



**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS**  
PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA

VIGILADA MINEDUCACIÓN - SERIES-1704



Estudio de patología estructural para determinar el estado de conservación de una estructura tipo puente de longitud 19.70 metros ubicada sobre el Caño Manacal, en el municipio de San Juan de Arama – Departamento del Meta

**Presenta**

Javier Humberto Martínez Falla

**Asignatura**

Trabajo Profesional Integrado II

**Docente**

Arquitecto Walter Mauricio Barreto

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
VICERRECTORIA DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIAS  
ESPECIALIZACIÓN EN PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN  
BOGOTA, COLOMBIA  
2022-1



## TABLA DE CONTENIDO

<b>1.0 INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>4</b>
<b>2.0 OBJETIVOS</b> .....	<b>5</b>
<b>2.1 OBJETIVO GENERAL</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2 OBJETIVO ESPECÍFICO</b> .....	<b>5</b>
<b>3.0 MARCO REFERENCIAL, TEÓRICO, LEGAL, HISTÓRICO:</b> .....	<b>6</b>
<b>4.0 LOCALIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA EN ESTUDIO</b> .....	<b>7</b>
<b>5.0 DESCRIPCIÓN ESTRUCTURAL Y TIPOLOGÍA DEL PUENTE EN CONCRETO REFORZADO</b> .....	<b>9</b>
<b>6.0 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE INSPECCIÓN DE PUENTES DE INVIAS AL PUENTE SOBRE EL CAÑO MANACAL</b> .....	<b>13</b>
<b>6.1 PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN</b> .....	<b>13</b>
<b>6.2 ELEMENTOS Y EQUIPOS</b> .....	<b>14</b>
<b>6.3 ALCANCES DE LOS TRABAJOS</b> .....	<b>17</b>
<b>6.4 METODOLOGÍA PARA PROCEDIMIENTO DE CAMPO</b> .....	<b>17</b>
<b>6.5 METODOLOGÍA FOTOGRÁFICA</b> .....	<b>18</b>
<b>6.6 IDENTIFICACIÓN DE LA ESTRUCTURA</b> .....	<b>19</b>
<b>6.7 INSPECCIÓN POR ELEMENTOS</b> .....	<b>24</b>
<b>6.8 SUPERFICIE Y EQUIPAMIENTOS</b> .....	<b>25</b>
<b>6.9 INSPECCIÓN 10M ANTES Y 10M DESPUÉS DE LA ESTRUCTURA DEL PUENTE</b> .....	<b>26</b>
<b>6.10 INSPECCIÓN DE LAS ALETAS</b> .....	<b>32</b>
<b>6.11 PATOLOGÍA DIRECTA DAÑOS ENCONTRADOS EN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL PUENTE</b> .....	<b>34</b>
<b>6.12 CORROSIÓN DEL ACERO</b> .....	<b>40</b>
<b>6.13 CARBONATACIÓN DEL CONCRETO</b> .....	<b>44</b>
<b>6.14 SCANNER PRUEBA DE DETECCIÓN DE REFUERZOS Y RECUBRIMIENTOS EN CONCRETO NORMA ACI 228.2R</b> .....	<b>47</b>
<b>6.15 DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LOS CONCRETOS DE LA ESTRUCTURA DEL PUENTE SOBRE EL CAÑO MANACAL</b> .....	<b>60</b>
<b>6.16 PRUEBA DE ESCLEROMETRO DIGITAL NORMA ASTM C-805 – NTC 3692</b> .....	<b>63</b>
<b>6.17 PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE NUCLEOS EXTRAIDOS NORMA NTC-3658 Y ENSAYO DE BARRAS CORRUGADAS NTC-2289</b> .....	<b>67</b>
<b>7.0 RESULTADOS DE LA PATOLOGIA Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN RECOMENDADA</b> .....	<b>71</b>
<b>INYECCIÓN DE RESINAS EPOXI A LAS VIGAS DE LA SUPERESTRUCTURA</b> .....	<b>83</b>
<b>8.0 BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>88</b>
<b>9.0 ANEXOS</b> .....	<b>90</b>



**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Localización estructura del puente situado en las coordenadas Magna Sirgas, Este (1.044.148,063) y Norte (851.594,94) .....	7
Figura 2. Puente sobre el caño Manacal vista superior .....	8
Figura 3. Vista inferior del Puente.....	8
Figura 4. Detalle geométrico puente Caño Manacal .....	9
Figura 5. Estribo Norte del puente.....	10
Figura 6. Detalle de estribo Norte .....	10
Figura 7. Detalle de la losa superior del puente .....	11
Figura 8. Detalle de apoyo de vigas con estribo donde no existe neopreno.....	11
Figura 9. Detalle Estribo Puente .....	12
Figura 10. Cámara - Binóculos Lupa .....	15
Figura 11. Cinta Métrica y Fisurómetro.....	15
Figura 12. Linterna y Grabadora .....	15
Figura 13. Equipos de Patología Estructural utilizados.....	16
Figura 14. Equipos de Patología Estructural.....	16
Figura 15. Equipos de Patología Estructural.....	17
Figura 16. Ubicación Puente sobre el Caño Manacal. ....	20
Figura 17. Puente sobre el Caño Manacal.....	20
Figura 18. Tipología de Puentes según INVIAS (Fuente INVIAS).....	21
Figura 20. Esviaje del Puente en estudio 90° .....	22
Figura 21. Vista en planta del Puente en estudio .....	23
Figura 22. Geometría Sección Longitudinal Puente .....	23
Figura 23. Lista de Inspección de elementos de Puentes (Fuente INVIAS) .....	24
Figura 24. Codificación de la Superficies de Puentes (Fuente INVIAS).....	25
Figura 25. Superficie en afirmado 10 m antes, sobre el puente concreto y 10 m después del puente .....	25
Figura 61. Vista de los materiales de la vía 10 m antes y después del Puente.....	26
Figura 62. Vista de los materiales del puente y afirmado 10 m antes y después .....	26
Figura 63. Detalle de Juntas (Fuente INVIAS).....	27
Figura 64. Clasificación de Juntas para formato de Campo (Fuente INVIAS).....	27
Figura 65. Inexistencia de Juntas del puente según codificación de INVIAS .....	28
Figura 66. Detalle de bordillo del puente .....	28
Figura 67. Verificación del estado de los bordillos.....	29
Figura 68. Tabla de Codificación de Barandas (Fuente INVIAS) .....	29
Figura 69. Inexistencia de Iluminación .....	30
Figura 70. No se encontró ningún tipo de señal.....	31
Figura 71. Drenajes de la losa. ....	32
Figura 72. Panorámica entre aleta y estribo norte del puente .....	33
Figura 73. Detalle de unión de Aleta y Estribo .....	33
Figura 26. Fisuras en las vigas .....	35
Figura 29. No se evidencia existencia de fisuración en estribos y/o aletas del puente ...	36
Figura 30. Ancho de Fisuras razonables del hormigón bajo cargas de servicio segun la reglamentación ACI 224R.....	37



Figura 31. Verificación del recubrimiento y de la existencia de refuerzo con escáner de última generación sobre la losa superior, se aprecia un recubrimiento máximo de 26 mm. ....	38
Figura 32. Detalle de lectura de recubrimiento de la losa en la zona inferior con un recubrimiento máximo de 49 mm. ....	39
Figura 33. Escáner del tablero de la superestructura por el especialista .....	39
Figura 34. Celda electroquímica de corrosión de una barra de acero embebida en el concreto.....	41
Figura 35. Detalle de corrosión del acero donde se aprecia el desprendimiento del concreto por el efecto de expansión. ....	42
Figura 36. Acero de refuerzo con corrosión.....	42
Figura 37. Corrosión puntual de la armadura de la viga de la superestructura .....	43
Figura 38. Corrosión puntual de la armadura inferior de la losa de la superestructura ...	43
Figura 39. Obtención del frente de carbonatación en núcleos extraídos de las vigas de la superestructura.....	45
Figura 40. Se evidencia que el frente de carbonatación en el concreto de las vigas avanza entre 3 a 4 cm. ....	45
Figura 41. Obtención del frente de carbonatación en diferentes sitios .....	46
Figura 42. Ensayo de carbonatación.....	46
Figura 43. Escáner Japonés 3D – Especialista realizando el escáner de la viga de la superestructura .....	48
Figura 44. Procedimiento de Escaneo de Vigas de la superestructura.....	48
Figura 45. Procedimiento de escaneo de losa de la superestructura parte superior .....	49
Figura 46. Resultados del ensayo de escáner en losa y vigas de la súper estructura .....	50
Figura 47. Resultados del ensayo de escáner en losa y vigas de la súper estructura .....	51
Figura 48. Comprobación del número de barras y diámetro de las vigas de la superestructura ....	53
Figura 49. Resultados del ensayo de escáner en losa y vigas de la súper estructura .....	56
Figura 50. Evidencia de escaneo de elementos estructurales del puente .....	58
Figura 51. Evidencia de la barra de acero de 5/8” extraída del tablero.....	59
Figura 52. Detalle del concreto de los núcleos extraídos donde se observa tamaños finos del agregado.....	60
Figura 53. Extracción de núcleos en el estribo del puente.....	61
Figura 54. Extracción de núcleos losa superestructura .....	61
Figura 55. Extracción de núcleos en vigas. ....	62
Figura 56. Inventario de especímenes extraídos .....	62
Figura 57. Prueba 1 Esclerometría digital losa sobre el Tablero.....	66
Figura 58. Prueba 2 Esclerometría digital losa sobre el Tablero.....	66
Figura 59. Extracción de núcleos puente sobre caño Manacal ingreso al pozo exploratorio Santa 1 .....	68
Figura 60. Barra extraída de la losa del puente Manacal .....	69
Figura 74. Fisuras en las vigas levantadas con microscopio de barrido.....	71
Figura 75. Detalle de fisuras en las vigas del puente.....	72
Figura 76. Se evidencia que el frente de carbonatación en el concreto es errático el cual avanza entre 3 a 4 cm. ....	74
Figura 76. Datos de entrada para el modelo estructural de acuerdo a la información ....	79
Figura 76. Acero de refuerzo requerido para la losa del puente .....	80
Figura 76. Acero de refuerzo requerido para cada una de las vigas del puente .....	81



## 1.0 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de Patología tiene como objetivo determinar el estado de conservación estructural de un Puente ubicado sobre el caño Manacal, puente de ingreso al pozo exploratorio SANTA 1. El informe tiene el propósito de establecer el estado actual de conservación del puente en concreto reforzado de losa y vigas. Dicha estructura está situada en la vía de acceso al pozo exploratorio Santa 1 a una distancia aproximada de 22 Km de la ruta nacional 65A por la trocha 13ª, esta vía (65A) conecta los municipios de Granada y la Uribe, en el Departamento del META, la estructura se localiza en las coordenadas Magna sirgas 1.044.148,063E, 851.594,94N.

El estudio sigue dos metodologías de inspección, la primera es la establecida por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) Inspección Visual de puentes y pontones y la cual se destaca por ser un método totalmente visual determinando los daños en sitio y la segunda es el método directo de patología que involucra la inspección visual y técnica con los ensayos de rigor directo con sus respectivas normas estandarizadas que se requieran para evaluar la estructura utilizando ensayos no destructivos (NDT) y semi-destructivos, a partir de los cuales se realizará el diagnóstico de la estructura, teniendo en cuenta su configuración estructural, uso, tipología, edad, solicitaciones, materiales y lesiones encontradas evaluando el estado actual de la estructura.

El presente estudio está dividido en capítulos, planteando los procedimientos y metodologías aplicadas para determinar las condiciones reales en que se encuentra la estructura.



## **2.0 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar el estudio de Patología estructural para determinar el estado de conservación y estado estructural del puente existente sobre el Caño Manacal, determinando su estado actual y verificando la existencia de lesiones, y daños que pueden influir en el comportamiento estructural.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Determinar mediante inspecciones, los daños y lesiones presentes en los elementos estructurales del Puente de losa y vigas en concreto reforzado sobre el Caño Manacal.

Determinar a través de los resultados de los ensayos Destructivos, No Destructivos y resultados de laboratorio, las características mecánicas y de resistencia de los materiales con los cuales se construyeron los elementos estructurales del Puente de losa y vigas en concreto reforzado sobre el Caño Manacal.

Realizar un modelo computacional del puente para determinar la capacidad estructural de acuerdo a la Normatividad vigente.

Plantear alternativas de mantenimiento y/o reforzamiento y/o rehabilitación según sean los resultados del Modelo Estructural.

Presentar un Presupuesto y un Cronograma de Obra para la implementación de la alternativa técnica de intervención recomendada.



### 3.0 MARCO REFERENCIAL, TEÓRICO, LEGAL, HISTÓRICO:

Para el presente estudio se tendrá en cuenta el actual Código de Diseño Sísmico de Puentes, reglamentaciones y normas que dicho documento contiene. Hay que tener en cuenta que la NSR-10 en su sección A.1.2.4 Excepciones enuncia El presente reglamento de construcciones sismo resistentes, NSR-10, es aplicable a edificaciones (construcciones cuyo uso primordial es la habitación u ocupación por seres humanos y no aplica a:

A.1.2.4.1 El diseño y construcción de estructuras especiales tales como puentes, torres de transmisión, torres y equipos industriales, muelles, estructuras hidráulicas y todas aquellas construcciones diferentes de edificaciones. Teniendo en cuenta lo anterior esta reglamentación no se tomará en cuenta en el presente estudio.



#### 4.0 LOCALIZACIÓN DE LA ESTRUCTURA EN ESTUDIO

El puente en concreto reforzado de losa y vigas ubicado en el Departamento del Meta, se encuentra situado en la vía de ingreso al pozo exploratorio Santa 1 a una distancia aproximada de 22 Km de la Ruta Nacional 65A la cual conecta los municipios de Granada y la Uribe, el ingreso a la vía para el pozo exploratorio Santa 1 se realiza por la trocha 13A. La estructura se sitúa en las coordenadas Magna Sirgas 1.044.148,063E, 851.594,94N.

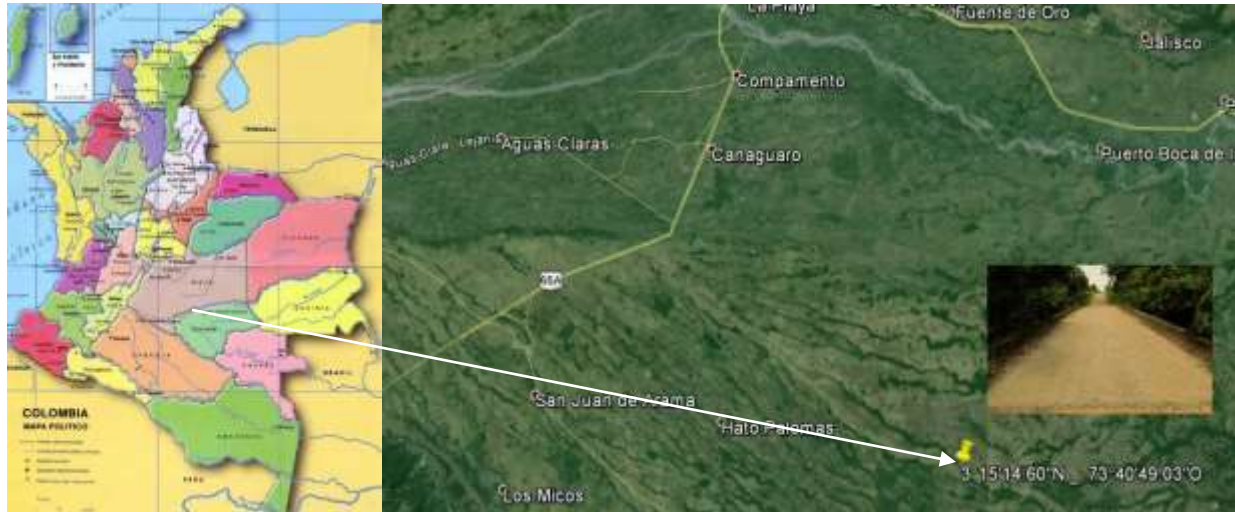


Figura 1. Localización estructura del puente situado en las coordenadas Magna Sirgas, Este (1.044.148,063) y Norte (851.594,94)

La estructura se localizan específicamente sobre el caño manacal, el puente está en la vía de acceso al pozo exploratorio Santa-1 a una distancia aproximada de 22 Km de la Ruta Nacional 65A, para llegar a la trocha (13 A) se recorren aproximadamente 19 Km desde el municipio de Granada por la ruta nacional 65A. A continuación se muestra el sitio de la estructura en estudio.



Figura 2. Puente sobre el caño Manacal vista superior.



Figura 3. Vista inferior del Puente



## 5.0 DESCRIPCIÓN ESTRUCTURAL Y TIPOLOGÍA DEL PUENTE EN CONCRETO REFORZADO

El nombre de “Puente” se define como una estructura que tiene una luz mayor a 10 metros, la estructura en estudio corresponde a una tipología de puente de losa y vigas en concreto reforzado apoyado sobre una subestructura con estribos y aletas en concreto. Las dimensiones de la superestructura son: Tablero longitud 19,70 m, ancho de tablero 4,65 m con un espesor de la losa  $e=0,20$  m, las vigas de la estructura tienen un ancho promedio de 0,27 m y una altura 1,44m, los diafragmas laterales cuentan con un ancho 0,30 y una altura de 1,44, el diafragma central tiene una altura 1,24 m y un ancho 0,25m, la subestructura o infraestructura posee estribos con aletas en concreto reforzado.

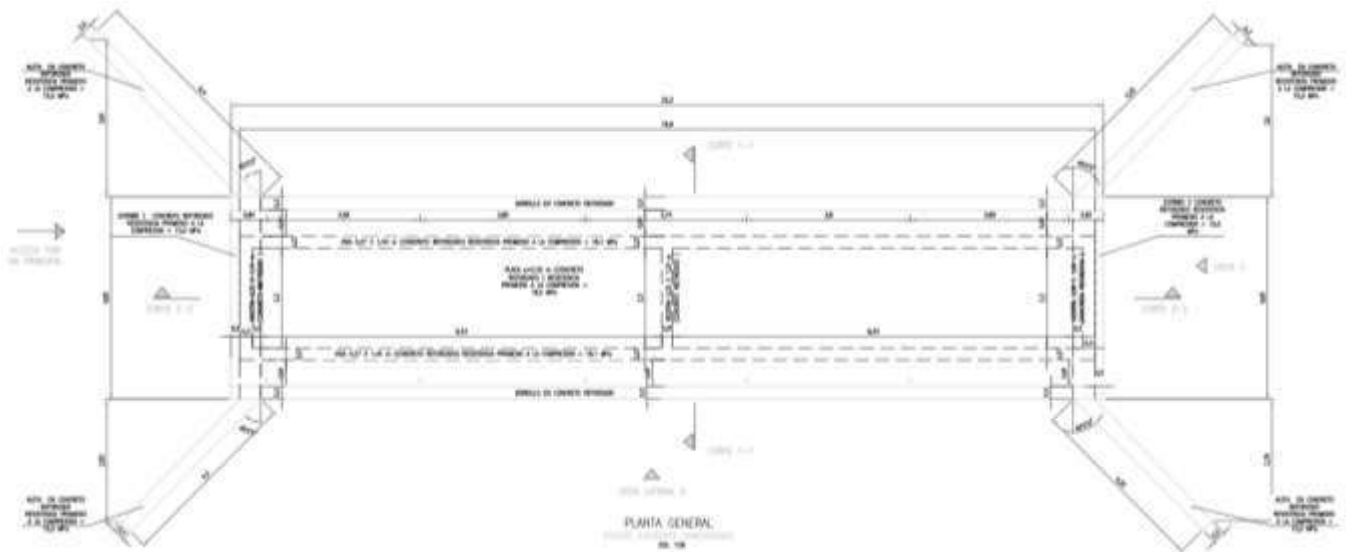


Figura 4. Detalle geométrico puente Caño Manacal

Existe en la subestructura del puente sobre el caño manacal estribos con aletas en concreto reforzado como a continuación se presenta.



Figura 5. Estribo Norte del puente.



Figura 6. Detalle de estribo Norte

El grupo consultor realizó investigación con los habitantes de la zona y en especial destacan que dicha estructura fue construida hace aproximadamente más de 40 años y fue una estructura construida para el acceso a la zona de San Juan de Arama.



Figura 7. Detalle de la losa superior del puente



Figura 8. Detalle de apoyo de vigas con estribo donde no existe neopreno

Se destaca que la estructura está diseñada y construida como un puente de losa y vigas reforzadas con diafragmas en el inicio, centro y final de la luz. Sus estribos y aletas de apoyo son en concreto reforzado, en averiguaciones en campo con personas de la zona que estuvieron en la construcción de la estructura describen que la cimentación es superficial.



Figura 9. Detalle Estribo Puente



## 6.0 APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA DE INSPECCIÓN DE PUENTES DE INVIAS AL PUENTE SOBRE EL CAÑO MANACAL

A continuación se realiza el procedimiento del manual de inspección de puentes y pontones de INVIAS este manual realiza una inspección visual de cada uno de los elementos del puente a través de una metodología visual.

### 6.1 PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN

Se presenta a continuación la secuencia planteada por el INVIAS para llevar a cabo la inspección del Puente:

1. Elaborar un esquema general en planta de la localización de la estructura, especificando el sentido del abscisado, el nombre del río u obstáculo que salva, el sentido de la corriente, el tipo de puente y demás características generales.
2. Tomar mínimo dos fotografías panorámicas de la estructura, en superficie y perfil.
3. Verificar mediante inspección visual cada uno de los elementos de la estructura. Se recomienda realizar esta actividad siguiendo el orden enunciado; primero inspeccionar los equipamientos, luego la superestructura, después los elementos de la subestructura, finalmente la cimentación y el cauce.
4. Elaborar un esquema general de los elementos de la estructura que permita ubicar los diferentes daños identificados. Al final de este documento se incluye una síntesis de los daños más comunes que se han encontrado en las estructuras de concreto reforzado y en las estructuras metálicas.
5. Levantamiento y cuantificación de los daños existentes en cada uno de los elementos de la estructura, registrándolos de forma detallada.
6. Registro Fotográfico de cada uno de los daños identificados,
7. Registro de observaciones, mediciones y posibles fallas de relevancia que deban ser reportados el informe.



8. Después de realizada la inspección se debe preparar un informe general del estado de la estructura, donde se presente en forma clara y ordenada la descripción de la estructura y los diferentes daños visibles en los elementos, su localización, y si es el caso, la necesidad de realizar una inspección detallada y de tomar ensayos específicos.

## 6.2 ELEMENTOS Y EQUIPOS

Siguiendo el procedimiento estipulado se presenta a continuación el equipo necesario para adelantar la inspección de la estructura en estudio:

### ELEMENTOS

- Cámara fotográfica preferiblemente digital y/o cámara de video.
- Binóculos, lupa.
- Cinta métrica y/o flexómetro.
- Comparador de fisuras o fisurómetro de bolsillo.
- Linterna.
- Grabadora.
- Formatos de captura de información.
- Crayolas o marcadores para resaltar fisuras.
- Martillo, cincel.
- Escalera, andamios, etc.
- Elementos de seguridad y protección





Figura 10. Cámara - Binoculos Lupa



Figura 11. Cinta Métrica y Fisurómetro



Figura 12. Linterna y Grabadora

**EQUIPOS**



Figura 13. Equipos de Patología Estructural utilizados



Figura 14. Equipos de Patología Estructural utilizados



Figura 15. Equipos de Patología Estructural

### 6.3 ALCANCES DE LOS TRABAJOS

El alcance de los trabajos es la exploración estructural al puente sobre el Caño Manacal, aplicando las técnicas actuales en patología estructural y de la construcción evaluando los procesos constructivos, las propiedades de los materiales, y lesiones que presenta los elementos estructurales que constituyen la estructura, a través de ensayos destructivos y no destructivos obteniendo resultados claros de las causas de las lesiones y fallas, para poder llegar a un diagnóstico.

### 6.4 METODOLOGÍA PARA PROCEDIMIENTO DE CAMPO

- A. El ingeniero Especialista es el encargado de asignar las tareas al grupo de inspectores y asignar las responsabilidades específicas y directas durante el trabajo de campo.
- B. Una sola persona se le encargara de registrar los datos.
- C. Una sola persona será la encargada de tomar las fotos y registrar la descripción en el formato dispuesto para tal fin, esto es fundamental para tener una mayor precisión en los detalles.
- D. Los demás inspectores y/o Técnicos de campo se dividirán las labores de medición directa e indirecta, ensayos y pruebas garantizando siempre las condiciones de seguridad exigidas por parte de Ecopetrol.



## 6.5 METODOLOGÍA FOTOGRÁFICA

La metodología Fotográfica expuesta a continuación se ha hecho con base en el artículo *Documentation of Bridge Inspection Projects Using Virtual Reality Approach*<sup>1</sup>. Mediante este documento es posible ver que el registro fotográfico es realmente importante ya que ha sido empleado en distintos proyectos de estudios de patología de Puentes en países como Estados Unidos y Canadá. Esta metodología sirve, posterior a las labores de campo como una herramienta para identificación y localización de elementos y lesiones y su correspondiente patología.

### **Foto 1. Panorámica General S-N (E-W).**

En esta imagen se registra todo el puente, se debe enfocar la mayor área posible (en caso contrario tomar dos o más fotografías y en oficina crear una sola imagen).

### **Foto 2. Panorámica E (S) y Foto 3. Panorámica W (N).**

En estas imágenes se registra una foto general de la estructura en estudio tomada hacia el oriente y hacia el occidente.

### **Foto 3. Vista Frontal de la Estructura**

Con esta foto se identifica la parte frontal de la Estructura.

### **Foto 4. Vista Superior**

Esta foto se debe tomar desde la parte superior de la estructura y de cada una de las lesiones detectadas.

### **Foto 5. Vistas Laterales**

Estas fotos se debe tomar desde la parte lateral de la estructura en estudio, en ella debe quedar registrado la disposición estructural y daños que se identifiquen.

### **Foto 6. Elementos Principales (Estructura)**

Se revisa las lesiones en los elementos principales de la estructura

### **Foto 7. Elementos Accesorios**

Sistemas de Drenaje

Juntas Estructurales

Aisladores Sísmicos

---

<sup>1</sup> Jáuregui David V; White Kenneth R; Pate James W.



### Foto 8. Elementos Hidráulicos

Se debe registrar una panorámica en la cual se observe elementos hidráulicos que mitiguen eventuales daños a la estructura.

### Foto 9. Detalles

Se debe tomar fotos a todas las lesiones encontradas desde varios sitios diferentes.

## 6.6 IDENTIFICACIÓN DE LA ESTRUCTURA

**Punto de Referencia (PR) del puente:** Corresponde a la abscisa en la cual se ubica el puente en nuestro caso por ser una estructura aislada no tiene (PR) pero su ubicación está a 41 Km partiendo del municipio de Granada por la vía conocida como la Ruta Nacional 65A que conecta los municipios de Granada con La Uribe, para llegar al sitio del puente se recorren aproximadamente 19 Km desde el municipio de granada por la ruta nacional 65A y luego en el cruce se recorre aproximadamente 22 Km por la trocha 13<sup>a</sup> hasta encontrar la estructura como se aprecia a continuación en la foto satelital.





Figura 16. Ubicación Puente sobre el Caño Manacal.

**Nombre del Puente:** Generalmente el nombre del puente o pontón se indica en una señal en el sitio donde está la estructura la cual no existe, en nuestro caso el Puente se llama Puente sobre el Caño Manacal o Puente de acceso al pozo exploratorio Santa-1



Figura 17. Puente sobre el Caño Manacal.



**Obstáculo que salva:** Hace referencia al tipo y nombre del obstáculo que salva: río, quebrada o vía, en nuestro caso el Puente salva el obstáculo sobre un afluente que según los pobladores se llama Caño Manacal.

**Tipo de puente:** Según la disposición transversal y longitudinal de la superestructura del puente, este se debe clasificar de acuerdo con la tipología presentada en las siguientes tablas:

**Tipo de Puente según estructuración transversal**

CÓDIGO	TIPO DE PUENTE
01	Losa sobre vigas
02	Losa simplemente apoyada
03	Viga Cajón
04	Armadura de paso superior
05	Armadura de paso inferior
06	Arco Superior
07	Arco Inferior

**Tipo de Puente según estructuración longitudinal**

CÓDIGO	TIPO DE PUENTE
01	Vigas simplemente apoyadas
02	Vigas continuas
03	Puente colgante
04	Puente atirantado
05	Pórtico
06	Box culvert

Figura 18. Tipología de Puentes según INVIAS (Fuente INVIAS)

Para nuestro caso el puente sobre el Caño Manacal, según INVIAS está clasificado según su estructuración transversal con el código 01 “Losa sobre Vigas”, y según su estructuración longitudinal con el código 01 “Vigas simplemente apoyadas”.

**Esviaje.** Corresponde al ángulo en grados comprendido entre el eje de las vigas principales del puente y la normal al eje de la vía. Para dar mayor claridad a la definición del INVIAS, se dice que el tablero de un puente tiene esviaje o que está construido en esviaje, cuando la forma en planta del tablero no es rectangular, lo que quiere decir que los apoyos del tablero forman un ángulo distinto a 90° con el eje



longitudinal del tablero. El esviaje en tablero complica los análisis, el diseño y la construcción de un puente.

Para este caso el ángulo de esviaje aproximado de la estructura del Puente es  $90^\circ$ .



Figura 19. Esviaje del Puente en estudio  $90^\circ$

**Dimensiones Generales de la Estructura.** A continuación se muestra la longitud total de la estructura, el largo medido entre juntas del tablero desde el inicio y el final, ancho y las dimensiones de elementos estructurales levantados in situ. Cabe destacar que la estructura consta de una sola luz con las siguientes medidas.

Longitud total puente tablero:	19,90 m
Ancho Tablero:	4,65 m
Espesor losa tablero sin bordillo:	0,20 m
Espesor losa tablero con bordillo:	0,45 m





## 6.7 INSPECCIÓN POR ELEMENTOS

Se plantea en la metodología de INVIAS la inspección y evaluación de las estructuras que componen el puente en nuestro caso el Puente sobre el Caño Manacal por lo que a continuación se evalúan los siguientes componentes según la metodología propuesta:

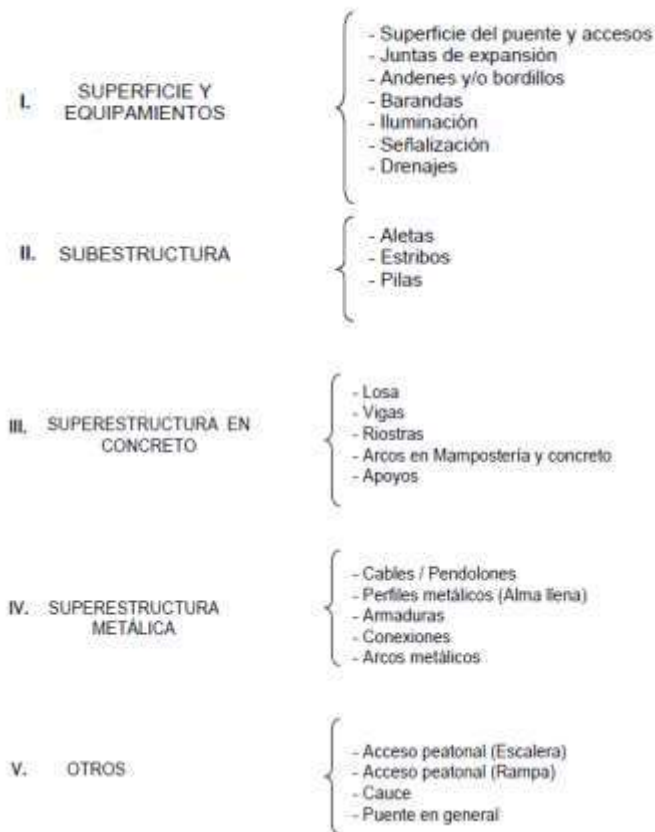


Figura 22. Lista de Inspección de elementos de Puentes (Fuente INVIAS)



A continuación se presenta la inspección de cada uno de los elementos exigidos por la metodología de inspección de INVIAS, aplicado al Puente sobre el Caño Manacal.

## 6.8 SUPERFICIE Y EQUIPAMIENTOS

En este capítulo se plantea la evaluación de siete variables en la inspección de puentes aplicado al Puente sobre el Caño Manacal, las cuales son:

### Superficie del Puente y Accesos:

Se plantea en esta sección la clasificación del material (Superficie de Rodadura) que tiene la estructura en estudio, se plantea en la metodología de INVIAS que esta inspección se debe realizar 10 M antes y 10 M después del Puente y se debe clasificar el material de la superficie sobre el puente antes y después de este, como se presenta a continuación:

CÓDIGO	TIPO DE SUPERFICIE
01	Asfalto
02	Concreto
03	Afirmado
04	Metálica
00	Otra

Figura 23. Codificación de la Superficies de Puentes (Fuente INVIAS)

En la inspección sobre el puente la superficie corresponde al Tipo 02 (Concreto), y a la entrada y salida del puente corresponde al Tipo 03 (Afirmado) como se evidencia:



Figura 24. Superficie en afirmado 10 m antes, sobre el puente concreto y 10 m después del puente



## 6.9 INSPECCIÓN 10M ANTES Y 10M DESPUÉS DE LA ESTRUCTURA DEL PUEBTE

En la Inspección 10 m antes y 10 m después de la estructura del Puento, la vía está construida en afirmado como se muestra a continuación:



Figura 25. Vista de los materiales de la vía 10 m antes y después del Puento

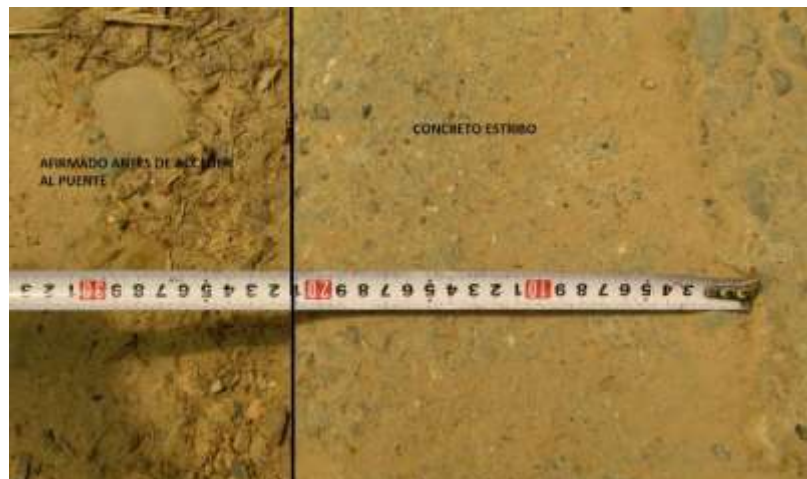


Figura 26. Vista de los materiales del puente y afirmado 10 m antes y después



**Juntas de Expansión:**

Son elementos que permiten los movimientos y/o rotaciones entre dos partes de una estructura. De no permitirse estos movimientos relativos se producirán esfuerzos no considerados en el diseño provocando deformaciones y daños.

Las juntas tienen la tarea de unir o salvar espacios libres requeridos por razones del comportamiento estructural de elementos y se caracterizan por:

- Transmisión de cargas verticales y libertad de movimiento horizontal.
- Durabilidad de todos los elementos de la junta.
- Asegurar que los movimientos totales del puente proyectados sobre las juntas, se cumplan sin golpear o deteriorar los elementos estructurales.

Según la metodología de INVIAS se clasifican las juntas de expansión como a continuación se presenta:

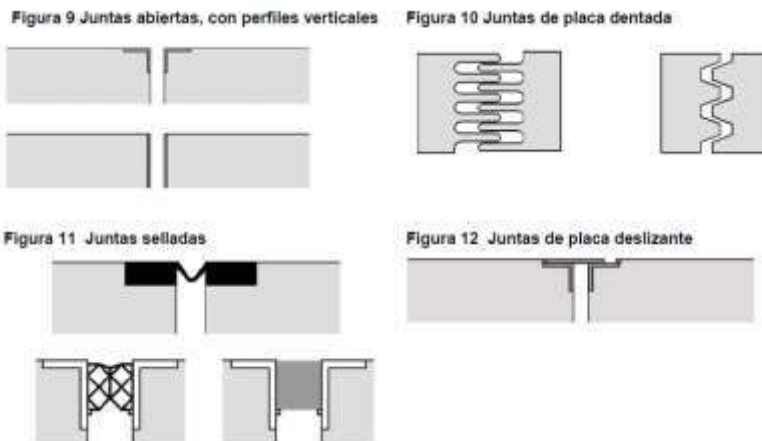


Figura 27. Detalle de Juntas (Fuente INVIAS)

CÓDIGO	TIPO DE JUNTA DE EXPANSIÓN
01	Juntas abiertas
02	Juntas selladas
03	Juntas de placa dentada
04	Juntas de placa deslizante
00	Otra

Figura 28. Clasificación de Juntas para formato de Campo (Fuente INVIAS)



Aplicando el método de INVIAS, al Puente sobre el Caño Manacal en estudio y realizadas las inspecciones previas se detectó que una junta no calificada las cuales pertenecen al código (00), como se muestran a continuación.



Figura 29. Inexistencia de Juntas del puente según codificación de INVIAS

### **Andenes y Bordillos:**

Se debe revisar los andenes y bordillos, tomando en cuenta sus daños o lesiones, en nuestro caso el Puente no posee andenes, pero si bordillos en concreto reforzado que actualmente están en aceptable estado, cabe destacar que no se detectó daños graves. A continuación se muestra el estado actual.



Figura 30. Detalle de bordillo del puente



Figura 31. Verificación del estado de los bordillos

### **Barandas:**

Dentro de las inspecciones de campo que se deben realizar siguiendo la metodología de INVIAS, la inspección y evaluación de las barandas, estas se deben clasificar según su material como se presenta a continuación:

CÓDIGO	TIPO DE BARANDA
01	Mampostería
02	Concreto
03	Metálica
04	Pasamanos metálicos y postes en concreto
00	Otra

Figura 32. Tabla de Codificación de Barandas (Fuente INVIAS)

En nuestro caso la estructura en estudio no posee barandas.



### **ILUMINACIÓN:**

El procedimiento especificado en el manual de Inspección de Puentes y Pontones de INVIAS establece que se deberá verificar la existencia de los elementos de iluminación (focos, farolas, lámparas) y el funcionamiento de los mismos, en el caso del puente en estudio no existe iluminación sobre la estructura ni cerca a ella como se evidencia en la siguiente memoria fotográfica.



Figura 33. Inexistencia de Iluminación

### **SEÑALIZACIÓN:**

Se involucra la señalización en la inspección visual de la estructura este ítem hace referencia a la verificación de la señalización existente en el sitio de la estructura del puente. Debe revisarse la presencia, la legibilidad, la visibilidad de las señales existentes tanto horizontales como verticales y los reductores de velocidad. En este tipo de estructura no se encontró ninguna señal.



Figura 34. No se encontró ningún tipo de señal.

### **DRENAJES:**

La metodología de INVIAS hace referencia que en la inspección se debe verificar que tanto el drenaje transversal de la vía como el longitudinal funcionen correctamente, evitando el estancamiento del agua sobre la superficie del puente o de la estructura en estudio en nuestro caso el Puente sobre el Caño Manacal. De acuerdo con el Código Colombiano de Diseño Sísmico de Puentes, el drenaje longitudinal debe hacerse por medio de tubos o drenajes, los cuales deben ser suficientes en número y tamaño para evacuar adecuadamente el tablero o las cunetas, en el caso de la estructura en estudio existen elementos de drenaje de diámetro de  $2'' \frac{3}{4} = 7$  cm que al día de la inspección algunos estaban tapados por lo que sobre el tablero el agua lluvia queda estancada. El grupo consultor procedió a destaparlos y a medir su diámetro como a continuación se aprecia.



Figura 35. Drenajes de la losa.

## 6.10 INSPECCIÓN DE LAS ALETAS

En la metodología de INVIAS se debe realizar la inspección física en sitio de las aletas y estribos si existieran en la estructura en estudio, por lo anterior se presenta las verificaciones que se deben realizar:

- **Grietas verticales en la unión entre estribos y aletas.**

En la inspección no se detectaron fracturas, grietas ni fisuras entre la unión de las aletas adosadas al estribo, como se muestra a continuación.



Figura 36. Panorámica entre aleta y estribo norte del puente



Figura 37. Detalle de unión de Aleta y Estribo



No se detectó daño entre las aletas y el estribo del puente, las marcas que se evidencian en la memoria fotográfica corresponden a camino de insectos (comejenes).

## **6.11 PATOLOGÍA DIRECTA DAÑOS ENCONTRADOS EN LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEL PUENTE**

### **FISURACIÓN**

Se detectó fisuras grietas y fracturas que son evaluadas con el ACI 224.2R, la fisuración juega un papel importante en la respuesta del hormigón a las cargas, tanto en tracción como en compresión. Los primeros estudios del comportamiento microscópico del hormigón involucraban la respuesta del hormigón a ensayos de compresión. Estos trabajos tempranos mostraban que la respuesta tensión-deformación del hormigón está fuertemente asociada a la formación de microfisuras, es decir, fisuras que se forman en los bordes de los agregados grueso (fisuras de adherencia) y se propagan a través del mortero circundante (fisuras en el mortero) (Hsu, Slate, Sturman y Winter, 1963; Shah y Winter, 1966; Slate y Matheus, 1967; Shah y Chandra, 1970; Shah y Slate, 1968; Meyers, Slate y Winter, 1969; Darwin y Slate, 1970).

Durante los primeros estudios sobre microfisuración se consideraba que el hormigón estaba compuesto por dos materiales lineales, elásticos y frágiles - pasta cementicia y agregados - y las microfisuras eran consideradas la principal causa del comportamiento no lineal de la relación tensión deformación en compresión (Hsu, Slate, Sturman y Winter, 1963; Shah y Winter, 1966). Este enfoque comenzó a cambiar en la década del 70. La pasta cementicia es un material de ablandamiento no lineal, al igual que el mortero constitutivo del hormigón.



El comportamiento no lineal en compresión del hormigón depende fuertemente de la respuesta de estos dos materiales (Spooner, 1972; Spooner y Dougill, 1975; Spooner, Pomeroy y Dougill, 1976; Maher y Darwin, 1977; Chindaprasirt, 1980; Maher y Darwin, 1982). Sin embargo, investigaciones realizadas indican que una parte significativa de la deformación no lineal de la pasta cementicia y el mortero es el resultado de la formación de microfisuras varios órdenes de magnitud menores que las observadas en los estudios originales (Attiogbe y Darwin, 1987, 1988). Para una misma deformación por compresión estas microfisuras más pequeñas tienen una densidad superficial dos o tres órdenes de magnitud más elevada que la densidad de las microfisuras de adherencia y en el mortero, y su descubrimiento representa un importante paso hacia la comprensión del comportamiento del hormigón y sus materiales componentes en compresión.

Se detectó en sitio fisuras principalmente en las vigas de la superestructura como se evidencia a continuación.



Figura 38. Fisuras en las vigas



Siendo respetuosos de las reglamentaciones actuales que nos rigen seguiremos las pautas del ACI 224.1R causas, evaluación y reparación de fisuras en estructuras de hormigón para donde la fisuración del hormigón es atribuible a numerosas causas.

Las fisuras pueden sólo afectar la apariencia de una estructura, pero también pueden indicar fallas estructurales significativas o falta de durabilidad. Las fisuras pueden representar la totalidad del daño, pero también pueden señalar problemas de mayor magnitud. Su importancia depende del tipo de estructura, como así también de la naturaleza de la fisuración. Por ejemplo, fisuras que pueden ser aceptables para un edificio residencial pueden no serlo para una estructura para almacenamiento de líquidos.

Las fisuras sólo se podrán reparar correctamente si se conocen sus causas y si los procedimientos de reparación seleccionados son adecuados para dichas causas; caso contrario, las reparaciones pueden durar poco. Los procedimientos de reparación exitosos a largo plazo son aquellos que atacan no sólo las propias fisuras sino también las causas de la fisuración.



Figura 39. No se evidencia existencia de fisuración en estribos y/o aletas del puente



Por tal motivo para la evaluación de la Fisuración y agrietamiento del concreto reforzado tomaremos el estudio del comité ACI-224R (American Concrete Institute) que define los parámetros de grietas de acuerdo a su condición de exposición en estructuras de concreto como se muestra en la siguiente tabla (ACI-224R Control de la fisuración en estructuras de Hormigón).

Condición de Exposición	Ancho de fisura	
	in.	mm
Aire seco o membrana protectora	0,016	0,41
Humedad, aire húmedo, suelo	0,012	0,30
Productos químicos descongelantes	0,007	0,18
Agua de mar y rocío de agua de mar, humedecimiento y secado	0,006	0,15
Estructuras para retención de agua†	0,004	0,10

\* Es de esperar que una parte de las fisuras de la estructura superarán estos valores. Con el tiempo, el porcentaje de fisuras que superan estos valores puede ser significativo. Estos son lineamientos generales para el diseño, que se deben utilizar juntamente con un sólido juicio profesional.

Figura 40. Ancho de Fisuras razonables del hormigón bajo cargas de servicio segun la reglamentación ACI 224R

Si revisamos la normativa europea, específicamente el (Eurocódigo EC2) referente a estos anchos máximos de fisuración tenemos los siguientes requisitos.

**El Eurocódigo EC2** requiere limitar la fisuración a un nivel que no perjudique el correcto funcionamiento de la estructura ni provoque que su apariencia sea inaceptable (Euro EC2, 1997; Beckett y Alexandrou, 1997; Nawy, 2001). Limita el ancho máximo **de fisura a 0,30 mm (0,012 in.)** para carga sostenida bajo condiciones ambientales normales. Se espera que este techo sea satisfactorio desde el punto de vista de la apariencia, seguridad y de la durabilidad del elemento en condiciones de carga y de ambiente normales. Para condiciones ambientales más severas estipula requisitos más estrictos.



La norma Técnica Colombiana (NTC 5551) especifica los valores máximos de separación de fisuras como se muestra en la Tabla 1:

**Tabla 1. Valores máximos de separación de fisuras**

Tipo de Ambiente	1	2,1	2,2	2,3	3,1	3,2	3,3	4,1	4,2	4,3	5,1	6,1	6,2	6,3	7
Separación máxima de fisuras (mm)	0,6	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6

Cabe destacar que con escáner se verificó el recubrimiento del acero de refuerzo teniendo un máximo de recubrimiento del tablero de 26 mm medidos al refuerzo de la malla superior y en las vigas un recubrimiento de 49 mm, es muy importante que bajo las fisuras que actualmente presenta la estructura se revise estos recubrimientos, este procedimiento se debe realizar en conjunto con el microscopio y determinar si la fisuración llegó al acero de refuerzo, lo que llevaría a ingreso de humedad y de oxígeno al acero, iniciando la corrosión que conlleva a la expansión del acero y lo que generaría daños graves por fisuras y fracturas al concreto.



Figura 41. Verificación del recubrimiento y de la existencia de refuerzo con escáner de última generación sobre la losa superior, se aprecia un recubrimiento máximo de 26 mm.



Figura 42. Detalle de lectura de recubrimiento de la losa en la zona inferior con un recubrimiento máximo de 49 mm.



Figura 43. Escáner del tablero de la superestructura por el especialista

Se destaca en la inspección física en sitio que la estructura presenta en sus concretos hormigueros y falta de recubrimientos en sitios puntuales de sus elementos, con presencia de aceros expuestos que presentan actualmente corrosión, existe segregación del concreto que es la concentración diferencial de los componentes del hormigón mezclado en los agregados o similares que provoca una dosificación no uniforme en la masa del material como se define en el ACI 116R (Terminología del cemento y del Hormigón).



Se evaluará en el capítulo (6.10) la corrosión del acero, pero en general la estructura presenta en sitios puntuales del tablero y vigas corrosión del acero de refuerzo con desprendimiento del concreto.

Al revisar las microfisuras, fisuras y grietas de la estructura y compararlas con las normas estandarizadas estas sobrepasan el ancho permitido por la reglamentación prescrita por el ACI (American Concrete Institute) ACI224R, como también la reglamentación del Eurocodigo y la norma NTC 5551, como se presentó en la evidencia y medición en sitio al realizar la prueba de microscopio de barrido, cabe destacar que para esta estructura el máximo permitido es 0.3 mm y presenta en las vigas fisuras de promedio de 1.5 mm.

## 6.12 CORROSIÓN DEL ACERO

Definiremos en este capítulo el daño por corrosión como degradación de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno. De manera más puntual y general, puede entenderse como la tendencia general que tienen los materiales metálicos a base de hierro a buscar su forma más estable o de menor energía interna. Siempre que la corrosión esté originada por una reacción electroquímica (oxidación), la velocidad a la que tiene lugar dependerá en alguna medida de la temperatura, de la salinidad o acidez del fluido en contacto con el metal, el contacto con el oxígeno y el agua, también dependerá de las propiedades de los metales que están incorporados en su aleación.

La corrosión puede ser mediante una reacción química (oxidorreducción) en la que intervienen tres factores principales: La composición o aleación de la pieza manufacturada de la estructura (Barras de Refuerzo). El ambiente donde se encuentre y el agua como elemento de degradación.



Por lo anterior se pueden producir dos tipos de corrosión, la corrosión química y la corrosión electroquímica, la primera corrosión química ocurre debido al ataque de sistemas no electrolíticos, como gases y vapores a temperaturas que impiden su condensación sobre la superficie metálica o por líquidos no conductores de la corriente eléctrica.

La segunda corrosión electroquímica es una reacción química que ocurre en un medio acuoso y en la que hay transferencia de electrones e iones, este es el caso que nos atañe en el acero de refuerzo embebido en el concreto.

La corrosión ocurre como resultado de la formación de una celda electroquímica como la que se aprecia a continuación

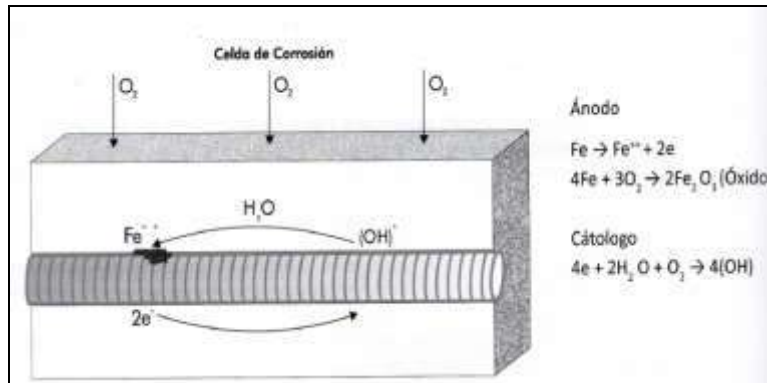


Figura 44. Celda electroquímica de corrosión de una barra de acero embebida en el concreto<sup>2</sup>

El concreto en condiciones normales proporciona al acero embebido una protección adecuada contra la corrosión, el oxígeno presente en el concreto, reacciona con el acero formando una capa fina de óxido sobre el material de la armadura el cual se conoce como proceso de Pasivación, donde la película formada protege de cualquier efecto de corrosión posterior.

Por lo anterior se presenta a continuación las lesiones que actualmente tiene la estructura en cuanto a la corrosión del acero de refuerzo existente de la estructura, cabe destacar que en la inspección en sitio se detectó en la losa de la superestructura acero en corrosión en la parte inferior de forma puntual como también en las vigas de la superestructura como se muestra a continuación en la memoria fotográfica.

<sup>2</sup> Tomado de Tecnología Moderna de Durabilidad, Instituto técnico de materiales y construcciones, cuaderno INTEMAC No 5



Figura 45. Detalle de corrosión del acero donde se aprecia el desprendimiento del concreto por el efecto de expansión.



Figura 46. Acero de refuerzo con corrosión



Figura 47. Corrosión puntual de la armadura de la viga de la superestructura



Figura 48. Corrosión puntual de la armadura inferior de la losa de la superestructura



### 6.13 CARBONATACIÓN DEL CONCRETO

Hay un factor esencial que se debe revisar en toda estructura de concreto reforzado es **el fenómeno de Carbonatación**, el concreto elaborado con cemento Hidráulico, puede sufrir mediante su vida útil, una pérdida de (PH), debido al ataque químico del CO<sub>2</sub> (Dióxido de carbono).

No solo el fenómeno se presenta en ciudades con alta contaminación o en parqueaderos sino en zonas aisladas de vegetación natural debido al ciclo del carbono, cabe destacar que el carbono es la unidad principal de la vida del planeta y su ciclo es fundamental para el desarrollo de todos los organismos (Bolin y Sukumar, 2000). El carbono se almacena en compartimientos llamados depósitos y circula activamente entre ellos, de estos depósitos, los océanos, son los que almacenan mayor cantidad con 38,000 Giga toneladas (Gt)<sup>3</sup>, seguido por el suelo (1,500 Gt), la atmósfera (750 Gt) y las plantas (560 Gt). Cualquier desequilibrio entre los flujos de entrada y salida se refleja en la concentración del CO<sub>2</sub> atmosférico. La absorción del CO<sub>2</sub> atmosférico por las plantas a través de la fotosíntesis está en equilibrio con la respiración de las plantas y el suelo, por lo que en cualquier atmosfera no controlada del planeta existirá el fenómeno de carbonatación en el concreto.

Al estar el carbono disuelto en el agua y/o atmosfera este elemento ingresa por los capilares del concreto y en presencia de humedad reacciona con el hidróxido de calcio del cemento generando como resultado carbonatos de calcio y baja la alcalinidad del concreto el cual reduce su valor de PH menor a 10, recordemos que el concreto debe tener un PH mayor a 12,5, como se especifica en la NCT-5551 (Durabilidad de Estructuras de Concreto), al bajar el PH trae como consecuencia una despasivación del acero con consecuencias de la exposición del acero de refuerzo con fenómenos corrosivos.

---

<sup>3</sup> Mil millones de toneladas.



El frente de carbonatación se localiza con la ayuda de una solución de fenolftaleína entre 1% al 5%, que da un color violeta al encontrar hidróxido de calcio (que es alcalino) midiendo su profundidad desde la parte superficial del elemento. Si el concreto se coloca de color violeta es porque el material no ha sufrido carbonatación y se encuentra en buenas condiciones químicas y de PH, pero si no cambia de color con el reactivo el material (Concreto) hay un frente de carbonatación pronunciado, el cual debe medirse y obtener el frente de avance de la carbonatación. Por lo anterior se siguió el procedimiento estandarizado de la norma UNE 112-011-94 como a continuación se presenta.



Figura 49. Obtención del frente de carbonatación en núcleos extraídos de las vigas de la superestructura

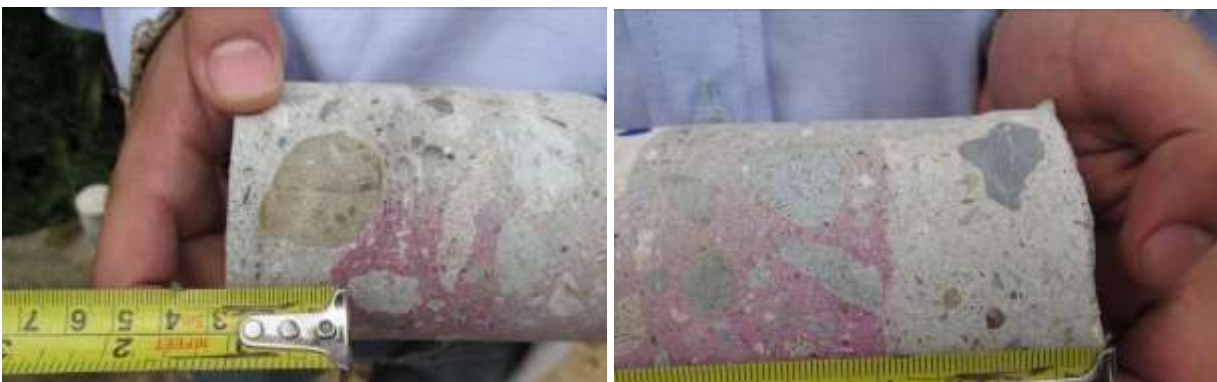


Figura 50. Se evidencia que el frente de carbonatación en el concreto de las vigas avanzó entre 3 a 4 cm.



Figura 51. Obtención del frente de carbonatación en diferentes sitios



Figura 52. Ensayo de carbonatación.

Como se evidencia en la prueba química de carbonatación el frente de avance ya sobrepasó el refuerzo de la losa de la superestructura refuerzo inferior de la losa como se evidencia en registros siguientes donde se aprecia los concretos de las vigas y de la losa, cabe destacar que se detectó mediante escáner y de forma física que el recubrimiento máximo es de 49 mm en la losa y de 50 mm en las vigas, actualmente el refuerzo está despasivado y presenta corrosión se detectó que la carbonatación es generalizada en la losa a diferencia de las vigas en las cuales el frente fluctúa entre 3 a 4 cm.



Hay que destacar que existe carbonatación generalizada en el concreto de la losa de la estructura este material es más denso por existir en sus capilares o poros carbonatos de calcio que aumentan la resistencia a compresión del concreto pero el Ph está por debajo de 12,5 por lo que la armadura existente esta desprotegida y presenta corrosión en sitios puntuales.

#### **6.14 SCANNER PRUEBA DE DETECCIÓN DE REFUERZOS Y RECUBRIMIENTOS EN CONCRETO NORMA ACI 228.2R**

Estas pruebas consisten en la obtención de la localización, diámetro y recubrimiento de la armadura de refuerzo, en nuestro caso la losa y las vigas de la superestructura del Puente sobre el Caño Manacal, estas pruebas se realizan con el objeto de identificar un patrón de distribución del refuerzo, estimar un diámetro del refuerzo y garantizar si se realiza que la extracción de los núcleos o regatas puntuales se hagan en sitios donde no se vea comprometida la estructura. Un manejo estadístico adecuado de la información obtenida puede disminuir en gran medida la cantidad de exploración destructiva en un proyecto de gran magnitud.



Figura 53. Escáner Japonés 3D – Especialista realizando el escáner de la viga de la superestructura

Para la estructura en estudio, se efectuaron tomas con escáner profesional FERROSCAN JAPONES ZBL que migra los datos de lecturas al PC, esto con el fin de verificar como es la distribución del refuerzo y diámetros.



Figura 54. Procedimiento de Escaneo de Vigas de la superestructura

Dentro de los parámetros importantes de durabilidad se verifica el recubrimiento mínimo que debe tener el acero en los elementos principales de la estructura y compararlos con los requerimientos de la norma, cabe destacar que es de suma importancia realizar este tipo de ensayo para evaluar las cuantías de acero en los elementos de concreto reforzado, en nuestro caso Puente sobre Caño Manacal.



Figura 55. Procedimiento de escaneo de losa de la superestructura parte superior

### **ESCANER DE LOSA Y VIGAS DE LA SUPERESTRUCTURA**

Se realizó el barrido con escáner de la losa en concreto reforzado y se detectó que cuenta con dos parrillas una superior y una inferior con refuerzo transversal y longitudinal de diámetro de 5/8" cada 10 cm de acero corrugado el recubrimiento de la parrilla superior al realizar el barrido con el escáner es de 26 mm y el recubrimiento de la parrilla inferior al realizar el barrido en la zona inferior es de 49 mm.

Para las vigas se destaca que el ancho es de 0,27 m y altura de 1,44 m, se detectaron para el refuerzo longitudinal o principal 6 barras de acero distribuidas en dos filas de 3 barras de diámetro de 1"1/4 o #10 y estribos de diámetro de 1/2" o #4 con una separación de 0,20 m.

La losa superior esta armada con dos parrillas superior e inferior cada 10 cm con barras de 5/8", se destaca que el acero encontrado es corrugado en toda la estructura del puente.

A continuación se muestra los resultados del armado del puente con los datos arrojados del escáner y las inspecciones directas sobre la estructura.

En el siguiente grafico se muestra el resultado del barrido e inspección del primer cuarto del armado

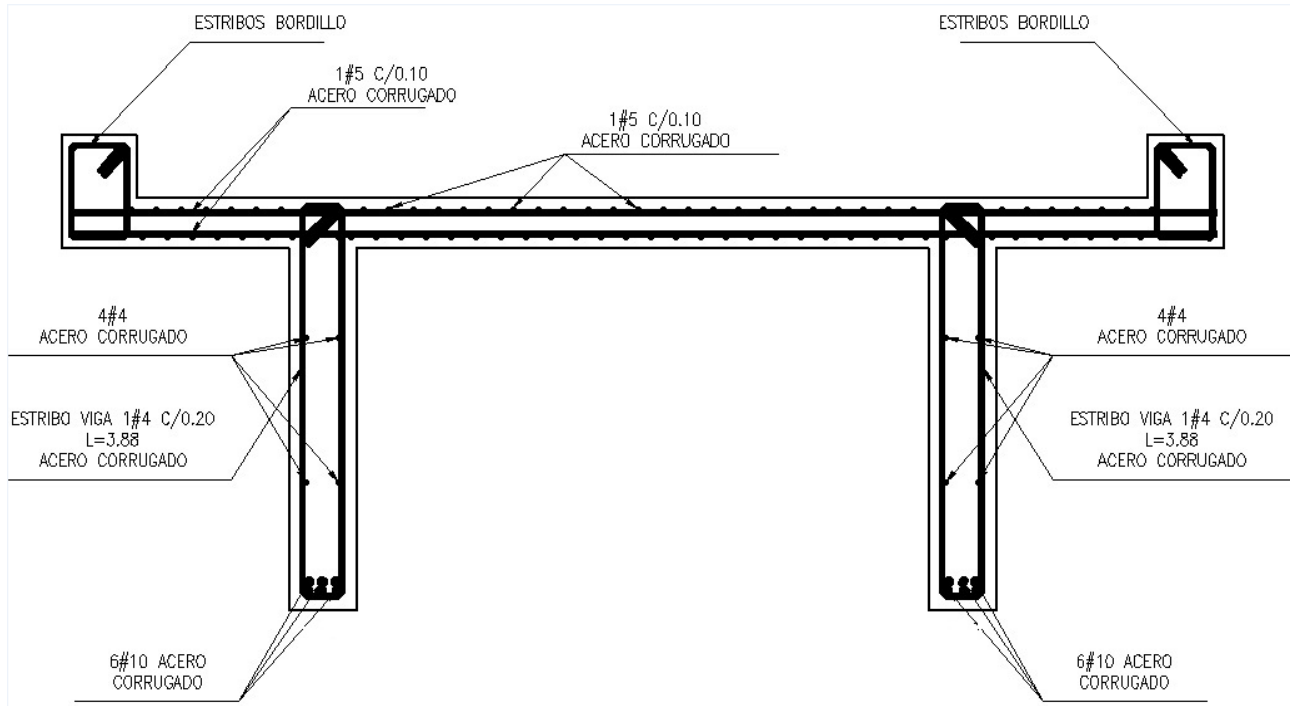


Figura 56. Resultados del ensayo de escáner en losa y vigas de la súper estructura

En el siguiente grafico se muestra el resultado del barrido e inspección de la parte central de la estructura.

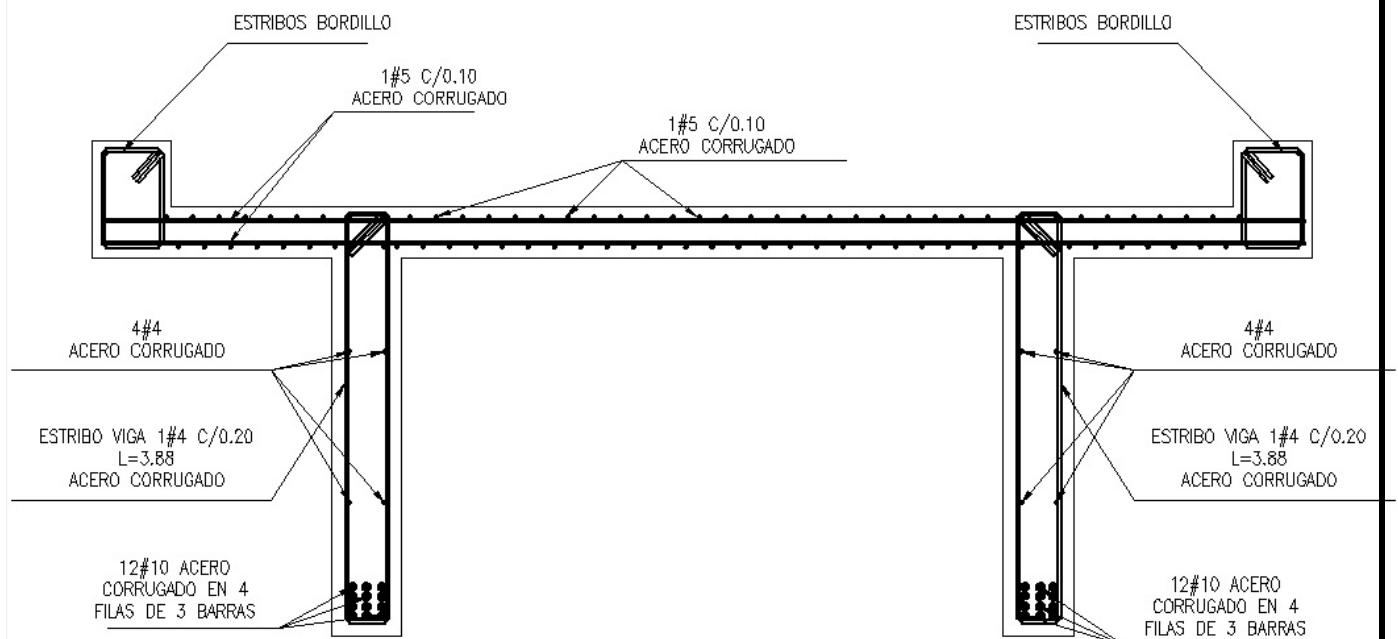
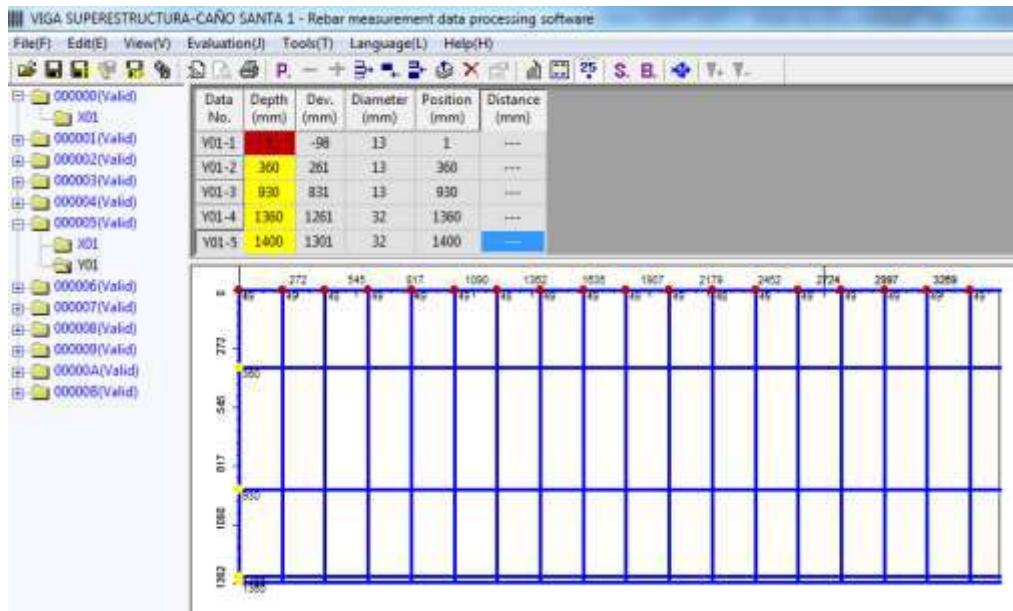


Figura 57. Resultados del ensayo de escáner en losa y vigas de la súper estructura

RESULTADOS DEL ESCANER PRIMER CUARTO DE LA LUZ  
RECUBRIMIENTO DEL CONCRETO Y DIAMETRO DE BARRAS DE ACERO VIGA  
SUPERESTRUCTURA  
**VIGA PUENTE SOBRE CAÑO MANACAL**  
**REFUERZO PRINCIPAL A MOMENTO**

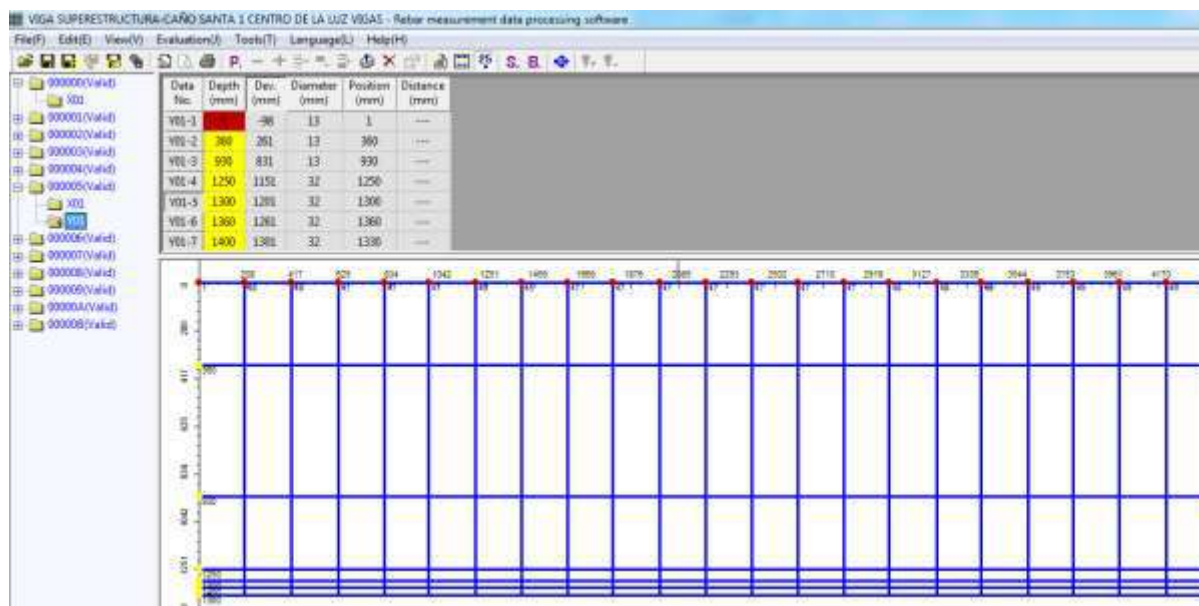




### Explicación de los resultados del Escáner:

Se muestra en la gráfica anterior el barrido lateral del escáner de la viga de la superestructura del puente donde se observa en la parte inferior el refuerzo principal donde existen dos filas de barras de 32 mm o barras No 10, existen barras de construcción de la viga de diámetro de 13 mm o No 4.

## RESULTADOS DEL ESCANER AL CENTRO DE LA LUZ DE LAS VIGAS RECUBRIMIENTO DEL CONCRETO Y DIAMETRO DE BARRAS DE ACERO VIGA SUPERESTRUCTURA VIGA PUENTE SOBRE CAÑO MANACAL REFUERZO PRINCIPAL A MOMENTO



### Explicación de los resultados del Escáner:

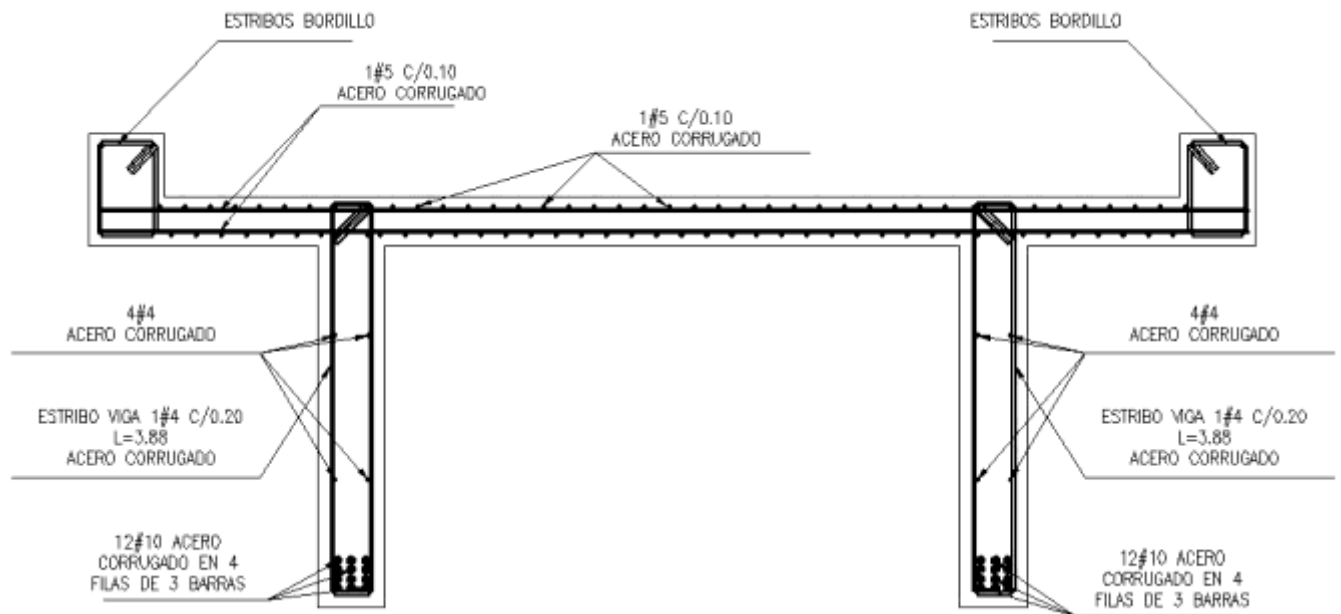
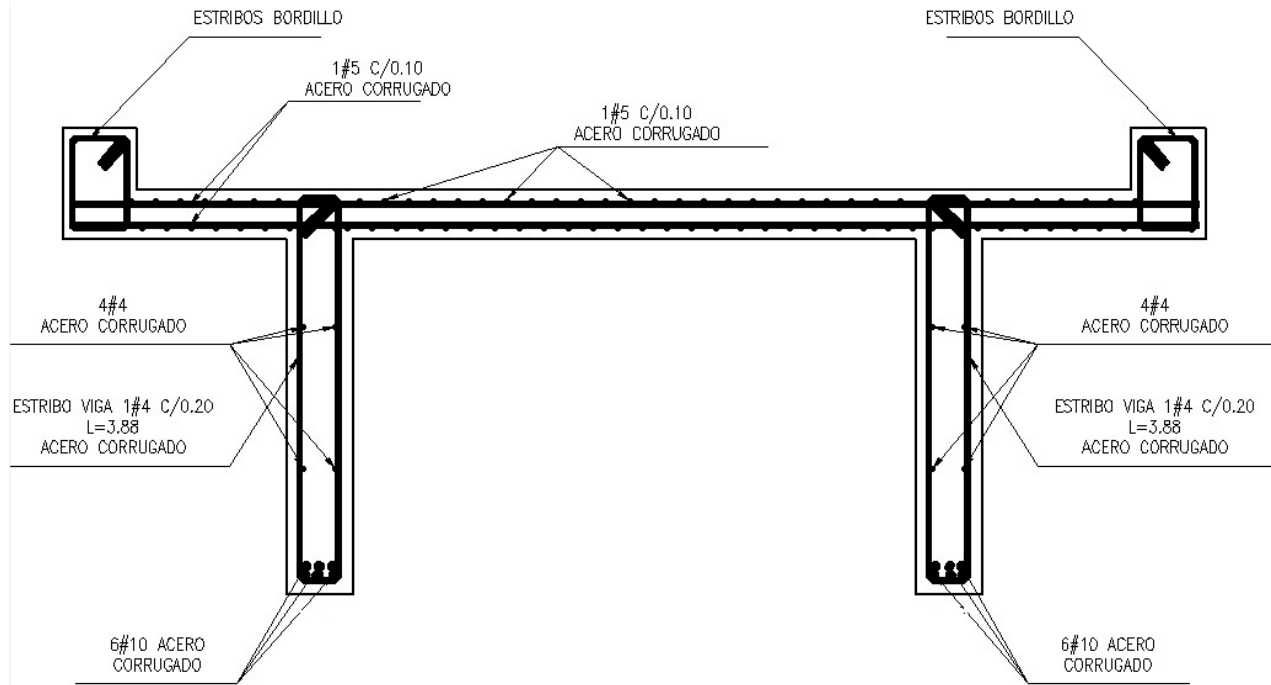
Se muestra en la gráfica anterior el barrido lateral del escáner de la viga de la superestructura del puente al centro de la luz donde se observa en la parte inferior el refuerzo principal donde existen cuatro filas de barras de 32 mm o barras No 10, existen barras de construcción de la viga en la parte superior de estas de diámetro de 13 mm o No 4.



A continuación se muestra la verificación de los datos arrojados por el escáner con las regatas físicas realizadas en la viga de la superestructura donde se evidencia físicamente los datos arrojados por el escáner.

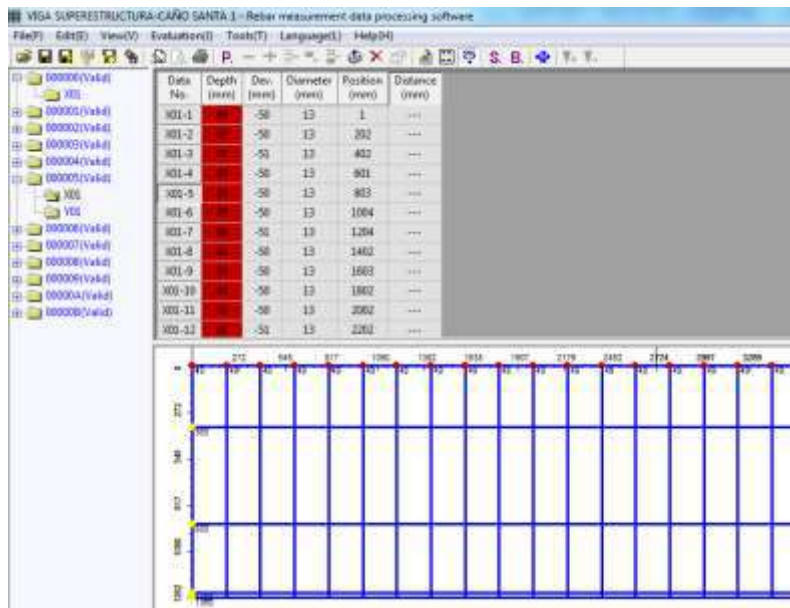


Figura 58. Comprobación del número de barras y diámetro de las vigas de la superestructura





RESULTADOS DEL ESCANER PRIMER CUARTO DE LA LUZ  
RECUBRIMIENTO DEL CONCRETO Y DIAMETRO DE BARRAS DE ACERO VIGA  
SUPERESTRUCTURA  
**VIGA PUENTE SOBRE CAÑO MANACAL**  
REFUERZO PRINCIPAL A CORTANTE



**Explicación de los resultados del Escáner:**

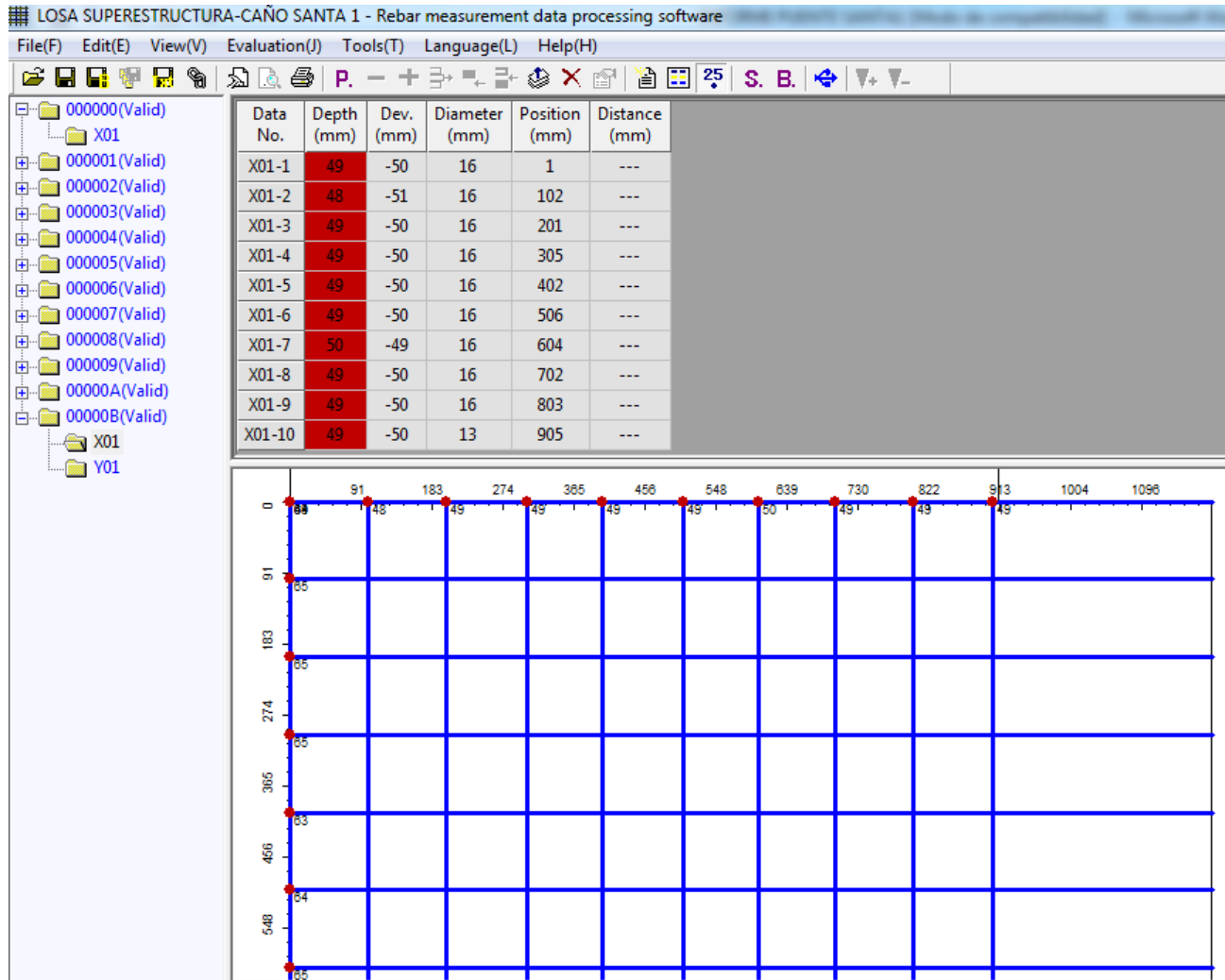
Se muestra en la gráfica el barrido lateral del escáner de la viga de la superestructura del puente donde se observa a diferencia de la gráfica presentada anterior los resultados del barrido longitudinal a la viga donde se aprecia el acero a cortante el diámetro de los estribos 13 mm o No 4 y la distancia entre estos 20 cm aproximadamente, cabe destacar que se muestra a continuación la verificación manual mediante regatas.



Figura 59. Resultados del ensayo de escáner en losa y vigas de la súper estructura



RESULTADOS DEL ESCANER  
RECUBRIMIENTO DEL CONCRETO Y DIAMETRO DE BARRAS DE ACERO LOSA  
SUPERESTRUCTURA  
**LOSA PUENTE SOBRE CAÑO MANACAL**





### Explicación de los resultados del Escáner:

Se muestra en la gráfica el barrido sobre el tablero con el escáner donde se aprecia el diámetro de la barra detectada 5/8" o barras No 5. Cada 10 cm aproximadamente en ambas direcciones.



Figura 60. Evidencia de escaneo de elementos estructurales del puente



Figura 61. Evidencia de la barra de acero de 5/8" extraída del tablero



## 6.15 DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LOS CONCRETOS DE LA ESTRUCTURA DEL PUENTE SOBRE EL CAÑO MANACAL

Se detectó en sitio varias calidades de los concretos de la estructura los cuales fueron fundidos con diferentes dosificaciones. Al realizar la extracción de núcleos en campo a la estructura del puente siguiendo la metodología de la NTC 3658, los especímenes en general fueron extraídos normalmente ya que la granulometría de los agregados encontrada en los núcleos es fina lo cual facilita la extracción, como se muestra a continuación.



Figura 62. Detalle del concreto de los núcleos extraídos donde se observa tamaños finos del agregado



Figura 63. Extracción de núcleos en el estribo del puente



Figura 64. Extracción de núcleos losa superestructura



Figura 65. Extracción de núcleos en vigas.

Se destaca que se extrajeron 9 núcleos de la estructura en estudio de los cuales solo 7 especímenes que representaban las mejores condiciones y relación de esbeltez se enviaron a laboratorio para la prueba de resistencia



Figura 66. Inventario de especímenes extraídos

Se destaca que existen en cada fundida de la estructura diferentes dosificaciones de la mezcla y por consiguiente diferentes resistencias del concreto, por lo que se procedió a realizar la esclerometría digital como se describe en el siguiente capítulo para establecer en forma real y coherente una resistencia a la compresión del concreto de la estructura.



## **6.16 PRUEBA DE ESCLEROMETRO DIGITAL NORMA ASTM C-805 – NTC 3692**

Estas pruebas se realizaron con un Esclerómetro Digital para control no destructivo del concreto siguiendo la norma ASTM-C 805, el cual nos permite estimar la resistencia a la compresión aproximada del concreto, basado en curvas de calibración con alta precisión, de igual forma se emplea para comparar la calidad del concreto entre diferentes áreas de la estructura.

Cabe destacar que las pruebas fueron realizadas con un esclerómetro digital de última generación marca (PROCEQ) el cual arroja resultados en tiempo real de la resistencia a compresión del concreto, los resultados con este equipo de última generación son de gran exactitud gracias al codificador de velocidad absoluta diferencial óptico, la medición inherentemente es independiente de la dirección del impacto, lo que significa que no es necesario realizar correcciones al equipo por posición arrojando el valor verdadero a compresión del concreto en forma directa.

El equipo posee una corrección integrada de la carbonatación y del factor de forma que proporciona una mayor exactitud de ensayo y una mayor fiabilidad en cuanto a los resultados del mismo.

La prueba de esclerómetro consiste en una barra de acero (émbolo), la cual recibe el impacto de una pieza de acero impulsada por un resorte. Este impacto se transmite a la superficie de concreto y debido a la resistencia de este, la pieza rebota y su desplazamiento máximo es registrado en una escala lineal fija al cuerpo del instrumento.

La zona de prueba debe tener por lo menos 150 mm de diámetro y 100 mm de espesor, para evitar lecturas erróneas debido a la elasticidad de la pieza. Todos los elementos sueltos deben fijarse rígidamente para efectuar la prueba.



Deben elegirse las superficies de prueba de acuerdo a la representatividad del área por evaluar, en función de su alta porosidad o textura rugosa. Cuando se desean comparar las características de dos elementos, estos deben tener aproximadamente la misma edad y condiciones de humedad, por lo que se procedió a realizar en campo esta comprobación.

Antes de la prueba deberá eliminarse de la superficie pintura, polvo o cualquier elemento no propio del concreto, que pueda afectar el índice de rebote en nuestro caso el equipo es de última generación y arroja el resultado inmediato en tiempo real de la resistencia a compresión del concreto. Cuando la superficie tenga irregularidades debidas a cimbras de madera no cepilladas, esta debe ser pulida con la piedra abrasiva hasta dejarla lisa. En concretos viejos, por consiguiente excesivamente duros, se deberá quitar hasta unos 10 mm de la capa superficial, en lo que corresponde a una superficie para efectuar de 10 a 12 impactos con el esclerómetro y realizar una corrección por carbonatación, según el frente de avance.

Cabe destacar que en los ensayos no destructivos realizados a los concretos de la estructura no se utilizaron esclerómetros mecánicos los cuales pueden presentar distorsión en los resultados debidos a las siguientes deficiencias:

1. El valor de rebote depende del ángulo de impacto.
2. El valor de rebote queda afectado por la fricción interna del equipo mecánico.
3. El ajuste limitado de los sellos causa pérdida prematura de la precisión por lo que los datos arrojados no son fiables.
4. El resultado que arroja es un índice de rebote aparente y no real el cual es adimensional que debe ser correlacionado en la curva del fabricante según la posición para obtener un valor de resistencia a la compresión pero no tiene en cuenta las correcciones por carbonatación en el material lo que implica casi siempre que los resultados no sean precisos.



### **Procedimiento**

Se coloca el esclerómetro en forma perpendicular sobre la superficie del concreto que se va a evaluar y se ejerce una pequeña presión para permitir que el embolo se libere y se deja que se extienda hasta alcanzar su máxima extensión, eliminando la presión sobre el martillo, cuidando siempre que se conserve la perpendicularidad y que la presión sea uniforme hasta que la masa interna del martillo golpee la superficie del concreto. Después del impacto se oprime el botón pulsador y se toma la lectura en la ventana de la escala graduada, registrando el índice de rebote, medido de 10 a 100, con dos cifras significativas.

Se deben eliminar las lecturas que difieran del promedio en más de 5 unidades y se determina un promedio final de las lecturas. Si más de 3 lecturas difieren en 6 unidades del promedio, se deben de descartar todas las lecturas.

Precisión. La prueba debe ser efectuada por un mismo operador, con un mismo dispositivo y en el mismo espécimen debe dar una precisión con una diferencia de máximo 10%, en nuestro caso las pruebas se realizan con equipo digital que arroja directamente el valor del concreto, previamente calibrado con curvas de calibración de los agregados de Colombia.



## RESULTADOS DE ESCLEROMETRIA DIGITAL LOSA SUPERESTRUCTURA PUENTE



Figura 67. Prueba 1 Esclerometria digital losa sobre el Tablero



Figura 68. Prueba 2 Esclerometria digital losa sobre el Tablero



Cabe destacar que se realizaron 20 pruebas (índices de Rebotes) donde cada ensayo realizado corresponde a 10 impactos siguiendo la metodología de la NTC-3692 y la ASTM C805, el promedio encontrado de la resistencia a compresión del concreto encontrado para la superestructura es:

ENSAYO ESCLEROMETRIA DIGITAL ASTM-C 805 - NTC-3691				
Referencia	Marca	Tipo	Resistencia F'c	Resistencia F'c
	Esclerometro		Concreto	Concreto
			(PSI)	(MPa)
ENSAYO No.1	PROSEQ	ELECTRONICO	1750	12,25
ENSAYO No.2	PROSEQ	ELECTRONICO	1700	11,9
	<b>PROMEDIO GENERAL F'c=</b>		<b>1725</b>	<b>12,075</b>

ENSAYO No.1 Corresponde a ensayo en losa

ENSAYO No.2 Corresponde a ensayo en losa

La resistencia obtenida de los ensayos estandarizados con esclerometria digital de la losa de la superestructura del puente sobre el Caño Manacal es F'c= 11,9 MPa (1725 PSI).

Cabe destacar que se realizó esta prueba adicional a las contratadas ya que el especialista detecto diferentes resistencias de concretos en la estructura.

#### **6.17 PRUEBA DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE NUCLEOS EXTRAIDOS NORMA NTC-3658 Y ENSAYO DE BARRAS CORRUGADAS NTC-2289**

Dentro del alcance de la exploración estructural, se realizó extracción de 9 núcleos a los concretos de la estructura y una barra de acero de la losa de la superestructura.



Figura 69. Extracción de núcleos puente sobre caño Manacal ingreso al pozo exploratorio Santa 1

De los núcleos extraídos de las estructuras del Puente, se enviaron los especímenes al laboratorio certificado por la Onac - E.I.E Echeverri , para la realización de los ensayos el laboratorio aliado el cual siguió la norma NTC-3658 y NTC-4025, con los siguientes resultados.

Muestra No.	Localización	Diam. mm	Altura mm	Mesa Ø	Área de Carga cm <sup>2</sup>	Altura Reforzado (mm)	H/D	Densidad g/cm <sup>3</sup>	Carga máx. N.	Esfuerzo Máximo Mpa	Factor de Corrección	Esfuerzo Corregido			
												Mpa	Mpa	Katzen <sup>2</sup>	1/100"
3	Losa Puente Acceso Santa 1	69,1	137,5	1194,9	37,50	140,2	2,03	2,317	73700	20	1,0000	19653	19,7	200,4	2650
6	Losa Puente Acceso Santa 1	68,9	132,6	1137,5	37,28	134,5	1,96	2,301	68600	18	1,0000	18399	18,4	187,6	2668
7	Losa Puente Acceso Santa 1	68,9	136,2	1157,7	37,28	139,2	2,02	2,280	72600	19	1,0000	19472	19,5	198,6	2623
4	Estribo Puente Acceso Santa 1	69,3	137,0	1141,8	37,72	140,0	2,02	2,210	58100	15	1,0000	15403	15,4	157,1	2234
5	Estribo Puente Acceso Santa 1	69,2	117,7	1006,5	37,61	120,8	1,75	2,278	56700	15	0,9732	14672	14,7	149,6	2128
1	Viga Puente Acceso Santa 1	68,5	101,3	832,5	36,85	105,3	1,54	2,230	70600	19	0,9528	18253	18,3	196,1	2647
2	Viga Puente Acceso Santa 1	69,1	136,3	1148,3	37,50	138,5	2,00	2,247	67400	18	1,0000	17973	18,0	183,3	2608

De los resultados obtenidos por el laboratorio aliado se halló una resistencia a la compresión de los concretos de la losa de la superestructura promedio de  $F'c=19.20$  MPa (2780 PSI) , de las vigas de la superestructura de  $F'c= 18,1$  MPa (2627 PSI) y de los estribos de  $F'c= 15,0$  MPa (2181 PSI).



Sin embargo se detectó en campo diferentes calidades de concretos con resistencias más bajas como se mostró en las pruebas de esclerometría digital.

### **ENSAYO DE BARRAS CORRUGADAS NTC-2289**

Se realizó el ensayo del acero con la norma NTC-2289 esta norma tiene por objeto establecer que el acero cumpla con los requisitos y propiedades para las construcciones de diseño sismo resistente en especial el “GRADO” el cual establece un único límite de fluencia mínimo nominal de 420 MPa (60.000 PSI) (42 Kgf/mm<sup>2</sup>) designado como grado 60.

En sitio el grupo consultor realizo extracción del espécimen de acero de la losa de la superestructura como se muestra a continuación:



Figura 70. Barra extraída de la losa del puente Manacal



A continuación se muestra los resultados de los ensayos al acero de la losa del puente

RESULTADOS OBTENIDOS			
Muestra No.	1		Especificación de norma
Referencia	Barra de Acero		
Longitud de la probeta (mm)	340,0		
Masa (g)	500,0		
Relación masa / longitud (Kg/m)	1,471		Mínimo 1,459
Diámetro equivalente (mm)	15,44		
Diámetro nominal (mm)	15,90		
Área nominal (mm <sup>2</sup> )	198,6		
Longitud calibrada (mm)	200,0		
Longitud final (mm)	237,0		
Elongación (%)	18,5		Mínimo 14
Fuerza máxima (N)	116530		
Fuerza en el límite de fluencia (N)	84177		
Esfuerzo máximo a tracción (Mpa)	586,9		Mínimo 550
Esfuerzo en el límite de fluencia (Mpa)	423,9		Entre 420 y 540
Relación tracción / fluencia	1,38		Mínimo 1,25

sobre el caño Manacal

Cabe destacar que en la prueba del acero extraído de la losa de la superestructura fue mayor a 420 Mpa, por lo que el acero es de alta resistencia y cumple con la norma NTC-2289.



## 7.0 RESULTADOS DE LA PATOLOGÍA Y PROPUESTA DE INTERVENCIÓN RECOMENDADA

### PATOLOGÍA PUENTE SOBRE CAÑO MANACAL INGRESO AL POZO EXPLORATORIO SANTA 1

#### Fisuras

Se detectó fisuras en las dos vigas casi simétricas de la superestructura distanciadas aproximadamente 3.3 m aproximadamente 1/6 de la luz del puente dichas fisuras al compararlas con las normas estandarizadas sobrepasan el ancho permitido por la reglamentación prescrita por el ACI (American Concrete Institute) ACI224, como también la reglamentación del Eurocodigo y la norma NTC 5551, como se presentó en la evidencia y medición en sitio al realizar la prueba de microscopio de barrido (Ver Capítulo 6.9), cabe destacar que para esta estructura el máximo permitido es 0,3 mm y presenta en las vigas fisuras entre 1,4 mm y 1,5 mm como se aprecia a continuación:



Figura 71. Fisuras en las vigas levantadas con microscopio de barrido



Figura 72. Detalle de fisuras en las vigas del puente

### **Corrosión del Acero**

La estructura del puente presenta corrosión puntual en la losa de la superestructura en la zona inferior y en zonas puntuales de las vigas, resultado de esto el concreto ha sufrido daños directos debido a la expansión del acero que es consecuencia de la corrosión del acero como se explicó en el capítulo 6.10 se muestra a continuación en la memoria fotográfica la evidencia recopiladas.



### Carbonatación del Concreto

Como resultado de este ensayo directo sobre los núcleos extraídos se obtuvo que el concreto presenta un frente de avance errático en las vigas fluctuando el frente de carbonatación entre 3,0 cm a 4,0 cm como se evidencia en el registro fotográfico siguiente.





Figura 73. Se evidencia que el frente de carbonatación en el concreto es errático el cual avanzo entre 3 a 4 cm.

Al realizar las pruebas de carbonatación de núcleos extraídos en la losa del tablero se aprecia que el reactivo no se activó, por lo que el concreto de la totalidad del tablero esta carbonatado como se observa a continuación lo que valida y confirma que el acero de la losa está desprotegido y está a merced de la corrosión.



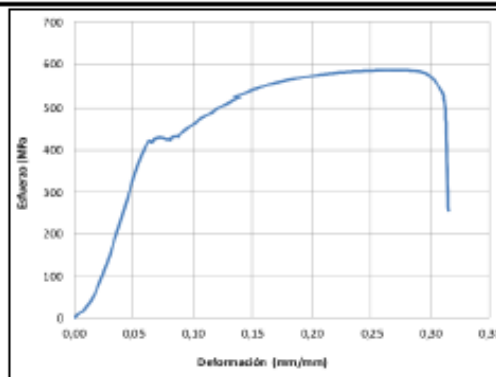


### Ensayo De Tracción Del Acero

Se realizó el ensayo del acero con la norma NTC-2289 esta norma tiene por objeto establecer que el acero cumpla con los requisitos y propiedades para las construcciones de diseño sismo resistente en especial el “GRADO” el cual establece un único límite de fluencia mínimo nominal de 420 MPa (60.000 PSI) (42 Kg/mm<sup>2</sup>) designado como grado 60.

De los resultados obtenidos se establece que el acero cumple dicho requerimiento como a continuación se muestra en el ensayo.

RESULTADOS OBTENIDOS			
Muestra No.	1		Especificación de norma
Referencia	Barra de Acero		
Longitud de la probeta (mm)	340,0		
Masa (g)	500,0		
Relación masa / longitud (Kg/m)	1,471		Mínimo 1,450
Diámetro equivalente (mm)	15,44		
Diámetro nominal (mm)	15,90		
Área nominal (mm <sup>2</sup> )	198,6		
Longitud calibrada (mm)	200,0		
Longitud final (mm)	237,0		
Elongación (%)	18,5		Mínimo 14
Fuerza máxima (N)	116530		
Fuerza en el límite de fluencia (N)	84177		
Esfuerzo máximo a tracción (Mpa)	586,9		Mínimo 550
Esfuerzo en el límite de fluencia (Mpa)	423,9		Entre 420 y 540
Relación tracción / fluencia	1,38		Mínimo 1.25





### Prueba de resistencia a la compresión de núcleos extraídos norma NTC-3658

Se realizó extracción de 9 núcleos a los concretos de la estructura específicamente de las 4 de las vigas, 3 del tablero y 2 de estribos, los especímenes se enviaron al laboratorio certificado por la Onac - E.I.E Echeverri, para la realización de los ensayos el laboratorio aliado siguió la norma NTC-3658. Cabe destacar que de los 9 especímenes extraídos, Se enviaron al laboratorio 7 unidades las cuales representaban las mejores condiciones y relación de esbeltez. A continuación se muestran los resultados obtenidos.

Muestra No.	Localización	Diam. mm	Altura mm	Masa g	Área de Carga cm <sup>2</sup>	Altura Rebentado (mm)	HD	Densidad g/cm <sup>3</sup>	Carga máx. N	Esfuerzo Máximo Mpa	Factor de Corrección	Esfuerzo Corregido			
												Kpa	Mpa	Ksi/cm <sup>2</sup>	Lbs/in <sup>2</sup>
3	Losa Puente Acceso Santa I	69,1	137,5	1194,9	37,50	140,2	2,03	2,317	73700	20	1,0000	15053	19,7	200,4	2850
6	Losa Puente Acceso Santa I	68,9	132,6	1137,5	37,26	134,5	1,95	2,301	66600	18	1,0000	18399	18,4	187,6	2668
7	Losa Puente Acceso Santa I	68,9	136,2	1157,7	37,26	139,2	2,02	2,280	72600	19	1,0000	15472	19,5	198,6	2823
4	Estribo Puente Acceso Santa I	69,3	137,0	1141,6	37,72	140,0	2,02	2,210	58100	15	1,0000	15403	15,4	157,1	2234
5	Estribo Puente Acceso Santa I	69,2	117,7	1008,5	37,61	120,8	1,75	2,278	56700	15	0,9732	14672	14,7	149,6	2128
1	Viga Puente Acceso Santa I	68,5	101,3	832,5	36,85	105,3	1,54	2,230	70600	19	0,9628	18253	18,3	186,1	2647
2	Viga Puente Acceso Santa I	69,1	136,3	1148,3	37,50	138,5	2,00	2,247	67400	18	1,0000	17973	18,0	183,3	2606

De los resultados obtenidos por el laboratorio aliado se halló una resistencia a la compresión de los concretos de la losa de la superestructura promedio de  $F'c=19.20$  MPa (2780 PSI) , de las vigas de la superestructura de  $F'c= 18,1$  MPa (2627 PSI) y de los estribos de  $F'c= 15,0$  MPa (2181 PSI).

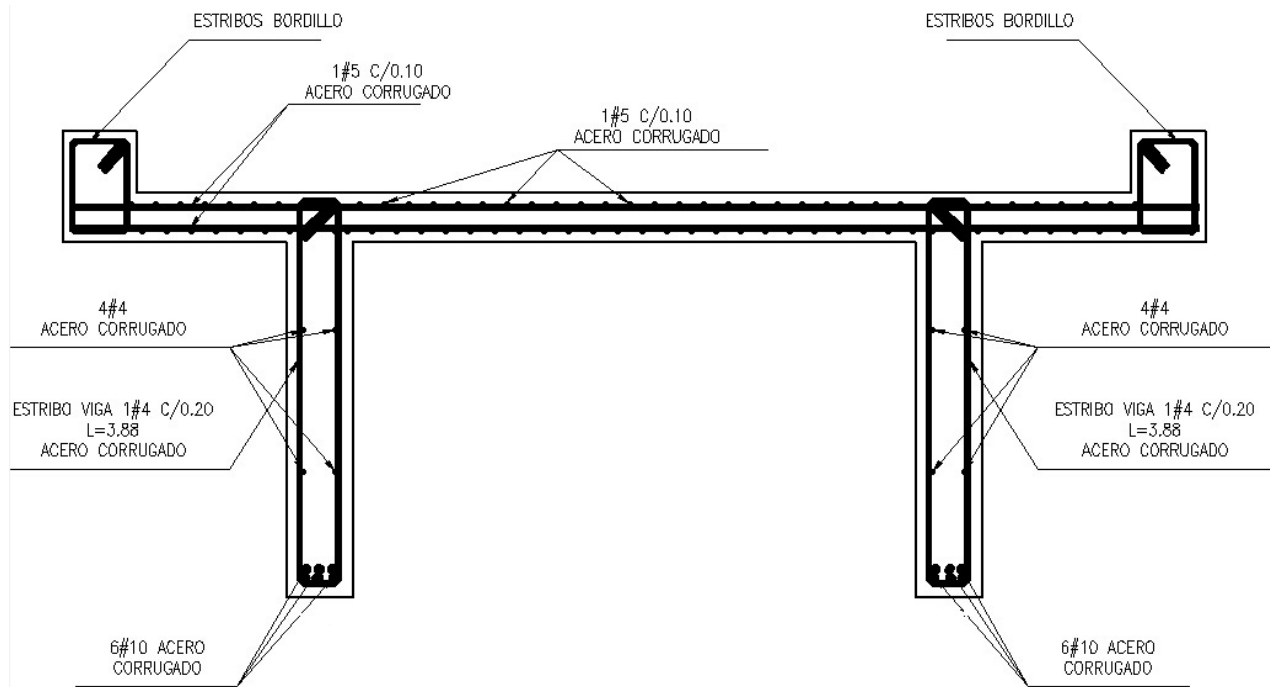
Sin embargo se detectó en campo diferentes calidades de concretos con resistencias más bajas como se mostró en las pruebas de esclerometría digital.



## Prueba de Escáner en elementos estructurales según el ACI 228-2R

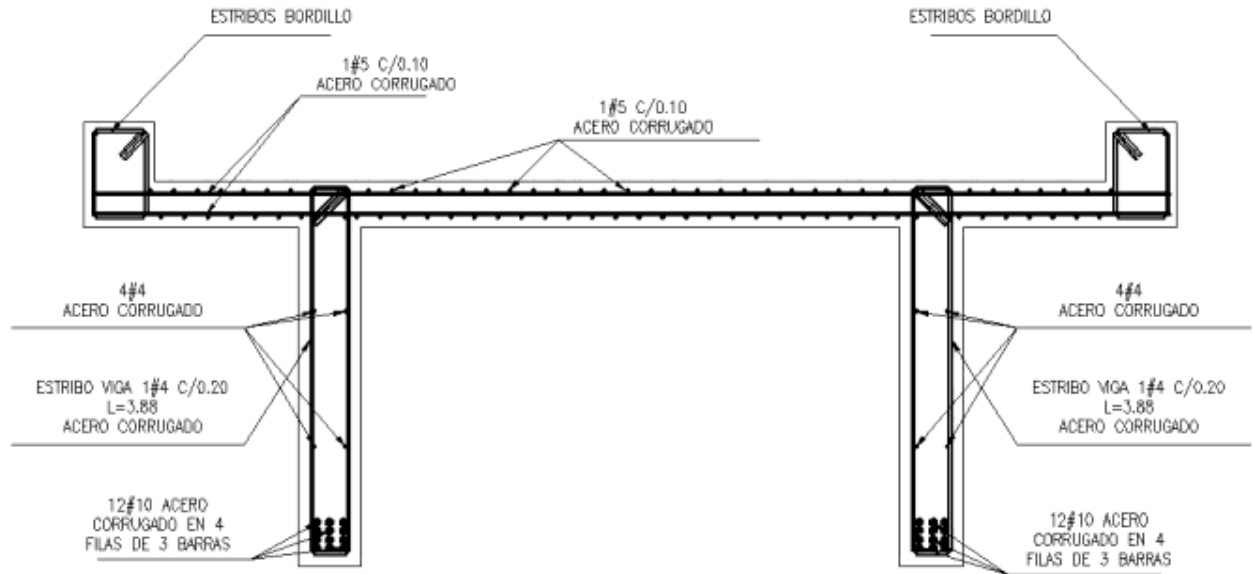
De las pruebas de escáner e inspección física de los aceros en sitio arrojo el siguiente resultado de armado de la estructura.

### ARMADO DE LA ESTRUCTURA EN EL PRIMER CUARTO DE LA LUZ





### ARMADO DE LA ESTRUCTURA EN EL CENTRO DE LA LUZ



Como información adicional el consultor realizo averiguaciones con los Habitantes de la zona preguntando la fecha aproximada de construcción del puente en estudio la cual respondieron que era aproximadamente del año 1968.



## 7.1 PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Teniendo en cuenta la información recopilada a través del estudio de patología, como lo es la geometría de la estructura objeto de estudio, la caracterización mecánica de los materiales, se procedió a realizar una evaluación estructural del Puente, para verificar de acuerdo a los arrojado por el estudio de patología, la respuesta estructural del Puente.



Figura 74. Datos de entrada para el modelo estructural de acuerdo a la información



A continuación se presenta el acero requerido según el análisis estructural, para la losa y para las vigas.

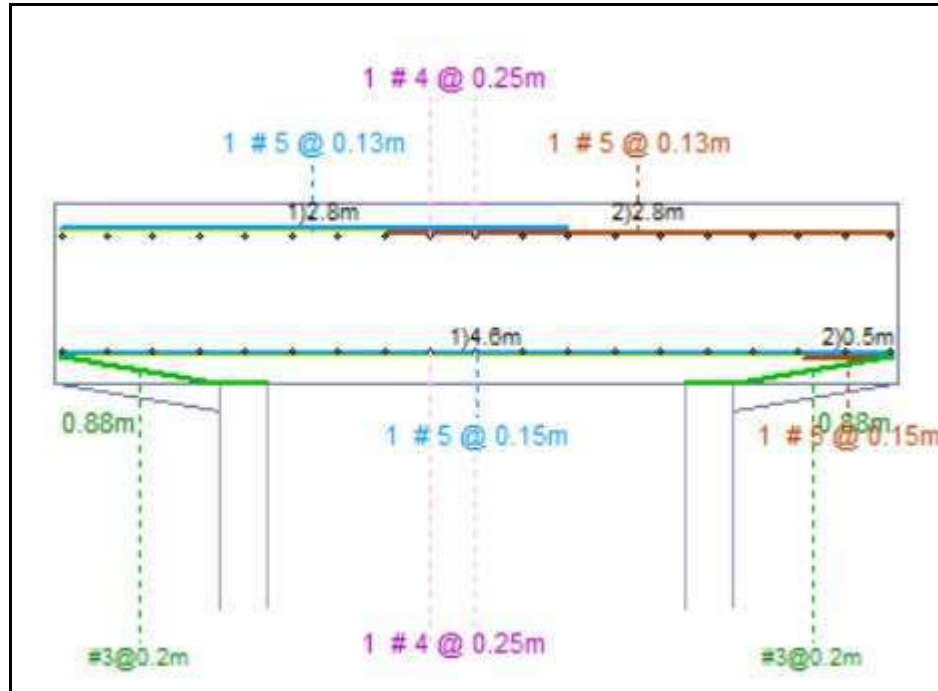


Figura 75. Acero de refuerzo requerido para la losa del puente

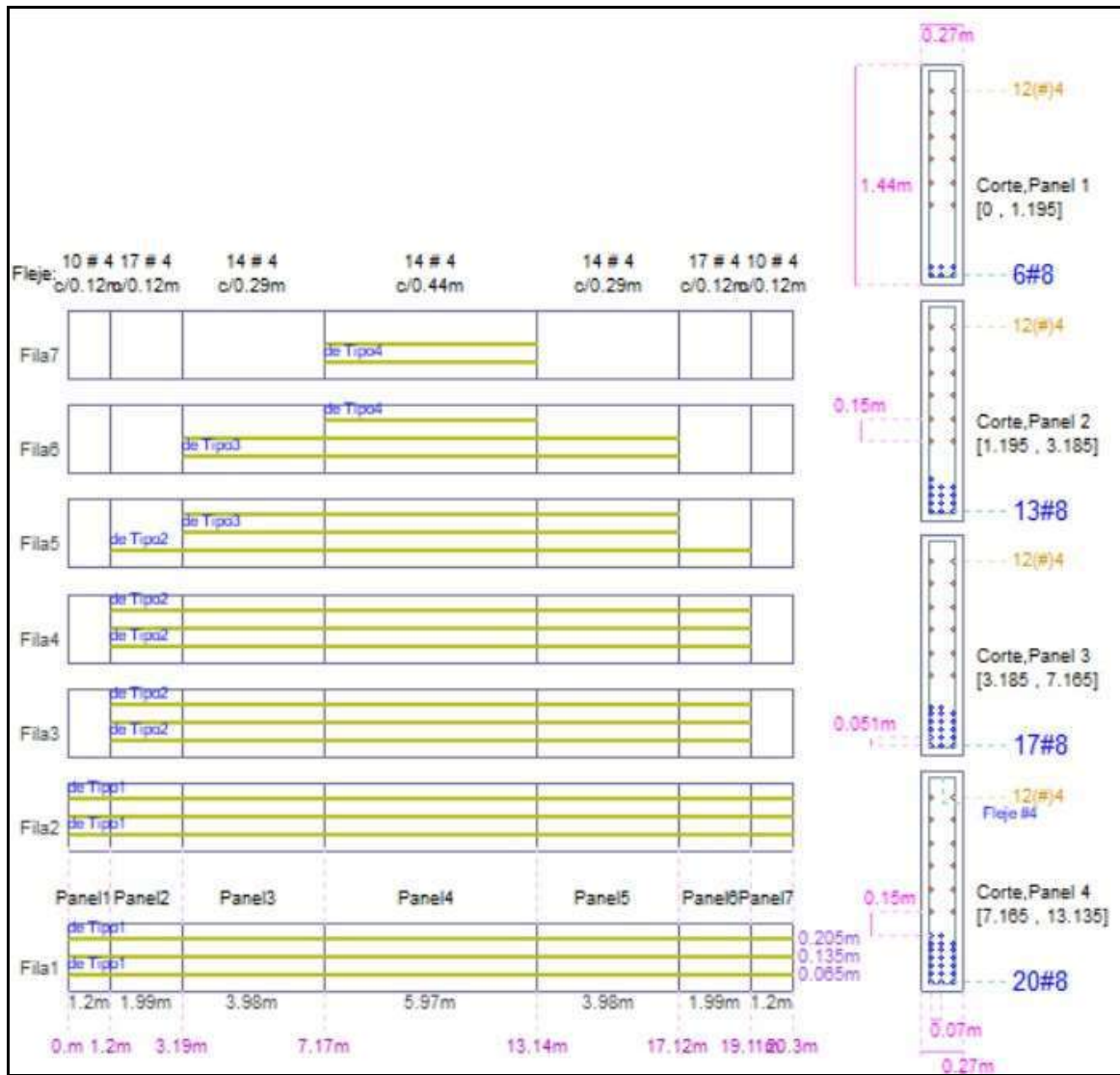
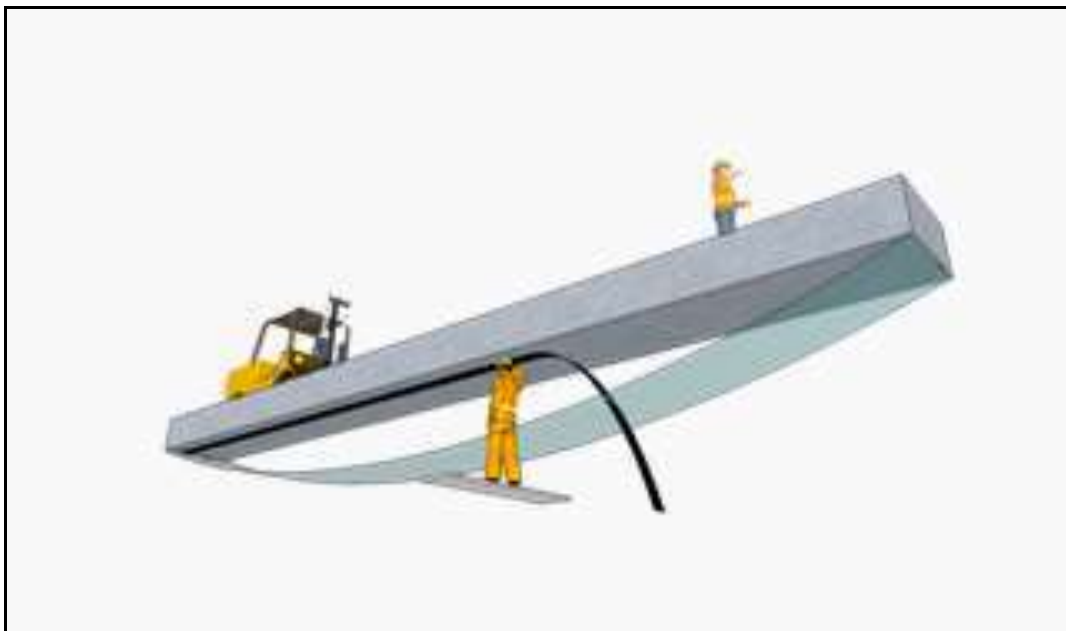


Figura 76. Acero de refuerzo requerido para cada una de las vigas del puente



Al comparar los datos del refuerzo requerido una vez realizado el análisis estructural, contra el acero contra los datos del acero existente se identifica que el acero de la losa cumple la cuantía requerida según el diseño estructural, sin embargo, como ya se reportó en el presente estudio, el acero de refuerzo de la losa esta afectado ya por la corrosión, por lo que puntualmente para la losa superior se plantea entonces la demolición y reconstrucción utilizando concreto de 3.000 PSI o 21 MPA con un refuerzo de barras No. 5 cada 13 cms en ambas direcciones.

Para el acero del refuerzo de las vigas se identifica que se requieren 20 barras No. 8 que representan 102 cm<sup>2</sup> y el existente corresponde a 12 barras No. 10 que representan 95 cm<sup>2</sup>, siendo menor lo existente a lo requerido, por lo que teniendo en cuenta las fisuras existentes en las vigas y la deficiencia en el refuerzo ya identificada se propone entonces plantear como alternativa de intervención, sello de fisuras y posteriormente la instalación de un refuerzo Principal y Lateral FRP (Sika® CarboDur® S512 US) dispuesto de la siguiente manera sobre cada una de las vigas.





**. Refuerzo principal FRP**

Pegado. Sika CarboDur® S

Sika® CarboDur® S512 (US)	Número	E <sub>f</sub> (MPa)	Espesor t <sub>f</sub> (mm)	ε <sub>fu</sub>	Ancho (mm)
Capa: 1	5	160000.00	1.200	0.0170	50.00
Capa: 2	5				
Capa: 3	5				

**3.2. Refuerzo lateral FRP**

Pegado. Sika CarboDur® S

Sika® CarboDur® S512 (US)	Número	E <sub>f</sub> (MPa)	Espesor t <sub>f</sub> (mm)	ε <sub>fu</sub>	Ancho (mm)
Alma	2 x 27	160000.00	1.200	0.0170	50.00

Disposición de refuerzo Principal y Lateral FRP (Sika® CarboDur® S512 US)

El Calculo del refuerzo se hizo con el freeware SIKI CARBODUR y el reporte respectivo se presenta en los anexos.

**INYECCIÓN DE RESINAS EPOXI A LAS VIGAS DE LA SUPERESTRUCTURA**

Mediante la inyección de resinas epoxi se pueden adherir fisuras de muy poca abertura, hasta 0,05 mm hasta 2 mm. La técnica generalmente consiste en establecer bocas de entrada y venteo a intervalos poco espaciados a lo largo de las fisuras, sellar la fisura en las superficies expuestas e inyectar la resina epoxi a presión es la solución más adecuada como se especifica en el ACI-503R.

La inyección de resinas epoxi se ha usado exitosamente para reparar fisuras en edificios, puentes, presas, tanque y cimentaciones y otros tipos de estructuras de hormigón (ACI 503R).

Siguiendo las reglamentaciones el procedimiento que se debe seguir es el siguiente:

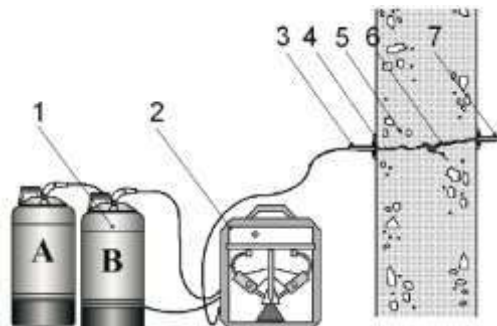
Ubicar las fisuras de las vigas que tengan una abertura mayor a 1 mm con una regla de fisuras, las cuales deberán inyectarse con resina epoxi las microfisuras restantes menores a 1 mm se aplicara dos capas de pintura Sika Color C para sellar el ingreso de agentes ambientales para que no afecten el acero de refuerzo de las vigas

Limpiar las fisuras removiendo aceites, grasas, polvo y partículas finas del concreto, para lograr mejor penetración y adherencia de la resina. Preferiblemente debe realizarse soplando con aire a presión.



Luego se sella la grieta con SIKADUR PANEL, (adhesivo epóxico de dos componentes, libre de solventes), aplicado con espátula sobre la grieta, creando un sistema de vasos comunicantes. Inmediatamente, se procederá a colocar boquillas plásticas de ¼' sobre las mismas, distanciadas cada 20 cm (de abajo hacia arriba) y pegadas con SIKADUR PANEL.

Después de fraguado el epoxico, se procederá a inyectar la resina SIKADUR 35-HI MOD LV, que es un adhesivo con resina epóxico, de alta resistencia y baja viscosidad, insensible a la humedad, de dos componentes y 100% sólidos; empezando por la boquilla más baja, hasta que el producto salga por la boquilla inmediatamente superior o se estime que no entra más. Esta inyección, se hará con ayuda de una olla de inyección donde se colocara el epoxico ya mezclado, conectada a un compresor que proporcionara una presión de 3000 libras que empujara el SIKADUR 35-HI MOD LV haciendo que penetre por las boquillas a la grieta.



Tanto el SIKADUR PANEL como el SIKADUR 35-HI MOD LV son productos epóxico de dos componentes ( A y B ) que se deben mezclar en pequeñas cantidades para evitar que por el calor reaccionen rápidamente. Estos productos se deben tener refrigerados.





Teniendo en cuenta la propuesta de Intervención recomendada, se presente a continuación el Presupuesto estimado:

PRESUPUESTO INTERVENCIÓN PUENTE CAÑO MACANAL REFORZAMIENTO CON LAMINAS DE SIKACARBODUR E INYECCIÓN FISURAS Y RECONSTRUCCIÓN DE LOSA SUPERIOR					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO \$COL	VALOR PARCIAL \$COL
1.0	<u>1,1 - Localizacion para Instalar Platinas Sika Carbodur S1012</u>	M2	150.00	\$15,000.00	\$2,250,000.00
2.0	<u>DEMOLICIÓN CONCRETO ESTRUCTURAL (INCLUYE CARGUE Y RETIRO DE SOBRESANTES A UNA DISTANCIA DE 5KM).</u>	M3	30.00	\$174,000.00	\$5,220,000.00
3.0	<u>CONCRETO 3000 PSI</u>	M3	30.00	\$561,000.00	\$16,830,000.00
4.0	<u>Acero de Refuerzo</u>	Kg	3,000.00	\$8,400.00	\$25,200,000.00
5.0	<u>2,1 - Aplicación de Adhesivo Sikadur 30 sobre las Vigas para adherencia fibra de Carbono Platinas Sika Carbodur S1012</u>	ML	360.00	\$83,000.00	\$29,880,000.00
6.0	<u>3,1 - Instalacion de Platinas Sika Carbodur S1012- Platinas de 100 MM de ancho y 1.2 mm de espesor de fibra de carbono para refuerzo estructural</u>	ML	360.00	\$272,000.00	\$97,920,000.00
7.0	<u>4,1- Aplicación de Sikadur 510 ((Arena de Cuarzo Alta Utilizada sobre la lamina de refuerzo sika carbodur S1012).</u>	ML	360.00	\$10,000.00	\$3,600,000.00
8.0	<u>5,1- Aplicación de Sikadur Color C (Sello de Microfisuras de ancho menor a 1 mm).</u>	M2	150.00	\$20,000.00	\$3,000,000.00
9.0	<u>6,1- Sello de Fisuras con ancho mayor a 1 mm con resina Epoxica Sikadur 35 Hi Mod LV</u>	KG	10.00	\$330,000.00	\$3,300,000.00
<b>A</b>	<b>TOTAL COSTO DIRECTO</b>				<b>\$187,200,000.00</b>
	ADMINISTRACIÓN			10.00%	\$18,720,000.00
	IMPREVISTOS			5.00%	\$9,360,000.00
	UTILIDAD			5.00%	\$9,360,000.00
<b>B</b>	<b>TOTAL COSTO INDIRECTO</b>				<b>\$37,440,000.00</b>
<b>C</b>	IVA (SOBRE UTILIDAD)			19.00%	\$1,778,400.00
<b>F</b>	<b>TOTAL IVA INCLUIDO</b>				<b>\$226,418,400.00</b>



De acuerdo al presupuesto de Intervención se presenta a continuación el Cronograma de Obra para el desarrollo de los trabajos planteados:

Id	Mod de tarea	Item	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Prede	Nombres de los recursos	Unid	Cantid	Costo	jun   jul   ago   sep				
1			PROYECTO	39 días	jue 1/07/21	mar 24/08/21					\$187,200,000	0%				
2			INTERVENCIÓN PUENTE CAÑO MACANAL REFORZAMIENTO CON LAMINAS DE SIKACARBODUR E INYECCIÓN FISURAS Y RECONSTRUCCIÓN DE LOSA	39 días	jue 1/07/21	mar 24/08/21					\$187,200,000	0%				
3		1.0	Localización para Instalar Platinas Sika Carbodur S1012	3 días	jue 1/07/21	lun 5/07/21		COMISION TOPOGRAFIC	M2	150,00	\$2,250,000					
4		2.0	Demolición concreto estructural (Incluye cargue y retiro de sobrantes a una distancia de 5km)	7 días	jue 5/07/21	vie 16/07/21		3CC+5 días DE EXCAVACION DE	M3	30,00	\$5,220,000					
5		3.0	Concreto 3000 PSI	12 días	vie 16/07/21	lun 2/08/21		4CC+6 c	CUADRILLA C M3	30,00	\$16,630,000	0%				
6		4.0	Acero de Refuerzo	6 días	lun 19/07/21	mie 28/07/21		4	CUADRILLA D Kg	3.000,00	\$25,200,000					
7		5.0	Aplicación de Adhesivo Sikadur 30 sobre las Vigas para adherencia fibra de Carbono Platinas Sika Carbodur S1012	4 días	jue 29/07/21	mar 3/08/21		6	CUADRILLA CONFORMACION DE	ML	360,00	\$29,560,000				
8		6.0	Instalación de Platinas Sika Carbodur S1012- Platinas de 100 MM de ancho y 1.2 mm de espesor de fibra de carbono para refuerzo estructural	7 días	vie 6/08/21	lun 16/08/21		7FC+2 días	CUADRILLA CONFORMACION DE CONCRETOS	ML	360,00	\$97,920,000	0%			
9		7.0	Aplicación de Sikadur 510 ((Arena de Cuarzo Alta Utilizada sobre la lamina de refuerzo sika carbodur S1012)	3 días	mie 4/08/21	vie 6/08/21		7	CUADRILLA CONFORMACION DE	ML	360,00	\$3,600,000				
10		8.0	Aplicación de Sikadur Color C (Sello de Microfibras de ancho menor a 1 mm)	5 días	lun 16/08/21	vie 20/08/21		8FC+5 días	CUADRILLA CONFORMACION DE	M2	150,00	\$3,000,000				
11		9.0	Sello de Fisuras con ancho mayor a 1 mm con resina Epoxica Sikadur 35 HI Mod LV	2 días	lun 23/08/21	mar 24/08/21		10	CUADRILLA CONFORMACION DE	KG	10,00	\$3,300,000				

Progreso de tarea crítica		Tareas críticas		Resumen manual	
Tarea		División crítica		Resumen del proyecto	
División		Línea base		Tareas externas	
Progreso de tarea		División de la línea base		Hito externo	
Tarea manual		Hito de línea base		Tarea inactiva	
solo el comienzo		Hito		Hito inactivo	
solo fin		Progreso del resumen		Resumen inactivo	
solo duración		Resumen		Fecha límite	



## 8.0 CONCLUSIONES

De acuerdo con los Objetivos específicos planteados para el desarrollo del presente trabajo académico se presentan las siguientes conclusiones:

Mediante inspección visual de los elementos estructurales existentes se generaron las correspondientes fichas de clasificación de las lesiones presentes en los elementos estructurales del Puente de losa y vigas en concreto reforzado sobre el Caño Manacal, las cuales se clasificaron como: corrosión, fisuras, humedades, eflorescencias, suciedades. De igual manera como parte de los trabajos de campo, se realizó el levantamiento geométrico de toda la estructura generando los respectivos planos y sobre los mismos se localizaron las lesiones presentes. Tanto las fichas de lesiones como los planos generados, se presentan en los anexos del presente documento.

Se determinó a través de los resultados de los ensayos Destructivos, No Destructivos y resultados de laboratorio las características mecánicas y de resistencia de los materiales con los cuales se construyeron los elementos estructurales del Puente de losa y vigas en concreto reforzado sobre el Caño Manacal y se utilizaron como inputs para realizar un modelo computacional del puente determinando que la estructura existente de acuerdo a la normativa vigente no cuenta con una adecuada capacidad estructural

De acuerdo a los resultados del modelo estructural realizado, donde se determinó que el puente existente no cuenta con una adecuada capacidad estructural, se presenta y se evalúa una propuesta de reconstrucción de la losa del puente y de mantenimiento, sellado de fisuras, grietas y reforzamiento a través de elementos adicionales de fibras de carbono para las dos vigas longitudinales

Se presenta un Presupuesto y un Cronograma de Obra para la implementación de la alternativa técnica de intervención recomendada, por valor de \$ 226.418.400 Pesos Colombianos y un plazo de ejecución de 39 días calendario.



## 9.0 BIBLIOGRAFIA

- BROTO, CARLES (2005). Enciclopedia Broto De Patología De La Construcción. Link international, 2005
- CALAVERA RUIZ, JOSÉ (1996). Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado, Bogotá 1996.



## **10.0 ANEXOS**

**ANEXO 1 – FICHAS DE LEVANTAMIENTO DE LESIONES**

**ANEXO 2 - LEVANTAMIENTO GEOMETRIA DE LA ESTRUCTURA**

**ANEXO 3 - LEVANTAMIENTO REFUERZO EXISTENTE**

**ANEXO 4 – MEMORIA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL**

**ANEXO 5 – MEMORIA CÁLCULO DE REFUERZO**



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS  
VICERRECTORIA DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA  
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA  
ESPECIALIZACIÓN EN PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

CLASIFICACIÓN Y TIPIFICACIÓN DE LAS LESIONES EN LA PATOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

LESIÓN FISURAS  
LOCALIZACIÓN GENERAL DE LA LESIÓN

DATOS DE LA ESTRUCTURA EN ESTUDIO

CONTEXTO LOCAL Y/O REGIONAL (Factores Físicos y Ambientales)	AMENAZA	Sísmica	Alta (0,2 a 0,4)	X	Media (0,1 a 0,2)	Baja (0,05 a 0,1)	
		Remoción en masa	Muy alta -Alta		Media	Baja-Muy Baja	X
		Erosion	Severa		Moderada	X	Leve
		Inundaciones	Alta	X	Media	Baja	
		Volcanica	Alta		Media	Baja	X No Aplica
		Otras (tecnologica)	Alta		Media	Baja	X
	MEDIO AMBIENTE	Humedad (%)	71	viento (km/h)	80 km/h NSR-10		
		Precipitacion (mm/año)	2160	Tiempo Retorno	50 años	frecuencia	220 L/h.seg
		Temperatura Calido(>24C)	36.9	Medio (18 a 24C)		frio (6 a 18 C)	
		Otros: La temperatura y Humedad fueron med					



Datos de la Construccion	Fecha	Estimada 198	No. pisos,(si aplica)	No	Sistema Constructivo	Aporticado	X	Muros portantes	
	Area construida	55,38 M2	Intervenciones	No		Industrializados		Masivos	
	Are lote		Nota			Combinados			
Localización	El puente en concreto reforzado de losa y vigas ubicado en el Departamento del Meta, se encuentra situado en la vía de ingreso al pozo exploratorio Santa 1 a una distancia aproximada de 22 Km de la Ruta Nacional 65A la cual conecta los municipios de Granada y la Uribe, el ingreso a la vía para el pozo exploratorio Santa 1 se realiza por la trocha 13A. La estructura se situada en las coordenadas Magna sirgas 1.044.148,063E, 851.594,94N.					Puente de Losas y Vigas Reforzadas			
Uso:	Inicial	vehicular		Actual					

Estudio Patologico:		Historia Clínica				CAUSAS								DESCRIPCIÓN DE LA LESIÓN	
Tipo Lesiones encontradas y descritas (auscultamieto)	Cimientos	Estructuras	Cerramiento	Acabados	Causas Directas				Causas Indirectas						
					Fisica	Mecanica	Quimica	Biologica - ambiental	Diseno	Ejecucion	Material	Mantenimiento			
Humedades															FISURAS GENERALIZADAS EN LAS VIGAS
Suciedades															
Eflorescencias															
Fracturas y/o Grietas															
Fisuras		x			x	x			x	x			x		
Desprendimientos															
Oxidacion y corrosion															
Erosiones															
Organismos	Animales														
	Vegetales														
Estructurales	Deformaciones	Vertical													
		Horizontal													
	Giro														
Actualizacion a norma															



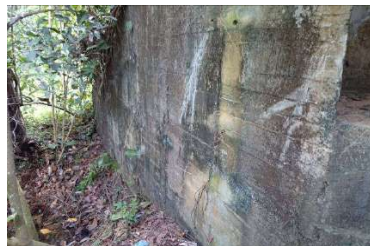
DIAGNOSTICO	FISURAS GENERALIZADAS EN LAS VIGAS
-------------	------------------------------------



UNIVERSIDAD  
SANTO TOMAS

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS**  
**VICERRECTORIA DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**ESPECIALIZACIÓN EN PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN**

CLASIFICACIÓN Y TIPIFICACIÓN DE LAS LESIONES EN LA PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN										LESIÓN LEVE	HUMEDADES Y ORGANISMOS			
DATOS DE LA ESTRUCTURA EN ESTUDIO										LOCALIZACIÓN GENERAL DE LA LESIÓN				
CONTEXTO LOCAL Y/O REGIONAL (Factores Físicos y Ambientales)	AMENAZA	Sísmica	Alta (0,2 a 0,4)	X	Media (0,1 a 0,2)	Baja (0,05 a 0,1)								
		Remoción en masa	Muy alta -Alta		Media	Baja-Muy Baja	X							
		Erosion	Severa		Moderada	X	Leve							
		Inundaciones	Alta	X	Media	Baja								
		Volcanica	Alta		Media		X	No Aplica						
		Otras (tecnologica)	Alta		Media	Baja	X							
	MEDIO AMBIENTE	Humedad (%)		71		viento (km/h)		80 km/h NSR-10						
		Precipitacion (mm/año)		2160		Tiempo Retorno	50 años	frecuencia	220 L/h.seg					
		Temperatura Calido(>24C)		36.9		Medio (18 a 24C)		frio (6 a 18 C)						
		Otros: La temperatura y Humedad fueron med												
Datos de la Construccion		Fecha	Estimada 198	No. pisos,(si aplica)	No	Sistema Constructivo	Aporticado	X	Muros portantes					
		Area construida	55,38 M2	Intervenciones	No	Industrializados			Masivos					
		Are lote		Nota		Combinados								
Localización		El puente en concreto reforzado de losa y vigas ubicado en el Departamento del Meta, se encuentra situado en la vía de ingreso al pozo exploratorio Santa 1 a una distancia aproximada de 22 Km de la Ruta Nacional 65A la cual conecta los municipios de Granada y la Uribe, el ingreso a la vía para el pozo exploratorio Santa 1 se realiza por la trocha 13A. La estructura se situada en las coordenadas Magna sirgas 1.044.148,063E, 851.594,94N.						Puente de Losas y Vigas Reforzadas						
Uso:		Inicial	vehicular			Actual								
Estudio Patologico:		Historia Clínica				CAUSAS				DESCRIPCIÓN DE LA LESIÓN				
Tipo Lesiones encontradas y descritas (auscultamineto)		Cimientos	Estructuras	Cerramiento	Acabados	Causas Directas		Causas Indirectas			<p>Se presenta humedades generalizadas en la estructura por estar sobre el cuerpo de agua . En el estribo occidental se muestra la humedad generalizada y el crecimiento de biocapas que son consecuencia de la humedades.</p>			
						Fisica	Mecanica	Quimica	Biologica - ambiental	Diseno		Ejecucion	Material	Mantenimiento
Humedades		X	X					X						X
Suciedades		X	X						X					X
Eflorescencias		X	X						X					X
Fracturas y/o Grietas														
Fisuras														
Desprendimientos														
Oxidacion y corrosion														
Erosiones														
Organismos														
		Animales	X	X					X					X
		Vegetales	X	X					X					X
Estructurales	Deformaciones	Vertical												
		Horizontal												
	Giro													
Actualizacion a norma														
DIAGNOSTICO		Se presenta humedades generalizadas en la estructura por estar sobre el cuerpo de agua . En el estribo occidental se muestra la humedad generalizada y el crecimiento de biocapas que son consecuencia de la humedades.												





UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS**  
**VICERRECTORIA DE UNIVERSIDAD ABIERTA Y A DISTANCIA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA**  
**ESPECIALIZACIÓN EN PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN**

**CLASIFICACIÓN Y TIPIFICACIÓN DE LAS LESIONES EN LA PATOLOGIA DE LA CONSTRUCCIÓN**

LESIÓN GRAVE      OXIDACIÓN ACERO EXPUESTO  
 LOCALIZACIÓN GENERAL DE LA LESIÓN

**DATOS DE LA ESTRUCTURA EN ESTUDIO**

CONTEXTO LOCAL Y/O REGIONAL (Factores Físicos y Ambientales)	AMENAZA	Sísmica	Alta (0,2 a 0,4)	X	Media (0,1 a 0,2)	Baja (0,05 a 0,1)		
		Remoción en masa	Muy alta -Alta		Media	Baja-Muy Baja	X	
		Erosion	Severa		Moderada	X	Leve	
		Inundaciones	Alta	X	Media	Baja		
		Volcanica	Alta		Media	Baja	X	No Aplica
		Otras (tecnologica)	Alta		Media	Baja	X	
	MEDIO AMBIENTE	Humedad (%)	71	viento (km/h)	80 km/h NSR-10			
		Precipitacion (mm/año)	2160	Tiempo Retorno	50 años	frecuencia	220 L/h.seg	
		Temperatura Calido(>24C)	36.9	Medio (18 a 24C)		frio (6 a 18 C)		
		Otros: La temperatura y Humedad fueron med						



Datos de la Construccion	Fecha	Estimada 198	No. pisos,(si aplica)	No	Sistema Constructivo	Aporticado	X	Muros portantes	
	Area construida	55,38 M2	Intervenciones	No		Industrializados		Masivos	
	Are lote		Nota			Combinados			
Localización	El puente en concreto reforzado de losa y vigas ubicado en el Departamento del Meta, se encuentra situado en la vía de ingreso al pozo exploratorio Santa 1 a una distancia aproximada de 22 Km de la Ruta Nacional 65A la cual conecta los municipios de Granada y la Uribe, el ingreso a la vía para el pozo exploratorio Santa 1 se realiza por la trocha 13A. La estructura se situada en las coordenadas Magna sirgas 1.044.148,063E, 851.594,94N.					Puente de Losas y Vigas Reforzadas			
Uso:	Inicial	vehicular			Actual				

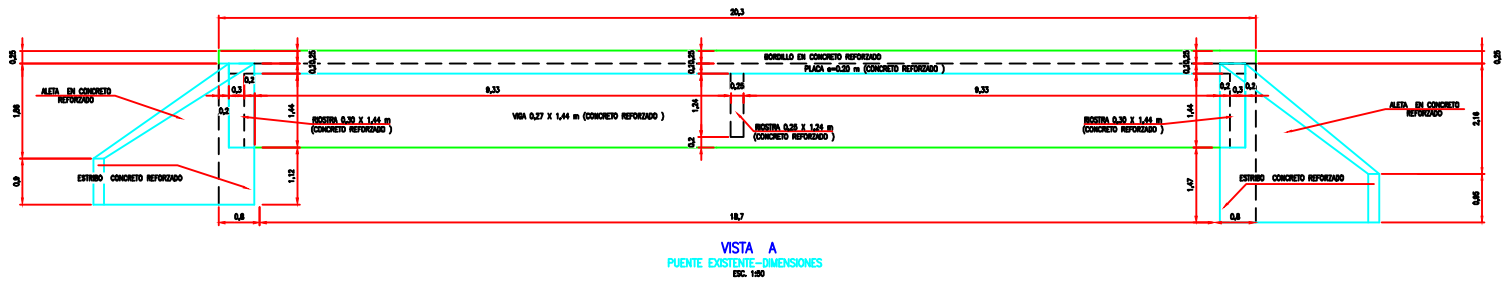
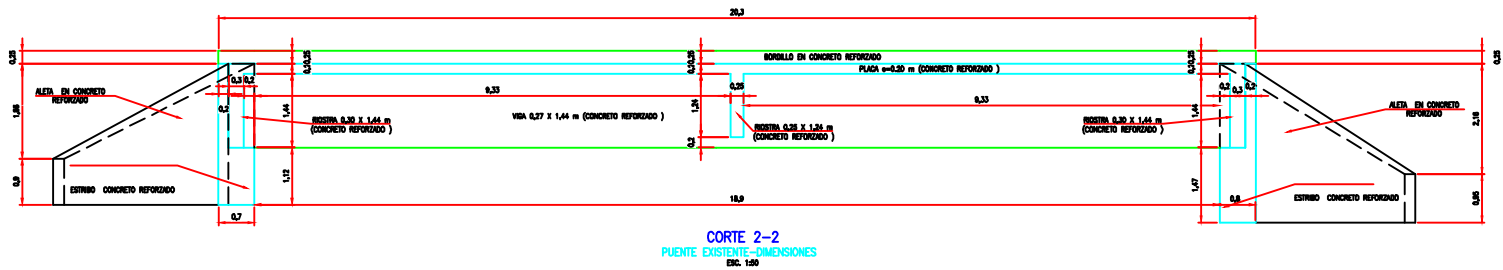
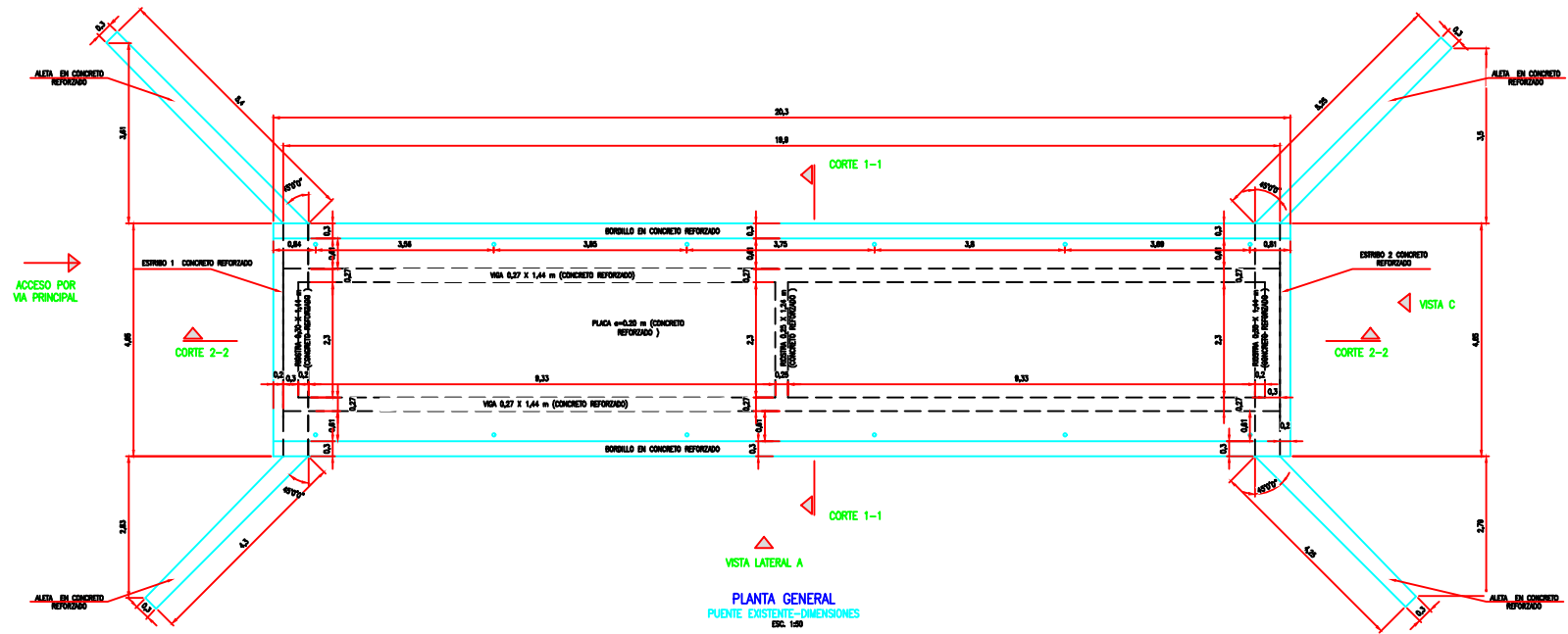
Estudio Patologico:		Historia Clinica				CAUSAS								DESCRIPCIÓN DE LA LESIÓN
Tipo Lesiones encontradas y descritas (auscultamineto)		Cimientos	Estructuras	Cerramiento	Acabados	Causas Directas				Causas Indirectas				
						Fisica	Mecanica	Quimica	Biologica - ambiental	Diseno	Ejecucion	Material	Mantenimiento	
Humedades														
Suciedades														
Eflorescencias														
Fracturas y/o Grietas														
Fisuras														
Desprendimientos														
Oxidacion y corrosion			X					X				X	X	
Erosiones														
Organismos		Animales		Vegetales										
Estructurales	Deformaciones	Vertical												
		Horizontal												
		Giro												
Actualizacion a norma														

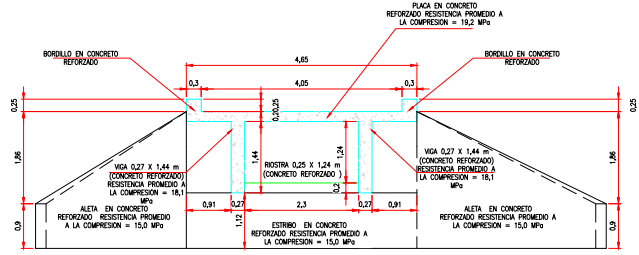
Detalle de corrosión del acero donde se aprecia el desprendimiento del concreto por el efecto de expansión.



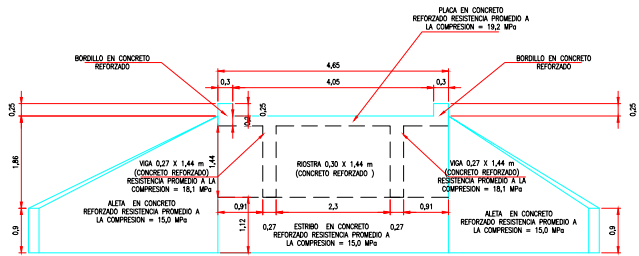
**DIAGNOSTICO**

Detalle de corrosión del acero donde se aprecia el desprendimiento del concreto por el efecto de expansión.

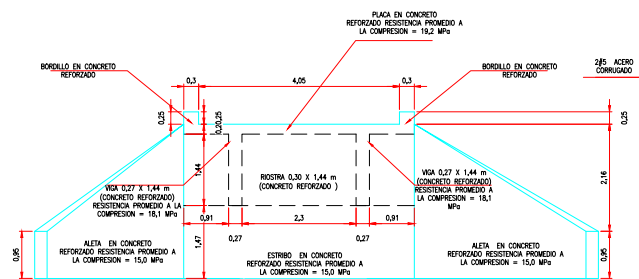




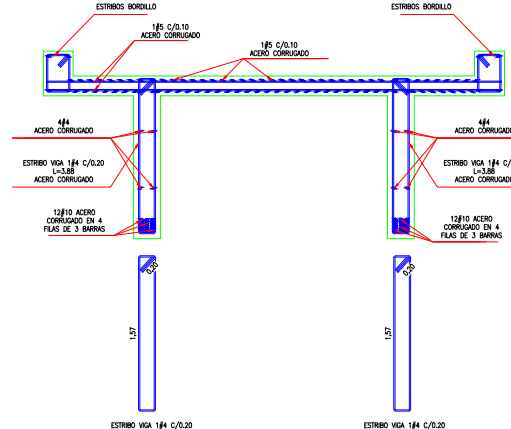
**CORTE 1-1**  
PUENTE EXISTENTE-DIMENSIONES  
ESC. 1:50



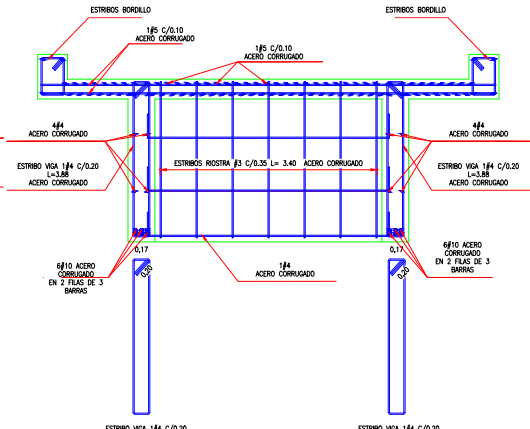
**VISTA B**  
PUENTE EXISTENTE-DIMENSIONES  
ESC. 1:50



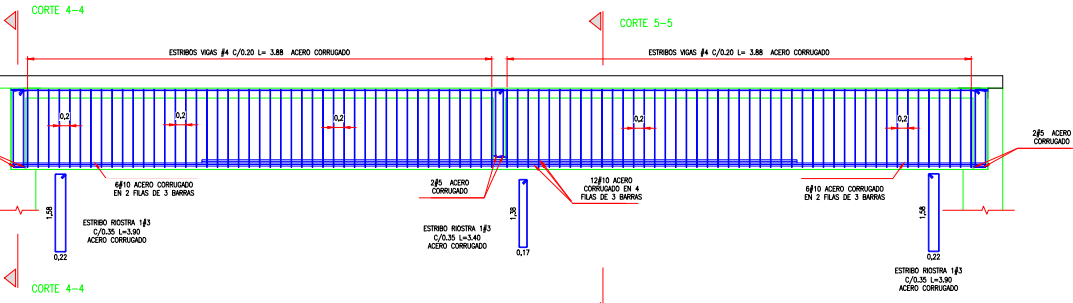
**VISTA C**  
PUENTE EXISTENTE-DIMENSIONES  
ESC. 1:50



**CORTE 5-5**  
PUENTE EXISTENTE-REFUERZO  
ESC. 1:25



**CORTE 4-4**  
PUENTE EXISTENTE-REFUERZO  
ESC. 1:25



**CORTE 4-4**

**CORTE 5-5**

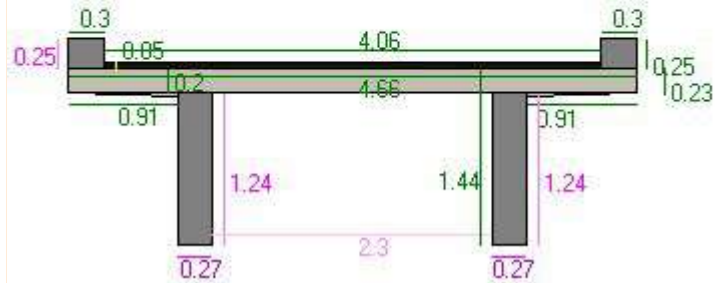


Tablero Rep. 1

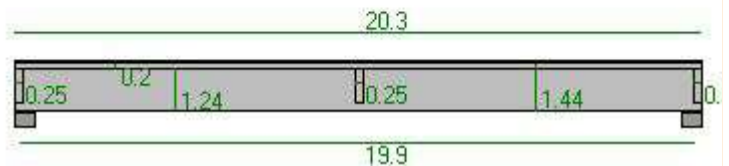
CORTE TRANSVERSAL DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE

GEOMETRÍA DE LA SUPERESTRUCTURA	
TABLERO	
Long Total de Tablero (Ltot) (m)	20.3
Luz de Cálculo Lejes (m) <small>Siempre: Lejes &lt; Ltot</small>	19.9
Ancho Libre de Calzada (m)	4.06
Separación a borde de vigas (m)	2.3
Número de Vigas	2
Longitud del Bordillo (m)	0.3
Altura del Bordillo (m)	0.25
Espesor de la Losa (m)	0.2
Espesor Capa Rodadura (m)	0.05
Sobre Espesor Inicial Volado (m)	0.03
VIGA	
Ancho de la Viga, bw (m)	0.27
Altura TOTAL de la Viga, hv (m)	1.44
CONSTANTES DE DISEÑO	
F'c del Concreto (kg/cm <sup>2</sup> )	210
Fy del Acero a Flexión (kg/cm <sup>2</sup> )	4200
Fy del Acero Flejes (kg/cm <sup>2</sup> )	4200
Ø Varilla Flejes (Octavos Pulg)	4
Número de Ramas Fleje Típico	2
Ø Mín Varilla Viga (Octav Pulg)	8
Ø Mín Varilla Losa (Octav Pulg)	4
Recubrim Centroid d' Losa (cm)	5
Recubrimiento d' Vigas (cm)	15
Recubrimiento Lateral Libre (cm)	4
Utilizar Camión de la Norma	CCP14 Col.
Espesor de Diafragma Típ.(m)	0.25
Carga de Baranda (t/m)	0.15
Dist eje viga-bdeext apoyo(m)	0.2

**PUENTES I** RealTime



CORTE LONGITUDINAL DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE



Cálculo de Momentos en Vigas por Carga Viva + Impacto

Vigas: R# 3

FD Momentos CV, FDM Vigas EXTERIORES

LEY DE LA PALANCA 1 carril carg >= 3 vigas

$$FDM_{viga_{ext}}(1carril) = \frac{P(S + Lvol_{ejes} - L_{bor} - 1.50)}{S}$$

$$g = \left(0.77 + \frac{d_e}{2800}\right) g_{int}; d_e = lvol_{ejes} - l_{bord}$$

LEY DE LA PALANCA 2 ó más carriles cargados . 3 vigas

Caso A . Si  $L_{bord} + 0.60 + 1.80 + 1.2 < Lvol_{ejes} + S$

$$FDM = \frac{1.5P(S + Lvol_{ejes} - L_{bord} - 2.20)}{S} m = 1.0$$

Caso B . Si  $L_{bord} + 0.60 + 1.80 + 1.2 \geq Lvol_{ejes} + S$

$$FDM = \frac{P(S + Lvol_{ejes} - L_{bord} - 1.50)}{S}$$

Chequeo de FDM

considerando  
Losa Rígida.  
Art 4.6.2.2d

$$R = \frac{N_L}{N_b} + \frac{X_{ext}}{\sum x^2} \sum e$$

R: FDM NL: # Carriles  
Carg Nb: # Vigas Xext:  
Dist CG tablero a vigaext  
x: Dist CG tablero a o/viga  
e: exc carga a CG tablero

Número de Vigas, Nb	2
Separación a Ejes de Vigas, S	2.57 m
Espesor de la Losa, ts	0.2 m
Longitud del Puente a Ejes, L	19.9 m
Parámetro de Rigidez Longitudinal, Kg	0.0429 m4
Fac Dist Mom, FDM LPalanc incluy m (1 carr carg)	0.847
Distancia borde extBord - EjeVigaext, de	0.745 m
Factor Correcc. para distrib CV a VigExt, e	1.036
Fact Distr FDMint, gint	0
Factor Distrib Mom, FDM (g) (2 carriles carg)	0
Fact Distr de Mom, (2 carr carg) por Ley Palanca	0.706
Fact Dist Mom,(1 carr.carg) Chequeo Losa Rígida	0.847
Fact Dist Mom,(2 carr.carg) Chequeo Losa Rígida	0.245
Fact Distr de Mom, FDM dominante	0.84747

MOMENTOS POR CAMIÓN, TÁNDEM, CARRIL DE DISEÑO, COMBINADOS Y DOMINANTES POR CARRIL Y POR VIGA

X (m)	0	0.3	1.99	3.98	5.97	7.96	9.95	11.94	13.93	15.92	17.91	19.6	19.9
Mom por Camión+Imp (t-m)	0	12.08	72.03	125	158.91	178.35	181.01	178.35	158.91	125	72.03	12.08	0
Mom por Tándem+Imp (t-m)	0	9.52	57.56	101.88	132.97	150.82	155.44	150.82	132.97	101.88	57.56	9.52	0
Mom Carril de Diseño (t-m)	0	3.03	18.36	32.63	42.83	48.95	50.99	48.95	42.83	32.63	18.36	3.03	0
Mom Camión+Imp + Carril (t-m)	0	15.11	90.38	157.63	201.74	227.29	232	227.29	201.74	157.63	90.38	15.11	0
Mom Tándem+Imp + Carril (t-m)	0	12.55	75.91	134.51	175.8	199.77	206.43	199.77	175.8	134.51	75.91	12.55	0
Mom Domin CV+Imp por Vía (t-m)	0	15.11	90.38	157.63	201.74	227.29	232	227.29	201.74	157.63	90.38	15.11	0
Mom CV+Imp por Viga INT (t-m)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mom CV+Imp por Viga EXT (t-m)	0	12.8	76.6	133.59	170.97	192.63	196.61	192.63	170.97	133.59	76.6	12.8	0

## Cálculo de Cortantes en Vigas por Carga Viva + Impacto

Vigas: R.5

**Consideraciones Estructurales**

Factores de Distr Cortante en Vigas Interiores: Tabla 4.6.2.2.3a-1  
 Factores de Distr Cortante en Vigas Exteriores: Tabla 4.6.2.2.3b-1

Chequeo de FDV considerando Losa Rígida. Art 4.6.2.2d

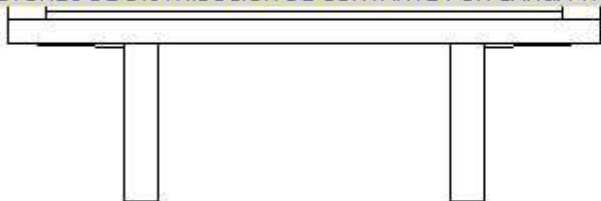
(Vigas Exteriores)

$$R = \frac{N_L}{N_b} + \frac{X_{e,ext}}{\sum x^2} \sum e$$

R: FDV NL: # Carriles  
 Carg Nb: # Vigas Xext:  
 Dist CG tablero a vigaext  
 x: Dist CG tablero a o/viga  
 e: exc carga a CG tablero

Ncarriles = 1	Nvigas = 2	S = 2.57 m
Lvol(eje) = 1.045 m	Lbord = 0.3 m	

FACTORES DE DISTRIBUCIÓN DE CORTANTE POR CARGA VIVA



FDV\_ext = 0.847

CORTANTES POR CAMIÓN, TÁNDEM, CARRIL DE DISEÑO, COMBINADOS Y DOMINANTES ( POR VÍA o CARRIL)													
X (m)	0	0.3	1.99	3.98	5.97	7.96	9.95	11.94	13.93	15.92	17.91	19.6	19.9
Cort por Camión + Imp (t)	40.96	40.24	36.17	31.38	26.59	21.81	17.04	21.81	26.59	31.38	36.17	40.24	40.96
Cort por Tándem + Imp (t)	32.25	31.75	28.91	25.58	22.26	18.93	15.61	18.93	22.26	25.58	28.91	31.75	32.25
Cort por Carril Diseño (t)	10.25	9.94	8.2	6.15	4.1	2.05	0	2.05	4.1	6.15	8.2	9.94	10.25
Cort Camión + Imp + Carril (t)	51.21	50.18	44.37	37.53	30.69	23.86	17.04	23.86	30.69	37.53	44.37	50.18	51.21
Cort Tándem + Imp + Carril (t)	42.5	41.69	37.1	31.73	26.36	20.98	15.61	20.98	26.36	31.73	37.1	41.69	42.5
Cort Domin CV+Imp por Vía (t)	51.21	50.18	44.37	37.53	30.69	23.86	17.04	23.86	30.69	37.53	44.37	50.18	51.21
Cort CV+Imp por Viga INT (t)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cort CV+Imp por Viga EXT (t)	43.4	42.52	37.6	31.81	26.01	20.22	14.44	20.22	26.01	31.81	37.6	42.52	43.4

## Cálculo de Cortantes en Vigas por Carga Viva + Impacto

Vigas: R.6

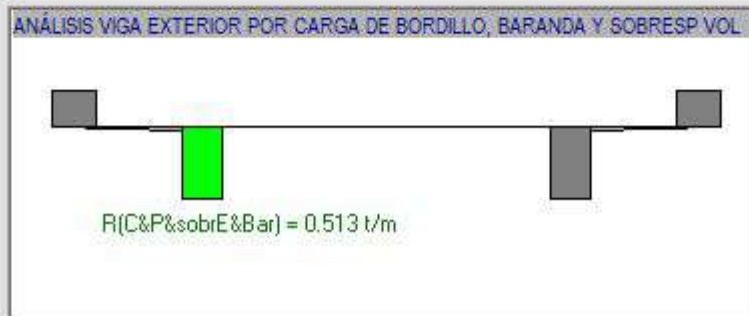
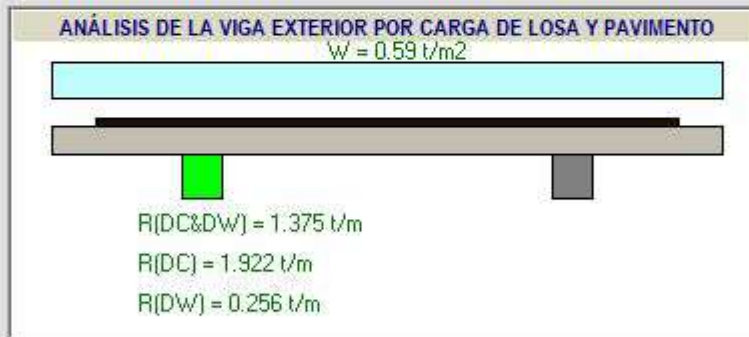
Factor de Distrib. de C. Viva para Cortante en Vigas Exteriores	
<b>4 ó más vigas</b>	
1 Carril Cargado	
Ley de la Palanca	$FDVext(1c) = FDMext(1c)$
2 Carriles Cargados	
$g = (e)g[int] = (e)FDV[int]$	$e = 0.6 + de / 3.0$ $de = Lvol(eje) - Lbor$
<b>3 vigas</b>	
1 Carril Cargado	
Ley de la Palanca	$FDVext(1c) = FDMext(1c)$
2 Carriles Cargados	
Ley de la Palanca	$FDVext(2c) = FDMext(2c)$
Número de Vigas, Nb	2
Separación a Ejes de Vigas, S	2.57 m
Espesor de la Losa, ts	0.2 m
Longitud del Puente a Ejes, L	19.9 m
FDV, Ley Palanca incluy m (1 carr cargad)	0.847
Distancia borde extBord - EjeVigaext, de	-
Factor Correcc. para distrib CV a VigExt, e	-
Factor Distr a Cortante int, g(int)	-
Fact Distr Cor, FDVext (2 carriles carg)	-
Fact Distr Cort, FDVext(2 carr carg) Ley Palanca	0.706
Fact Dist Cor,(1 carr.carg) Chequeo Losa Rígida	0.847
Fact Dist Cor,(2 carr.carg) Chequeo Losa Rígida	0.245
Fact Distr de Cort, FDV dominante	<b>0.84747</b>

# ANÁLISIS DE LAS VIGAS POR CARGA MUERTA

Vigas: R.7

Carga Muerta en la Viga: Losa y Pavimento. Peso por la Viga		Carga Muerta en la Viga: Bordillo o Parapeto y SobreEsp Volado	
ÍTEM	Valor	ÍTEM	Valor
Carga por Losa Tablero, W(DC)	0.48 t/m <sup>2</sup>	Carga Puntual por Bordillo o Parap, W(C&P)	0.33 t/m
Carga por Capa Rodadura W(DW)	0.11 t/m <sup>2</sup>	Brazo C.Punt Bord o Parap	0.15 m
Carga W = W(DC) + W(DW)	0.59 t/m <sup>2</sup>	Carga Punt por SobrEspesor Volado	0.033 t/m
<b>Resolución de la Viga Continua</b>		Brazo C.Punt SobreEspesor Volado	0.607 m
Reacción Lineal a Viga Exterior R(DC&DW)	1.375 t/m	Carga Punt por Baranda	0.15 t/m
Peso de la Viga propiamente dicha		Brazo C.Punt por Baranda	0 m
Reacción Lineal a Viga Ext R(P.P.Viga)	0.804 t/m	<b>Resolución de la Viga Continua</b>	
Reacción Lineal Viga Ext R(DC incluy P.P.vig)	1.922 t/m	Reacción Lineal a Viga Exterior R(C&P&sobrE&Bar)	0.513 t/m
Reacción Lineal a Viga Ext R(DW)	0.256 t/m		

VIGA EXTERIOR: MOMENTOS Y CORTANTES POR C. MUERTA DC Y DW . Men t-m Vent													
X (m)	0	1.406	1.99	3.98	5.97	7.96	9.95	11.94	13.93	15.92	17.91	18.494	19.9
Mom C. DC1	0	24.99	34.25	60.89	79.92	91.33	95.14	91.33	79.92	60.89	34.25	24.99	0
Mom C. DC2	0	0.48	0.68	1.36	2.04	2.72	3.4	2.72	2.04	1.36	0.68	0.48	0
Mom C. DC TOT	0	25.47	34.93	62.25	81.95	94.05	98.54	94.05	81.95	62.25	34.93	25.47	0
Mom C. DW	0	3.33	4.57	8.12	10.66	12.18	12.69	12.18	10.66	8.12	4.57	3.33	0
Cort C. DC1	19.12	16.42	15.3	11.47	7.65	3.82	0	-3.82	-7.65	-11.47	-15.3	-16.42	-19.12
Cort C. DC2	1.02	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	0.34	-0.34	-0.34	-0.34	-0.34	-0.34	-1.02
Cort C. DC TOT	20.15	16.76	15.64	11.82	7.99	4.17	0.34	-4.17	-7.99	-11.82	-15.64	-16.76	-20.15
Cort C. DW	2.55	2.19	2.04	1.53	1.02	0.51	0	-0.51	-1.02	-1.53	-2.04	-2.19	-2.55



VIGA INTERIOR	
Cálculo de las Cargas Muertas en la Viga INTERIOR	
ÍTEM	Valor
Carga Peso Viga TE, DC(t-beam)	0 t/m
Carga Total Peso Bordillos y Barandas	0.66 t/m
Carga por c/Viga Peso Bord y Barandas (C&P&Bar)	0.33 t/m
Reacción a Viga Int R(DCvigaTE & C&P&Bar)	0.33 t/m
Ancho Efectivo Viga TE (b')	0 m
Reacción a Viga Int Pavimento R(DW)	0 t/m

ANÁLISIS POR CARGA DE LOSA Y PAVIMENTO	
	
R(DCvigaTE & C&P&Bar) = 0.33 t/m R(DW) = 0 t/m	

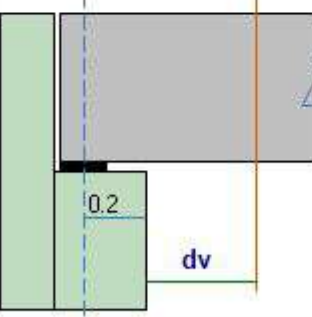
R(DCvigaTE & C&P&Bar) = 0.33 t/m

R(DW) = 0 t/m

VIGA INTERIOR: MOMENTOS Y CORTANTES POR C. MUERTA DC Y DW . Ment-m Vent													
X (m)	0	1.406	1.99	3.98	5.97	7.96	9.95	11.94	13.93	15.92	17.91	18.494	19.9
Mom C. DC1	0	4.29	5.881	10.455	13.722	15.682	16.335	15.682	13.722	10.455	5.881	4.29	0
Mom C. DC2	0	0.96	1.359	2.719	4.078	5.437	6.797	5.437	4.078	2.719	1.359	0.96	0
Mom C. DC TOT	0	5.251	7.24	13.173	17.8	21.119	23.132	21.119	17.8	13.173	7.24	5.251	0
Mom C. DW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cort C. DC1	3.283	2.82	2.627	-1.97	1.313	0.657	0	-0.657	-1.313	-1.97	-2.627	-2.82	-3.283
Cort C. DC2	2.049	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	0.683	-0.683	-0.683	-0.683	-0.683	-2.049	-2.049
Cort C. DC TOT	5.333	3.503	3.31	2.653	1.996	1.34	0.683	-1.34	-1.997	-2.653	-3.31	-3.503	-5.333
Cort C. DW	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Sección Crítica a Cortante  
(AASHTO 5.8.3.2)

Cálculo de  $d_v$  (AASHTO 5.8.2.9)



Mayor de:  $\cdot 0.9d_e$   
 $\cdot 0.72h$

$d_e = h \cdot \text{rec al centroide armadura}$   
 $h = \text{Altura Total de la Viga}$

$d_v =$	<b>1.206 m</b>
$x \text{ crit cort} =$	<b>1.406 m</b>

CONSTANTE DE DISEÑO

RecubrConcr a Centroid ArmPr(cm)

10

CONVENCIÓN

C. DC1 = Carga Muerta por Losa, Viga, Bordillo, Baranda, Sobrespesor de losa

C. DC2 = Carga Muerta por Diafragmas o Riostras

C. DC TOT = DC1 + DC2

C. DW = Carga Muerta por Pavimento o Capa Rodadura

## DISEÑO DE LAS VIGAS A FLEXIÓN Y CORTANTE

Vigas: R.11

Constantes de Diseño para las Vigas del Tablero	
Resistencia Mínima del Concreto $F_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )	210 ▼
Límite de Fluencia del Acero, $F_y$ (kg/cm <sup>2</sup> )	4200 ▼
Usar Diámetro Varillas en milímetros o en pulgadas	pulg ▼
Diámetro Mín a usar en Acero Longitudinal Ppal, #	8 ▼
Diámetro Mínimo a usar para Acero Flejes, #	4 ▼
Diámetro Mín. a usar para Acero Long Secundar, #	4 ▼
Sep. Máx para Flejes Zona Apoyos (Criter. Usuario) (m)	0.2 ▼
Sep. Vert. Máx Varillas Secund Long (Criter. Usuario) (m)	0.25 ▼

### INFORMACIÓN PRELIMINAR PARA DISEÑO A CORTANTE

#### Esquemas Secc Crítica

Cálculo de V y M por Camión de Diseño en la Secc Crítica

Cálculo de V y M por Tándem de Diseño en la Secc Crítica

Cálculo de V y M por Carril de Diseño en la Secc Crítica

**x crit cort = 1.406 m**

#### V - M por CViva

CORTANTES POR C VIVA EN LA SECC CRITICA DE CORTANTE

X (m)	1.406
Cortante por Camión + Imp (t)	37.6
Cortante por Tándem + Imp (t)	29.9
Cortante por Carril Diseño (t)	8.85
Cortante Camión + Imp + Carril (t)	46.45
Cortante Tándem + Imp + Carril (t)	38.75
Cortante Domin CV+Imp por Vía (t)	46.45
Cortante CV+Imp por Viga INT (t)	0
Cortante CV+Imp por Viga EXT (t)	39.37

MOMENTOS POR C VIVA EN LA SECC CRITICA DE CORTANTE

X (m)	1.406
Momento por Camión + Imp (t-m)	52.87
Momento por Tándem + Imp (t-m)	42.04
Momento por Carril Diseño (t-m)	12.45
Momento Camión + Imp + Carril (t-m)	65.31
Momento Tándem + Imp + Carril (t-m)	54.48
Momento Domin CV+Imp por Vía (t-m)	65.31
Momento CV+Imp por Viga INT (t-m)	0
Momento CV+Imp por Viga EXT (t-m)	0

#### Ecuaciones

$V_R = \emptyset V_N \quad V_N = V_C + V_S$

$V_N = 0.25f'_c b_v d_v \quad vu = |Vu| / (\emptyset b_v d_v) \quad \text{Art 5.8.3.3-2}$

$\epsilon = \left( \frac{M_u}{d_v} + Vu \right) / (E_s A_s) \quad \text{Def Unit a Tracc} \quad \text{Art 5.8.3.4.2-4}$

$S = f_y d_v A_v (\cot \theta + \cot \alpha) \text{sen} \alpha / V_s \quad \text{Art 5.8.3.3-4}$

$V_c = 0.083 \beta \sqrt{f'_c} b_v d_v \quad \text{Art 5.8.3.3-3}$

$\theta = 29 + 3500 \epsilon_s \quad \alpha = 90^\circ \quad \text{Art 5.8.3.4.2-3}$

$\beta = 4.8 / (1 + 750 \epsilon_s) \quad \text{Art 5.8.3.4.2-1}$

$A_v \geq (0.083 b_v S / f_y) \sqrt{f'_c} \quad \text{Art 5.8.3.3-3}$

Si  $vu \leq 0.125f'_c \rightarrow S_{\text{máx}} = 0.8 d_v \leq 0.6 m \quad \text{Art 5.8.2.7-1}$

Si  $vu > 0.125f'_c \rightarrow S_{\text{máx}} = 0.4 d_v \leq 0.3 m \quad \text{Art 5.8.2.7-2}$

#### V - M por CMuerta

SÓLICO POR C MUERTA EN LA SECC CRITICA DE CORT. V EXT

X (m)	1.406
Mom C.Losa, Viga, Bord, Bar, Sobresp	24.99
Mom Carga por Diafragmas o Riostras	0.48
Mom C. DC TOT	25.47
Mom C. Pavimento o Rodadura	3.33
Cort C.Losa, Viga, Bord, Bar, Sobresp	16.42
Cort Carga por Diafragmas o Riostras	0.34
Cort C. DC TOT	16.76
Cort C. Pavimento o Rodadura	2.19

SÓLICO POR C MUERTA EN LA SECC CRITICA DE CORT. V INT

X (m)	1.406
Mom C.Losa, Viga, Bord, Bar, Sobresp	4.29
Mom Carga por Diafragmas o Riostras	0.96
Mom C. DC TOT	5.25
Mom C. Pavimento o Rodadura	0
Cort C.Losa, Viga, Bord, Bar, Sobresp	2.82
Cort Carga por Diafragmas o Riostras	0.68
Cort C. DC TOT	3.5
Cort C. Pavimento o Rodadura	0

## DISEÑO DE LAS VIGAS A FLEXIÓN Y CORTANTE

Vigas: R.10

### VIGA EXTERIOR : FLEXION

Secc Crítica:	C.L. = 9.95 m	b = 2.33 m
M(DC) =	98.54 t-m	h = 1.44 m
M(DW) =	12.69 t-m	d = 1.34 m
M(LL + IM) =	196.613 t-m	<b>Mu = 486.27 t-m</b>

#### RESULTADOS DE DISEÑO

k	116.23 t/m <sup>2</sup>
Cuántia de Acero Rho	0.0032
Área de Acero, As	99.75 cm <sup>2</sup>
Armadura Sugerida	<b>20 # 8</b>
Área Real de Acero	101.34 cm <sup>2</sup>
Posición EjeNeut, a	10.07 cm

$$Mu = 1 [1.25M_{DC} + 1.5M_{DW} + 1.75M_{LL+IM}]$$

### VIGA EXTERIOR : CORTANTE

Secc Crítica:	1.406 m	b = 0.27 m
V(DC) =	16.76 t	h = 1.44 m
V(DW) =	2.19 t	d = dv = 1.206 m
V(LL + IM) =	39.37 t	<b>Vu = 93.13 t</b>

#### RESULTADOS DE DISEÑO

Mod Acero Es	2.0E6 kg/cm <sup>2</sup>	Vn	103.48 t
As (C.L.)	101.34 cm <sup>2</sup>	Vs	62.89 t
$\epsilon$	0.00062	Av coloc.	2.53 cm <sup>2</sup>
$\theta$	31.17 grados	Sep Flej S	0.34 m
$\beta$	3.28 grados	Av mín	0.82 cm <sup>2</sup>
Vc	40.58 t	vu	317.78 t/m <sup>2</sup>
		Smáx	<b>0.2 m</b>

$$Vu = 1 [1.25V_{DC} + 1.5V_{DW} + 1.75V_{LL+IM}]$$

CHEQUEO INTEGRAL DE LA VIGA EXTERIOR

Vigas: R.12

Revisión Refuerzo

### Viga Exterior: Revisión Refzo Art 5.10.3

Acero Principal en C.L.: **20 # 8**

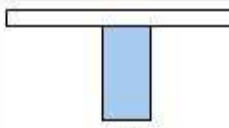
Sep Mín Var Princ Cond 1	1.5(DVar) , 3.8 cm	3.81 cm
Sep Mín Var Princ Cond 2	1.5T am Máx Agreg	2.858 cm
Sep. Libre Horiz Mín. entre Var.		3.81 cm
Sep Mín Vert entre Filas	1DVar , 2.5 cm	2.54 cm

**Distribución de la Armadura en el C.L.**

NVar = (bv+sep.min-2Dflej-0.08) / (DiamVar+sep.min) [1fila]	<b>4</b>
Número de Filas Requerido	5
Posición Yr del Centroide de las Barras respecto a fibra inf	0.102 m
Yr supuesto	0.1 m

Diagnóstico: **Flexión Recubr adto**

### Viga Exterior: Chequeo de Secc Simple



Se debe chequear la viga como sección simple ANTES de que trabaje monolítica con la losa  
 b: Ancho bw de la viga  
 h: Altura de la viga Sin la losa  
 Recubr : Recubrim equivalente verificado

**SECCIÓN**

b = 0.27 m  
 h = 1.24 m  
 d = 1.14 m

**CARGAS**

Wd = 1.987 t/m  
 Wl = 0.233 t/m

**MU (EST LÍM RES I)**

Mu(ss) = 143.12 t-m

Cargas:	C. Muerta: Wpp de la Viga Wpp de la Losa
	C. Viva : 100 kg/m2 por peso de obreros y equipos de construcción
	k = 407.86 t/m2
	Cuántia Acero Rho = 0.01268
	Area Acero As req = 39.04 cm2
	Área Acero Disponib = 101.34 cm2
Diagnóstico	<b>OK Secc Simple</b>

**Viga Exterior: Refuerzo Mínimo . Art 5.7.3.3.2**

### Cálculos

Acero Principal a Flexión, As en C.L.	101.34 cm2
Módulo Secc Simple Snc	0.0692 m3
Módulo Secc Compuesta Sc	0.14 m3

Mód Rot, fr	284.12 t/m2	γ1	1.6	γ3	0.75
-------------	-------------	----	-----	----	------

Wpp(snc)	0.804 t/m	Wlosa	1.118 t/m	Mdnc	95.14 t-m
----------	-----------	-------	-----------	------	-----------

Momento de Fisuración o Agrietam, Mcr	75.64 t-m
Momento Mu en C.L.	486.27 t-m

Diagnóstico: **Mu > Mcr . OK**

### Ecuaciones

$$As \rightarrow \begin{cases} Mr \\ \text{el menor de } Mcr \end{cases} \left\{ \begin{array}{l} 1.33 Mu \\ Mcr \end{array} \right\} \text{ Art 5.7.3.3.2}$$

$$M_{CR} = \gamma_3 \left[ \gamma_1^2 f_R S_c - M_{dnc} \left( \frac{S_c}{S_{nc}} - 1 \right) \right] \quad .3.3.2-1$$

$\gamma_1 = 1.6$   
 $\gamma_3 = 0.75$   
 $M_{dnc}(S_{simple}) = (Wp.p. + Wlosa) \cdot L^2 / 8$   
 $f_R = 0.62 \sqrt{f'c}$   
 Snc = Mód de la Secc Simple resp a fibra inf  
 Sc = Mód de la Secc Compuesta resp a fibra inf

Arm. Retracc, Superf, Long

**Chequeo. Armaduras: Retracción, Superficial, Longitudinal**

Ecuaciones	Armadura de Retracc																				
<p><b>Arm Retracción Art 5.10.8</b></p> $A_s \geq \frac{0.075bh}{2(b+h)f_y}$ <p><b>Armadura de Superficie. Art 5.7.3.4</b></p> <p><math>A_{sk}</math> = Área de Refuerzo Superficial</p> <p><math>A_{SK} \geq 0.001(d_c - 760) \leq A_s/1200</math></p> <p><b>Armadura Longitudinal. Art 5.8.3.5</b></p> <p>Se debe verificar que: <math>F</math> en C.L. <math>\leq A_{s_{C.L.}} f_y</math> (Art 5.8.3.5 - 1)</p> $A_{ps} f_{ps} + A_y f_y \geq \frac{M_u}{(d_v \phi_f)} + \frac{0.50 N_u}{\phi_c} + \left( \frac{V_u}{\phi_v} - V_p - 0.5 V_s \right) \cot \theta$ <p>Se debe verificar que en apoyos, el refuerzo long de tracción por flexión satisfaga:</p> $A_{ps} f_{ps} + A_y f_y \geq \left( \frac{V_u}{\phi_v} - V_p - 0.5 V_s \right) \cot \theta \quad (\text{Art 5.8.3.5 - 2})$	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;"><b>Armadura de Retracc</b></td></tr> <tr><td>b = 0.27 m</td><td></td></tr> <tr><td>h = 1.24 m</td><td></td></tr> <tr><td>Acero por Retracc y Frag :</td><td style="text-align: right;">1.98 cm<sup>2</sup> / cara / m</td></tr> <tr><td>Armadura Sugerida</td><td style="text-align: right;">1 # 4 @ 0.25 m / cara</td></tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td colspan="2" style="text-align: center;"><b>Armadura Superficial</b></td></tr> <tr><td>de = 1.34 m</td><td></td></tr> <tr><td>Armado C.L. = 20 # 8</td><td></td></tr> <tr><td>Armado de Superficie, Ask</td><td style="text-align: right;">5.8 cm<sup>2</sup> / m</td></tr> <tr><td>Armadura Ask Sugerida</td><td style="text-align: right;">1 # 4 @ 0.3 c / cara</td></tr> </table>	<b>Armadura de Retracc</b>		b = 0.27 m		h = 1.24 m		Acero por Retracc y Frag :	1.98 cm <sup>2</sup> / cara / m	Armadura Sugerida	1 # 4 @ 0.25 m / cara	<b>Armadura Superficial</b>		de = 1.34 m		Armado C.L. = 20 # 8		Armado de Superficie, Ask	5.8 cm <sup>2</sup> / m	Armadura Ask Sugerida	1 # 4 @ 0.3 c / cara
<b>Armadura de Retracc</b>																					
b = 0.27 m																					
h = 1.24 m																					
Acero por Retracc y Frag :	1.98 cm <sup>2</sup> / cara / m																				
Armadura Sugerida	1 # 4 @ 0.25 m / cara																				
<b>Armadura Superficial</b>																					
de = 1.34 m																					
Armado C.L. = 20 # 8																					
Armado de Superficie, Ask	5.8 cm <sup>2</sup> / m																				
Armadura Ask Sugerida	1 # 4 @ 0.3 c / cara																				
<p style="text-align: center;"><b>Arm Longitudinal</b></p> <p style="text-align: center;"><b>CHEQUEO EN C.L. (V = 0) . Art 5.8.3.5-1</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>dv = 1.206 m</td> <td><math>\phi</math> = 0.9</td> <td>Mu = 486.27 t-m</td> <td>As = 101.34 cm<sup>2</sup></td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Fza Requer(Tracc) = 448.01 t</td> <td>Fza Resist(Tracc) = 425.63 t</td> </tr> </table> <p>Diagnóstico: <span style="background-color: #ffe0b2;">Alargue ArmFlex: 1.99 m/lado</span></p> <p style="text-align: center;"><b>CHEQUEO EN ZONA APOYOS . Art 5.8.3.5-2</b></p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Mcr (Mmín)</td> <td>75.64 t-m</td> <td>Mu (486.27) &gt; Mcr (75.64) t-m</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Arm para Mcr(Mmín)</td> <td>15.02 cm<sup>2</sup>: 3 # 8</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Fuerza Long Req en Apoyos por Flexión:</td> <td>119.08 t</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Arm Long Req ZonaApys -&gt; Resisir la Fza</td> <td style="background-color: #e0ffe0;"><b>6 # 8 z. apoyos</b></td> </tr> </table>	dv = 1.206 m	$\phi$ = 0.9	Mu = 486.27 t-m	As = 101.34 cm <sup>2</sup>	Fza Requer(Tracc) = 448.01 t	Fza Resist(Tracc) = 425.63 t	Mcr (Mmín)	75.64 t-m	Mu (486.27) > Mcr (75.64) t-m	Arm para Mcr(Mmín)	15.02 cm <sup>2</sup> : 3 # 8	Fuerza Long Req en Apoyos por Flexión:	119.08 t	Arm Long Req ZonaApys -> Resisir la Fza	<b>6 # 8 z. apoyos</b>						
dv = 1.206 m	$\phi$ = 0.9	Mu = 486.27 t-m	As = 101.34 cm <sup>2</sup>																		
Fza Requer(Tracc) = 448.01 t	Fza Resist(Tracc) = 425.63 t																				
Mcr (Mmín)	75.64 t-m	Mu (486.27) > Mcr (75.64) t-m																			
Arm para Mcr(Mmín)	15.02 cm <sup>2</sup> : 3 # 8																				
Fuerza Long Req en Apoyos por Flexión:	119.08 t																				
Arm Long Req ZonaApys -> Resisir la Fza	<b>6 # 8 z. apoyos</b>																				

CHEQUEO INTEGRAL DE LA VIGA EXTERIOR

Vigas: R.14

Control de Agrietamiento

Ecuaciones	Cálculos																								
$s < \frac{123000 \gamma_e}{\beta_s f_{ss}} - 2d_c$ <p>Art 5.7.3.4-1</p> $\beta_s = 1 + \frac{d_c}{0.7(h-d_c)}$ <p><math>\gamma_e</math> = Factor de exp. = 1  <math>d_c</math> = Esp Recubr. Concreto desde extr tracc  <math>f_{ss}</math> = Esf Tracc en Acero Refzo (Est Lím Serv)  <math>M_s = M_{DC} + M_{DW} + M_{(LL+IM)}</math>  <math>n = \frac{E_s}{E_c} b x \frac{x}{2} = nAs(d-x)</math> <math>jd = d-x/3</math>                      (tomando Mom resp E.N.)  <math>I = bx^3 + nAs(d-x)^2</math>  <math>f_{ss} = M_s / (jdAs)</math></p>	<table border="1"> <tr><td>dc</td><td>0.025 m</td></tr> <tr><td><math>\gamma_e</math></td><td>1.0</td></tr> <tr><td><math>\beta</math></td><td>1.026</td></tr> <tr><td>n</td><td>9</td></tr> <tr><td>nAs</td><td>0.09121 m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>M<sub>s</sub></td><td>307.84 t-m</td></tr> <tr><td>jd</td><td>1.241 m</td></tr> </table> <div style="text-align: center;"> </div> <table border="1"> <tr><td>Brazo X</td><td>0.298 m</td></tr> <tr><td>Inerc Secc Transf, I</td><td>0.19302 m<sup>4</sup></td></tr> </table> <table border="1"> <tr><td>Esf act sobre acero de refuerzo, f<sub>ss</sub></td><td>24485.58 t/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>s, sep real varillas capa más cercana fibra inf</td><td>4.77 cm</td></tr> <tr><td>Sep Máx s (Art 5.7.3.4-1)</td><td>43.9 cm</td></tr> </table> <p>Diagnóstico: <span style="background-color: #90ee90;">OK Sep &lt; SepLím (Art 5.7.3.4-1)</span></p>	dc	0.025 m	$\gamma_e$	1.0	$\beta$	1.026	n	9	nAs	0.09121 m <sup>2</sup>	M <sub>s</sub>	307.84 t-m	jd	1.241 m	Brazo X	0.298 m	Inerc Secc Transf, I	0.19302 m <sup>4</sup>	Esf act sobre acero de refuerzo, f <sub>ss</sub>	24485.58 t/m <sup>2</sup>	s, sep real varillas capa más cercana fibra inf	4.77 cm	Sep Máx s (Art 5.7.3.4-1)	43.9 cm
dc	0.025 m																								
$\gamma_e$	1.0																								
$\beta$	1.026																								
n	9																								
nAs	0.09121 m <sup>2</sup>																								
M <sub>s</sub>	307.84 t-m																								
jd	1.241 m																								
Brazo X	0.298 m																								
Inerc Secc Transf, I	0.19302 m <sup>4</sup>																								
Esf act sobre acero de refuerzo, f <sub>ss</sub>	24485.58 t/m <sup>2</sup>																								
s, sep real varillas capa más cercana fibra inf	4.77 cm																								
Sep Máx s (Art 5.7.3.4-1)	43.9 cm																								

Chequeo 5 . Diseño para Fatiga . Art 5.5.3

Ecuaciones	Cálculos																										
<p>Factor de Distr Mom:                      Factor para un Carril Carg / 1.2                      (sin factor m) IM: 15%                      Camión de Diseño: Camión de Norma Dist Eje                      Trasero 9m (30ft)  <math>M_{FATIGA} = 1(1.5M_{(LL+IM)})</math>  <math>(\Delta F)_{TH} = 166 - 0.33 \cdot f_{min}</math> (5.5.3.2-1)  <math>\Delta f</math> = Intervalo esf CV por carga fatiga (Art 3.6.1.4)  <math>(\Delta F)_{TH}</math> = Umbral fatiga de amplitud const Art 5.5.3.2. (2 al 4)  <math>\gamma = 1.5</math> (tabla 3.4.1 - 1) Esfzo Adm Tracc = <math>0.25 \sqrt{f'_c}</math>  <math>f_{min} = M_{permanentes} / (jdAs)</math>  <math>f_{m\acute{a}x} = (M_{permanentes} + M_{fatiga}) / (jdAs)</math>  <math>\Delta f = f_{m\acute{a}x} - f_{m\acute{m}n}</math>  <b>Se debe verificar:</b> <math>\gamma(\Delta f) \leq (\Delta F)_{TH}</math></p>	<table border="1"> <tr><td>M<sub>máx</sub> (LL+IM)_Fatiga (por carril)</td><td>103.68 t-m</td></tr> <tr><td>Factor Distr 1 Carril Carg / 1.2</td><td>0.7062</td></tr> <tr><td>M<sub>máx</sub> (LL+IM)_Fatiga (por viga)</td><td>84.2 t-m</td></tr> <tr><td>M(DC) =</td><td>98.54 t-m</td></tr> <tr><td>M(DW) =</td><td>12.69 t-m</td></tr> <tr><td>M(DC+DW+LL+IM[fatiga])</td><td>195.43 t-m</td></tr> <tr><td>Mód Elástico de la Sección, W'</td><td>0.13999 m<sup>3</sup></td></tr> <tr><td>Esf Tracc Fibra Inf, (tracción)</td><td>1395.98 t/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Esf Adms tracción</td><td>Esf Adm = 114.56 t/m<sup>2</sup> &lt; 1395.98 Fisura</td></tr> </table> <p>Verificación de Esfuerzos Sección Fisurada</p> <table border="1"> <tr><td>Esf f<sub>min</sub>(perm)</td><td>8846.8 t/m<sup>2</sup></td><td>f<sub>máx</sub>(per+fat)</td><td>15544.53 t/m<sup>2</sup></td></tr> <tr><td>Delta Esf *1.5</td><td>10046.6 t/m<sup>2</sup></td><td>Delta Límite</td><td>13680.56 t/m<sup>2</sup></td></tr> </table> <p>Art 5.5.3.1-1 Diagnóstico: <span style="background-color: #90ee90;">OK, Esf por C.V. Fatiga &lt; Esf Lím</span></p>	M <sub>máx</sub> (LL+IM)_Fatiga (por carril)	103.68 t-m	Factor Distr 1 Carril Carg / 1.2	0.7062	M <sub>máx</sub> (LL+IM)_Fatiga (por viga)	84.2 t-m	M(DC) =	98.54 t-m	M(DW) =	12.69 t-m	M(DC+DW+LL+IM[fatiga])	195.43 t-m	Mód Elástico de la Sección, W'	0.13999 m <sup>3</sup>	Esf Tracc Fibra Inf, (tracción)	1395.98 t/m <sup>2</sup>	Esf Adms tracción	Esf Adm = 114.56 t/m <sup>2</sup> < 1395.98 Fisura	Esf f <sub>min</sub> (perm)	8846.8 t/m <sup>2</sup>	f <sub>máx</sub> (per+fat)	15544.53 t/m <sup>2</sup>	Delta Esf *1.5	10046.6 t/m <sup>2</sup>	Delta Límite	13680.56 t/m <sup>2</sup>
M <sub>máx</sub> (LL+IM)_Fatiga (por carril)	103.68 t-m																										
Factor Distr 1 Carril Carg / 1.2	0.7062																										
M <sub>máx</sub> (LL+IM)_Fatiga (por viga)	84.2 t-m																										
M(DC) =	98.54 t-m																										
M(DW) =	12.69 t-m																										
M(DC+DW+LL+IM[fatiga])	195.43 t-m																										
Mód Elástico de la Sección, W'	0.13999 m <sup>3</sup>																										
Esf Tracc Fibra Inf, (tracción)	1395.98 t/m <sup>2</sup>																										
Esf Adms tracción	Esf Adm = 114.56 t/m <sup>2</sup> < 1395.98 Fisura																										
Esf f <sub>min</sub> (perm)	8846.8 t/m <sup>2</sup>	f <sub>máx</sub> (per+fat)	15544.53 t/m <sup>2</sup>																								
Delta Esf *1.5	10046.6 t/m <sup>2</sup>	Delta Límite	13680.56 t/m <sup>2</sup>																								

Deformaciones de la Viga

### Chequeo. Deformaciones de la Viga . Art 5.5.3

#### Ecuaciones WD

$$I_e = \left(\frac{M_{CR}}{M_a}\right)^3 I_g + \left[1 - \left(\frac{M_{CR}}{M_a}\right)^3\right] I_{cr} \leq I_g$$

**DEFLEXIONES POR CARGA MUERTA**

$I_e$  = Mom de Inercia Efectivo  
 $M_a$  = Mom máx en la viga en instante del cálculo de la deform  
 $I_g$  = Mom de Inercia de la sección bruta de concreto  
 $I_{cr}$  = Mom de Inercia de la sección fisurada de concreto  
 $M_{CR}$  = Momento de Fisuración  $M_{CR} = f_r \frac{I_g}{y_t}$   $f_r = 0.62 \sqrt{f'_c}$

$\delta_{m\acute{a}x}$  = Deflexión Máxima por Cargas Permanentes

$\delta_i \rightarrow \delta_{m\acute{a}x} \quad \delta_{m\acute{a}x} = \frac{5W_{DC+DW}L^4}{384E I_e}$

$\delta_{FINAL} = \left(3 - 1.2 \frac{A's}{As}\right) \delta_i$      $\delta_{FINAL}$  = Deflex a Largo Plazo  
 $\delta_{FINAL} > 1.6 \delta_i$

Contraflecha =  $\delta_i + \delta_{FINAL}$

#### Ecuaciones WL

**DEFLEXIONES POR CARGA VIVA**

Deflex CV  $\rightarrow$  Deflex Carril Diseño + Deflex por Camión Diseño

$$\delta_{carril\ diseño} = \frac{5W_{carril}L^4}{384E I_e}$$

Deflexión por Camión de Diseño

Máx Deflexión con el eje central del Camión en C.L. de la Viga

$$Y = \frac{X}{48E I_e} (3L^2 - 4X^2) \quad L \text{ de influencia de la Deflexión en C.L.}$$

#### Cálculos WD

M(DC)	98.54 t-m	M(DW)	12.69 t-m
Ma	111.22 t-m	Ec	2153810.58 t/m2
fr	284.12 t/m2	Ig	0.14545 m4
yt	1.039 m	Mcr	39.77 t-m

Mom De Inercia Efectivo, Ie	0.14545 m4
W(DC+DW)	2.69 t/m
Deflex Instantánea, di	0.01754 m
Deflex a Largo Plazo (Final)	0.053 m
Contraflecha	0.07016 m

#### Cálculos WL

Wcarril 1.03 t/m      dmáx Wcarr 0.00671 m

**DEFLEXION DE LA VIGA EN C.L. BAJO EJES CAMIÓN DIS.**

Dist X (m)	5.65	9.95	14.25	$\Sigma$
Desplaz Y (m)	0.0004	0.00052	0.0004	
Carga de Eje (t)	16	16	4	
(Carga Eje) x Y	0.00637	0.00839	0.00159	<b>0.01635</b>

Deflexión Y (L.I.) 0.01635 m      Fact Distribuc 0

Ycamión dis (incluy Amplif Dinám) 0.02175 m

Deflexión Total Carril + Camión 0 m = 0 cm

Deflex Lím Recomendada L/800 0.02488 m = 2.49 cm

Diagnóstico: OK . Deflx C.Viva <= Deflx Límite

DISEÑO DE LAS SECCIONES INTERIORES DE LAS VIGAS

Vigas: R. 20

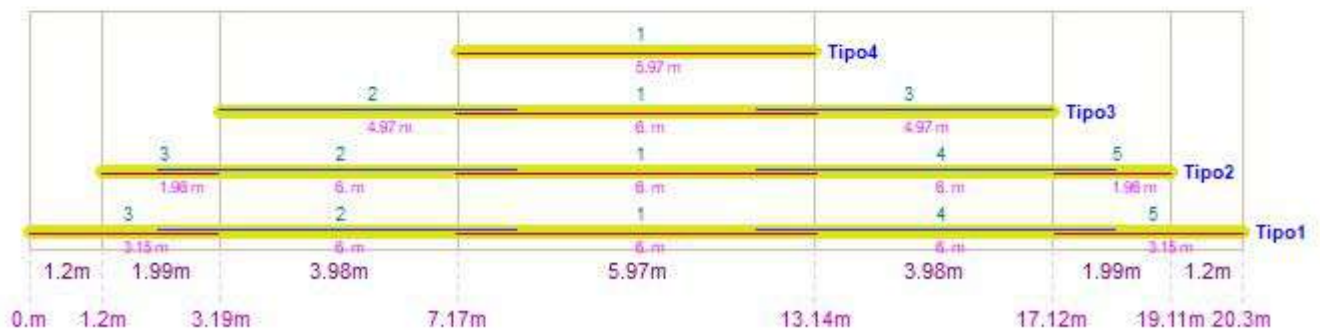
<b>VIGA EXTERIOR</b>	<b>X (m)</b>	0	0.3	1.99	3.98	5.97	7.96	9.95	11.94	13.93	15.92	17.91	19.6	19.9	
<b>FLEXIÓN</b>	Mom CV+Imp (t-m)	0	12.8	76.6	133.59	170.97	192.63	196.61	192.63	170.97	133.59	76.6	12.8	0	
	Mom C.DC (t-m)	0	25.47	34.93	62.25	81.95	94.05	98.54	94.05	81.95	62.25	34.93	25.47	0	
	Mom C.DW (t-m)	0	3.33	4.57	8.12	10.66	12.18	12.69	12.18	10.66	8.12	4.57	3.33	0	
	Mom Mu (t-m)	0	59.24	184.56	323.77	417.63	472.93	486.27	472.93	417.63	323.77	184.56	59.24	0	
	MomAgr Mcr (t-m)	75.64	75.64	75.64	75.64	75.64	75.64	75.64	75.64	75.64	75.64	75.64	75.64	75.64	75.64
	k (t/m2)	18.08	18.08	44.11	77.39	99.82	113.04	116.23	113.04	99.82	77.39	44.11	18.08	18.08	
	Cuant Acero.Rho	0.00048	0.00048	0.00118	0.0021	0.00273	0.0031	0.00319	0.0031	0.00273	0.0021	0.00118	0.00048	0.00048	
	Area Acero As(cm2)	28.35	28.35	36.95	65.54	85.18	96.91	99.75	96.91	85.18	65.54	36.95	28.35	28.35	
	ArmReq Cálc & Cód	6 # 8	6 # 8	8 # 8	13 # 8	17 # 8	20 # 8	20 # 8	20 # 8	17 # 8	13 # 8	8 # 8	6 # 8	6 # 8	

<b>VIGA EXTERIOR</b>	<b>X (m)</b>	0	1.406	1.99	3.98	5.97	7.96	9.95	11.94	13.93	15.92	17.91	18.494	19.9
<b>CORTANTE</b>	Cort CV+Imp (t)	43.4	39.37	37.6	31.81	26.01	20.22	14.44	20.22	26.01	31.81	37.6	39.37	43.4
	Cort C. DC TOT (t)	20.15	16.76	15.64	11.82	7.99	4.17	0.34	4.17	7.99	11.82	15.64	16.76	20.15
	Cort C. DW (t)	2.55	2.19	2.04	1.53	1.02	0.51	0	0.51	1.02	1.53	2.04	2.19	2.55
	Cort Vu (t)	104.95	93.13	88.41	72.73	57.04	41.35	25.7	41.35	57.04	72.73	88.41	93.13	104.95
	Cort Vs (t)	73.99	62.89	67.07	54.76	39.75	23.34	5.8	23.34	39.75	54.76	67.07	62.89	73.99
	Def Uni.Tracc Eps	0.00053	0.00062	0.00121	0.00171	0.00202	0.00217	0.00215	0.00217	0.00202	0.00171	0.00121	0.00062	0.00053
	$\sigma_{\beta}$	30.8,3.4	31.2,3.3	33.2,2.5	35.2,1	36.1,1.9	36.6,1.8	36.5,1.8	36.6,1.8	36.1,1.9	35.2,1	33.2,2.5	31.2,3.3	30.8,3.4
	Cort Vc (t)	42.63	40.58	31.16	26.04	23.63	22.61	22.76	22.61	23.63	26.04	31.16	40.58	42.63
	Cort Vn	116.62	103.48	98.24	80.81	63.38	45.95	28.56	45.95	63.38	80.81	98.24	103.48	116.62
	Sep Cálc	0.29	0.34	0.29	0.33	0.44	0.74	2.99	0.74	0.44	0.33	0.29	0.34	0.29
	Sep Máx	0.2	0.2	0.29	0.33	0.44	0.6	0.6	0.6	0.44	0.33	0.29	0.2	0.2

# Detalles Armadura - Dimensión Longitudinal de la Viga

Vigas: R.21

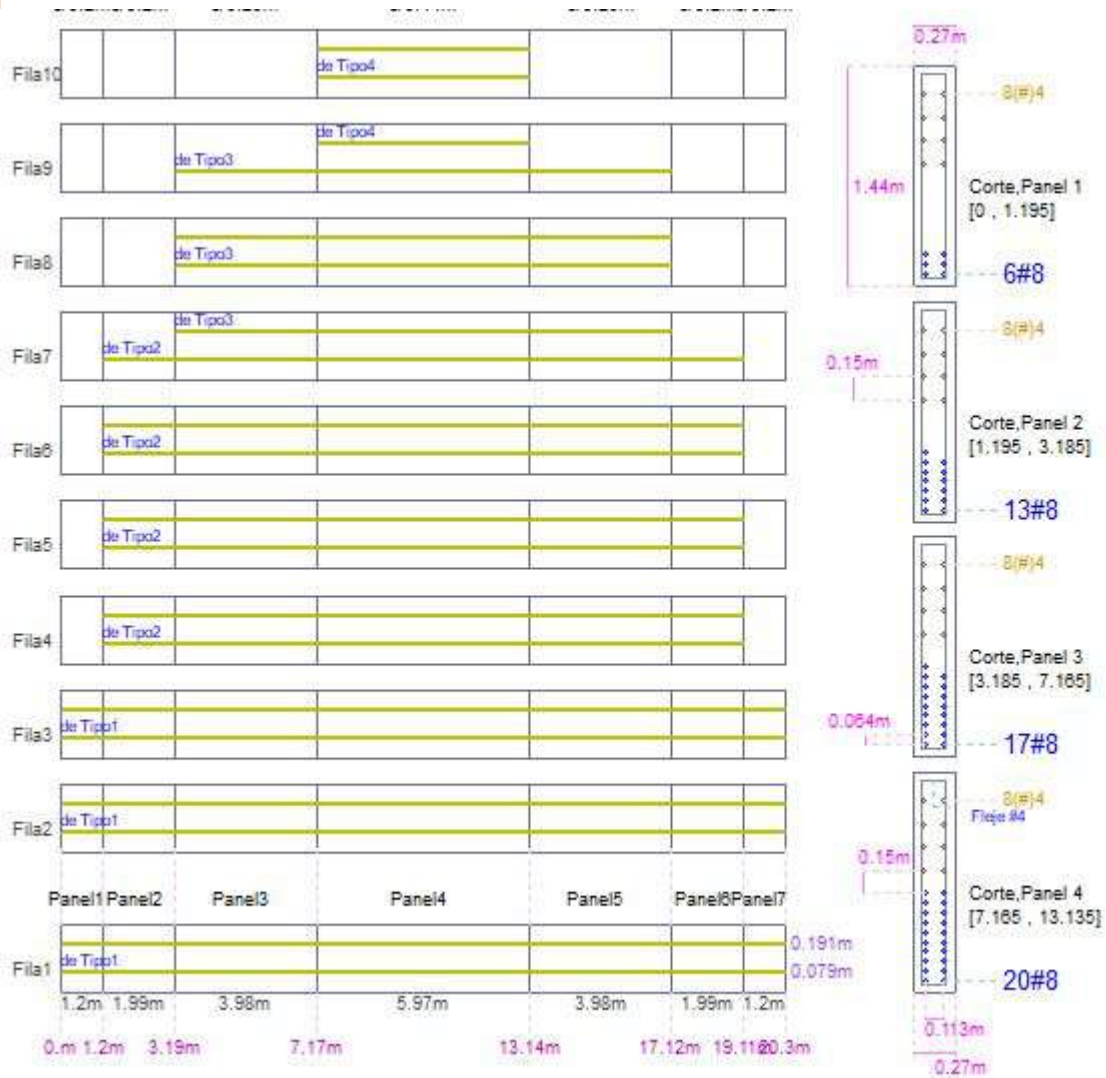
Esquema de las Varillas - Tipos Requeridos



### Detalles Armadura - Dimensión Longitudinal de la Viga

Vigas: R.22

Cortes en Planta y Cortes Transversales



## ÍNDICE

<b>1. CRITERIOS DE DISEÑO Y REGLAMENTO</b>	<b>2</b>
<b>2. HIPÓTESIS DE CÁLCULO</b>	<b>2</b>
<b>2.1. Geometría</b>	<b>2</b>
<b>2.2. Concreto</b>	<b>2</b>
<b>2.3. Acero de refuerzo</b>	<b>2</b>
<b>2.4. Factores de reducción de resistencia</b>	<b>3</b>
<b>2.5. Factores de carga</b>	<b>3</b>
<b>2.6. Condiciones de exposición</b>	<b>3</b>
<b>3. RESISTENCIA FRP</b>	<b>3</b>
<b>3.1. Refuerzo principal FRP</b>	<b>3</b>
<b>3.2. Refuerzo lateral FRP</b>	<b>3</b>
<b>4. COMBINACIONES DE CARGA PREVISTAS</b>	<b>3</b>
<b>4.1. Acciones iniciales</b>	<b>3</b>
<b>4.2. Acciones esperadas (diseño del refuerzo)</b>	<b>3</b>
<b>5. RESULTADOS</b>	<b>4</b>
<b>5.1. Resumen de resultados</b>	<b>4</b>
<b>5.2. Estados límite últimos</b>	<b>4</b>
<b>5.3. Estados límite de servicio</b>	<b>10</b>
<b>5.4. Resistencia al fuego (t=0 min.)</b>	<b>12</b>
<b>5.5. Disposición del FRP</b>	<b>12</b>
<b>6. ESPECIFICACIÓN DE PRODUCTO</b>	<b>12</b>
<b>6.1. Laminados Sika CarboDur® adheridos</b>	<b>12</b>
6.1.1. Preparación de la superficie de hormigón/concreto	12
6.1.2. Laminados Sika CarboDur®	13
6.1.3. Adhesivo epoxi	13
6.1.4. Procedimiento de aplicación	14
<b>7. AVISO LEGAL</b>	<b>15</b>
<b>8. ACERCA DE SIKA® CARBODUR® CALCULATION SOFTWARE</b>	<b>16</b>

Sika Services  
AG Elemento: VIGA PRINCIPAL

Corporate  
Tech. Dept. Editor:

Tüffenwies 16 Notas:  
8048 Zürich  
(Suiza)

www.sika.com

1/17

Fecha:  
17/06/2022

Proyecto:  
REFORZAMIENTO  
PUENTE ...

**BUILDING TRUST**



## 1. CRITERIOS DE DISEÑO Y REGLAMENTO

Refuerzo a flexión en viga.

- ACI 440.2R-17
- ACI 318
- País: Estados Unidos

## 2. HIPÓTESIS DE CÁLCULO

### 2.1. Geometría

Sección transversal = Rectangular

Ancho = 270 mm

Canto = 1400 mm



### 2.2. Concreto

Resistencia a compresión del hormigón

Resistencia del concreto ( $f'_c$ ) = 21 MPa

Probeta cilíndrica = 21 MPa

Probeta cúbica = 26 MPa

### 2.3. Acero de refuerzo

Capas de refuerzo

Capa superior	$d_2$ mm	Acero $f_y$ (MPa)	$E_s$ (MPa)	Número x $d_s$ (mm)
1.	400	(B240) 240	200000	2 x 12.7
2.	620	(B240) 240	200000	2 x 12.7
Capa inferior	$d_1$ mm	Acero $f_y$ (MPa)	$E_s$ (MPa)	Número x $d_s$ (mm)
1.	40	(B240) 240	200000	3 x 31.8
2.	80	(B240) 240	200000	3 x 31.8

Sika Services AG Elemento: VIGA PRINCIPAL

Corporate Tech. Dept. Editor:

Tüffenwies 16 Notas:  
8048 Zürich  
(Suiza)

www.sika.com

2/17

Fecha:  
17/06/2022

Proyecto:  
REFORZAMIENTO  
PUENTE ...

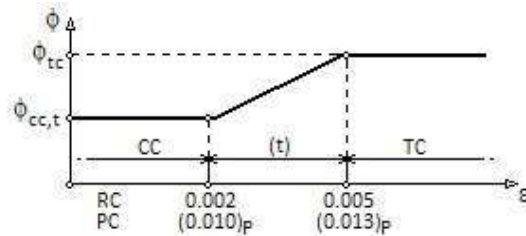
**BUILDING TRUST**



Capa inferior	d <sub>1</sub> mm	Acero f <sub>y</sub> (MPa)	E <sub>s</sub> (MPa)	Número x d <sub>s</sub> (mm)
3.	120	(B240) 240	200000	3 x 31.8
4.	160	(B240) 240	200000	3 x 31.8

## 2.4. Factores de reducción de resistencia

Definido por (ACI 318)



$$\phi_{cc,t} = 0.65$$

$$\phi_{tc} = 0.90$$

## 2.5. Factores de carga

Combinaciones ACI	Cargas muertas	Cargas vivas
Límites del refuerzo	1.10	1.00
Acciones esperadas (diseño del refuerzo)	1.20	1.60
Acciones de servicio previstas	1.00	1.00
Caso de incendio	1.00	1.00

## 2.6. Condiciones de exposición

Tipo de fibra: Carbono

Condiciones de exposición: Ambiente agresivo ( $C_e = 0.85$ )

## 3. RESISTENCIA FRP

### 3.1. Refuerzo principal FRP

Pegado. Sika CarboDur® S

Sika® CarboDur® S512 (US)	Número	E <sub>f</sub> (MPa)	Espesor t <sub>f</sub> (mm)	E <sub>fu</sub>	Ancho (mm)
Capa: 1	5	160000.00	1.200	0.0170	50.00
Capa: 2	5				
Capa: 3	5				

### 3.2. Refuerzo lateral FRP

Pegado. Sika CarboDur® S

Sika® CarboDur® S512 (US)	Número	E <sub>f</sub> (MPa)	Espesor t <sub>f</sub> (mm)	E <sub>fu</sub>	Ancho (mm)
Alma	2 x 27	160000.00	1.200	0.0170	50.00

## 4. COMBINACIONES DE CARGA PREVISTAS

### 4.1. Acciones iniciales

$M_i : 210.00 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Sika Services AG Elemento: VIGA PRINCIPAL

Corporate Tech. Dept. Editor:

Tüffenwies 16 8048 Zürich (Suiza)

www.sika.com

3/17

Fecha: 17/06/2022

Proyecto: REFORZAMIENTO PUENTE ...

BUILDING TRUST



#### 4.2. Acciones esperadas (diseño del refuerzo)

Cargas muertas

$M_{DL} : 161.30 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Cargas vivas

$M_{LL} : 1085.10 \text{ kN}\cdot\text{m}$

### 5. RESULTADOS

#### 5.1. Resumen de resultados

Límites del refuerzo (ACI440.2R-17, 9.2)				
Acciones	$\phi$	$M_u$ (kN·m)	$M_n$ (kN·m)	$\phi \cdot M_n \geq M_u$ (N = $N_u$ )
$S_u = 1.10 \cdot S_{DL} + 1.00 \cdot S_{LL}$	0.80	1262.53	2407.69	Sección no reforzada $1928.37 \text{ kN}\cdot\text{m} \geq 1262.53 \text{ kN}\cdot\text{m}$ ✓
Sección reforzada bajo cargas previstas				
Acciones	$\phi$	$M_u$ (kN·m)	$M_n$ (kN·m)	$\phi \cdot M_n \geq M_u$ (N = $N_u$ )
$S_u = 1.20 \cdot S_{DL} + 1.60 \cdot S_{LL}$	0.68	1929.72	2825.97	Sección reforzada $1934.94 \text{ kN}\cdot\text{m} \geq 1929.72 \text{ kN}\cdot\text{m}$ ✓

Estados límite de servicio			
Acciones	Tensiones de servicio		
$S_u = 1.00 \cdot S_{DL} + 1.00 \cdot S_{LL}$	$f_{c,s} \leq 0.6 \cdot f'_c$	$f_{y,s} \leq 0.8 \cdot f_y$	$f_{f,s} \leq 0.55 \cdot f_{fu}$
	$10.86 \text{ MPa} \leq 12.60 \text{ MPa}$ ✓	$124.96 \text{ MPa} \leq 192.00 \text{ MPa}$ ✓	$74.42 \text{ MPa} \leq 1271.60 \text{ MPa}$ ✓

Resistencia al fuego (t=0 min.)				
Acciones	$\phi$	$M_u$ (kN·m)	$M_n$ (kN·m)	$\phi \cdot M_n \geq M_u$ (N = $N_u$ )
$S_u = 1.00 \cdot S_{DL} + 1.00 \cdot S_{LL}$	1.00	1246.40	2407.69	Sección no reforzada $2407.69 \text{ kN}\cdot\text{m} \geq 1246.40 \text{ kN}\cdot\text{m}$ ✓

#### 5.2. Estados límite últimos

La resistencia a flexión de una sección depende del control del modo de fallo. Los siguientes modos de fallo deben investigarse para una sección con refuerzo FRP (ACI 440.2R-17, 10.1.1):

- Rotura del concreto en compresión antes de la fluencia del acero de refuerzo;
- Fluencia del acero en tracción seguida de rotura del laminado FRP;
- Fluencia del acero en tracción seguida de rotura del concreto;
- Deslaminación del recubrimiento de concreto por tensiones de cortante
- Despegue del FRP del substrato de concreto (Despegue FRP).

Las siguientes hipótesis se aplican al cálculo de la resistencia a flexión de una sección reforzada con un sistema externo de refuerzo mediante FRP (ACI 440.2R-17, 10.2.1):

- Los cálculos para el diseño están basados en las dimensiones, disposición de refuerzo interno de acero, y las propiedades de los materiales del elemento existente a reforzar;
- Las deformaciones en el acero de refuerzo y concreto son directamente proporcionales a la distancia desde el eje neutro. Esto es, las secciones planas antes de la deformación permanecen planas después de la misma;
- No existe desplazamiento relativo entre el refuerzo FRP externo y el concreto;
- Se desprecian las deformaciones por cortante en el interior de la capa adhesiva debido a que ésta es muy delgada y con leves variaciones en su espesor;
- La máxima deformación de compresión en el concreto es 0.003;

Sika Services AG Elemento: VIGA PRINCIPAL

Corporate Tech. Dept. Editor:

Tüffenwies 16 Notas:  
8048 Zürich (Suiza)

www.sika.com

Fecha:  
17/06/2022

Proyecto:  
REFORZAMIENTO  
PUENTE ...

**BUILDING TRUST**



Se desprecian las tensiones de tracción en el concreto; y

El refuerzo FRP tiene un comportamiento tensión-deformación elástico y lineal hasta la rotura  
Diagrama tensión-deformación del concreto

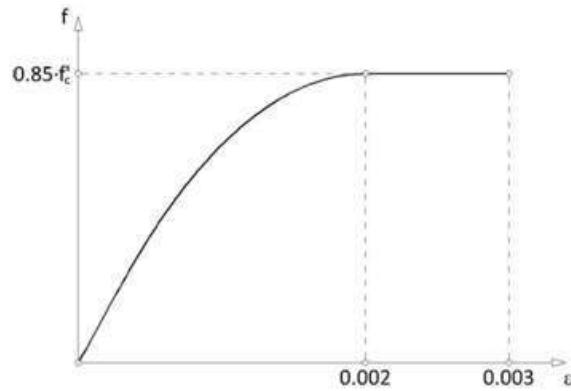
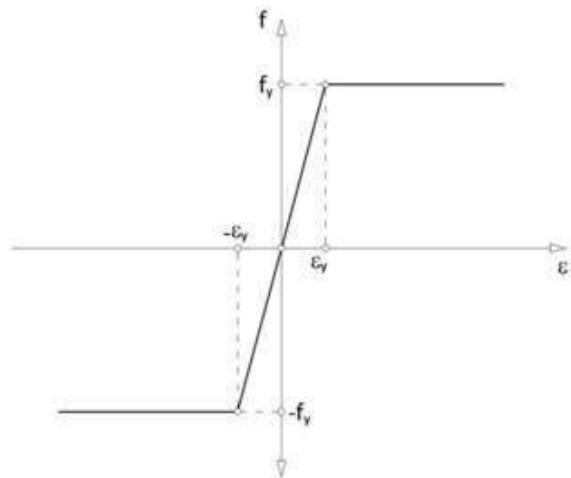


Diagrama tensión-deformación para el acero de refuerzo



Para prevenir la fisuración previa al modo de fallo de despegue, la deformación efectiva en el refuerzo FRP debe limitarse al nivel de deformación a la que ésta puede ocurrir,  $\epsilon_{fd}$ , como se define en la Eq. (ACI 440.2R-17, Sección 10.1):

Refuerzo principal FRP

$$\epsilon_{fd} : \underline{0.0025}$$

Refuerzo lateral FRP

$$\epsilon_{fd} : \underline{0.0043}$$

Se aplica un factor de reducción adicional,  $\Psi_f$ , a la contribución a la resistencia a flexión del refuerzo FRP. El valor recomendado de  $\Psi_f$  es 0.85.

Equilibrio de la sección. Acciones iniciales

$$S_u = S_i = \mathbf{210.00 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Sika Services  
AG Elemento: VIGA PRINCIPAL

Corporate  
Tech. Dept. Editor:

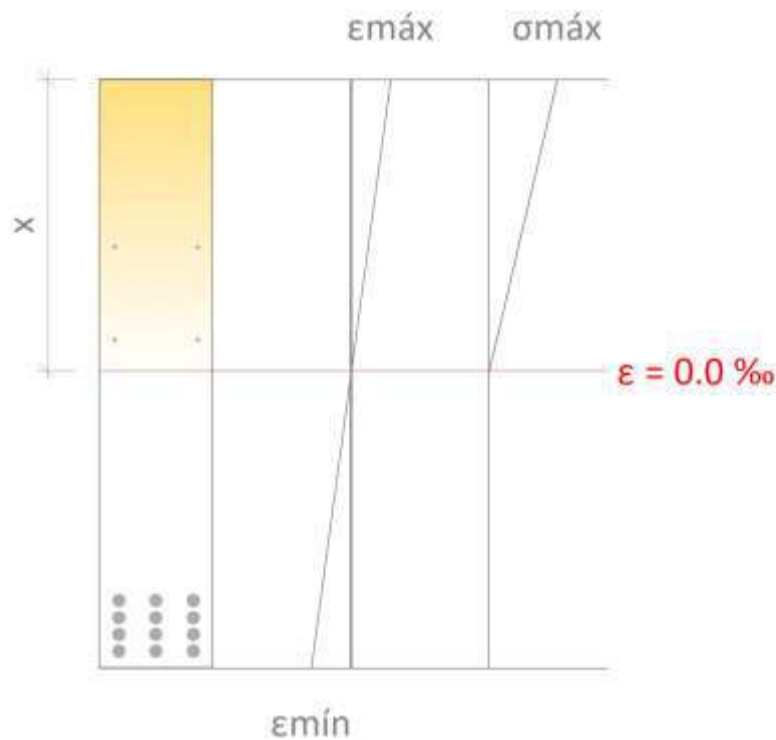
Tüffenwies 16 Notas:  
8048 Zürich  
(Suiza)  
www.sika.com

Fecha:  
17/06/2022

Proyecto:  
REFORZAMIENTO  
PUENTE ...

**BUILDING TRUST**





Deformación máxima y mínima

$$\varepsilon_{\text{máx}} = 0.12 \text{ ‰}$$

$$\varepsilon_{\text{mín}} = -0.12 \text{ ‰}$$

Tensión máxima en el hormigón

$$f_c = 2.05 \text{ MPa}$$

Profundidad de la fibra neutra

$$x = 693.07 \text{ mm}$$

Tensión y deformación de los refuerzos			
Ref.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	$\varepsilon$ (‰)
No. 12.7	300	10.00	0.05
No. 12.7	80	2.49	0.01
No. 31.75	-660	-22.75	-0.11
No. 31.75	-620	-21.38	-0.11
No. 31.75	-580	-20.02	-0.10
No. 31.75	-540	-18.66	-0.09

\*: La tensión en FRP se ve afectada por un coeficiente reductor adicional ( $\Psi_f = 0.85$ ).

Límites del refuerzo. Combinación mínima de cargas que debe resistir el elemento sin reforzar (ACI440.2R-17, Sección 9.2).

$$S_u = 1.10 \cdot S_{DL} + 1.00 \cdot S_{LL}$$

$$1928.37 \text{ kN}\cdot\text{m} \geq 1262.53 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

Momento nominal

$$M_n : \underline{2407.69 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Factor de reducción de resistencia

$$\phi : \underline{0.80}$$

Sika Services AG Elemento: VIGA PRINCIPAL

Corporate Tech. Dept. Editor:

Tüffenwies 16 Notas:  
8048 Zürich  
(Suiza)

www.sika.com

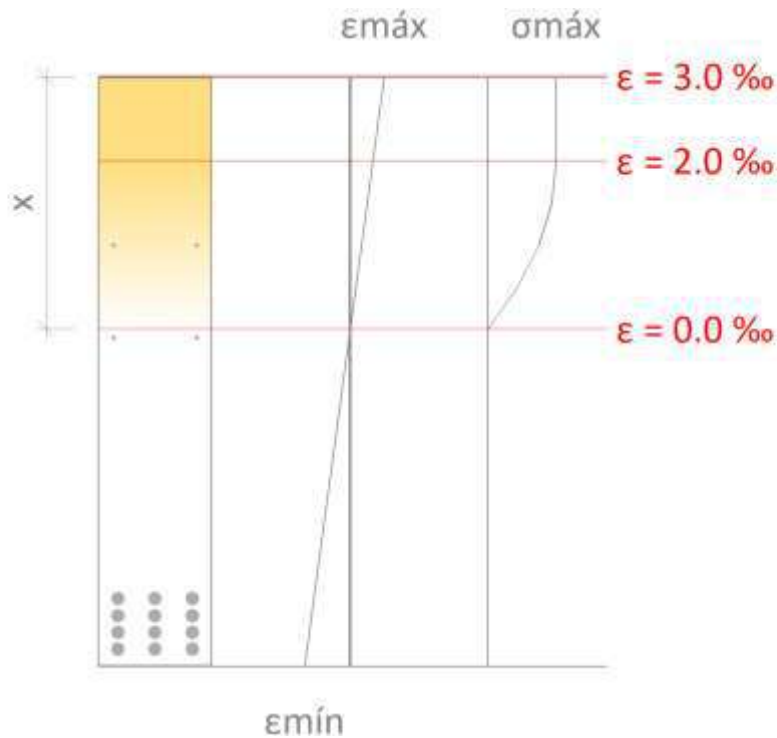
6/17

Fecha:  
17/06/2022

Proyecto:  
REFORZAMIENTO  
PUENTE ...

BUILDING TRUST





Deformación máxima y mínima

$$\epsilon_{m\acute{a}x} = 2.99 \text{ ‰}$$

$$\epsilon_{m\acute{i}n} = -4.01 \text{ ‰}$$

Tensión máxima en el hormigón

$$f_c = 17.85 \text{ MPa}$$

Profundidad de la fibra neutra

$$x = 597.35 \text{ mm}$$

Tensión y deformación de los refuerzos			
Ref.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	ε (‰)
No. 12.7	300	197.23	0.99
No. 12.7	80	-22.64	-0.11
No. 31.75	-660	-240.00	-3.81
No. 31.75	-620	-240.00	-3.61
No. 31.75	-580	-240.00	-3.41
No. 31.75	-540	-240.00	-3.21

\*: La tensión en FRP se ve afectada por un coeficiente reductor adicional ( $\psi_f = 0.85$ ).

Límites del refuerzo. Sección reforzada y cargas previstas.

$$S_u = 1.20 \cdot S_{DL} + 1.60 \cdot S_{LL}$$

$$1934.94 \text{ kN}\cdot\text{m} \geq 1929.72 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

Momento nominal

$$M_n : \underline{2825.97 \text{ kN}\cdot\text{m}}$$

Factor de reducción de resistencia

$$\phi : \underline{0.68}$$

Sika Services  
AG Elemento: VIGA PRINCIPAL

Corporate  
Tech. Dept. Editor:

Tüffenwies 16 Notas:  
8048 Zürich  
(Suiza)

www.sika.com

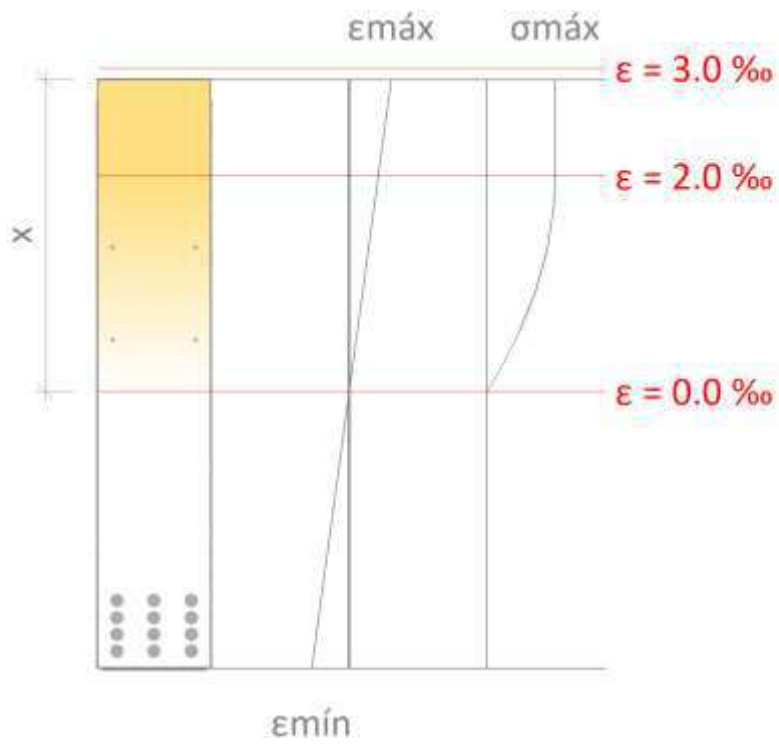
7/17

Fecha:  
17/06/2022

Proyecto:  
REFORZAMIENTO  
PUENTE ...

BUILDING TRUST





Sika Services AG Elemento: VIGA PRINCIPAL

Corporate Tech. Dept. Editor:

Tüffenwies 16 Notas:  
8048 Zürich (Suiza)  
www.sika.com

Fecha:  
17/06/2022

Proyecto:  
REFORZAMIENTO  
PUENTE ...

**BUILDING TRUST**



Deformación máxima y mínima

$$\epsilon_{\text{máx}} = 2.89 \text{ ‰}$$

Tensión máxima en el hormigón

$$\epsilon_{\text{mín}} = -2.57 \text{ ‰}$$

Profundidad de la fibra neutra

$$f_c = 17.85 \text{ MPa}$$

$$x = 741.07 \text{ mm}$$

Tensión y deformación de los refuerzos			
Ref.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	$\epsilon$ (‰)
No. 12.7	300	240.00	1.33
No. 12.7	80	94.54	0.47
No. 31.75	-660	-240.00	-2.42
No. 31.75	-620	-240.00	-2.26
No. 31.75	-580	-240.00	-2.10
No. 31.75	-540	-240.00	-1.95
FRP	-701	-333.78	-2.45
FRP	-702	-334.39	-2.46
FRP	-703	-335.00	-2.46
FRP	-675	-320.78	-2.36
FRP	-625	-295.39	-2.17
FRP	-575	-270.00	-1.99
FRP	-525	-244.61	-1.80
FRP	-475	-219.23	-1.61
FRP	-425	-193.84	-1.43
FRP	-375	-168.45	-1.24
FRP	-325	-143.06	-1.05
FRP	-275	-117.67	-0.87
FRP	-225	-92.28	-0.68
FRP	-175	-66.89	-0.49
FRP	-125	-41.50	-0.31
FRP	-75	-16.11	-0.12
FRP	-25	-1.46	0.07
FRP	25	0.00	0.25
FRP	75	0.00	0.44
FRP	125	0.00	0.63
FRP	175	0.00	0.81
FRP	225	0.00	1.00
FRP	275	0.00	1.19
FRP	325	0.00	1.37
FRP	375	0.00	1.56
FRP	425	0.00	1.75
FRP	475	0.00	1.94
FRP	525	0.00	2.12
FRP	575	0.00	2.31
FRP	625	0.00	2.50

\*: La tensión en FRP se ve afectada por un coeficiente reductor adicional ( $\psi_f = 0.85$ ).

Sika Services  
AG

Elemento: VIGA PRINCIPAL

Fecha:  
17/06/2022

Corporate  
Tech. Dept.

Editor:

Proyecto:

PUENTE ...

Tüffenwies 16  
8048 Zürich  
(Suiza)

www.sika.com

9/17

BUILDING TRUST



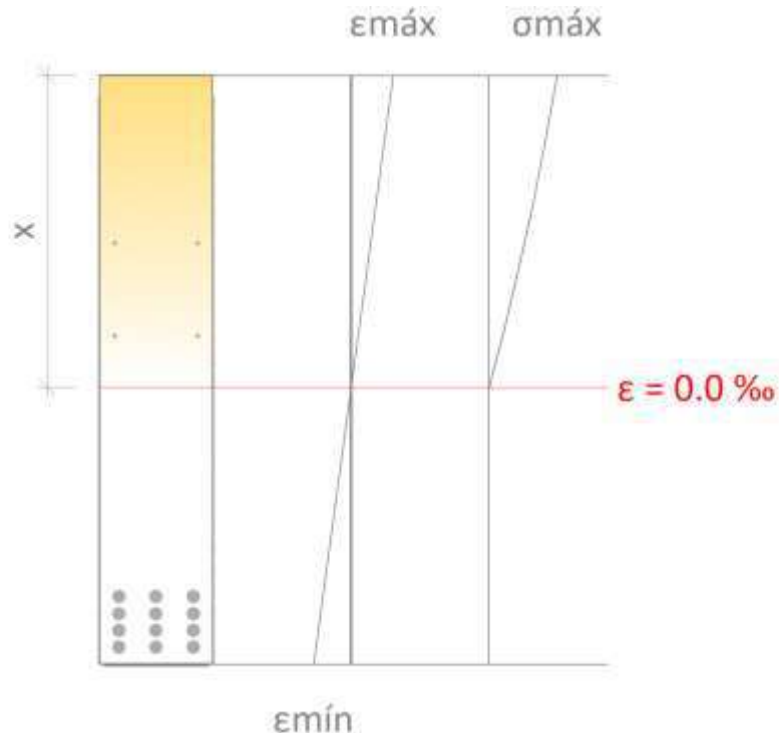
### 5.3. Estados límite de servicio

La tensión en el acero de refuerzo bajo cargas de servicio debe limitarse al 80% del límite elástico. Además, la tensión de compresión del concreto bajo cargas de servicio debería limitarse al 60% de la resistencia a compresión (ACI 440.2R-17, 10.2.8).

La tensión sostenida debería limitarse como se expresa en la ec. (ACI 440.2R-17, 10.2.9):

Equilibrio de fuerzas de la sección para cargas de servicio

$$S_u = 1.00 \cdot S_{DL} + 1.00 \cdot S_{LL}$$



Sika Services AG Elemento: VIGA PRINCIPAL

Corporate Tech. Dept. Editor:

Tüffenwies 16 Notas:  
8048 Zürich  
(Suiza)

www.sika.com

10/17

Fecha:  
17/06/2022

Proyecto:  
REFORZAMIENTO  
PUENTE ...

**BUILDING TRUST**



Deformación máxima y mínima

$$\epsilon_{\text{máx}} = 0.75 \text{ ‰}$$

Tensión máxima en el hormigón

$$\epsilon_{\text{mín}} = -0.67 \text{ ‰}$$

$$f_c = 10.86 \text{ MPa}$$

Profundidad de la fibra neutra

$$x = 741.34 \text{ mm}$$

Tensión y deformación de los refuerzos			
Ref.	Coord. Y (mm)	f (MPa)	$\epsilon$ (‰)
No. 12.7	300	68.95	0.34
No. 12.7	80	24.51	0.12
No. 31.75	-660	-124.96	-0.62
No. 31.75	-620	-116.88	-0.58
No. 31.75	-580	-108.81	-0.54
No. 31.75	-540	-100.73	-0.50
FRP	-701	-74.14	-0.55
FRP	-702	-74.28	-0.55
FRP	-703	-74.42	-0.55
FRP	-675	-71.22	-0.52
FRP	-625	-65.51	-0.48
FRP	-575	-59.80	-0.44
FRP	-525	-54.10	-0.40
FRP	-475	-48.39	-0.36
FRP	-425	-42.68	-0.31
FRP	-375	-36.97	-0.27
FRP	-325	-31.26	-0.23
FRP	-275	-25.55	-0.19
FRP	-225	-19.85	-0.15
FRP	-175	-14.14	-0.10
FRP	-125	-8.43	-0.06
FRP	-75	-2.73	-0.02
FRP	-25	0.00	0.02
FRP	25	0.00	0.06
FRP	75	0.00	0.11
FRP	125	0.00	0.15
FRP	175	0.00	0.19
FRP	225	0.00	0.23
FRP	275	0.00	0.27
FRP	325	0.00	0.32
FRP	375	0.00	0.36
FRP	425	0.00	0.40
FRP	475	0.00	0.44
FRP	525	0.00	0.48
FRP	575	0.00	0.53
FRP	625	0.00	0.57

\*: La tensión en FRP se ve afectada por un coeficiente reductor adicional ( $\psi_f = 0.85$ ).

Sika Services  
AG

Elemento: VIGA PRINCIPAL

Fecha:  
17/06/2022

Corporate  
Tech. Dept.

Editor:

Proyecto:

PUENTE ...

Tüffenwies 16  
8048 Zürich  
(Suiza)

www.sika.com

11/17

BUILDING TRUST



#### 5.4. Resistencia al fuego (t=0 min.)

Límites del refuerzo. Sección no reforzada.

$$S_u = 1.00 \cdot S_{DL} + 1.00 \cdot S_{LL}$$

$$2407.69 \text{ kN}\cdot\text{m} \geq 1246.40 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \checkmark$$

Momento nominal

$$M_n : 2407.69 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Factor de reducción de resistencia

$$\phi : 1.00$$

La resistencia nominal del elemento no reforzado supera la requerida para la combinación de cargas correspondiente a la situación de incendio. El refuerzo FRP, por tanto, no es necesario durante la situación de incendio, y no es necesario aplicarle protección. Si se necesita una cierta resistencia al fuego, el proyectista debe evaluar la necesidad de aplicar una protección al elemento de hormigón armado de acuerdo con la normativa local.

#### 5.5. Disposición del FRP

Los resultados previos corresponden al siguiente esquema FRP:

Refuerzo FRP principal: Número de capas: 3, 5 + 5 + 5 (Sika® CarboDur® S512 (US))

Refuerzo lateral FRP: Alma 2 x 27 (Sika® CarboDur® S512 (US))



## 6. ESPECIFICACIÓN DE PRODUCTO

### 6.1. Laminados Sika CarboDur® adheridos

El refuerzo se efectuará mediante el uso de laminados pultruidos CarboDur a base de polímero reforzado, adherido externamente a la estructura mediante adhesivo epoxi Sikadur®-30.

El material será un laminado unidireccional pultruido de CFRP, con un contenido volumétrico de fibra >68%.

Los laminados estarán totalmente rectos, planos y libres de torsión.

El material dispondrá de un registro de utilización (> 25 años) para refuerzo estructural.

Se aportarán certificados de ensayos del adhesivo tras envejecimiento acelerado de 100 días.

Sika Services  
AG Elemento: VIGA PRINCIPAL

Corporate  
Tech. Dept. Editor:

Tüffenwies 16 Notas:  
8048 Zürich  
(Suiza)

www.sika.com

Fecha:  
17/06/2022

Proyecto:  
REFORZAMIENTO  
PUENTE ...

**BUILDING TRUST**



### 6.1.1. Preparación de la superficie de hormigón/concreto

Cualquier material no cohesivo será retirado, y el hormigón/concreto será reparado tal y como se indica anteriormente. Cualquier oquedad significativa o nido de grava será rellenado con un mortero de reparación adecuado.

Los materiales de reparación serán totalmente compatibles con el adhesivo.

La resistencia real a arrancamiento del soporte de hormigón/concreto será verificada al menos mediante 3 ensayos de pull-off.

El hormigón/concreto tendrá una edad superior a 28 días.

La lechada superficial en el sustrato será eliminada hasta que se logre una superficie de poro abierto.

La superficie del soporte será limpiada hasta que quede libre de aceites, grasas y cualquier otro contaminante, así como de partículas sueltas y polvo.

La humedad del soporte será inferior al 4% pbw.

### 6.1.2. Laminados Sika CarboDur®

Los materiales cumplirán con las prestaciones mínimas indicadas a continuación:

#### 6.1.2.1. Propiedades de los laminados Sika CarboDur® S:

Contenido volumétrico en fibra		> 68%
Temperatura de trans. vítrea.		> 100°C
Módulo Elástico	EN 2561/ASTM D3039	≈ 170000 N/mm <sup>2</sup> (MPa)
Resistencia a tracción	EN 2561/ASTM D3039	≈ 3100 N/mm <sup>2</sup> (MPa)
Deformación de rotura	EN 2561/ASTM D3039	> 1.7%

#### 6.1.2.2. Propiedades de los laminados Sika CarboDur® S:

Contenido volumétrico en fibra		> 68%
Temperatura de trans. vítrea.		> 100°C
Módulo Elástico	EN 2561/ASTM D3039	≈ 170000 N/mm <sup>2</sup> (MPa)
Resistencia a tracción	EN 2561/ASTM D3039	≈ 3100 N/mm <sup>2</sup> (MPa)
Deformación de rotura	EN 2561/ASTM D3039	> 1.7%

### 6.1.3. Adhesivo epoxi

El material será en base epoxi, pudiendo emplearse el mismo producto como imprimación, masilla de regularización y adhesivo.

El material no emitirá sustancias peligrosas para la salud, higiene o medio ambiente.

El material será resistente a la fluencia a largo plazo, probado mediante ensayo independiente.

El material cumplirá con los requerimientos de la EN 1504-4 como adhesivo estructural para la adhesión de placas de refuerzo.

#### 6.1.3.1. Propiedades del adhesivo Sikadur®-30:

El adhesivo cumplirá con lo establecido en la EN 1504-4.

Sika Services  
AG Elemento: VIGA PRINCIPAL

Corporate  
Tech. Dept. Editor:

Tüffenwies 16 Notas:  
8048 Zürich  
(Suiza)

www.sika.com

13/17

Fecha:  
17/06/2022

Proyecto:  
REFORZAMIENTO  
PUENTE ...

**BUILDING TRUST**



Densidad (mezcla A+B) a +23°C	1.65 kg/l + 0.1 kg/l
Resistencia al corte oblicuo sobre acero:	50° ≥ 50 N/mm <sup>2</sup>
	60° ≥ 60 N/mm <sup>2</sup>
	70° ≥ 70 N/mm <sup>2</sup>
Capacidad de adherencia:	≥ 14 N/mm <sup>2</sup>
Resistencia a cortante:	≥ 12 N/mm <sup>2</sup>
Resistencia a compresión:	≥ 30 N/mm <sup>2</sup>
Retracción / expansión:	≤ 0.1%
Trabajabilidad:	85 min. a 23°C
Sensibilidad al agua	Pasa
Módulo elástico:	≥ 2000 N/mm <sup>2</sup>
Coefficiente de dilatación térmica:	≤ 100 x 10 <sup>-6</sup>
Temperatura de transición vítrea:	≥ 40°C
Durabilidad	Pasa

Cumplimiento de los requerimientos FIP

Deslizamiento	Sin escurrimiento hasta 3 -5 mm en vertical
Compresibilidad	4000 m2 a +15°C a 15 kg
Variación volumétrica	0.04%
Resistencia a cortante a 15°C	>14 N/mm <sup>2</sup>
Resistencia a cortante a 35°C	>26 N/mm <sup>2</sup>
Módulo elástico a compresión	9600 N/mm <sup>2</sup>
Módulo elástico a tracción	11200 N/mm <sup>2</sup>

#### 6.1.4. Procedimiento de aplicación

Los laminados serán cortados a la medida necesaria mediante disco de corte o sierra de corte.

Los laminados serán limpiados y desengrasados con Sika® Colma® Limpiador o limpiador basado en alcohol isopropílico.

El adhesivo será aplicado en los laminados de modo que quede un espesor de aproximadamente 1 mm en los laterales y 2 mm en el eje de la lámina.

Una capa fina de adhesivo será extendida sobre el soporte ya preparado para rellenar cualquier irregularidad o pequeñas oquedades.

La lámina será colocada sobre el soporte y presionada sobre él, inicialmente de forma manual y controlada y posteriormente con un rodillo rígido de goma, hasta que el adhesivo escurra por ambos laterales de la lámina. El exceso de material será retirado.

En el caso de las intersecciones de laminados, la superficie de la placa inferior se debe limpiar de suciedad y grasa, y un suplemento de adhesivo se aplicará a ambos lados de la placa inferior de modo que el laminado superior esté en contacto con el soporte en toda su longitud.

El sistema adherido sobre el adhesivo fresco permanecerá inmóvil durante al menos 24 horas, libre de vibraciones al menos durante el periodo de curado del adhesivo.

Sika Services AG Elemento: VIGA PRINCIPAL

Corporate Tech. Dept. Editor:

Tüffenwies 16 Notas:  
8048 Zürich  
(Suiza)

www.sika.com

Fecha:  
17/06/2022

Proyecto:  
REFORZAMIENTO  
PUENTE ...

**BUILDING TRUST**



Si fuera necesario, el sistema aplicado será protegido mediante un revestimiento adecuado (se dispondrán de ensayos de compatibilidad entre el revestimiento y el laminado).

Sika Services  
AG Elemento: VIGA PRINCIPAL

Corporate  
Tech. Dept. Editor:

Tüffenwies 16 Notas:  
8048 Zürich  
(Suiza)

[www.sika.com](http://www.sika.com)

15/17

Fecha:  
17/06/2022

Proyecto:  
REFORZAMIENTO  
PUENTE ...

**BUILDING TRUST**



## 7. AVISO LEGAL

EL USO Y/O LA APLICACIÓN DEL SOFTWARE Y LOS RESULTADOS RESPECTIVOS DEBEN SER DETERMINADOS SOLAMENTE POR USUARIOS PROFESIONALES CON CONOCIMIENTOS ESPECIALES EN EL ÁREA DEL USO Y/O LA APLICACIÓN PREVISTO/A. LOS USUARIOS TIENEN QUE VERIFICAR INDEPENDIEMENTE LOS RESULTADOS OBTENIDOS ANTES DEL USO. TAMBIÉN TIENEN QUE SEGUIR RIGUROSAMENTE LAS CONDICIONES LOCALES DEL USO Y/O DE LA APLICACIÓN, LAS HOJAS DE DATOS DE PRODUCTOS Y LA LITERATURA RESPECTIVA, EL ESTADO DE LA TÉCNICA ASÍ COMO LAS NORMATIVA Y REGLAMENTACIÓN LOCALES.

El software está disponible "TAL CUAL" Y SIN NINGUNA GARANTÍA O INDEMNIZACIÓN DE NINGUNA CLASE. SIKA NO OTORGA GARANTÍAS, CONDICIONES, INDEMNIZACIONES, REPRESENTACIONES O TÉRMINOS, EXPRESOS O IMPLÍCITOS, YA SEA POR ESTATUTO, JURISPRUDENCIA, COSTUMBRE, USO O POR CUALQUIER OTRA FORMA en relación con el uso del software.

En ningún caso Sika será responsable ante usted por cualquier daño, reclamación o costos de cualquier naturaleza, ni de ningún daño resultante, indirecto, incidental, punitivo o especial, ni de perjuicios o pérdida de ahorros o de cualquier otro tipo que surja de cualquier forma debido a la instalación, uso o mantenimiento del software.

Esta información y, en particular, las recomendaciones relativas a la aplicación y uso final del producto, están dadas de buena fe, basadas en el conocimiento actual y la experiencia de Sika de los productos cuando son correctamente almacenados, manejados y aplicados, en situaciones normales, dentro de su vida útil y de acuerdo con las recomendaciones de Sika. En la práctica, las posibles diferencias en los materiales, soportes y condiciones reales en el lugar de aplicación son tales, que no se puede deducir de la información del presente documento, ni de cualquier otra recomendación escrita, ni de consejo alguno ofrecido, ninguna garantía en términos de comercialización o idoneidad para propósitos particulares, ni obligación alguna fuera de cualquier relación legal que pudiera existir. El usuario debe ensayar la conveniencia de los productos para la aplicación y la finalidad deseadas. Sika se reserva el derecho de modificar las propiedades de sus productos. Se reservan los derechos de propiedad de terceras partes. Los pedidos son aceptados en conformidad con los términos de nuestras vigentes Condiciones Generales de Venta y Suministro. Los usuarios deben conocer y utilizar la versión última y actualizada de las Hojas de Datos de Productos, copias de las cuales se mandarían a quién las solicite.

Salvo que se indique lo contrario, toda la información, texto, imágenes gráficas, características o funciones, y el diseño contenidos en este software son propiedad exclusiva de Sika y no podrán ser copiados o distribuidos, en su totalidad o en parte, sin el consentimiento expreso y por escrito de la Compañía

Al facilitar información a Sika, usted concede a la Compañía la licencia no restringida e irrevocable para utilizar, reproducir, exhibir, modificar, distribuir y reproducir tal información. La información personal será utilizada por Sika sólo para procesar solicitudes de información efectuadas por el usuario o para la comercialización de nuestros productos y servicios.

© Copyright Sika Services AG 2016

## 8. ACERCA DE SIKA® CARBODUR® CALCULATION SOFTWARE

Desarrollado por:



**Cype Software** - Eusebio Sempere, 5 - 03003 Alicante (España)

[www.cype.com](http://www.cype.com)

Sika Services AG Elemento: VIGA PRINCIPAL

Corporate Tech. Dept. Editor:

Tüffenwies 16 Notas:  
8048 Zürich  
(Suiza)

[www.sika.com](http://www.sika.com)

16/17

Fecha:  
17/06/2022

Proyecto:  
REFORZAMIENTO  
PUENTE ...

**BUILDING TRUST**



Sika Services  
AG Elemento: VIGA PRINCIPAL

Corporate  
Tech. Dept. Editor:

Tüffenwies 16 Notas:  
8048 Zürich  
(Suiza)

[www.sika.com](http://www.sika.com)

17/17

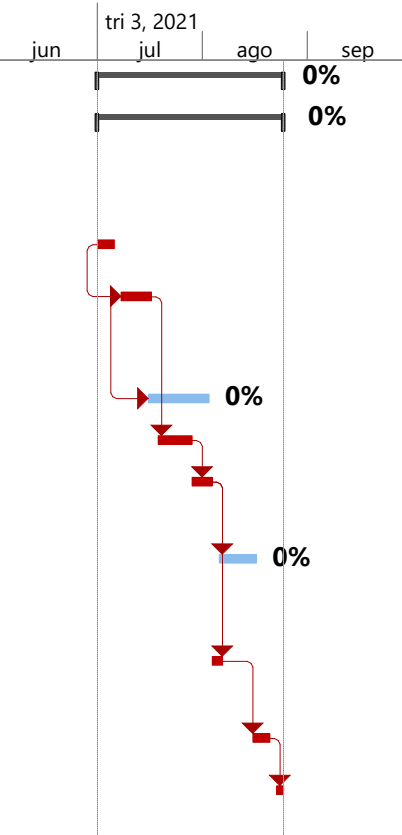
Fecha:  
17/06/2022

Proyecto:  
REFORZAMIENTO  
PUENTE ...

**BUILDING TRUST**



Id	Mod de tarea	item	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Prede	Nombres de los recursos	Unid	Cantid	Costo	tri 3, 2021				
												jun	jul	ago	sep	
1			<b>PROYECTO</b>	39 días	jue 1/07/21	mar 24/08/21					\$187,200,000					0%
2			<b>INTERVENCIÓN PUENTE CAÑO MACANAL REFORZAMIENTO CON LAMINAS DE SIKACARBODUR E INYECCIÓN FISURAS Y RECONSTRUCCIÓN DE LOSA</b>	39 días	jue 1/07/21	mar 24/08/21					\$187,200,000					0%
3		1,0	Localizacion para Instalar Platinas Sika Carbodur S1012	3 días	jue 1/07/21	lun 5/07/21		COMISION TOPOGRAFIC.	M2	150,00	\$2,250,000					
4		2,0	Demolicion concreto estructural (incluye cargue y retiro de sobrantes a una distancia de 5km)	7 días	jue 8/07/21	vie 16/07/21	3CC+5 días	CUADRILLA DE EXCAVACION DE	M3	30,00	\$5,220,000					
5		3,0	Concreto 3000 PSI	12 días	vie 16/07/21	lun 2/08/21	4CC+6 c	CUADRILLA C	M3	30,00	\$16,830,000					0%
6		4,0	Acero de Refuerzo	8 días	lun 19/07/21	mié 28/07/21	4	CUADRILLA D	Kg	3.000,00	\$25,200,000					
7		5,0	Aplicación de Adhesivo Sikadur 30 sobre las Vigas para adherencia fibra de Carbono Platinas Sika Carbodur S1012	4 días	jue 29/07/21	mar 3/08/21	6	CUADRILLA CONFORMACION DE	ML	360,00	\$29,880,000					
8		6,0	Instalacion de Platinas Sika Carbodur S1012- Platinas de 100 MM de ancho y 1.2 mm de espesor de fibra de carbono para refuerzo estructural	7 días	vie 6/08/21	lun 16/08/21	7FC+2 días	CUADRILLA CONFORMACION DE CONCRETOS	ML	360,00	\$97,920,000					0%
9		7,0	Aplicación de Sikadur 510 ((Arena de Cuarzo Alta Utilizada sobre la lamina de refuerzo sika carbodur S1012)	3 días	mié 4/08/21	vie 6/08/21	7	CUADRILLA CONFORMACION DE	ML	360,00	\$3,600,000					
10		8,0	Aplicación de Sikadur Color C (Sello de Microfisuras de ancho menor a 1 mm)	5 días	lun 16/08/21	vie 20/08/21	9FC+5 días	CUADRILLA CONFORMACION DE	M2	150,00	\$3,000,000					
11		9,0	Sello de Fisuras con ancho mayor a 1 mm con resina Epoxica Sikadur 35 Hi Mod LV	2 días	lun 23/08/21	mar 24/08/21	10	CUADRILLA CONFORMACION DE	KG	10,00	\$3,300,000					



Progreso de tarea crítica		Tareas críticas		Resumen manual	
Tarea		División crítica		Resumen del proyecto	
División		Línea base		Tareas externas	
Progreso de tarea		División de la línea base		Hito externo	
Tarea manual		Hito de línea base		Tarea inactiva	
solo el comienzo		Hito		Hito inactivo	
solo fin		Progreso del resumen		Resumen inactivo	
solo duración		Resumen		Fecha límite	