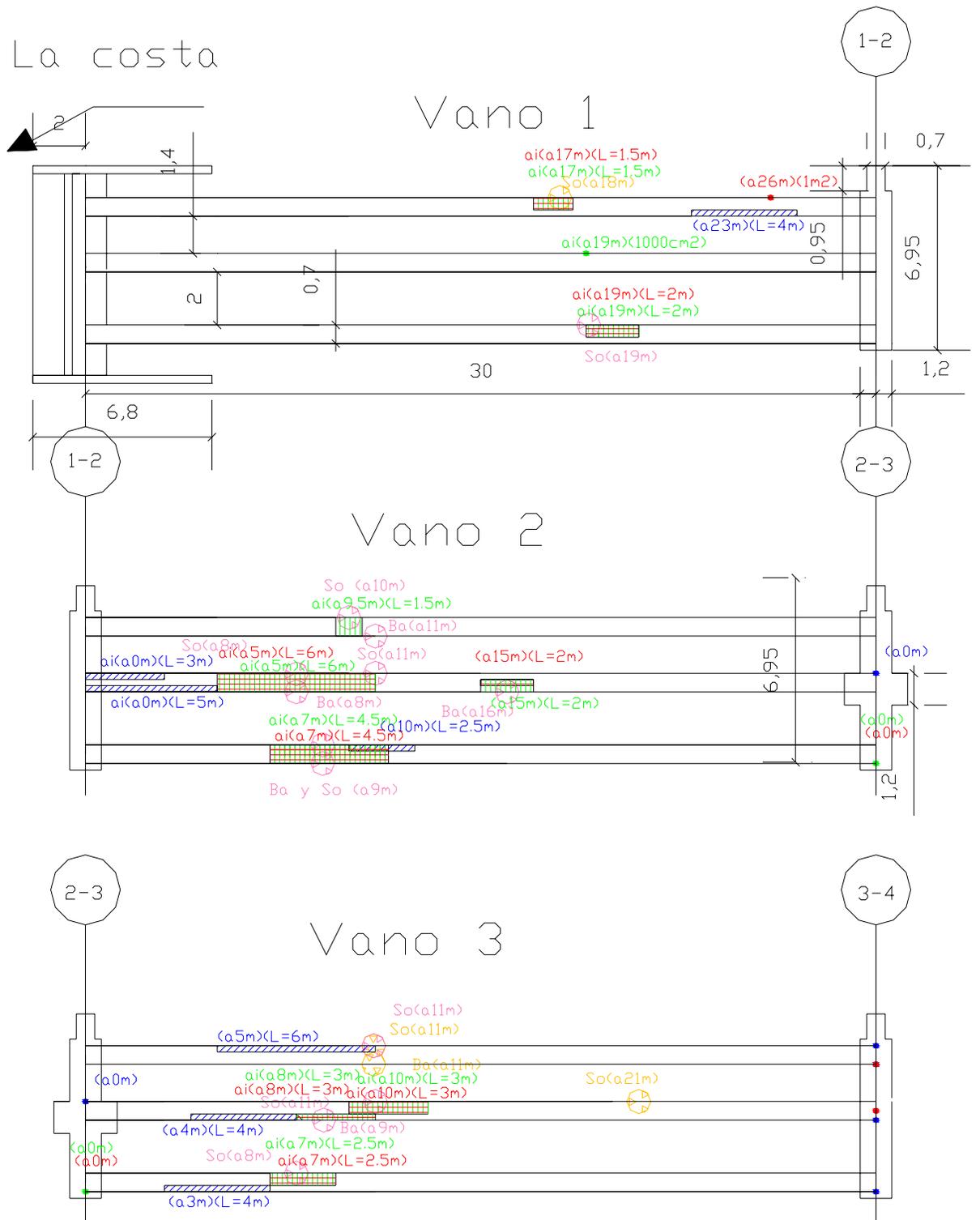
ANEXO 2

Vista en planta de la Localización y Extensión de Daños Graves en las Vigas Postensadas.

Leyenda

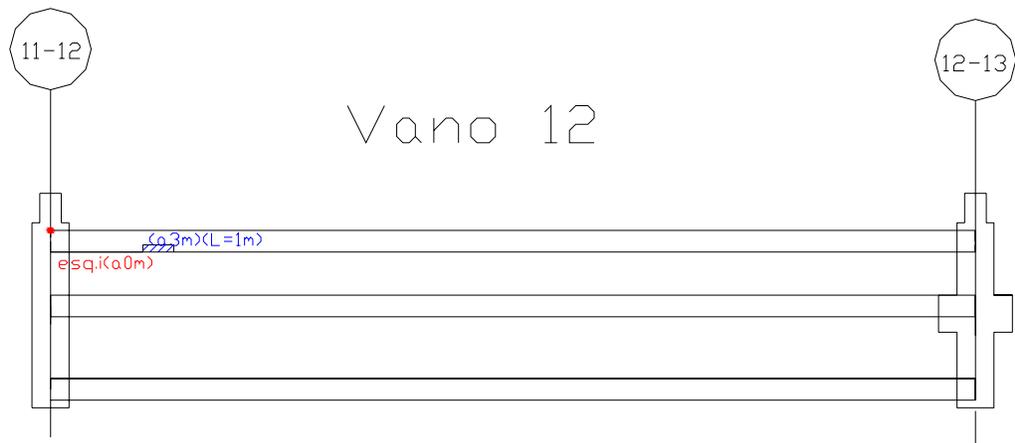
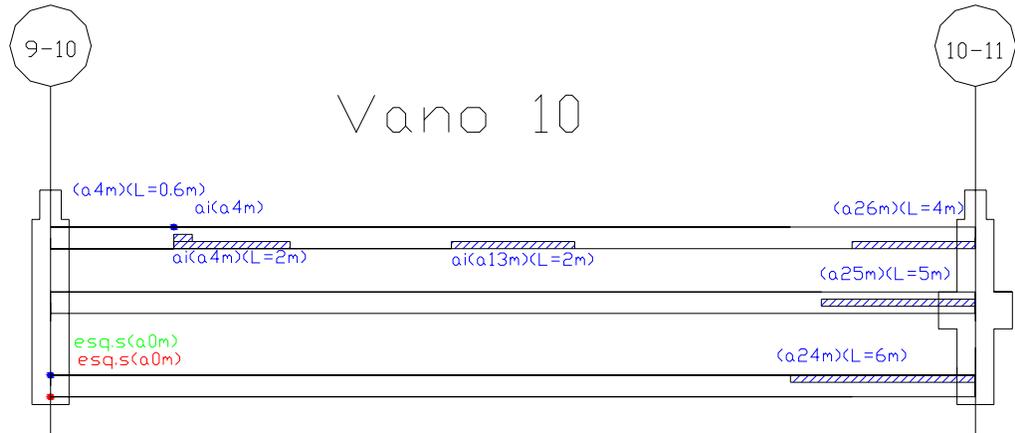
		Presencia y/o extensión de Oxidación Grave.
		Presencia y/o extensión de Agrietamiento Grave
		Presencia y/o extensión de Desprendimiento de Concreto Grave
		Lugar donde sucede Exposición de un Cable Postensado
		Lugar donde sucede Rotura de un Cable Postensado

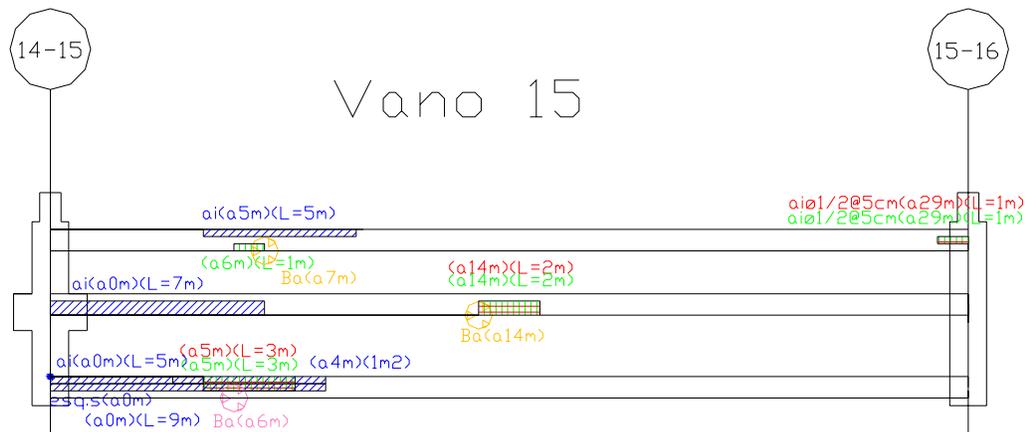
La costa

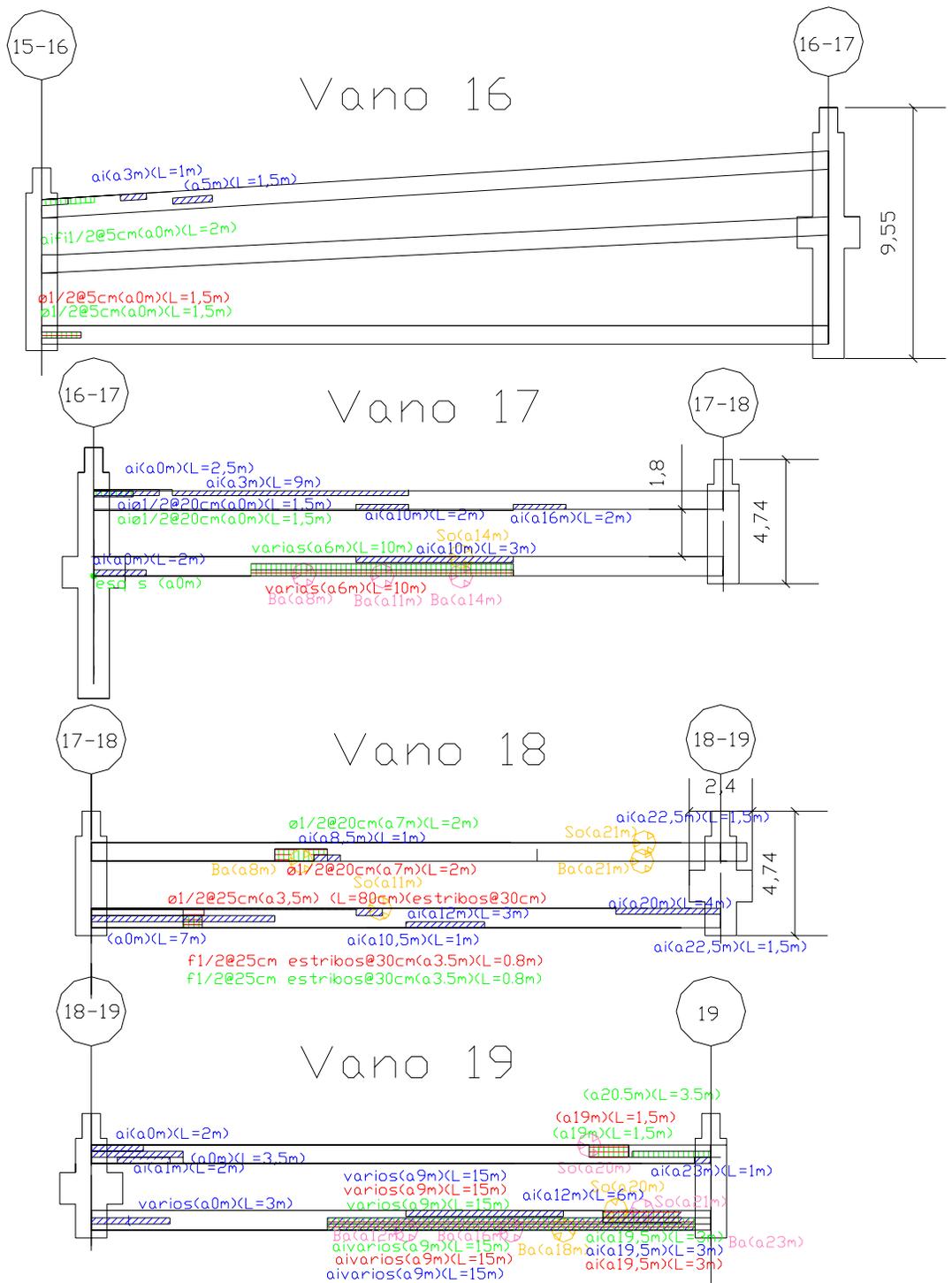










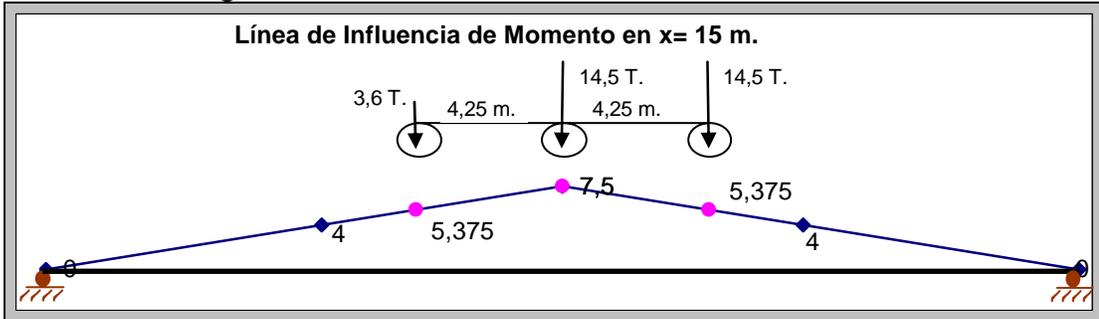


Nota: Medidas en metros.

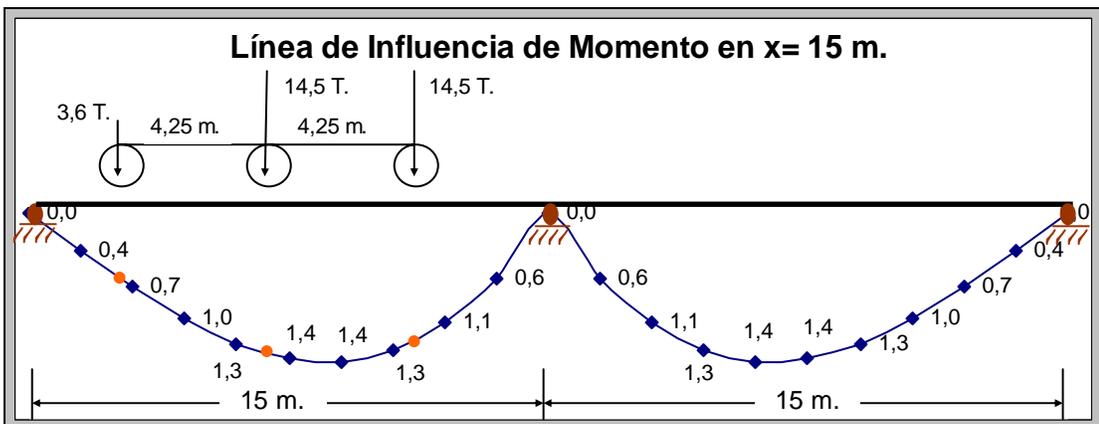
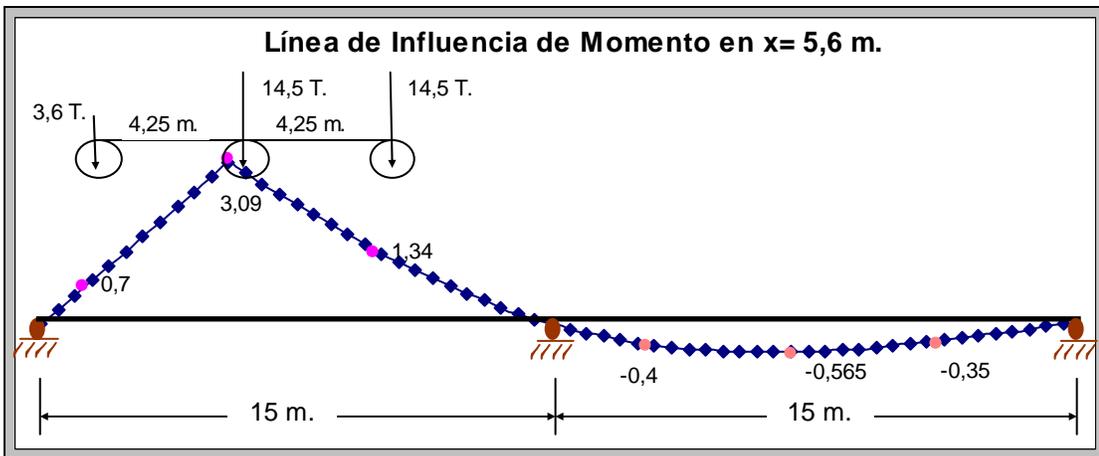
ANEXO 3

Líneas de Influencia de Momento

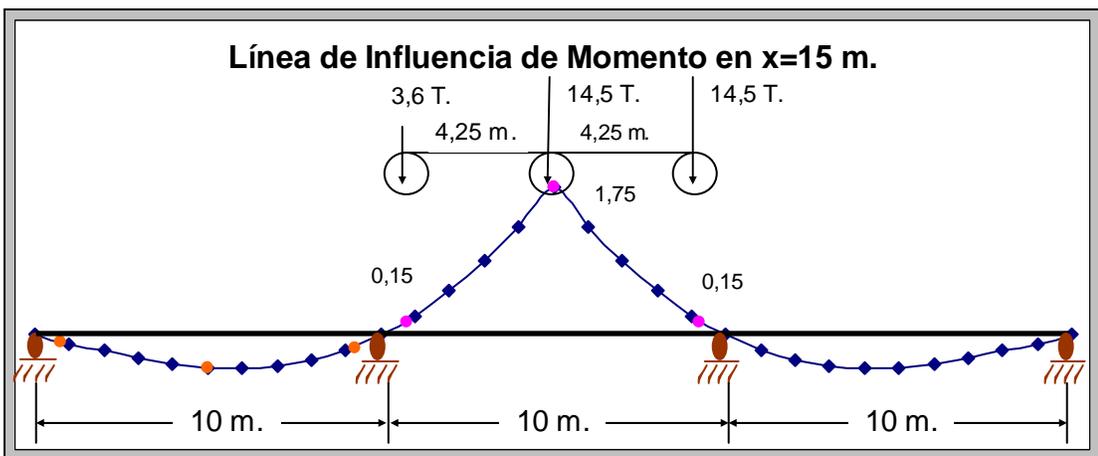
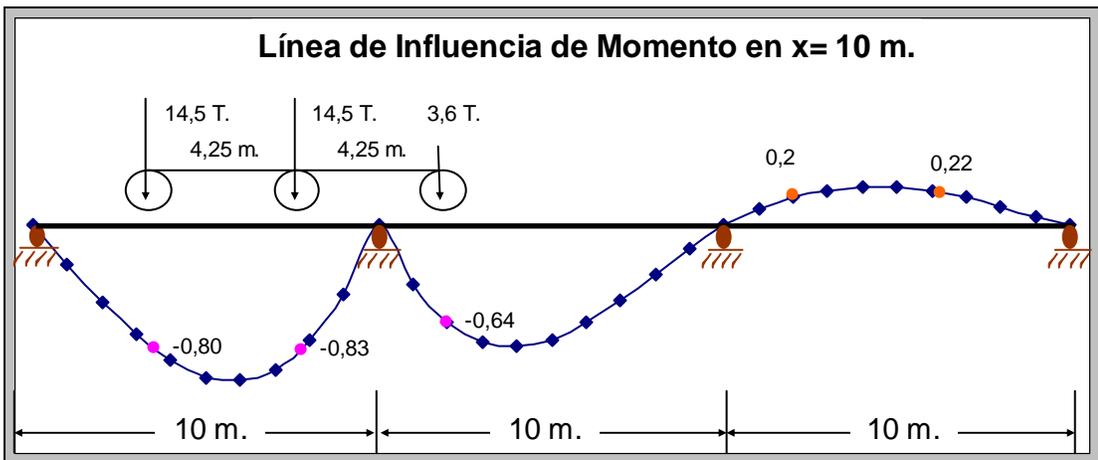
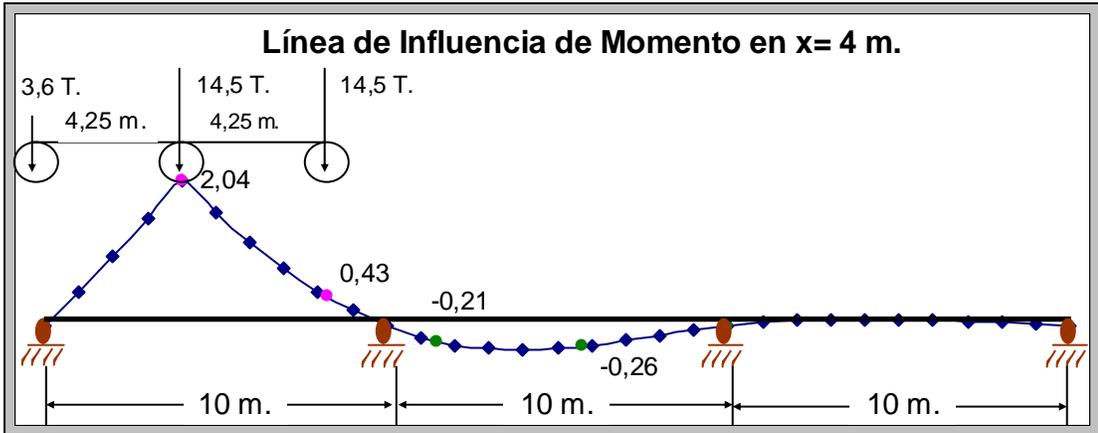
Estructura Original



Estructura con una Muleta

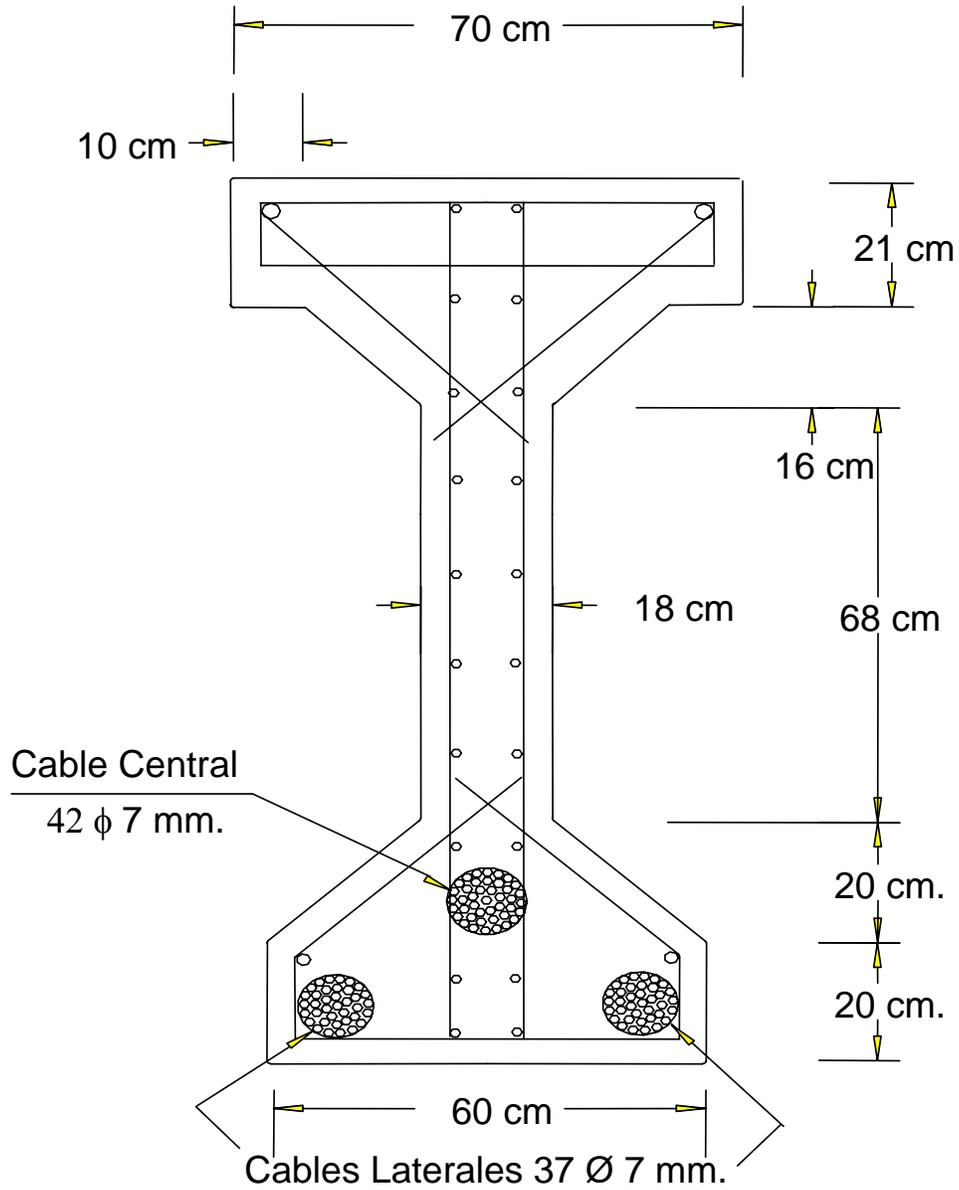


Estructura con dos Muletas



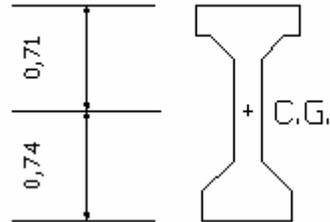
ANEXO 4.

Sección Transversal de las Vigas Postensadas y Propiedades de la Sección Simple y Transformada



Sección Simple

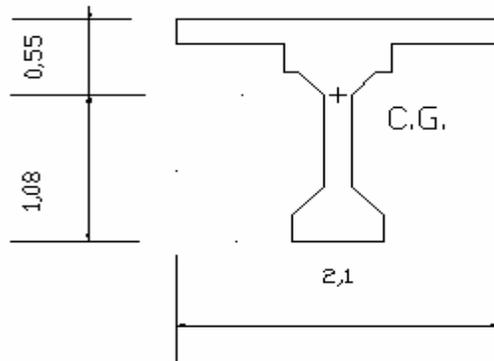
Sección Transversal de la Viga



Área:	5218	cm ²
Inercia	0,1355	m ⁴
Yi	0,7399	M
Ys	0,7101	cm.
Ssup.	0,1908	cm ³
Sinf.	0,1831	cm ³

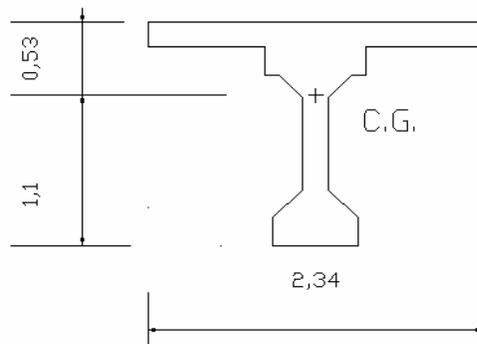
Sección Transformada

Sección Transformada
Vigas Sotavento y Central



Vigas Sotavento y Central		
Área:	8998	cm ²
Inercia:	0,2768	m ⁴
Yi:	1,076	M
Ys:	0,554	M
S _{sup.}	0,49964	cm ³
S _{inf.}	0,25725	cm ³

Sección Transformada
Viga Barlovento

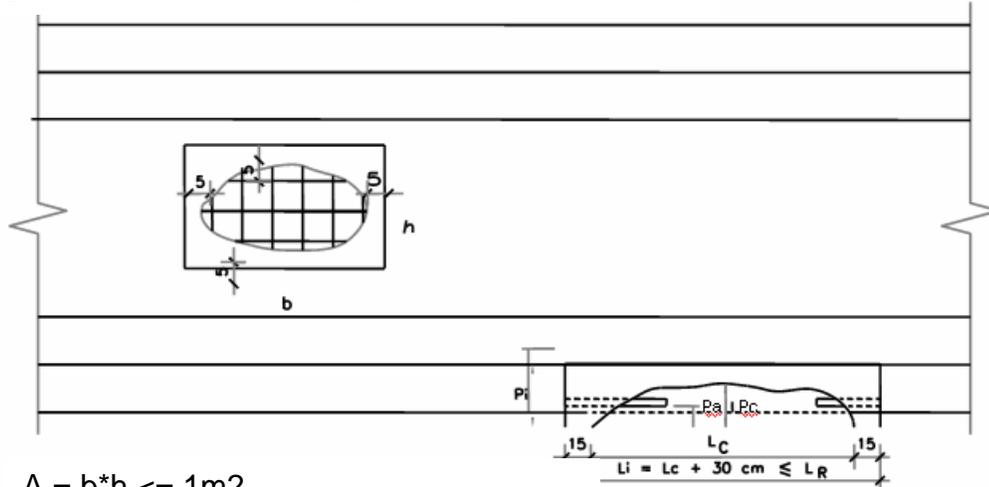


Viga Barlovento		
Área:	9430	cm ²
Inercia:	0.2858	m ⁴
Yi:	1.0973	M
Ys:	0.5327	M
S _{sup.}	0.53651	cm ³
S _{inf.}	0.26046	cm ³

ANEXO 5.

Especificaciones de las Reparaciones

Figura 1. Elevación de Viga Postensada



$$A = b \cdot h \leq 1 \text{ m}^2$$

$$P_i = P_c + 2 \text{ cm} \geq P_R$$

Donde: $L_R = 3 \text{ m}$ en el Tercio Central

$L_R = 6 \text{ m}$ en los Tercios Extremos

$P_R = 6 \text{ cm}$ bajo el Cable Central

$P_R = 10 \text{ cm}$ bajo Cables Laterales

Figura 2. Opciones para Reemplazo de Acero Ordinario

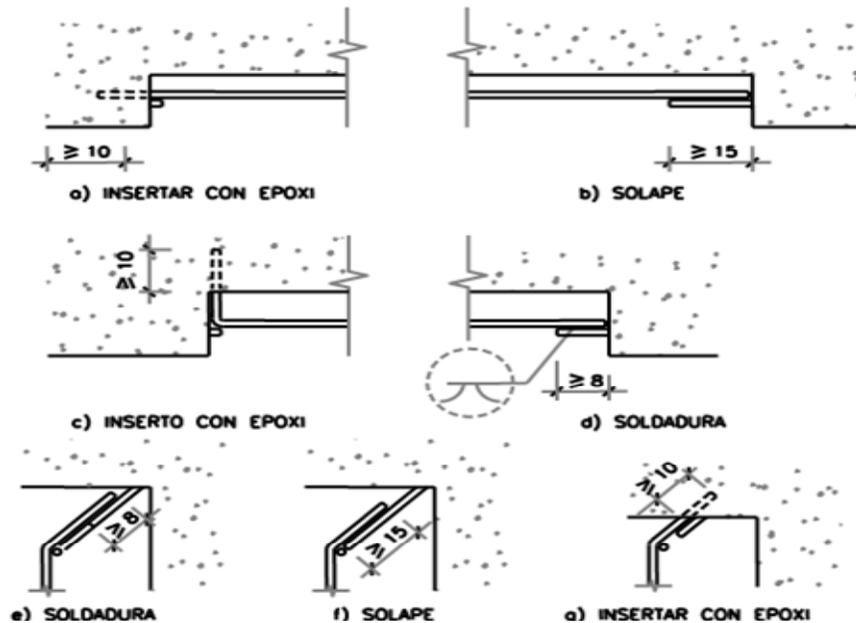


Figura 3. Zona de Apoyo de Viga Postensada

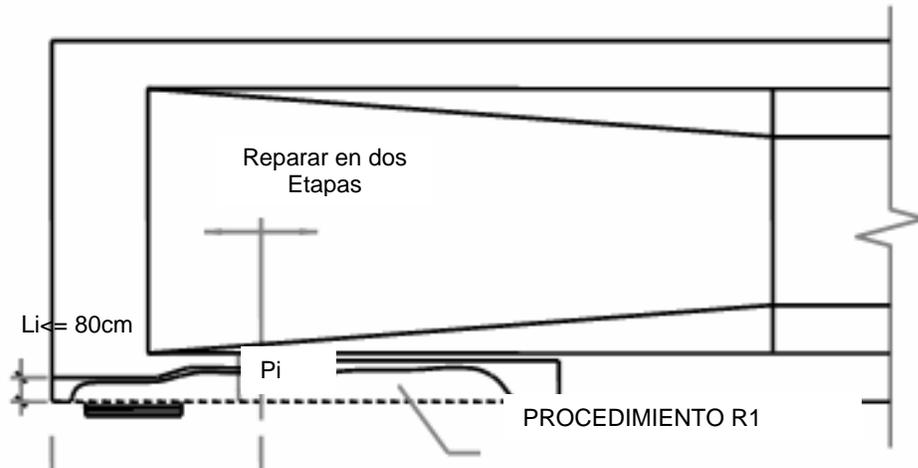


Figura 4. Planchas Contra Punzonado de Pilotes Metálicos

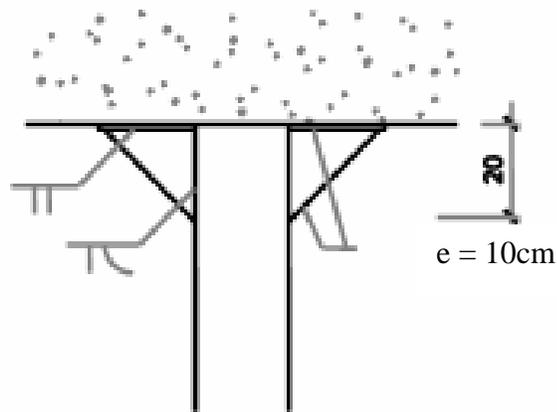
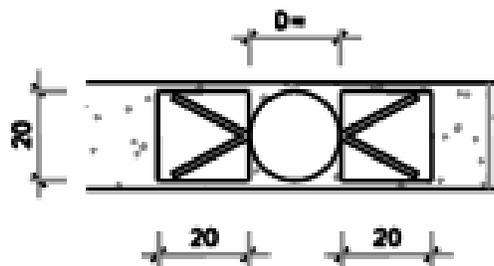
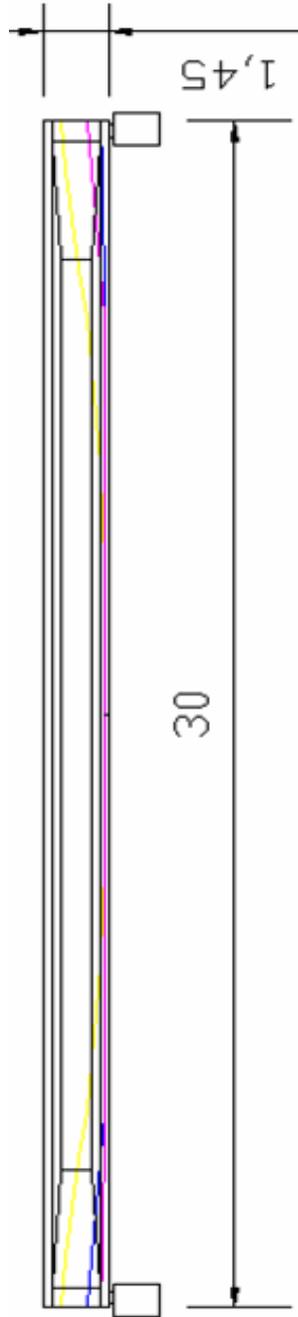


Figura 5. Cara Inferior de La Viga Transversal con la Plancha



ANEXO 6

Trayectoria de los Cables de Postensado



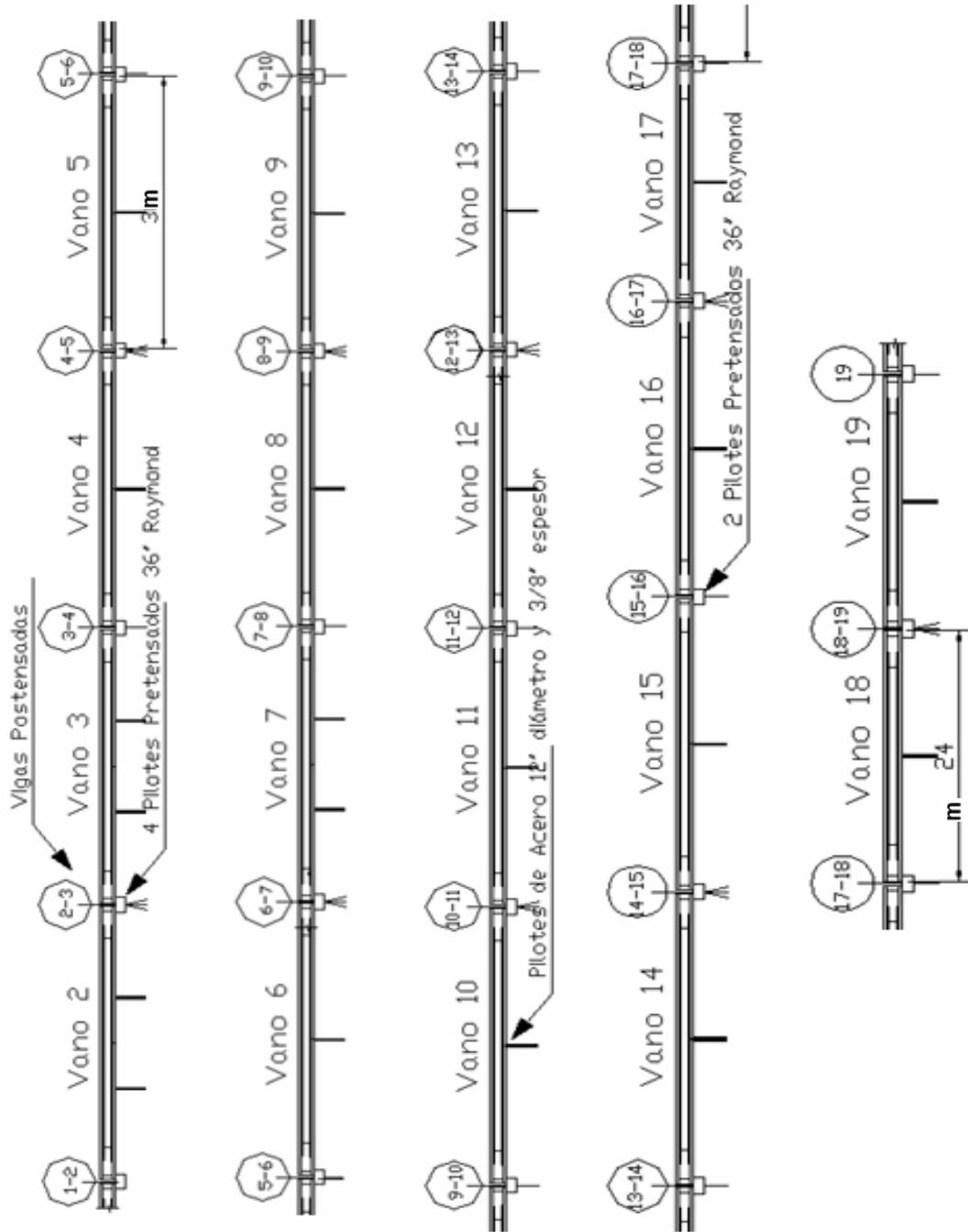
Profundidad de los cables medida desde el patín inferior

	$x = 0 \text{ m.}$	$x = 15 \text{ m.}$	$x = 30 \text{ m.}$
 Cable Central	107 cm.	10 cm.	107 cm.
 Cable Sotavento	48 cm.	10 cm.	16.7 cm.
 Cable Barlovento	16.7 cm.	10 cm.	48 cm.

Nota: La colocación de las vigas no tuvo una dirección preferencial por lo tanto el cable Sotavento puede tener la trayectoria del Barlovento y viceversa, en algunos casos. Nótese que poseen la misma trayectoria pero en sentido contrario.

ANEXO 7

Perfil Longitudinal del Puente de Acceso. Muletas y Pilotes.



ANEXO 8

Daños Graves en los Elementos del Puente de Acceso



Desprendimiento Grave de
Concreto en el Patín Inferior
de la Viga Postensada

Oxidación Grave en la Cara
Inferior de la Losa





Cables de Postensado Rotos



Punzonado de la Muleta



Oxidación Grave en el Separador



Desprendimiento de Concreto en la Esquina del Cabezal