

UNIVERSIDAD PERUANA DEL CENTRO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



ESTUDIO DEL USO DE SELLADOR, VARILLAS PLATINAS Y MANTAS DE FIBRA DE CARBONO, EN EL COMPORTAMIENTO DE LA LOSA DE CONCRETO ARMADO DEL TABLERO DEL PUENTE SOBRE EL RÍO MANTARO EN LOS DISTRITOS DE CHILCA, TRES DE DICIEMBRE, PROVINCIAS DE HUANCAYO, CHUPACA, REGIÓN JUNÍN 2017

TESIS

PRESENTADO POR LOS BACHILLERES:

**Bach. / Ing. AUGUSTO PAREDES TAIPE
Bach. / Ing. JOSÉ LUIS ROJAS CAJACURI**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

ASESORES:

**Dr. Ing. José Luis LEÓN UNTIVEROS
Ing. Melquiades Elmer HINOSTROZA BARTOLO**

**HUANCAYO – PERÚ
JUNIO - 2018**

Con profundo afecto a todas las personas que
contribuyeron con la realización de la presente tesis.

Los alumnos

ÍNDICE

RESUMEN	xiv
ABSTRACT	xv
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA.....	1
1.1.1. Descripción de la Losa de Concreto Armado	2
1.1.2. Fisuras de la Parte Superior de la Losa	4
1.1.3. Fisuras en la Parte Inferior de la Losa.....	6
1.1.4. Descripción de las Fisuras en la Losa	7
1.1.5. Evaluación Estructural de la Losa de Concreto Armado.....	9
1.1.6. Verificación de la Resistencia del Concreto de la Losa Fisurada.....	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	16
1.2.1. Problema General	16
1.2.2. Problemas Específicos.....	16
1.2.2.1. Problema Específico 1	16
1.2.2.2. Problema Específico 2.....	16
1.2.2.3. Problema Específico 3.....	16
1.2.2.4. Problema Específico 4.....	17
1.3. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA	17
1.4. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....	18
1.5. OBJETIVOS.....	18
1.5.1. Objetivo General	18
1.5.2. Objetivos Específicos	19
1.5.2.1. Objetivo Especifico 1	19
1.5.2.2. Objetivo Específico 2	19

1.5.2.3. Objetivo Específico 3	19
1.5.2.4. Objetivo Específico 4	19
1.6. HIPÓTESIS.....	20
1.6.1. Hipótesis General.....	20
1.6.2. Hipótesis Específicas	20
1.6.2.1. Hipótesis Específica 1.....	20
1.6.2.2. Hipótesis Específica 2	20
1.6.2.3. Hipótesis Específica 3	21
1.6.2.4. Hipótesis Específica 4	21
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO	22
2.1. MARCO FILOSÓFICO O EPISTEMOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN	22
2.1.1. Teoría de la Fisuración por Tracción	22
2.1.2. Teoría del Comportamiento a Flexión y Corte	23
2.1.3. Teoría de Adhesión para Sellar Fisuras	24
2.1.4. Teoría de los Materiales Compuestos	25
2.1.5. Teoría del Diseño de Reforzamiento con Fibra de Carbono	27
2.1.6. Teoría del Modelamiento Estructural del Puente	35
2.1.7. Guía para el Diseño y Construcción de Sistemas de FRP con Ligadura Externa para el Fortalecimiento de Estructuras de Concreto	37
2.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	38
2.3. BASES TEÓRICAS.....	43
2.3.1. Puente atirantado.....	43
2.3.2. Losa de Concreto Armado	44
2.3.3. Concreto	45
2.3.3.1. Características del Concreto.....	45

2.3.3.2. Resistencia del Concreto en una Estructura Real	45
2.3.3.3. Resistencia a la Tracción del Concreto	46
2.3.3.4. Concreto Armado o Reforzado	46
2.3.4. Acero para Reforzar al Concreto	47
2.3.5. Características de las Varillas de Acero	47
2.3.6. Fisuras	48
2.3.6.1. Diferencias entre Fisuras y Grietas	48
2.3.6.2. Fisuras según Tiempo de Aparición	49
2.3.6.3. Fisuración por Retracción Plástica	50
2.3.6.4. Fisuración por Tensiones de Origen Térmico	50
2.3.6.5. Fisuración por Cargas Externas	50
2.3.6.6. Inclinação de las Fisuras	52
2.3.6.7. Control de Fisuras en Estructuras de Concreto	54
2.3.7. Adherencia al Concreto	54
2.3.7.1. Grupo de Adhesivos	55
2.3.7.2. Adhesivos Reactivos	56
2.3.7.3. Epoxis	56
2.3.7.4. Inyección de Epoxis	57
2.3.7.5. Características de Adhesivo Epojet para Fisuras de Concreto	58
2.3.8. Fibra de Carbono	59
2.3.8.1. Reforzamiento con Fibra de Carbono	59
2.3.8.2. Ventajas del Uso de la Fibra de Carbono	59
2.3.8.3. Propiedades de la Fibra de Carbono	60
2.3.8.4. Comparación de Propiedades Mecánicas de Fibras de Carbono y Basalto	61

2.3.8.5. Características de Varillas de Fibra de Carbono, Maperod C.....	61
2.3.8.6. Características de la Fibra de Carbono, Lámina de Carboplate E-170...	62
2.3.8.7. Características de Manta Fibra de Carbono, MapeWarp B UNI-X.....	62
2.3.8.8. Ligante para Fibra de Carbono	63
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....	64
3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	64
3.1.1. Investigación Aplicada Tipo Experimental	64
3.1.2. Investigaciones Precedentes.....	65
3.1.2.1. Ensayos de Vigas a Flexión. (Proaño Tataje)	65
3.1.2.2. Ensayos de Vigas a Flexión. (Beltrán Riveros)	67
3.1.2.3. Ensayos de Vigas a Fuerza Cortante. (Contreras Rincón).....	69
3.1.3. Ensayos de Probetas ejecutados por los Tesistas	71
3.1.4. Modelamiento Estructural SAP 2000.....	82
3.1.5. Resistencia del Concreto de la Losa	86
3.1.6. Reforzamiento Estructural de la Losa con Fibra de Carbono.....	87
3.1.7. Resistencia del Concreto de la Losa Reforzada	90
3.1.8. Sellado de Fisuras de la Losa de Concreto Armado.....	91
3.1.9. Reforzamiento Estructural con Barras de Fibra de Carbono Parte Superior .	92
3.1.10. Instalación de Láminas Carboplate E-170 en la Losa de Concreto Armado Parte Inferior	95
3.2. POBLACIÓN DE ESTUDIO	97
3.3. TAMAÑO DE LA MUESTRA.....	97
3.4. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	98
CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	99
4.1. ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	99

4.1.1. Comprobación de la Resistencia del Concreto de la Losa Fisurada según Modelamiento SAP 2000.....	99
4.1.2. Fisuras	101
4.1.3. Adhesivos	102
4.1.4. Fibra de Carbono	104
4.1.5. Ensayos de Probetas de la Investigación Ejecutados por los Tesistas.....	107
4.1.6. Resistencia del Concreto de la Losa Reforzado	111
4.1.7. Sellado de Fisuras de la Losa de Concreto e Instalación de Fibra de Carbono	111
4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS	112
4.2.1. Hipótesis General.....	112
4.2.2. Prueba de Hipótesis Específicas	114
4.3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	116
CAPÍTULO V IMPACTOS	122
5.1. PROPUESTA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....	122
5.1.1. Evaluación para Reforzar la Losa del Tablero del Puente a través de Acero-Hormigón o Fibra de Carbono	123
5.2. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA	126
5.3. BENEFICIOS QUE APORTA LA PROPUESTA.....	134
5.3.1. Costos de Proyecto.....	134
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	138
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	145
ANEXOS	

ANEXOS

- ANEXO 1 PLANOS DE FISURAS
- ANEXO 2 PLANOS DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL PARTE SUPERIOR
E INFERIOR DE LA LOSA
- ANEXO 3 MODELAMIENTO DEL PUENTE
- ANEXO 4 PANEL FOTOGRÁFICO
- ANEXO 5 INFORME DE ENSAYOS DE FLEXIÓN A TRES PUNTOS
- ANEXO 6 PROTOCOLOS DE ADHERENCIA
- ANEXO 7 DIMENSIONAMIENTO DE LA FIBRA DE CARBONO
- ANEXO 8 ÁREA FISURADA
- ANEXO 9 MATRIZ DE CONSISTENCIA Y OPERACIONALIZACIÓN DE
VARIABLES

ÍNDICE DE FOTOS

FOTO 1 Fisura Transversal $e= 1.2\text{mm}$ de 7.60m de Long. Fuente propia.....	4
FOTO 2 Fisura $e=1.2\text{mm}$, 10m Long. Fisura Transversal Y Fisura $e=1.2\text{ mm}$, 4.2m Log. Fuente propia	5
FOTO 3. Fisura de $e=1.2\text{mm}$ de 7.60 m de Long. Transversal y Fisura $e=1.4\text{mm}$ de 7.60 mm de Long. Fuente propia	5
FOTO 4 Fisura Transversal Pasante Continuo. Fuente propia.	6
FOTO 5 Fisura Transversal Pasante, una Continua y otra Discontinua. Fuente propia.	6
FOTO 6 Materiales que se Utilizaron para Reforzar las Probetas. Fuente propia.	73
FOTO 7 Vigas para Ensayos en el Laboratorio de Estructuras y Simulación Sísmica de UPLA junto con el Docente Ing. Julio Nakandakare Santana Fuente propia.	73
FOTO 8 Varillas Adheridas al Concreto para el Ensayo. Fuente propia.	74
FOTO 9 Láminas adheridas a la Viga. Fuente propia	74
FOTO 10 Control y Montaje de la Probeta al equipo de Ensayo. Fuente propia	75
FOTO 11 Probeta Fractura Prematuramente se Desecha el Ensayo. Fuente propia	75
FOTO 12 Probeta VS2 Fracturado a 26.576 kN. Resistencia de Rotura 39.864 MPa. Fuente propia	76
FOTO 13 Probeta VS3 fracturado a 20.492 kN, Resistencia a la Rotura 4.098 MPa. Fuente propia.	76
FOTO 14 Ensayo Probeta VR1 a Flexión, Reforzado con Varilla y Platina de FRP adherido al Concreto. Fuente propia	77
FOTO 15 Aparición de la Fisura en la probeta VR1. Carga de Rotura 60.258 kN, Resistencia a la Flexión 12.1MPa. Fuente propia.	77
FOTO 16 Desprendimiento de Lámina de FRP y Fisuras a Carga de Rotura 60.258 kN. Fuente propia.	78
FOTO 17 Probeta VR2 Fracturado con Carga de Rotura 74.381kN y Resistencia a la Flexión 14.9 MPa. Fuente propia.....	78
FOTO 18 Desprendimiento de la Lámina FRP y Fractura por Carga de Rotura 74.381 kN, a Resistencia de Flexión 14.9 MPa. Fuente propia	79
FOTO 19 Ensayo de Probeta VR3 Reforzado con Varillas, Lamina y Manta de FRP. Fuente propia.	79
FOTO 20 Fisuras en el Concreto, Manta de FRP y el Desprendimiento de Platina de FRP asimismo del Concreto a 90.686 kN y Resistencia a la Flexión 18.1 MPa. Fuente propia.	80
FOTO 21 Se Observa la Fisura en la Manta de Carbono y el Desprendimiento del Carbono. Fuente propia.	80

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 Coeficiente por Retracción. Fuente AASTHO	10
FIGURA 2 Coeficiente de Fluencia Fuente AASHTO	10
FIGURA 3 Modelamiento del Puente. Fuente Sima- Perú	11
FIGURA 4 Fase 1 Modelamiento de Puente Fuente Sima – Perú	11
FIGURA 5 Fase 3 Modelamiento de Puente. Fuente Sima- Perú	11
FIGURA 6 Fase 4 Modelamiento de Puente. Fuente Sima Perú	12
FIGURA 7 Esfuerzo en la Losa a Tiempo infinito por Retracción. Fuente: Sima Perú.	12
FIGURA 8 Esfuerzo máximo en la losa a 546 días por Tracción. Fuente: Sima Perú.	12
FIGURA 9 Tracción en la Losa por Gradiente Térmico. Fuente: Sima Perú.	13
FIGURA 10 Comportamiento a Flexión en una Viga. Fuente Rafael Contreras.	23
FIGURA 11 Comportamiento de la Fuerza Cortante en una Viga. Fuente Rafael Contreras.	24
FIGURA 12 Comportamiento de Corte en una Viga en Concreto Reforzado. Fuente Rafael Contreras.....	24
FIGURA 13 Diferencias en Evolución de la Viscosidad durante el Curado. Fuente: Mario Madrid	25
FIGURA 14 Ley de la Constitutiva de un Material FRP. Fuente CNR-DT-200R1/2014).....	26
FIGURA 15 Descementado y Delaminación de Sistemas FRP unidos externamente. (ACI 440 2R-8) Fuente: ACI.	31
FIGURA 16 Refuerzo adherido externamente Delaminación. Fuente ACI 440 2R-8.....	31
FIGURA 17 Profundidad eficaz de los Sistemas de FRP. Fuente ACI 440.02-08	32
FIGURA 18 La Tensión y la Distribución de Tensiones Internas para Sección Rectangular Bajo flexión límite último Fuente ACI 440.2R-08.....	33
FIGURA 19 Capacidad de Flexión Fuente William Baca.....	34
FIGURA 20 Cálculo de Deformaciones. Fuente William Baca.	34
FIGURA 21 Resistencia a la Flexión Fuente William Baca.	34
FIGURA 22 Distribución de Cargas. Fuente Ricardo Pérez y Marco Manzano	44
FIGURA 23 Fisuras por Tracción. Fuente Ottazzi Pasino.	51
FIGURA 24 Fisuras por Flexión. Fuente Ottazzi Pasino	51
FIGURA 25 Fisuras por Flexión - Corte. Fuente Ottazzi Pasino.	51
FIGURA 26. Fisura de Flexión Simple y Compuesto Fuente C y T 2013.....	53
FIGURA 27 Tracción originan Fisuras Perpendiculares al Esfuerzo. Fuente Oyarzabal Schroeder.	53
FIGURA 28 Fisura Estructural. Fuente Oyarzabal Schroeder	53
FIGURA 29 Fisuras estructurales, Esfuerzo Cortante y Flexión. Fuente Oyarzabal Schroeder	53
FIGURA 30 Posicionamiento de los Adhesivos Fuente Tecnología de la Adhesión. Fuente Mario Madrid.	54

FIGURA 31 Esquema Básico de una Unión Adhesiva. Fuente Mario Madrid.....	55
FIGURA 32 Diferenciación entre Adhesión y Cohesión Fuente Mario Madrid.....	55
FIGURA 33 Flujo Experimental para ejecutar los ensayos dentro de la Tesis. Fuente propia.	64
FIGURA 34 Viga de Control. Ensayo a Flexión. Fuente Proaño Tataje.....	65
FIGURA 35 Viga 1 A para Prueba de Flexión Fuente Proaño Tataje.	65
FIGURA 36 Viga 2B para Prueba de Flexión. Fuente Proaño Tataje.	65
FIGURA 37 Viga 3A para Prueba de Flexión. Fuente Proaño Tataje.	66
FIGURA 38 Alzado de la Viga a Fallar, $f_c = 245 \text{ Kg/cm}^2$, apoyos a 2.8 de luz. Fuente Beltrán Riveros.	68
FIGURA 39 Esquema de Distribución de Acero y el Reforzamiento con Fibra de Carbono. Fuentes Cárdenas Rincón.....	69
FIGURA 40 Viga de Control agrieta Generada por Corte a 30 Tn. Fuente Cárdenas Rincón.	70
FIGURA 41 Instalación de Tiras de FRP a lo largo de la Vigas Preventiva Fuente Cárdenas Rincón	70
FIGURA 42 Tracciones, Retracción, Gradiente Térmico, Incremento Uniforme de Temperatura, Estado Límite de Resistencia, Estado Límite de Servicio. Fuente: Sima Perú.	85
FIGURA 43 Tracciones de estado Límite de Resistencia, Estado Límite de Servicio, Refuerzo tipo Varillas, Refuerzo Lámina. Fuente: Sima Perú.	86
FIGURA 44 Comportamiento del Puente Atirantado luego de Modelamiento Final. Fuente propia.	90
FIGURA 45 Cuadro de Esfuerzos, el Total de la Columna S11Top determina el esfuerzo de la Armadura de refuerzo. Fuente propia.	90

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 Metrado Partida Losa de Concreto y Veredas. Fuente propia.	3
TABLA 2 Comparación entre las Propiedades Mecánica de un producto Procurado y Fibras Fuente: CNR.....	27
TABLA 3 Comparación entre Propiedades de Fibra, Matriz y Acero (CNR-DT 200 R1/2014). Fuente: CNR.....	27
TABLA 4 Factor de Reducción para Varias FRP y Condiciones de Exposición. Fuente ACI 440.02-08.....	30
TABLA 5 Características de Varillas de Acero Corrugadas Fuente Ottazzi Pasino.	48
TABLA 6 Características de Varillas de Acero de Refuerzo. Fuente Ottazzi Pasino.	48
TABLA 7 Fisuras según Tiempo de Aparición Fuente E. Vidaud	49
TABLA 8 Anchos de Fisuras según Condición de Exposición Fuente Sika Colombia SAC	54
TABLA 9 Requisitos de Estándar ASTM C881 para Resinas Epóxicas para Adhesión de Concreto Endurecido Fuente Boletín 1 E706 de ACI.	57
TABLA 10 Densidades Típicos de FRP lb/ft3 (g/cm ³). Fuente ACI 440.2R-12.	60
TABLA 11 Coeficientes de Dilatación Térmica para los Materiales de FRP Fuente ACI 440.2R-12	60
TABLA 12 Propiedades de Fibras de Refuerzo de Barras de FRP Adaptado de FIB Task Group 9 Fuente: Valles Pla.	61
TABLA 13 Evaluación de los resultados finales del proceso de investigación Fuente propia.	64
TABLA 14 Resistencia de las Vigas Fisuradas y Reforzadas respecto a la Viga de Control, Ensayo de Proaño Tataje. Fuente propia.	66
TABLA 15. Resultados de Ensayo de tres Vigas Fisuradas Previamente y una Viga Reforzada a Flexión - Investigación de Proaño Tataje. Fuente propia.	67
TABLA 16 Pruebas de Beltrán Ríos, Ensayo de Vigas V1 de Control, V2 Fisurada muy cerca a la Carga de Agrietamiento, V3 agrietada cerca de la Carga de Falla. Fuente propia.....	68
TABLA 17 Pruebas de Beltrán Riveros .Comparación de la Resistencia a la Primera Fisuración y la Resistencia Final de Rotura Respecto a la Viga de Control. Fuente propia.....	69
TABLA 18 Prueba de Corte de Ensayo de Vigas reforzadas a corte de Rafael Contreras. Fuente propia.	70
TABLA 19 Características de las Probetas Reforzadas y no Reforzadas para Ensayo. Fuente propia.	72
TABLA 20 Resultados de los Ensayos de la Probetas. Fuente propia.....	81
TABLA 21 Resultados de los Ensayos de las Probetas sin Reforzamiento y con Reforzamiento. Fuente propia.	82

TABLA 22 Características de Elementos del Concreto para ejecutar el modelamiento Fuente propia..	83
TABLA 23 Características de los Elementos de Acero para ejecutar el modelamiento. Fuente propia.	83
TABLA 24 Tensión de los Cables F1 al Inicio y F2 al Término del tensado Fuente propia.	83
TABLA 25 Factores de Carga para Cargas Permanentes Fuente propia	84
TABLA 26 Combinaciones de Cargas. Fuente propia.	84
TABLA 27 Variables de Factores de Carga. Fuente propia.	85
TABLA 28 Comparación de los valores de epóxico Epojet respecto al ASTM C881 Fuente propia.	103
TABLA 29 Normas que Fundamentan la Propiedad de MapeWrap1, MapeWarp11, Adesilex PG1. Fuente propia.	104
TABLA 30 Características de Maperod C, Carboplate E 170, MapeWrap B UNI-AX Fuente propia.	105
TABLA 31 Comparación del Maperod C con la Norma ACI 440-2R-08. Fuente propia.....	106
TABLA 32 Comparación de Platina de Carboplate E 170, respecto a la Norma ACI 440. 2R - 08 Fuente propia.	107
TABLA 33 Resultados de las Pruebas de Probetas a Flexión y Rotura ejecutado por los Tesistas. Fuente propia.	108
TABLA 34 Confirmación de la Hipótesis General. Fuente propia.....	113
TABLA 35 Prueba de las Hipótesis Específicas. Fuente propia.....	115
TABLA 36 Peso de Reforzamiento de la Losa con FRP. Fuente propia.	123
TABLA 37 Peso de Reforzamiento con Acero Hormigón la Losa. Fuente propia..	124
TABLA 38 Cuadro FODA Fuente propia.....	125
TABLA 39 Calculo del VAN y TIR del Reforzamiento Estructural de la Losa de Concreto Armado. Fuente propia	137

RESUMEN

El uso de selladores para fisuras de concreto se ha arraigado para el mantenimiento y reparación de losas de concreto, sellador impermeabilizante o reparación por fallas de diseño, cambio de servicio o haber cumplido su vida útil. El reforzamiento de elementos estructurales —columnas, vigas, losas— que se necesitan rehabilitar, reparar y reforzar por defectos constructivos, cambio de uso, incremento de sobrecargas o adecuación sísmica, se efectúa mediante fibras de carbono, técnica que consiste en adherir fibras de carbono a los elementos estructurales.

Al inicio de los 90 incursiona al mercado nacional esta técnica del reforzamiento estructural; en 2002, el comité 440 del ACI emitió el primer reglamento para ejecutar reforzamiento fibras de carbono y en 2008 el comité publicó una segunda edición e introdujo modificaciones respaldadas por ensayos de laboratorio. El reforzamiento estructural mediante fibra de carbono consiste en embeber fibras de carbono a una matriz polimérica que ofrece excelentes propiedades fisicoquímicas y elevada resistencia a la tracción en la dirección de las fibras. El puente atirantado sobre el río Mantaro en los Distritos de Chilca y Tres de Diciembre en las Provincias de Huancayo y Chupaca Región Junín es un puente en construcción cuyo tablero está constituido por perfiles acerados longitudinales y transversales soldados y empernados según diseño, cubierto y adherido por una losa de concreto. Este tablero se equilibra mediante conjunto de cables anclados y comunicados a dos pilotes o torres que transmiten los esfuerzos a través de ellos a la fundación de pilones y al suelo. La losa de concreto ha sufrido fisuras luego de construcción en la parte superior e inferior siendo mayor en la parte superior, fisuras generadas por falta de cuantía de acero de refuerzo, por lo que es necesario plantear el reforzamiento estructural de la losa con fibra de carbono. El presente trabajo de investigación explica el comportamiento de la losa de concreto al ser sellada y reforzada con fibra de carbono estimulada a los esfuerzos estáticos y dinámicos.

Palabras clave: adhesivo, fibra de carbono, losa de concreto, sellador, tablero puente

ABSTRACT

The use of sealants for concrete cracks in the national market is widespread for use in maintenance and repair of concrete slabs, waterproofing sealant or repairing due to design faults, change of use or completed its useful life. Reinforcement of structural elements —columns, beams, slabs— that need to rehabilitate, repair and reinforce, being the most common due to constructive defects, change of use, increase of overloads or seismic suitability, is carried out by means of the carbon fibers, technique which consists in adhering carbon fibers to the structural elements. At the beginning of the 90s, this technique of structural reinforcement is introduced to the national market; in 2002, the ACI Committee 440 issued the first regulation to implement reinforcement of carbon fibers, and in 2008, through a second edition, introduced important modifications backed by laboratory tests. Structural reinforcement using carbon fiber consists of embedding carbon fibers into a polymer matrix, which offers excellent physicochemical properties and high tensile strength in the direction of the fibers. The cable-stayed bridge over the Mantaro River in the Districts of Chilca and Tres de Diciembre in the Provinces of Huancayo and Chupaca Región Junín, is a bridge under building whose board is constituted by longitudinal and transverse steel profiles welded and bolted according to design, covered and adhered for a concrete slab. This board is balanced by a set of cables anchored and communicated to two piles or towers that transmit the efforts through them to the foundations of pylons and to the ground. The concrete slab has undergone cracks after construction, at the top and bottom being higher the number of cracks at the top, cracks generated by lack of reinforcement steel, so it is necessary to raise the structural reinforcement of the slab with carbon fiber. The present research explains the performance of the concrete slab after sealing and reinforced with carbon fiber stimulated to the static and dynamic efforts.

Keywords: Adhesive, carbon fiber, concrete slab, sealant, bridge board

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. SITUACIÓN PROBLEMÁTICA

El puente sobre el río Mantaro es del tipo atirantado simétrico de tres tramos 70, 160 y 70 m, total 300 m, tablero de 11.6 m de ancho, infraestructura mixta de concreto y acero; el tablero se constituye de perfiles longitudinales, transversales, soldados y empernados entre sí soportado por vigas de concreto de los pilotes y estribos, sobre el cual se asienta la losa de concreto armado de 0.225 m de espesor unidos por conectores soldados a los perfiles. Soportado por 48 tirantes, o toronto tipo semi arpa, unidos a cada pilón distribuidos en doce tirantes ubicados aguas arriba y doce, aguas abajo del eje longitudinal por pilón o torres de forma H. Los tirantes son conjunto de cables tipo strands de alta resistencia unida en la torre y vigas de forma inclinada y simétrica, los tirantes son cables trenzados que soportan

al tablero del puente y distribuyen la resistencia hacia los pilones. Los pilones o torres que se constituye por dos fustes verticales de concreto armado de 53.90 m de altura, de sección transversal rectangular de 2x3 m. que se arriostra mediante una viga transversal de concreto armado de forma romboide ubicada a 19.5n de vértice superior, los pilones cimentados mediante 24 pilotes a 30 m de profundidad y 1.2 m de diámetro. Los estribos cimentados mediante 6 pilotes a 30 m de profundidad y 1.2 m de diámetro, concreto de $f'c = 28$ MPa, acero $f'y = 42$ MPa. La losa de concreto armado presenta fisuras distribuidas en la superficie de la parte superior e inferior fisuras de origen no estructural y estructural que requiere eliminar dichas fisuras y que permita a la losa prestar servicio al paso de vehículos livianos y pesados

1.1.1. Descripción de la Losa de Concreto Armado

La losa de concreto armado del tablero del puente se encuentra constituido de, acero de refuerzo de $f'y = 4200$ Kg/cm². Concreto de 28 Mpa, $f'c = 280$ Kg/cm², $\frac{3}{4}$ Piedra, 460 Kg (10.8 bolsas) Cemento, 230 lt. Agua, 924 Kg arena, 655 Kg Piedra. Distribución de acero al interior de la losa. Armadura superior longitudinal $\phi \frac{1}{2}"@ 0.30$ m, armadura superior transversal $\phi \frac{1}{2}"@ 0.30$ m. Armadura inferior longitudinal en los laterales $\phi \frac{5}{8}"@ 0.20$ m, armadura inferior longitudinal en el centro del tablero $\phi \frac{5}{8}"@ 0.20$ m, armadura inferior transversal, $\phi \frac{5}{8}"@ 0.20$ m. Espesor de la losa 0.225 m. Ancho total de losa de 11.60 m. Longitud total de 300 m, tramos tres 70 m – 160 m -70 m. Veredas y parapetos $f'c = 20$ MPa. Cantidad de acero de refuerzo en la partida Losa de Concreto y Veredas.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	LARGO	ANCHO	ALTURA	PARCIAL
01.07.02	ACERO DE REFUERZO Fy 4200 Kg/cm ²	Kg					106254.50
	Código ϕ Long. Barras/pieza N°						
	Piezas		2160				
	L01 N°5 10.30 1 ½ 1440	Barra.	1360				
	L02 N°4 10.30 1 1/3 1020	Barra	525				
	L03 N°5 300.65 35 15	Barra	1050				
	L04 N°4 300.65 35 30	Barra	1085				
	L05 N°4 300.65 35 31	Barra	560				
	L06 N°4 300.65 35 16	Barra	646				
	L07 N°5 3.00 1/3 1938	Barra	418				
	L08 N°5 3.00 1/3 1254	Barra	1				
	V01 N°3 3.00 1/3 1	Barra	720				
	V02 N°3 5.15 1 720	Barra	1347				
	B01 N°3 1.25 1/6 8080	Barra	1440.				
	B02 N°3 5.15 1 1440	Barra					
	Resumen.						
	ϕ Kg/m Barra.	Kg.	52366.03				
N°5 13.97 3749	Kg.	36239.54				52366.03	
N°4 8.94 4055	Kg.	17648.75				36239.54	
N°3 5.00 3508	Kg.					17648.75	
01.07.03	CONCRETO F'c 280 Kg/cm ²	M3.					792.50
	Losa	M3	1	301.20	11.70	0.224	769.32
	Haunch sobre vigas longitudinales.	M3	1 ¼.	4.70	0.30	0.009	1.43
	Haunch sobre vigas transversales.	M3	57	9.90	0.30	0.009	1.38
01.07.04	Concreto F'c 280 Kg/cm ² .	M3					197.50
	Veredas	M3	2	296.20	0.143	1.40	119.16
	Parapeto.	M3	2	296.20	0.656	0.20	78.19

TABLA 1 Metrado Partida Losa de Concreto y Veredas. Fuente propia.

La losa de concreto armado del tablero del puente sobre el Río Mantaro Distrito de Chilca – Tres de Diciembre Provincias de Huancayo y Chupaca, está diseñado como un monolítico formado por concreto y acero de refuerzo denominado concreto armado, concreto que fue elaborado previo diseño por la planta UNICON y trasladado a la obra para el llenado respectivo a $f'c = 28$ MPa. La losa de concreto armado del tablero del puente sobre el río Mantaro fue terminado en el mes de Octubre del 2014 las fisuras se presentaron luego del llenado del mezcla de concreto en estado plástico y en estado de endurecimiento. Se observa fisuras transversales y longitudinales de diferentes longitudes aguas arriba y aguas debajo del eje neutro del puente tanto en la parte superior e inferior del mapeo de las fisuras halladas en la parte superior de la losa se observa las fisuras críticas, anexo N° 1

1.1.2. Fisuras de la Parte Superior de la Losa

Las fisuras en la parte superior e inferior de la losa se verificó la medición del espesor a través de tarjeta medidor de fisuras a escala milimétrica. Las Fisuras de la parte superior de la losa son de forma transversal y longitudinal al eje.



FOTO 1 Fisura Transversal $e = 1.2\text{mm}$ de 7.60m de Long. Fuente propia.



FOTO 2 Fisura $e=1.2\text{mm}$, 10m Long. Fisura Transversal Y Fisura $e=1.2\text{ mm}$, 4.2m Log. Fuente propia



FOTO 3. Fisura de $e=1.2\text{mm}$ de 7.60 m de Long. Transversal y Fisura $e=1.4\text{mm}$ de 7.60 mm de Long. Fuente propia

1.1.3. Fisuras en la Parte Inferior de la Losa



FOTO 4 Fisura Transversal Pasante Continuo. Fuente propia.



FOTO 5 Fisura Transversal Pasante, una Continua y otra Discontinua. Fuente propia.

1.1.4. Descripción de las Fisuras en la Losa

Las fisuras en los vano laterales de 70 x 10.6 m.

En los primeros 12.5 m entre los tirantes T06' y T05', Fase 1A/Paño 1° el 100 % de las fisuras son transversales al eje del puente con espesores que varían entre 0.50 y 1.20 mm. En éste se agrupa el 15 % de las fisuras de los vanos laterales. En los siguientes 16 m entre los tirantes T05' - T03' Fase 1B y 2°/Paños 2° y 3°, el 100 % de las fisuras también son transversales al eje con espesores entre 0.40 a 1.20 mm. En la zona donde su ubica T04', se concentra el mayor número de fisuras de 1,2 mm de espesor y a extremo de la losa. En los siguientes 13 m entre los tirantes T03' y T02' el 100 % de las fisuras son transversales al eje del puente con un espesor entre 0.30 y 0.80 mm y de extremo a extremo de la losa. En los 30 m únicamente hay fisuras junto al eje de pilón. El 100 % de las fisuras es transversal al eje del puente con espesores entre 0.20 y 0.40 mm.

Vano Central, parte Central entre pilones, 160 m x 10.6 m

Las fisuras se ubican a 1/5 de la luz del vano en 30 m de longitud agrupados y en forma simétrica. En los 33 m, hay fisuras junto al eje del pilono, el 100 % de las fisuras es transversal al eje con espesores entre 0.2 a 0.8 mm.

En los 30 m siguientes entre T02 – T05 fases 2° y 2B/Paños 9° y 10°, el 100 % de fisuras son transversales al eje del puente que varían entre 0.2 a 1.20 mm de espesor. En la zona de ubicación de los tirantes T05 se concentra el mayor número de fisuras de 1.20 mm de espesor y de extremo a extremo de la losa.

En los 33 m adyacentes entre los tirantes T06 y T08 el 80 % de las fisuras es transversal al eje del puente con espesores entre 0.40 a 1,20 mm, en este tramo

existen dos pequeñas fisuras en sentido longitudinal mayores a 0.60 m. En la ubicación de los tirantes T06 se concentra el mayor número de fisuras de 1.2 mm de espesor y de 5 m a 7.60 m de longitud.

Las fisuras en la losa de concreto armado se presenta en diferentes longitudes (10 cm a 7.6 m), espesores (varían 0.1 mm a 1.6 mm) y profundidades superficiales (0.1 mm a 1 cm), en un 98 % estas fisuras se manifiestan de manera perpendicular y 2 % de manera longitudinal al eje neutro del puente, se ubican en la parte superior e inferior dichas fisuras se originaron luego del llenado de concreto en la etapa plástica y de endurecimiento, que imposibilitaría el normal servicio de la circulación vial para lo cual fue diseñado, bajo estas condiciones la losa no soportaría los esfuerzos generados al paso de los vehículos y que su horizonte de vida para lo que fue diseñado se reduciría afectando elementos adyacentes a la losa. La demolición de la losa de concreto e instalar una nueva no es una solución recomendable, está causarían serios problemas en los perfiles transversales y longitudinales del tablero, en los tirantes de soporte de la superestructura y los pilones respectivamente causando severos deterioros y caída de los pilones del puente.

Se verifico que el ancho de las fisuras oscilan de 0.1 mm a 1.6 mm cuyas longitudes se extienden de 10 cm a 7.6 m, ancho del tablero 11.6 m y ubicadas según los planos indicados en anexo N°1. El 98 % de las fisuras se orientan de manera transversal al eje neutral de la losa y un 2 % de manera longitudinal paralela al eje. La distribución de las fisuras más significantes se ubica simétricamente en el tramo lateral y central del puente. En la parte inferior las

longitudes oscilan de forma transversal en una longitud de 10 cm a 7.6 m. con espesores que varían de 0.2 a 1.6 mm. Se verifica un mal procedimiento en el proceso constructivo como el llenado de concreto a temperatura muy bajas -2°C a las 11 de la noche, inadecuado proceso de curado (cuaderno de obra) y la falta de cuantía del acero al momento de diseño.

La fisuras encontradas son significativas, superan los 0.1 mm y en otros llegan a 1.6 mm de apertura, asimismo la estructura va a generar tracciones en la losa debido a la retracción y al efecto de gradiente térmico y al proceso de tensado de los tirantes, no se puede considerar menos importante estas fisuras por su cantidad y al espesor de la apertura existente distribuido en toda la longitud de la losa, esta condición nos indica que es un problema de resistencia, en estas condiciones la losa no podrá soportar los esfuerzos de flexo-tracción a los que soportará al paso de los vehículos, siendo necesario la reparación y reforzamiento. De acuerdo con la cantidad de fisuras y sus espesores según el detalle del anexo N° 7, el área fisurada corresponde a 1.6 m^2 , que representa el 0.05 % del área del tablero $3,480\text{ m}^2$.

1.1.5. Evaluación Estructural de la Losa de Concreto Armado

Parámetros para evaluar la fisura de la losa de concreto armado.

Peso Propio de los elementos ejecutados.

Retracción del concreto.

Calentamiento diferencial del acero concreto.

Densidad de concreto $\rho_c = 2500\text{ Kg/m}^3$

Peso específico concreto $\gamma_{c=25000\frac{\text{N}}{\text{m}^3}}$, $\gamma_c = 25.00\text{ kN/m}^3$

Peso propio.

Densidad de acero $\rho_c = 7850 \frac{Kg}{m^3}$

Peso específico del acero $\gamma_c = 78500 \frac{N}{m^3}$, $\gamma_c = 78.50 \frac{KN}{m^3}$

Retracción y fluencia del concreto.

Según el AASTHO apartado 5.4.2.3.1, y el código modelo CEB-FIP la deformación por retracción y fluencia del concreto se identifica según las curvas siguientes.

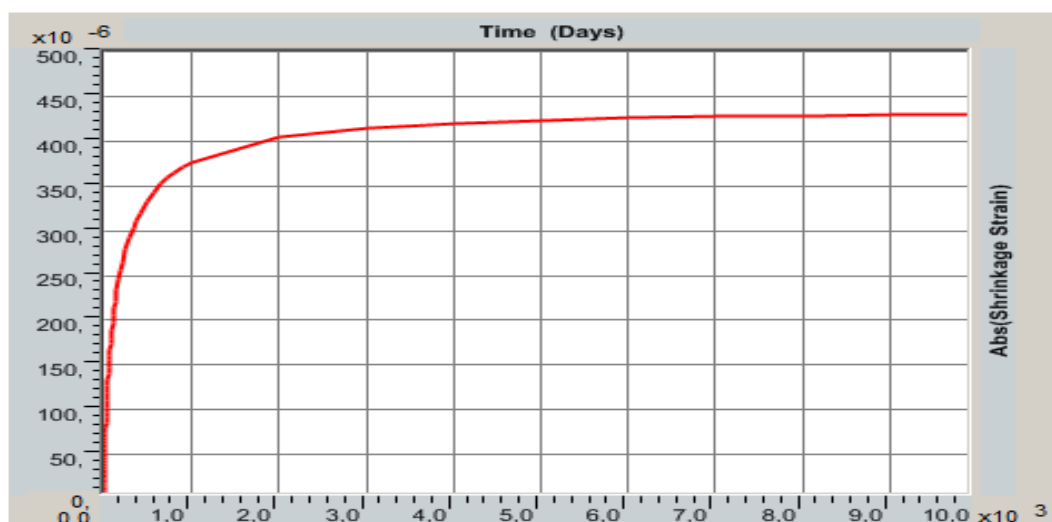


FIGURA 1 Coeficiente por Retracción. Fuente AASTHO

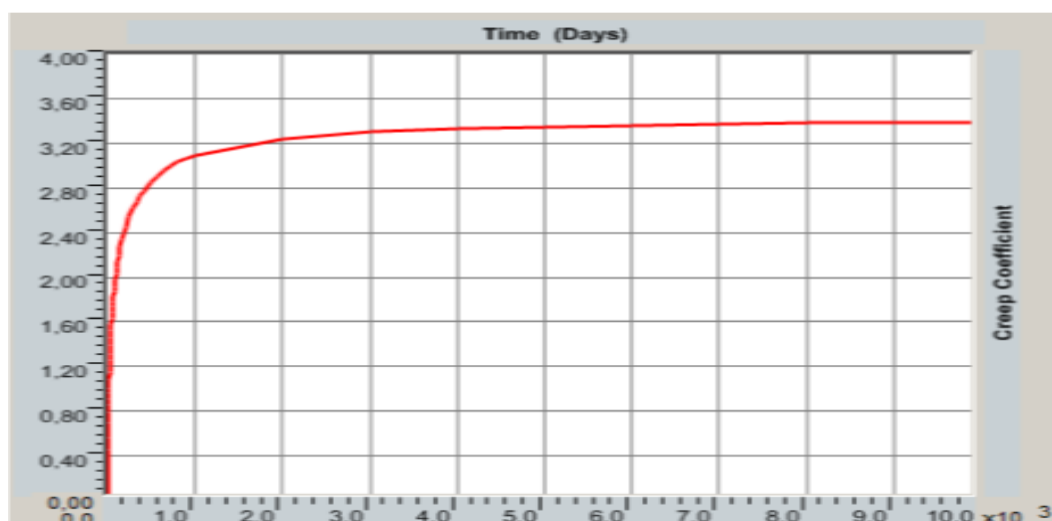


FIGURA 2 Coeficiente de Fluencia Fuente AASTHO

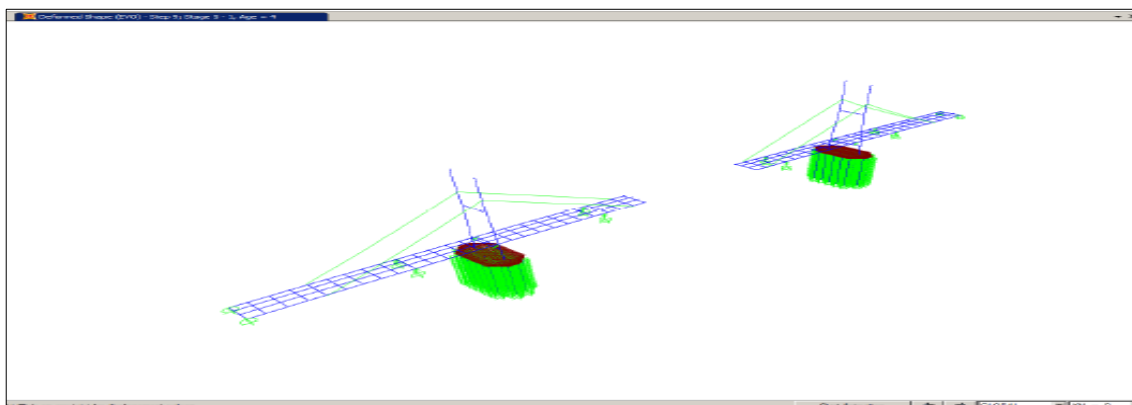


FIGURA 6 Fase 4 Modelamiento de Puente. Fuente Sima Perú

Esfuerzo en la Losa.

El esfuerzo máximo por retracción a tiempo infinito según modelamiento es $F = (1900 \text{ kN/m}) / 2.7 = 704 \text{ kN/m}$. Factor de seguridad = 2.7

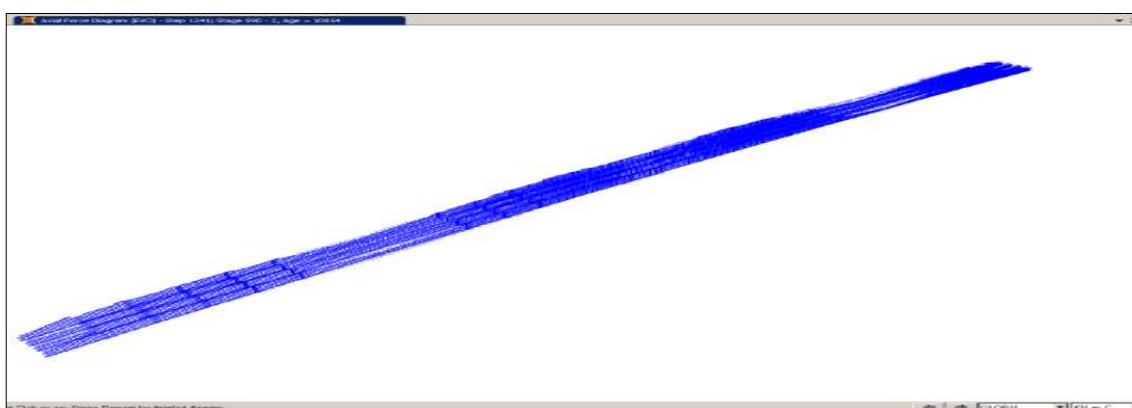


FIGURA 7 Esfuerzo en la Losa a Tiempo infinito por Retracción. Fuente: Sima Perú.

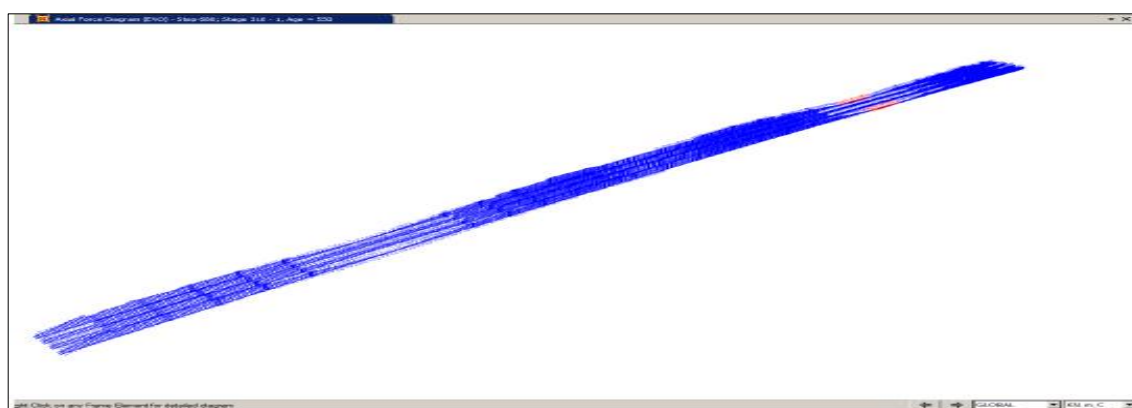


FIGURA 8 Esfuerzo máximo en la losa a 546 días por Tracción. Fuente: Sima Perú.

El esfuerzo máximo a 545 días $F=1609 \text{ kN m} = 1609/2.7 = 595.93 \text{ kN/m}$.

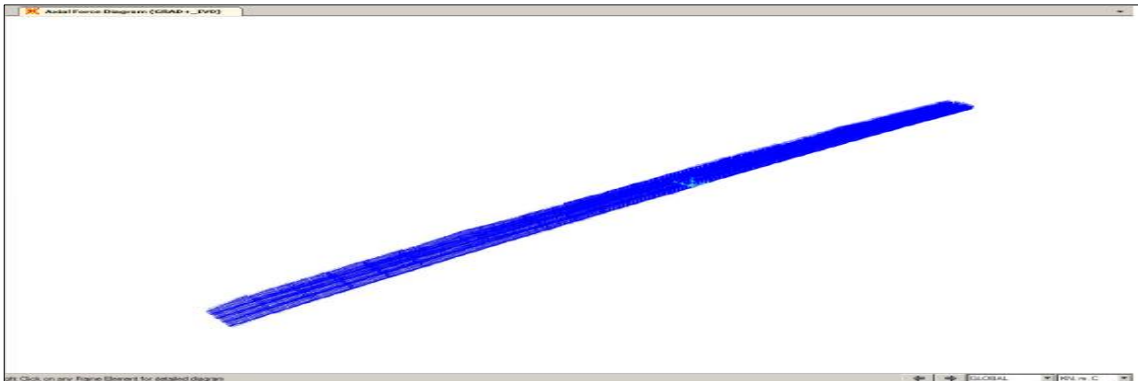


FIGURA 9 Tracción en la Losa por Gradiente Térmico. Fuente: Sima Perú.

$$F = 1256 \text{ kN/m} = 1256/2.7 = 465.2 \text{ kN/m}$$

1.1.6. Verificación de la Resistencia del Concreto de la Losa Fisurada

Según R.N.E. norma E.060 Concreto Armado.

$$f_r = 0.62 \sqrt[2]{f'_c}$$

Losa de concreto $f'_c = 28 \text{ MPa}$. Vereda $f'_c = 20 \text{ MPa}$. Acero $f_y = 420 \text{ MPa}$.

Espesor de losa $e = 0.225 \text{ m}$.

Acero de refuerzo parte superior longitudinal y transversal $\phi \frac{1}{2} @ 0.30 \text{ m}$.

Acero de refuerzo parte inferior

Zona central $\phi \frac{5}{8} @ 0.20 \text{ m}$. $A_f (\frac{5}{8}) = 2.00 \text{ cm}^2$

Zona laterales $\phi \frac{1}{2} @ 0.20 \text{ m}$. $A_f (\frac{1}{2}) = 1.29$

La resistencia a tracción del concreto se considera igual a: $f_r = 0.62 \sqrt[2]{f'_c}$ (E 060)

$$f_r = 0.62 \times \sqrt[2]{28} = 3.28 \text{ MPa} = 3.28073 \text{ MPa} = 3280.73 \text{ kN/m}^2$$

La tracción lineal que produce la fisuración del concreto resulta igual a:

$$F = 3280.73 \times 0.225 = 738.16 \text{ kN/m}$$

Tracción máxima lineal de la losa = F_r

Del modelamiento, TR y TGT

TR = Tracción máxima por retracción = 1609 kN/fs. Factor de seguridad = 2.7

TR = 595.93 = 596 kN/m.

TGT = Tracción máxima por gradiente térmico = 1256 kN/fs.

Factor de seguridad 2.7

TGT = 1256/2.7 = 465.2 kN/m

Fr = TR + TGT

Fr = 595.93 + 465.2 = 1061.13 kN/m, esfuerzo solicitado = Fr

Fr = 1061.13 kN/m > F = 738.16 kN/m, esfuerzo de tracción del concreto = F.

Por lo que se produce la fisuración del concreto de la losa. Este esfuerzo es el que se transmite a la armadura de refuerzo.

La tensión en las armaduras tras la fisuración resultará igual a:

$$\sigma = f_r / \{A_{f1/2}/0.30 + [(A_{f1/2})/2 + (A_{f1/2}(5/8)/2)/0.2] \times 10^{-4} \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma = 738.16 / \{ 1.29 / 0.30 + [(1.29 + 1.99)/2] / 0.2 \} \times (10)^{-1} \text{ MPa.}$$

$$\sigma = 738.16 / (4.3 + 8.2) \times 10^{-4} = 59052.80 \text{ kN/m}^2. = 590.05 \text{ MPa.}$$

El esfuerzo en el acero de refuerzo resulta superior al límite elástico mínimo de la armadura distribuida que es igual a 420 MPa. Por lo que:

420 MPa < $\sigma = 590.05 \text{ MPa}$ >. $F_y = 420 \text{ MPa}$. El acero de refuerzo es insuficiente para resistir los esfuerzos solicitados por lo que origina las fisuras que no permitirán el correcto funcionamiento de la losa de concreto.

La tensión real requerido en el acero de refuerzo de la losa debió ser:

$$\sigma = 1061.13 / \{ 1.29 / 0.30 + [(1.29 + 1.99)/2] / 0.2 \} \times (10)^{-1} \text{ MPa.}$$

$$\sigma = 1061.13 / (4.3 + 8.2) \times 10^{-4} = 848.904 \text{ MPa.}$$

La losa de concreto armado es débil y falto de ductilidad por la falta de cuantía de acero. Por lo que, la losa de concreto debe reforzarse y sea capaz de resistir todos los esfuerzos de tracción solicitados asociados a la retracción y la gradiente térmica del acero - concreto, además de los esfuerzos derivados de la flexión del propio peso del concreto llenado.

La decisión de reforzar con fibra de carbono la losa de concreto armado se define por cuanto, el tablero del puente está constituido por los perfiles de acero y la losa de concreto se encuentra sostenido a través de cuarenta y ocho torontos fijados y tensados a los dos pilones que soporta al tablero a través de esfuerzos distribuidos en los cables inclinados tipo semi arpa y anclados a lo largo del tablero, que al efectuar la demolición de la losa de concreto armado genera problemas y fallas en los perfiles de acero base del tablero asimismo en los torontos destensándolos, perdiendo estabilidad en los soportes de los anclajes en el tablero y los pilones. La pérdida de equilibrio del tablero, provoca esfuerzos sobre dimensionados que provocaría el colapso de los pilones y del puente. Asimismo debido al fenómeno de resonancia que pudiese generar los trabajos de demolición provocarían la destrucción del puente. Motivando que los trabajos de reforzamiento con fibra de carbono a la losa de concreto armado sea la reparación idónea a fin de cumplir la vida útil diseñada inicialmente.

La decisión tomada para mejorar la resistencia estructural de la losa es la correcta, el reforzamiento estructural tradicional para la losa de concreto armado se basa especialmente en el aumento del espesor que implica sobrecarga del peso de concreto de una nueva losa, el incrementar malla de refuerzo en la zona de compresión y al unirse las dos losas mediante conectores, todo ello

incrementa considerablemente el peso disminuyendo el factor de seguridad. Por lo cual se optó efectuar el reforzamiento de la losa mediante fibra de carbono, por presentar menor peso y fácil de instalar.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.2.1. Problema General

¿Cuál es el efecto del uso de selladores, varillas, platinas, mantas de fibra de carbono, en el comportamiento de la losa de concreto armado del tablero del Puente sobre el Río Mantaro, en los Distritos de Huancayo y Tres de Diciembre, Provincias de Huancayo y Chupaca, Región Junín 2017?

1.2.2. Problemas Específicos

1.2.2.1. Problema Específico 1

¿Cuál es el efecto del nivel de resistividad en el comportamiento de la losa de concreto armado del tablero del puente, sobre el río Mantaro en los Distritos de Huancayo y Tres de Diciembre Provincias de Huancayo y Chupaca Región Junín 2017?

1.2.2.2. Problema Específico 2

¿Cuál es el efecto del nivel de adherencia de selladores en el comportamiento de la losa de concreto armado, del tablero del Puente sobre el Río Mantaro en los Distritos de Huancayo, Tres de Diciembre, Provincias de Huancayo y Chupaca 2017?

1.2.2.3. Problema Específico 3

¿Cuál es el efecto del nivel de adherencia de las varillas, platinas y mantas de fibras de carbono en el comportamiento de la losa de concreto armado del

tablero del Puente sobre el Río Mantaro, en los Distritos de Huancayo y Tres de Diciembre, Provincias de Huancayo y Chupaca 2017?.

1.2.2.4. Problema Específico 4

¿Cuál es el efecto del nivel de resistencia estructural al aplicar selladores, varillas platinas y mantas de fibra de carbono en el comportamiento de la losa del concreto armado del tablero del Puente sobre el Río Mantaro en los Distritos de Huancayo y Tres de Diciembre, Provincias de Huancayo y Chupaca 2017?

1.3. JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

Debe cumplir la teoría de norma ACI 440-2R-08, “Guía para el Diseño y la Construcción de Sistemas de FRP Unidos Externamente para el Fortalecimiento de las Estructuras de Concreto” que permite diseñar e instalar la fibra de carbono y el adhesivo a fin de mejorar la resistencia estructural para cumplir con los esfuerzos solicitados y permitir el tráfico vehicular de manera segura. Que permita conocer el comportamiento de la losa de concreto reforzado con fibra de carbono como parte del tablero de puente atirantado. Para lo cual es necesario conocer las características físicas mecánicas de la fibra de carbono y del sellador adhesivo de fisuras y que justifique los siguientes.

$F_r > F$ se produce fisuras y f_y (acero) $< \sigma$ (solicitados)

F_r = Fuerzas solicitadas por metro lineal.

F = Fuerzas de tracción del concreto por metro lineal.

f_y (acero) $< \sigma$ (de fuerzas solicitados). Necesita reforzamiento.

F_y = Esfuerzo de acero de refuerzo.

σ = Esfuerzo de la armadura del acero de refuerzo de la losa.

La resistencia de diseño de un miembro reforzado externamente con de fibras de carbono debe exceder la demanda última factorada. (ACI – 440.2R-08).

$$\phi (M_n) \geq M_u$$

1.4. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

En los mercados nacional e internacional existen adhesivos reactivos que permite sellar las fisuras de la losa y presentan características diversas, su elección debe ser comparada con los parámetros del fabricante y los indicados en la norma ACI 440.2R-08. De la misma manera comercializan la fibra de carbono con características variadas y que su instalación obedece al uso de adhesivos que el fabricante condiciona su uso. Siendo necesario elegir igual o mejor que las que indica la norma. Ésta permitirá mejorar la resistencia estructural de la losa lo que permitirá de forma segura el paso por el puente por vehículos livianos y pesados según el diseño por lo tanto, el reforzamiento estructural de la losa del puente atirantado sobre el Río Mantaro es la más adecuada en comparación a renovar una losa nueva, toda vez que demoler la losa para renovar permitiría deteriorar los perfiles longitudinales y transversales, los cables de tensión que soporta al tablero y los pilones de sujeción que trasmite los esfuerzos a la fundación haciendo colapsar el puente atirantado.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

Determinar el efecto del uso de selladores, varillas platinas mantas de fibra de carbono en el comportamiento de la losa de concreto del tablero del puente sobre

el río Mantaro en los Distritos de Huancayo y Tres de Diciembre, Provincias de Huancayo y Chupaca Región Junín 2017.

1.5.2. Objetivos Específicos

A fin de lograr el objetivo general es necesario lograr los objetivos específicos que permitirán ahondar, precisar y detallar, para clarificar y alcanzar el objetivo general se plantea lo siguientes:

1.5.2.1. Objetivo Especifico 1

Determinar el efecto del nivel de resistividad de la losa de concreto armado del tablero del puente sobre el río Mantaro en los Distritos de Huancayo, Tres de Diciembre. Provincias de Huancayo y Chupaca 2017.

1.5.2.2. Objetivo Específico 2

Determinar efecto del nivel de adherencia de los selladores en el comportamiento de la losa de concreto armado, del tablero del puente sobre el río Mantaro en los distritos de Huancayo, Tres de Diciembre, Provincias de Huancayo y Chupaca 2017.

1.5.2.3. Objetivo Específico 3

Determinar el efecto del nivel de adherencia al aplicar varillas platinas mantas de fibras de carbono, en el comportamiento de la losa de concreto armado, del tablero del Puente sobre el Río Mantaro en los Distritos de Huancayo, Tres de Diciembre de las Provincias de Huancayo y Chupaca 2017.

1.5.2.4. Objetivo Específico 4

Determinar el efecto del nivel de resistencia estructural al aplicar selladores, varillas platinas mantas de fibra de carbono, en el comportamiento de la losa

de concreto armado del tablero de puente sobre el río Mantaro en los Distritos de Huancayo y Tres de Diciembre, Provincias de Huancayo y Chupaca 2017.

1.6. HIPÓTESIS

1.6.1. Hipótesis General

“El efecto del uso de selladores, varillas platinas mantas de fibra de carbono, influye positivamente en el comportamiento de la losa de concreto armado del tablero del puente sobre el río Mantaro, en los distritos de Chilca, Tres de Diciembre. Provincias de Huancayo y Chupaca Región Junín 2017”.

1.6.2. Hipótesis Específicas

Para desarrollar la hipótesis general, es necesario plantear hipótesis específicas que permitan coadyuvar en la solución de manera clara y detallada el desarrollo de la hipótesis general que permitirá resolver el problema planteado, y se plantea las hipótesis específicas siguientes:

1.6.2.1. Hipótesis Especifica 1

El efecto del nivel de resistividad influye negativamente en el comportamiento de la losa de concreto armado, del tablero del puente sobre el río Mantaro en los distritos de Huancayo, Tres de Diciembre, Provincias de Huancayo y Chupaca 2017.

1.6.2.2. Hipótesis Especifica 2

El efecto del nivel de adherencia de selladores influye positivamente en el comportamiento de la losa de concreto armado, del tablero del puente sobre el río Mantaro en los distritos de Huancayo, Tres de Diciembre, Provincias de Huancayo y Chupaca 2017.

1.6.2.3. Hipótesis Específica 3

El efecto del nivel de adherencia al aplicar varillas platinas mantas de fibras de carbono, influye positivamente en el comportamiento de la losa de concreto armado del tablero del puente sobre el río Mantaro en los distritos de Huancayo, Tres de Diciembre, Provincias de Huancayo y Chupaca 2017.

1.6.2.4. Hipótesis Específica 4

El efecto del nivel de resistencia estructural al aplicar selladores, varillas platinas mantas de fibra de carbono, influye positivamente en el comportamiento de la losa de concreto armado, del tablero del puente sobre el río Mantaro en los distritos de Huancayo y Tres de Diciembre, Provincias de Huancayo y Chupaca 2017. (De acuerdo con la Matriz de Consistencia anexo N° 9)

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. MARCO FILOSÓFICO O EPISTEMOLÓGICO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Teoría de la Fisuración por Tracción

La fisuración en concreto armado se produce siempre que la tensión de tracción a la que se encuentra sometido el material sobrepasa su resistencia última. En las construcciones a hormigón con refuerzo de acero aparecen fisuras en años, semanas, días, o horas, motivadas por causas múltiples, unas veces por si sola otras en conjunto con otros fenómenos.

Las fisuras se distinguen por la edad de aparición en un elemento estructural, por su forma y trayectoria, abertura, movimiento, etc. Mientras más alta es la resistencia a la tracción, más bajo será el riesgo de que el esfuerzo por tracción exceda la resistencia y agriete el material. (Gloria Andrea Munizaga Román).

Las fuerzas solicitadas y que superan a los esfuerzos del acero de refuerzo de la losa genera fisura y que la losa de concreto armado no soportara los esfuerzos solicitados debido a la falta de cuantía de acero de refuerzo.

$F_r > F$ se produce fisuras.

F_r = Fuerzas solicitadas por metro lineal.

F = Fuerzas de tracción del concreto por metro lineal.

2.1.2. Teoría del Comportamiento a Flexión y Corte

El comportamiento en las fibras perpendiculares a la carga, sufren esfuerzos a tensión y a compresión de acuerdo con la dirección de la carga.

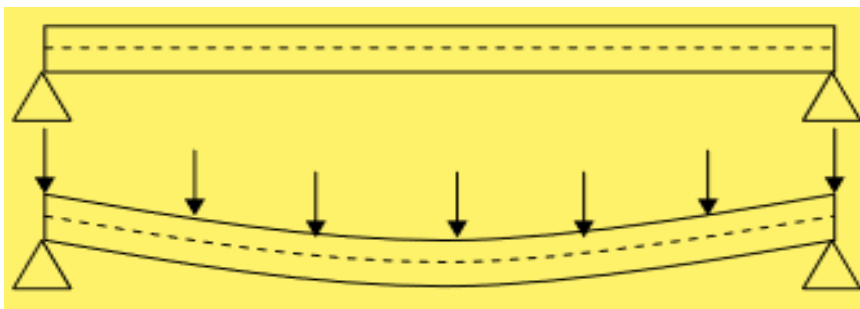


FIGURA 10 Comportamiento a Flexión en una Viga. Fuente Rafael Contreras.

En vigas y losas de concreto a la flexión, las fisuras aparecen en la zona de tensión o en las fibras sometidas a tensión. Al seguir incrementando la fuerza de flexión hasta superar la resistencia del concreto, aparecerán fisuras tanto en la zona de flexión y compresión.

Al seguir incrementándose la flexión y superado la resistencia del concreto, en las vigas y losas de concreto, se producen un par de tensiones diagonales paralelas a la sección transversal de la viga provocando el corte.

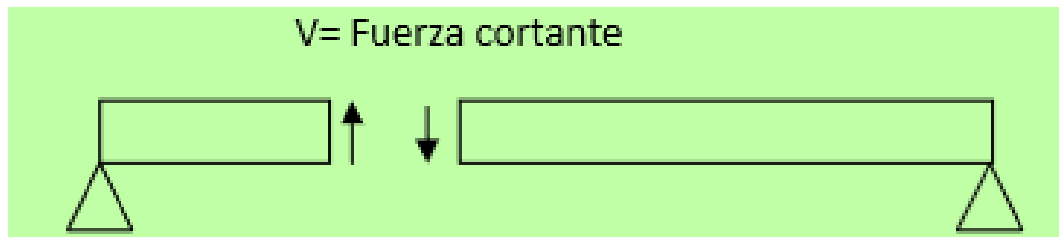


FIGURA 11 Comportamiento de la Fuerza Cortante en una Viga. Fuente Rafael Contreras.

En vigas y losas en concreto reforzado a corte, el comportamiento se fundamenta en controlar tres cortantes producidas por la resistencia a corte del concreto y de los materiales parte de la estructura, y la resistencia por el refuerzo transversal.

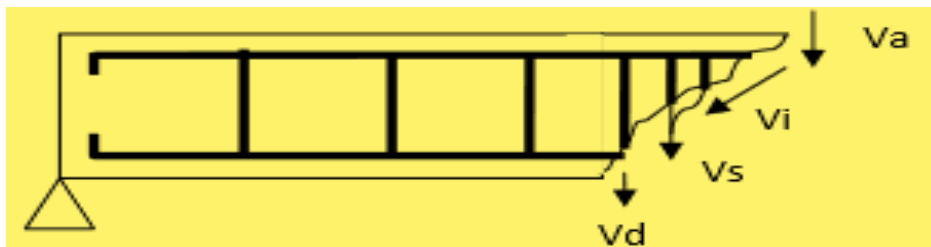


FIGURA 12 Comportamiento de Corte en una Viga en Concreto Reforzado. Fuente Rafael Contreras.

V_d = Componente del acero longitudinal (Acción por dovela)

V_i = Por la fricción a lo largo de la grieta

V_a = Componente por compresión

V_s = Por refuerzo por corte.

2.1.3. Teoría de Adhesión para Sellar Fisuras

Para sellar las fisuras en hormigón se usan adhesivos reactivos aquellos que polimerizan durante el proceso de adhesión, es decir, cuando se halla entre sustratos que se pretende ensamblar. Es un sistema de dos componentes, los cuales inician la polimerización en todo el volumen, permiten profundidades de curado ilimitados. Los adhesivos reactivos rígidos epoxis se caracterizan por generar uniones de alta rigidez. Su curado tiene lugar según mecanismos de

poliadición y policondensación, siendo importante el efecto que tiene el tipo de polimerización en los tiempos de manipulación y de curado. Las poliadiciones reaccionan en cadena y tienen velocidades de reacción elevadas, las policondensadas son reacciones lentas que producen un incremento paulatino y continuo del sistema de adhesivo.

Los epoxis son adhesivos normalmente bicomponentes en forma de resina más activador. Una vez premezclados la polimerización comienza lentamente por lo que deben ser aplicados sobre piezas a unir y mantener los sustratos en posición hasta alcanzada la resistencia a la manipulación. (Mario Madrid Tecnología de la Adhesión).

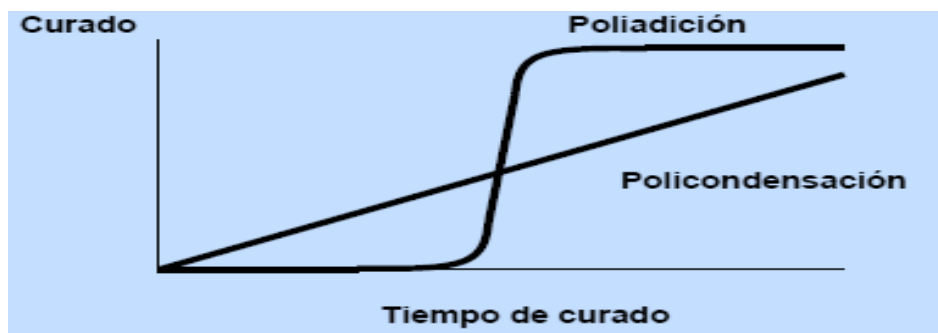


FIGURA 13 Diferencias en Evolución de la Viscosidad durante el Curado. Fuente: Mario Madrid

2.1.4. Teoría de los Materiales Compuestos

Materiales compuestos son aquellos formados por dos o más materiales distintos sin que se produzca reacción química entre ellos separados por interfaces. En ella se distinguen dos componentes la matriz, componente que se presenta en fase continua actuando como ligante, y el refuerzo en fase discontinua, que es el elemento resistente.

Los polímeros reforzados con fibras (FRP), son materiales compuestos que tienen propiedades anisotrópicas, es decir se pueden orientar en la dirección que

se requiere, siendo especialmente útiles en las obras de Arquitectura e Ingeniería Civil (M. Antonio Ramírez V.)

Desde un punto de vista mecánico, los sistemas de reforzamiento FRP se clasifican basados en sus valores de módulos de elasticidad y capacidad última. Estos valores son medidos bajo tensión uniaxial en la dirección de las fibras. Los valores de los módulos de elasticidad y resistencia a la tracción deben ser durables con respecto a la degradación ambiental inducida sobre el compuesto FRP. (CNR-DT-200R1/2014).

Ley Constitutiva de Fibras, Matriz, y el Compuesto.

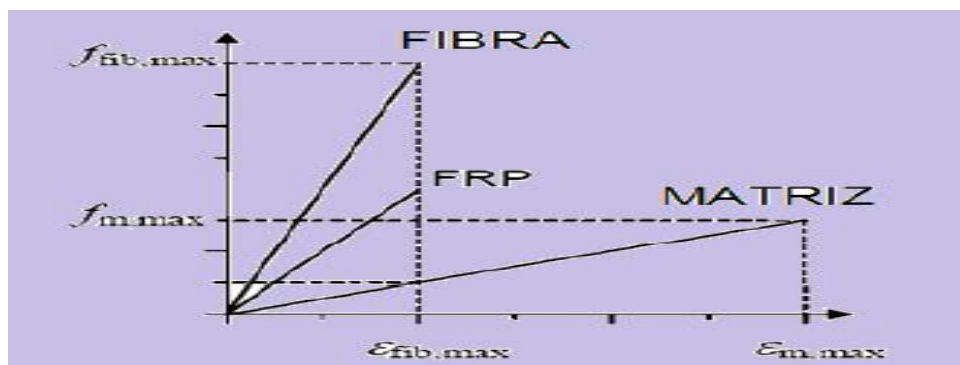


FIGURA 14 Ley de la Constitutiva de un Material FRP. Fuente CNR-DT-200R1/2014)

El compuesto, respecto a las fibras, tiene una rigidez menor pero la misma deformación unitaria a rotura $\epsilon_{fib,max}$. En efecto, una vez superada dicha deformación unitaria, resulta imposible la transferencia de los esfuerzos de la matriz a las fibras. En efecto, ellos consisten en poliméricos orgánicos y fibras reforzantes, cuyas principales características son resumidas en la Tabla 2.

Producto precurado	Módulo de elasticidad normal [GPa]		Tensión de rotura [MPa]		Deformación unitaria a rotura [%]	
	FRP	Fibras	FRP	Fibras	FRP	Fibras
	E_f	E_{fib}	f_f	f_{fib}	ϵ_{fu}	$\epsilon_{fib,u}$
CFRP (módulo bajo)	160	210-230	2800	3500-4800	1.6	1.4-2.0
CFRP (módulo alto)	300	350-500	1500	2500-3100	0.5	0.4-0.9

TABLA 2 Comparación entre las Propiedades Mecánicas de un producto Precurado y Fibras Fuente: CNR.

	Módulo de Elasticidad normal E	Resistencia a tracción σ_r	Deformación unitaria a rotura ϵ_r	Coefficiente de expansión térmica α	Densidad ρ
	[GPa]	[MPa]	[%]	[$10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$]	[g/cm^3]
Vidrio-E	70 – 80	2000 – 3500	3.5 – 4.5	5 – 5.4	2.5 – 2.6
Vidrio-S	85 – 90	3500 – 4800	4.5 – 5.5	1.6 – 2.9	2.46 – 2.49
Carbón (alto módulo)	390 – 760	2400 – 3400	0.5 – 0.8	-1.45	1.85 – 1.9
Carbón (alta resistencia)	240 – 280	4100 – 5100	1.6 – 1.73	-0.6 – -0.9	1.75
Arámida	62 – 180	3600 – 3800	1.9 – 5.5	-2	1.44 – 1.47
Matriz polimérica	2.7 – 3.6	40 – 82	1.4 – 5.2	30 – 54	1.10 – 1.25
Acero	206	250 – 400 (cedencia) 350 – 600 (falla)	20 – 30	10.4	7.8

TABLA 3 Comparación entre Propiedades de Fibra, Matriz y Acero (CNR-DT 200 R1/2014). Fuente: CNR.

2.1.5. Teoría del Diseño de Reforzamiento con Fibra de Carbono

El American Concrete Institute (ACI), mediante la norma 440.2R de 2008, formuló los parámetros para diseñar y realizar los sistemas de reforzamiento con fibras de carbono FRP en elementos estructurales de hormigón siendo una alternativa a las técnicas de fortalecimiento tradicional usando placas de acero, estas se usan mediante material compuesto de FRP como un refuerzo a la armadura, adherido externamente y son ventajosas por ser ligeras, fácil de

instalar y no son corrosivos, esta guía proporciona las ecuaciones, valores, propiedades del material, diseño instalación , control de calidad y mantenimiento de los sistemas de FRP, la presente norma puede utilizarse para seleccionar un sistema de FRP para aumentar la resistencia y la rigidez de elementos estructurales. Las ecuaciones de diseño que presenta la norma es un resultado de investigación recomendado para sistemas que trabajen a tracción y no a compresión.

Asimismo presenta información de las propiedades físicas de adhesivos rango de valores para su uso para la adherencia al sustrato por la fibra de carbono, preparación de la superficie a adherir, preparación de adhesivo resina endurecedor y el curado respectivamente. Y que guardan relación con las normas de ASTM D638 Tensión de ruptura, método de prueba diseñado para producir datos de propiedades de tracción de materiales plásticos, el ASTM C 579 Tensión a la compresión, métodos de prueba estándar para la resistencia a la compresión de morteros resistentes a productos químicos, brotes, superficies monolíticas y hormigones poliméricos.

ASTM C 881 Especificación estándar para sistemas de unión de resina epóxica para hormigón, proporciona especificaciones técnicas de los adhesivos, tiempo de trabajabilidad, rango de temperatura a usar, tiempo de curado y formas de agente de curado, la viscosidad respectivamente y los tipos I, II, III, IV, V, VI.

El sistema de reforzamiento será diseñado para satisfacer los requisitos de servicio, durabilidad y de resistencia al estado límite. En caso de incendio, el esfuerzo del sistema seleccionado FRP será adecuado para el período de tiempo

de exposición. El sistema de reforzamiento FRP deberá ser colocado en áreas de la estructura donde los esfuerzos de tracción vayan a ocurrir. El sistema de reforzamiento FRP no debe ser diseñado para soportar esfuerzos de compresión, a menos que esté bien confinado (dentro de los elementos reforzados) o sistemas precurados que adecuadamente provean rigidez axial y flexional. (CNR-DT 200 R1/2014).

El fortalecimiento de los sistemas de FRP debe ser diseñado para resistir fuerzas de tracción mientras que se mantiene la compatibilidad entre la cepa de FRP y el sustrato de hormigón. El refuerzo de FRP no debe ser invocado para resistir las fuerzas de compresión. Es aceptable, sin embargo, para el refuerzo de tensión FRP para experimentar compresión debido a las inversiones de momento o cambios en el patrón de carga. Este enfoque establece niveles aceptables de seguridad para la ocurrencia de ambos estados límite de servicio (deflexiones excesivas y agrietamiento) y estados límite últimos (fallo, rotura por tensión y fatiga). En la evaluación de la resistencia nominal de un miembro, deben evaluarse los posibles modos de fallo y las tensiones posteriores y las tensiones en cada material. La filosofía del diseño de sistemas FRP indica que el elemento estructural no reforzado, sin refuerzo de FRP, debe tener suficiente resistencia para resistir un cierto nivel de carga. En el caso de que el sistema de FRP se dañe, la estructura todavía será capaz de resistir un nivel razonable de carga sin colapso. La fuerza existente de la estructura debe ser suficiente para resistir un nivel de carga como se describe por la ecuación (ACI 440- 2R-08).

$$\phi R_n \geq 1.1S_{DL} + 0.75S_{LL}$$

Cargas de Diseño

Factor de Reducción C_E .

Exposure conditions	Fiber type	Environmental reduction factor C_E
Exposición Interior	Carbon	0.95
	Glass	0.75
	Aramid	0.85
Exposición Exterior Puentes Pilares, Estacionamientos Ambientes No Cerrados	Carbon	0.85
	Glass	0.65
	Aramid	0.75
Ambientes Agresivos (Plantas Químicas)	Carbon	0.85
	Glass	0.50
	Aramid	0.70

TABLA 4 Factor de Reducción para Varias FRP y Condiciones de Exposición. Fuente ACI 440.02-08

Propiedades del Sistema FRP para el diseño.

Esfuerzo de Rotura

$$f_{fu} = C_E f_{fu}^*$$

Deformación de Rotura.

$$\varepsilon_{fu} = C_E \varepsilon_{fu}^*$$

Módulo de Elasticidad.

$$E_f = f_{fu} / \varepsilon_{fu}$$

Resistencia a la Flexión.

$$\phi M_n \geq M_u$$

La resistencia de diseño a la flexión ϕM_n se refiere a la resistencia nominal del elemento multiplicado por un factor de reducción de resistencia y el momento

factorizado M_u se refiere al momento calculado a partir de cargas factorizadas (por ejemplo, $\alpha DLMDL + \alpha LLMLL + \dots$) (ACI 440.2R-08)

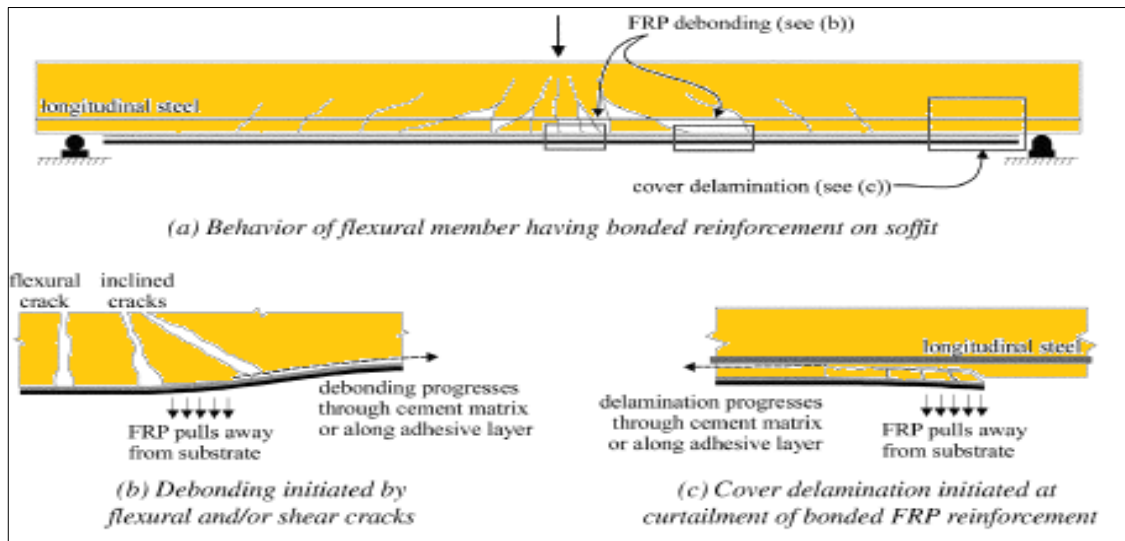


FIGURA 15 Descementado y Delaminación de Sistemas FRP unidos externamente. (ACI 440 2R-8) Fuente: ACI.

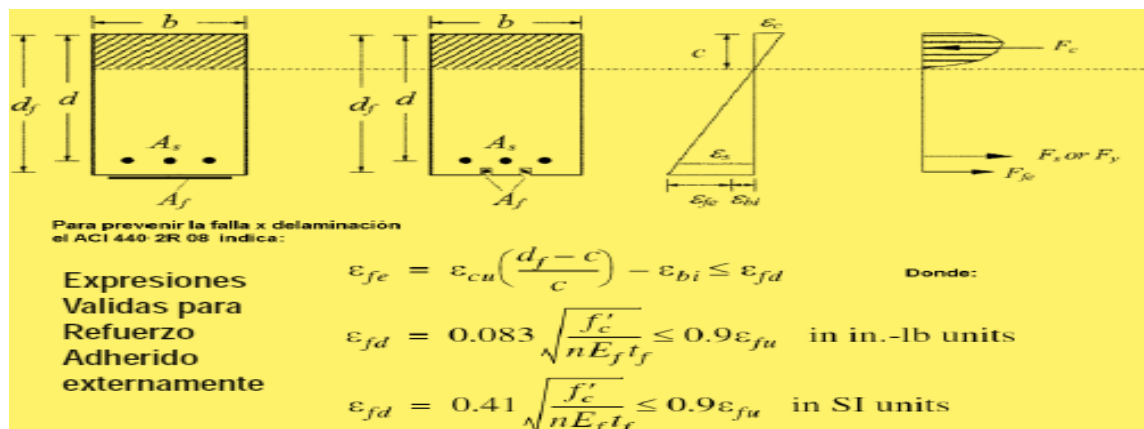


FIGURA 16 Refuerzo adherido externamente Delaminación. Fuente ACI 440 2R-8

Perdida de adherencia ϵ_{fd}

$$\epsilon_{fd} = 0.083 \sqrt{\frac{f'_c}{n E_f t_f}} \leq 0.9 \epsilon_{fu} \quad \text{in in.-lb units}$$

$$\epsilon_{fd} = 0.41 \sqrt{\frac{f'_c}{n E_f t_f}} \leq 0.9 \epsilon_{fu} \quad \text{in SI units}$$

El nivel de tensiones efectivas en el refuerzo FRP en el estado límite último se puede encontrar a partir de.

$$\varepsilon_{fe} = \varepsilon_{cu} \left(\frac{d_f - c}{c} \right) - \varepsilon_{bi} \leq \varepsilon_{fd}$$

Dónde ε_{bi} es la cepa inicial de sustrato, y d_f es la profundidad efectiva del refuerzo FRP, como se indica en Fig. 17.

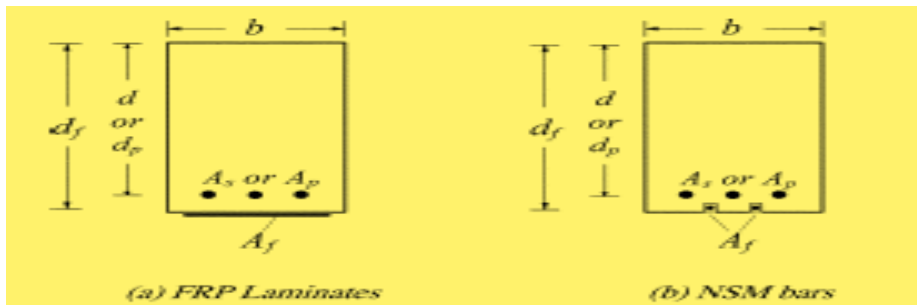


FIGURA 17 Profundidad eficaz de los Sistemas de FRP. Fuente ACI 440.02-08

El enfoque adoptado sigue la filosofía del ACI 318-05. Un factor de reducción de la resistencia dada por la ecuación.

$$\phi = \begin{cases} 0.90 & \text{for } \varepsilon_t \geq 0.005 \\ 0.65 + \frac{0.25(\varepsilon_t - \varepsilon_{ty})}{0.005 - \varepsilon_{ty}} & \text{for } \varepsilon_{ty} < \varepsilon_t < 0.005 \\ 0.65 & \text{for } \varepsilon_t \leq \varepsilon_{ty} \end{cases}$$

Se ha utilizado, donde ε_t es la tensión de tracción neta en acero extrema tensión en la resistencia nominal, como se define en ACI 318-05.

Se establece el factor de reducción a 0,90 para las secciones dúctiles y 0,65 para las secciones frágiles donde el acero no cede, y proporciona una transición lineal para el factor de reducción entre estos dos extremos.

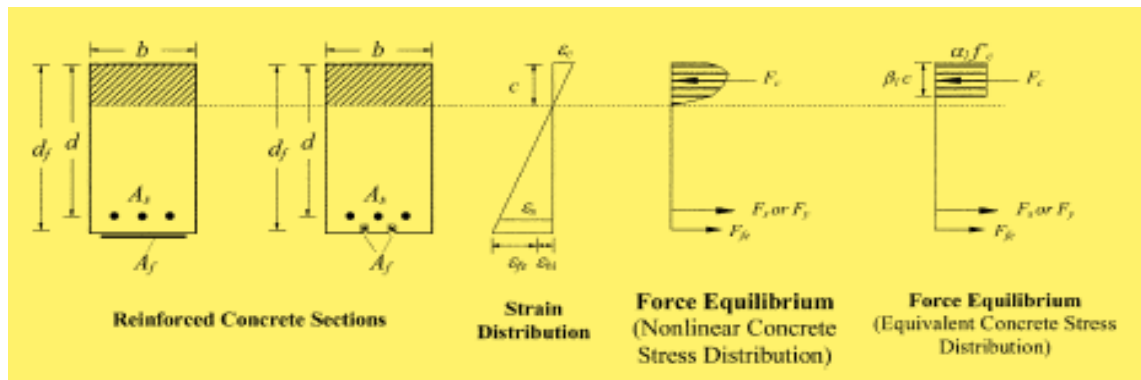


FIGURA 18 La Tensión y la Distribución de Tensiones Internas para Sección Rectangular Bajo flexión límite último
Fuente ACI 440.2R-08

Utilidad- La capacidad de servicio de un miembro (deflexiones y anchos de fisura) bajo cargas de servicio debe satisfacer las disposiciones aplicables de ACI 318-05.

La tensión en la armadura de acero bajo el servicio de carga se debe limitar a 80 % de la resistencia a la fluencia, como se muestra en la ecuación.

$$f_{s,s} \leq 0.80f_y$$

Además, el esfuerzo de compresión en el hormigón bajo carga de servicio debe limitarse a 45 % de la resistencia a la compresión, como se muestra en la ecuación.

$$f_{c,s} \leq 0.45f'_c$$

Capacidad por Flexión, un factor de reducción adicional para FRP, ψ_f , se aplica a la contribución a la flexión resistencia de la armadura de FRP. El valor recomendado de ψ_f es 0,85. Este factor de reducción de la contribución a la resistencia de refuerzo FRP se basa en el análisis de la fiabilidad. Que se basa en las propiedades estadísticas experimentalmente calibrados de la resistencia a la flexión (Okeil et al. 2007).

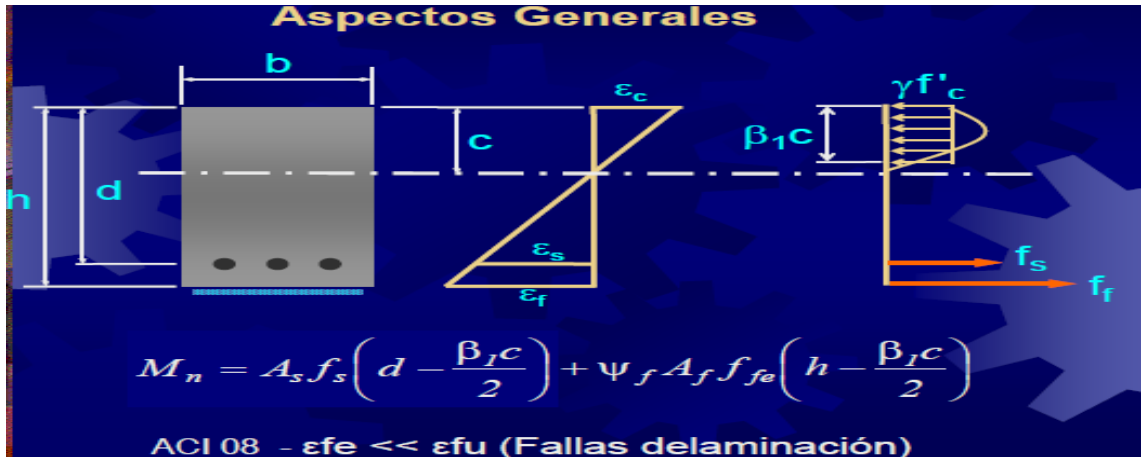


FIGURA 19 Capacidad de Flexión Fuente William Baca.

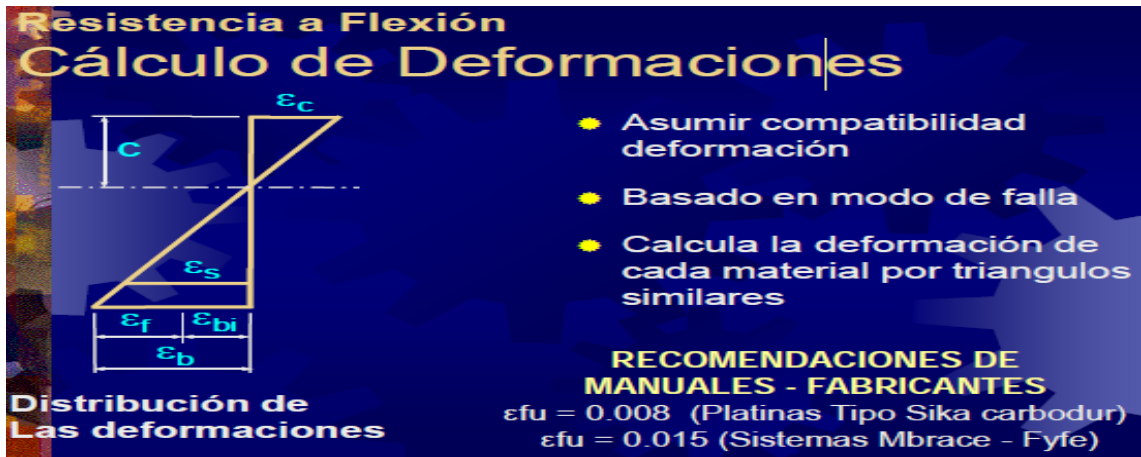


FIGURA 20 Cálculo de Deformaciones. Fuente William Baca.

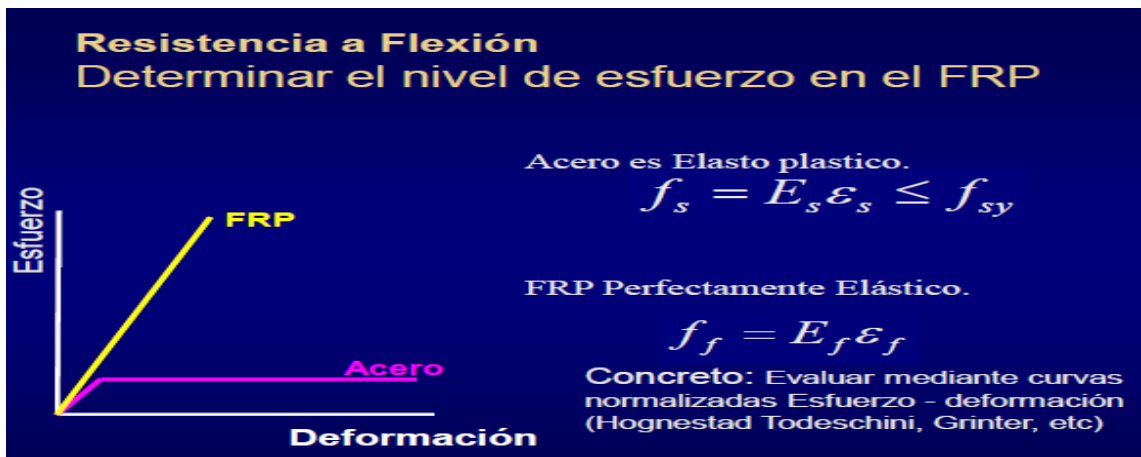


FIGURA 21 Resistencia a la Flexión Fuente William Baca.

2.1.6. Teoría del Modelamiento Estructural del Puente

El modelamiento estructural corresponde a la idealización de la estructura, unidimensional, bidimensional, tridimensional, dimensiones, secciones, volúmenes, métodos de cálculo análisis lineal, no lineal, lineal con redistribución limitada análisis plástico, continuidad, discontinuidad y se plantea la solución a través de programas computarizados. Son programas de análisis y diseño estructural basado en el método de elementos finitos, trabajan dentro de un sistema de datos ingresados, todo lo que se necesita es integrar el modelo dentro de un sistema de análisis y diseño, con base en el comportamiento natural de los materiales empleados para la ejecución del puente, (acero y concreto) se plantean los criterios de falla de estos para la estimación de los esfuerzos actuantes a partir de los esfuerzos principales que brinda el programa SAP 2000. En el caso del acero presenta esfuerzos bajo la teoría de Von Mises, en el concreto se presenta la teoría de Mohr – Coulomb para el cálculo de esfuerzos del concreto, asimismo se alimenta con datos características de los materiales, flujo plástico y contracción, pérdidas de esfuerzo, verificación de peso. Se considera cálculos de análisis finito, esfuerzos en elementos tridimensionales, criterio de fallas, criterio de falla Mor, características de acero y del concreto, verificación del modelo verificación por peso. El medio continuo a tratar, se discretiza a través de líneas, superficies o volúmenes, lo que genera un número finito de elementos conectados por puntos llamados nodos. Al discretizar del todo continuo a cada elemento y nodo se asigna un número de identificación para formar el modelo característico, para formar la matriz característica que

alimentadas las propiedades del material, la geometría configura un matriz global y representa la infraestructura a modelar, entre los elementos existentes un nudo es común en ella los componentes se suman. (León García).

Criterios de Falla de los Materiales.

Superficie de Falla, Von Mises establece que la fluencia en un material isotrópico comenzará cuando el esfuerzo efectivo σ_e sea igual a σ_y por lo tanto.

$$\sigma_{eVM} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2}, \text{ donde } I_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 \quad I_2 = \sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2 \sigma_3 + \sigma_3 \sigma_1$$

$\sigma_{eVM} = \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$ donde $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ son esfuerzos en las direcciones x, y, z.

Superficie de falla de Mohr – Coulomb, se tiene en cuenta la cohesión c, el ángulo de fricción interno ϕ del material, además $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$, la ley de fluencia de Mohr – Coulomb es:

$$f_{mc} = \sigma_1 - \sigma_3 + (\sigma_2 + \sigma_3) \text{Sen}\phi - 2c \text{Cos}\phi$$

Par un sistema de tensión uniaxial, ocurre la fluencia $f_{max} = \sigma_1$, $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ donde $f_{tmax} = \sigma_1$ es la fuerza de tensión máxima soportada y se calcula mediante

$$f_{tmax} = \frac{2c \text{Cos}\phi}{1 + \text{Sen}\phi}$$

Para esfuerzos de compresión $f_{cmax} = \sigma_3$, $\sigma_2 = \sigma_1 = 0$ $f_{max} =$ es La

fuerza de compresión máxima se calcula $f_{cmax} = \frac{2c \text{Cos}\phi}{1 - \text{Sen}\phi}$; Además

$$c = \frac{f_{tmax}}{2} \sqrt{\frac{f_{cmax}}{f_{tmax}}}, \quad \phi = \frac{\pi}{2} - \tan^{-1} \left(\sqrt{\frac{f_{tmax}}{f_{cmax}}} \right)$$

c= cohesión ; ϕ = ángulo de fricción interno de función de fluencia.

Datos para el Modelamiento, Las propiedades de los materiales indicados en el expediente del proyecto, concreto, acero, características de los cables, deformaciones por flujo plásticos y contracciones (León García).

El SAP 2000 se rige por lo indicado en el Comité Europeo del Concreto CEB.

2.1.7. Guía para el Diseño y Construcción de Sistemas de FRP con Ligadura Externa para el Fortalecimiento de Estructuras de Concreto

ACI 440.2R -08 Guía para el Diseño y Construcción de Sistemas de FRP con Ligadura Externa para el Fortalecimiento de Estructuras de Concreto.

El American Concrete Institute (ACI), mediante la norma 440.2R de 2008 formuló los parámetros para diseñar y realizar los sistemas de reforzamiento con fibras de carbono FRP en elementos estructurales de hormigón siendo una alternativa a las técnicas de fortalecimiento tradicional usando placas de acero, estas se usan mediante material compuesto de FRP como un refuerzo a la armadura adherido externamente y son ventajosas por ser ligeros, fácil de instalar y no son corrosivos, esta guía proporciona las ecuaciones, valores, propiedades del material, diseño instalación , control de calidad y mantenimiento de los sistemas de FRP, la presente norma puede utilizarse para seleccionar un sistema de FRP para aumentar la resistencia y la rigidez de elementos estructurales. Las ecuaciones de diseño que presenta la norma es un resultado de investigación recomendado para sistemas que trabajen a tracción y no a compresión.

Asimismo presenta información de las propiedades físicas de adhesivos rango de valores para su uso para la adherencia al sustrato por la fibra de carbono, preparación de la superficie a adherir, preparación de adhesivo resina

endurecedor y el curado respectivamente. Y que guardan relación con las normas de ASTM D638 Tensión de ruptura método de prueba diseñado para producir datos de propiedades de tracción de materiales plásticos, el ASTM C 579 Tensión a la compresión métodos de prueba estándar para la resistencia a la compresión de morteros resistentes a productos químicos, brotes, superficies monolíticas y hormigones poliméricos.

ASTM C 881 Especificación estándar para sistemas de unión de resina epóxica para hormigón, proporciona especificaciones técnicas de los adhesivos, tiempo de trabajabilidad, rango de temperatura a usar, tiempo de curado y formas de agente de curado, la viscosidad respectivamente y los tipos I, II, III, IV, V, VI.

2.2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Las investigaciones realizadas a la utilización de fibra de carbono en el reforzamiento estructural de elementos de concreto armado tenemos:

A NIVEL DE TESIS

Comportamiento de Vigas de Concreto Armado Reforzadas Externamente con Platinas de Fibras de Carbono. Universidad Nacional de Ingeniería, para optar el grado de Maestro en Ciencias. Ing. Luis Ricardo Proaño Tataje. 2011.

Uso de Telas Poliméricas Reforzada con fibra (FRP) para la Rehabilitación y Refuerzo de Infraestructura y Edificaciones. Autor Peña Ramos, Carlo E. y Mo Ehsani XVI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural Veracruz 2008.

Uso de Fibras de Carbono como Reforzamiento a Corte en Vigas de Concreto, Autor José Rafael Contreras Rincón, Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Universidad La Salle, Bogotá D.C. 2011.

Uso de Fibras de Carbono como Reforzamiento a Flexión en Vigas de Concreto Reforzado. Autor Andrés Arturo Beltrán Riveros, para optar el título de Ingeniero Civil, Universidad de la Salle, Bogotá D.C. 2011.

Análisis y Diseño de Puente Atirantado, Ubicado en la Provincia de Esmeraldas sobre el Río Atacames. Autores Marco Efrén Manzano Suárez, Ricardo Paul Pérez Nolivos, para optar el Título de Ingeniero Civil, Escuela Politécnica Nacional. Quito 2012.

A NIVEL DE TRABAJOS EN EL ÁMBITO NACIONAL.

Mantenimiento periódico de carretera. PE 1N Piura – Santa Ana Río Tambo Grande, Tramo Piura – La Obrilla. Puente Limpieza de superficies, reparación de pavimentos, limpieza y sellado de grietas, reforzamiento con láminas de fibra de carbono 24 m², sellado de juntas con material elastomérico. Año 2013 MTC/20.

Reforzamiento estructural de Puente Peatonal Delta. Refuerzo con fibra de carbono por la viga de concreto armado del puente peatonal Delta ubicado en la carretera panamericana norte Km 17+958 para recuperar la capacidad estructural resistente de la viga luego de ser impactado por un camión, Reparación de la viga de concreto armado dañado con mortero epóxico y reforzar con fibra de carbono por flexión y corte. Año 2014 PR 68-14 Rutas de Lima. Ejecutor RF Constructora.

Reforzamiento estructural de losa, vigas y piso de almacenes Empresa Nestlé, se reforzó con bandas de tejido de carbono a manera de malla la losa y las vigas por flexión positiva y cortante se utilizó SikaWarp 600 C, preparando la superficie con mortero Sika Rep PE y SikaDur 31 HMG y luego reforzar con el tejido de fibra de carbono. Ejecutor Empresa Adolfo Callupe Ingenieros SA año 2013.

Refuerzo de Vigas y Columnas del Local SIEMENS, ubicado en la Av. Domingo Orue 933 Surquillo Lima, el proyecto consistía un cambio de servicio por tanto nuevas cargas se adicionaron para su uso, por lo que requería la el reforzamiento con fibras de carbono de vigas y columnas, ejecutado con bandas de tejido de carbono SikaWarp 600 C, preparando la superficie con mortero de reparación Sika Rep PE, Sikadur 32 Gel y Sikadur 31 HMG para luego ser reforzado por el tejido. Realizado por CALLA INGENIEROS Diciembre 2015- Marzo 2016.

Refuerzo con fibras de carbono de oficinas de SOUTHERN en Toquepala Moquegua, la estructura sufrió un asentamiento parcial del terreno, desplazando las columnas y vigas, el proyecto se ejecutó rehabilitando la edificación a través de una inyección de micro cemento en el terreno para estabilizar la zona luego la reparación de elementos estructurales aplicando adhesivos para sellar fisuras SikaDur 31 HMG, SikaDur 52 y mortero Sika Rep PE, SikaDur 32 Gel para luego reforzar con tejido SikaWarp 600C para aportes a flexión y cortante y en columnas el confinamiento con el tejido. Ejecutor ANCIAF SAC Año 2016 abril – mayo.

Reforzamiento Estructural del Puente Río Seco, expuesto a las sobre cargas de los vehículos pesados. Ubicado en el distrito de La Merced Provincia de Chanchamayo. La solución a la resistencia a la flexión en los tres tramos de la losa armada, se aplicaron 290.00 m² de SikaWarp 600 C adherido con el SikaDur 301 y SikaDur 301. Ejecutor Ing. Nicolás Villaseca año 2013.

Reforzamiento Estructural del Complejo Cerro Verde ubicado por en la ciudad de Arequipa, en la Av. Parra. El primer piso fue diseñado para soportar sobre carga menor a la requerida actualmente, se realizó la evaluación estructural por GMI SA

determinándose el reforzamiento con fibras de carbono, siendo necesario reforzar elementos estructurales la losa aligerada y viguetas del complejo. Se repararon las superficies con mortero de reparación SikaDur 31 HMG y luego el reforzamiento con fibra de carbono Sika CarboDur Ss12 que fue adherido con SikaDur 30. Año 2012.

A NIVEL DE TRABAJOS EN EL ÁMBITO INTERNACIONAL.

Reforzamiento estructural de puente Reading Bridge, Reino Unido Año 2016 Contratista VolkerLaser. El fortalecimiento de puente que soporta una carretera de tres carriles y dos aceras sobre el río Támesis a través de fibra de carbono Carboplate, Maperod C, MapeWrap C UNI – AX, adhesivo Adesilex y pintura Elastocor.

Reforzamiento estructural de puente Baku Kawa Bridge, Sarawak, Kuching, Malasia, Año 2013, Contratista Awi Builders Sdn Bhd, instalador Structural Repairs (EM) Sdn Bhd. El reforzamiento del puente Baku Kawa de 20 años de antigüedad de una longitud de 292 m de largo por presentar grietas y restaurar la integridad de la estructura del puente y resistir para el aumento de las cargas, se ha usado fibra de carbono Carboplate así mismo los adhesivos Adesilex PG2 SP y Epojet LV.

Reforzamiento estructural de Puente Railway Bridge, Lugar Rátót, Hungría. Año 2015 Contratista Colas Hungría Ltd. Reparación, impermeabilización y consolidación para mejorar las sobre cargas. Se ha utilizado MapeWrap C Fiocco, Carboplate, adhesivos Planicrete, Plastimul, Dynamon SR 914, Papefer 1K Mapegrout 430 Mapeplastic BV3.

Reforzamiento estructural de residencia Palazzo Senarega, Lugar Palazzo Storico, Génova Italia. Año 2015. Contratista BRC SPA reforzamiento de elementos estructurales techo, columnas. Se ha utilizado MapeWarp B UNI-AX, MapeWarp 31, 11 y 21, Mapewood Paste 140, Adesilex PG, Mapefix EP 385/585.

Reforzamiento Estructural de Instalación Deportiva, Estadio Santiago Bernabeu construido 1944 – 21947, Madrid España año de reforzamiento 2011. Dirección del Proyecto Calter Ingeniería. Se ha utilizado fibra de carbono Carboplate y adhesivo Adesilex PG 21.

Reforzamiento estructural del antiguo edificio de la Tabacalera para convertirlo en Centros de creación de nuevas empresas. Lugar Tarragona España año 2012. Contratista Corsan Corviam – Gulinves, instalador CREB. Se reforzaron 2800 m², techo y columnas. Se usaron fibra de carbono Carboplate Mapegrout T40, adhesivo Adesilex PG1, Eporip, Lates Plus, MapeWarp primer 1, Planicret, Nivorapid, Planitop HDM Maxi, Topem.

Rehabilitación del Puente Las Américas. El ministerio de Obras Públicas de a través de la Empresa MCM Global ejecutó la rehabilitación, mantenimiento y reforzamiento de la losa de rodadura del puente en una longitud de 1653 metros de más de 50 años se vida útil. Los trabajos de rehabilitación de la losa de rodadura incluyen tratamiento de fisuras, parcheo, escarificación, colocación de barras de fibra de carbón. Ejecutado en 2016

Reforzamiento estructural de las gradas en el estadio El Molinón (Gijón). Consiste en la recomposición de la geometría y capacidad estructural del hormigón, mediante la eliminación del hormigón degradado, eliminación de óxido de las

armaduras con Implarest STC, aplicación de puente de unión Implarest EP, reconstrucción de la sección mediante mortero Morcemrest EF 50, seguido de un revestimiento protector Morcemdry F, luego el reforzamiento mediante bandas de fibra de carbono Carbtec Malla. Ejecutado por Grupo Puma.

Inyección de fisuras con resina epoxi en el puente San Esteban Año 2009 duración 1 mes lugar Iberdrola España. Ejecutor GEOPSA.

Rehabilitación e impermeabilización del acueducto de Almonázar Sevilla España con inyección epoxi duración 4 meses año 2008. Ejecutor GEOPSA.

Reparación de puente en carretera Ndjolé - Medoumane Gabón África, constituye refuerzo y protección de hormigón armado, ubicado en Ndjolé (Gabón) ejecutor del reforzamiento Azul de Revestimiento Andaluces SA. El hormigón presenta signos amplios y evidentes de degradación, habiendo aparecido amplias y numerosas fisuras tanto en la losa – tablero como en los muros de los estribos. Se ejecutó inyectando resinas epoxi Masterinject 1360, refuerzo de muros mediante malla de esfuerzo bidireccional MasterBrace NET. Tras la protección del hormigón con MasterEmaco P 2000 BP, la malla de refuerzo MasterBrace NET se coloca embebida entre dos capas.

2.3. BASES TEÓRICAS

2.3.1. Puente atirantado

Aquellos cuyo tablero está suspendido de uno o varios pilones o torres centrales mediante cables, se componen de tres partes tablero, cables u obenques, y las torres. Existe una relación directa entre estos tres elementos, ya que entre ellos las cargas se reparten de tal forma en que la carga está sobre el tablero, el

tablero transmite las cargas y su peso propio a los obenques y estas transmiten a las torres y las torres trasladan las fuerzas a la cimentación de manera simultánea.

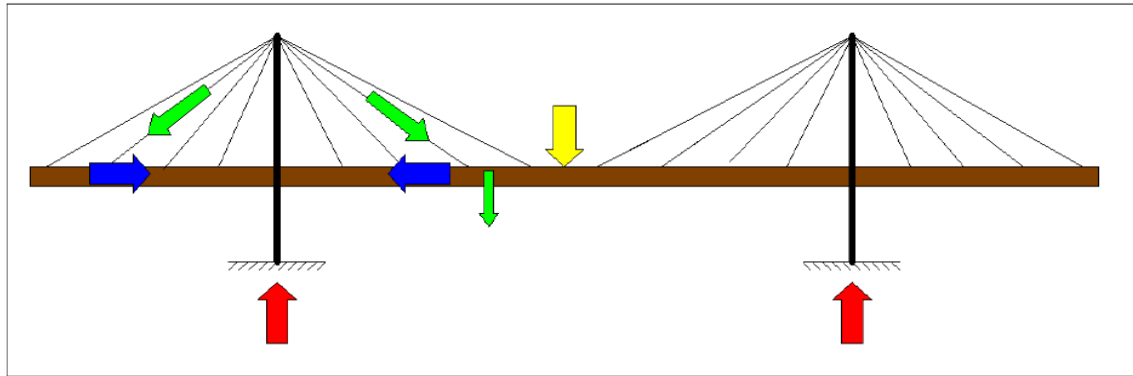


FIGURA 22 Distribución de Cargas. Fuente Ricardo Pérez y Marco Manzano

Los puentes atirantados son los adecuados ante claros entre 100 y 500 m; sin embargo, la tecnología actual ha permitido llegar hasta claros mayores a los 800 m, o bien, de diseños novedosos que por su estética son particularmente conocidos. (Francisco Carrión, José Hernández, Jorge Terán).

2.3.2. Losa de Concreto Armado

La losa de concreto armado elemento estructural que esta conforma por el acero de refuerzo embebida en una mezcla del hormigón. Mezcla de hormigón conformado por cemento, agua, agregados, y aditivos. El acero de refuerzo distribuido según diseño de diversas medidas.

Elemento estructural de espesor reducido respecto de sus otras dimensiones usado como techo o piso, generalmente horizontal y armado en una o dos direcciones según el tipo de apoyo existente en su contorno. Usado también como diafragma rígido para mantener la unidad de la estructura frente a cargas horizontales de sismo. (E 060)

2.3.3. Concreto

El Concreto, es un material compuesto constituido por un material cementante, agua y agregado. El cemento, normalmente tipo Portland, una vez hidratado genera la adhesión química entre los componentes. Por lo general el agregado representa entre 60 % y 75 % del volumen total del concreto estructural, el cemento entre 7 % y 15 % y el aire atrapado entre 1 % y 3 %. Para ciertos propósitos se puede incorporar hasta un 8 % de aire, en forma de pequeñas burbujas en el mortero, agregando sustancias especiales. El aire incorporado es importante para concretos que van a estar sometidos a procesos de hielo – deshielo. (Ottazzi Pasino)

2.3.3.1. Características del Concreto

El concreto tiene una alta resistencia en compresión, en comparación a la resistencia en tracción. Considerando que el cemento y los agregados son de buena calidad, los indicadores más importantes son la relación agua – cemento (w/c) y el contenido total de pasta de cemento en la mezcla. Ambos indicadores, tienen que ver con la resistencia a la compresión y con la retracción por secado que experimentará la mezcla cuando no utilicen aditivos, la cantidad de cemento presente en una mezcla determina el calor de hidratación que se genera durante la fragua y por consiguiente con el potencial de que se formen fisuras térmicas.

El valor f'_c resistencia a la compresión del concreto es el indicador de la calidad del concreto.

2.3.3.2. Resistencia del Concreto en una Estructura Real

La resistencia del concreto se estima mediante la prueba a la compresión a los testigos extraídos y curados de la mezcla llenados a los elementos estructurales en construcción. Además se efectúa la evaluación de la resistencia en obra a través de pruebas no destructiva mediante el esclerómetro que te permite determinar la dureza superficial del concreto lectura que debe interpretarse adecuadamente.

2.3.3.3. Resistencia a la Tracción del Concreto

Módulo de Rotura f_r (ensayo de tracción por flexión) es una medida indirecta de f_r . Se obtiene ensayando hasta la rotura una probeta prismática de concreto simple de 6"x6"x18" simplemente apoyada, con cargas a los tercios. Para calcular el esfuerzo de rotura f_r se asume una distribución lineal de los esfuerzos internos y se aplica la fórmula de resistencia de materiales: (Ottazzi Pasino)

$$f_r = 6 M / (bh^2)$$

El ajuste de un gran número de resultados experimentales, arroja un promedio (con mucha dispersión) de, $f_r \approx 2.2 \sqrt{f'_c}$ (kg/cm²). El módulo de Rotura del concreto, el ACI utiliza esta ecuación para el cálculo de deflexiones en elementos de concreto armado. Sin embargo para elementos de concreto simple (sin armadura) sometidos a flexión el ACI-02 (artículo 22.5.1) especifica el valor dado por la ecuación.

$$f_r \approx 2 \sqrt{f'_c} \text{ (kg/cm}^2\text{) ACI-02.}$$

$$f_r \approx 1.3 \sqrt{f'_c} \text{ (kg/cm}^2\text{) ACI-02 (Ottazzi Pasino)}$$

2.3.3.4. Concreto Armado o Reforzado

Para resistir tensiones se emplea refuerzo de acero, en forma de barras, colocado en las zonas donde se presenta tensiones bajo las acciones de servicio solicitado. El acero resiste los esfuerzos a la tracción y restringe el desarrollo de las grietas en el concreto, de la misma manera se usa en zonas de compresión para aumentar la resistencia del elemento reforzado, para ello es necesario aumentar la resistencia a la compresión y/o tensión, por lo que se necesita una eficiente adherencia del acero vs concreto.

2.3.4. Acero para Reforzar al Concreto

La más común es la barra o varilla que se fabrica tanto de acero laminado en caliente o en frío. Todas las barras, con excepción del alambroón de $\frac{1}{4}$ de pulga que generalmente es liso, tienen corrugaciones sobre la superficie, para mejorar su adherencia al concreto. El tipo de acero se caracteriza por el límite o esfuerzo de fluencia.

2.3.5. Características de las Varillas de Acero

Calidad de acero de refuerzo deben cumplir la Norma Peruana Itintec. 341.031-A-42. Acero Grado 60, la Norma ASTM A615 y la Norma ASTM A706. Acero de baja aleación, soldable. Grado 60, en el Perú se fabrican barras de acero de las marcas Arequipa y Sider Perú en características que se indican en la tabla N° 5.

Designación	Diámetro (in)	Diámetro (mm)	Area (cm ²)	Peso (kg/m)	Observaciones	
2	1/4	6.4	0.32	0.250	Liso	
3	3/8	9.5	0.71	0.560		
4	1/2	12.7	1.29	0.994		
5	5/8	15.9	2.00	1.552		
6	3/4	19.1	2.84	2.235		
8	1	25.4	5.10	3.973		
11	1 3/8	35.8	10.06	7.907		
6 mm (*)		6	0.28	0.222		Ac. Arequipa
8 mm		8	0.50	0.395		Ac. Arequipa
12 mm		12	1.13	0.888		Ac. Arequipa
7	7/8	2.2	3.87	3.042		No disponible
9	1 1/8	8.7	6.45	5.060	No disponible	
10	1 1/4	2.3	8.19	6.404	No disponible	
14	1 11/16	3.0	14.52	11.380	No disponible	
18	2 1/4	57.3	25.81	20.240	No disponible	

(*) Acero de 6 mm corrugado. También se comercializa en rollos

TABLA 5 Características de Varillas de Acero Corrugadas Fuente Ottazzi Pasino.

Las calidades del acero que indica la Norma ASTM que se emplea como acero de refuerzo, se indica en la tabla N° 6.

Grado	ASTM	f_y min (kg/cm ²)	f_y max (kg/cm ²)	f_u min (kg/cm ²)	f_u/f_y (min)
40	A 615	2,800	--	4,200	--
60	A 615	4,200	--	6,300	--
75	A 615	5,300	--	7,000	--
60	A 706	4,200	5,500	5,600	1.25

TABLA 6 Características de Varillas de Acero de Refuerzo. Fuente Ottazzi Pasino.

2.3.6. Fisuras

Las fisuras son resultado de los esfuerzos que actúan sobre los elementos estructurales. Normalmente cualquier elemento de concreto reforzado es propenso a que presente fisuras bajo las cargas normales de servicio, sin embargo, cuando el ancho de las fisuras producidas es grande (mayor a 0.5 mm) se considera como una manifestación patológica y pueden afectar el funcionamiento de la estructura (Sánchez de Guzmán)

2.3.6.1. Diferencias entre Fisuras y Grietas

Fisuras son aperturas que no se pueden controlar, que afecta solo la parte superficial del elemento, mientras la grieta son roturas incontrolables que afectan todo el espesor del elemento atravesando de lado a lado. En concreto armado debido a la baja resistencia a la tensión del refuerzo, el concreto se fisura. La diferencia de fisuras y grietas varían según los autores otros consideran grieta en elementos estructural y fisuras en elementos no estructurales.

Los elementos (estructuras) de concreto armado se agrietan fundamentalmente por los esfuerzos de tracción ocasionados por las cargas externas y por las deformaciones impuestas por los cambios volumétricos restringidos (creep, retracción, cambios de temperatura) (Ottazzi Pasino).

2.3.6.2. Fisuras según Tiempo de Aparición

Fisuración en estado plástico.	Contracción o retracción plástica.	Contracción hidráulica. Mapeo superficial.
	Por deficiencias o descuidos en la ejecución	Asentamiento plástico. Contracción por secado. Contracción por carbonatación.
Fisuración en estado endurecido	Por movimientos espontáneos	Contracción térmica. Entumecimiento por corrosión del acero de refuerzo. Reacción álcalis agregado.
	Por acciones mecánicas	Compresión, tracción, flexión, cortante o torsión.
	Otras	Errores de diseño y detallado. Prácticas constructivas inadecuadas.

TABLA 7 Fisuras según Tiempo de Aparición Fuente E. Vidaud

2.3.6.3. Fisuración por Retracción Plástica

La fisuración por retracción plástica ocurre cuando está sujeto a una pérdida de humedad muy rápida provocada por una combinación de factores que incluyen las temperaturas del aire y el hormigón, la humedad relativa y la velocidad del viento en la superficie del hormigón. Estos factores pueden combinarse de manera de provocar niveles altos de evaporación superficial tanto en clima caluroso (E. Vidaud C y T C)

2.3.6.4. Fisuración por Tensiones de Origen Térmico

Las diferencias de temperatura al interior de una estructura de hormigón por niveles o capas en la estructura que pierden calor de hidratación a diferentes velocidades, por condiciones climáticas que se enfrían unas más que otras por su ubicación unas más cerca de la superficie. Estas diferencias de temperatura generan cambios diferenciales de volumen y tensiones de tracción, si estas superan la capacidad de deformación por tracción del hormigón, el concreto se fisurará.

El gradiente de temperatura puede ocurrir ya sea porque la parte central del hormigón se calienta más que la parte exterior por el calor liberado durante el proceso de hidratación del cemento, o bien por un enfriamiento más rápido del exterior respecto del interior del hormigón. (E. Vidaud C y TC)

2.3.6.5. Fisuración por Cargas Externas

Las fisuras por cargas externas generan la fisuración de los elementos de hormigón. Los procedimientos de diseño actuales (ACI 318 y las Especificaciones Normalizadas para Puentes Carreteros de AASHTO) utilizan

armaduras no sólo para soportar las fuerzas de tracción, una distribución adecuada de los aceros ofrece mejor protección contra las fisuras no deseadas, asimismo el ancho de fisura aumenta con el aumento de la tensión de las armaduras, el espesor del recubrimiento.

Las armaduras bien distribuidas ofrecen la mejor protección contra la fisuración no deseada al igual que reducir la tensión en el acero, utilizando mayor cantidad de armaduras, también reducirá la cantidad de fisuración. (ACI 224.1R-93)

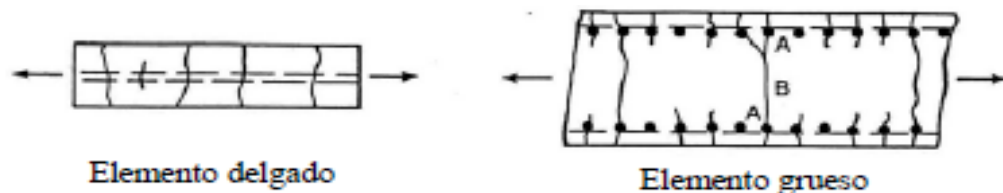


FIGURA 23 Fisuras por Tracción. Fuente Ottazzi Pasino.

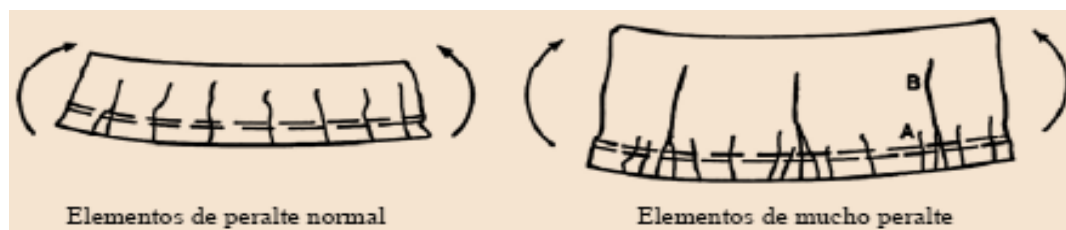


FIGURA 24 Fisuras por Flexión. Fuente Ottazzi Pasino



FIGURA 25 Fisuras por Flexión - Corte. Fuente Ottazzi Pasino.

Cuando se trata de una estructura nueva podríamos mencionar exceso de agua en la mezcla de concreto, falta de curado del concreto, retiro de la

formaleta antes de tiempo, sección insuficiente de los elementos estructurales (vigas, columnas, losas, muros, etc.) acero insuficiente en los elementos estructurales, mala ubicación de los aceros de refuerzo. (SIKA Brochure).

2.3.6.6. Inclinación de las Fisuras

Las fisuras de tensión son poco frecuentes en el concreto armado pues el acero se encarga de absorber estos esfuerzos; sin embargo, cuando las deformaciones de éste se presentan considerables, pueden aparecer coincidiendo en general con la posición de los estribos, estas son fisuras perpendiculares a la dirección del esfuerzo de tensión, y que suelen atravesar toda la sección. El concreto bajo esfuerzos de compresión simple, puede fisurarse si el valor del esfuerzo es mayor que la resistencia, en este caso se presentan paralelas a la dirección del esfuerzo, con una separación muy variable entre ellas. Las fisuras de flexión son las más comunes en el concreto armado, pudiendo presentarse de diferentes formas según sea flexión pura o flexo-compresión. En flexión pura las fibras tensionadas se pueden considerar sometidas a tensión simple, disminuyendo la intensidad de este esfuerzo en la línea neutra, estas fisuras aparecen en la zona de tensión y progresan orientadas verticalmente buscando la línea neutra y presentan una amplitud que va disminuyendo, luego de diagonalizarse al final, buscando el punto de aplicación de la carga y desapareciendo en la zona de compresión. En la flexocompresión, la fibra más propensa a fisurarse es la más comprimida.

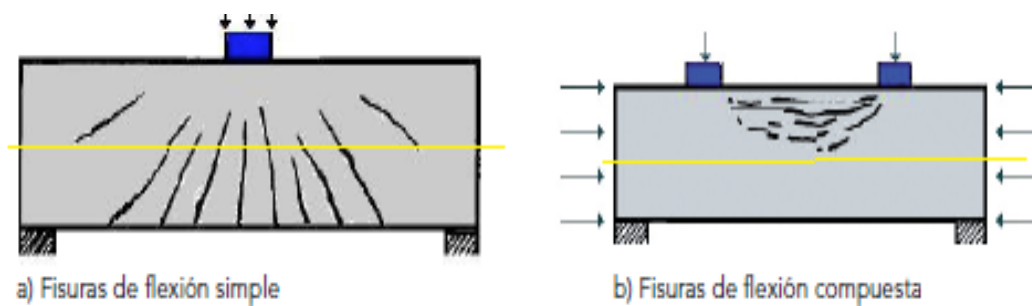


FIGURA 26. Fisura de Flexión Simple y Compuesto Fuente C y T 2013

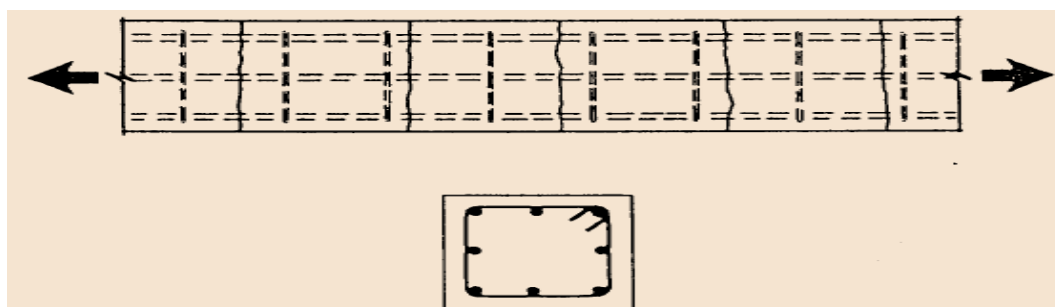


FIGURA 27 Tracción originan Fisuras Perpendiculares al Esfuerzo. Fuente Oyarzabal Schroeder.

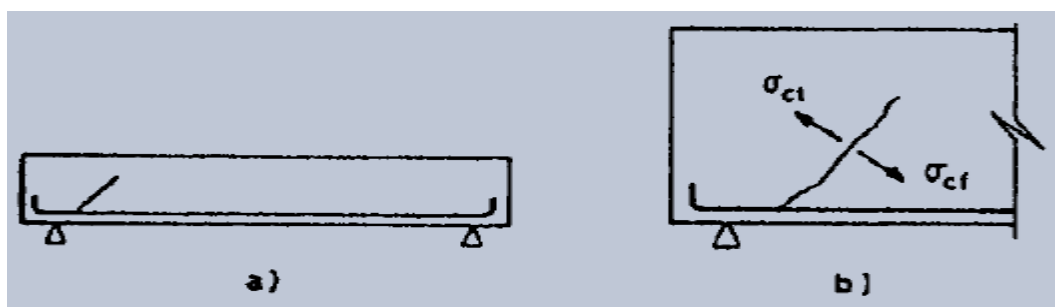


FIGURA 28 Fisura Estructural. Fuente Oyarzabal Schroeder

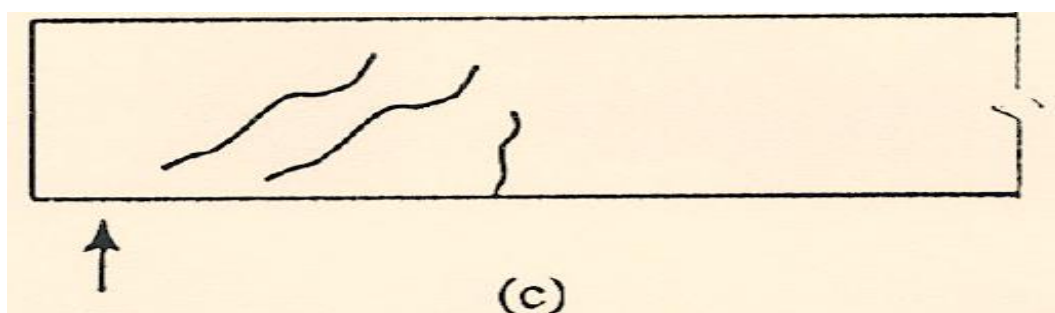


FIGURA 29 Fisuras estructurales, Esfuerzo Cortante y Flexión. Fuente Oyarzabal Schroeder

2.3.6.7. Control de Fisuras en Estructuras de Concreto

En la tabla 10, indica los anchos mínimos de fisura razonable para una estructura de concreto reforzado bajo cargas de servicio para diferentes tipos de exposición. La carga de servicio hace referencia a la carga muerta (peso propio + peso de cargas permanentes en la estructura) y a la carga viva (peso de los enseres y personas y sismos y vientos) (Sika Colombia S.A.S)

CONDICIÓN DE EXPOSICIÓN	ANCHO DE FISURA	
	pulg	mm
Aire seco o membrana protectora	0.016.	0.41
Humedad, aire húmedo, suelo	0.012	0.30
Químicos para deshielo	0.007	0.18
Agua de mar, zona de salpique, ciclo húmedo y seco	0.006	0.15
Estructuras de retención de agua*	0.004	0.10

TABLA 8 Anchos de Fisuras según Condición de Exposición Fuente Sika Colombia SAC

2.3.7. Adherencia al Concreto

Como sistema de unión y/o sellado de materiales, los adhesivos ocupan un lugar que en ocasiones comparten con otros sistemas de unión. No obstante los adhesivos requieren conocimientos básicos para un adecuado uso y solo a través de un diseño adecuado de la unión se lograra resultados satisfactorios.

(Mario Madrid)



FIGURA 30 Posicionamiento de los Adhesivos Fuente Tecnología de la Adhesión. Fuente Mario Madrid.

Adhesivo es aquella sustancia que aplica entre las superficie de dos materiales permite una unión resistente a la separación. Denominados sustratos o adherentes a los materiales que pretendemos unir por mediación del adhesivo.

(Mario Madrid)

2.3.7.1. Grupo de Adhesivos

Los adhesivos prepolimerizados son aquéllos cuyo polímero ya existía antes de ser aplicado el adhesivo sobre el sustrato, y los reactivos, éstos últimos se caracterizan por su estado líquido, viscoso gel, se constituyen por monómeros o cadenas oligómeras que polimerizan y se entrecruzan durante el proceso de polimerización en el vacío a adherir.

Los principios de la adhesión son comunes a todas las familias adhesivas. Sin embargo, sólo los adhesivos reactivos son capaces de dar soluciones fiables a los problemas de ingeniería (Mario Madrid)



FIGURA 31 Esquema Básico de una Unión Adhesiva. Fuente Mario Madrid.

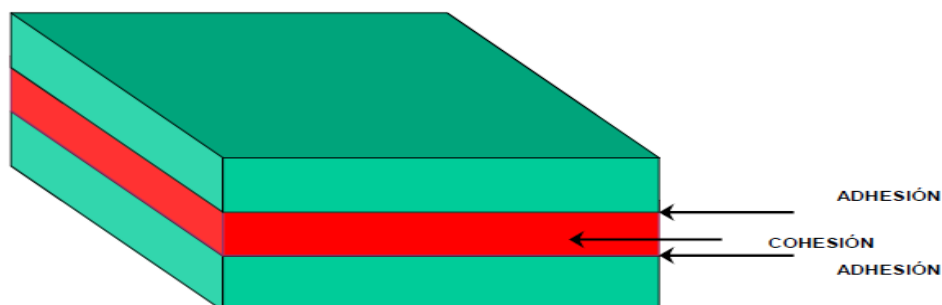


FIGURA 32 Diferenciación entre Adhesión y Cohesión Fuente Mario Madrid.

2.3.7.2. Adhesivos Reactivos

Aquellos que polimerizan durante el proceso de adherencia, se ensambla y se consolida luego de que se inyecte en el espacio vacío entre los sustratos. El curado del adhesivo monocomponente es en profundidades limitadas, mientras los bicomponentes permiten inyección y curado en profundidades ilimitadas.

Los adhesivos reactivos se consolidan por poliadición (reaccionan en cadena velocidades altas) o policondensación (reaccionan con velocidades lentas su volumen se incrementa de manera paulatino y continuo). (Mario Madrid)

2.3.7.3. Epoxis

Son adhesivos reactivos rígidos normalmente bicomponentes en forma de resina más activador, la polimerización comienza lentamente para permitirte una mejor trabajabilidad hasta alcanzada la resistencia, la viscosidad apropiada de la resina epóxica depende del espesor de la grieta, sección de concreto y profundidad.

Para las grietas con espesores de 0.3 mm (0.010 pulg.) o menores se utiliza una resina epóxica de baja viscosidad (500 cps o menos). Para grietas más anchas, o donde el acceso a la inyección se limita a un solo lado, el uso de un material con una viscosidad media a viscosidad de gel, puede ser más adecuado. La especificación de la ASTM C881, "Standard Specification for Epoxy Resin Base Bonding Systems for Concrete," identifica los criterios básicos para la selección del grado y clase de las resinas a usar (vea Tabla 09). Para secciones de concreto mayor de 305 mm (12 pulg.), se puede

necesitar un tiempo de aplicación mayor con una viscosidad menor, conforme la grieta disminuye de tamaño. También deberá considerarse las siguientes características del producto. Módulo de elasticidad (rigidez); tiempo de trabajabilidad de la mezcla epóxica; Tolerancia a la humedad; Color; y Resistencias a la compresión, flexión y tensión. (Informe del Comité E706 de ACI).

2.3.7.4. Inyección de Epoxis

Dependiendo de los requisitos específicos del proyecto, la reparación de grietas mediante la inyección de resina epóxica puede reestablecer la integridad estructural y reducir la penetración de la humedad a través de las grietas de en el concreto que tenga un espesor de 0.05 mm (0.002 pulg) o mayor. Deben cumplir con requisitos del estándar ASTM. (Boletín 1 de RAP E 706 ACI).

	Tipo I*	Tipo IV [†]
Viscosidad, Pas (centipoises)		
Grado 1 (viscosidad baja), máxima	2.0 (2000)	2.0 (2000)
Grado 2 (viscosidad media), mínima	2.0 (2000)	2.0 (2000)
Máxima	10 (10,000)	10 (10,000)
Consistencia, mm (pulg.)		
Grado 3 (sin escurrimiento), máxima	6.0 (¼)	6.0 (¼)
Tiempo de gelificación, minutos	30	30
Resistencia a la adhesión, mínimo, MPa (psi)		
2 días, curado en húmedo [‡]	7.0 (1000)	7.0 (1000)
14 días, curado en húmedo	10.0 (1500)	10.0 (1500)
Absorción, 24 horas máximo, %	1	1
Temperatura de deflexión por calor, °C (°F)		
7 días mínimo	—	50 (120)
Coeficiente lineal de retracción		
Al curar, máximo	0.005	0.005
Resistencia a la fluencia bajo compresión, MPa (psi)		
7 días mínimo	55.0 (8000)	70.0 (10,000)
Módulo de compresión, mínimo	1000 (150,000)	1400 (200,000)
Resistencia a la tensión, 7 días mínimo	35.0 (5000)	50.0 (7000)
Elongación a la ruptura, mínimo, %	1	1

*Tipo I: para usarse en aplicaciones que no están bajo carga.
†Tipo IV: para usarse en aplicaciones que soportan carga.
Fuente: ASTM C881, Standard Specification for Epoxy Resin Base Bonding Systems for Concrete.
‡Los sistemas curados por humedad deben someterse a prueba, ensamblando las secciones que se van a adherir antes de sumergirlas en agua.

TABLA 9 Requisitos de Estándar ASTM C881 para Resinas Epóxicas para Adhesión de Concreto Endurecido Fuente Boletín 1 E706 de ACI.

2.3.7.5. Características de Adhesivo Epojet para Fisuras de Concreto

Es una resina epoxi de dos componentes, 100 % solida, de baja viscosidad para inyectar a presión y sellar grietas en concreto estructural, mampostería y madera. De alta resistencia y tolerancia a la humedad, cumple con ASTM C881, se puede aplicar en inyección a presión o alimentación por gravedad, y también se puede combatir con arena para crear un mortero epoxi. (Mapei)

Viscosidad ASTM D2393	410 cps
Tiempo de gel (6º gramos masa) ASTM C881	30 minutos
Fuerza de adherencia 2 días de curado ASTM C882	9.10 MPa
Fuerza de adherencia, 14 días de curado ASTM C 882	19.0 MPa.
Absorción ASTM D570	0.93 %.
Temperatura de deflexión térmica ASTM D648	64° C
Resistencia de compresión ASTM D695	84 MPa
Módulo de compresión ASTM D695	3773 MPa
Fuerza tensora ASTM D638	51.8 MPa.
% de elongación a la ruptura ASTM D638	3.3 % (Mapei)

2.3.8. Fibra de Carbono

La fibra de carbono es un polímero que se obtiene al recalentar en etapas el polímero poliacrilonitrilo a altas temperaturas 1500 °C., que permite a la formación de cintas perfectamente alineadas de carbono puro en su forma de grafito. El funcionamiento eficiente del sistema FRP (siglas en inglés de Fiber Reinforced Polymer) es garantizado cuando existe la adecuada adherencia al concreto.

Los sistemas de reforzamiento FRP deben ser diseñados para resistir las fuerzas de tracción, manteniendo el equilibrio de esfuerzos entre la tensión en el FRP y la base de concreto. Como consecuencia, la resistencia a la compresión del refuerzo debe ser despreciada. (Flores Tantaleán)

2.3.8.1. Reforzamiento con Fibra de Carbono

El diseño del refuerzo debe ser realizado en concordancia con los requerimientos de resistencia y serviciabilidad usando los factores de carga indicados en la norma de concreto ACI 440, se considera factores de reducción aplicados a la contribución de las platinas de fibra de carbono. Según el ACI 440, la viga de concreto no reforzada extremadamente debe tener suficiente resistencia para resistir un nivel de carga determinada.

La resistencia de diseño de un miembro reforzado externamente con platinas de fibras de carbono debe exceder la demanda última factorada. (Luis Proaño).

$$\phi \cdot (M_n) \geq M_u$$

2.3.8.2. Ventajas del Uso de la Fibra de Carbono

Poco peso, lo que facilita la instalación y poco aumento de carga a la estructura, no modifican la arquitectura, tamaño de la sección, pues su espesor es mínimo, muy resistente a la tracción y resistente a la corrosión.

Las ventajas se pueden resumir en, peso muy liviano, alta durabilidad, anticorrosivo y bajo mantenimiento, rápida instalación, lo que se traduce en ahorro de dinero y tiempo de espera, mínimo incremento de espesor en la geometría del elemento, muy flexible, adaptable a todas las formas de los elementos (Flores Tantaleán)

2.3.8.3. Propiedades de la Fibra de Carbono

Acero	GFRP	CFRP	AFRP
490 (7.9)	75 a 130 (1.2 a 2.1)	90 a 100 (1.5 a 1.6)	75 a 90.(1.2 a 1.5)

TABLA 10 Densidades Típicos de FRP lb/ft³ (g/cm³). Fuente ACI 440.2R-12.

Dirección	Coeficiente de dilatación térmica, * 10 ⁻⁶ / ° F (* 10 ⁻⁶ / ° C)		
	GFRP	CFRP	AFRP
Longitudinal, α_L	3.3 a 5.6 (6 a 10)	- 0,6-0 (-1 a 0)	- 3,3 a -1,1 (-6 a -2)
Longitudinal, α_T	10.4 a 12.6 (19 a 23)	12 a 27 (22 a 50)	33 a 44 (60 a 80)

* Los valores típicos para las fracciones de fibra de volumen que van de 0,5 a 0,7.

TABLA 11 Coeficientes de Dilatación Térmica para los Materiales de FRP Fuente ACI 440.2R-12

Propiedades de FRP (William Baca).

Módulo de Elasticidad $E = 700$ a 2300 Kg/cm²

Esfuerzo de Rotura – Tensión $f_u = 15$ a 40 Kg/cm²

Deformación Unitaria de Falla $\delta = 0.0016$ mm/mm.

2.3.8.4. Comparación de Propiedades Mecánicas de Fibras de Carbono y Basalto

Tipo de Fibra	Densidad (Kg/m ³)	Resistencia a Tracción (MPa)	Módulo de Young (GPa)	Alargamiento de rotura (%)	C.T.E (10 ⁻⁶ /°C)	Coefficiente de Poisson's
E-Glass	2.500	3.450	72,4	2,4	5	0,22
S-Glass	2.500	4.580	85,5	3,3	2,9	0,22
Vidrio resistente a los álcalis	2.270	1.800-3.500	70-76	2,0-3,0	-	-
ECR	2.620	3.500	80,5	4,6	6	0,22
Carbono (Módulo alto)	1.950	2.500-4.000	350-650	0,5	-1,2...-0,1	0,20
Carbono (Alta resistencia)	1.750	3.500	240	1,1	-0,6...-0,2	0,20
Aramida (Kevlar 29)	1.440	2.760	62	4,4	-2,0 Longitudinal 59 Radial	0,35
Aramida (Kevlar 49)	1.440	3.620	124	2,2	-2,0 Longitudinal 59 Radial	0,35
Aramida (Kevlar 149)	1.440	3.450	175	1,4	-2,0 Longitudinal 59 Radial	0,35
Aramida (Technora H)	1.390	3.000	70	4,4	-6,0 Longitudinal 59 Radial	0,35
Aramida (SVM)	1.430	3.800-4.200	130	3,5	-	-
Basalto	2.800	4.840	89	3,1	8	-

TABLA 12 Propiedades de Fibras de Refuerzo de Barras de FRP Adaptado de FIB Task Group 9 Fuente: Valles Pla.

El MapeWrap B UNI-AX es un tejido unidireccional de fibra de basalto de alta resistencia. El sistema está indicado para la reparación de elementos de hormigón armado dañado por acciones físico mecánicas, para el confinamiento a compresión y a presoflexión de elementos de hormigón y para la adecuación sísmica de estructuras situados en zonas de riesgo.

2.3.8.5. Características de Varillas de Fibra de Carbono, Maperod C

Barra pultrusas de fibra de carbono para la reparación y el refuerzo estructural de elementos de hormigón, madera y albañilería deteriorados, Es de una alta resistencia a la tracción, en combinación con los tejidos MapeWarp mejoran el anclaje, especialmente para refuerzo a flexión y a cortante. Sirve para

sustituir a barras metálicas, son ligeros, elevada resistencia a la tracción, módulo elástico compatible a la del hormigón, facilidad de colocación.

Densidad (g/cm ³)	1.54
Contenido de fibras (%)	71
Sección transversal mm	73.9.
Diámetro nominal (mm)	9.7.
Resistencia a la tracción (N/mm ²)	2,000.
Módulo elástico (N/mm ²)	155,000.
Alargamiento a rotura (%)	1.5.
Coeficiente de dilatación (m/m/°C)	6 - 10 x 10 ⁻⁶ . (Mapei)

2.3.8.6. Características de la Fibra de Carbono, Lámina de Carboplate E-170

Se utiliza en la reparación y adecuación de vigas, para resistir flexión, de alta resistencia a la tracción y alto módulo elástico, para ser utilizada en el aplacado de estructuras de hormigón armado y pretensado y en estructuras de acero. Ligero, reducido espesor, óptima resistencia a la fatiga.

Densidad gr/cm ²	1.61
Contenido de fibras %	68
Espesor mm	1.4
Anchura mm	50, 100, 150
Peso g/m	113, 225, 338
Resistencia a cortante MPa	77
Coeficiente de Dilatación	0.6 x 10 ⁻⁶ (Mapei)

2.3.8.7. Características de Manta Fibra de Carbono, MapeWarp B UNI-X

Es un tejido unidireccional de fibra de basalto que posee una alta resistencia mecánica a la tracción, se utiliza en seco o húmedo utilizando resinas epoxídicas compuesta por MapeWarp 1, MapeWarp11, 12, 31 en seco, en húmedo se utiliza el MapeWarp 21.

Tipo de fibra	Basalto de alta resistencia
Gramaje g/m ²	400.
Densidad g/cm ²	2.75
Espesor mm	0.143
Resistencia mecánica a tracción N/mm ²	4840
Carga máxima por unidad de anchura N/mm ²	680
Módulo elástico a tracción N/mm ²	89,000
Alargamiento a rotura %	3.15
Adherencia al hormigón N/mm ²	>3
Resistencia característica a tracción del compuesto	>2000
Módulo elástico a tracción de compuesto FRP GPa	<85
Alargamiento a rotura %	≥ 2.0 (Mapei)

2.3.8.8. Ligante para Fibra de Carbono

Los fabricantes de sistema de FRP usan resinas que tienen, la compatibilidad y adhesión al sistema compuesto, resistencia a los efectos ambientales, incluyendo humedad, agua salada, las temperaturas externas, y los productos químicos que normalmente se asocia con hormigón debe tener, capacidad de llenado, trabajabilidad, duración de la mezcla coherente con la aplicación (ACI 440.2R-08)

CAPÍTULO III METODOLOGÍA

3.1. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. Investigación Aplicada Tipo Experimental

GRUPO	ASIGNACION	PRE - PRUEBA	TRATAMIENTO	POST - PRUEBA	DIFERENCIA
GE GRUPO EXPERIMENTAL		O1	X	O2	$O2 - O1 = D1$
GC GRUPO DE CONTROL		O3	-	O4	$O4 - O3 = D2$

O1 = O3 = PRE PRUEBA. (MEDICION) O2 = O4 = POST PRUEBA. (MEDICION).
 X = TRATAMIENTO. - = SIN TRATAMIENTO. R = ASIGNACION

TABLA 13 Evaluación de los resultados finales del proceso de investigación Fuente propia.



FIGURA 33 Flujo Experimental para ejecutar los ensayos dentro de la Tesis. Fuente propia.

3.1.2. Investigaciones Precedentes

3.1.2.1. Ensayos de Vigas a Flexión. (Proaño Tataje)

Comportamiento de Vigas de Concreto Armado Reforzadas externamente con Platinas de Fibra de Carbono.

Viga de control. Dimensiones de todos 2800 mm x 300 mm x 200 mm.

Viga de control, sin reforzamiento externo.

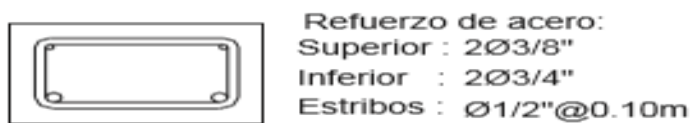


FIGURA 34 Viga de Control. Ensayo a Flexión. Fuente Proaño Tataje.

Viga 1A. , Reforzado externamente con fibra de carbono, dimensiones del refuerzo 2100mm x 100mm x 1.2mm



FIGURA 35 Viga 1 A para Prueba de Flexión Fuente Proaño Tataje.

Viga 2B. Reforzado externamente con láminas tejidas de fibra de carbono, dimensiones 2100-mm x 250 mm x 0.33mm.



FIGURA 36 Viga 2B para Prueba de Flexión. Fuente Proaño Tataje.

Viga 3A. Reforzado externamente con láminas tejidas de fibra de carbono, dimensiones 2100 mm x 250 mm x 0.3mm. Las vigas cuentan con diferente refuerzo interno de acero y refuerzo externo, se ha utilizado 50 Toneladas-fuerza.



FIGURA 37 Viga 3A para Prueba de Flexión. Fuente Proaño Tataje.

Fibra de Carbono Utilizado.

Platina Sika CarboDur.

Módulo de Elasticidad: $EL = 170 \text{ GPa}$ Esfuerzo de Rotura : $f_{Lu} = 3.1 \text{ GPa}$

Deformación Máxima: $\epsilon_u = 0.017$ Adhesivo : SikaDur 30.

Módulo de Elasticidad: $E_a = 12.8 \text{ GPa}$ Resistencia a la tracción : $f_{au} = 33 \text{ MPa}$

Manta o Tejido MBrace

Módulo de Elasticidad: $EL = 227 \text{ GPa}$ Esfuerzo de Rotura : $f_{Lu} = 3.8 \text{ GPa}$

Deformación Máxima: $\epsilon_{Lu} = 0.0167$

Adhesivo: Primer, Putty & Saturant

Módulo de Elasticidad: $E_a = 10.8 \text{ GPa}$ Resistencia a la tracción : $f_{au} = 29.2 \text{ MPa}$

Ensayo de las Vigas a Flexión

Se ha tomado los resultados de la viga de control VC, y las vigas reforzadas V1A, V2A, V3A.

VIGA	PREVIA FISURA kN	PRIMERA FISURA kN	FALLA ULTIMA DE ROTURA kN	RESISTENCIA DE ROTURA EN kN RESPECTO A LA VIGA DE CONTROL (V.C)
V.C. VIGA DE CONTROL	-	18.9	117.4	REFERENCIA
V1A	77	-	148.9	1.27 VECES MÁS
V2A	65	-	178	1.52 VECES MÁS
V3A	38	-	170	1.45 VECES MÁS

TABLA 14 Resistencia de las Vigas Fisuradas y Reforzadas respecto a la Viga de Control, Ensayo de Proaño Tataje. Fuente propia.

Viga.	Grieta Previa kN	1ra Grieta kN. Momento y Flector kN-m (centro de la viga)	Fluencia acero (F) Momento flector (centro de la viga)		Falla Ultima de Rotura kN. Momento último. kN-m (centro de la viga) Deflexión mm	Segunda Fractura	OBSERVACIONES V.C. = Viga de control o referencia. V1AR=Viga 1AR reforzado con lámina de FRP V2AR=Viga 2AR reforzado con lámina de FRP. V3AR=Viga 3AR reforzado con lámina de FRP.
			F kN	M kN-m			
V. C	-----	18.9 6.9	83.6	30.7	117.4 42.8		La viga de control mostro comportamiento dúctil, el primer agrietamiento ocurrió a 18.9 kN rotura del recubrimiento.
		Distancia de fisuras					
V1A	77	En la zona de flexión pura 150-250mm Externos 100-150mm			148.9 -110 53.9 23	125 kN	Desprendimiento de la platina de FRP en el claro se propago hacia los extremos. La deformación unitaria de la platina de FRP es del orden de 0.0045 debajo de la deformación máx. ϵ_{Lu} 0.017. Se generó nuevos agrietamientos a medida que se incrementa la carga. Esfuerzo axial de rotura de la platina es 700 MPa.
V2A	65	Zona de Flexión pura 110 - 200 Extremos 90 -150			152.8 -110 55.4 23	120	Desprendimiento de la lámina FRP del centro del claro hacia los extremos, generando nuevos agrietamiento propagándose hacia el acero. La deformación unitaria de la platina es de 0.004 a 0.005 Esfuerzo axial de desprendimiento 800 MPa.
V3A	38	Zona de flexión pura 90 -220 Extremos 80 - 240			170 - 135 61.6 39.0		Desprendimiento de la lámina de FRP en uno de sus extremos, propagándose hacia el centro y aparición de nuevas grietas dejando libre el acero, la deflexión máxima en el centro de la viga es de 39.0 mm.

TABLA 15. Resultados de Ensayo de tres Vigas Fisuradas Previamente y una Viga Reforzada a Flexión - Investigación de Proño Tataje. Fuente propia.

3.1.2.2. Ensayos de Vigas a Flexión. (Beltrán Riveros)

Uso de Fibras de Carbono como Reforzamiento a Flexión en Vigas de Concreto Reforzado.

Las tres vigas eran de sección 15x30x300 con una luz de 2.80 m, fundidas una con formaleta metálica y dos con formaleta de madera, con un refuerzo pasivo conformado por 2 varillas N°3 como reforzamiento a tracción más 2 varillas N°2 como reforzamiento a compresión y un refuerzo a cortante conformado por 27 flejes separados cada 0.10 m figurados en varilla N°3; que permitió que las vigas fallaran primero por flexión y después a cortante. Se utiliza una carga máxima de 40Tn.

Las V2 y V3 son reforzados con láminas de SikaWarp 103 C y SikaDur 301

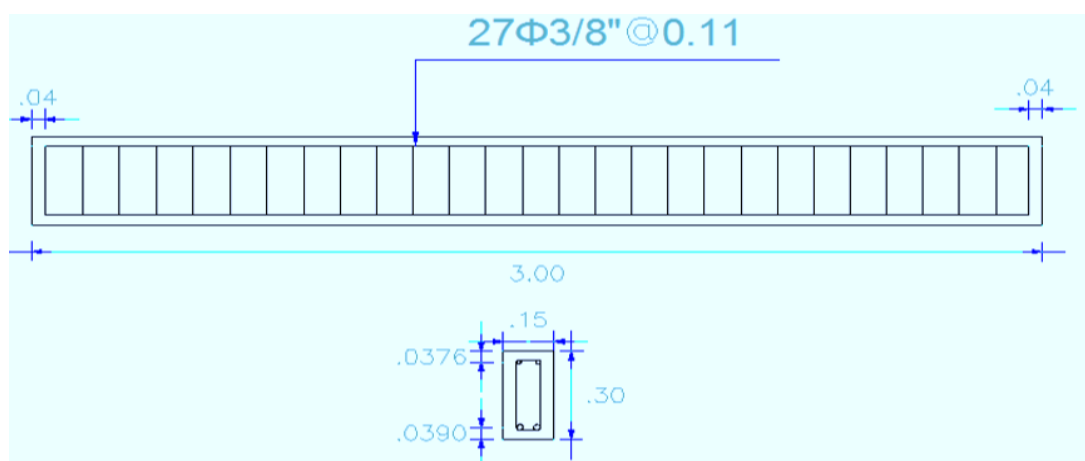


FIGURA 38 Alzado de la Viga a Fallar, $f_c = 245 \text{ Kg/cm}^2$, apoyos a 2.8 de luz. Fuente Beltrán Riveros.

VIGA	CARGA DE FISURACION TON.	MOMENTO AGRIETAMIENTO TON - m	CARGA ÚLTIMA TON.	MOMENTO DE CARGA ÚLTIMA. TON-m	OBSERVACIONES
V1	08	4.79	1.72	5.47	La primeras fisuras a 0.8 Ton. Grieta en el centro de la viga.
V2	1.93	5.58	2.07	5.68	Primeras fisuras a 1.93 Tn. Agrietada con carga de 2.07 Tn., cercana a la carga donde aparece las fisuras, para reforzar por prevención
V3	1.93	5.58	2.84	5.68	Primera fisura a 1.93 Ton. Y llevada a la carga de falla 2.84 Ton., para reforzar con FRP por corrección.

TABLA 16 Pruebas de Beltrán Ríos, Ensayo de Vigas V1 de Control, V2 Fisurada muy cerca a la Carga de Agrietamiento, V3 agrietada cerca de la Carga de Falla. Fuente propia.

VIGA. REFORZADA	CARGA DE FISURACION TON.	MOMENTO AGRIETAMIENTO TON - m	CARGA ÚLTIMA. TON.	MOMENTO DE CARGA ÚLTIMA. TON-m	OBSERVACIONES
V1	0.8	4.79	1.72	5.47	Resistencia a las primeras fisuras 0.8 Tn. Resistencia a la rotura 1.72 Tn.
V2R Preventivo	4.23	7.19	4.50	7.38	V2R es 5.3 veces más resistente que V1R a la carga de las primeras fisuras de la viga de control y 4.3 veces resistente a la carga final de rotura de la viga de control. 3.6 veces más resistente a la cara ultima de V2
V3R Correctivo	3.99	7.02	4.50	7.38	V3R es 4.9 veces más resistente que V1R, resistente menos que V2R, respecto a carga inicial. Resiste igual a V2R, 4.3 veces más resistente a V1R y 2.7 veces más resistente de V3, respecto a la carga última.

TABLA 17 Pruebas de Beltrán Riveros .Comparación de la Resistencia a la Primera Fisuración y la Resistencia Final de Rotura Respecto a la Viga de Control. Fuente propia.

3.1.2.3. Ensayos de Vigas a Fuerza Cortante. (Contreras Rincón)

Determinar el Comportamiento de Vigas Reforzadas con fibras de Carbono Sometidas a Corte. El reforzamiento básicamente consiste en incrementar la resistencia o la rigidez en elementos de una construcción. Es importante resaltar que la falla por corte es súbita, y lo que se busca en el diseño y cálculo es esperar que primero la viga falle por flexión. La especificación estructural corresponde a un $f'c=245 \text{ Kg/cm}^2$ (3500 psi). Se optó el asentamiento por tomar una valor medio de 7.5 cm, (rango de 5 a 10 cm) es decir, de 3".

Viga 1 : 25x50x300 sin reforzamiento

Viga 2 y 3 : 25x50x300 reforzado con fibra FRP SikaWrap 103C

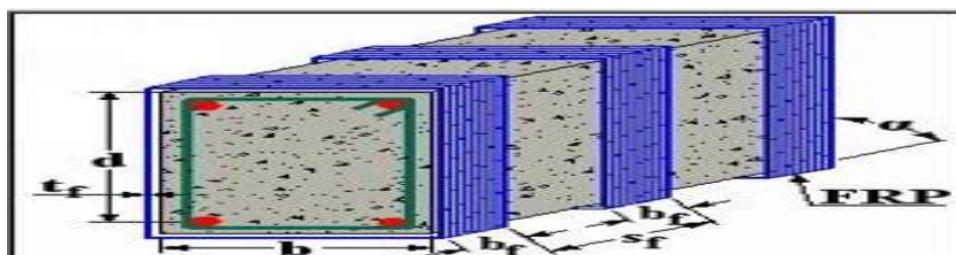


FIGURA 39 Esquema de Distribución de Acero y el Reforzamiento con Fibra de Carbono. Fuentes Cárdenas Rincón.

Cuadro de Resultados

Viga	Carga de Fisuración	(Agrietamiento luego del reforzamiento) Ton. A Corte	Observaciones
V1 sin reforzamiento	23	30	Presenta micro fisuras a los 23 Tn y se agrieta inclinada a 45° en dirección a la zona de compresión. A 30 Tn empezó a flectarse
V2 con reforzamiento preventivo	25	27	No llegó a carga de corte de 30 Ton, a los 27 Tn no presenta fisuras considerables y ningún agrietamiento. Se desprecia el ensayo.
V3 reforzamiento correctivo	23	36	Supero en 1.2 veces a la carga de rotura de V1. Asimismo supero a la carga de rotura de 30 a 36 Tn, por acción de las fibras de carbono. La fibra se fisuran en varias partes y se produjo la rotura del concreto, mejorando la adherencia del adhesivo.

TABLA 18 Prueba de Corte de Ensayo de Vigas reforzadas a corte de Rafael Contreras. Fuente propia.



FIGURA 40 Viga de Control agrieta Generada por Corte a 30 Tn. Fuente Cárdenas Rincón.



FIGURA 41 Instalación de Tiras de FRP a lo largo de la Vigas Preventiva Fuente Cárdenas Rincón

3.1.3. Ensayos de Probetas ejecutados por los Tesistas

Pruebas de seis probetas VS1, VS2, VS3, sin reforzamiento, VR1 reforzado con varilla de Maperod C. VR2 reforzado con varillas Maperod C y platina Carboplate E 170. VR3 reforzado con varillas Maperod C, platina Carboplate E 170 y Tejido MapeWarp B-UNI-X pruebas a corte y a flexión, se ha utilizado para la adhesión de las varillas el adhesivo MapeWarp 1 imprimante y MapeWarp 11-12 para adherir al sustrato las varillas Maperod C. La platinas Carboplate E 170 se ha utilizado adhesivo imprimante MapeWarp 1 y adherido mediante MapeWarp 11. Para adherir MapeWarp B-UNI-X se utilizó MapeWarp 1 y MapeWarp 11. Las probetas de concreto responden a 28 MPa a cura de 28 días. Se procedió a efectuar el Ensayo de Flexión a 3 Puntos en el Laboratorio de Estructuras y Simulación Sísmica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Peruana Los Andes de la ciudad de Huancayo, pruebas asesoradas por el Ing. Julio Buyu Nakandakare Santana docente principal de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la mencionada universidad. Las características de las probetas a ensayar detallamos en la tabla N° 20 y los resultados de los ensayos a las pruebas a flexión describimos en la tabla N° 21, asimismo la hoja del informe de ensayo de flexión a 3 puntos anexamos a la presente tesis en el anexo N° 05 a cinco folios. Parámetros del Ensayo, equipo marca SERVOSS, velocidad 010.00 mm/min, límite superior 70 %, límite inferior 20.00 %, distancia rodillos, 1000.0 mm, ancho 100.0 mm, espesor 100.0 mm Fuerza 98.066 kN Posición 400.00 mm. Fecha de ensayo 22/09/2017.

Características de las Probetas. Se ha elaborado probetas de forma paralelepípedo rectangular de dimensiones 15x15x50 cm en una cantidad de seis de $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ a 28 días de curado. Tres VS1, VS2, VS3 probetas sin reforzamiento y tres probetas con reforzamiento de fibra de carbono VR1y VR2 reforzado con varilla y platina, VR3 reforzado con varilla, platina y manta de FRP.

Probetas		Concreto	Reforzado Varillas FRP.		Reforzado Láminas. FRP		Reforzado Mantas FRP		Ensayo a Ejecutar
N°	Dimensión cm	$f'c$ kg/cm ²	Cantidad	cm	Cantidad	cm	Cantidad	cm	
VS1	15x15x50	280	-----		-----		-----	----	Corte
VS2	15x15x50	280	-----		-----		-----	----	Corte
VS3	15x15x50	280	-----		-----		-----	-----	Corte
VR1	15x15x50	280	02	50	01	10x50	-----	----	Flexión
VR2	15x15x50	280	02	50	01	10x50	-----	---	Flexión
VR3	15x15x50	280	02	50	01	10x50	01	45x40	Flexión

TABLA 19 Características de las Probetas Reforzadas y no Reforzadas para Ensayo. Fuente propia.

Se ha efectuado los ensayos en el Laboratorio de Estructuras y Simulación Sísmica de la Universidad Peruana Los Andes de la ciudad de Huancayo, con el apoyo del Ing. Julio Nakandakare Santana profesional a cargo de dicho laboratorio y docente principal de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil. Es oportuno indicar que en el mercado local no existen laboratorios con el equipo de pruebas de flexión corte para probetas de concreto mayores a las dimensiones 15x15x50 cm. Siendo recomendable las instalaciones del laboratorio de la universidad antes mencionada.

Las tres probetas de concreto VR1, VR2 y VR3 se ranuraron en dimensiones de 2x2x2 cm la instalación de varillas de FRP Maperod C embebidos por adhesivos MapeWarp 1 y 11, la probeta VR2 además de las varillas se instaló lámina de FRP Carboplate E 170, con adhesivo MapeWarp1 y 11, VR3 se instaló además de la lámina se instaló el tejido MapeWarp B UNI-AX adherido con MapeWarp 1 y 11.



FOTO 6 Materiales que se Utilizaron para Reforzar las Probetas. Fuente propia.



FOTO 7 Vigas para Ensayos en el Laboratorio de Estructuras y Simulación Sísmica de UPLA junto con el Docente Ing. Julio Nakandakare Santana Fuente propia.

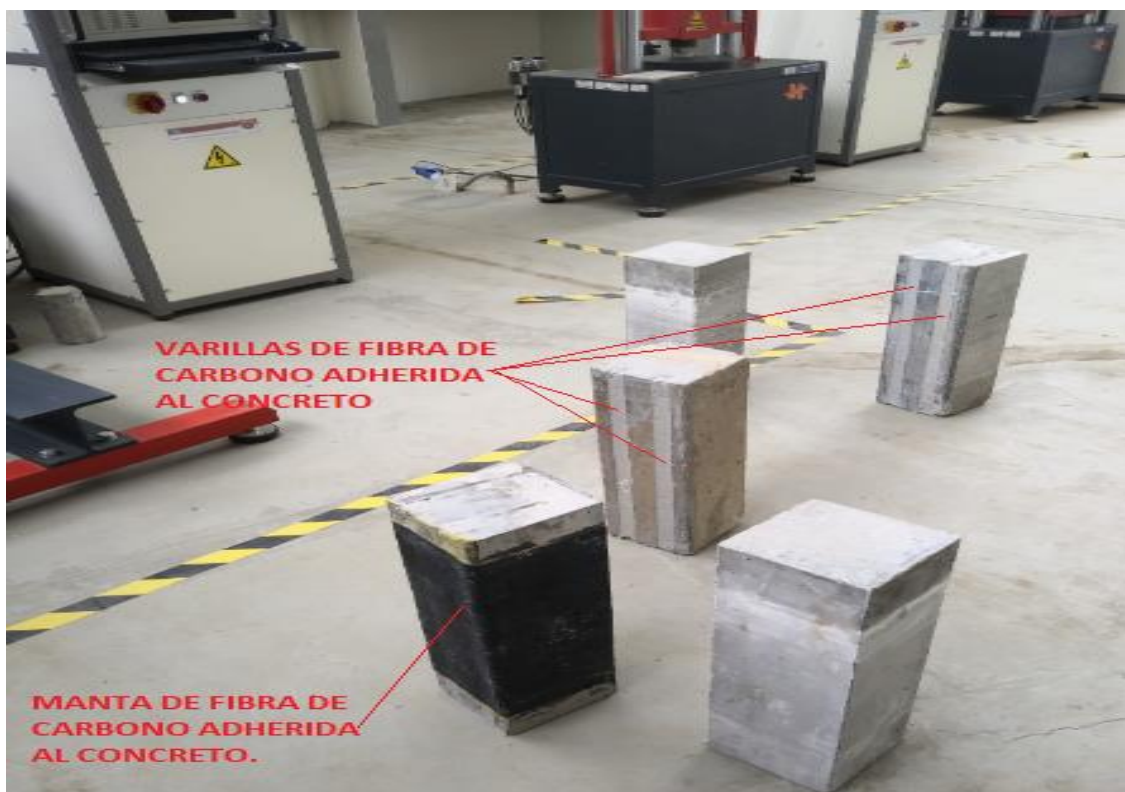


FOTO 8 Varillas Adheridas al Concreto para el Ensayo. Fuente propia.



FOTO 9 Láminas adheridas a la Viga. Fuente propia

Ensayo Probeta VS1.



FOTO 10 Control y Montaje de la Probeta al equipo de Ensayo. Fuente propia



FOTO 11 Probeta Fractura Prematuramente se Desecha el Ensayo. Fuente propia

Ensayo Probeta VS2.

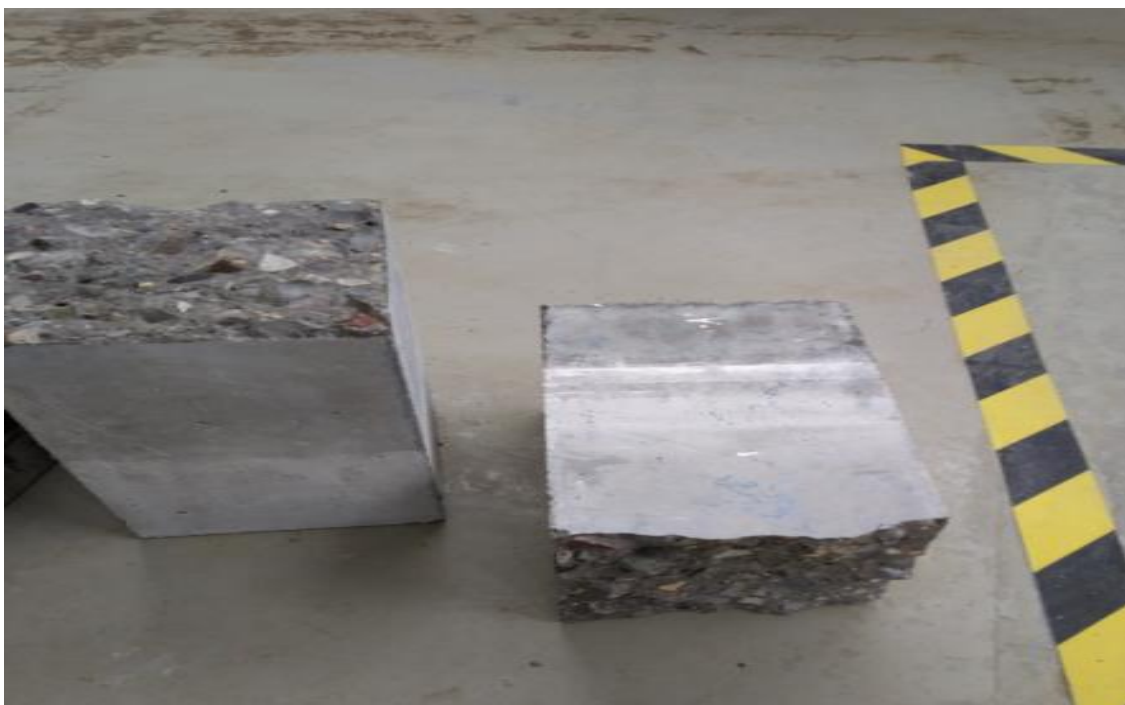


FOTO 12 Probeta VS2 Fracturado a 26.576 kN. Resistencia de Rotura 39.864 MPa. Fuente propia

Ensayo Probeta VS3



FOTO 13 Probeta VS3 fracturado a 20.492 kN, Resistencia a la Rotura 4.098 MPa. Fuente propia.

Ensayo Probeta VR1



FOTO 14 Ensayo Probeta VR1 a Flexión, Reforzado con Varilla y Platina de FRP adherido al Concreto. Fuente propia



FOTO 15 Aparición de la Fisura en la probeta VR1. Carga de Rotura 60.258 kN, Resistencia a la Flexión 12.1MPa. Fuente propia.

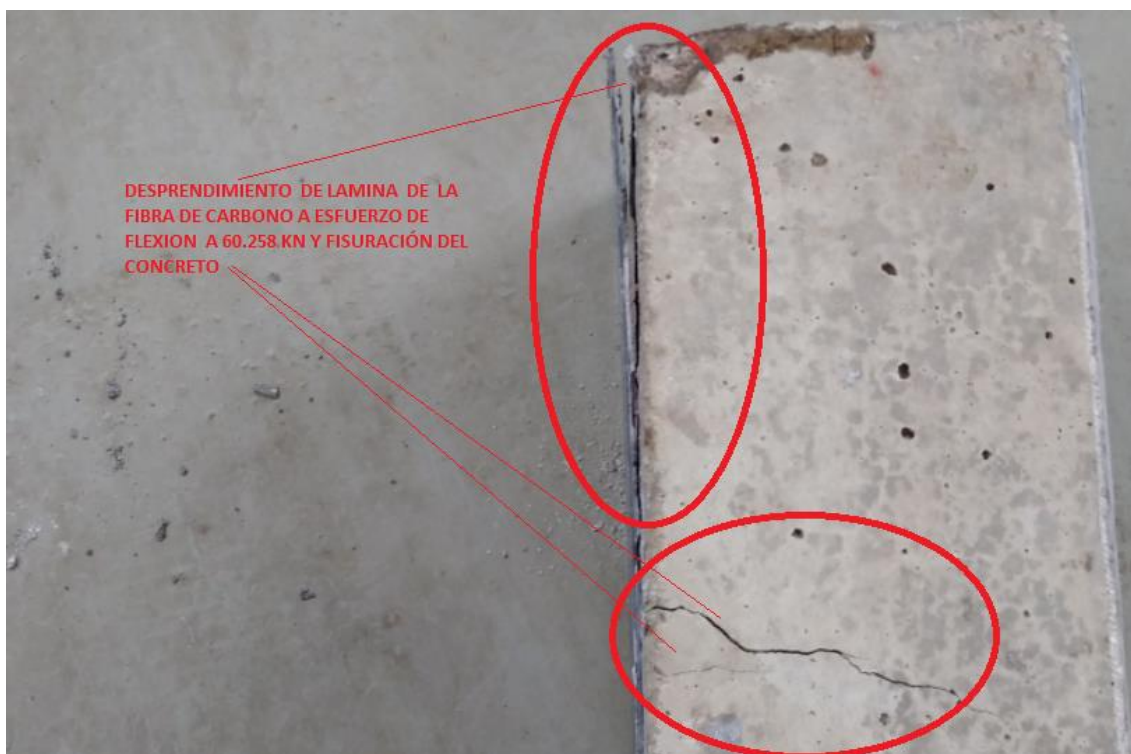


FOTO 16 Desprendimiento de Lámina de FRP y Fisuras a Carga de Rotura 60.258 kN. Fuente propia.

Ensayo de Probeta VR2



FOTO 17 Probeta VR2 Fracturado con Carga de Rotura 74.381kN y Resistencia a la Flexión 14.9 MPa. Fuente propia



FOTO 18 Desprendimiento de la Lámina FRP y Fractura por Carga de Rotura 74.381 kN, a Resistencia de Flexión 14.9 MPa. Fuente propia

Ensayo Probeta VR3.



FOTO 19 Ensayo de Probeta VR3 Reforzado con Varillas, Lamina y Manta de FRP. Fuente propia.



FOTO 20 Fisuras en el Concreto, Manta de FRP y el Desprendimiento de Platina de FRP asimismo del Concreto a 90.686 kN y Resistencia a la Flexión 18.1 MPa. Fuente propia.



FOTO 21 Se Observa la Fisura en la Manta de Carbono y el Desprendimiento del Carbono. Fuente propia.

Resultados de los Ensayos Ejecutados por los Tesistas

PROBETA	CARGA DE ROTURA A kN	RESISTENCIA A LA ROTURA A MPa	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN N. MPa	OBSERVACIONES
Control VS1	-----	-----	-----	Se fracturó prematuramente, por lo que descartamos esta probeta de control.
Control VS2	26.576	39.864	-----	Se fracturó con una carga de 26.576 kN, a una elasticidad de 80.465 MPa, ofrece mayor resistencia que la probeta VS3, mejor proceso constructivo.
Control VS3	20.496	4.098	-----	Se fracturó a 20.496 kN, a una elasticidad de 1.424MPa, ofrece menor resistencia que la probeta VS2, mal proceso constructivo. Descartamos esta probeta de Control
VR1	60.258	-----	12.11	VR1, respecto a la probeta de control VS2, supera en la carga de rotura en 2.3 veces. Resistencia a la flexión es 12.1MPa. Las fisuras se originan en la zona de tensión, ascienden y se orientan en forma oblicua hacia la zona de compresión sin alcanzar al reforzamiento con las varillas. La platina se desprende desde un extremo hacia la zona donde se aplica la carga. No se desprende las varillas adheridas, tampoco presenta fisuras el área reforzada con varillas de FRP.
VR2	74.381	-----	14.9	VR2, respecto a la probeta de control VS2, supera la carga de rotura en 2.8 veces. La resistencia a la flexión es de 14.9 MPa. Las fisuras se originan en la zona de tensión ascienden y luego se orientan en forma oblicua hacia la zona de compresión sin alcanzar al reforzamiento con las varillas. La platina se desprende desde el extremo hacia la zona donde se aplica la carga. No se desprende las varillas, tampoco presenta fisuras el área reforzada con varillas de FRP y supera la resistencia a la flexión en 1.23 veces.
VR3	90.686	-----	18.1	VR3, respecto a la probeta de control VS2, supera la carga de rotura en 3.412 veces. La resistencia a la flexión es de 18.1 MPa. Las fisuras se originan en la zona de tensión y ascienden oblicuamente hasta antes de la zona de compresión donde se ubica el reforzamiento con varillas de FRP. El desprendimiento de la lámina en la fisura desmorona el concreto. Se mantiene inalterable el área de reforzamiento con varillas de FRP. Supera a VR2 en la resistencia a la flexión en 1.21 y a VR1 en 1.49 veces.

TABLA 20 Resultados de los Ensayos de la Probetas. Fuente propia.

Cuadro de Resultados, Respuestas a los Ensayos Ejecutados en Laboratorio

PROBETA	PRUEBA	RESULTADO			OBJETIVO
Tres probetas de 15 x 15 x 50 cm, f'c = 280 Kg/cm ² . Prueba a Corte		Carga de Rotura kN	Resistencia a la Rotura MPa	Resistencia a la flexión MPa	Se determina que el valor arrojado en la prueba a corte de VS2 son consideradas base de control, de comparación para evaluar los resultados de las pruebas de las probetas reforzadas con FRP, desechándose los valores de VS1 y VS3, por mal resultado e incompatibilidad.
	VS1 Corte	-----	-----	-----	
	VS2 Corte	26.576	39.864	-----	
	VS3 Corte	20.496	4.098	-----	El efecto del uso de sellador, varillas, platina y manta en las probetas VR1, VR2, VR3 mejora la resistencia a la rotura y a la flexión. Siendo la probeta VR3 la más resistente, puesto que supera a la probeta base de control en 3.412 veces la resistencia a la carga de rotura.
Tres probetas de 15 x 15 x 50 cm, f'c = 280 Kg/cm ² . Reforzado con fibra de carbono. VR1 y VR2 reforzado con dos varillas y una lámina VR3 reforzado con dos varillas, una lámina y una manta de FRP.	VR1 Flexión	60.258		12.1	Las tres probetas VR1, VR2, VR3 superan la resistencia al corte en más de dos veces respecto a la probeta base. La probeta VR3 reforzada con varillas, lamina y manta supera a la probeta base VS2 en 3.412 veces la carga de rotura. La probeta VR3 supera en resistencia a la flexión a VR1 en 1.5 veces, en 1.21 veces a VR2.
	VR2 Flexión	74.381		14.9	
	VR3 Flexión	90.686		18.1	
					El efecto del uso de sellador, varillas, platina y manta en la losa de concreto armado del puente sobre el río Mantaro en los distritos de Chilca Tres de Diciembre, Provincias de Huancayo y Chupaca Región Junín influye positivamente, mejorando la resistencia estructural, lo que se demuestra con las pruebas ejecutadas en el laboratorio.

TABLA 21 Resultados de los Ensayos de las Probetas sin Reforzamiento y con Reforzamiento. Fuente propia.

3.1.4. Modelamiento Estructural SAP 2000

Losa a tiempo infinito por retracción $F = 1900/2.7 = 704$ kN/m y a 546 días por $F = 1600$ kN/2.7 = 596 kN/m. Máxima gradiente Térmico $F = 1256$ kN/2.7 = 465 kN/m

Características de materiales

Descripción	f'c MPa	0.8 *f'c MPa	Módulo de Young Ec MPa. (Para concreto normal wc = 2300Kg/m ²)	Fr = Modulo de ruptura MPa.
Elementos	MPa	MPa	$E_c = 4700 * (f'c)^{0.5}$	$fr = 0.63 * (f'c)^{(0.5)}$
Losa de Tablero.	28	22.4	24870.06	3.3336
Veredas	20	16	21019.04	2.8174
Parapetos	20	16	21019.04	2.8174
Torres				
Elevación de Torre	20	16	21019.04	2.8174
Anclaje de Torre	35	28	27805.57	3.7271
Zapata	20	16	21019.04	2.8174
Estribos	20	16	21019.04	2.8174
Cimentación				
Pilón izquierdo	28	22.4	24870.06	3.3336
Pilón derecho	28	22.4	24870.06	3.3336

TABLA 22 Características de Elementos del Concreto para ejecutar el modelamiento Fuente propia..

ELEMENTOS DE ACERO	GRADO	Fy MPa	Fu MPa	Elongación %
Acero de refuerzo	ASTM A 615 G60	420	620.00	7-9
Viga de rigidez o Tirante	ASTM A 709 G 345°	345	485.00	20
Viga Transversales	ASTM A 709 G 345°	345	485.00	20
Conectores de corte	ASTM A 108 G 345°	345	414.00	20
Cable	ASTM A 416 G 270	1674	1860	0 - 3.5

TABLA 23 Características de los Elementos de Acero para ejecutar el modelamiento. Fuente propia.

FASE 36				
TENDON	LADO IZQUIERDO		LADO DERECHO	
	F1(kN)	F2(kN)	F1(kN)	F2(kN)
T1'	850	900	750	900
T1	730	900	730	900
T2'	800	900	780	900
T2	730	900	720	900
T3'	1000	1100	800	950
T3	960	1100	670	850
T4'	620	900	1120	1350
T4	690	900	1160	1350
T5'	790	1000	710	1000
T5	790	1000	830	1000
T6'	1480	1500	1510	1600
T6	1400	1500	1440	1500

TABLA 24 Tensión de los Cables F1 al Inicio y F2 al Término del tensado Fuente propia.

TIPO DE CARGA	FACTOR DE CARGA	
	MÁXIMO	MÍNIMO
DC: COMPONENTES Y AUXILIARES	1.25	0.90
DD: FUERZA DE ARRASTRE HACIA ABAJO	1.80	0.45
DW: SUPERFICIES DE RODADURA Y ACCESORIOS	1.50	0.65
EH: PRESIÓN HORIZONTAL DE TIERRA <ul style="list-style-type: none"> • ACTIVA • EN REPOSO 	1.50	0.90
	1.35	0.90
EV: PRESIÓN VERTICAL DE TIERRA <ul style="list-style-type: none"> • ESTABILIDAD GLOBAL. • ESTRUCTURAS DE RETENCIÓN. • ESTRUCTURAS RÍGIDAS EMPOTRADAS. • PÓRTICOS RÍGIDOS • ESTRUCTURAS FLEXIBLES EMPOTRADAS EXCEPTO ALCANTARILLAS METÁLICAS • ALCANTARILLAS METÁLICAS. 	1.35	N/A
	1.35	1.00
	1.30	0.90
	1.32	0.90
	1.95	0.90
	1.50	0.90
ES: CARGA SUPERFICIE EN TERRENO	1.50	0.75

TABLA 25 Factores de Carga para Cargas Permanentes Fuente propia

COMBINACIÓN DE CARGAS Estado Límite	DC DD DW EH EV ES	LL IM CE BR PL LS	WA	WS	WL	FR	TU CR SH	TG	SE	UTILIZAR UNO DE LOS PARÁMETROS EN CADA COMBINACIÓN			
										EQ	IC	CT	CV
RESISTENCIA I	Y_p	1.75	1.00			1.00	0.50/1.20	Y_{TG}	Y_{SE}				
RESISTENCIA II	Y_p	1.35	1.00			1.00	0.50/1.20	Y_{TG}	Y_{SE}				
RESISTENCIA III	Y_p		1.00	1.40		1.00	0.50/1.20	Y_{TG}	Y_{SE}				
RESISTENCIA IV SOLAMENTE EH,EV,ES,DW,DC	Y_p		1.00			1.00	0.50/1.20						
RESISTENCIA V	Y_p	1.35	1.00	0.40	0.40	1.00	0.50/1.20	Y_{TG}	Y_{SE}				
EVENTO EXTREMO I	Y_p	Y_{EQ}	1.00			1.00				1.00			
EVENTO EXTREMO II	Y_p	0.50	1.00			1.00					1.00	1.00	1.00
SERVICIO I	1.00	1.00	1.00	0.30	0.30	1.00	1.00/1.20	Y_{TG}	Y_{SE}				
SERVICIO II	1.00	1.3	1.00			1.00	1.00/1.20						
SERVICIO III	1.00	0.80	1.00			1.00	1.00/1.20	Y_{TG}	Y_{SE}				
FATIGA SOLAMENTE LL,IM Y CE		0.75											

TABLA 26 Combinaciones de Cargas. Fuente propia.

Donde

<p>DC = Pesos propios de elementos estructurales y no estructurales.</p> <p>DW= Cargas muertas.</p> <p>EH = Empujes horizontales del terreno.</p> <p>EL = Cables debidas al pretensado.</p> <p>ES = Cargas de acumulación del terreno.</p> <p>EV = Presión vertical al relleno de tierras.</p> <p>BR = Fuerza de frenado.</p> <p>CE = Fuerza centrífuga.</p> <p>CR = Fluencia.</p> <p>CT = Impacto de vehículos.</p> <p>CV = Impacto de embarcaciones.</p> <p>EQ = Sismo.</p>	<p>FR = Rozamiento.</p> <p>IC = Empuje debido al hielo.</p> <p>IM = Coeficiente de impacto vehicular.</p> <p>LL = Sobre carga vehicular.</p> <p>LS = Sobrecarga no vehicular.</p> <p>PL = Sobrecarga de peatones.</p> <p>SE = Asiento de apoyos.</p> <p>SH = Retracción</p> <p>TG = Gradiente térmico.</p> <p>TU = Diferencia uniforme de temperatura.</p> <p>WA = Carga de agua sobre tablero.</p> <p>WL = Viento sobre la sobre carga.</p> <p>WS = Viento sobre la estructura.</p>
---	--

TABLA 27 Variables de Factores de Carga. Fuente propia.

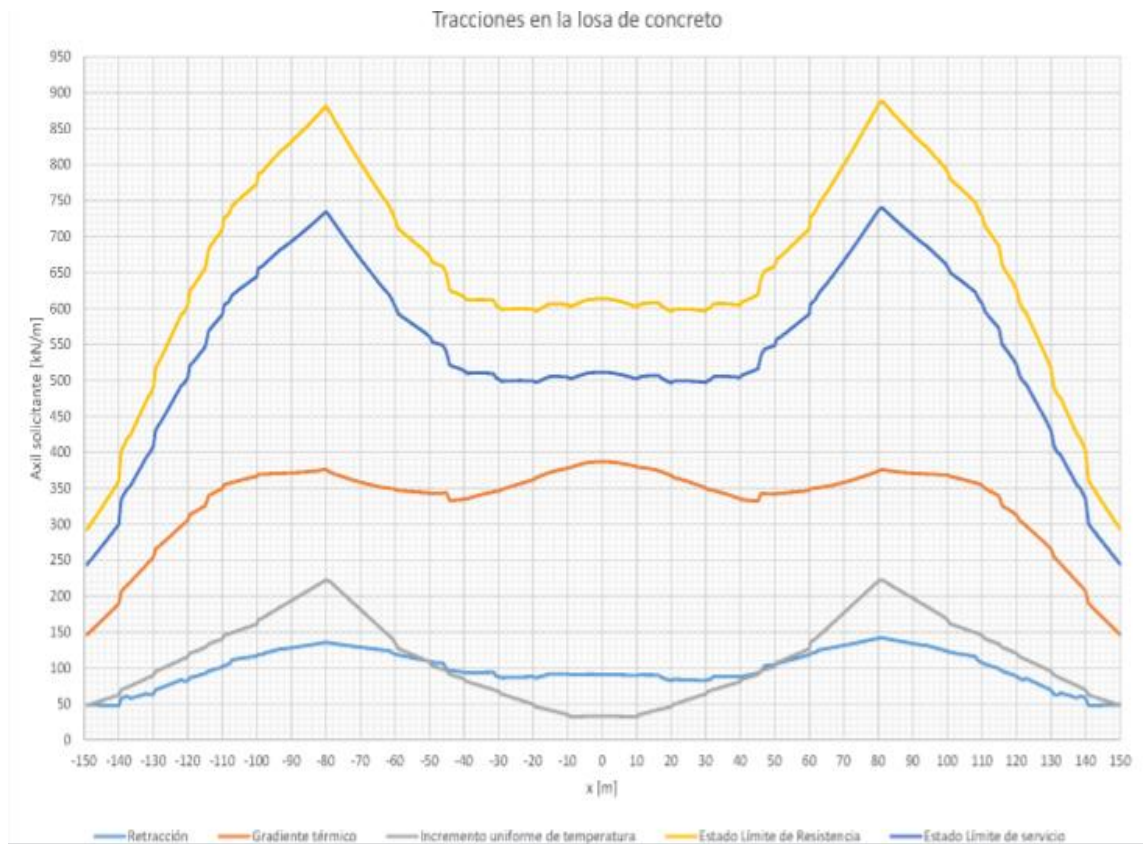


FIGURA 42 Tracciones, Retracción, Gradiente Térmico, Incremento Uniforme de Temperatura, Estado Límite de Resistencia, Estado Límite de Servicio. Fuente: Sima Perú.

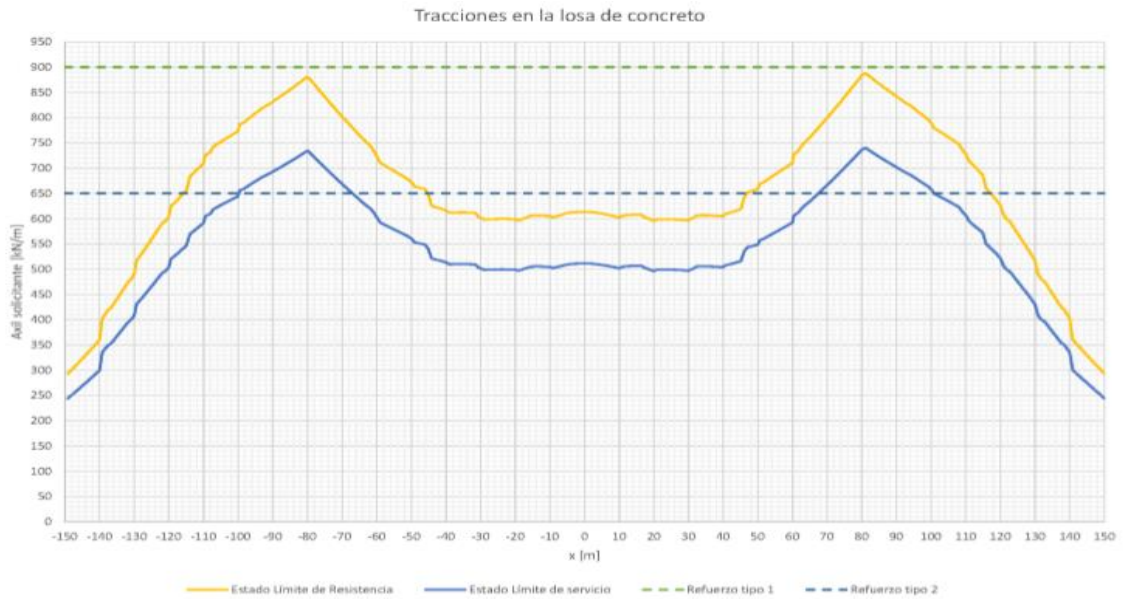


FIGURA 43 Tracciones de estado Límite de Resistencia, Estado Límite de Servicio, Refuerzo tipo Varillas, Refuerzo Lámina. Fuente: Sima Perú.

3.1.5. Resistencia del Concreto de la Losa

Del modelamiento estructural a la losa fisurada a 546 días, la tracción máxima por retracción es igual a 596 kN/m, la tracción máxima por gradiente térmico es igual a 465.2 kN/m, por lo que la tracción solicitada según modelamiento es de F_r igual a 1061 kN/m. La resistencia a la tracción del concreto se considera igual a $F_r = 0.62 \sqrt{f'_c} = 0.62 \sqrt{28} \text{ MPa} = 3280.73 \text{ kN/m}^2$.

$F = 3280 * 0.225 = 738.16 \text{ kN/m}$ y se verifica que:

$F = 738.16 \text{ kN/m} < F_r = 1061 \text{ kN/m}$. Asimismo.

La tensión media en las armaduras de la losa fisurada es $\sigma = F/A = 590.4 \text{ MPa}$ y el esfuerzo elástico mínimo del acero refuerzo es igual a 420 MPa.

$\sigma = 590.4 \text{ MPa} > f_y = 420 \text{ MPa}$

El valor de tracción del concreto es menor que la tracción solicitada por lo que el concreto no soportará los esfuerzos solicitados y la losa presentará fisura.

Asimismo el esfuerzo límite elástico del acero de refuerzo es menor que el

esfuerzo del concreto por lo que nos indica la aparición de fisura y la falta de cuantía de acero.

3.1.6. Reforzamiento Estructural de la Losa con Fibra de Carbono

Los trabajos de demolición de la losa provocaría fallas en los diversos elementos de la superestructura e infraestructura (subestructura) e incluso provocarían el colapso del puente. Existen muchos métodos para mejorar, reparar y rehabilitar losas de concreto, de acuerdo con la evaluación y que las características físico químicas de la fibra de carbono permiten efectuar un reforzamiento estructural de la losa como mejor opción para esta estructura nueva de concreto.

El diseño para estados límites es aplicable a estos casos, estableciéndose niveles aceptables de seguridad para estados límites de serviciabilidad (deflexión excesiva o agrietamiento) y estados últimos (fractura del concreto esfuerzos de rotura y fatiga). El diseño del refuerzo debe ser realizado en concordancia con los requerimientos de resistencia y serviciabilidad, usando los factores de carga indicados en la norma de concreto. Adicionalmente, deben considerarse factores de reducción aplicados a la contribución de las platinas de fibra de carbono. La resistencia de diseño de un miembro reforzado externamente con platinas de fibras de carbono debe exceder la demanda última factorada. (Luis Proaño).

$$\phi \cdot (M_n) \geq M_u$$

El diseño de refuerzo mediante de fibra de carbono se normaliza gracias a lo estipulado por ACI 440, basadas en el diseño tradicional de concreto armado según ACI 318 y en un conocimiento específico del comportamiento de la platina

FRP de refuerzo. Para tal fin las láminas de fibra de carbono deben ser diseñadas para resistir la fuerza de tensión mientras se mantiene la compatibilidad de deformaciones entre la platina o lámina de refuerzo y el sustrato de concreto.

Estado Límite de Resistencia = 1.20 Retracción + 1.20 (Gradiente Térmico + Incremento de Temperatura).

Estado Límite de Servicio = 1.00 Retracción + 1.00 (Gradiente Térmico + Incremento Uniforme de Temperatura)

Resistencia = 1.50 DW + 1.75 LL. = ϕ Rn

$\sigma_s = E_s \epsilon_s = E_s \Delta L / L = E_s w / L$ dónde: σ_s = tensión en la armadura, E_s = módulo elástico de la armadura, w = ancho de fisura L = separación entre fisuras

Esfuerzo a la Rotura $f_{fu} = C_E f_{fu}^*$

Deformación a la Rotura $\epsilon_{fu} = C_E \epsilon_{fu}^*$

Módulo de Elasticidad. $E_f = f_{fu} / \epsilon_{fu}$

Antes de proceder al dimensionado del refuerzo es necesario conocer el estado tensional de la armadura existente, de forma que sea posible evaluar la resistencia remanente disponible para hacer frente a las acciones que solicitarán a la estructura una vez efectuado el refuerzo, evitando, de este modo, el sobredimensionado del refuerzo a disponer.

El estado tensional de la armadura existente se obtiene a partir del mapa de

fisuras de la siguiente manera. $\sigma_s = E_s \epsilon_s = E_s \frac{\Delta L}{L} = E_s w / L$

Dónde:

σ_s = tensión en la armadura

E_s = módulo elástico de la armadura = 210000 N/mm²

w = ancho de fisura

L = separación entre fisuras

Resultados de los cálculos del dimensionamiento de la fibra de carbono por flexión (Sima-Perú, anexo 6)

Zona central de la losa:

Flexión positiva $A_d = M_d / 0.9 / d / f_{f,adm} / 0.9 = 2.5 \text{ cm}^2/\text{m}$

Flexión negativa $A_d = M_d / 0.9 / d / f_{f,adm} / 0.9 = 0.3 \text{ cm}^2/\text{m}$

Zonas laterales de la losa:

Flexión positiva $A_d = M_d / 0.9 / d / f_{f,adm} / 0.9 = 1,6 \text{ cm}^2/\text{m}$

Flexión negativa $A_d = 0$

Por lo que se disponen los siguientes refuerzos:

Láminas de fibra de carbono en cara inferior:

Refuerzo tipo 1:

Zona central de la losa bandas 100x1.4 mm cada 0.200 m

Zona lateral de la losa bandas 100x1.4 mm cada 0.200 m

Refuerzo tipo 2:

Zona central de la losa bandas 100x1.4 mm cada 0.300 m

Zona lateral de la losa bandas 100x1.4 mm cada 0.300 m

Barras de fibra de carbono en cara superior:

Refuerzo tipo 1:

Zona central de la losa barras $\phi 12$ mm cada 0.250 m

Zona lateral de la losa barras $\phi 12$ mm cada 0.250 m

Refuerzo tipo 2:

Zona central de la losa barras $\phi 12$ mm cada 0.300 m

Zona lateral de la losa barras $\phi 12$ mm cada 0.300 m

3.1.7. Resistencia del Concreto de la Losa Reforzada

Según modelamiento se logra el valor del esfuerzo de la armadura de refuerzo.

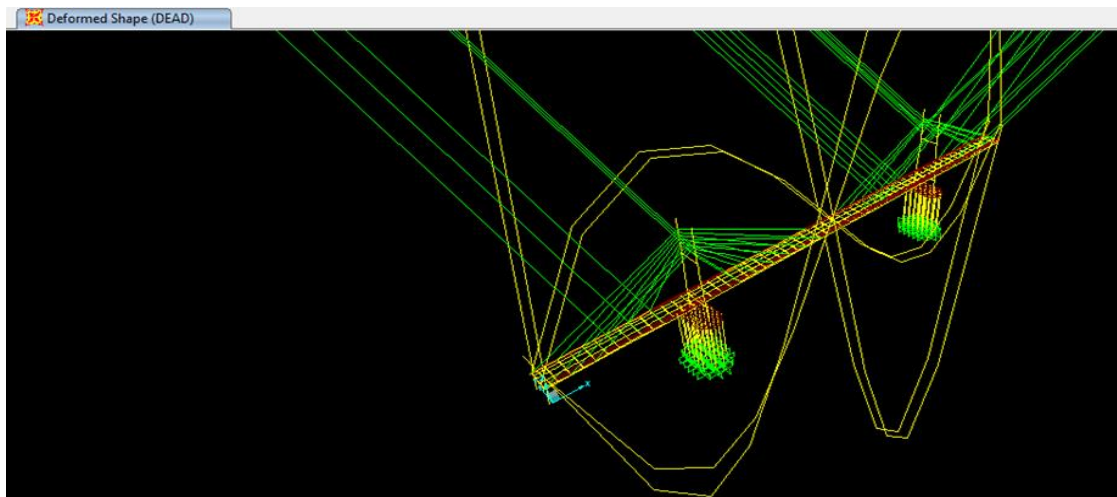


FIGURA 44 Comportamiento del Puente Atirantado luego de Modelamiento Final. Fuente propia.

TABLE: Element Stresses - Area Shells									
Area	AreaElem	ShellType	Joint	OutputCase	CaseType	S11Top	S22Top	S12Top	SMaxTop
Text	Text	Text	Text	Text	Text	KN/m2	KN/m2	KN/m2	KN/m2
1	1-1	Shell-Thin	164	DEAD	LinStatic	-505.24	87.81	-111.26	108
1	1-1	Shell-Thin	~56	DEAD	LinStatic	-640.3	39.52	-243.95	118
1	1-1	Shell-Thin	~57	DEAD	LinStatic	-534.68	230.97	-178.66	270.61
1	1-2	Shell-Thin	~59	DEAD	LinStatic	-517.43	297.62	-373.86	443.13
1	1-3	Shell-Thin	~60	DEAD	LinStatic	157.72	633.17	-496.49	945.91
1	1-3	Shell-Thin	~61	DEAD	LinStatic	-551.19	793.08	-491.78	953.77
.....									
1	1-48	Shell-Thin	~110	DEAD	LinStatic	-898.25	815.74	214.29	842.13
1	1-48	Shell-Thin	~106	DEAD	LinStatic	-1042.54	824.07	71.34	826.79
10	10	Shell-Thin	568	DEAD	LinStatic	-720.57	-1909.01	220535.42	219221.43
10	10	Shell-Thin	569	DEAD	LinStatic	945.05	1294.9	220543.24	221663.29
10	10	Shell-Thin	570	DEAD	LinStatic	-1186.26	-2569.15	220543.24	218666.62
11	11	Shell-Thin	569	DEAD	LinStatic	278.4	2783.21	220541.72	222076.08
11	11	Shell-Thin	571	DEAD	LinStatic	-699.88	-1934.84	220542.91	219226.41
11	11	Shell-Thin	572	DEAD	LinStatic	432.76	2406.67	220538.55	221960.47
11	11	Shell-Thin	568	DEAD	LinStatic	-674.24	-2740.32	220537.19	218832.33
						-1179.48	-2652.51	220425.93	218940.33

FIGURA 45 Cuadro de Esfuerzos, el Total de la Columna S11Top determina el esfuerzo de la Armadura de refuerzo. Fuente propia.

Es esfuerzo solicitado, luego del sellado y del reforzamiento de la losa mediante varillas, platinas y manta de fibra de carbono resulta:

$$\sigma_f = - 1179.48 \frac{kN}{m^2}$$

El esfuerzo de tracción del concreto inicial cuando la losa estaba fisurada resulta:

$$f_r = 0.62 \sqrt{f'_c} = 0.62 \sqrt{28} = 3.2807 MPa = 3280.7 \frac{kN}{m^2}$$

Donde:

$$f_r = 3280.7 \frac{kN}{m^2} > \sigma_f = 1179.48 \frac{kN}{m^2}$$

El esfuerzo de resistencia a la tracción del concreto es superior al esfuerzo de tracción, lo que indica que el concreto no podrá fisurarse y resistirá a los esfuerzos solicitados

3.1.8. Sellado de Fisuras de la Losa de Concreto Armado

Para sellar las fisuras en la parte inferior y superior de la losa mediante adhesivo epoxi EPOJET, adhesivo reactivo epoxi para estructuras de hormigón, superfluidad para inyecciones en fisuras profundas. Sus propiedades responden a las normas EN 1504-9 productos y sistemas para protección y la reparación de las estructuras de hormigón y EN 1504-5 requisitos mínimos definidos para la inyección del hormigón, polimeriza sin retracción, una vez endurecido es impermeable al agua, perfecta adherencia al hormigón y al acero. De marca Mapei, nombre comercial EPOJET.

El nivel de adherencia entre el epoxi y el concreto debe ser mayor o igual a 3 N/mm², característica de control para el buen comportamiento en el sellado de fisuras utilizando. El epoxi EPOJET posee propiedades dieléctricas poca

conductividad eléctrica y aislante eléctrico asimismo una elevada resistencia mecánica capacidad de los cuerpos para resistir las fuerzas sin romperse. Se adhiere de manera perfecta al hormigón, se aplica sobre superficie limpia y seca. Inyección de Epóxido Epojet para sellar fisuras, se ejecuta luego de la limpieza de las fisuras, a través de una instalación de boquillas de cobre de 8 - 9 mm, para inyectar a través de ella el adhesivo Epojet. Posteriormente sellar toda la superficie externa fisurada mediante Adesilex PG 1 a fin de que el epoxi Epojet no pueda salir a la superficie, esperar que esta capa se haya endurecido como mínimo doce horas, posteriormente efectuar la limpieza del circuito de inyección mediante aire comprimido.

La preparación del producto Epojet: verter el componente B en el componente A y mezclar con un taladro acondicionado a baja revolución buscando una perfecta homogeneidad, eliminar el aire al interior de la mezcla, usar todo el contenido evitar usos parciales de los envases para evitar errores de la dosis que permiten un incompleto endurecimiento.

La aplicación se ejecuta a presión mediante una bomba manual de alta presión de hasta 500 psi o presión neumática entre 30 -120 psi, cañería unida a la boquilla que por ella se trasmite al adhesivo para cerrar el vacío al interior de la losa, la inyección se ejecuta a 23 °C dentro de los 40 minutos luego de la preparación evitar temperaturas inferiores a 5°C.

3.1.9. Reforzamiento Estructural con Barras de Fibra de Carbono Parte Superior

Efectuado según plano anexo N° 1, mediante la varilla de Maperod C de Mapei preimpregnada con resina epoxídica. Son barras pultrusas de fibra de carbono para la reparación y el refuerzo estructural de elementos de hormigón, de alta resistencia a la tracción, ligereza y módulo elástico compatible y adecuado a los requisitos del hormigón utilizadas en la construcción, permite sustituir las barras metálicas, se fabrican con diámetros de 10 mm y un módulo elástico de 40.8 GPa, son fáciles de colocación. Se utilizan para la reparación de elementos de hormigón armado dañados por incendio, eventos sísmicos, refuerzo de losa de viaductos debido al incremento de cargas estáticas y/o dinámicas, refuerzo de rampas. Las características de las barras Maperod C es:

Densidad (g/cm³) 1.54. Contenido de fibras (%) 71. Sección transversal mm 73.9.

Diámetro nominal (mm) 9.7. Resistencia a la tracción (N/mm²) 2,000. Módulo elástico (N/mm²) 155,000. Alargamiento a rotura (%) 1.5. Coeficiente de dilatación térmica en sentido longitudinal (m/m/°C) $6 - 10 \times 10^{-6}$.

Preparación de la Superficie.

En la parte superior del tablero trazar la ubicación de las barras de fibra de carbono Maperod a lo largo de toda la losa de concreto del pavimento en los 300 metros lineales y en un ancho de 20 mm según detalle de los planos del anexo No1

Realizar los acanalados en el ancho de 20 mm y con una profundidad de 20 mm teniendo cuidado de no cortar el acero de refuerzo de la losa de concreto. Para mejorar la adherencia eliminar el polvo, las partículas sueltas completamente de

los canales ejecutados para que la superficie quede completamente limpia y sólida, debe mantenerse seca para lo cual hay que protegerla de las lluvias.

Instalación de Barras Maperod C de Fibra de Carbono.

Utilizar MapeWarp 1 resina epoxi compuesto de dos componentes A y B. verter el componente B en el componente A y mezclar hasta homogenizar con un taladro a menor revolución, la relación de la mezcla es de 3 a 1 en peso, es necesario utilizar todo el contenido de los dos componentes que ya están dosificados para evitar error. La mezcla es trabajable durante 90 minutos a 23°C.

El MapeWrap 1 preparado se aplica sobre la superficie limpia y seca ranurada de la losa mediante brochas si la superficie absorbe más es necesario aplicar una segunda capa, teniendo cuidado que la segunda capa debe aplicarse cuando no fraguó la primera capa caso contrario eliminar y limpiar para instalar.

Preparar el MapeWrap 11 mezclando el componente B con el componente A (endurecedor) homogenizar con un taladro a menor revolución hasta obtener una mezcla de color gris, esta mezcla es una pasta tixotrópica, aplicable sobre superficies horizontales y verticales con facilidad en el tiempo del periodo de trabajabilidad. Se aplica a 23°C y es trabajable en los 40 minutos posteriores a la mezcla, se aplican sobre la ranura en forma completa, encima de la capa de Mapewarp1 que sirve como masa para embeber las barras. Instalar en la ranura sobre la pasta MapeWrap 11 las barras Maperod C, en la ranura ejerciendo presión constante con espátula eliminando la mezcla en exceso. Para la continuidad de varilla Maperod C en el empalme (unión de varillas) se usa un traslape de 0.75 m donde el canal de traslape es de 0.40 mm sellado con

MapeWarp 11. Finalmente, antes de que fragüe MapeWarp 11 debe rociar con grava en toda la longitud de instalación de las varillas a fin de dar la porosidad de la superficie para tener adhesión y la protección con la capa imprimante de manera perfecta antes del asfaltado.

3.1.10. Instalación de Láminas Carboplate E-170 en la Losa de Concreto Armado Parte Inferior

La lámina de fibra de carbono denominado Carboplate E170 se usa para el refuerzo de elementos de hormigón armado, dañados por fisuración y falta de cuantía de acero. El Carboplate E 170 es una gama de láminas en fibras de carbono de alta resistencia y alto módulo elástico para ser utilizada en el aplacado de estructura de la losa de concreto parte inferior. Es de peso ligero, reducido espesor y óptima resistencia a la fatiga.

El anclaje de la platina de fibra de carbono Carboplate E 170, entre la viga de acero del estribo y pilones en la parte Inferior de la losa. Se efectúa previa limpieza, escarificado y nivelación de la zona donde se colocará la plancha de acero estructural de 230mm x 2750mm x 16 mm, de acuerdo con el detalle de los planos, el esmerilado de la superior de la viga (cajón donde se soldará la plancha de acero para la soldadura de la planchas de acero) se preparará un bisel único y se empleará tipo smaw con electrodo supercito 1/16, donde se anclarán las láminas de Carboplate E 170. La reparación y nivelación de cangrejeras en la losa parte inferior se procede previa eliminación de las protuberancias de morteros cementicos en el área a reparar, antes de efectuar el procedimiento de reparación y nivelación, remover las partes sueltas y el

polvo, para la nivelación realizar el picado en las partes que presenten bombeo y requieren ser removidos, reparación de las cangrejeras con aplicación de Planitop X / Rassa e Ripara R4, para una adherencia con el concreto antiguo.

Para la aplicación de Planitop X / Rassa e Ripara R4 en la losa de Concreto Armado parte Inferior, se prepara en un recipiente que contenga 4.00 galones de agua limpia, verter lentamente, agitándose mecánicamente, un bolsa de 25 Kg de Planitop Rasa e Ripara, amasar la mezcla hasta homogenizar, proceder con aplicación de mortero con paleta o llana, sin necesidad de encofrado y en un espesor comprendido entre 3 y 40 mm. Posterior a las 72 horas como mínimo se podrá obtener una resistencia de adherencia > 1.5 MPa y proceder a la colocación de Carboplate E 170.

La superficie para aplicar fibra de carbono Carboplate E 170 en la losa de concreto parte Inferior siempre debe estar limpia, sólida y seca. Escarificar el sustrato (losa de concreto) para proporcionar un perfil de superficie apropiado que permita un buen anclaje. La superficie debe ser lisa (a no más de 1 mm en el perfil) y no variar en más de 6 mm en una longitud de 1.83 m. Luego de la nivelación con mortero cementicio Rassa Ripara, se busca que esta superficie cumpla una adherencia de más de 1.5 MPa, no aplicar en área contaminado como con polvo, aceites, pintura o cualquier otro elemento extraño. Trazar la ubicación de las láminas de Carboplate según plano del anexo N° 2 para la instalación en la losa de concreto.

Instalación de la Platina de Fibra de Carbono en la Losa parte Inferior: preparar el adhesivo MapeWarp 1, verter el componente B en el componente A, mezclar

con un taladro a baja revolución hasta homogenizar, la relación es de 3 a 1 partes en peso, para no incurrir en error de dosificación es necesario emplear todo el contenido de los envases, esta mezcla permanece trabajable 90 minutos a 23°C. Corta la placa de Carboplate E 170 evitar astillarlos, usar equipo de corte. Retirar la película de plástico de protección de Carboplate E 170 antes de adherir al sustrato con el adhesivo. Preparar el Adesilex PG 1 mezclando los dos componentes A y B con mezclador lento, hasta que la mezcla esta homogénea y gris uniforme, la cantidad está en función de la planitud, la rugosidad del soporte y anchura de la placa. Aplicar la cola Adesilex PG 1 a doble encolado, una capa de 1 a 1.5 mm sobre el Carboplate y una capa sobre el Hormigón de 1mm, presionar fuertemente con la ayuda de rodillo de encolado hasta obtener un reflujo continuo del adhesivo en los bordes de la lámina, retirar el excedente y no reutilizarlo.

3.2. POBLACIÓN DE ESTUDIO

La población está compuesta por unidades de análisis, en la presente investigación la población es el tablero (constituido por perfiles longitudinales, transversales, losa de concreto, baranda, veredas, cables) del puente sobre el río Mantaro en los distritos de Chilca y Tres de Diciembre, Provincias de Huancayo y Chupaca de la Región Junín.

3.3. TAMAÑO DE LA MUESTRA

El tamaño de la muestra no probabilístico unidad mínima de observación, es la losa de concreto armado del tablero del puente sobre el río Mantaro en los distritos de Chilca y Tres de Diciembre, Provincias de Huancayo y Chupaca de la Región Junín.

3.4. TÉCNICA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Se ha recolectado la información a través de material bibliográfico tesis correspondiente al tema de reforzamiento con fibra de carbono en elementos estructurales en construcción ubicados en el internet, expediente técnico de la obra, documentos de provenientes del ejecutor de obra Sima Perú, textos, normas peruanas e internacionales, siempre teniendo en cuenta la selección específica sobre el tema, fisuras de concreto, fibra de carbono, usos, aplicación, parámetros físicos y químicos. Esta recolección de datos se procedió a través de la lectura y fichaje, observación, anotaciones, ejecutadas a la parte superior e inferior de la losa, asimismo en esta etapa se utilizó toma de fotografías digitales y videos respectivamente. Información de ensayos de reforzamiento de estructuras con fibra de carbono. Resultados de los ensayos de probetas ejecutadas en el laboratorio de concreto de la Universidad Peruana Los Andes realizadas por los tesisistas y los resultados del modelamiento del puente.

Así mismo se efectuó las recolecciones de datos a través del internet, instrumento valioso y de fácil acceso para recabar y corroborar información sobre la investigación y los trabajos ejecutados sobre reforzamiento estructural en elementos de hormigón mediante el uso de fibras de carbono.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. ANÁLISIS, INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1.1. Comprobación de la Resistencia del Concreto de la Losa Fisurada según Modelamiento SAP 2000

SAP 2000 es un programa de análisis y diseño estructural basado en el método de elementos finitos, sistema alimentado de datos y un modelo finito. Se fundamenta mediante los criterios de falla de éstos para la estimación de los esfuerzos actuantes a partir de los esfuerzos principales que brinda el programa, a través de la teoría de Von Mises para sustentar el análisis de esfuerzos del acero, en el concreto se presenta la teoría de Mohr – Coulomb para el cálculo de esfuerzos del concreto, asimismo se alimenta con datos características de los materiales, flujo plástico y contracción perdidas de esfuerzo, verificación de

peso. El todo se discretiza para su evaluación y finalmente se consolida como un todo las partes. Es muy versátil para modelar estructuras, puentes edificios, estadios, presas, todo tipo de estructuras, genera cargas de sismo, viento y vehículos, detalla el dimensionamiento, comprobación automática, permite la evaluación de desplazamientos, análisis nodal a través de vectores propios Eigen y Ritz. La elaboración del modelo a través plantillas con funciones finitas diversas. Se sustenta en la base teórica 1.1.7 Teoría del Modelamiento estructural del Puente.

Los datos para el Modelamiento: se ingresan los valores de las propiedades de los materiales indicados en el expediente del proyecto, concreto, acero, características de los cables, deformaciones por flujo plásticos y contracciones, pesos parámetros de resistencia estructural y de sismoresistente.

La modelación ejecutada a la losa fisurada de concreto armado: se determina el esfuerzo solicitado de $F_r = 1061 \text{ kN/m}$, superior al esfuerzo de tracción por unidad lineal que soporta la losa $F = 738 \text{ kN/m}$. Asimismo la tensión media en los aceros de refuerzo a las cargas solicitadas $\sigma = 590.4 \text{ MPa}$, es mayor que la tensión de ruptura del acero de refuerzo f_y y 420 MPa . El acero es insuficiente para resistir los esfuerzos solicitados por lo que origina las fisuras que no permitirá el correcto funcionamiento de la losa. La sección transversal de la losa presenta agotamiento por falta de cuantía.

La losa de concreto debe reforzarse y resistir los esfuerzos de tracción asociados a la retracción del concreto, variación térmica acero concreto, flexión del concreto por su propio peso, reforzamiento que se efectúa mediante fibra de carbono.

4.1.2. Fisuras

La losa de concreto del puente se encuentra conectada a los perfiles longitudinales a través de conectores tipo Nelson soldadas de manera vertical, éstos en conjunto constituyen un elemento mixto acero concreto. Ante la presencia de la retracción del concreto a lo largo de la etapa plástica y de endurecimiento en la estructura mixta debido a la coacción de la parte metálica y el concreto, aparecen esfuerzos internos por efecto de los conectores. La losa de concreto se contrae y los conectores unidos al perfil longitudinal cortan el movimiento, produciéndose una tensión en la losa y una contracción en los perfiles, estos esfuerzos deforman en conjunto a la estructura mixta y originan las fisuras cuando el concreto no soporta los esfuerzos generados por los esfuerzos de tensión, así como el peso del concreto que incrementa la tensión. Las fisuras en la losa de concreto armado se presenta en diferentes longitudes entre 10 cm a 7.60 metros, los espesores oscilan entre 0.1 a 1.6 mm y profundidad entre 0.1 a 1 cm, en un 98 % estas fisuras se manifiestan de manera transversal en los dos tramos laterales al tramo central de (70 m) y en el tramo central (160 m) el 80 % presentan fisuras perpendiculares y 2 % de manera longitudinal al eje neutro del puente, existen más fisuras en la parte superior que en la parte inferior.

La presencia de esfuerzos internos debido a la desaceleración del movimiento (presencia de conectores), a la flexión propia (el peso), cambios volumétricos (espacios entre conectores), variación térmica (temperatura ambiental y de los elementos de la losa) y mal curado del concreto. Estos esfuerzos internos

generados superan a la resistencia del acero de refuerzo, fenómenos en su conjunto fisuraron la losa.

Interpretación que coincide con las bases teóricas: 2.3.6. Fisuras, 2.3.6.7. Control de Fisuras en Estructuras de Concreto, 2.3.6.6. Inclinação de Fisuras, 2.3.6.3. Fisuración por Retracción Plástica, 2.3.6.4. Fisuración por Tensiones de Origen Térmico, 2.3.6.5. Fisuración por Cargas Externas.

4.1.3. Adhesivos

El adhesivo Epojet es un reactivo epoxi policondensada que reacciona de manera lenta permitiendo la trabajabilidad, de incremento paulatino continuo conformado de manera adecuada y por dos componentes, uno es resina constituido por material orgánico artificial esencialmente por combinaciones bajo presión y temperatura controladas de C, H, O, N, Cl y otro es un endurecedor, productos que reaccionan con las moléculas de la resina, que al mezclarse cumplen con las normas estándar indicadas en ASTM C 881, que por su característica de viscosidad, módulo de elasticidad, tiempo de trabajabilidad, ancho de la fisura, compresión y sección del concreto, permite ubicarse en todos sus extremos. Debido a la reacción policondensada permite expandirse y adherirse en todo el espacio fisurado a una velocidad lenta que permite manipular e inyectar en el tiempo prudencial hasta el desarrollo final.

CARACTERÍSTICAS ASTM C 881 TIPO IV		EPOJET Adhesivo rígido epoxi, bicomponente, de reacción policondensada
Viscosidad baja grado1, máxima Centipoise.	2000	410
Resistencia a la adhesión mínimo MPa, 2 días, curado en húmedo MPa	7.0	9.10
Temperatura de deflexión por calor °C	50	64
Coeficiente lineal de retracción al curar máximo	0.005	----
Resistencia a la fluencia bajo compresión MPa	70	84
Módulo de compresión, mínimo. MPa	1400	3773
Resistencia a la tensión, 7 días mínimo MPa	50	51.8
Elongación a la ruptura, mínimo %	1	3.3

TABLA 28 Comparación de los valores de epóxico Epojet respecto al ASTM C881 Fuente propia.

El adhesivo Epojet cumple las normativas solicitados por el ASTM C881, La viscosidad es ligera de 400 cps, se ubica en el rango que indica la norma (máximo de 2000 cps).

El Epojet supera los valores de la norma ASTM C881 en:

Resistencia a la adhesión en más de dos unidades, temperatura de flexión en 10.4 unidades, la resistencia a la fluencia supera en 14 unidades, módulo de compresión en más de 2.5 veces, resistencia a la tensión supera en 1.8 unidades y elongación a la ruptura en más de dos unidades.

Asimismo los compuestos MapeWrap1, MapeWarp11 y Adesilex cumplen con la norma y ASTM D638, ASTM C579. El adhesivo base MapWarp1 y MapeWarp11 base primera capa, son adhesivos para encolados estructurales.

El MapeWarp11 es un epóxido, para estucos, regularización y nivelación de superficies de hormigón como una segunda capa luego del MapeWarp1 o el Adesilex, tal como se detalla en la tabla 28.

COMPUESTO	NORMAS QUE SUSTENTAN AL ADHESIVO.
MapeWrap 1 Adhesivo para encolados estructurales	Tensión de ruptura cumple según ASTM D638. Tensión de elongación cumple según ASTM C579. Método estándar para la resistencia a la tracción de los plásticos reforzados y sin reforzar. Cumple ASTM D638. Método de ensayo estándar para la resistencia a la compresión de morteros. Cumple ASTM C579
MapeWarp 11 Estucos epoxídicos para regularización de las superficies de hormigón	Resistencia a tracción según ASTM D638 cumple. Alargamiento a tracción según ASTM D638. Resistencia a compresión cumple según ASTM C579. Resistencia a flexión cumple según ISO 179. Módulo elástico a compresión cumple según ASTM C579, Módulo elástico a flexión cumple ISO 178 que investiga el comportamiento a la flexión de plásticos para determinar la resistencia a la flexión, el módulo de flexión
Adesilex PG1 Adhesivo para encolados estructurales	Resistencia a Compresión cumple según ASTM D638, alargamiento a tracción cumple según ASTM D638, resistencia a compresión cumple según ASTM C579, resistencia a flexión cumple según ISO 178, módulo elástico a compresión cumple según ASTM C579, módulo elástico a flexión cumple según ISO 178

TABLA 29 Normas que Fundamentan la Propiedad de MapeWrap1, MapeWarp11, Adesilex PG1. Fuente propia.

La base teórica que fundamenta el análisis e interpretación del adhesivo, se sustenta en las Bases Teóricas de los ítems 2.3.71 Grupos Adhesivos, 2.3.7.2. Adhesivos Reactivos, 2.3.7.3 Epoxis, 2.3.7.4 Inyección de Epoxis

4.1.4. Fibra de Carbono

Son materiales compuestos, polímeros reforzados de propiedad anisotrópica, se obtiene al calentar sucesivamente el polímero PAN poliacrilonitrilo a altas temperaturas hasta 1500°C.

El buen funcionamiento del sistema de refuerzo de toda estructura con fibra de carbono debe tener perfecta adherencia con el concreto, estos deben ser elegidos para resistir las fuerzas de tracción, manteniendo el equilibrio de esfuerzos entre la tensión de la fibra de carbono y la superficie del concreto, la resistencia a la compresión del refuerzo debe ser despreciada, sin embargo, es

necesario tener en cuenta para el refuerzo de tensión que experimenta compresión debido a la inversión de momentos o cambios en el patrón de carga. El agrietamiento de la fibra de carbono se produce por esfuerzo axial, corte lateral o abertura en el límite de la interface, el esfuerzo cortante está relacionado localmente entre el concreto y la fibra externa a través del desplazamiento entre ambos materiales.

La fibra de carbono tiene poco peso, pequeño espesor, alta resistencia a la tracción y de fácil instalación en el sustrato. La densidad de las fibras de carbono a utilizar en el refuerzo, están por debajo de las normas ASTM 615 indicativo de poco peso.

La resistencia a la tracción de las fibras de carbono supera ampliamente al valor del acero de refuerzo grado 60 norma ASTM 615.

CARACTERÍSTICAS	ACERO REFUERZO ASTM A 615 GRADO 60	MAPEROD C VARILLA DE FRP FUENTE MAPEI	CARBOPLATE 170 LAMINA DE FRP. FUENTE MAPEI	MAPEWRAP B UNI-AX TEJIDO FRP. FUENTE MAPEI
Densidad g/cm ³	7.85	1.54	1.61	2.75
Contenido de fibras %		71	68	
Resistencia a Tracción N/mm ² = MPa	420	2000	3100	4840
Módulo elástico N/mm ² = MPa	196,133	155,000	170,000	89,000
Alargamiento a la rotura %	9	1.5	2.0	3.15
Resistencia a cortante MPa	621	75	77	73
Coefficiente de dilatación térmica en sentido longitudinal m/m/°C	11x10 ⁻⁶	6-10 x 10 ⁻⁶	0.6 X 10 ⁻⁶	
Adherencia a Hormigón N/mm ²				3

TABLA 30 Características de Maperod C, Carboplate E 170, MapeWrap B UNI-AX Fuente propia.

Las fibras de carbono, varilla Maperod C, lámina Carboplate 170, tejido MapeWarp B-UNI-AX, de elevada resistencia a la tracción que superan al acero de refuerzo grado 60°, la varilla Maperod C supera en 4.7 veces, la lámina Carboplate C supera en 7.3 veces, el tejido MapeWarp en 11.52 veces.

Las fibras de carbono son menos densas y poseen menor módulo de elasticidad que el acero de refuerzo grado 60, la varilla Maperod C es 5.09 veces menos densa y 1.27 veces menor en módulo de elasticidad, la lámina Carboplate C es 4.5 veces menos densa y 0.87 veces menor en módulo de elasticidad, el tejido MapeWarp es 2.85 veces menos denso y 2.2 veces menor en módulo de elasticidad demostrando que tienen poco peso y son más deformables propiedades que requieren la losa para un trabajo adecuado. Varilla Barra Maperod C, de alta resistencia cumple las normas ACI 440. 2R-08, el módulo de elasticidad o Young, el esfuerzo final de tracción y la ruptura por elongación se ubica entre el rango que indica la norma.

Material	Módulo de Young GPa	Esfuerzo Final Tracción MPa	Rupture Strain,%	Observación
High- Strength carbón ACI 440-2R-08 (Carbón de Alta Resistencia)	115 – 165	1240 – 2760	1.2 – 1.8	Cumplen la norma dentro de rango permisible
Maperod C de Alta resistencia a la Tracción. Fuente Mapei	155	2000	1.5	

TABLA 31 Comparación del Maperod C con la Norma ACI 440-2R-08. Fuente propia.

Lámina Carboplate E 170 respecto al módulo de elasticidad, al esfuerzo resistente a la tracción y a la ruptura de la elongación supera a las indicadas en la normas ACI 440. 2R-08. Tal como se indica en la tabla N° 31.

Material	Módulo de Young. GPa	Resistencia a la Tracción MPa	Rupture Strain %	Observaciones
High Strength Carbón (Carbón Alta resistencia) ACI 440. 2R-08 0° (aplicado a cero grados)	100 -140	1020 – 2080	1.0-1.6	Carboplate E 170 supera la norma ACI 440.2R-08
Carboplate E 170 Platina FRP	170	3100	2.0	

TABLA 32 Comparación de Platina de Carboplate E 170, respecto a la Norma ACI 440. 2R - 08 Fuente propia..

El valor del módulo de elasticidad del tejido MapeWrap B UNI-AX, se ubica en el rango que propone la norma de Barras de FRP FIB Task Group basalto para reforzamiento estructural, y la rotura por alargamiento por tracción supera en 0.4 unidades.

4.1.5. Ensayos de Probetas de la Investigación Ejecutados por los Tesistas

Ensayo de probetas ejecutado a Corte y Flexión, en el laboratorio de Estructuras y Simulación Sísmica de la Universidad Peruana los Andes de la ciudad de Huancayo por los tesistas. Los resultados de los ensayos de las probetas, tres probetas sin reforzamiento y tres probetas reforzados con fibra de carbono, varillas Maperod C, platina Carboplate E 140 y tejido MapeWarp B UNI-AX se detallan en la tabla N° 32.

PROBETA	CARGA DE ROTURA kN	RESISTENCIA A LA ROTURA MPa	RESISTENCIA A LA FLEXIÓN. MPa	OBSERVACIONES
Control VS1	-----	-----	-----	Se fracturó prematuramente, descartamos esta probeta de control.
Control VS2	26.576	39.864	-----	Se fracturó con una carga de 26.576 kN, a una elasticidad de 80.465 MPa ofrece mayor resistencia que la probeta VS3, mejor proceso constructivo.
Control VS3	20.496	4.098	-----	Se fracturó a 20.496 kN, a una elasticidad de 1.424MPa, ofrece menor resistencia que la probeta VS2, mal proceso constructivo. Descartamos esta probeta de Control
VR1	60.258	-----	12.11	VR1 Respecto a la probeta de control VS2 supera la carga de rotura en 2.3 veces. Resistencia a la flexión es 12.1MPa. Las fisuras se originan en la zona de tensión, ascienden y se orientan en forma oblicua hacia la zona de compresión sin alcanzar al reforzamiento con las varillas. La platina se desprende desde un extremo hacia la parte central de manera horizontal hasta donde se aplica la carga. No se desprende las varillas adheridas, tampoco presenta fisuras el área reforzada con varillas de FRP.
VR2	74.381	-----	14.9	VR2 supera a la probeta VR1 en resistencia a la carga de rotura en 1.23 veces y en 2.8 veces a la probeta VS2. También supera a la resistencia a la flexión en 1.23 veces a VR1. Las fisuras se originan en la zona de tensión, ascienden y luego se orientan en forma oblicua hacia la zona de compresión sin alcanzar al reforzamiento con las varillas. La platina se desprende desde un extremo hacia la zona donde se aplica la carga. No se desprende las varillas tampoco presenta fisuras el área reforzado con varillas de FRP
VR3	90.686	-----	18.1	VR3 respecto a la probeta de control VS2 supera la carga de rotura en 3.412 veces, 1.5 veces más que la probeta VR1, 1.21 veces más que VR2. Asimismo supera en 1.5 veces que VR1 y 1.21 veces más que VR2 en la resistencia a la flexión. Las fisuras se originan en la zona de tensión y ascienden vertical y oblicuamente hasta antes de zona de compresión donde se ubica el reforzamiento con varillas de FRP. Se mantiene inalterable el área de reforzamiento con varillas de FRP.

TABLA 33 Resultados de las Pruebas de Probetas a Flexión y Rotura ejecutado por los Tesistas. Fuente propia.

La probeta reforzada con varillas, lámina y tejido VR3, presentan la más alta resistencia a la rotura de los ensayos, 3.4 veces el valor de carga de rotura de la probeta sin reforzamiento VS2.

La probeta VR3 soporta 1.21 veces más la carga de rotura de probeta VR2 igualmente soporta 1.5 veces más la carga de rotura de VR1.

La probeta VR3 es 1.5 veces superior al esfuerzo de resistencia a la flexión de la probeta reforzada VR1 y 1.21 veces el valor de resistencia a la flexión de la probeta VR2 reforzadas con varillas y lámina.

La probeta reforzada con varillas y platina VR1, supera la resistencia a la rotura en 2.3 veces a la probeta VS2 sin reforzamiento, la probeta VR2 reforzada con varillas y láminas supera en 2.8 veces a la resistencia a la rotura a la probeta VS2 sin reforzamiento. Tanto la probeta VR1 y VR2 están reforzados de manera idéntica con dos varillas en la parte de compresión y con la platina en la parte de flexión, observando que probeta VR1 no presenta desgarramiento de sustrato, sí en capa adhesiva. La probeta V2R en la zona de desprendimiento de la platina presenta pequeños desgarramientos de sustrato en la arista de la unión platina, adhesivo y sustrato, manifestación que indica que el proceso de adhesión entre la platina y el sustrato de la probeta V1R presentó deficiencias en el proceso de instalación adherencia de la lámina al sustrato que la probeta V2R, actuando la misma carga debió ser igual la resistencia a la flexión en ambas probetas.

En los ensayos que se ejecutan, las probetas VR1, VR2, VR3 las varillas de Maperod C instalados en el sustrato, resultaron intactos sin desplazamiento tampoco se presentó fisuras y permanecieron adheridos al concreto en sus ranuras respectivas.

En las probetas VR1 y VR2, las fisuras se originan en la zona de tensión, ascienden de forma vertical y se inclinan oblicuamente hasta la parte superior sin tocar la zona reforzada con varillas de Maperod C en la parte superior de la cara de la probeta.

La lámina de Carboplate adherido en la parte inferior de las probetas VR1, VR2, se desprende de la unión lámina adhesivo y sustrato desde un extremo y se extiende horizontalmente hacia la dirección donde se aplica la carga. El desprendimiento inicialmente es por fuerzas axiales generando desplazamiento en la lámina Carboplate.

La probeta VR3, se fisuró en varias partes en la zona de deflexión y asciende vertical y de forma oblicua, el tejido MapeWarp B-UNI-AX presento rotura del tejido y presenta fisura inclinada en la cara lateral de la probeta, la lámina de fibra de carbono se desprende desde un extremo de forma horizontal desmembrando parte del concreto.

Asimismo el tejido no se ha desprendido presentó fisura en la parte lateral de la probeta. Se instaló dos varillas en la parte superior de cada probeta VR1, VR2, VR3, la lámina se instaló en la parte inferior de la probeta VR2, VR3 el tejido se instaló en las tres caras adyacentes de la probeta (libre la parte superior)

Las probetas del ensayo ejecutados por los tesistas la viga V1R y V2R superan en más de dos veces la resistencia a la rotura de un probetas reforzada respecto a una probeta sin reforzamiento.

La probeta VR3 soporta 1.21 veces la carga de rotura de VR2, asimismo soporta 1.5 veces la carga de rotura de V1R.

La probeta VR3 es 1.5 veces superior al esfuerzo de resistencia a la flexión de la probeta reforzada VR1 y 1.21 veces el valor de resistencia a la flexión de la probeta VR2

De los resultados se deduce que la probeta reforzada con FRP varillas Maperod C, platina Carboplate E 140 y tejido MapeWarp B UNI-AX, soporta mejor la carga de rotura y al esfuerzo de flexión.

Resultados que coinciden con las Investigaciones precedentes de reforzamiento estructural del concreto con Fibras de Carbono en los ítems 3.1.2.1. Ensayos de Vigas a Flexión autor Proaño Tataje Luis. 3.1.2.2. Ensayos de Vigas a Flexión. Autor Beltrán Riveros Andrés Arturo. 3.1.2.3 Ensayos de Vigas a Fuerza Cortante José Rafael Contreras Rincón

4.1.6. Resistencia del Concreto de la Losa Reforzado

Según Modelamiento final de la losa de concreto resulta:

El esfuerzo solicitado, luego del sellado de fisuras y del reforzamiento de la losa mediante varillas, platinas y manta de fibra de carbono resulta, $\sigma_f = -1179.48 \frac{kN}{m^2}$ El esfuerzo de tracción del concreto inicial cuando la losa esta fisurada resulta:

$$f_r = 0.62 \sqrt{f'_c} = 0.62 \sqrt{28} = 3.2807 MPa = 3280.7 \frac{kN}{m^2}$$

Por tanto:

$$f_r = 3280.7 \frac{kN}{m^2} > \sigma_f = 1179.48 \frac{kN}{m^2}$$

El esfuerzo de resistencia a la tracción del concreto es superior al esfuerzo de tracción, lo que indica que el concreto no podrá fisurarse y resistirá a los esfuerzos solicitados.

4.1.7. Sellado de Fisuras de la Losa de Concreto e Instalación de Fibra de Carbono

Para sellar las fisuras de la parte superior e inferior se ha utilizado el adhesivo reactivo epoxi Epojet, mediante inyección a presión, Consistencia de la mezcla, líquido fluido. Que responde a las normas ASTM C881 y las normas EN 15004-9 productos para inyección y anclajes, asimismo responde a las normas EN 1504-5 requisitos mínimos definidos para la inyección de hormigón. Para el reforzamiento estructural de la losa parte superior se ha utilizado la varilla de carbono Maperod C y la Manta MapeWarp B UNI- AX para el reforzamiento estructural longitudinal y transversal. En la parte inferior se ha reforzado la estructura de la losa mediante lámina de fibra de carbono Carboplate E-170. Fibra de carbono que cumple las normas ACI 440.02-08.

4.2. PRUEBA DE HIPÓTESIS

4.2.1. Hipótesis General

“El efecto del uso de sellador, varillas, laminas, mantas de fibra de carbono en la losa, influye positivamente en el comportamiento de la losa fisurada de concreto armado del tablero del Puente sobre el Río Mantaro, en los distritos de Chilca, Tres de Diciembre. Provincias de Huancayo y Chupaca Región Junín 2017”.

A la losa fisurada se efectuó la evaluación estructural, arrojando que la losa requería más ductilidad o mayor cuantía de acero por lo que se fisuró, producto del modelamiento del puente a través del programa sap 2000 es, $\sigma = 590.05 \text{ MPa} > f_y = 420 \text{ MPa}$ y el $F_r = 1061.13 \text{ kN/m} > F = 738.16 \text{ kN/m}$, por lo que se produce la fisuración del concreto de la losa. Siendo necesario incrementar los esfuerzos por gradiente térmico y esfuerzo por retracción, para fortalecer la estructura a través de la instalación de fibra de carbono en la parte superior,

anclado varillas de fibra de carbono en la zona longitudinal e instalando tejido para la parte transversal, asimismo se ha adherido al sustrato de la parte inferior de la losa láminas de fibra de carbono de forma longitudinal. La adherencia ha sido controlada a través de pruebas de Pull Off en la superficie al instalar la fibra de carbono tal como se muestra en el anexo N° 8. El modelamiento estructural del puente luego del reforzamiento de la losa indica que $f_r = 3280.7 \frac{kN}{m^2} > \sigma_f = 1179.48 \frac{kN}{m^2}$

El esfuerzo de resistencia a la tracción del concreto es superior al esfuerzo de tracción, lo que indica que el concreto no podrá fisurarse y resistirá a los esfuerzos solicitados.

MUESTRA	CONDICIONES INICIALES.	PRUEBA INICIAL	CONDICIONES FINALES.	PRUEBA FINAL	HIPOTESIS GENERAL
Losa de Concreto Armado del Puente Atirantado sobre el Río Mantaro.	Losa Fisurada, por retracción, movimientos espontáneos cambios volumétricos, variación de temperatura, tensión en el concreto y contracción en los perfiles.	Resistencia a la tracción según modelamiento Fr = solicitado = 1061 kN/m. F = losa = 738 kN7m. Fr > F. La losa no soporta esfuerzos solicitados	Fisuras selladas mediante adhesivo epoxi Epojet y reforzado con fibra de carbono Varilla Maperod C, lámina Carboplate 170, Tejido MapeWrap B UNI-AX. Cumpliendo los valores de adherencia según protocolos de fabricante y de instalación	Resistencia a la Tracción, según modelamiento. $\sigma_f = -1179.48 \frac{kN}{m^2}$ $f_r = 0.62 \sqrt{f'c} = 3280.7 \frac{kN}{m^2}$ $f_r > \sigma_f$ La losa soportará los esfuerzos solicitados y no se producirá fisuras. Pruebas de seis probetas que determinan la resistencia estructural de la probeta reforzado con varillas, platinas y tejido de FRP superior en más de tres veces una probeta sin reforzamiento.	El efecto del uso de sellador, varillas platinas, mantas de fibra de carbono en la losa de concreto armado mejora la resistencia estructural de la losa por lo que influye positivamente en el comportamiento de la misma y en el tablero del Puente sobre el Río Mantaro.

TABLA 34 Confirmación de la Hipótesis General. Fuente propia.

4.2.2. Prueba de Hipótesis Específicas

El efecto del nivel de resistividad influye negativamente en el comportamiento de la losa de concreto armado fisurado por no resistir los esfuerzos solicitados.

El efecto del nivel de adherencia de selladores influye positivamente en el comportamiento de la losa de concreto fisurada al unir y formar un todo monolíticamente.

El efecto del nivel de adherencia al aplicar varillas platinas mantas de fibras de carbono, influye positivamente en el comportamiento de la losa sellada de concreto armado al mejorar la cuantía de acero permite resistir los esfuerzos solicitados.

El efecto del nivel de resistencia estructural al aplicar selladores, varillas platinas mantas de fibra de carbono, influye positivamente en el comportamiento de la losa de concreto armado fisurada del tablero del puente sobre el río Mantaro en los distritos de Huancayo y Tres de Diciembre, Provincias de Huancayo y Chupaca 2017, al instalar las varillas Maperod C en la parte superior de forma longitudinal permite reforzar la resistencia estructural longitudinal y soportar los esfuerzos de compresión y flexión solicitadas que se presentaran y la instalación de tejidos MapeWarp B UNI-X en la zona transversal de la parte superior de losa mejorarán la resistividad de los aceros de refuerzo transversal.

La instalación de láminas de Carboplate en la parte inferior de la losa de forma longitudinal mejorar la resistencia longitudinal en la zona de tensión. Verificándose las hipótesis específicas en el Tabla 34.

LOSA DE CONCRETO ARMADO	ESTADO INICIAL	PRUEBA INICIAL	ESTADO FINAL	PRUEBA FINAL	HIPOTESIS	COMPORTAMIENTO
LOSA DE CONCRETO FISURADA	Fisuras por acciones de retracción, cambios volumétricos, variación térmica, movimiento espontáneo, tensión de concreto, contracción de perfiles.	De la evaluación el 98 % de fisuras son transversales y 2% son longitudinales. La fuerza y esfuerzos solicitados son superiores a la resistencia de tracción del acero del concreto.		$\sigma = 590.05$ MPa esfuerzo solicitado $>$. $F' y = 420$ MPa esfuerzo de la armadura y el $F_r = 1061.13$ kN/m $>$ $F = 738.16$ kN/m, por lo que se produce la fisuración del concreto de la losa.	El nivel de resistencia de la losa fisurada no soporta los esfuerzos solicitados e influye de forma negativa en el comportamiento de la estructura losa.	La losa fisurada de concreto armado no soporta los esfuerzos de tracción solicitados. La resistencia del concreto es menor a los esfuerzos de tracción del acero. La falta de cuantía de acero es insuficiente para soportar estos esfuerzos, por lo que las fisuras se han generado, pudiéndose incrementar hasta colapsar la losa.
FISURAS SELLADAS DE LA LOSA EN LA PARTE SUPERIOR E INFERIOR	Losa fisurada en la parte superior e inferior de forma transversal y longitudinal.	Ubicación, orientación y medición de las fisuras. Levantamiento de planos de fisuras.	Las fisuras de la parte superior e inferior se han sellado a través de inyección de adhesivo epoxi Epojet.	Prueba de adherencia hormigón adhesivo ≥ 3 N/mm ² Resultado Prueba 3.3 N/mm ²	El sellado de las fisuras influye de forma positiva en la consolidación monolítica de la losa.	El sellado de fisuras de la losa de concreto armado permita soportar los esfuerzos solicitados de manera monolítica y que facilita la instalación de la fibra de carbono de manera adecuada en la losa.
INSTALACIÓN DE VARILLAS DE FRP EN LA PARTE SUPERIOR VARILLAS (ZONA DE COMPRESIÓN) DE FORMA LONGITUDINAL	Las fisuras de la losa se encuentra selladas por inyección mediante adhesivo Epojet		Instalación de barras Maperod C, con Adhesivo Adesilex, Mapewarp1 y Mapewarp11, de manera longitudinal según planos anexo N° 2.	Prueba de adherencia concreto y varillas ≥ 3 MPa. Resultado de Prueba 3.4 MPa	El anclaje de las varillas en la zona de compresión de la losa del puente influye positivamente en la resistencia estructural la parte superior de la losa.	La instalación de varillas de FRP en la parte superior de la losa mejora la resistencia mecánica a flexo tracción y compresión de esfuerzos solicitados dándole mayor resistencia y ductilidad a la losa.
INSTALACIÓN DE LÁMINAS DE FRP EN LA PARTE INFERIOR DE LA LOSA (ZONA DE TENSION) DE FORMA LONGITUDINAL	La fisuras de la losa se encuentra sellada mediante inyección de adhesivo Epojet	Los valores de las propiedades de las varillas Maperod C, láminas Carboplate 170 y tejido MapeWarp B UNI AX, de la firma Mapei, cumplen con los valores indicadas en la norma ACI 440.02-08 y ASTM 88,	Instalación de láminas de Carboplate 170 mediante adhesivo Adesilex, Mapawarp1 y MapeWarp 11 según planos anexo N° 2	Prueba de pull off >3 MPa) Resultado de Prueba 4.1 MPa.	La instalación de láminas de Carboplate en la parte inferior de losa, zona de tensión de manera longitudinal influye positivamente en la resistencia estructural de la zona de tensión.	La instalación de láminas de FRP en la parte inferior permite una resistencia del concreto a los esfuerzos de flexión de manera eficiente mejora la resistencia mecánica y de ductilidad de la losa.
INSTALACIÓN DE TEJIDOS DE FRP EN LA PARTE SUPERIOR DE LA LOSA ZONA TRANSVERSAL	La losa se encuentra sellada mediante adhesivo Epojet y reforzada con varillas de Maperod C		Instalación de tejido MapeWarp B UNI AX mediante adhesivo Adesilex, MapeWarp 1 y MapeWarp 11. Sobre superficie habilitada Según Planos anexo 2	Prueba de Pull Off. >3 MPa) Resultado de Prueba 3.9 MPa	Los tejidos de FRP MapeWarp B UNI AX instalados en la parte superior de la losa en la zona transversal influye positivamente en la resistencia transversal	Instalados los tejidos de FRP en la parte superior mejora las propiedades mecánicas de la losa en la zona a transversal, incrementando la resistencia a los esfuerzos solicitados
LOSA DE CONCRETO SELLADA Y REFORZADA CON FRP				El esfuerzo de resistencia a la tracción del concreto $f_r = 3280.7 \frac{kN}{m^2}$ es mayor $\sigma_f = 1179.48 \frac{kN}{m^2}$ al esfuerzo de tracción, solicitado	El efecto del uso de selladores, varillas, platinas, mantas de fibra de carbono influye positivamente en el la resistencia estructural y el comportamiento de la losa de concreto armado	El comportamiento de la losa sellada y reforzada mejora las propiedades mecánicas y soportar los esfuerzos solicitados.

TABLA 35 Prueba de las Hipótesis Específicas. Fuente propia..

4.3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

- El programa SAP 2000 se fundamenta en el método de elementos finitos mediante los criterios de falla a través de la teoría de Von Mises para el análisis de esfuerzos del acero y mediante la teoría de Mohr - Coulomb para el cálculo de esfuerzos del concreto, e ingreso de especificaciones características técnicas de los materiales, flujo plástico, deformaciones, contracciones, pérdidas, peso, parámetros de resistencia estructural y sismoresistente que permite el modelamiento, análisis y dimensionamiento del elemento estructural.
- La modelación estructural ejecutada a la losa fisurada de concreto armado, se determinó que el esfuerzo solicitado de $F_r = 1061 \text{ kN/m}$, es superior al esfuerzo de tracción por unidad lineal que soporta la losa $F = 742.5 \text{ kN/m}$. Asimismo la tensión media en los aceros de refuerzo a las cargas solicitadas fue $\sigma = 599.2 \text{ MPa}$, valor mayor que la tensión de ruptura del acero de refuerzo $f_y = 420 \text{ MPa}$, lo que permite la fisuración de las losa.
- La insuficiencia cantidad de acero de refuerzo para soportar los esfuerzos solicitados, debido a la retracción, cambios volumétricos y de temperatura, movimientos espontáneos y mal procedimiento constructivo, provocaron esfuerzos de tensión en el concreto y esfuerzos de contracción en los perfiles superando la tensión a la resistencia de los aceros de refuerzo originando la aparición de fisuras en la losa,
- El reforzamiento estructural de la losa mediante fibra de carbono es la metodología mejor elegida, porque la fibra de carbono presenta mejores condiciones de ductilidad, resistencia mecánica, menor peso, mantiene la

geometría respectiva y facilidad para instalar respecto a los trabajos de reforzamiento a través del acero y hormigón.

- La demolición de la losa fisurada para su renovación generaría problemas y averías estructurales en los componentes adyacentes, cables, pilones y los perfiles del acero base del tablero, destensado de los torontos, pérdida de soporte en los anclajes, desequilibrio de los pilones y/o presencia de resonancia haría que colapse el puente.
- Las fisuras en la losa de concreto armado se presentaron entre 10 cm a 7.6 m de longitud, espesores entre 0.1 a 1.6 mm y profundidad hasta 2 cm, en 100 % estas fisuras se manifiestan de manera transversal en los dos tramos laterales y en el tramo central el 98 % presentaron fisuras transversales y el 2 % de forma longitudinal al eje del puente.
- Las fisuras orientadas de forma transversal fueron generadas por cargas de tensión, las fisuras longitudinales se originaron por cargas de compresión, no se presentaron fisuras de esfuerzos de flexión.
- El ancho de las fisuras en la losa, comprendían entre 0.1 a 1.6 mm, estos valores indican la magnitud de la tracción que sufrió el concreto en los puntos donde aparece las fisuras, a mayor ancho mayor tensión, menores anchos menores tensiones.
- Las fisuras de la losa, expuestas al aire seco superiores a 0.41mm, fueron selladas para no dañar el acero de refuerzo a acciones medio ambientales, que representaban serias manifestación patológica al funcionamiento de la estructura y que fue sellado mediante adhesivo reactivo epoxi por inyección.

- El adhesivo Epojet es un reactivo epoxi policondensado que reacciona de manera lenta, paulatina y continua permitiendo la trabajabilidad, conformado por dos componentes resina y endurecedor, que al mezclarse, cumplen con las normas estándar indicadas en la norma ASTM C 881. Su viscosidad se ubica en el rango de recomendación máximo 2000 cps y es ligera de 380 cps, la resistencia a la adhesión mínima, la temperatura de deflexión por calor, la resistencia a la fluencia, el módulo de compresión mínimo, la resistencia a la tensión y la elongación a la ruptura del adhesivo Epojet supera en valor a lo recomendado en la norma ASTM C881 grado 1 tipo IV.
- Los adhesivos compuestos MapeWrap1, MapeWarp11 y Adesilex cumplen con la norma y ASTM D638, ASTM C579. El adhesivo base MapWarp1 y MapeWarp11 base primera capa, son adhesivos para encolados estructurales. El MapeWarp11 es un epóxido, para estucos, regularización y nivelación de superficies de hormigón como una segunda capa luego del MapeWarp1 o el Adesilex.
- Las fibras de carbono varilla Maperod C, lámina Carboplate 170, tejido MapeWarp B UNI-AX tienen baja densidad respecto al acero de refuerzo grado 60, la varilla, la platina y el tejido le corresponde el 19.62 %, 20.51 %, 35.03 % de la densidad del acero siendo muy ligero las fibras de carbono.
- La resistencia a la tracción de la varilla Maperod C es 4.8 veces, de la platina Carboplate E 170 es 7.4 veces y el tejido MapeWarp B UNI AX es de 11.52 veces, la resistencia del acero de refuerzo grado 60

- El 79.03 %, 86.67 % y el 45 % del módulo elástico del acero grado 60 corresponde a la varilla Maperod C, a la lámina Carboplate E 170 y al tejido MapeWarp B UNI AX, valores que indican su ductilidad y su deformación más que el acero ante esfuerzos de tracción, asimismo son materiales de elevado módulo elástico.
- El módulo de elasticidad, el esfuerzo final de tracción y la ruptura por alargamiento de la varilla Maperod C cumple los valores de normas ACI 440. 2R-08, Guía para el Diseño y Construcción con Sistema FRP para el Fortalecimiento de Estructuras de Hormigón.
- El módulo de elasticidad de lámina de fibra de carbono Carboplate E 170 supera en 30 unidades, el porcentaje de la ruptura a la deformación en 0.4 unidades, al valor máximo del rango de los valores de la norma ACI 440.2R-08 asimismo supera en 1.49 veces al valor de la resistencia a la tracción.
- El módulo de elasticidad y el porcentaje de alargamiento de rotura del tejido MapeWrap B UNI AX cumplen los valores de la norma FIB Task Group 9.3 Fibras de Refuerzo y supera en el porcentaje de la rotura de alargamiento en 0.4 unidades y supera la resistencia a la tracción del acero en 11.5 veces.
- La probeta VR3 reforzada con varilla, lámina y tejido presentó resistencia a la carga de rotura de 3.41 veces más que la probeta VS2 sin reforzamiento y 1.5 veces más que la probeta VR1 reforzada con varillas y platina, 1.21 veces más resistente a la carga de rotura de la probeta VR2 reforzada con varillas y lámina.

- La probeta VR3 reforzado con varilla, platina y tejido, superaron la resistencia a la flexión a la probetas VR1 reforzada con varillas y platina FRP en 1.5 veces y en 1.21 veces a la probeta VR2 reforzada con varillas platina.
- Las probeta VR2 superó a la probeta VR1 en resistencia a la carga de rotura y resistencia de flexión en 1.23 veces, en 2.8 veces a la probeta VS2 y excedió a VR1 en 1.23 veces la resistencia a la flexión. La probeta VR1 rebasó en valor a la probeta sin reforzamiento VS2 en 2.3 veces la resistencia a la carga de rotura.
- Las fisuras de las probetas reforzadas con FRP en los ensayos, se originaron en la zona de tensión, ascienden y se inclinan oblicuamente hasta la zona de compresión sin tocar la zona reforzada con varillas de FRP en la parte superior de la cara de la probeta.
- En las probetas VR1, VR2, VR3 las láminas de FRP adherido en la parte inferior de la probeta se desprende desde un extremo y se extiende de forma horizontal hacia la zona donde se aplica la carga. El desprendimiento se inició por el desplazamiento relativo (lámina/adhesivo/sustrato) hasta desprenderse
- La probeta VR1 y VR2 fueron reforzados de manera idéntica con dos varillas en la zona de compresión y con platina en la zona de flexión, la probeta VR1 no presenta desgarro en el sustrato, si en la capa adhesiva. La probeta VR2 presenta pequeños desgarros en el sustrato en la arista de la unión sustrato adhesivo platina. Las probetas VR1 VR2 presentan valores diferentes a la carga de rotura y a la resistencia a la flexión, corresponden valores menores a VR1.

- En las probetas VR1, VR2 y VR3, las varillas de Maperod C instaladas en el sustrato, resultaron intactos sin desplazamiento, tampoco se presentaron fisuras y permanecieron adheridos al concreto en sus ranuras respectivas.
- En la probeta VR3 el tejido MapeWarp B-UNI-AX presentó rotura del tejido y fisuras inclinadas en la cara lateral de la probeta, y no se desprendió del sustrato, la lámina de fibra de carbono se desprende desde un extremo de forma horizontal juntamente con parte del concreto.
- El esfuerzo solicitado, luego del sellado de fisuras y del reforzamiento de la losa mediante varillas, platinas y manta de fibra de carbono resulta, $\sigma_f = -1179.48 \frac{kN}{m^2}$ y el esfuerzo de tracción del concreto inicial cuando la losa esta fisurada fue de $f_r = 0.62 \sqrt{f'_c} = 0.62 \sqrt{28} = 3.2807 MPa = 3280.7 \frac{kN}{m^2}$. Por tanto $f_r = 3280.7 \frac{kN}{m^2} > \sigma_f = 1179.48 \frac{kN}{m^2}$. El esfuerzo de resistencia a la tracción del concreto es superior al esfuerzo de tracción, lo que indica que el concreto no podrá fisurarse y resistirá a los esfuerzos solicitados.
- La instalación de las varillas, las láminas y el tejido en la losa de concreto armado se ha utilizado mano de obra técnicamente especializado y calificado; se han usado los adhesivos en las cantidades y en las proporciones recomendaciones por el fabricante y los informes técnicos de instalación, asimismo se han ejecutado las pruebas de calidad según los protocolos del proceso constructivo.

CAPÍTULO V

IMPACTOS

5.1. PROPUESTA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

Para reforzamiento estructural de elementos de hormigón se propone el reforzamiento por el método tradicional acero hormigón y a través del reforzamiento estructural de fibra de carbono. La norma ACI 318 formula los procedimientos para el diseño y construcción de concreto estructural en edificaciones y donde sea aplicable en otras construcciones, su reglamento también cubre la evaluación de resistencia de estructuras existentes de concreto reforzado. La norma ACI 440.2R-08 formula las normas para diseño y fortalecimiento de estructuras del hormigón armado utilizando la fibra de carbono y la norma ACI 562 para la Evaluación, Reparación y Rehabilitación de Edificaciones de Concreto proporcionan la rehabilitación y reforzamiento de elementos estructurales.

5.1.1. Evaluación para Reforzar la Losa del Tablero del Puente a través de Acero- Hormigón o Fibra de Carbono

La losa del puente atirantado sobre el río Mantaro requiere ser reforzado estructuralmente por no poseer la cuantía necesaria del acero de refuerzo al interior del concreto, por lo que tempranamente la losa se ha fisurado no pudiendo resistir a los esfuerzos solicitados. Asimismo, es necesario y primordial que en la losa no se incremente excesivamente en peso que provocaría nuevos cambios en la resistencia de los cables y perfiles de acero que soportan la losa.

PESO DE REFORZAMIENTO CON VARILLA, PLATINA, MANTA DE FIBRA DE CARBONO EN LA LOSA DEL TABLERO DEL PUENTE ATIRANTADO SOBRE EL RÍO MANTARO.									
FIBRA DE CARBONO	LONGITUD	ÁREA m ²	VOLUMEN m ³	PESO ESPECIFICO Kg/m ³	PESO Kg	ÁREA ADHESIVO m ²	VOLUMEN ADHESIVO m ³	PESO ESPECIFICO DE ADHESIVO Kg/m ³	PESO ADHESIVO Kg
VARILLA MAPECORD DE FIBRA DE CARBONO ϕ 12 mm	14064	0.000113	1.591	1540	2449.58	0.000286	4.0349616	1.55	6.25419048
PLATINA CARBOPLATE DE FIBRA DE CARBONO DE 100 mm X 1.40 mm	11700	0.00014	1.638	1610	2637.18	1170	0.468	1.55	0.7254
MAPEWARP B UNI-AX MANTA DE FIBRA DE CARBONO	0.00143	633.6	0.906	2750	2491.63	633.6	0.25344	1.55	0.392832
KILOGRAMOS					7578.40				7.37242248
TONELADA	7.578395136					0.007372422			
TOTAL PESO TONELADAS	7.6								

TABLA 36 Peso de Reforzamiento de la Losa con FRP. Fuente propia.

PESO DE REFORZAMIENTO CON VARILLA DE ACERO GRADO 60, PLATINA DE ACERO GRADO 60, CONCRETO FC 280 KG/CM2 - PUENTE ATIRANTADO SOBRE EL RÍO MANTARO.					
ACERO	LONGITUD	ÁREA m ²	VOLUMEN m ³	PESO ESPECÍFICO Kg/m ³	PESO Kg
VARILLA ACERO 60° ϕ 12 mm	14064	0.0001131	1.5906384	7860	12502.42
PLATINA ACERO DE 100mm X 1.40 mm	11700	0.00014	1.638	7860	12874.68
CONCRETO FC = 280 Kg/cm ² 0.10 m x 7.6 m	300	1.216	364.8	2500	912000.00
KILOGRAMOS					937377.10
TOTAL PESO TONELADAS	937.4				

TABLA 37 Peso de Reforzamiento con Acero Hormigón la Losa. Fuente propia..

Según la evaluación FODA a fin de evaluar el estado situacional, del cuadro de fortalezas, debilidades, amenazas y oportunidades permite solucionar la aparición de las fisuras de la losa.

Se evaluó y eligió el reforzamiento estructural a través de fibra de carbono, por tener mejores propiedades mecánicas elevada resistencia a la tracción y un peso específico menor a la del acero, toda vez que el reforzamiento por métodos tradicionales usando platabandas, varillas de acero y concreto se incrementaría ostensiblemente el peso de la losa que perjudicaría el diseño inicial. Debe eliminarse la demolición de la losa por generar deterioro en los elementos estructurales adyacentes que provocarían el colapso del puente. Asimismo, el reforzamiento con FRP es una tecnología muy usado en los países desarrollados, existe en el mercado nacional e internacional una variada marca de fibras de carbono y adhesivos para tratar a las fisuras y adherir la fibra, de esta manera el esfuerzo de resistencia en el concreto superará los esfuerzos

solicitados eliminando la creación de fisuras. El sellado de fisuras a través de adhesivos de alta tecnología permitirá que el acero de refuerzo no se corroa a través de agentes ambientales que puedan alcanzar. La instalación de la fibra de carbono es más fácil en comparación a la instalación de placa bandas y varillas de acero en la losa.

DEBILIDADES	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • En la losa de concreto en las 24 horas brotaron las fisuras en la parte superior e inferior de la losa. • El concreto no soporta los esfuerzos solicitados. • El esfuerzo solicitado es mayor que el esfuerzo del acero de refuerzo. • Diseño mal proyectado de la losa de concreto armado. • No se detectó a tiempo los errores del diseño de la losa por los actores de la ejecución, supervisión y la instancia que aprobó el expediente. • Sima Perú no cuenta con personal capacitado para la instalación de fibras de carbono. • Fallas en el proceso de llenado del concreto 	<ul style="list-style-type: none"> • Paralización de la ejecución de obra por cambio de gestión. • Pago de penalidades por retraso de obra. • Intervención de control interno, contraloría general de la república. • El acero de refuerzo del concreto se corroerá por agentes ambientales a través de las fisuras. • Las fisuras se incrementaran debido a los esfuerzos solicitados. • El refuerzo tradicional con acero y capas de concreto genera mayores pesos por encima de lo permisible. • La demolición de la losa fisurada generaría consecuencias en los cables, pilones, perfiles de soporte que haría que colapse el puente.
FORTALEZAS	AMENAZAS
<ul style="list-style-type: none"> • Sima Perú cuenta con un equipo de profesionales para dar solución a los errores de diseño y con la capacidad económica y responsabilidad para dar solución a la losa fisurada, por ser el diseñador y ejecutor de la obra. • El reforzamiento con FRP es el más ventajoso para el reforzamiento de la losa con respecto a métodos tradicionales de reforzamiento con acero y hormigón, por constituir la fibra de carbono un material compuesto de alta resistencia a la tensión y poseer poco peso específico respecto al acero y concreto. • Existen antecedentes nacionales e internacionales de reforzamiento estructural con FRP. • En el mercado nacional e internacional se cuenta con material de FRP y adhesivos para su adquisición. 	<ul style="list-style-type: none"> • El reforzamiento estructural con fibra de carbono de la losa permite utilizar una tecnología usado en los países altamente desarrollados. • La elección de la fibra de carbono de alta resistencia y de menor peso específico que la del acero permite mejorar la resistencia estructural a las condiciones iniciales de diseño y equiparar el horizonte de vida de diseño. • La instalación se logrará a través de adhesivos modernos de alta adherencia que cumplan las normas internacionales para dicho fin. • Elegir la fibra de carbono con mejores propiedades mecánicas de las marcas existentes en el mercado nacional o internacional. • La fibra de carbono se instala de manera fácil y se adhiere a la geometría del elemento respecto al acero. • El sello de fisuras se ejecutará a través de adhesivos de alta tecnología.

TABLA 38 Cuadro FODA Fuente propia.

De los cuadros N° 35, 36 y 37 se verifica que al utilizar reforzamiento estructural de la losa de concreto. El armado de la losa de concreto se incrementa en 937.4 toneladas, mientras el reforzamiento estructural con fibra de carbono se incrementa 7.6 toneladas, por lo que se recomienda efectuar el reforzamiento a través de fibra de carbono. La fibra de carbono presenta una resistencia a la tracción (2000- 4840 MPa) es ampliamente superior respecto a la del acero (420 MPa), el peso específico de la fibra de carbono ($1.54 - 2.75 \text{ gr/cm}^3$) es menor respecto al del acero grado 60 (7.85 gr/cm^3). Asimismo, el cuadro FODA las fortalezas y oportunidades superan ampliamente a fin de efectuar el reforzamiento a través de fibra de carbono a las debilidades y amenazas que ostenta el reforzamiento tradicional mediante acero y concreto.

5.2. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

El Presupuesto y costo del reforzamiento de la losa de concreto armado del tablero del puente sobre el río Mantaro mediante fibra de carbono a través de varillas y mantas en la parte de compresión y mediante platina de fibra de carbono en la parte de flexión asciende a S/ 6,854,804.49. Distribuido en las partidas y subpartidas que a continuación se detallan elaborado mediante el programa S10 - 2005.

PRESUPUESTO					
Presupuesto	0301047	REFORZAMIENTO DE LA LOSA DE CONCRETO ARMADO DEL TABLERO DEL PUENTE SOBRE EL RÍO MANTARO DISTRITOS CHILCA, TRES DE DICIEMBRE, PROVINCIAS DE HUANCAYO, CHUPACA, REGIÓN JUNÍN			
Subpresupuesto	001	SELLADO Y REFORZAMIENTO DE LA LOSA DE CONCRETO ARMADO CON FIBRA DE CARBONO DEL TABLERO DEL PUENTE SOBRE EL RÍO MANTARO DISTRITOS CHILCA, TRES DE DICIEMBRE, ROVINCIAS DE HUANCAYO, CHUPACA, REGIÓN JUNÍN.			
CLIENTE	GOBIERNO REGIONAL JUNÍN			Costo al	20/07/2018
LUGAR	JUNÍN - HUANCAYO – CHILCA				
ITEM	DESCRPCIÓN	UND.	METRADO	PRECIO S/.	PARCIAL S/.
01	SELLADO DE FISURAS PARTE SUPERIOR				2,758.25
01.01	Limpieza de Fisuras con Chorro de Aire.	m ²	55.00	25.58	1,406.90
01.02	Inyección de Fisuras con Resina Epóxica Epojet	m ²	55.00	24.57	1,351.35
02	REFORZAMIENTO DE LOSA PARTE SUPERIOR LONGITUDINAL.				2,655,038.75
02.01	Ranurada de la losa de concreto 2x2 mm	m	14,064.00	41.41	582,390.24
02.02	Limpieza de desechos de concreto	m ³	16.87	10.52	177.47
02.03	Refuerzo con varilla de fibra de carbono Maperod C	m	14,064.00	147.36	2,072,471.04
03	SELLADO DE FISURAS PARTE INFERIOR				1,975.26
03.01	Limpieza con chorro de aire	m ²	42.00	22.46	943.32
03.02	Inyección de Fisuras con Resina Epóxica Epojet	m ²	42.00	24.57	1,031.94
04	REFORZAMIENTO DE LOSA PARTE INFERIOR LONGITUDINAL				2,384,403.00
04.01	Nivelación de Superficie de Adherencia longitudinal.	m ²	180.00	36.00	6,480.00
04.02	Refuerzo con lamina de fibra de carbono Carboplate E-170	m	11,700.00	143.63	1,680,471.00
04.03	Impermeabilización de superficie inferior	m ²	22,800.00	30.59	697,452.00
05	REFORZAMIENTO DE LOSA PARTE SUPERIOR TRANSVERSAL				236,875.97
05.01	Preparación de superficie de adherencia transversal	m ²	633.60	40.45	25,629.12
05.02	Refuerzo con manta MapeWarp B UNI-AX	m ²	633.60	264.63	167,669.57
05.03	Colocado de concreto con aditivos especial reforzado e=10 mm a/c = 5	m ²	144.00	302.62	43,577.28
COSTO DIRECTO					5,281,051.23
GASTOS GENERALES 0.0000 %					
UTILIDAD (10 %)					528,105.12
SUBTOTAL					5,809,156.35
IGV					1,045,648.14
TOTAL DE PRESUPUESTO					6,854,804.49
SON: SEIS MILLONES OCHOCIENTOS CINCUENTICUATRO MIL OCHOCIENTOS CUATRO Y 49/100 NUEVOS SOLES.					

ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
Presupuesto	0301047	REFORZAMIENTO DE LA LOSA DE CONCRETO ARMADO DEL TABLERO DEL PUENTE SOBRE EL RÍO MANTARO DISTRITOS CHILCA, TRES DE DICIEMBRE, PROVINCIAS DE HUANCAYO, CHUPACA, REGIÓN JUNÍN				
Subpresupuesto	001	SELLADO Y REFORZAMIENTO DE LA LOSA DE CONCRETO ARMADO CON FIBRA DE CARBONO DEL TABLERO DEL PUENTE SOBRE EL RÍO MANTARO DISTRITOS CHILCA, TRES DE DICIEMBRE, PROVINCIAS DE HUANCAYO, CHUPACA, REGIÓN JUNÍN				
SELLADO DE FISURAS PARTE SUPERIOR						
Partida	01.01	LIMPIEZA DE FISURA CON CHORRO DE AIRE.				
Rendimiento	m2/DIA	MO 2000	EQ 2000	Costo unitario directo por : m²		25.58
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0147010001	Capataz	HH	0.1000	0.0004	25.39	0.01
0147010002	Operario	HH	1.0000	0.0040	19.53	0.08
0147010004	Peón	HH	3.0000	0.0120	14.44	0.17
						0.26
	Materiales					
0201010015	Petróleo Diésel	Gln		2.0000	12.50	25.00
						25.00
	Equipos					
0349010031	Compresora	Hm	1.0000	0.0040	80.00	0.32
						0.32
Partida	01.02	INYECCIÓN DE FISURA CON RESINA EPÓXICA EPOJET				
Rendimiento	m²/DÍA	MO 500	EQ 500	Costo unitario directo por : m²		24.57
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0147010001	Capataz	HH	0.1000	0.0016	25.39	0.04
0147010002	Operario	HH	1.0000	0.0160	19.53	0.31
0147010004	Peón	HH	3.0000	0.0480	14.44	0.69
						1.04
	Materiales					
0205360007	Gravilla	Kg		0.0150	8.00	0.12
0230100006	Boquillas de cobre	Und.		5.0000	2.50	12.50
0230130024	Adhesivo Epojet	GLB		0.1250	87.00	10.88
						23.50
	Equipos					
0348820001	Bomba Manual	%MO		3.0000	1.04	0.03
						0.03

REFORZAMIENTO DE LOSA PARTE SUPERIOR LONGITUDINAL									
Partida	02.01	RANURADO DE LA LOSA DE CONCRETO 20X20 mm							
Rendimiento	m/DIA	MO 800	EQ 800	Costo unitario directo por : m		41.41			
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
	Mano de Obra								
0147010001	Capataz		HH	0.1000	0.0010	25.39	0.03		
0147010002	Operario		HH	2.0000	0.0200	19.53	0.39		
0147010004	Peón		HH	20.0000	0.2000	14.44	2.89		
							3.31		
	Materiales								
0234010055	Gasolina 90 Octanos		GLB		1.7500	15.20	26.60		
							26.60		
	Equipos.								
0337010001	Herramientas manuales		%MO		3.0000	3.31	0.10		
0337030019	Cortadora de concreto		Hm	4.0000	0.0400	90.00	3.60		
0337990100	Aspiradora		Hm	4.0000	0.0400	145.00	5.80		
0349900013	Taladro eléctrico.		Hm	4.0000	0.0400	50.00	2.00		
							11.50		
Partida	02.02	LIMPIEZA DE DESECHO DE CONCRETO							
Rendimiento	m³/DIA	MO 500	EQ 500	Costo unitario directo por : m³		10.52			
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
	Mano de Obra								
0147010001	Capataz.		HH	0.1000	0.0016	25.39	0.04		
147010004	Peón.		HH	2.0000	0.0320	14.44	0.46		
							0.50		
	Materiales								
0230990102	Escobas de nylon		Und.		2.0000	5.00	10.00		
							10.00		
	Equipos								
0337010001	Herramientas manuales		%MO		3.0000	0.50	0.02		
							0.02		
Partida	02.03	REFUERZO CON VARILLA DE FIBRA DE CARBONO MAPAECORD C							
Rendimiento	m/DIA	MO 1000	EQ 1000	Costo unitario directo por : m		147.36			
Código	Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.		
	Mano de Obra								
0147010001	Capataz		HH	0.1000	0.0008	25.39	0.02		

0147010002	Operario	HH	1.0000	0.0080	19.53	0.16
0147010004	Peón	HH	30.0000	0.2400	14.44	3.47
						3.65
	Materiales					
0230130022	Adhesivo Adesilex	GLB		0.0156	87.50	1.37
0230130023	Adhesivo MapeWrap 11	GLB		0.0156	75.54	1.18
0230130025	Mortero de cementicio planicrete UA	m ³		0.1500	15.40	2.31
0268030012	Varilla de Maperod C 12mm, 6m	M		1.0000	138.74	138.74
						143.60
	Equipos					
0337010001	Herramientas manuales	%MO		3.0000	3.65	0.11
						0.11
SELLADO DE FISURAS PARTE INFERIOR						
Partida	03.01	LIMPIEZA CON CHORRO DE AIRE				
Rendimiento	m²/DIA	MO 2000	EQ 2000	Costo unitario directo por : m²		22.46
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0147010001	Capataz	HH	0.1000	0.0004	25.39	0.01
0147010002	Operario	HH	1.0000	0.0040	19.53	0.08
0147010004	Peón	HH	3.0000	0.0120	14.44	0.17
						0.26
	Materiales					
0201010015	Petróleo Diésel	Gln.		1.7500	12.50	21.88
						21.88
	Equipos					
0349010031	Compresora	HM.	1.0000	0.0040	80.00	0.32
						0.32
Partida	03.02	INYECCIÓN DE FISURAS CON RESINA EPÓXICA EPOJET				
Rendimiento	m²/DIA	MO 500	EQ 500	Costo unitario directo por : m²		24.57
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0147010001	Capataz	HH.	0.1000	0.0016	25.39	0.04
0147010002	Operario	HH.	1.0000	0.0160	19.53	0.31
0147010004	Peón	HH.	3.0000	0.0480	14.44	0.69
						1.04

Materiales						
0205360007	Gravilla	Kg		0.0150	8.00	0.12
0230100006	Boquillas de cobre	Und.		5.0000	2.50	12.50
0230130024	Adhesivo Epojet	GLB		0.1250	87.00	10.88
						23.50
Equipos						
0348820001	Bomba Manual	%MO		3.0000	1.04	0.03
						0.03
REFORZAMIENTO DE LOSA PARTE INFERIOR LONGITUDINAL						
Partida	04.01 NIVELACIÓN DE SUPERFICIE					
Rendimiento	m ² /DIA	MO 800	EQ 800	Costo unitario directo por : m ²		36.00
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0147010001	Capataz	HH	0.1000	0.0010	25.39	0.03
0147010002	Operario	HH	3.0000	0.0300	19.53	0.59
0147010004	Peón	HH	9.0000	0.0900	14.44	1.30
						1.92
	Materiales					
0230130026	Planitop X	Bolsas		0.8000	37.80	30.24
0239050102	Agua	Lt.		0.0130	2.50	0.03
						30.27
	Equipos					
0337010001	Herramientas Manuales	%MO		3.0000	1.92	0.06
	Demolidor Hilton	HM.	2.0000	0.0200	75.00	1.50
0337520089	Amoladoras	HM.	2.0000	0.0200	75.00	1.50
0348210064	Máquina Soldadora	HM.	1.0000	0.0100	75.00	0.75
						3.81
Partida	04.02 REFUERZO CON LÁMINA DE FIBRA DE CARBONO CARBOPLATE E-170					
Rendimiento	m/DIA	MO 1000	EQ 1000	Costo unitario directo por : m		143.63
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0147010001	Capataz	HH	0.1000	0.0008	25.39	0.02
0147010002	Operario	HH	3.0000	0.0240	19.53	0.47
0147010004	Peón	HH	9.0000	0.0720	14.44	1.04
						1.53

Materiales						
0230130027	Adesilex PG 1	GLB		0.0156	87.54	1.37
0230130028	Fibra Carboplate E170	M		1.0000	139.50	139.50
0239020107	MapeWrap 1	GLB		0.0156	75.54	1.18
						142.05
Equipos						
0337010001	Herramientas Manuales	%MO		3.0000	1.53	0.05
						0.05
Partida	04.03	IMPERMEABILIZACIÓN DE SUPERFICIE INFERIOR				
Rendimiento	m²/DIA	MO 500	EQ 500	Costo unitario directo por : m²		30.59
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0147010001	Capataz	HH	0.1000	0.0016	25.39	0.04
0147010002	Operario	HH	3.0000	0.0480	19.53	0.94
0147010004	Peón	HH	9.0000	0.1440	14.44	2.08
						3.06
	Materiales					
0239020108	Mapelastic Smart	GLB		0.1250	69.50	8.69
						8.69
	Equipos					
0337010001	Herramientas manuales	%MO		3.0000	3.06	0.09
0348090012	Andamios de Piso	Und.		75.0000	0.25	18.75
						18.84
REFORZAMIENTO DE LOSA PARTE SUPERIOR TRANSVERSAL						
Partida	05.01	PREPARACIÓN DE SUPERFICIE DE ADHERENCIA TRANSVERSAL				
Rendimiento	m²/DIA	MO 600	EQ 600	Costo unitario directo por : m²		40.45
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0147010001	Capataz	HH.	0.1000	0.0013	25.39	0.03
0147010002	Operario	HH.	3.0000	0.0400	19.53	0.78
0147010004	Peón	HH.	9.0000	0.1200	14.44	1.73
						2.54
	Materiales					
0230130026	Planitop X	BOL		1.0000	37.80	37.80
0239050102	Agua	Lt		0.0130	2.50	0.03
						37.83

	Equipos					
0337010001	Herramientas Manuales	%MO		3.0000	2.54	0.08
						0.08
Partida	05.02	REFUERZO CON MANTA MAPEWARP B UNI-AX				
Rendimiento	m²/DIA	MO 1000	EQ 1000	Costo unitario directo por : m²	264.63	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0147010001	Capataz	HH	0.1000	0.0008	25.39	0.02
0147010002	Operario	HH	3.0000	0.0240	19.53	0.47
0147010004	Peón	HH	9.0000	0.0720	14.44	1.04
						1.53
	Materiales					
0230130029	Adesilex	GLB		0.0156	87.50	1.37
0239020109	Fibra MapeWrap B UNI-AX	m²		1.0000	260.50	260.50
0239020110	MapeWrap 11	GLB		0.0156	75.54	1.18
						263.05
	Equipos					
0337010001	Herramientas manuales	%MO		3.0000	1.53	0.05
						0.05
Partida	05.03	COLOCADO DE CONCRETO CON ADITIVOS ESPECIALES REFORZADO e= 10 mm a/c = 5				
Rendimiento	m²/DIA	MO 600	EQ 600	Costo unitario directo por : m²	302.62	
Código	Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
	Mano de Obra					
0147010001	Capataz	HH	0.1000	0.0013	25.39	0.03
0147010002	Operario	HH	3.0000	0.0400	19.53	0.78
0147010004	Peón	HH	9.0000	0.1200	14.44	1.73
						2.54
	Materiales					
0221990042	Concreto Hidráulico	m³		1.0000	300.00	300.00
						300.00
	Equipos					
0337010001	Herramientas manuales	%MO		3.0000	2.54	0.08
						0.08

5.3. BENEFICIOS QUE APORTA LA PROPUESTA

El costo beneficio que aporta la propuesta del reforzamiento de la losa de concreto armado del tablero del puente sobre el río Mantaro en los distritos de Chilca y Tres de Diciembre de las Provincias de Huancayo y Chupaca mediante reforzamiento con varilla, platina, manta de fibra de carbono se determina a través de la evaluación económica de dicha partida, calculando los parámetros del valor actual neto y de la tasa de interés de retorno.

De acuerdo con el cuadro de cálculo del VAN y TIR para esta actividad, resulta que el VAN es de 20 millones de soles positivo la cual indica que el proyecto es rentable. Asimismo el valor de TIR resulta 31 % de tasa de interés de retorno, factores que satisfacen efectuar la partida reforzamiento de la losa de concreto armado del tablero del puentes sobre el río Mantaro de los distritos de Chilca, Tres de Diciembre Provincias de Huancayo y Chupaca Región Junín.

5.3.1. Costos de Proyecto

Para condiciones “Sin Proyecto” se considera una situación en no realizar ninguna intervención que mejore la Transitabilidad y defectos en la vía. Se evita que la vía siga deteriorándose haciendo mantenimientos que logren el estado actual sin mejorarla. Los costos de mantenimiento son los precios financieros o del mercado. El costo social de mantenimiento se logra a través de factores de corrección estimados por el ex SNIP (hoy Invierte Perú), 0.79 para inversión, 0.75 para mantenimiento y costos de operación vehicular. Por lo tanto en este estudio económico en situación Sin Proyecto los costos de mantenimiento son

exclusivamente para el mantener la vía, no de soluciones a la superficie de rodadura.

Los costos de inversión inicial, son los costos directos y los costos indirectos de la ejecución del reforzamiento de la losa. Los gastos de mantenimiento garantizan la continuidad de servicios durante la vida útil del proyecto, están son rutinarias y periódicas, el rutinario cada año y el periódico cada 5, 10 o 20 años, en este caso para cinco años, el rutinario da la operatividad de la vía, el periódico devolverá a la vía el material perdido por el uso.

Los costos incrementales se obtienen de la diferencia entre los costos de inversión y de mantenimiento de la situación con proyecto y la situación sin proyecto.

Para efectuar los cálculos se ha utilizado costos de correspondientes a combustibles, neumáticos, lubricantes, vehículos publicados por el MTC para efectos del estudio de pre inversión.

Según Provías Nacional del Ministerio de Transporte y Comunicación el Mantenimiento Situación "Sin Proyecto", el costo por mantenimiento rutinario es de US\$ 600/ml por año y el mantenimiento periódico que se realiza cada 5 años es de US\$ 2,500/ml por año.

La recuperación de monto invertido es en los cuatro primeros años y las utilidades se proyectan a partir del primer trimestre del cuarto año. Con una rentabilidad de un valor actual neto de 19.51 millones en 20 años y una tasa de interés de retorno de 40.86 %, como se detalla en la tabla N° 39.

CÁLCULO DE VAN Y TIR													
REFORZAMIENTO DE LA LOSA DE CONCRETO ARMADO DEL TABLERO DEL PUENTE SOBRE EL RÍO MANTARO DISTRITOS DE CHILCA Y TRES DE DICIEMBRE, PROVINCIA													
PARTIDA: HUANCAYO Y CHUPACA													
FLUJO DE COSTOS					CÁLCULO DE PARAMETROS PARA LA OTENCION DEL VAN Y EL TIR								
AÑO n	SITUACIÓN SIN PROYECTO MANTENIMEN TO	SITUACIÓN CON PROYECTO MANTENIMIENTO	FLUJO DE COSTOS INCREMENTALES	FLUJO DE COSTOS INCREMENTAL ES SOCIALES (FIS)	FLUJO DE BENEFICIO (FB)	FLUJO DE COSTOS SOCIALES (FS)	FLUJO NETO (FN)	(1+i) ⁿ	FN/(1+i) ⁿ	AL 40 % (1+0.40) ⁿ	FN/(1+0.40) ⁿ	AL 45 % (1+0.45) ⁿ	FN/(1+0.3) ⁿ
INVERSION →	6854804		6,854,804.49	5,415,295.55									
0	9,576.00	36,292.08	26,716.08	20,037.06	0.00	36,292.08	-36,292.08	1.10	-32,992.80	1.00	-36,292.08	1.00	-36292.08
1	9,576.00	36,292.08	26,716.08	20,037.06	2,500,000.00	36,292.08	2,463,707.92	1.10	2,239,734.47	1.40	1,759,791.37	1.45	1699108.91
2	9,576.00	36,292.08	26,716.08	20,037.06	3,200,000.00	36,292.08	3,163,707.92	1.21	2,614,634.64	1.96	1,614,136.69	2.10	1504736.228
3	9,576.00	36,292.08	26,716.08	20,037.06	3,200,000.00	36,292.08	3,163,707.92	1.33	2,376,940.59	2.74	1,152,954.78	3.05	1037749.123
4	39,900.00	212,449.18	172,549.18	129,411.89	3,200,000.00	212,449.18	2,987,550.82	1.46	2,040,537.41	3.84	777,683.99	4.42	675839.0671
5	9,576.00	36,292.08	26,716.08	20,037.06	3,200,000.00	36,292.08	3,163,707.92	1.61	1,964,413.71	5.38	588,242.24	6.41	493578.6554
6	9,576.00	36,292.08	26,716.08	20,037.06	3,200,000.00	36,292.08	3,163,707.92	1.77	1,785,830.64	7.53	420,173.03	9.29	340399.0727
7	9,576.00	36,292.08	26,716.08	20,037.06	3,200,000.00	36,292.08	3,163,707.92	1.95	1,623,482.40	10.54	300,123.59	13.48	234757.9812
8	9,576.00	36,292.08	26,716.08	20,037.06	3,200,000.00	36,292.08	3,163,707.92	2.14	1,475,893.09	14.76	214,373.99	19.54	161902.056
9	39,900.00	212,449.18	172,549.18	129,411.89	3,200,000.00	212,449.18	2,987,550.82	2.36	1,267,013.19	20.66	144,598.23	28.33	105439.4863
10	9,576.00	36,292.08	26,716.08	20,037.06	3,200,000.00	36,292.08	3,163,707.92	2.59	1,219,746.36	28.93	109,374.49	41.08	77004.54505
11	9,576.00	36,292.08	26,716.08	20,037.06	3,200,000.00	36,292.08	3,163,707.92	2.85	1,108,860.33	40.50	78,124.63	59.57	53106.5828
12	9,576.00	36,292.08	26,716.08	20,037.06	3,200,000.00	36,292.08	3,163,707.92	3.14	1,008,054.84	56.69	55,803.31	86.38	36625.22951
13	9,576.00	36,292.08	26,716.08	20,037.06	3,500,000.00	36,292.08	3,463,707.92	3.45	1,003,312.81	79.37	43,639.20	125.25	27653.95384
14	39,900.00	212,449.18	172,549.18	129,411.89	3,800,000.00	212,449.18	3,587,550.82	3.80	944,714.26	111.12	32,285.35	181.62	19753.58978
15	9,576.00	36,292.08	26,716.08	20,037.06	3,800,000.00	36,292.08	3,763,707.92	4.18	901,001.75	155.57	24,193.31	263.34	14292.09451
16	9,576.00	36,292.08	26,716.08	20,037.06	3,800,000.00	36,292.08	3,763,707.92	4.59	819,092.50	217.80	17,280.94	381.85	9856.616903
17	9,576.00	36,292.08	26,716.08	20,037.06	3,800,000.00	36,292.08	3,763,707.92	5.05	744,629.55	304.91	12,343.53	553.68	6797.66683
18	9,576.00	36,292.08	26,716.08	20,037.06	3,800,000.00	36,292.08	3,763,707.92	5.56	676,935.95	426.88	8,816.81	802.83	4688.04609
19	39,900.00	212,449.18	172,549.18	129,411.89	3,800,000.00	212,449.18	3,587,550.82	6.12	586,593.23	597.63	6,002.96	1,164.10	3081.811131

AÑO n	SITUACIÓN SIN PROYECTO MANTENIMIENTO	SITUACIÓN CON PROYECTO MANTENIMIENTO	FLUJO DE COSTOS INCREMENTALES	FLUJO DE COSTOS INCREMENTALES SOCIALES (FIS)	FLUJO DE BENEFICIO (FB)	FLUJO DE COSTOS SOCIALES (FS)	FLUJO NETO (FN)	(1+i) ⁿ	FN/(1+i) ⁿ	AL 30 % (1+0.3) ⁿ	FN/(1+0.40) ⁿ	AL 35 % (1+0.35) ⁿ	FN/(1+0.3) ⁿ
								Σ	26,368,428.92	Σ	7,323,650.36	Σ	6470078.637
INVERSIÓN	6,854,804.4												
	9												
	26,368,428.												
Σ (1+i) ⁿ	92												
VAN	19,513,624.												
	43												
$VAN = -FCI + \sum_{n=1}^{n=20} \frac{FN}{(1+i)^n} = - 6,854,804 .49 + 26,368,428.92 \rightarrow VAN = 19,513,624.43$													
$\frac{40-45}{468,845.87+384,725.85} = \frac{40-TIR}{468,845.87-0} = \frac{-10}{431611.72} = \frac{30-TIR}{468845.87} = 30 - TIR = -10.8626 \rightarrow TIR = 40.8626 \%$													

TABLA 39 Calculo del VAN y TIR del Reforzamiento Estructural de la Losa de Concreto Armado. Fuente propia

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Fisuras.

- Las fisuras de la losa de concreto del tablero del puente sobre el Río Mantaro se ha producido por retracción, movimientos espontáneos cambios volumétricos, cambios térmicos, ocurridos debido a la posición de los conectores tipo Nelson soldados en los perfiles longitudinales y transversales, provocaron tensión en el concreto y contracción en los perfiles, la tensión supera la resistencia de los aceros de refuerzo de la losa de concreto, fisurándose e incrementándose por la falta de cuantía de acero de refuerzo.
- Las fisuras en la losa varían en longitudes 10 cm a 7.6 m, los espesores fluctúan ente 0.1 mm a 1.4 mm y profundidad hasta 2 cm, se manifiestan de forma transversal en un 100 % en los dos tramos laterales (70 m) y en el tramo central (160 m) el 80 % presenta fisuras transversales y 2 % de manera longitudinal al eje neutro del puente, las fisuras orientadas de forma transversal corresponde a la generada por cargas de tensión, las fisuras

longitudinales nos indica que se origina por cargas de compresión, no se presenta fisuras de esfuerzos de, flexión, flexo compresión.

- El ancho de las fisuras en la losa de concreto varia de 0.1 mm a 1.6 mm e indica la magnitud de la tensión que sufrió el concreto en los puntos donde aparece la fisura, a mayor ancho mayor fue la tensión, fisuras que se encuentra expuesto al aire libre mayores a 0.41mm han sido selladas por presentar manifestaciones patológica que afectarían el funcionamiento de la estructura y dañarían el acero de refuerzo a acciones medio ambientales antes de proceder a reforzarla la losa para mejorar su resistencia estructural.

Modelación de la Losa Fisurada

- El esfuerzo solicitado de la losa fisurada $F_r = 1061 \text{ kN/m}$, es superior al esfuerzo de tracción por unidad lineal que soporta la losa $F = 742.5 \text{ kN/m}$. Asimismo la tensión media en los aceros de refuerzo a las cargas solicitadas según modelamiento $\sigma = 599.2 \text{ MPa}$, es superior a la tensión de ruptura del acero de refuerzo $f_y 420 \text{ MPa}$ por lo que se fisuró la losa.

Reforzamiento Estructural.

- El reforzamiento estructural de la losa mediante fibra de carbono es la metodología eficaz para efectuar el reforzamiento estructural para una longitud apreciable de 300 m por presentar la fibra de carbono mejores condiciones de ductilidad, resistencia, peso ligero, acondicionamiento a la geometría de la superficie y fácil trabajabilidad para su instalación, que otro material o el acero
- La demolición de la losa fisura para su renovación, causaría problemas y averías estructurales en los componentes adyacentes, cables, pilones y los

perfiles del acero base del tablero, destensado los torontos, perdida de soporte en los anclajes, desequilibrio de los piones y/o presencia de resonancia haría que colapse el puente.

Adhesivo.

- Epojet es un reactivo epoxi policondensada que reacciona de manera lenta permitiendo la trabajabilidad, a incremento paulatino y continuo, conformado por dos componentes, uno es resina y otro es un endurecedor que al mezclarse superan a la resistencia a la adhesión mínima, a la temperatura de deflexión por calor, a la resistencia a la fluencia, al módulo de compresión, a la resistencia a la tensión y a la elongación de ruptura, a los valores recomendados en la norma del ASTM C 881 para adhesivos para sellado de fisuras en concreto, su viscosidad es ligera de 380 cps.
- Los adhesivos compuestos MapeWrap1, MapeWarp11 y Adesilex adhesivos para encolados estructurales y estucos cumplen con la norma y ASTM D638 tensión de ruptura, ASTM C579 tensión de elongación.

Fibra de Carbono

- Las fibras de carbono, varilla Maperod C , lámina de Carboplate E 170, tejido MapeWarp B UNI-AX tienen baja densidad con valores de 19.20 %, 20.51 %, 35.03 % de la densidad del acero de refuerzo grado 60, siendo muy ligero y propicio para adherir al concreto, incrementando el peso de manera mínima respecto al hormigón y al acero.
- La resistencia a la tracción de las fibras de carbono, varilla Maperod C es 4.8 veces, de la platina Carboplate E 170 es 7.4 veces y el tejido MapeWarp B UNI AX es de 11.52 veces, la resistencia del acero de refuerzo grado 60,

demostrando que al adherir estas fibras de carbono al concreto de la losa mejora considerablemente la resistencia estructural.

- El 79.03 %, 86.67 % y el 45 % del módulo elástico del acero grado 60, corresponde a la varilla Maperod C, a la lámina Carboplate E 170 y al tejido MapeWarp B UNI AX, valores que indican la resistencia a la deformación, estos valores de la varilla y la lámina se ubican más cerca al del acero, que al ser instalados en áreas solicitadas levanta y mejora la resistencia a la tracción con poco peso y de fácil instalación. El tejido MapeWarp B diseñado exclusivamente para reforzamiento para confinamiento a la compresión.
- Respecto al módulo de elasticidad, el porcentaje de deformación a la ruptura y resistencia a la tracción, la varilla Maperod C, la lámina de Carboplate E 170 supera los valores recomendados por la norma ACI 440 2R-08 Guía y Construcción con Sistema FRP para el fortalecimiento de Estructuras de Hormigón
- El tejido MapeWarp B-UNI AX cumple las normas del FIB Task Group 9.3 fibras de refuerzo, supera el porcentaje de rotura de deformación y supera la resistencia a la tracción del acero en 11.5 veces.

Ensayo de Probetas.

- La probetas VR3 reforzadas con varilla Maperod C, lámina Carboplate y tejido MapeWrap B UNI-AX, presentó resistencia a la rotura de 3.4 veces el valor de rotura de la probeta VS2 sin reforzamiento y 1.5 veces más resistente a la carga de rotura y resistencia a la flexión de la probeta VR1 reforzada con varillas Maperod C y láminas Carboplate E 170 y 1.21 veces más resistente al valor de la carga de rotura y resistencia a la flexión probeta VR2 reforzada

con varillas Maperod C y lámina Carboplate E 170. La probetas VR2 superó a la probeta VR1 en resistencia a la carga de rotura y resistencia de flexión en 1.23 veces, en 2.8 veces a la probeta VS2 y excedió a VR1 en 1.23 veces la resistencia a la flexión. La probeta VR1 rebasó en valor a la probeta sin reforzamiento VS2 en 2.3 veces la resistencia a la carga de rotura. Lo que demuestra que el concreto reforzado con fibras de carbono supera la resistencia estructural de un elemento de concreto o concreto estructural en la zona donde se instala la fibra de carbono, lo que demuestra que la elección del reforzamiento estructural mediante fibras de carbono es correcta y eficiente para la losa del puente.

- Las orientación de las fisuras se originaron en la zona de tensión ascendieron de forma vertical y se inclinan oblicuamente hasta la zona de compresión sin alcanzar la zona reforzado con varillas de Maperod C en la parte superior de la cara de la probeta, la lámina de Carboplate adherido en la parte inferior de la probeta se desprende desde un extremo y se extiende horizontal hacia la zona donde se aplica la carga, en la probeta VR3 el desprendimiento de la platina estuvo añadido con desprendimiento de concreto, el desprendimiento de la platina de la probeta VR2 ha presentado pequeños desgarros en la arista unión sustrato adhesivo platina, más no así en la probeta VR1. El desprendimiento de las platinas se inició por el desplazamiento relativo lámina, adhesivo y sustrato hasta desprenderse. Siendo necesario aplicar los adhesivos en cantidad dentro de los espacios señalados y verificar los controles respectivos dentro del proceso constructivo.

- Las varillas de Maperod C no se han desprendido del concreto en las tres pruebas de ensayo manteniéndose intactos e inquebrantable, demostrando buen trabajo a los esfuerzos solicitados al trabajar anclado al concreto, asimismo el tejido en VR3 no se ha desprendido pero si presento fisura en la parte lateral de la probeta demostrado resistencia a las fuerzas de corte y compresión.
- El esfuerzo solicitado, luego del sellado de fisuras y del reforzamiento de la losa mediante varillas, platinas y manta de fibra de carbono resulta, $\sigma_f = -1179.48 \frac{kN}{m^2}$ y el esfuerzo de tracción del concreto inicial cuando la losa esta fisurada fue de $f_r = 0.62 \sqrt{f'c} = 0.62 \sqrt{28} = 3.2807 MPa = 3280.7 \frac{kN}{m^2}$. Por tanto

$f_r = 3280.7 \frac{kN}{m^2} > \sigma_f = 1179.48 \frac{kN}{m^2}$. El esfuerzo de resistencia a la tracción del concreto es superior al esfuerzo de tracción, lo que indica que el concreto no podrá fisurarse y resistirá a los esfuerzos solicitados.
- En la instalación de las varillas, las láminas y el tejido en la losa de concreto armado del puente se ha utilizado mano de obra técnicamente especializado y calificado, se ha usado los adhesivos en las cantidades y en las proporciones recomendaciones por el fabricante y los informes técnicos de instalación, asimismo se han ejecutado las pruebas de calidad según los protocolos del proceso constructivo.
- Se reduce el incremento de peso de la losa al reforzar mediante fibra de carbono respecto a al reforzamiento tradicional cemento – acero.

- El valor actual neto y la tasa de interés de retorno de la evaluación costo beneficio determino la rentabilidad del reforzamiento mediante fibra de carbono VAN = 19,513,624.23 y TIR = 40.86 %

RECOMENDACIONES.

- El expediente técnico de obra deberá ser evaluada de manera detallada por el residente de obra y supervisor a fin de detectar errores en el diseño de los elementos estructurales con el objetivo de que sea modificado antes de la ejecución, la losa de concreto armado del puente sobre el río Mantaro fue mal diseñado por lo que fue necesario efectuar el reforzamiento estructural.
- La elección del adhesivo para sellar las fisuras, de las varillas, las láminas, el tejido de fibra de carbono debe ser bajo evaluación de sus características y propiedades que sean igual o superen las recomendadas de la norma internacional reconocida, asimismo deben corresponder a un solo lote de fabricación y pertenecer a una sola marca a fin de que la compatibilidad de los elementos a adherir al sustrato sea eficiente.
- La ejecución del sellado de fisuras y la instalación de la fibra de carbono deberá estar a cargo de personal técnico y profesional altamente calificado y tener la experiencia del caso, toda vez que el procedimiento de instalación sea perfecta tal como detallan los protocolos de control.
- Utilizar la fibra de carbón y los adhesivos de la misma marca, toda vez que los fabricantes dentro de las pruebas de laboratorio ya han determinado según pruebas las propiedades de adhesión fibra sustrato respectivamente y no usar fibra y adhesivo de marcas diferentes que los resultados de adherencia no se conocen.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo Laos, V. (2015). *Tesis Diseño de un Puente con Estructura de Acero, para optar el título de Ingeniero Civil*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.

Beltrán Riveros, A. (2011). *Uso de Fibras de Carbono como Reforzamiento a Flexión en Vigas de Concreto Reforzado, para optar el título de Ingeniero Civil*, Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia.

Carrión Viramontes, F., Hernández Jiménez, J. y Terán Guillén, J. (2005). *Estudio Experimental de un Puente Atirantado. Evaluación de Cables*. Publicación Técnica N° 265, Instituto Mexicano del Transporte.

Consejo Nacional Italiano de Investigación (2015) *CNR-DT-200R1/2014 Guía para el Diseño y Construcción de Sistemas FRP Pegados Externamente para el Reforzamiento de Estructuras Existentes*. Italia.

Contreras Rincón, J. (2011). *Tesis Uso de fibras de Carbono como Reforzamiento a Corte en Vigas de Concreto Reforzado, para optar Título de Ing. Civil*. Universidad La Salle. Bogotá, Colombia.

De los Ángeles Liévano, M. y Gutiérrez Torres, A. (2011). *Tesis, Caracterización de Fisuras en Vigas de Concreto Reforzado con Adición de Fibras de Polipropileno Sometidas a Flexión Dinámica, para optar el título de Ingeniero Civil*. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia.

Flores Tantaleán, L. (s.f.). *Fibras de Carbono Reforzamiento de Estructuras*. Gerencia de Fibrawrap Construcción Perú SAC.

Gonzales Cueva, R. (1995). *Aspectos Fundamentales del Concreto Armado*. Tercera Edición, México. Editorial Limusa.

Harmsen, T. (2002). *Diseño de Estructuras de Concreto Armado*. Tercera Edición. Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Ibáñez López, C. (2013). *Tesis Diseño del reforzamiento para la reparación o aumento de capacidad de carga de viga para puentes de concreto reforzado utilizando fibra de carbono, para optar el Título de Ingeniero Civil*. Universidad de San Carlos de Guatemala.

León García, I. (2009) *Tesis, Modelación de la Construcción por etapas de un Puente Atirantado en doble Voladizo, para optar el grado de Maestro en Ingeniería*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Madrid, M. (s.f.). *Tecnología de la Adhesión*. Departamento Técnico de Loctite, España.

Manzano Suárez, E., Pérez Nolivos, R. (2012). *Tesis, Análisis y Diseño de Puente Atirantado, Ubicado en la Provincia de Esmeraldas sobre el Río Atacames, para optar el Título de Ingeniero Civil*, Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.

Munizaga, A. y Román, G. (2009). *Tesis Fisuración por Retracción en Hormigones: Influencia del Tipo de Cemento, para optar título de Ingeniero Civil*, Universidad de Chile.

Ojeda, M. (2014). *Tecnología de los plásticos*. Blog Tecnología de los Plásticos.

Ottazzi Pasino, G. (2004). *Tesis Material de apoyo para la enseñanza de los cursos de diseño y comportamiento del concreto armado, para optar el grado*

académico de Magister en Ingeniería Civil. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima.

Oyarzabal Schroeder, C. (s.f.) *Fisuración del Hormigón Causa, Diagnostico y Control.* Departamento Técnico – Comercial Financiera y Minería Italia. Italcementi Group.

Peña Ramos, C. y Mo Ehsani (2008). *Uso de Telas Poliméricas Reforzadas con Fibra (FRP) para la Rehabilitación y Refuerzo de Infraestructura y Edificaciones.* XVI Congreso Nacional de ingeniería Estructural. Veracruz, México.

Poveda Martínez, S. (s.f.). *Lecturas Complementarias Material Compuesto.* Open Course Ware. Madrid, España.

Proaño Tataje, L. (2011) *Tesis Comportamiento de Vigas de Concreto Armado Reforzadas externamente con Platinas de Fibra de Carbono, para optar el grado de Maestro en Ciencias con mención en Ingeniería Estructural,* Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú.

Ramírez V., M. *Diseño de Materiales Compuestos y Aplicación en Estructuras y Geotecnia.* ISSN 2346-4119.

Sánchez de Guzmán, D. (2002) *Durabilidad y Patología del Concreto.* Instituto Concreto Asocreto.

Sika Colombia S.A.S *Rehabilitación Fisuras en el Concreto Reforzado.*

Tolosa Salazar, L. (2005). *Tesis Recuperación de Estructuras de Hormigón en Base a CFRP (Polímeros Reforzados con Fibras de Carbono) para optar el Título de Ingeniero Constructor.* Universidad Austral de Chile.

Valles Pla, P. (2013-2014) *Estudio Comparativo entre Barra Corrugada de Acero y de Basalto para su uso en edificación*. Trabajo Fin de Grado. Universidad Politécnica de Valencia.

Vidaud, E. (2013). *Fisuras en el Concreto. Construcción y Tecnología en Concreto Construcción y Tecnología en Concreto..*

Boletín 1 de RAP E 706 ACI.

ACI. (s.f.) *Informe Comité ACI 224 Causas, Evaluación y Reparación de fisuras en estructuras de Hormigón. ACI 224.1R-93.*

AASHTO. (2005). *Método AASHTO 93 Para el Diseño de Pavimentos Rígidos.*

ACI. (2008) *Norma ACI 440-2008.*

ACI. *Norma ACI 224R-01. Control de Fisuración en Estructuras de Hormigón.*

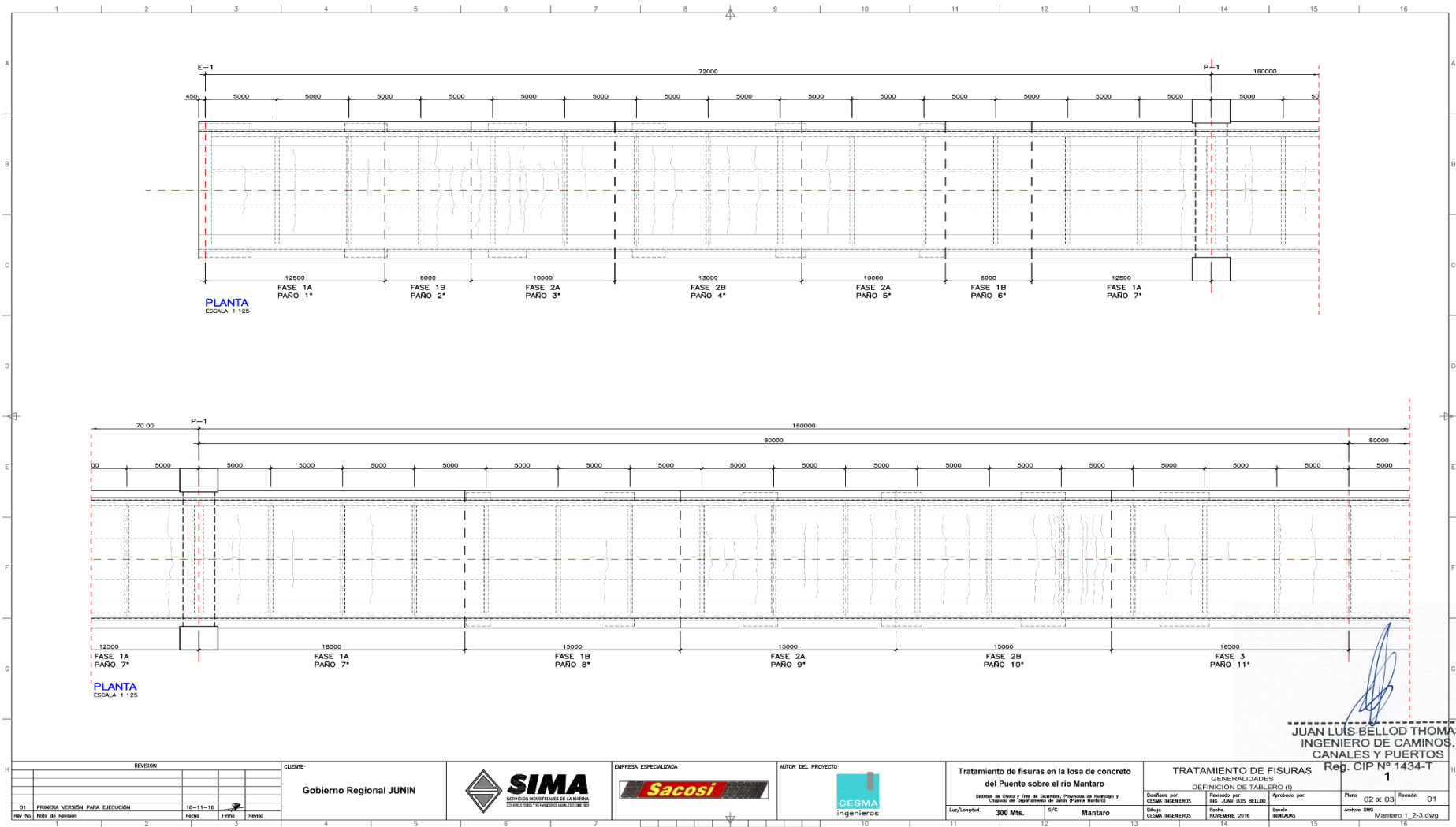
ACI. *Norma ACI 562..*

CIP. *NRMCA CIP 4- El Concreto en la Práctica Agrietamiento de las superficies de concreto.*

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.. *Reglamento Nacional de Edificaciones E 30.*

ANEXOS

ANEXO N° 1
PLANOS DE FISURAS.



JUAN LUIS BELLOD THOMAS
 INGENIERO DE CAMINOS,
 CANALES Y PUERTOS

Reg. CIP N° 1434-T
 1

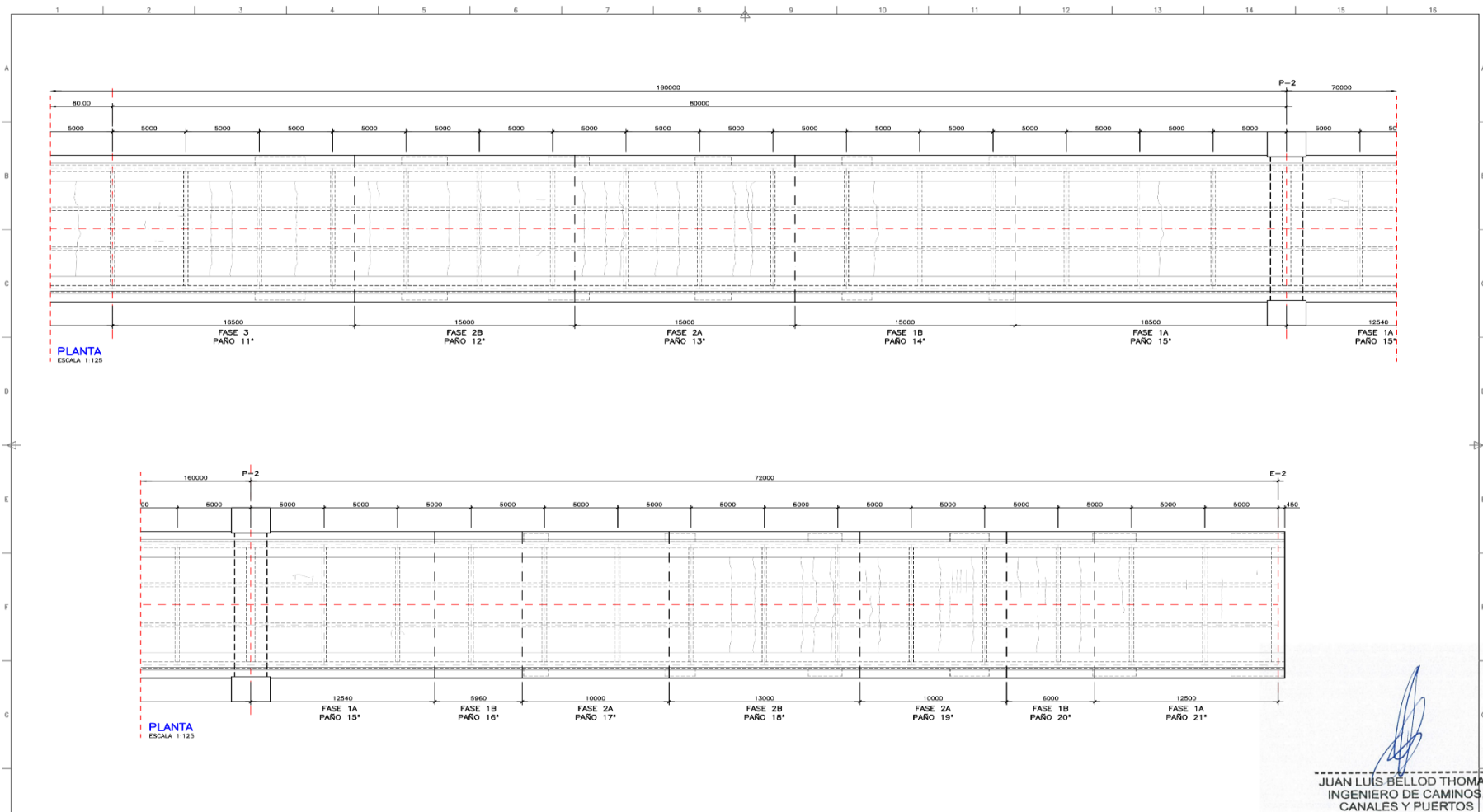
REVISION	
01	PRIMERA VERSION PARA EJECUCION
Rev No	Nota de Revision


CLIENTE
Gobierno Regional JUNIN



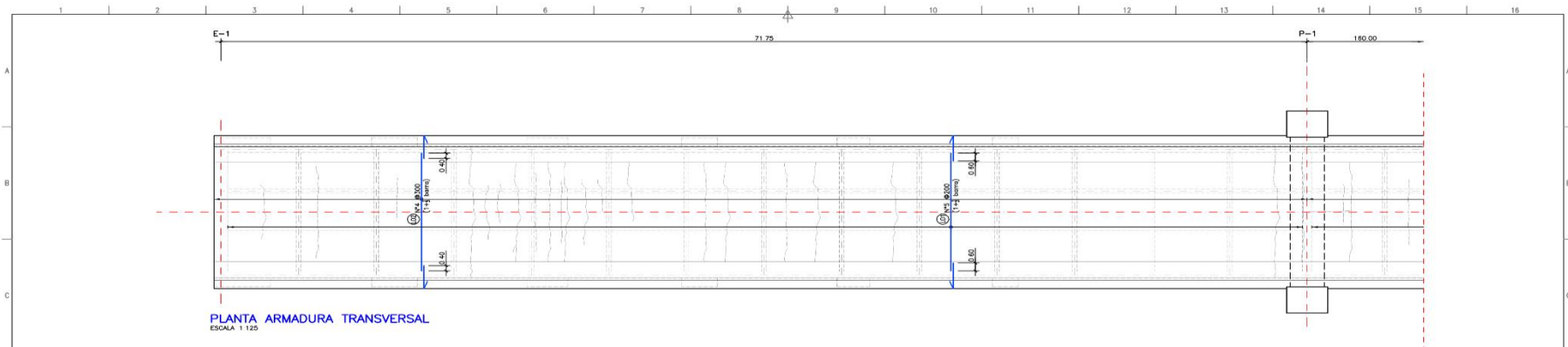
Tratamiento de fisuras en la losa de concreto del Puente sobre el rio Mantaro
 Distrito de Otazú y Trío de Incahuasi, Provincia de Huancayo y Oficina de Departamento de Zaña (Puente Mantaro)
 Lu/Longitud: **300 Mts.** S/C **Mantaro**

TRATAMIENTO DE FISURAS GENERALIDADES			DEFINICION DE TABLERO (I)	
Elaborado por CESMA INGENIEROS	Revisado por ING. JUAN LUIS BELLOD	Aprobado por CESMA INGENIEROS	Fecha NOVIEMBRE 2016	Estado INDICADAS
Plano 02 DE 03	Revisado 01	Archivo DWG Mantaro 1_2-3.dwg		

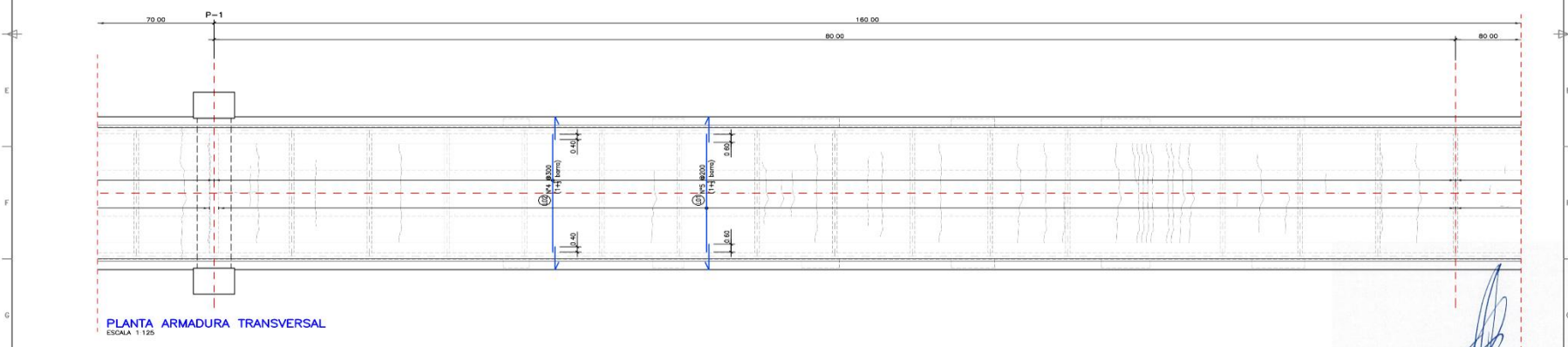



JUAN LUIS BÉLLOD THOMAS
 INGENIERO DE CAMINOS,
 CANALES Y PUERTOS
 Reg. CIP N° 1434-T
 1

REVISIÓN 01 PRIMERA VERSIÓN PARA EJECUCIÓN 18-11-16 Rev No / Fecha de Revisión Fecha Revisión		CLIENTE Gobierno Regional JUNIN	EMPRESA ESPECIALIZADA  SIMA SERVICIOS INDUSTRIALES DE LA MARINA INGENIEROS Y PERITOS S.A.S. DE C.V.	AUTOR DEL PROYECTO  Sacosi	TRATAMIENTO DE FISURAS en la losa de concreto del Puente sobre el río Mantaro Distrito de Chusí y Tarma de Dorsales, Provincia de Huánuco y Obispo de Huancayo de Junín (Provincia de Huánuco) Luz/Largitud 300 Mts. S/C Mantaro	TRATAMIENTO DE FISURAS GENERALIDADES DEFINICIÓN DE TABLERO (II) Diseñado por: OSCAR INGENIEROS / Revisado por: ING. JUAN LUIS BÉLLOD THOMAS Diseñó: OSCAR INGENIEROS / Fecha: NOVIEMBRE 2016 / Estado: INDICADOS / Archivo DWG: Mantaro 1_2-3.dwg	Plano: 03 de 03 / Revisión: 01
--	--	---	---	--	---	--	--------------------------------



PLANTA ARMADURA TRANSVERSAL
ESCALA 1:125



PLANTA ARMADURA TRANSVERSAL
ESCALA 1:125

[Handwritten Signature]
JUAN LUIS BELLOD THOMAS
 INGENIERO DE CAMINOS,
 CANALES Y PUERTOS
 Reg. CIP Nº 1434-T
 2

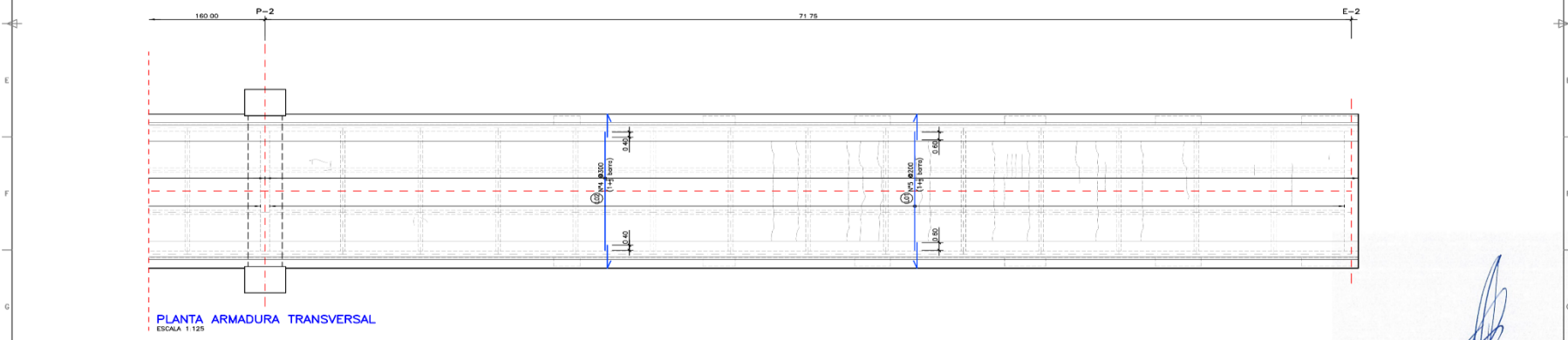
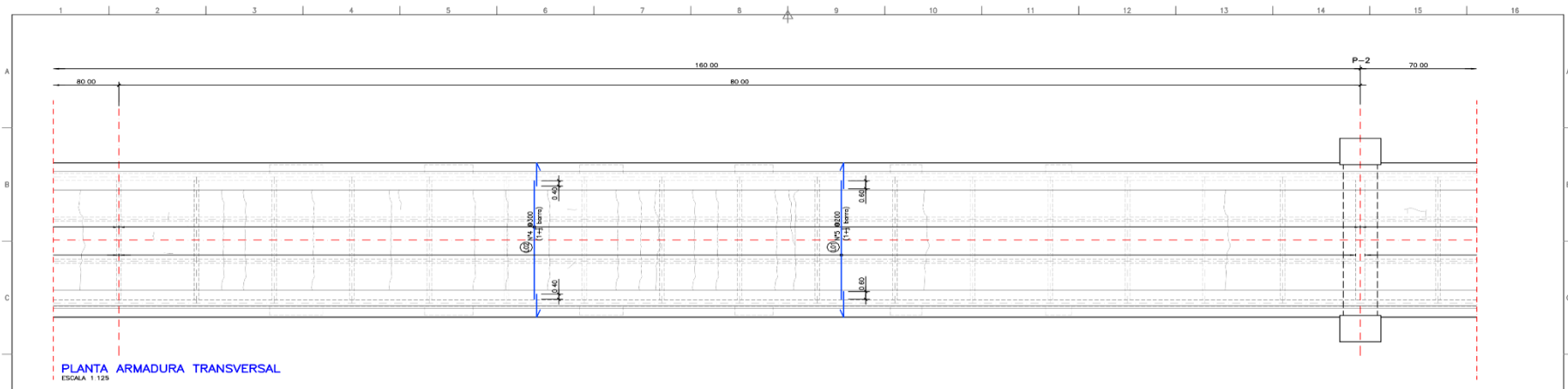
REVISION	FECHA	REVISOR
01	15-11-16	[Signature]
PRIMERA VERSION PARA EJECUCION	Fecha	Revisor

CLIENTE
Gobierno Regional JUNIN



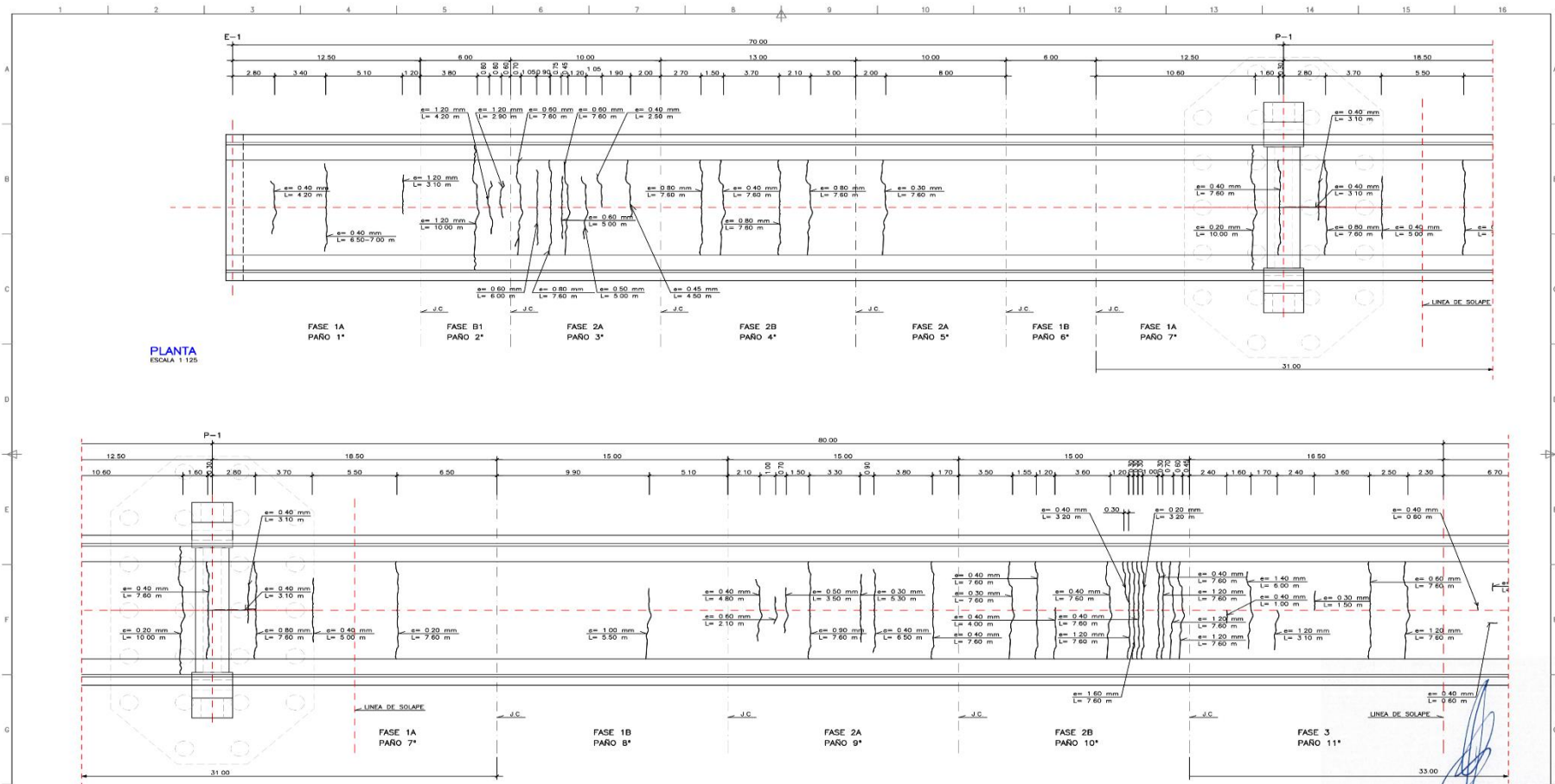
Tratamiento de fisuras en la losa de concreto del Puente sobre el rio Mantaro
 Distrito de Chico y San de Dios, Provincia de Huancayo y Oficina de Mantenimiento de Jales (Puente Andino)
 Luz/Anchura: 300 Mts. S/C Mantaro

TRATAMIENTO DE FISURAS		ARMADURA EXISTENTE		ARMADURA TRANSVERSAL PLANTA (I)	
Disenado por	CEMA INGENIEROS	Revisado por	ING. JUAN LUIS BELLOD	Aprobado por	
Fecha	NOVIEMBRE 2016	Estado	INDICADOS	Plano	05 de 06
Autores	CEMA INGENIEROS	Archivos	DWG	Mantaro	2-1-6.dwg



JUAN LUIS BELLOD THOMAS
INGENIERO DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

REVISION 01 PRIMERA VERSION PARA EJECUCION Rev No: 01 Fecha: 18-11-16 Firmo: [Signature] Reviso:			CLIENTE Gobierno Regional JUNIN	EMPRESA ESPECIALIZADA SIMA SERVICIOS ASISTENCIALES DE LA BATALLA OPERACIONES Y MANUTENCIONES S.R.L.	EMPRESA ESPECIALIZADA Sacosi	AUTOR DEL PROYECTO CESMA ingenieros	Tratamiento de fisuras en la losa de concreto del Puente sobre el río Mantaro Ubicación: Chlay - Tira de Dumbay, Provincia de Huancayo 7 Orden del Departamento de Jari (Puente Madero) 007	TRATAMIENTO DE FISURAS ARMADURA EXISTENTE ARMADURA TRANSVERSAL PLANTA (II) Diseñado por: CESMA INGENIEROS Revisado por: ING. JUAN LUIS BELLOD Aprobado por: [Signature] Fecha: NOVIEMBRE 2016 Escala: INDICADA	Reg. CIP N° 1434-T 2 Plano: 06 DE 06 Revisión: 01 Archivo DWG: Mantaro 2_1-6.dwg
--	--	--	---	--	---	---	--	--	--

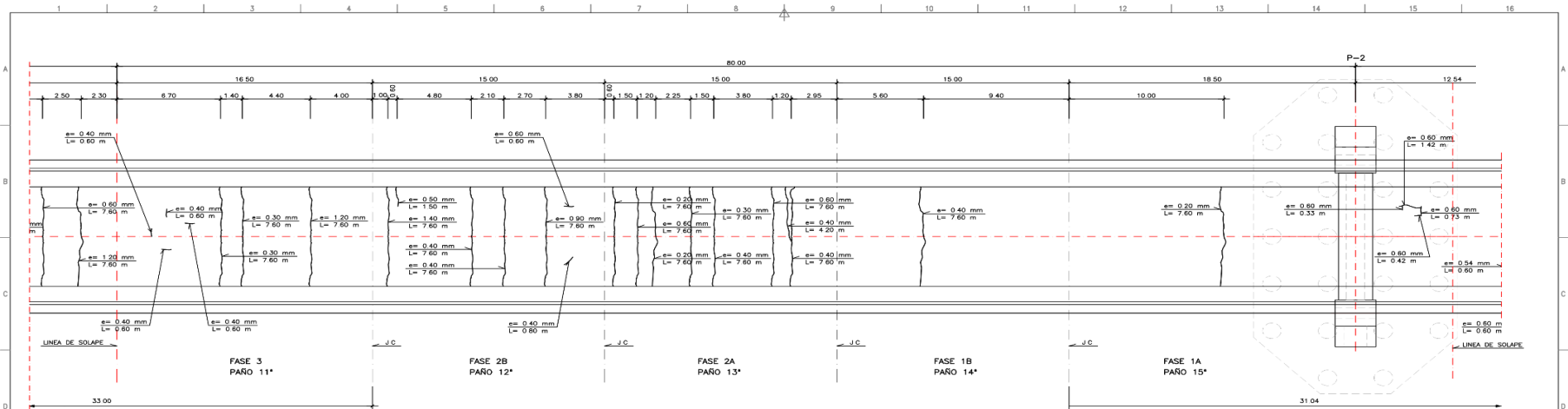


PLANTA
ESCALA 1:125

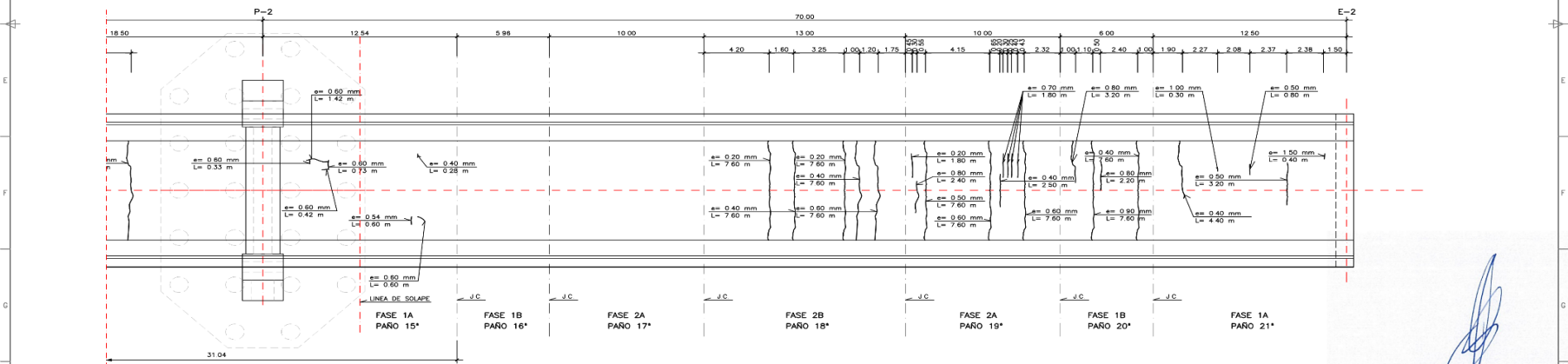
PLANTA
ESCALA 1:125

JUAN LUIS BELLOD THOMAS
INGENIERO DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS
Reg. CIP N° 1434-T
3

<table border="1"> <thead> <tr> <th>REVISION</th> <th>FECHA</th> <th>REVISOR</th> <th>REVISADO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>01</td> <td>16-11-16</td> <td>JLB</td> <td>JLB</td> </tr> </tbody> </table>			REVISION	FECHA	REVISOR	REVISADO	01	16-11-16	JLB	JLB	CLIENTE Gobierno Regional JUNIN	EMPRESA ESPECIALIZADA SIMSA SERVICIOS INTEGRADOS DE OBRAS Y MANTENIMIENTO EN OBRAS DE BARRIO Y DE INTERCOMUNICACION	AUTOR DEL PROYECTO Sacosí	EMPRESA ESPECIALIZADA CESMA Ingenieros	Tratamiento de fisuras en la losa de concreto del Puente sobre el río Mantaro Ubicación: 300 Mts. S/C Mantaro	TRATAMIENTO DE FISURAS MAPA DE FISURAS PLANTA (1)	Diseñado por CESMA INGENIEROS Fecha NOVIEMBRE 2016 Dato INDICAM	Aprobado por ING. JUAN LUIS BELLOD THOMAS Fecha NOVIEMBRE 2016 Dato INDICAM	Plano 01 DE 02 Archivo DWG Mantaro 3-1-2.dwg	Revisión 01
REVISION	FECHA	REVISOR	REVISADO																	
01	16-11-16	JLB	JLB																	



PLANTA
ESCALA 1:125



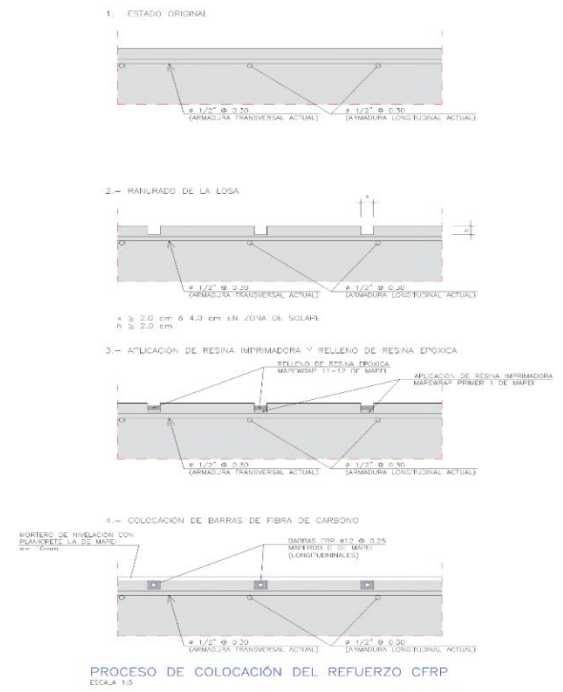
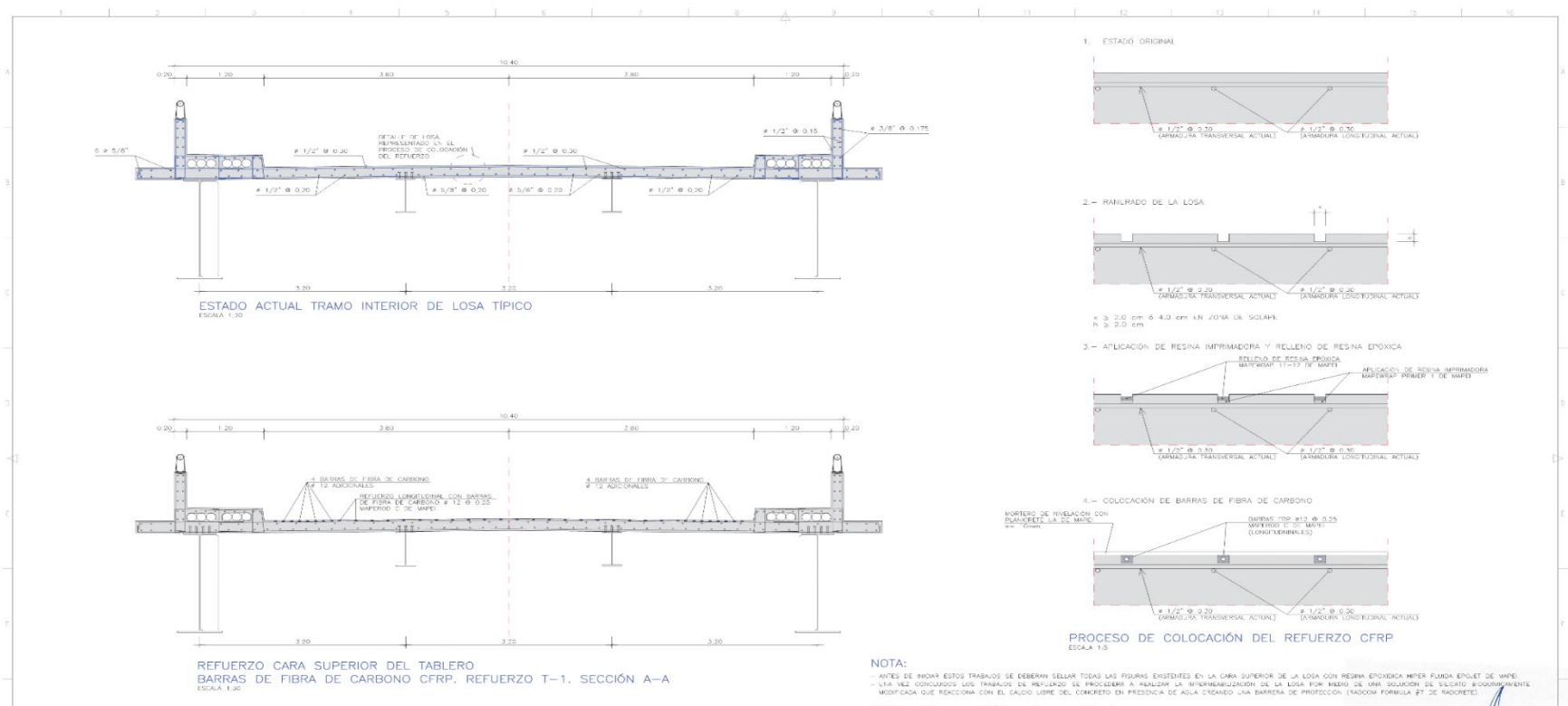
PLANTA
ESCALA 1:125

JUAN LUIS BELLO THOMAS
INGENIERO DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

Reg. CIP N° 1434-T
3

REVISIÓN				CLIENTE	EMPRESA ESPECIALIZADA	AUTOR DEL PROYECTO	TRATAMIENTO DE FISURAS	TRATAMIENTO DE FISURAS	Reg. CIP N° 1434-T
01	PRIMERA VERSION PARA EJECUCION	16-11-16		Gobierno Regional JUNIN	SACOSI	CESMA Ingenieros	MAPA DE FISURAS PLANTA (II)	MAPA DE FISURAS PLANTA (II)	3
Rev No	Nota de Revision	Fecha	Firma				Definido por Chavez del Departamento de Junin (Punto Martiro)	Revisado por JUAN LUIS BELLO	Plano
							300 Mts.	NOVIEMBRE 2016	02 de 02
							Mantaro	ESCALA INDICADA	Revisado
									01
									Archivo DWG
									Mantaro 3 1-2.dwg

ANEXO N° 2
PLANOS DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL PARTE SUPERIOR E
INFERIOR DE LA LOSA



NOTA:
 - ANTES DE INICIAR ESTOS TRABAJOS SE DEBERAN SELLAR TODAS LAS FISURAS EXISTENTES EN LA CARA SUPERIOR DE LA LOSA CON RESINA EPOXICA MEXER FLUIDA EPOLET DE MAFEP.
 - UNA VEZ COMPLETADOS LOS TRABAJOS DE REFORZADO SE PROCEDERA A REALIZAR LA SUPERFICIALIZACION DE LA LOSA POR MEDIO DE UNA SOLUCION DE SILICATO BICOMPONENTE MODIFICADA QUE REACCIONA CON EL CALOR LIBRE DEL CONCRETO EN PRESENCIA DE AGUA CREAMO UNA BARRERA DE PROTECCION (MADROM FORMULA #7 DE MADROE).

- REFUERZO CFRP. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES**
- LAS BARRAS FRP ESTAN COMPUESTAS POR FIBRA DE CARBONO CON UN ADHESIVO EPOXY. LAS CARACTERISTICAS MECANICAS DE LAS BARRAS MADROE C DE MAFEP SON:
 - RESISTENCIA A LA TRACCION: 2,700 MPa
 - ALARGAMIENTO DE ROTURA: 1.0%
 - MÓDULO DE ELASTICIDAD: 140 GPa
 - LAS RANURAS DE LA LOSA SE SELLARAN CON UNA RESINA DE IMPREGNACION EPOXI DE BAJA VISCOSIDAD MADROEAP PRIMER 1 DE MAFEP.
 - POSTERIORMENTE SE RELLENARÁN MEDIANTE UNA RESINA EPOXICA BICOMPONENTE EN FORMA DE PASTA TROVOSORICA MADROEAP 11 G 12 DE MAFEP, CUYA FUNCION SERAN LAS BARRAS FRP A LA ESTRUCTURA EXISTENTE.
 - LAS CARACTERISTICAS MECANICAS DE LA RESINA MADROEAP 11 G 12 DE MAFEP SON LAS SIGUIENTES:
 - RESISTENCIA AL COMPRESION: > 30 N/mm²
 - RESISTENCIA A TRACCION: 20 N/mm²
 - ALARGAMIENTO A TRACCION: 1.5%
 - RESISTENCIA A FLEXION: 400 N/mm²
 - MÓDULO ELÁSTICO A FLEXION: 4000 N/mm².

JUAN LUIS BELLOD THOMAS
 INGENIERO DE CAMINOS,
 CANALES Y PUERTOS
 Reg. CIP Nº 1434-7

REVISION	CLIENTE
03 ACTUALIZACION METRICO SOBRE SUPERFICIE	29-03-17
02 ACTUALIZACION SOBRE COSTADO CARA SUPERIOR	21-02-17
01 DIBUJO ORIGINAL PARA EJECUCION	16-11-16

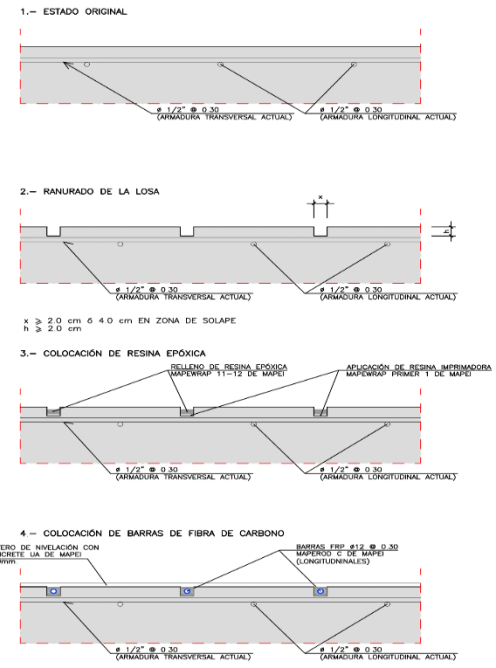
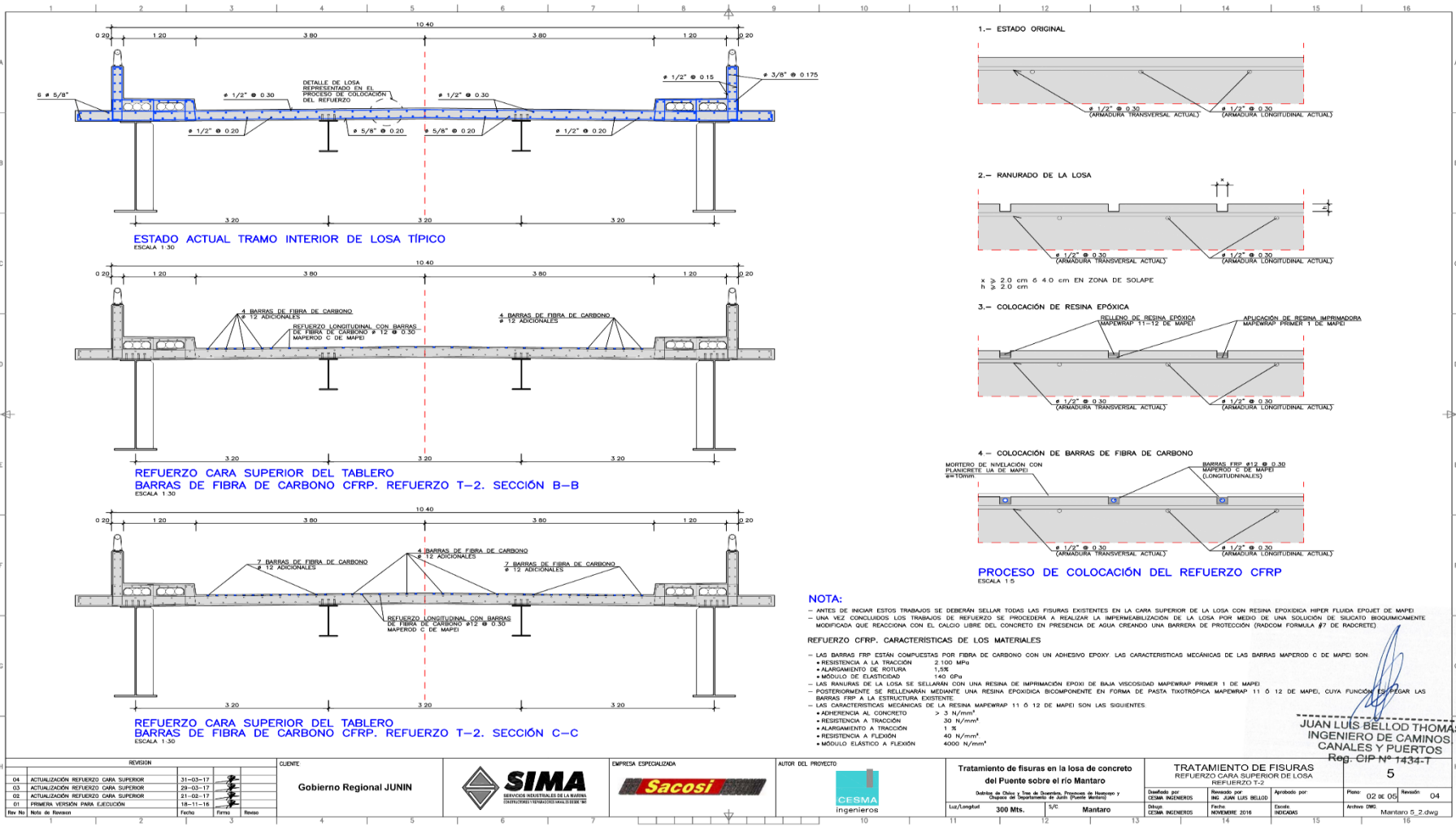
Gobierno Regional JUNIN



Tratamiento de fisuras en la losa de concreto del Puente sobre el río Mantaro

Presupuesto: **300 Mts.** S/C Mantaro

TRATAMIENTO DE FISURAS REFORZADO CARA SUPERIOR DE LA LOSA REFUERZO T-1		5	
Elaborado por: CESMA INGENIEROS	Revisado por: ING. JUAN LUIS BELLOD THOMAS	Aprobado por: [Signature]	Fecha: 01/05/2018
Elaborado por: CESMA INGENIEROS	Revisado por: [Signature]	Aprobado por: [Signature]	Fecha: 03/05/2018



PROCESO DE COLOCACION DEL REFUERZO CFRP
ESCALA 1:5

NOTA:

- ANTES DE INICIAR ESTOS TRABAJOS SE DEBERAN SELLAR TODAS LAS FISURAS EXISTENTES EN LA CARA SUPERIOR DE LA LOSA CON RESINA EPOXICA HIPER FLUIDA EPOJET DE MAPEI
- UNA VEZ CONCLUIDOS LOS TRABAJOS DE REFUERZO SE PROCEDERA A REALIZAR LA IMPERMEABILIZACION DE LA LOSA POR MEDIO DE UNA SOLUCION DE SILICATO INORGANICAMENTE MODIFICADA QUE REACCIONA CON EL CALZO LIBRE DEL CONCRETO EN PRESENCIA DE AGUA CREANDO UNA BARRERA DE PROTECCION (PACOM FORMULA #7 DE MADRETE)

REFUERZO CFRP. CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES

- LAS BARRAS FRP ESTAN COMPUESTAS POR FIBRA DE CARBONO CON UN ADHESIVO EPOXY. LAS CARACTERISTICAS MECANICAS DE LAS BARRAS MAPEIRO C DE MAPEI SON:
 - RESISTENCIA A LA TRACCION: 2.100 MPa
 - ALARGAMIENTO DE ROTURA: 1,5%
 - MODULO DE ELASTICIDAD: 140.000 GPa
- LAS RANURAS DE LA LOSA SE SELLARAN CON UNA RESINA DE IMPRIMACION EPOXI DE BAJA VISCOSIDAD MAPEIWRAP PRIMER 1 DE MAPEI
- POSTERIORMENTE SE RELLENARAN MEDIANTE UNA RESINA EPOXICA BICOMPONENTE EN FORMA DE PASTA TIXOTROPICA MAPEIWRAP 11 O 12 DE MAPEI, CUYA FUNCION ES SELLAR LAS BARRAS FRP A LA ESTRUCTURA EXISTENTE.
- LAS CARACTERISTICAS MECANICAS DE LA RESINA MAPEIWRAP 11 O 12 DE MAPEI SON LAS SIGUIENTES:
 - ADHERENCIA AL CONCRETO: > 3 N/mm²
 - RESISTENCIA A TRACCION: 30 N/mm²
 - ALARGAMIENTO A TRACCION: 1,5%
 - RESISTENCIA A FLEXION: 40 N/mm²
 - MODULO ELASTICO A FLEXION: 4000 N/mm²

JUAN LUIS BELLOD THOMAS
INGENIERO DE CAMINOS
CANALES Y PUERTOS
Reg. CIP N° 1434-T
5

REVISION	FECHA	REVISOR	REVISADO
04	31-03-17		
03	29-03-17		
02	21-02-17		
01	15-11-16		

CLIENTE: **Gobierno Regional JUNIN**

EMPRESA ESPECIALIZADA: **SIMA**
SISTEMAS INTEGRADOS DE LA MANTARO
INGENIEROS Y ARQUITECTOS S.R.L.

EMPRESA ESPECIALIZADA: **Sacos**

AUTOR DEL PROYECTO: **CESMA ingenieros**

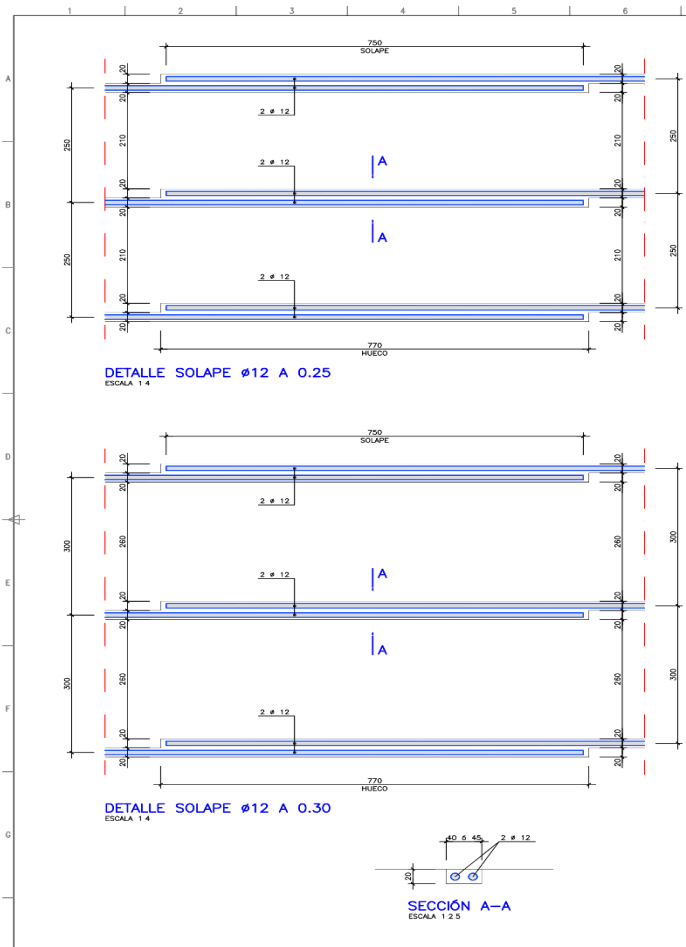
TITULO: **Tratamiento de fisuras en la losa de concreto del Puente sobre el río Mantaro**

Ubic./Longitud: **300 Mts.**

Ubic./Longitud: **300 Mts.**

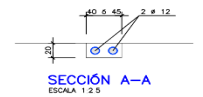
Ubic./Longitud: **300 Mts.**

FECHA	REVISOR	REVISADO	REVISADO	REVISADO
02 DE 05				



DETALLE SOLAPE #12 A 0.25
ESCALA 1:4

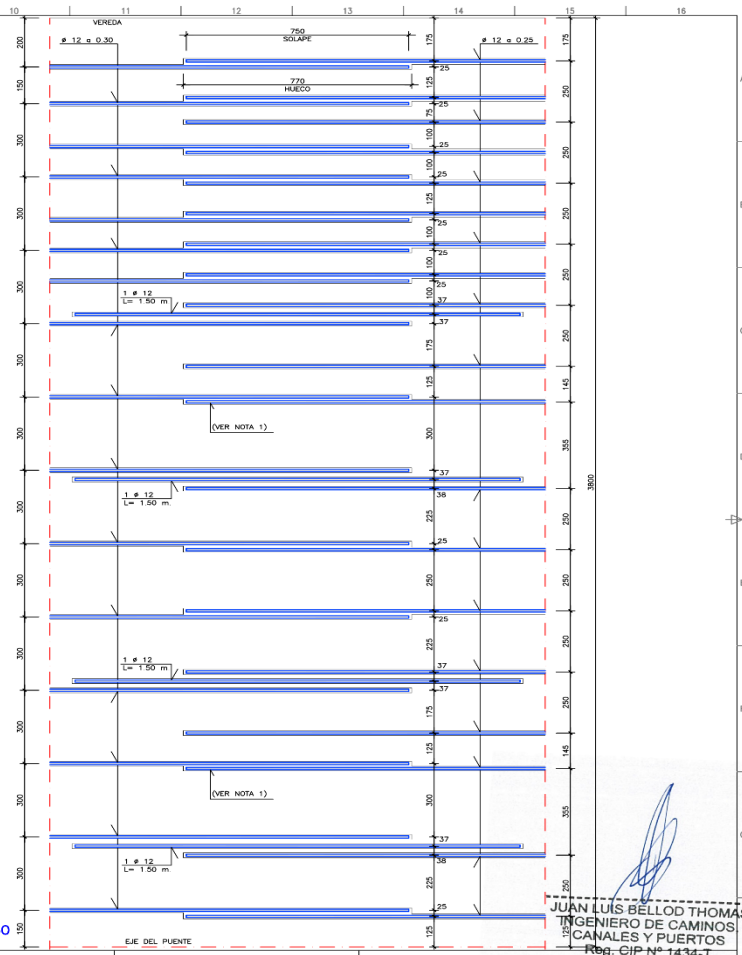
DETALLE SOLAPE #12 A 0.30
ESCALA 1:4



SECCIÓN A-A
ESCALA 1:2.5

NOTA 1:
ESTA BARRA SE DESPLAZA HACIA ARRIBA PARA SOLAPARLA CON LA BARRA MAS CERCANA DEL REFUERZO 1-2 (DISTRIBUCION CADA 300 mm) LOS SIGUIENTES SOLAPES DE ESTA MISMA BARRA SE REALIZARAN POR EL LADO INTERIOR HASTA QUE LA SEPARACION CON LA BARRA INMEDIATAMENTE SUPERIOR E INFERIOR SEA 250 mm

DETALLE SOLAPE #12 A 0.25 CON #12 A 0.30
ESCALA 1:7.5



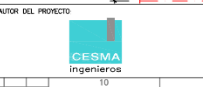
Tratamiento de fisuras en la losa de concreto del Puente sobre el río Mantaro
Diseño de Obras y Tipo de Estudios: Proyecto de Ingeniería 7
Carrera de Ingeniería de Civil (Puente Multigrado)

TRATAMIENTO DE FISURAS REFUERZO CARA SUPERIOR LOSA
DETALLES
Diseñado por CESMA INGENIEROS
Revisado por ING. JUAN LUIS BELLO
Fecha: NOVIEMBRE 2016
Escala: INDICADAS

JUAN LUIS BELLO THOMAS
INGENIERO DE CAMINOS
CANALES Y PUERTOS
Reg. CIP N° 1434-T
5

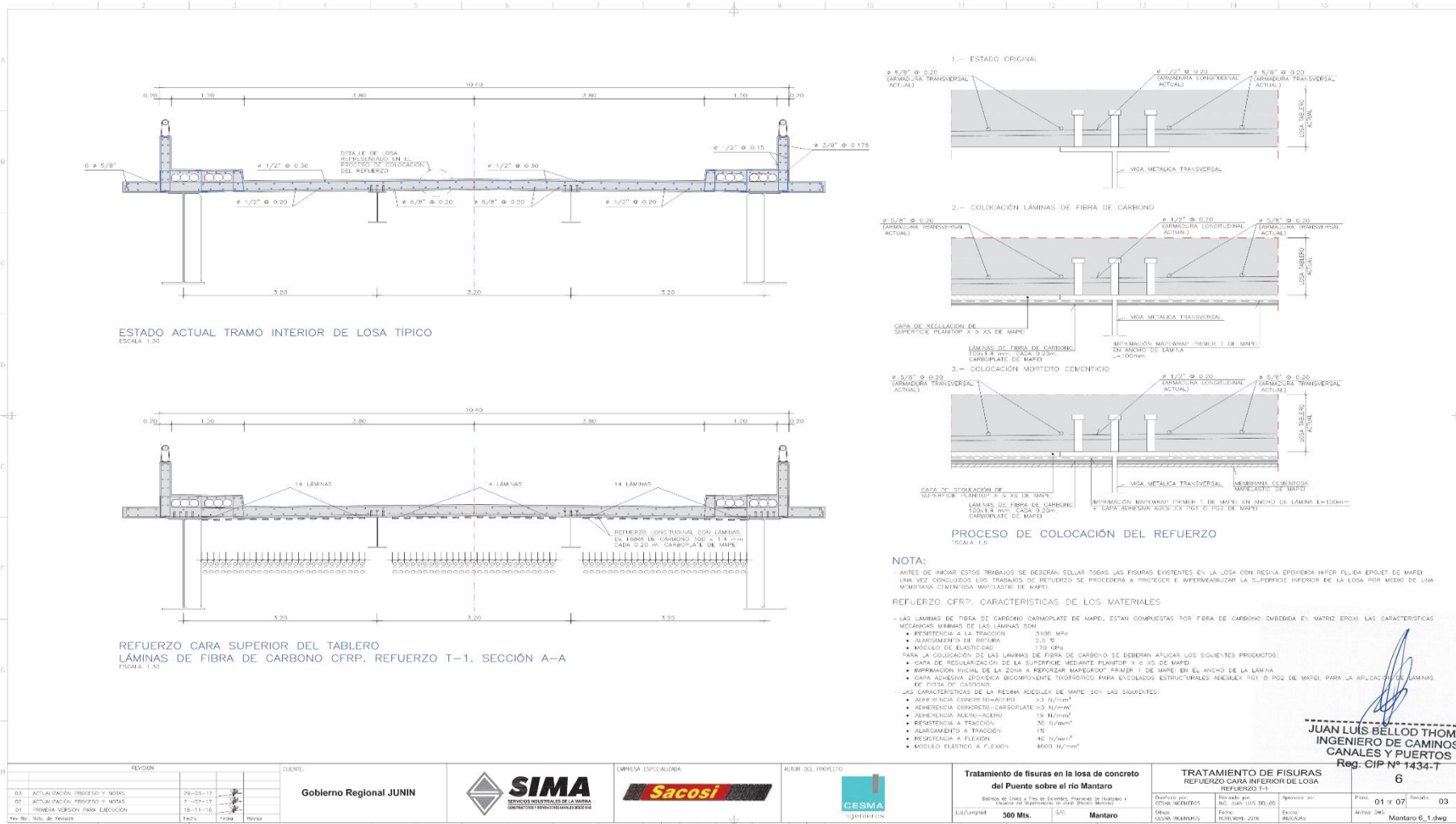
REVISION	FECHA	REVISOR	REVISADO
03 REVISION GENERAL	31-03-17	[Signature]	[Signature]
02 REVISION GENERAL	29-03-17	[Signature]	[Signature]
01 PRIMERA VERSION PARA EJECUCION	18-11-16	[Signature]	[Signature]

CLIENTE
Gobierno Regional JUNIN



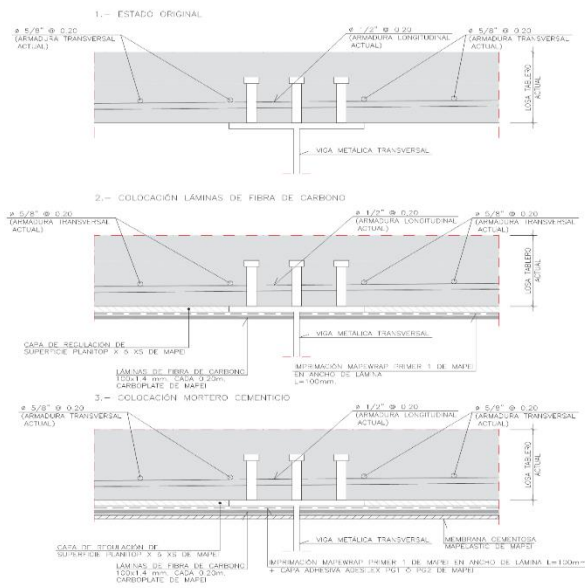
300 Mts. S/C Mantaro

05 DE 05
Mantaro 5.5.dwg



ESTADO ACTUAL TRAMO INTERIOR DE LOSA TÍPICO
ESCALA 1:30

REFUERZO CARA SUPERIOR DEL TABLERO
LÁMINAS DE FIBRA DE CARBONO CFRP. REFUERZO T-1. SECCIÓN A-A
ESCALA 1:30



NOTA:

- ANTES DE INICIAR ESTOS TRABAJOS SE DEBERÁN SELLAR TODAS LAS FISURAS EXISTENTES EN LA LOSA CON RESINA EPOXIDICA HEPER FLUIDA EPOXYET DE MAPEI. UNA VEZ CONCLUIDOS LOS TRABAJOS DE REFUERZO SE PROCEDERÁ A PROTEGER E IMPERMEABILIZAR LA SUPERFICIE INFERIOR DE LA LOSA POR MEDIO DE UNA MEMBRANA CEMENTOSA MAPILASITIC DE MAPEI.

REFUERZO CFRP. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

- LAS LÁMINAS DE FIBRA DE CARBONO CARBOPASTE DE MAPEI, ESTÁN COMPUESTAS POR FIBRA DE CARBONO EMBEDIA EN LA MATRIZ EPOXI. LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS MÍNIMAS DE LAS LÁMINAS SON:
- RESISTENCIA A LA TRACCIÓN 5100 MPa
- ALARGAMIENTO DE ROTURA 2,0 %
- MÓDULO DE ELASTICIDAD 170 GPa

PARA LA COLOCACIÓN DE LAS LÁMINAS DE FIBRA DE CARBONO SE DEBERÁN APLICAR LOS SIGUIENTES PRODUCTOS:

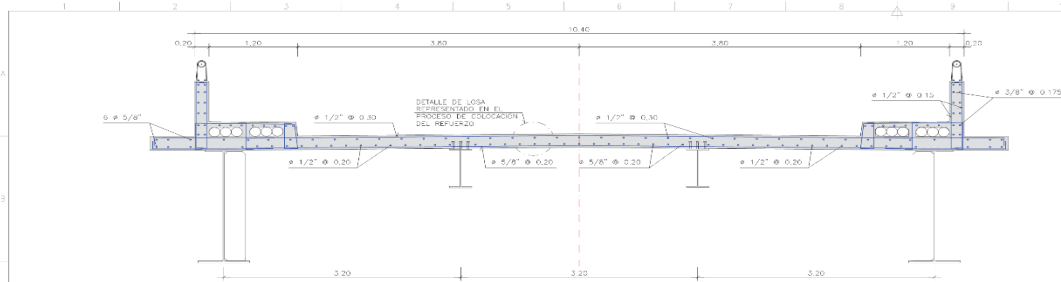
- CAPA DE REGULACIÓN DE LA SUPERFICIE MEDIANTE PLANITOP X 6 VIS DE MAPEI
- IMPERMEABILIZACIÓN DE LA ZONA A REFORZAR MEDIANTE REINER 1 DE MAPEI EN EL ANCHO DE LA LÁMINA
- CAPA ADHESIVA EPOXIDICA BICOMPONENTE TIGOFORONDO PARA ENCOLOSADOS ESTRUCTURALES ADEULEX 901 O P92 DE MAPEI, PARA LA APLICACIÓN DE LÁMINAS DE FIBRA DE CARBONO

- LAS CARACTERÍSTICAS DE LA RESINA ADEULEX DE MAPEI SON LAS SIGUIENTES:

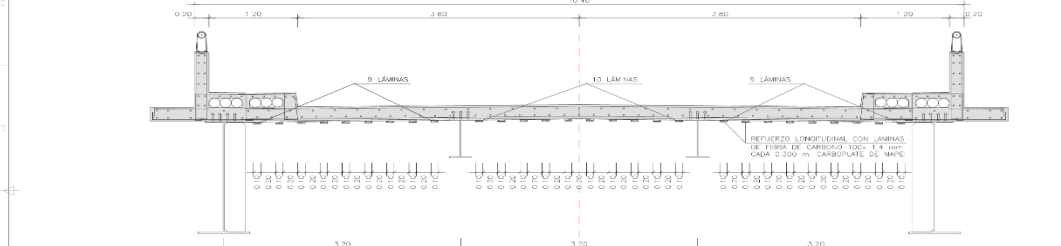
- ADHESIÓN CONCRETO-ACERO 33 N/mm²
- ADHESIÓN CONCRETO-CARBOPASTE 33 N/mm²
- ADHESIÓN ACERO-ACERO 19 N/mm²
- RESISTENCIA A TRACCIÓN 50 N/mm²
- ALARGAMIENTO A TRACCIÓN 1%
- RESISTENCIA A FLEXIÓN 40 N/mm²
- MÓDULO ELÁSTICO A FLEXIÓN 4000 N/mm²

JUAN LUIS BELLOD THOMAS
INGENIERO DE CAMINOS
CANALES Y PUERTOS
Reg. CIP Nº 1434-T

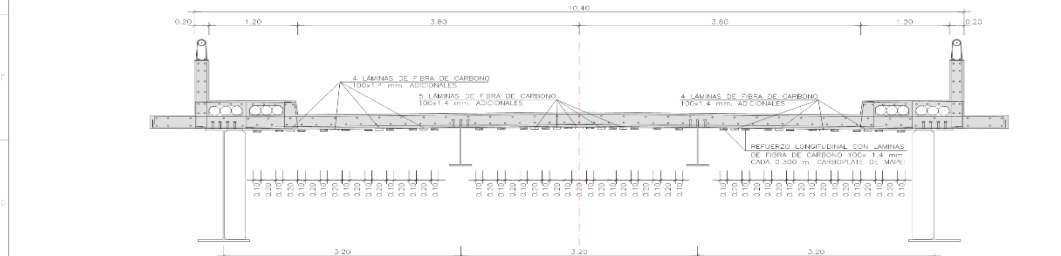
REVISIÓN		FUENTE		EMPRESA ESPECIALIZADA		AUTOR DEL PROYECTO		Tratamiento de fisuras en la losa de concreto del Puente sobre el río Mantaro		TRATAMIENTO DE FISURAS REFUERZO CARA INFERIOR DE LOSA	
03	ACTUALIZACIÓN PROCESO Y METAS	29-03-17		SIMA		CESMA		Luz/Janeth	360 Mts.	S/C	Mantaro
02	ACTUALIZACIÓN PROCESO Y METAS	3-07-17		Sacosi		Ingenieros		Dañados por	OTVA INGENIEROS	Elaborado por	ING. JUAN LUIS DELLOS
01	PRIMERA VERSIÓN PARA EJECUCIÓN	15-11-16		Gobierno Regional JUNIN				Revisado por	OSCAR HUERTAS	Analizado por	
Rev. No. Auto. de Revision		Fecha	Inicio					Fecha	REVISIÓN 2016	Estado	INICIADA
										Plano	01 de 07
										Nombre del	Mantaro 6_1.dwg



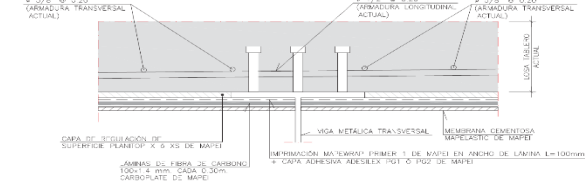
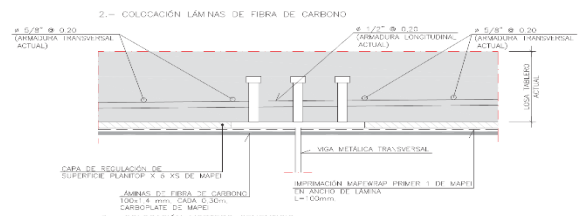
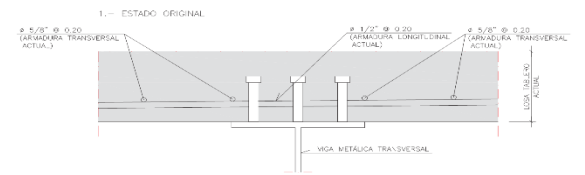
ESTADO ACTUAL TRAMO INTERIOR DE LOSA TÍPICO
ESCALA 1:30



REFUERZO CARA SUPERIOR DEL TABLERO
LÁMINAS DE FIBRA DE CARBONO CFRP. REFUERZO T-2. SECCIÓN B-B
ESCALA 1:30



REFUERZO CARA SUPERIOR DEL TABLERO
LÁMINAS DE FIBRA DE CARBONO CFRP. REFUERZO T-2. SECCIÓN C-C
ESCALA 1:30



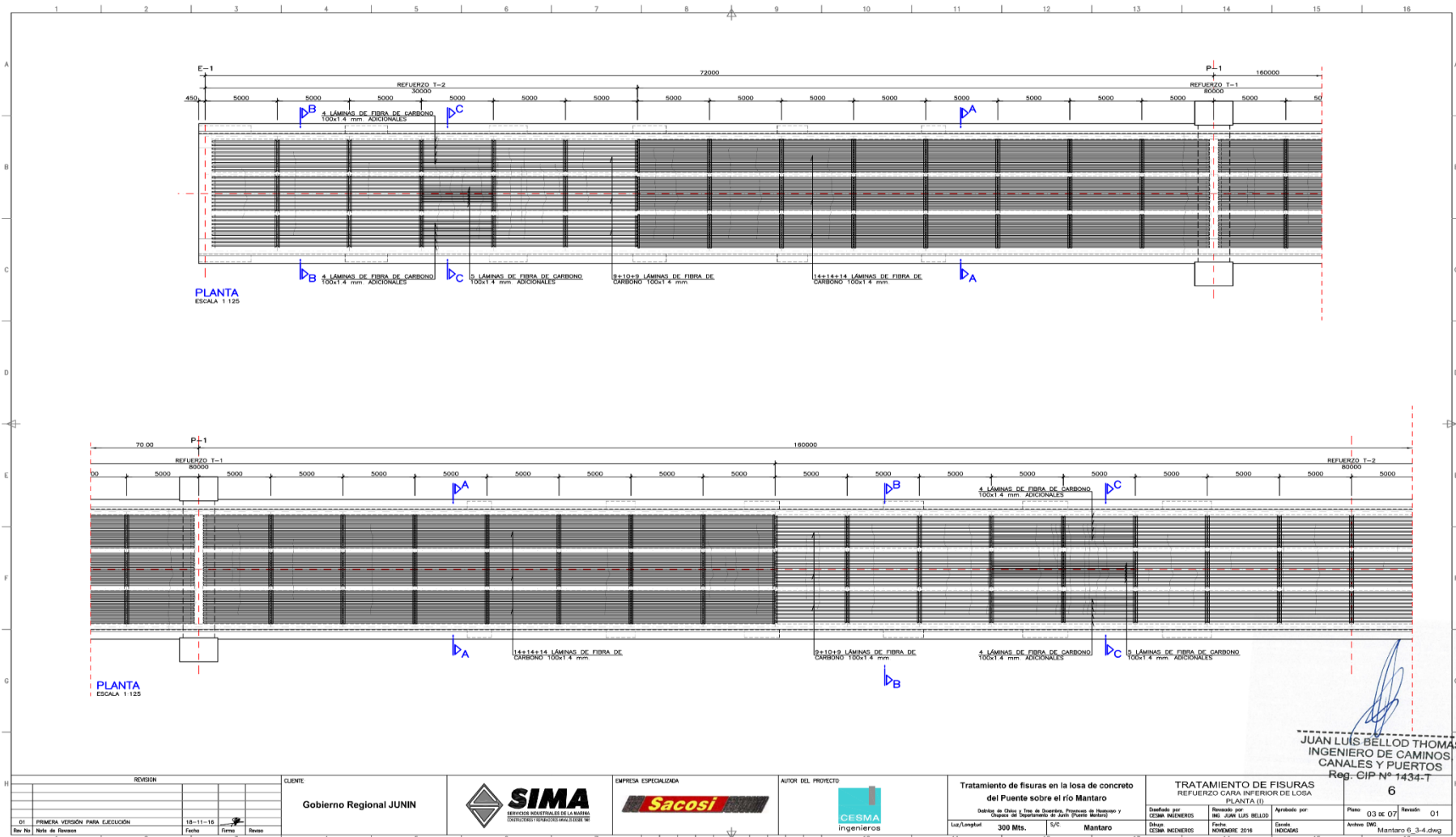
PROCESO DE COLOCACIÓN DEL REFUERZO

NOTA:
- ANTES DE INICIAR ESTOS TRABAJOS DE DEBERÁN SELLAR TODAS LAS FISURAS EXISTENTES EN LA LOSA CON RESINA EPOXIDICA HIPER FLUIDA EPOLET DE MAPEL. UNA VEZ CONCLUIDOS LOS TRABAJOS DE REFUERZO SE PROCEDERÁ A PROTEGER E IMPERMEABILIZAR LA SUPERFICIE INFERIOR DE LA LOSA POR MEDIO DE UNA MEMBRANA CEMENTICOMA IMPASTADA DE MAPEL.

- REFUERZO CFRP. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES**
- LAS LÁMINAS DE FIBRA DE CARBONO CARBOPATE DE MAPEL, ESTÁN COMPUESTAS POR FIBRA DE CARBONO EMBEBIDA EN MATRIZ EPOXI. LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS MÍNIMAS DE LAS LÁMINAS SON:
 - RESISTENCIA A LA TRACCIÓN 3100 MPa
 - ALARGAMIENTO SIN ROTURA 2,0 %
 - MÓDULO DE ELASTICIDAD 170 GPa
 - PARA LA COLOCACIÓN DE LAS LÁMINAS DE FIBRA DE CARBONO SE DEBERÁN APLICAR LOS SIGUIENTES PRODUCTOS
 - CAPA DE REGULACIÓN DE LA SUPERFICIE MEDIANTE PLANITOP X 6 XS DE MAPEL
 - IMPREGNACIÓN INICIAL DE LA ZONA A REFORZAR MATEWAP PRIMER 1 DE MAPEL EN EL ANCHO DE LA LÁMINA
 - CAPA ADHESIVA EPOXIDICA BICOMPONENTE TROPOTPOD PARA ENCOLADOS ESTRUCTURALES ADESLX P01 O P02 DE MAPEL PARA LA APLICACIÓN DE LAS LÁMINAS DE FIBRA DE CARBONO.
 - LAS CARACTERÍSTICAS DE LA RESINA ADESLX DE MAPEL SON LAS SIGUIENTES:
 - ADESIÓN CONCRETO-CONCRETO >= 14 N/mm²
 - ADHERENCIA CONCRETO-CARBOPATE >= 3 N/mm²
 - ADHERENCIA ACERO-ACERO 19 N/mm²
 - RESISTENCIA A TRACCIÓN 300 N/mm²
 - ALARGAMIENTO A TRACCIÓN 1%
 - RESISTENCIA A FLECCIÓN 440 N/mm²
 - MÓDULO ELÁSTICO A FLECCIÓN 4900 N/mm²

JUAN LUIS BELLOD THOMAS
INGENIERO DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS
Reg: CIP N° 1434-T
6

REVISOR		CUBANTE		EMPRESA ESPECIALIZADA		AMOR DEL PROYECTO		TRATAMIENTO DE FISURAS EN LA LOSA DE CONCRETO DEL PUNTE SOBRE EL RIO MANTARO		TRATAMIENTO DE FISURAS REFUERZO CARA INFERIOR DE LOSA REFUERZO T-2	
04	ACTUALIZACIÓN PROYECTO Y NOTAS	29-05-17		Gobierno Regional JUNIN		SIMA		500 Mts.		Elaborado por CESMA INGENIEROS	
05	ACTUALIZACIÓN PROYECTO Y NOTAS	31-05-17		Sacosi		CESMA		Mantaro		Revisado por JE. JUAN LUIS BELLOD THOMAS	
01	PRIMERA VERSION PARA EJECUCION	10-11-16								Aprobado por JE. JUAN LUIS BELLOD THOMAS	
Rev. No. No. de Revisión		Fecha	Revisó							Ejec. NICALAS	
		Fecha	Revisó							Activo DWG Mantaro 6.2.dwg	



JUAN LUIS BÉLLOD THOMAS
 INGENIERO DE CAMINOS
 CANALES Y PUERTOS
 Reg. CIP N° 1434-T

REVISIÓN		CLIENTE	
01	PRIMERA VERSIÓN PARA EJECUCIÓN	15-11-16	Revisión
02	Nota de Revisión		

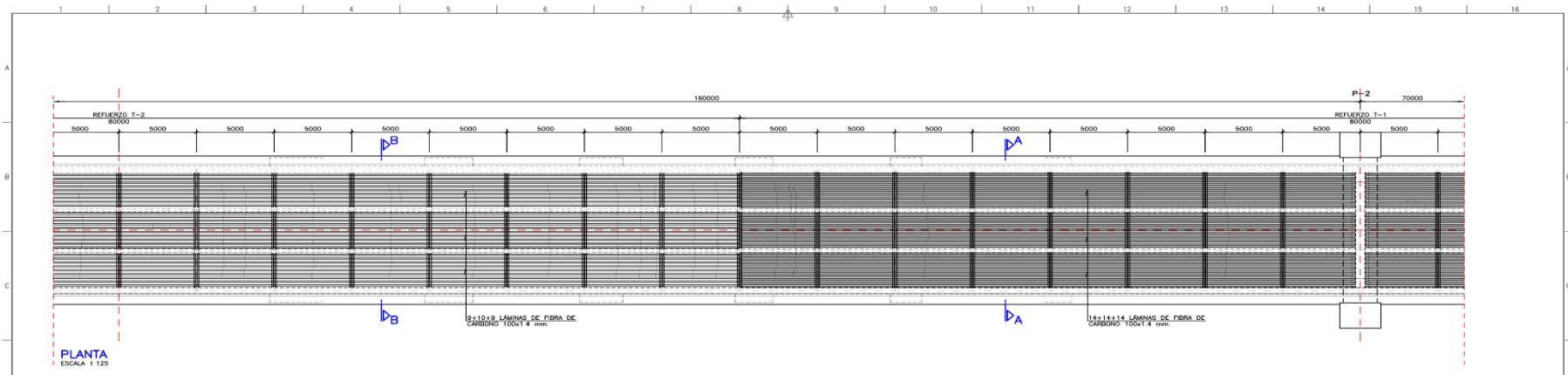
CLIENTE
Gobierno Regional JUNIN



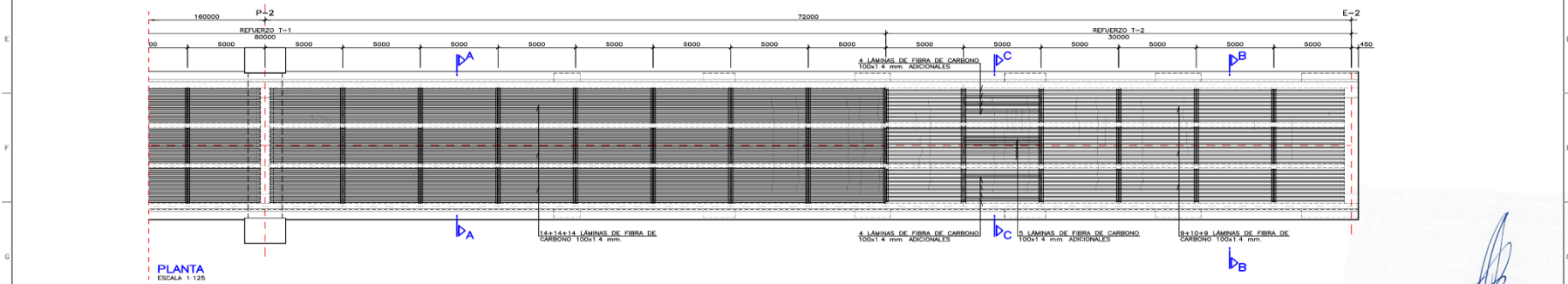
Tratamiento de fisuras en la losa de concreto del Puesto sobre el río Mantaro
 Distrito de Chilo y Bos de Durocay, Provincia de Huánuco y Obispo de Departmento de Junín (Puesto de Control)
 Luz/Langhuaj 300 Mts. S/C Mantaro

TRATAMIENTO DE FISURAS REFUERZO CARA INFERIOR DE LOSA PLANTA (I)
 Diseñado por CESMA INGENIEROS
 Revisado por ING. JUAN LUIS BÉLLOD
 Aprobado por CESMA INGENIEROS
 Fecha: NOVIEMBRE 2016
 Estado: INICIADO

Plano 03 de 07
 Revisión 01
 Archivo DWG Mantaro 6_3-4.dwg



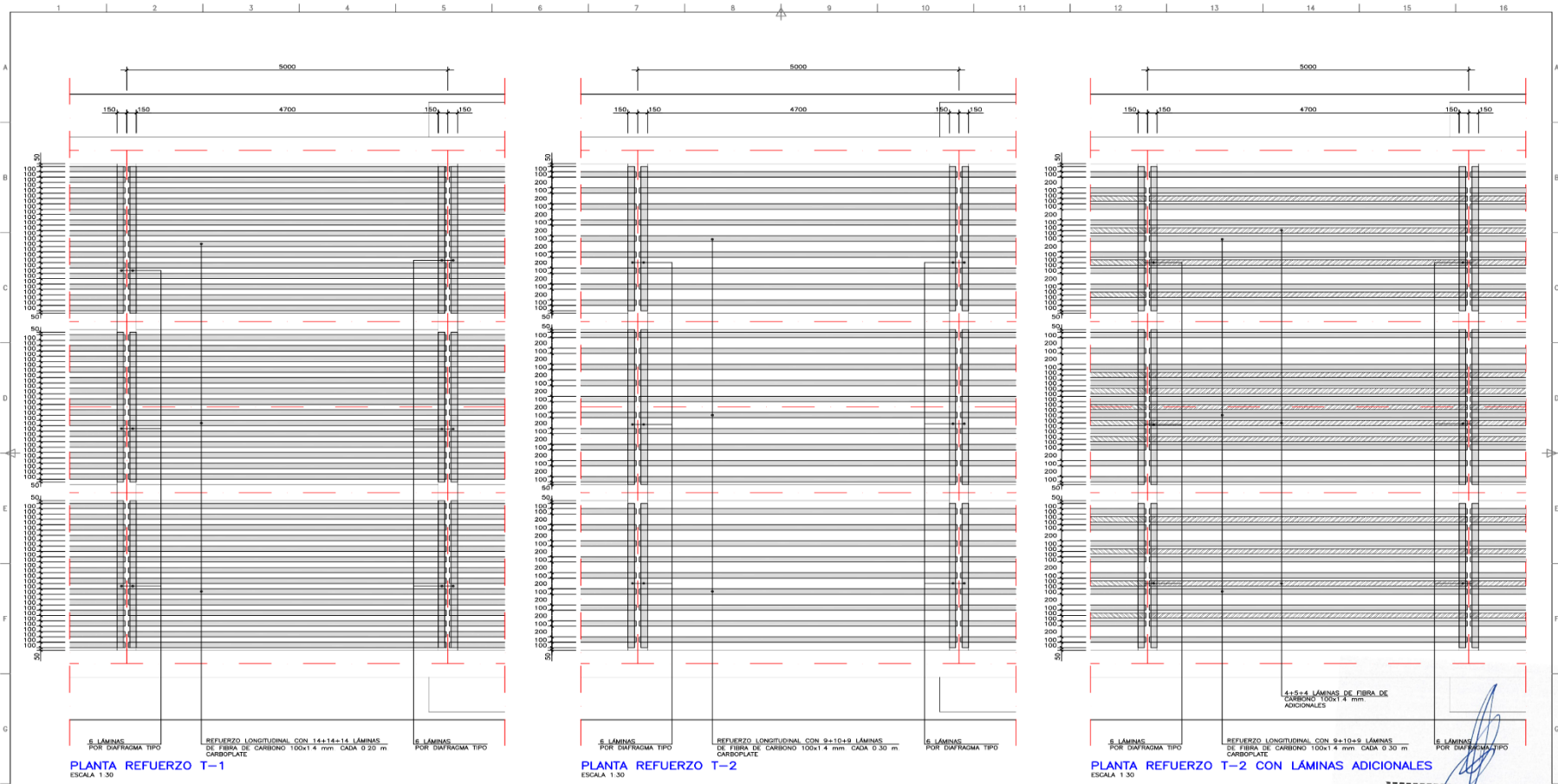
PLANTA
ESCALA 1:125



PLANTA
ESCALA 1:125

Juan Luis Bello Thomas
JUAN LUIS BÉLLO THOMAS
 INGENIERO DE CAMINOS
 CANALES Y PUERTOS
 Reg. CIP Nº 1434-T

<table border="1"> <thead> <tr> <th>REVISIÓN</th> <th>FECHA</th> <th>REVISOR</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>01</td> <td>15-11-16</td> <td>[Signature]</td> </tr> </tbody> </table>			REVISIÓN	FECHA	REVISOR	01	15-11-16	[Signature]	CLIENTE: Gobierno Regional JUNIN	 SIMA <small>SERVICIO INTEGRAL DE LA MANO DE OBRERA ESPECIALIZADA EN OBRAS DE CONCRETO</small>	EMPRESA ESPECIALIZADA: Sacosi	AUTOR DEL PROYECTO: CSMA ingenieros	Tratamiento de fisuras en la losa de concreto del Puente sobre el río Mantaro <small>Dirección de Obras y Servicios de Mantenimiento y Obras de Mantenimiento de Obras (Puentes, Bovedas)</small> Luz/Ampuhat 300 Mts. S/C Mantaro	TRATAMIENTO DE FISURAS REFORZADO CARPA INFERIOR DE LOSA PLANTA (B)	Diseñado por: CSMA INGENIEROS Revisado por: ING. JUAN LUIS BÉLLO THOMAS Aprobado por: [Signature] Fecha: NOVIEMBRE 2016 Escala: INDICADA	Plano: 04 de 07 Revisión: 01 Archivo DWG: Mantaro G. 3-4.dwg
REVISIÓN	FECHA	REVISOR														
01	15-11-16	[Signature]														



JUAN LUIS BELLOD THOMAS
INGENIERO DE CAMINOS
CAÑALES Y PUERTOS
Reg. CIP N° 1434-T

REVISIÓN	FECHA	REVISOR	REVISADO
01	18-11-16		
Rev No	Nota de Revisión	Fecha	Firma

CLIENTE
Gobierno Regional JUNIN



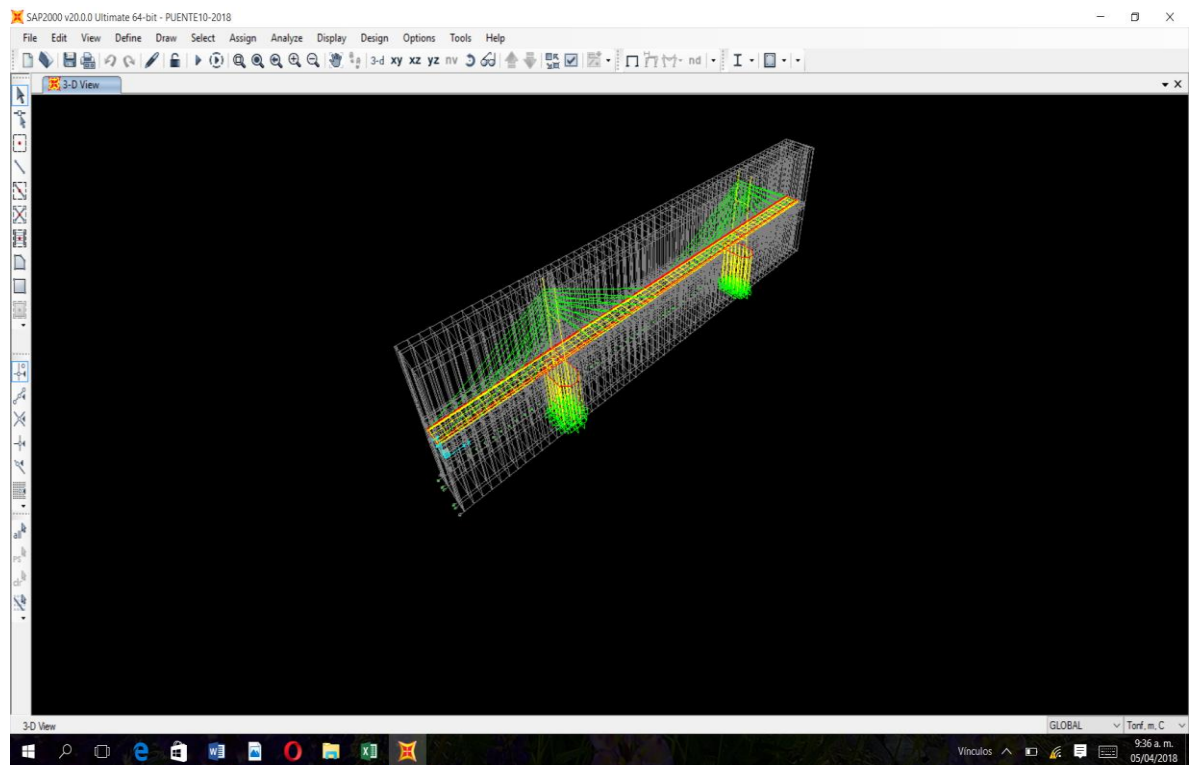
Tratamiento de fisuras en la losa de concreto del Puente sobre el río Mantaro
Ubicación: 300 Mts. S/C Mantaro

TRATAMIENTO DE FISURAS REFUERZO CARA INFERIOR DE LOSA DETALLES (I)		FECHA	REVISOR	REVISADO
Elaborado por CESMA INGENIEROS	Revisado por ING. JUAN LUIS BELLOD THOMAS	05 DE OT		01
Dibujo	Fecha	Estado	Archivos	
CESMA INGENIEROS	NOVIEMBRE 2016	INDICADO	Mantaro 6_5-7.dwg	

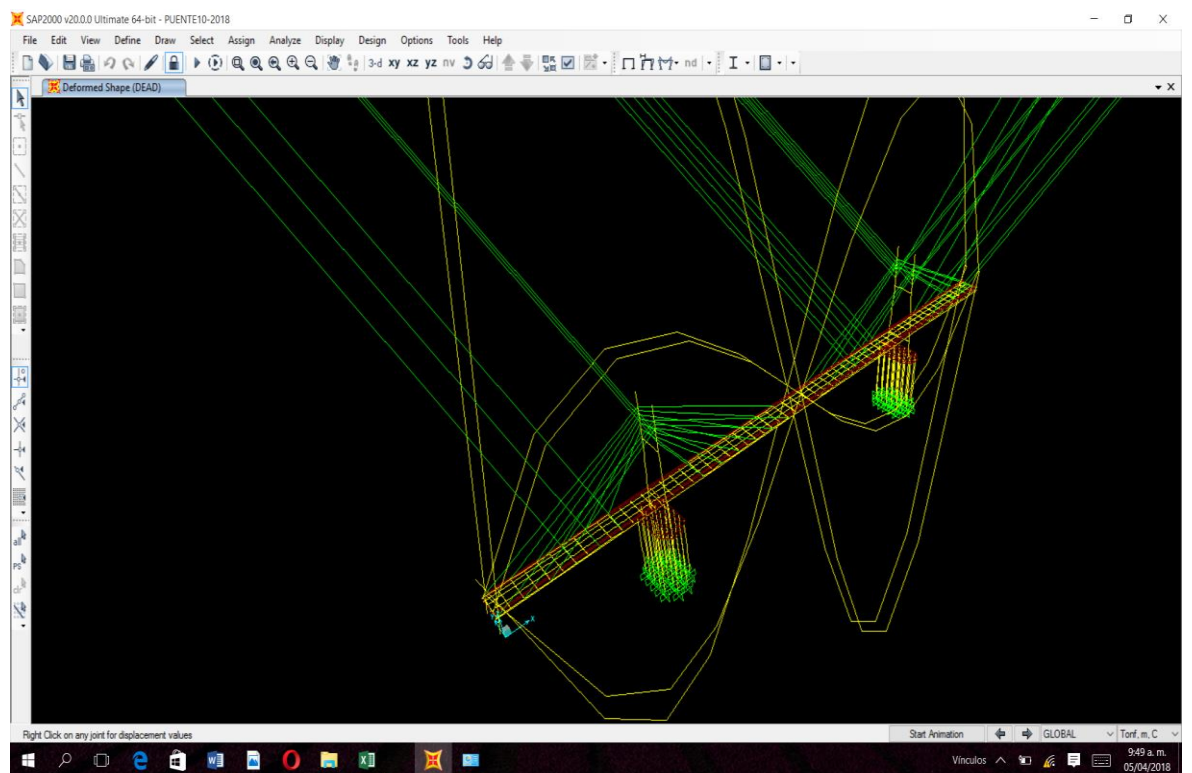
ANEXO N° 3

MODELAMIENTO DEL PUENTE - CD

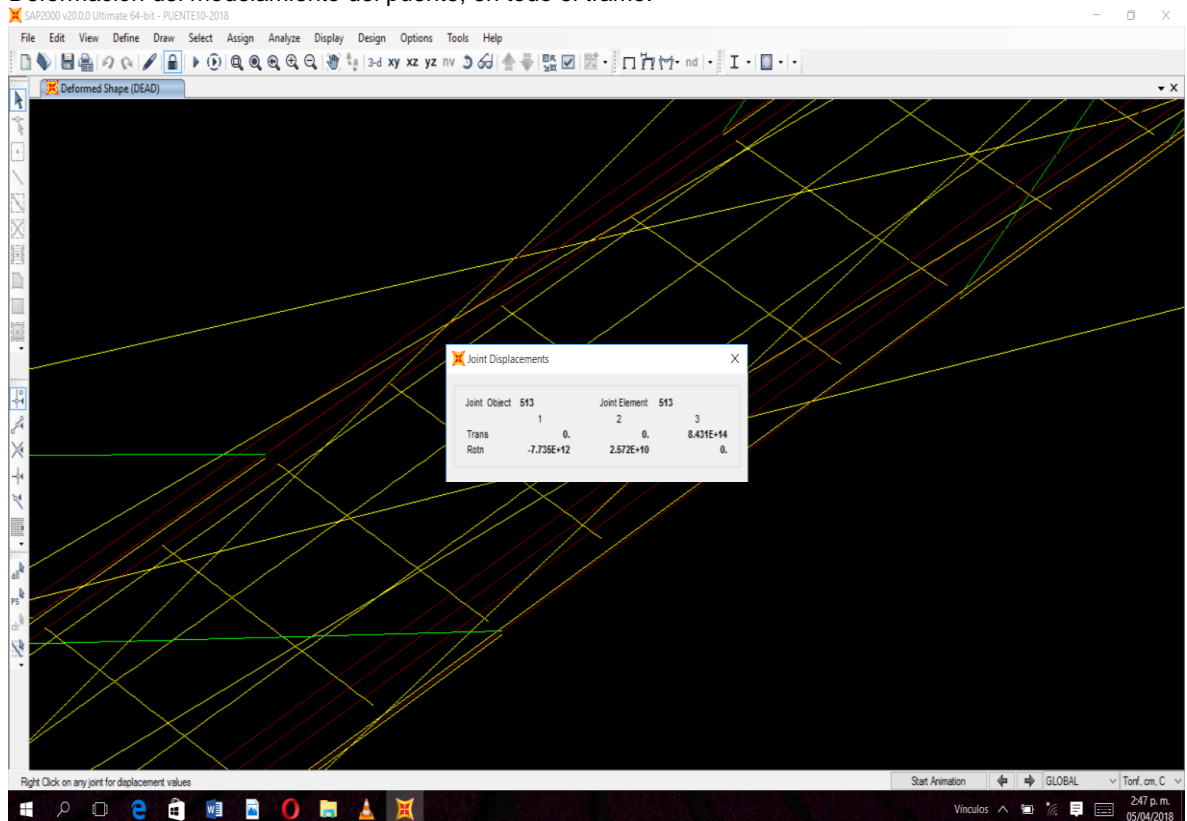
MODELAMIENTO EN SAP 2000



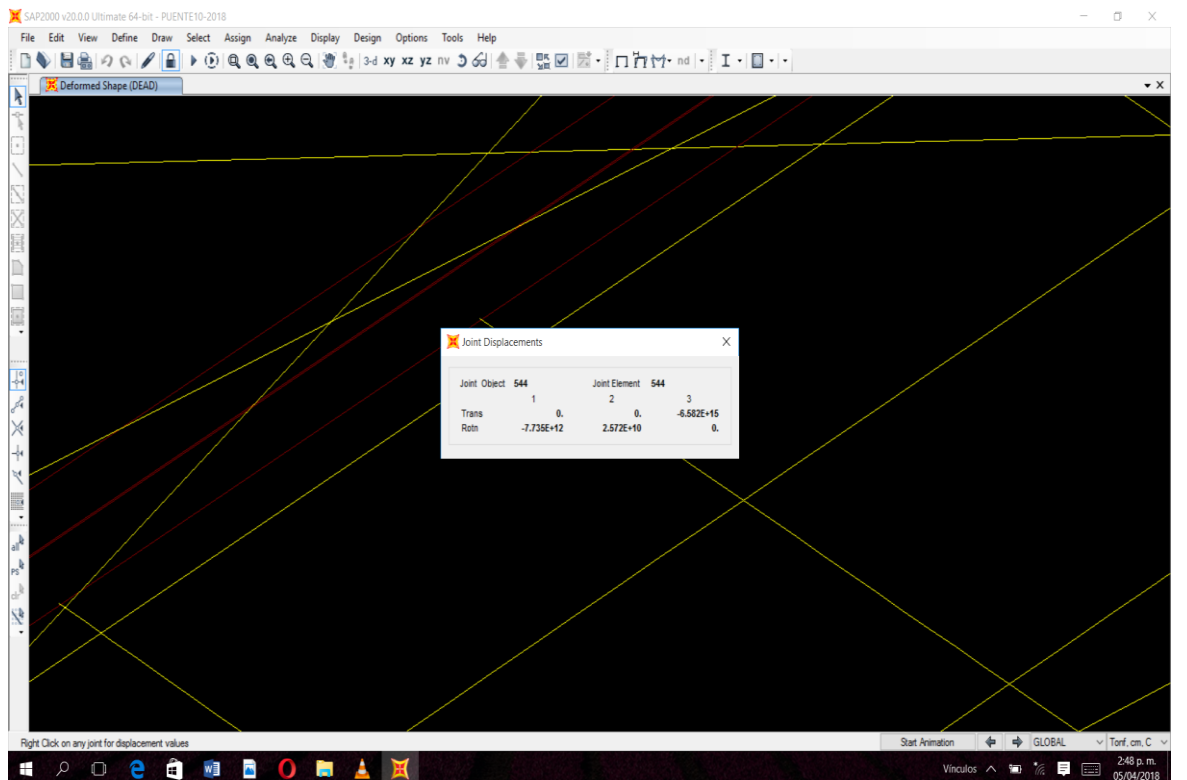
Modelamiento del puente, compuesto por 3 vanos.



Deformación del modelamiento del puente, en todo el tramo.



Desplazamiento 8.431 cm, progresiva 0+150, aguas arriba.



Desplazamiento 6.582 cm Progresiva 0+150, aguas abajo, en el punto critico maxima flecha.

final.xlsx - Excel

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA

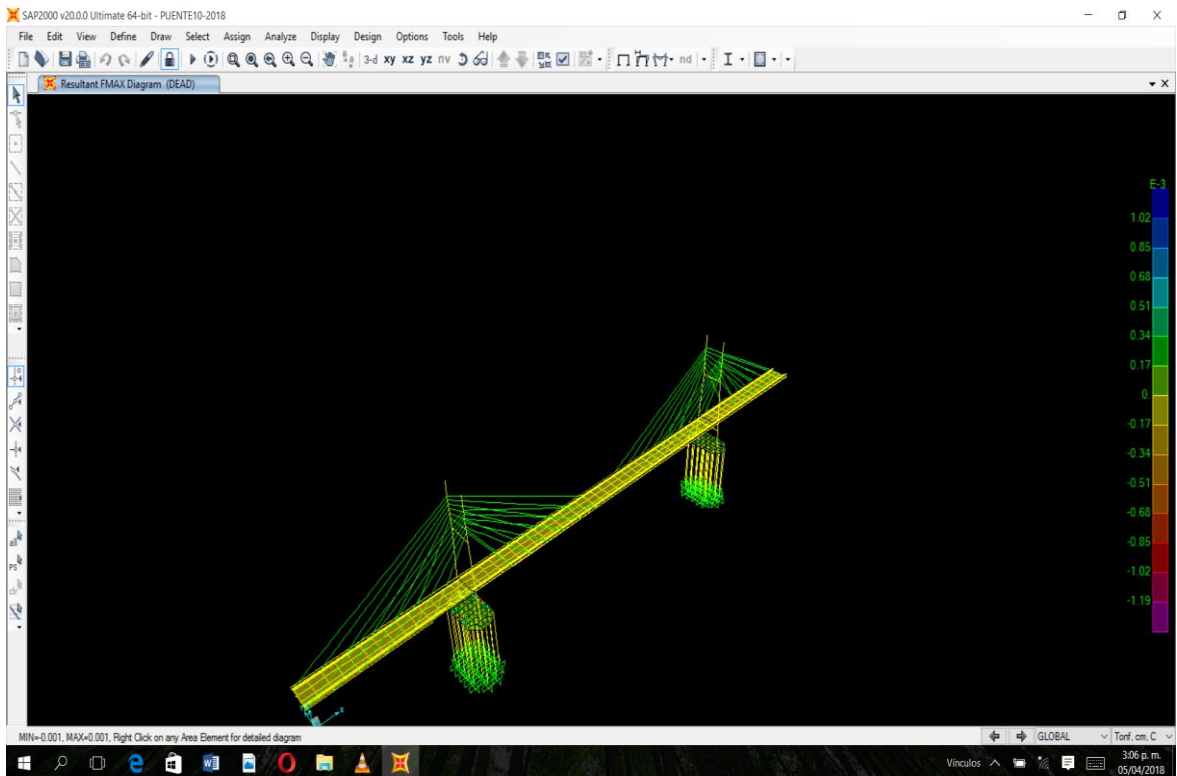
Calibri 11 Fuente Alineación Número Estilos Celdas

Normal Buena Incorrecto Neutral

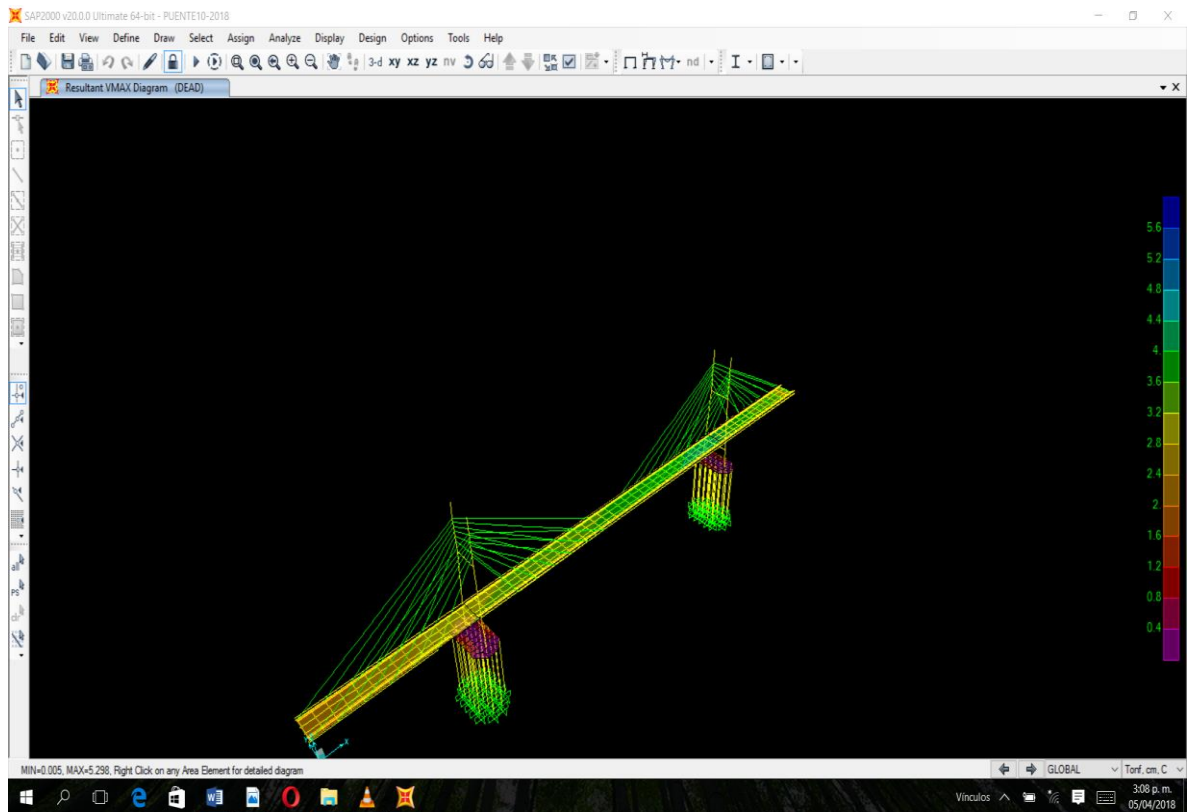
Autosuma Rellenar Ordenar y filtrar Buscar y seleccionar

TABLE: Joint Displacements								
Joint	Output	Case	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Type	m	m	m	Radians	Radians	Radians
1	DEAD	LinStatic	0	0	-6.789E+13	-7.735E+12	25720000000	0
2	DEAD	LinStatic	0	0	-7.433E+13	-7.735E+12	25720000000	0
3	DEAD	LinStatic	0	0	-6.377E+13	-7.735E+12	25720000000	0
4	DEAD	LinStatic	0	0	-6.362E+12	-7.735E+12	25720000000	0
5	DEAD	LinStatic	0	0	-1.048E+13	-7.735E+12	25720000000	0
6	DEAD	LinStatic	0	0	-6.968E+13	-7.735E+12	25720000000	0
7	DEAD	LinStatic	0	0	-6.955E+13	-7.735E+12	25720000000	0
8	DEAD	LinStatic	0	0	-4.385E+13	-3.486E+12	0	0
9	DEAD	LinStatic	0	0	-6.929E+13	-7.735E+12	25720000000	0
10	DEAD	LinStatic	0	0	-6.916E+13	-7.735E+12	25720000000	0
11	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
12	DEAD	LinStatic	0	0	-0.000351	0	0	0
13	DEAD	LinStatic	0	0	-0.000351	0	0	0
14	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
15	DEAD	LinStatic	0	0	-6.904E+13	-7.735E+12	25720000000	0
16	DEAD	LinStatic	0	0	-6.891E+13	-7.735E+12	25720000000	0
17	DEAD	LinStatic	0	0	-6.878E+13	-7.735E+12	25720000000	0
18	DEAD	LinStatic	0	0	-6.865E+13	-7.735E+12	25720000000	0
19	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
20	DEAD	LinStatic	0	0	-0.000351	0	0	0
21	DEAD	LinStatic	0	0	-0.000351	0	0	0
22	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
23	DEAD	LinStatic	0	0	-0.000351	0	0	0
24	DEAD	LinStatic	0	0	-0.000351	0	0	0
25	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
26	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
27	DEAD	LinStatic	0	0	-0.000351	0	0	0
28	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
29	DEAD	LinStatic	0	0	-0.000351	0	0	0
30	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0
31	DEAD	LinStatic	0	0	0	0	0	0

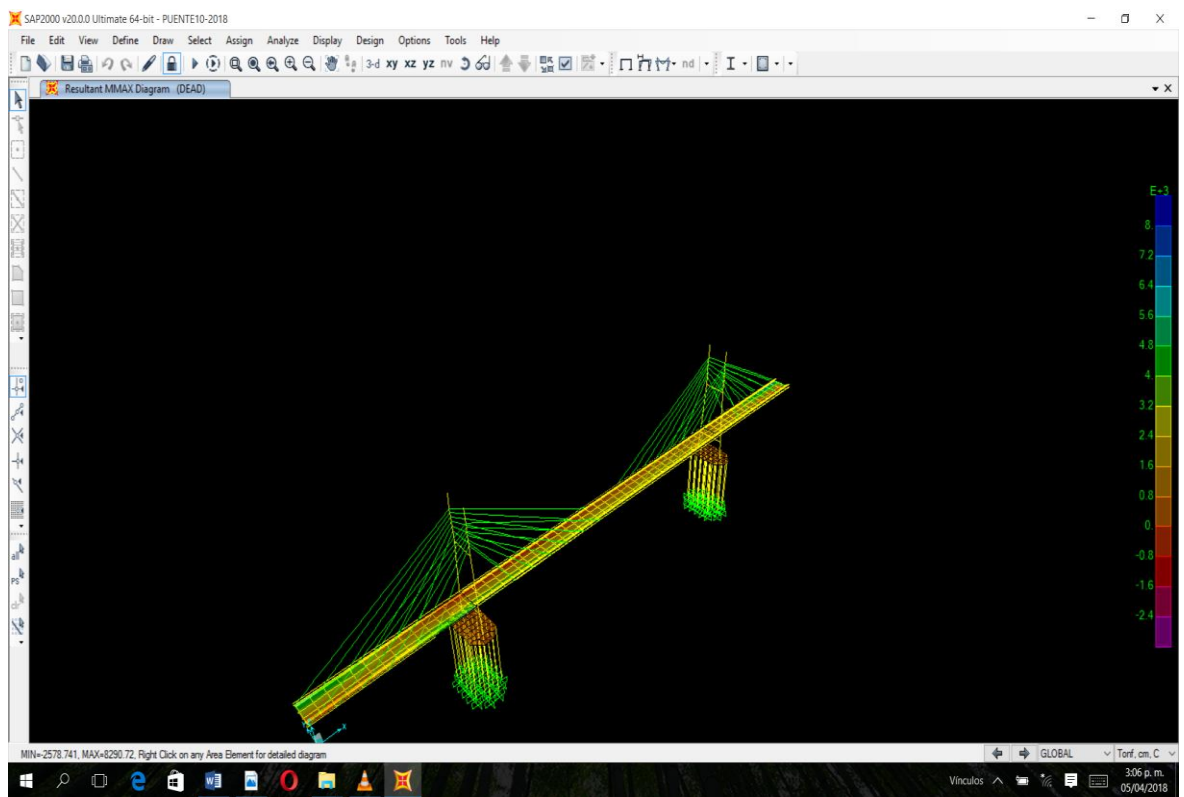
Resultados de los desplazamientos U3, todos son $\leq 7/1000$ (0,007) para el concreto según E.030 Diseño Sismorresistente, los desplazamientos cumplen.



Componente Fuerza Máxima.



Componente Cortante máximo.



Componente Momento máximo.

Libro1 - Excel

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA

Inicio sesión

Cortar Copiar Pegar Copiar formato

Calibri 11 Fuente Ajustar texto Combinar y centrar

Formato Dar formato condicional como tabla Estilos

Normal Buena Incorrecto Neutral

Autosuma Rellenar Ordenar y buscar y filtrar seleccionar

Portapapeles Fuente Alineación Número Estilos Celdas Modificar

A3

1	TABLE: Element Stresses - Area Shells																		
2	Area	AreaElem	ShellType	Joint	OutputCase	CaseType	S11Top	S22Top	S12Top	SMaxTop	SMinTop	SAngleTop	SVMTop	S11Bot	S22Bot	S12Bot	SMaxBot	SMinBot	SAngleBot
3	Text	Text	Text	Text	Text	Text	KN/m2	KN/m2	KN/m2	KN/m2	KN/m2	Degrees	KN/m2	KN/m2	KN/m2	KN/m2	KN/m2	KN/m2	Degrees
4	1	1-1	Shell-Thin	164	DEAD	LinStatic	-505.24	87.81	-111.26	108	-525.43	-79.717	586.92	505.29	-87.76	111.3	525.49	-107.96	10.287
5	1	1-1	Shell-Thin	~56	DEAD	LinStatic	-640.3	39.52	-243.95	118	-718.78	-72.166	784.47	640.34	-39.47	243.96	718.83	-117.96	17.834
6	1	1-1	Shell-Thin	~57	DEAD	LinStatic	-534.68	230.97	-178.66	270.61	-574.32	-77.491	747.32	534.72	-231.03	178.68	574.36	-270.67	12.509
7	1	1-1	Shell-Thin	~58	DEAD	LinStatic	-708.31	19.01	-75.15	26.7	-715.99	-84.162	729.7	708.37	-19.03	75.23	716.06	-26.73	5.843
8	1	1-2	Shell-Thin	~56	DEAD	LinStatic	-618.68	61.82	-218.93	126.17	-683.03	-73.62	754.07	618.73	-61.83	219.02	683.13	-126.22	16.384
9	1	1-2	Shell-Thin	165	DEAD	LinStatic	-224.96	371.65	-270.25	475.86	-329.17	-68.912	701.03	224.94	-371.65	270.32	329.2	-475.91	21.092
10	1	1-2	Shell-Thin	~59	DEAD	LinStatic	-517.43	297.62	-373.86	443.13	-662.94	-68.733	964.16	517.44	-297.49	373.81	662.93	-442.99	21.267
11	1	1-2	Shell-Thin	~57	DEAD	LinStatic	-687.6	166.85	-208.88	215.18	-735.93	-76.972	863.86	687.62	-166.82	208.91	735.96	-215.16	13.03
12	1	1-3	Shell-Thin	165	DEAD	LinStatic	-384.56	34.8	-394.3	271.71	-621.46	-59.001	793.03	384.57	-34.7	394.27	621.47	-271.6	31
13	1	1-3	Shell-Thin	~60	DEAD	LinStatic	157.72	633.17	-496.49	945.91	-155.02	-57.793	1032.19	-157.72	-633.07	496.49	155.05	-945.85	32.21
14	1	1-3	Shell-Thin	~61	DEAD	LinStatic	-551.19	793.08	-491.78	953.77	-711.89	-71.904	1447.57	551.08	-793.03	491.89	711.85	-953.81	18.1
15	1	1-3	Shell-Thin	~59	DEAD	LinStatic	-415.95	415.16	-334.52	533.07	-533.86	-70.583	923.99	415.92	-415.08	334.58	533.89	-533.04	19.421
16	1	1-4	Shell-Thin	~60	DEAD	LinStatic	114.24	634	-710.65	1130.79	-382.55	-55.043	1362.95	-114.24	-633.7	710.87	382.87	-1130.8	34.965
17	1	1-4	Shell-Thin	~62	DEAD	LinStatic	-35.09	1567.34	-863.36	1943.98	-411.73	-66.431	2179.22	35.45	-1566.93	863.43	412.15	-1943.63	23.571
18	1	1-4	Shell-Thin	~63	DEAD	LinStatic	-632.08	1814.79	-740.4	2021.39	-838.67	-74.409	2546.5	632.31	-1814.92	740.21	838.79	-2021.39	15.586
19	1	1-4	Shell-Thin	~61	DEAD	LinStatic	-569.56	768.5	-553.02	967.47	-768.54	-70.211	1506.72	569.4	-768.75	552.98	768.34	-967.69	19.787
20	1	1-5	Shell-Thin	~62	DEAD	LinStatic	-115.07	1299.54	-1086.39	1888.59	-704.11	-61.533	2322.14	115.23	-1299.86	1085.61	703.52	-1888.15	28.453
21	1	1-5	Shell-Thin	193	DEAD	LinStatic	156.16	5861.9	-625.29	5929.62	88.44	-83.819	5885.9	-158.61	-5863.01	624.64	-91.01	-5930.6	6.176
22	1	1-5	Shell-Thin	~64	DEAD	LinStatic	-1041.38	2864.12	-355.68	2896.24	-1073.5	-84.839	3556.65	1039.19	-2864.4	355.51	1071.31	-2896.51	5.161
23	1	1-5	Shell-Thin	~63	DEAD	LinStatic	-589.95	1947.01	-803.64	2180.16	-823.1	-73.822	2687.95	590.37	-1946.51	803.34	823.36	-2179.5	16.174
24	1	1-6	Shell-Thin	193	DEAD	LinStatic	170.38	5817.05	646.37	5890.09	97.34	83.553	5842.03	-172.78	-5818.12	-645.72	-99.86	-5891.04	-6.443
25	1	1-6	Shell-Thin	~65	DEAD	LinStatic	-133.69	1315.89	1073.53	1886.39	-704.19	62.013	2320.07	133.9	-1316.18	-1072.81	703.69	-1885.98	-27.974
26	1	1-6	Shell-Thin	~66	DEAD	LinStatic	-578	1932.39	809.41	2170.73	-816.34	73.592	2674.05	578.42	-1931.91	-809.11	816.61	-2170.09	-16.403
27	1	1-6	Shell-Thin	~64	DEAD	LinStatic	-1033.77	2845.67	362.43	2879.23	-1067.34	84.708	3535.86	1031.59	-2845.97	-362.2	1065.14	-2879.51	-5.291
28	1	1-7	Shell-Thin	~65	DEAD	LinStatic	-64.81	1562.55	857.24	1930.79	-433.05	66.753	2179.82	65.17	-1562.15	-857.3	433.46	-1930.44	-23.248
29	1	1-7	Shell-Thin	~67	DEAD	LinStatic	119.27	633.07	705.31	1126.8	-374.47	55.007	1353.46	-119.27	-632.77	-705.5	374.74	-1126.79	-35.001
30	1	1-7	Shell-Thin	~68	DEAD	LinStatic	-570.04	764.5	553.9	964.45	-769.98	70.152	1505.2	569.86	-764.74	-553.88	769.78	-964.66	-19.847

Element Joint Forces - Areas Element Joint Forces - Frames Element Stresses - Area Shells Element Stresses - Fram ...

LISTO RECUENTO: 24

8:42 a.m. 13/04/2018

Libro1 - Excel

ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA

Inicio sesión

Cortar Copiar Pegar Copiar formato

Calibri 11 A A Ajustar texto

Formato Dar formato condicional como tabla

Normal Buena Incorrecto Neutral

Insertar Eliminar Formato

Autosuma Rellenar Ordenar y filtrar Buscar y seleccionar

Borrar

Portapapeles Fuente Alineación Número Estilos Celdas Modificar

A3 X ✓ fx Text

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
419	2	2-52	Shell-Thin	53	DEAD	LinStatic	866.12	-343.88	-48.01	868.02	-345.78	-2.268	1083.13	-866.11	343.79	48	345.69	-868.01	87.732
420	3	3	Shell-Thin	228	DEAD	LinStatic	7619098.97	3136585.29	-1523834.34	8088064.13	2667620.12	-17.106	7138423.91	-7619098.97	-3136585.29	1523834.34	-2667620.12	-8088064.13	72.894
421	3	3	Shell-Thin	261	DEAD	LinStatic	-11342493.8	-1892553.7	-1435624.99	-1679268.89	-11555778.6	-81.55	10814374.83	11342493.75	1892553.7	1435624.99	11555778.57	1679268.89	8.45
422	3	3	Shell-Thin	263	DEAD	LinStatic	8101521.81	954473.26	1063999.78	8256559.09	799435.98	8.29	7887285.69	-8101521.81	-954473.26	-1063999.78	-799435.98	-8256559.09	-81.71
423	3	3	Shell-Thin	230	DEAD	LinStatic	-8100940.17	-1562557.45	975963.78	-1419887.18	-8243510.45	81.689	7632226.64	8100940.17	1562557.45	-975963.78	8243510.45	1419887.18	-8.311
424	4	4	Shell-Thin	228	DEAD	LinStatic	7289334.23	1335403.39	1429885.57	7614927.79	1009809.82	12.828	7163603.3	-7289334.23	-1335403.39	-1429885.57	-1009809.82	-7614927.79	-77.172
425	4	4	Shell-Thin	261	DEAD	LinStatic	-3565981.11	-2581170.93	1509200.98	-1486077.87	-4661074.17	54.035	4123993.29	3565981.11	2581170.93	-1509200.98	-4661074.17	1486077.87	-35.965
426	4	4	Shell-Thin	262	DEAD	LinStatic	25702352.68	3909776.52	-1597310.88	25818807.03	3793322.17	-4.17	24146656.84	-25702352.7	-3909776.52	1597310.88	-3793322.17	-25818807	85.83
427	4	4	Shell-Thin	229	DEAD	LinStatic	13579667.62	-596741.68	-1676626.29	13775261.49	-792335.55	-6.654	14188032.08	-13579667.6	596741.68	1676626.29	792335.55	-13775261.5	83.346
428	5	5	Shell-Thin	229	DEAD	LinStatic	14947717.77	-184170.82	-1852329.98	15171166.23	-407619.28	-6.878	15379027.86	-14947717.8	184170.82	1852329.98	407619.28	-15171166.2	83.122
429	5	5	Shell-Thin	262	DEAD	LinStatic	-11222294.1	-7168800.79	-2211963.17	-6195466.93	-12195627.9	-66.249	10562175.04	11222294.08	7168800.79	2211963.17	12195627.94	6195466.93	23.751
430	5	5	Shell-Thin	248	DEAD	LinStatic	11177285.18	3568406.87	1237117.8	11373373.2	3372318.84	9.007	10117880.79	-11177285.2	-3568406.87	-1237117.8	-3372318.84	-11373373.2	-80.993
431	5	5	Shell-Thin	2	DEAD	LinStatic	-11177294.5	78144.33	1596577.64	300235.68	-11399385.8	82.081	11552430.08	11177294.47	-78144.33	-1596577.64	-11399385.82	-300235.68	-7.919
432	8	8	Shell-Thin	486	DEAD	LinStatic	13.44	638.49	24399.69	24727.65	-24075.73	45.367	42266.22	-13.44	-638.49	-24399.69	24075.73	-24727.65	-44.633
433	8	8	Shell-Thin	487	DEAD	LinStatic	92.22	-397.88	24399.81	24248.21	-24553.87	44.712	42264.12	-92.22	397.88	-24399.81	24553.87	-24248.21	-45.288
434	8	8	Shell-Thin	494	DEAD	LinStatic	-205.54	-207.85	24398.12	24191.42	-24604.82	44.999	42259.3	205.54	207.85	-24398.12	24604.82	-24191.42	-45.001
435	8	8	Shell-Thin	495	DEAD	LinStatic	237.8	-28.94	24397.66	24502.46	-24293.59	44.843	42258.75	-237.8	28.94	-24397.66	24293.59	-24502.46	-45.157
436	9	9	Shell-Thin	494	DEAD	LinStatic	-162.68	-1019.58	24398.28	23810.91	-24993.17	44.497	42269.7	162.68	1019.58	-24398.28	24993.17	-23810.91	-45.503
437	9	9	Shell-Thin	496	DEAD	LinStatic	145.83	24.97	24397.32	24482.8	-24312	44.929	42257.62	-145.83	-24.97	-24397.32	24312	-24482.8	-45.071
438	9	9	Shell-Thin	497	DEAD	LinStatic	117.62	1081.18	24397.79	25001.94	-23803.15	45.566	42270.69	-117.62	-1081.18	-24397.79	23803.15	-25001.94	-44.434
439	9	9	Shell-Thin	487	DEAD	LinStatic	-238.7	-90.39	24398.4	24233.97	-24563.06	45.087	42259.78	238.7	90.39	-24398.4	24563.06	-24233.97	-44.913
440	10	10	Shell-Thin	567	DEAD	LinStatic	1067.7	811.27	220535.42	221474.95	-219595.97	44.983	381979.77	-1067.7	-811.27	-220535.42	219595.97	-221474.95	-45.017
441	10	10	Shell-Thin	568	DEAD	LinStatic	-720.57	-1909.01	220535.42	219221.43	-221851.01	44.923	381982.2	720.57	1909.01	-220535.42	221851.01	-219221.43	-45.077
442	10	10	Shell-Thin	569	DEAD	LinStatic	945.05	1294.9	220543.24	221663.29	-219423.33	45.023	381993.86	-945.05	-1294.9	-220543.24	219423.33	-221663.29	-44.977
443	10	10	Shell-Thin	570	DEAD	LinStatic	-1186.26	-2569.15	220543.24	218666.62	-222422.03	44.91	381998.59	1186.26	2569.15	-220543.24	222422.03	-218666.62	-45.09
444	11	11	Shell-Thin	569	DEAD	LinStatic	278.4	2783.21	220541.72	222076.08	-219014.48	45.163	381998.7	-278.4	-2783.21	-220541.72	219014.48	-222076.08	-44.837
445	11	11	Shell-Thin	571	DEAD	LinStatic	-699.88	-1934.84	220542.91	219226.41	-221861.13	44.92	381995.29	699.88	1934.84	-220542.91	221861.13	-219226.41	-45.08
446	11	11	Shell-Thin	572	DEAD	LinStatic	432.76	2406.67	220538.55	221960.47	-219121.04	45.128	381990.43	-432.76	-2406.67	-220538.55	219121.04	-221960.47	-44.872
447	11	11	Shell-Thin	568	DEAD	LinStatic	-674.24	-2740.32	220537.19	218832.33	-222246.89	44.866	381989.63	674.24	2740.32	-220537.19	222246.89	-218832.33	-45.134
448							-1179.48	-2652.51	220425.33	218940.33	-222772.32	-34.851	382576.55	1179.53	2652.56	-220425.89	222772.38	-218940.29	-34.847

Element Joint Forces - Areas Element Joint Forces - Frames **Element Stresses - Area Shells** Element Stresses - Fram ...

LISTO RECUENTO: 24 100 %

8:42 a.m. 13/04/2018

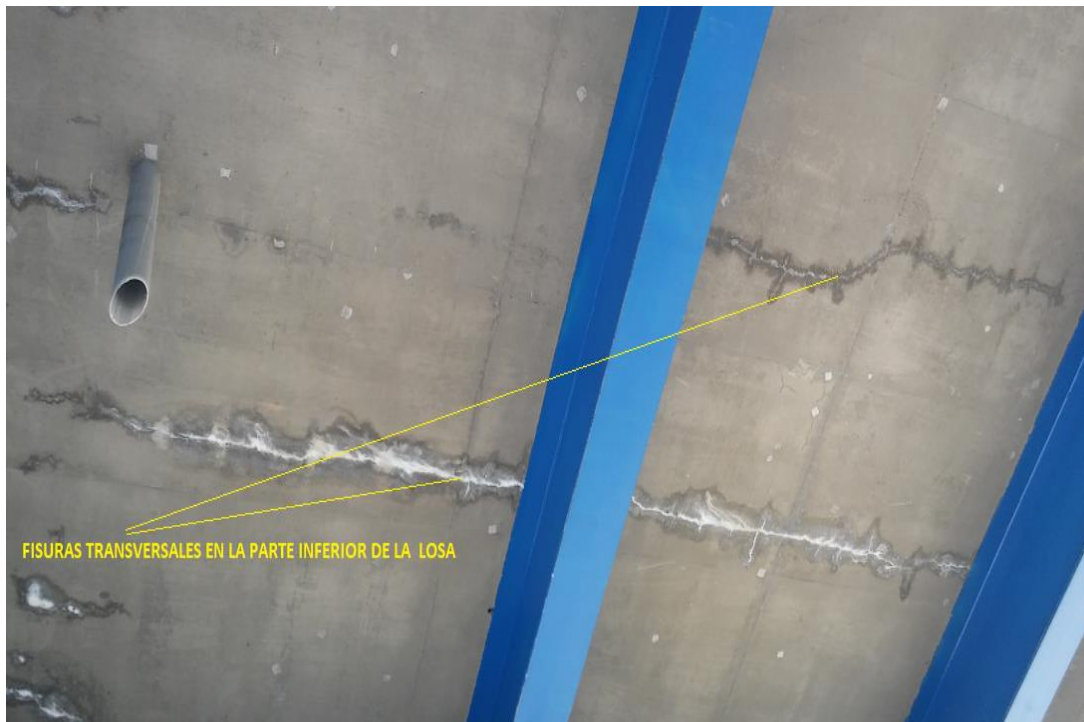
El reforzamiento de la losa de concreto mediante fibra de carbono el modelamiento arroja, el esfuerzo solicitante de 1179.48 kN/m², que es menor al valor de resistencia del concreto de 3280.7 kN/m², por lo que la losa no se fisurará resistirá las solicitaciones.

ANEXO N° 4
PANEL FOTOGRÁFICO.

EVALUACIÓN DE LAS FISURAS EN LA PARTE SUPERIOR DE LA LOSA.



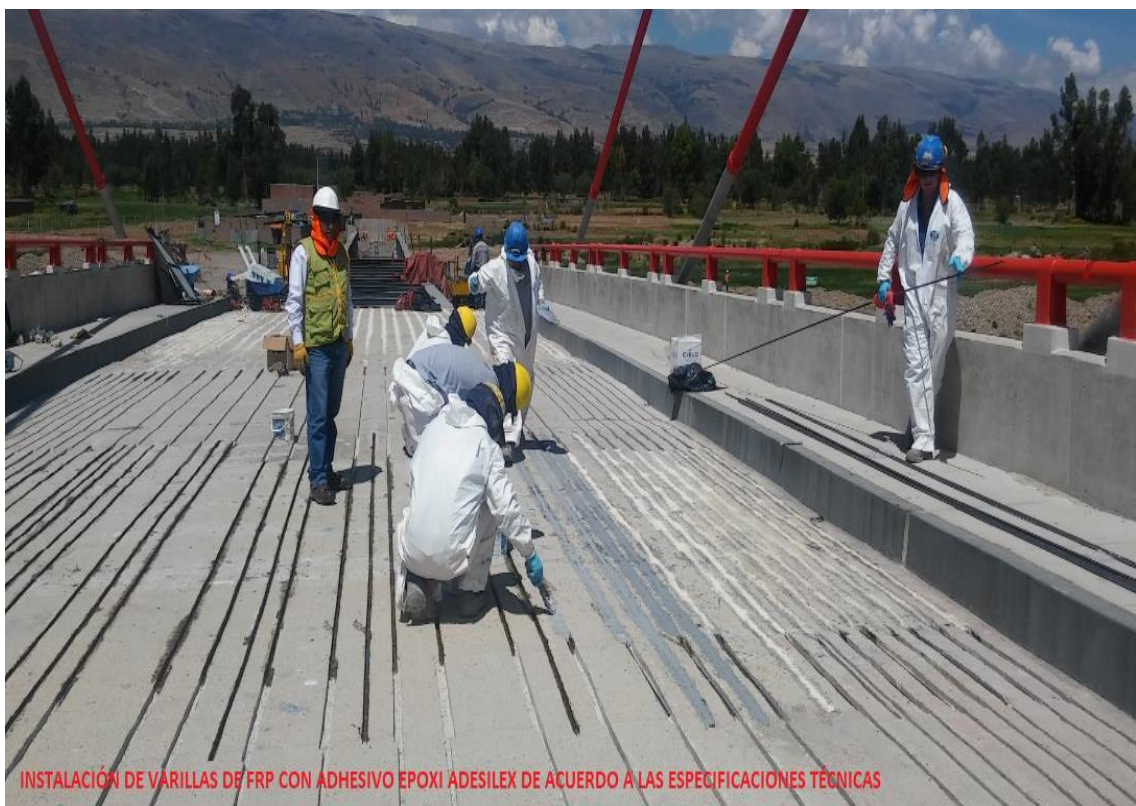
EVALUACION DE FISURAS EN LA PARTE INFERIOR DE LA LOSA



INSTALACIÓN DE LAS VARILLAS MAPECORD C EN LA PARTE SUPERIOR DE LA LOSA



EN PLENO TRABAJO DE ELABORACIÓN DE RANURAS POR CORTE DE LOSA



INSTALACIÓN DE VARILLAS DE FRP CON ADHESIVO EPOXI ADESILEX DE ACUERDO A LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

SELLADO DE FISURAS EN LA PARTE INFERIOR DE LA LOSA



SE VERIFICA EL SELLO DE LA FISURA MEDIANTE MAPEWASP 1, LISTO PARA LA INYECCIÓN

INSTALACIÓN DE LAMINA CARBOPLATE E 170 EN LA PARTE INFERIOR DE LA LOSA



ACONDICIONANDO Y CORTANDO LA LAMINA CARBOPLATE E 170



INSTALACIÓN DE MANTA MAPEWARP B UNI-AX EN LA PARTE SUPERIOR DE LA LOSA.



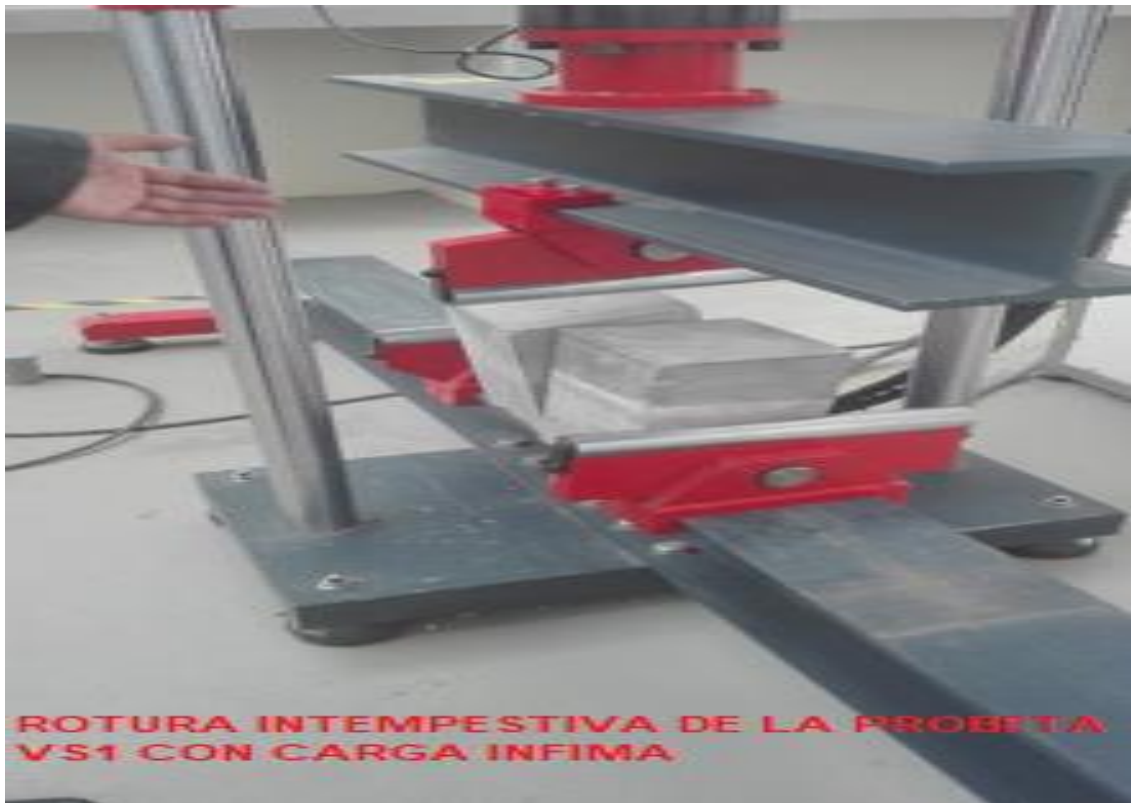






ENSAYOS DE PROBETAS EN EL LABORATORIO DE LA UPLA.
ENSAYO DE VS1

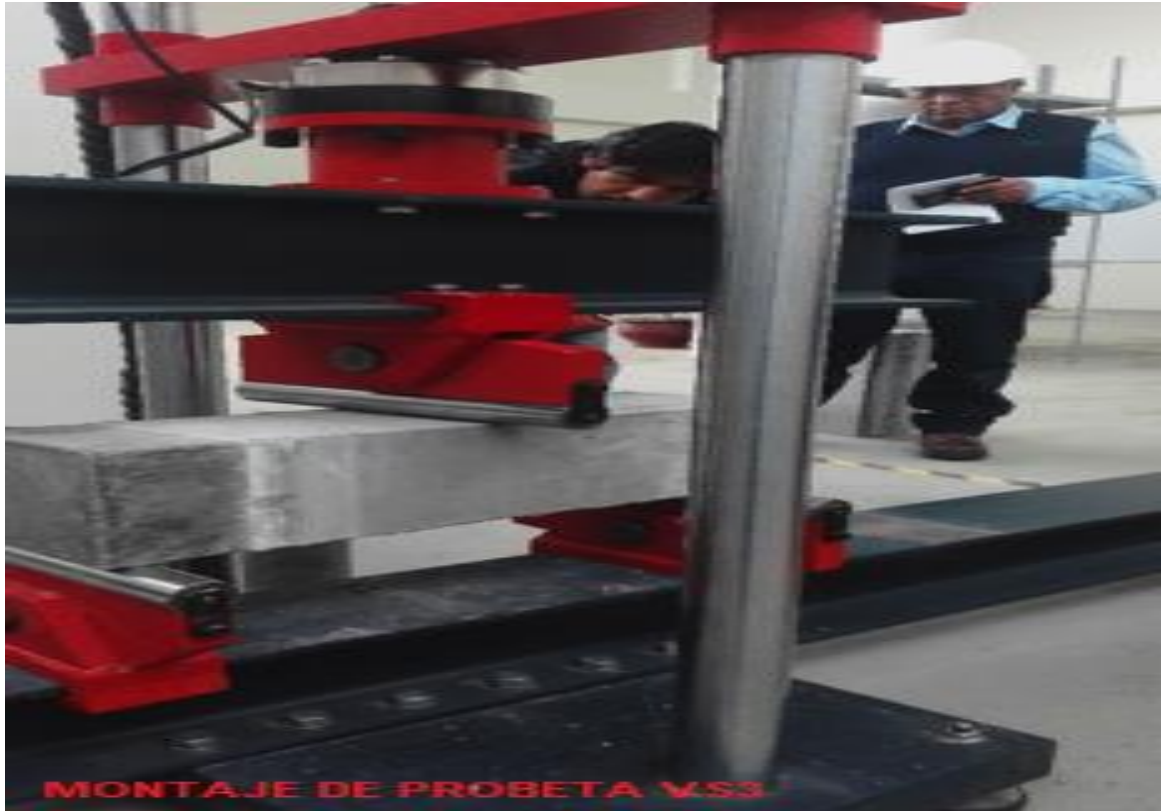




ENSAYO DE PROBETA VS2



ENSAYO DE LA PROBETA VS3



ENSAYOS CON PROBETAS REFORZADAS CON FIBRA DE CARBONO



ENSAYO DE VR1





ENSAYO DE PROBETA REFORZADA CON FRP VR2





ENSAYO DE PROBETA REFORZADA CON FRP VR3.





ANEXO N° 5

INFORME DE ENSAYOS DE FLEXIÓN A TRES PUNTOS

CARTA N° 001 -2017. APT - JLRC.

Huancayo 18 de Setiembre 2017

Señor:
Ing. Julio Buyu Nakandakare Santana.
Docente de la Universidad Privada Los Andes.
Sub Director de Estudios de la Región Junín.

CIUDAD.-

ASUNTO : Prueba de Ensayo de Probetas.

De mi mayor consideración:


Es grato dirigirme a Ud., para saludarlo y solicitarle tenga a bien ordenar a quien corresponde ejecutar los ensayos a flexión a tres puntos, de tres probetas de concreto y de dos probetas de concreto reforzado con dos varillas de Maperod C, 01 lamina de Carboplate E 170, asimismo una probeta de concreto reforzado con dos varillas de Maperod C, una lámina de Carboplate E 170, y tejido MapeWarp B UNI AX, todas de f'c 280 Kg/cm2 a fin de estudiar el comportamiento del reforzamiento de la losa de concreto armado del tablero del Puente Sobre el Río Mantaro en los Distritos de Chilca y Tres de Diciembre, Provincia de Huancayo y Sicaya Región Junín 2017, losa que requiere ser reforzado, por lo que le solicitamos a usted como docente de la Universidad Privada Los Andes, en la Facultad de Ingeniería de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil y funcionario del Gobierno Regional Junín como Sub Gerente de Estudios.

Mucho agradeceré brindarnos el apoyo y autorizarnos participar de los ensayos a los suscritos que requieren de dicha información para sustentar la investigación del comportamiento de la losa del tablero del puente antes mencionado que venimos desarrollando como parte del Plan de Tesis Estudio del Uso de Sellador, Varillas Platinas y Mantas de Fibra de Carbono, en el Comportamiento de la Losa de Concreto del Tablero del Puente sobre el Río Mantaro, en los Distritos de Chilca, Tres de Diciembre, Provincia de Huancayo, Región Junín 2017

Sin otro particular, aprovecho la ocasión para reiterarle las muestras de mi estima personal.

Atentamente;


Augusto Paredes Taípe.
DNI 19806527


18 / 09 / 17
Ing. Julio Nakandakare


José Luis Rojas Cajacuri
DNI 19958239

CARTA N° 0023 -2017. JBNS.

Huancayo 27 de Diciembre 2017

Señores:
Augusto Paredes Taipe.
José Luis Rojas Cajacuri.

CIUDAD.-

ASUNTO : Prueba de Ensayo de Probetas.

REFERENCIA: CARTA N° 001 -2017. APT - JLRC.

De mi mayor consideración:

Es grato dirigirme a Ud., para saludarlo comunicarle que remito adjunto al presente el informe de los resultados de los ensayos de la probetas de las características siguientes

Forma de probetas paralelepipedo rectangular de dimensiones 15x15x50 cm.

$f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$

Tres VS1, VS2, VS3 probetas sin reforzamiento.

Lugar, Laboratorio de Estructuras y Simulación de Sismo de la Universidad Privada Los Andes Hyo.

Fecha de ensayo 22 de Setiembre de 2017 en presencia de los solicitantes y alumnos de la

Tres probetas con reforzamiento de fibra de carbono

VR1y VR2 reforzado con dos varillas de Maperod C y una platina de Carboplate E 170.

VR3 reforzado con dos varillas de Maperod C, con una platina Carboplate E 170 y manta MapeWarp B UNI-AX.

Fecha de ensayo 27 de Diciembre de 2017 en presencia de los solicitantes y alumnos de la Universidad Privada Los Andes.

Lugar, Laboratorio de Estructuras y Simulación de Sismo de la Universidad Privada Los Andes Hyo.

Folios 05 folios que corresponde a VS2, VS3, VR1, VR2 y VR3

Sin otro particular, se informa para los casos que estime por conveniente, aprovecho la ocasión para reiterarle las muestras de mi estima personal.

Atentamente;


 **Julio Buyu Nakandakare Santana**
INGENIERO CIVIL
CIP. 77337

Informe de Ensayo de flexión a 3 puntos Universidad Peruana Los Andes

Fondos de escala de los canales analógicos:

Fuerza: 98.066 kN Posición: 400.000 mm

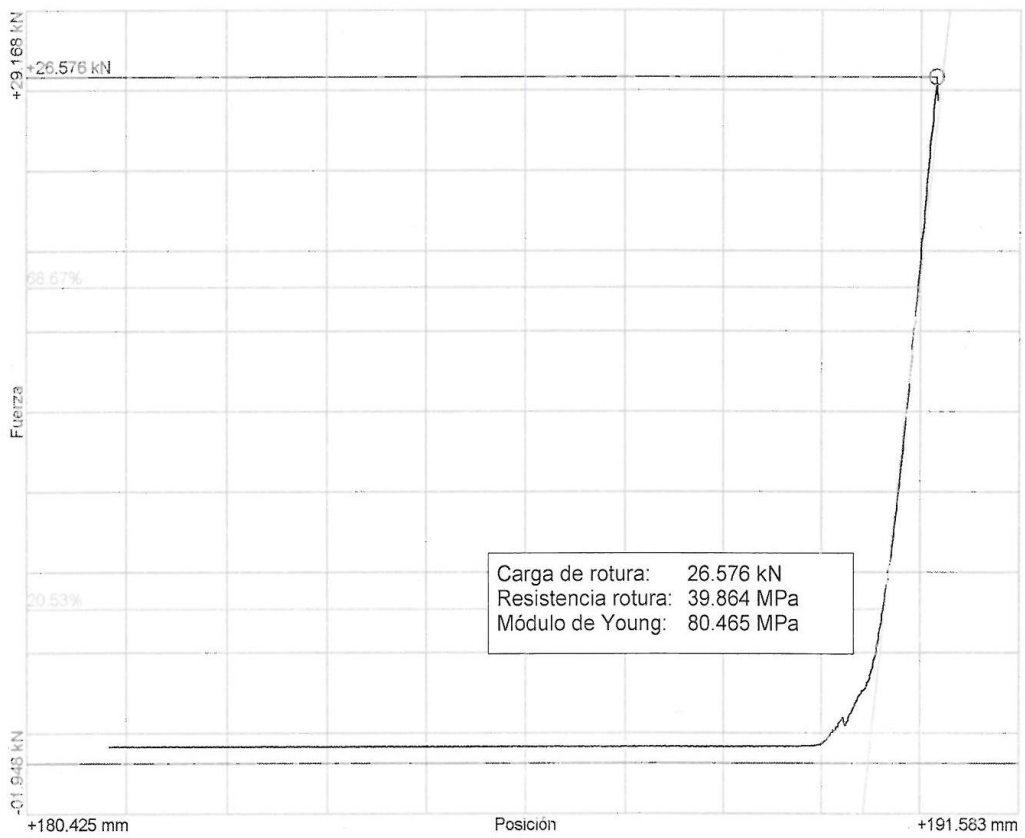
Referencias:

Fecha: 22/09/2017
Probeta: v-s-02

Parámetros:

Velocidad: 010.00 mm/min
Limite superior: 70.00 %
Limite inferior: 20.00 %
Distancia rodillos: 1,000.0 mm
Ancho: 100.0 mm
Espesor: 100.0 mm

Nombre de archivo: Defecto




 **Julio Bisyu Nakandakare Santana**
INGENIERO CIVIL
CIP. 77337

Informe de Ensayo de flexión a 3 puntos Universidad Peruana Los Andes

Fondos de escala de los canales analógicos:

Fuerza: 98.066 kN Posición: 400.000 mm

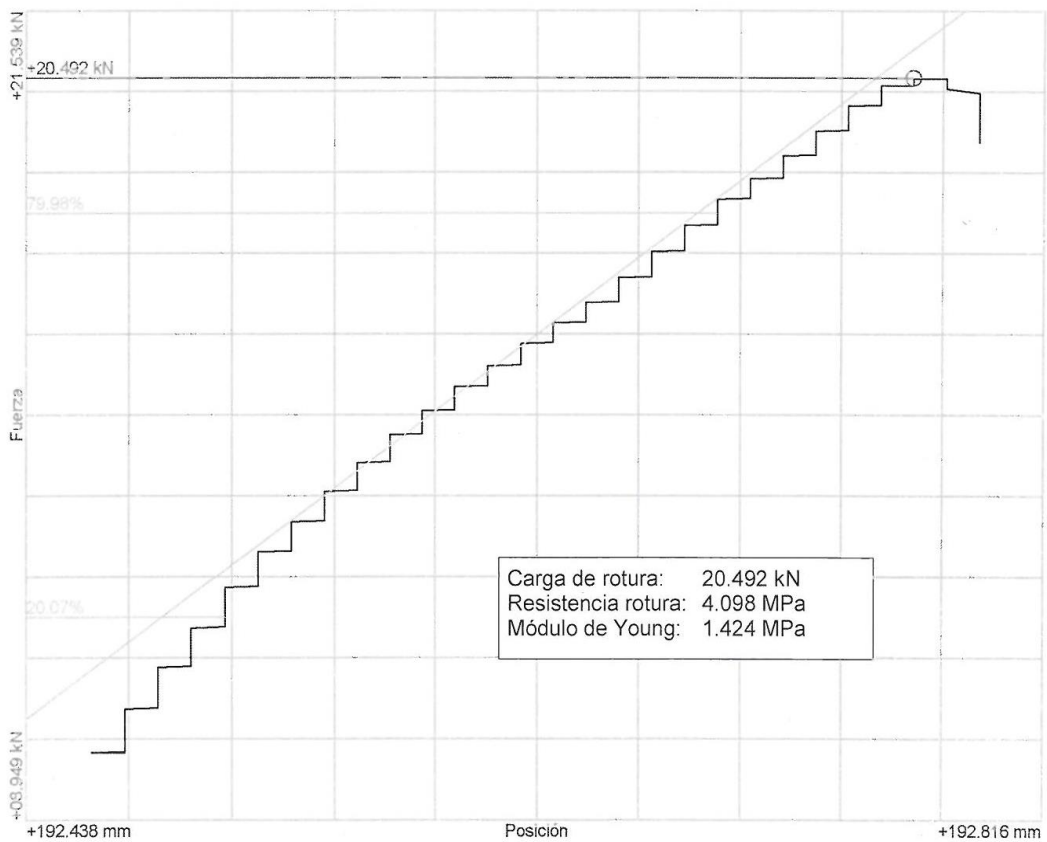
Referencias:

Fecha: 22/09/2017
Probeta: v-s-03

Parámetros:

Velocidad: 010.00 mm/min
Límite superior: 80.00 %
Límite inferior: 20.00 %
Distancia rodillos: 450.0 mm
Ancho: 150.0 mm
Espesor: 150.0 mm

Nombre de archivo: Defecto




 Julio Buyu Makandakare Santana
INGENIERO CIVIL
CIP. 77337

Informe de Ensayo de flexión a 3 puntos en Hormigón

Universidad Peruana Los Andes

Fondos de escala de los canales analógicos:

Fuerza: 98.066 kN Posición: 400.000 mm Auxiliar 1: 10.000 V

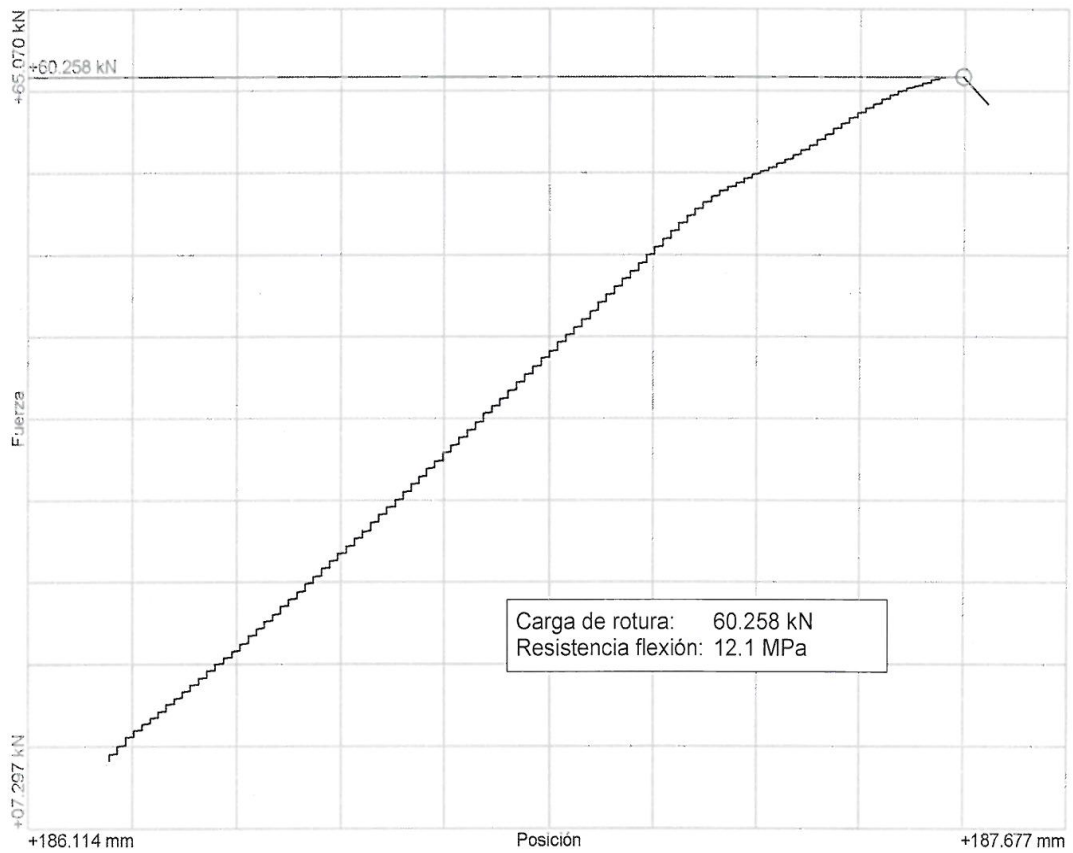
Referencias:

Fecha: 27/12/2017
Probeta: V-R-01

Parámetros:

Velocidad: 0.20 MPa/s
Distancia rodillos: 450.0 mm
Ancho: 150.0 mm
Espesor: 150.0 mm

Nombre de archivo: Defecto




 **Julio Buyu Nakandakare Santana**
INGENIERO CIVIL
CIP. 77337

Informe de Ensayo de flexión a 3 puntos en Hormigón

Universidad Peruana Los Andes

Fondos de escala de los canales analógicos:

Fuerza: 98.066 kN Posición: 400.000 mm Auxiliar 1: 10.000 V

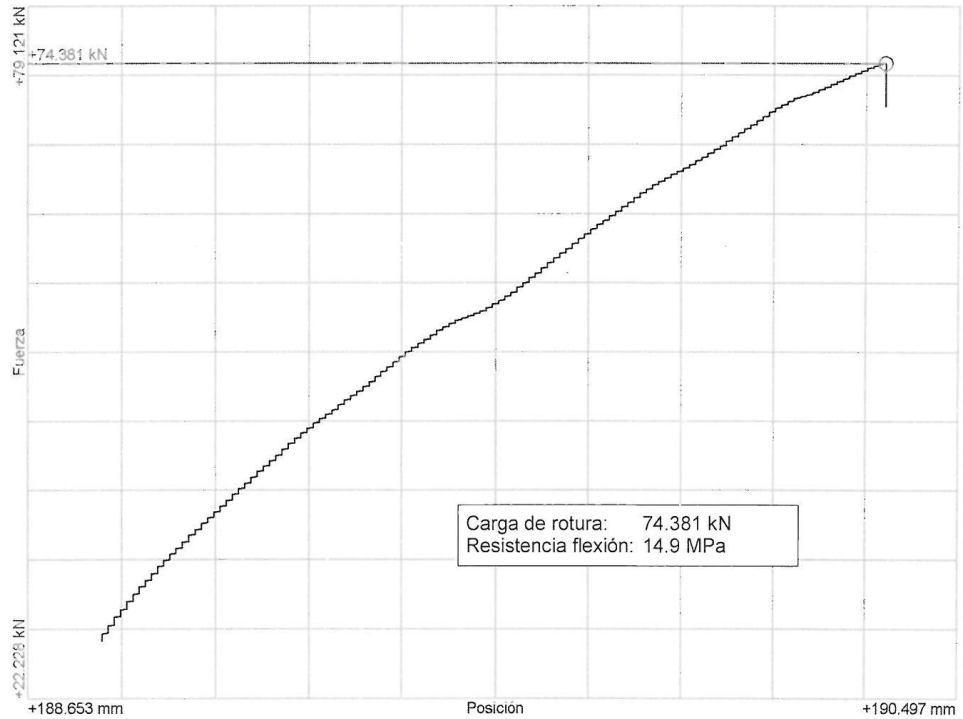
Referencias:

Fecha: 27/12/2017
Probeta: V-R-02

Parámetros:

Velocidad: 0.20 MPa/s
Distancia rodillos: 450.0 mm
Ancho: 150.0 mm
Espesor: 150.0 mm

Nombre de archivo: Defecto




 Julio Buyu Nakandakare Santana
INGENIERO CIVIL
CIP. 77337

Informe de Ensayo de flexión a 3 puntos en Hormigón

Universidad Peruana Los Andes

Fondos de escala de los canales analógicos:

Fuerza: 98.066 kN Posición: 400.000 mm Auxiliar 1: 10.000 V

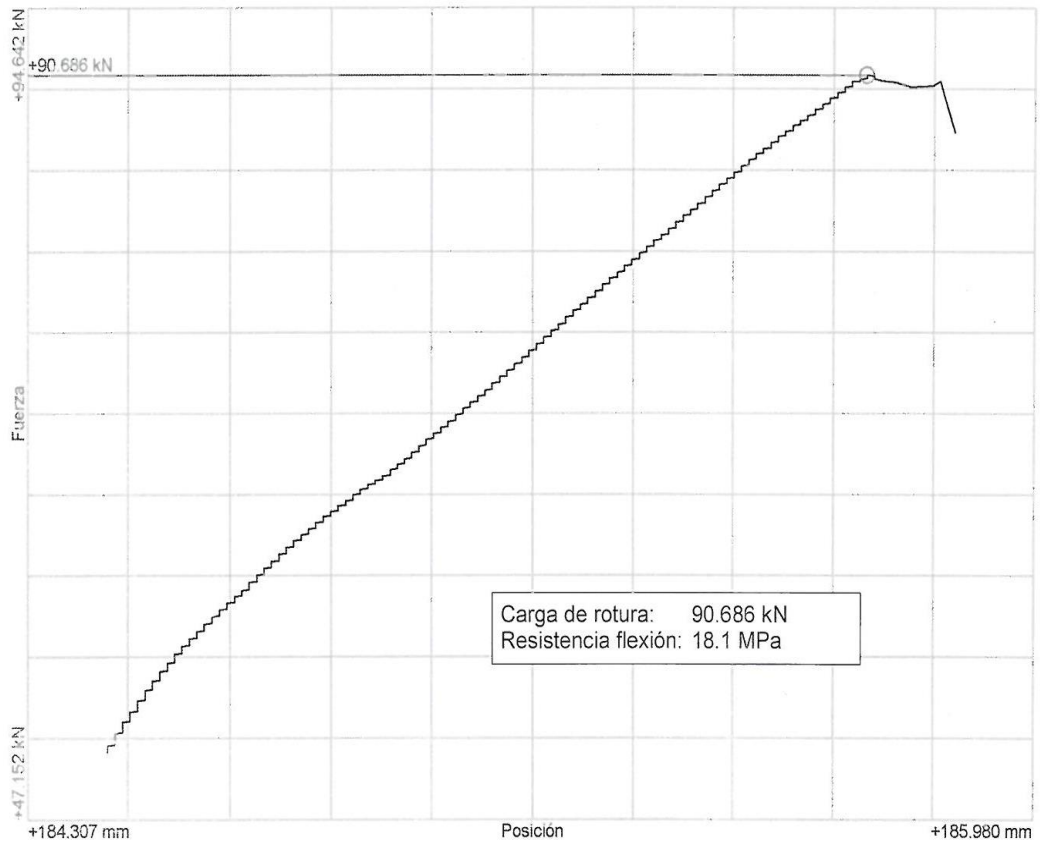
Referencias:

Fecha: 27/12/2017
Probeta: V-R-03

Parámetros:



Velocidad: 0.50 MPa/s
Distancia rodillos: 450.0 mm
Ancho: 150.0 mm
Espesor: 150.0 mm

Nombre de archivo: Defecto




 Julio Buyu Nakandakare Santana
INGENIERO CIVIL
CIP. 77337

ANEXO N° 6
PROTOLOCOS DE ADHERENCIA

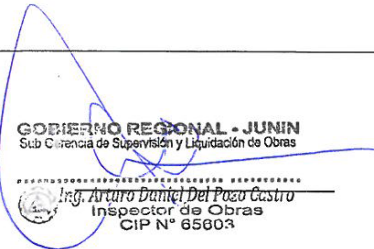
REPARACION DE FISURAS EN LA LOSA DE CONCRETO DEL PROYECTO PUENTE SOBRE EL RIO MANTARO																																																			
PROTOCOLO DE INYECCION DE FISURAS Y PRUEBA DE ADHERENCIA																																																			
PROGRESIVA ACTIVIDADES: 0+270	PLANO DE REF. MAPA DE FISURAS (6)	N°	81																																																
NUMERO DE PAÑO: 165		FECHA: 24/08/2017																																																	
SOLICITA APROBACION DE TRABAJOS SOLICITADOS: PARTIDAS: 2.1. REPARACION DE FISURAS MEDIANTE LIMPIEZA DE LA ZONA E INYECCION CON RESINA EPOXICA FLUIDA CON ALTA ADHERENCIA Y PRUEBA DE ADHERENCIA																																																			
DESCRIPCION DE TRABAJOS: LOS TRABAJOS SE REALIZAN DE ACUERDO A LOS PROCEDIMIENTOS PRESENTADOS LOS CUALES SE RESUMEN A CONTINUACION:																																																			
1 Limpieza en las zonas que presenta fisura 2 Fijación con masilla de boquillas de cobre para inyección de fisuras 3 Sellado superficial de fisuras mediante Aditivo Planibond AE 4 Inyección con Resina Epoxídica Epojet 5 Retiro de boquillas de inyección 6 Retiro de sello superficial Planibond																																																			
TEMPERATURA DE SUPERFICIE 16°																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 15%;">N° FISURA</th> <th style="width: 25%;">BOQUILLAS COLOCADAS</th> <th style="width: 25%;">LONGITUD DE FISURA (m)</th> <th style="width: 35%;">AREA (m2)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>28 UND</td><td>2.80</td><td>0.280</td></tr> <tr><td>2</td><td>22 UND</td><td>2.20</td><td>0.220</td></tr> <tr><td>3</td><td>9 UND</td><td>0.90</td><td>0.090</td></tr> <tr><td>4</td><td>15 UND</td><td>1.50</td><td>0.150</td></tr> <tr><td>5</td><td>20 UND</td><td>2.00</td><td>0.200</td></tr> <tr><td>6</td><td>6 UND</td><td>0.50</td><td>0.050</td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right;">TOTAL</td> <td>0.990</td> </tr> </tbody> </table>				N° FISURA	BOQUILLAS COLOCADAS	LONGITUD DE FISURA (m)	AREA (m2)	1	28 UND	2.80	0.280	2	22 UND	2.20	0.220	3	9 UND	0.90	0.090	4	15 UND	1.50	0.150	5	20 UND	2.00	0.200	6	6 UND	0.50	0.050	7				8				9				10				TOTAL			0.990
N° FISURA	BOQUILLAS COLOCADAS	LONGITUD DE FISURA (m)	AREA (m2)																																																
1	28 UND	2.80	0.280																																																
2	22 UND	2.20	0.220																																																
3	9 UND	0.90	0.090																																																
4	15 UND	1.50	0.150																																																
5	20 UND	2.00	0.200																																																
6	6 UND	0.50	0.050																																																
7																																																			
8																																																			
9																																																			
10																																																			
TOTAL			0.990																																																
PRUEBA DE ADHERENCIA																																																			
N°	PRESIÓN MPa	OBSERVACIONES																																																	
PRUEBA N° 1	3.30	Las seis pruebas superan el valor de 3 MPa, según las propiedades de adhesión al concreto del adhesivo Epojet los fabricantes recomiendan que el valor debe ser ≥ 3 MPa La pruebas resultaron con valores superiores al valor mínimo recomendado por el fabricante																																																	
PRUEBA N° 2	3.3																																																		
PRUEBA N° 3	3.20																																																		
PRUEBA N° 4	3.40																																																		
PRUEBA N° 5	3.30																																																		
PRUEBA N° 6	3.50																																																		
PROMEDIO	3.3																																																		
APROBACION DE TRABAJOS		SI	NO																																																
		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>																																																
SIMA PERU S.A.		SUPERVISION G.R.J.																																																	
 Ing. Omar TORRES Vera RESIDENTE P.TE. MANTARO SIMA - PERU		 GOBIERNO REGIONAL - JUNIN Sub Gerencia de Supervisión y Liquidación de Obras Ing. Arturo Daniel Del Pozo Castro Inspector de Obras CIP N° 00804																																																	



EVALUACION DE LA ADHERENCIA						
PROYECTO	REPARACION DE FISURAS DE LOSA DE CONCRETO DEL PUENTE MANTARO					
CLIENTE	SERVICIOS INDUSTRIALES DE LA MARINA S.A.					
CONTRATISTA	SACOSI					
FECHA	2/10/2017					
I. MATERIAL A EVALUAR						
TIPO DE SUPERFICIE	ACERO	CONCRETO	X	FRP	X	MAPECORD C
	PRODUCTO	CODIGO				
SUSTRATO	CONCRETO	A				
ADHESIVO	ADESILEX	B				
FRP	MAPECORD C	C				
II. EQUIPOS Y RESULTADOS						
NORMA APLICADA	1) ASTM D 454 Standard test Method for Pull-Off coatings sing portable adhesion testers 2) ASTM C 881 Especificación estándar para sistemas de unión de resina epóxica para hormigon.					
EQUIPO : Adhesión Tester Manual	Marca	ELCOMETER	MODELO	E 106 -4		
RESULTADOS :						
Ubicación y Nro. de Dolly	Presión MPa	Adhesión % de fallas	Cohesión % Fallas	Pegamento % Fallas	Ubicación de Fallas	
Paño N° 51 Prueba N° 1	3.40					
Paño N° 51 Prueba N°2	3.40					
Paño N° 51 Prueba N° 3	3.60					
Paño N° 53 Prueba N° 1	2.90	0.66			B	
Paño N° 53 Prueba N° 2	3.7					
Paño N° 53 Prueba N° 3	3.40					
Promedio = 3.4 MPa		Valor según fabricante ≥ 3 MPa				
Se presentó fallas en la prueba N° 4, % de fallas en la adhesión 0.66%						
III. CONCLUSIONES						
De seis pruebas de pull off cinco valores superan 3.3 MPa y una prueba resulto con valor de 2.90 Mpa comprobándose una falla por pegamento en 0.66%						
El valor de adherencia del Maperod C en el concreto supera el valor mínimo de trabajo del adhesivo Epojet resultando igual a 3.3.MPa en promedio ≥ 3 como estipula los fabricantes.						
La evaluación cualitativa de los doly en los desprendimientos muestra un menor porcentaje en la falla adhesiva.						
Las pruebas de adherencia se realizaron en obra.						


 Ing. Omar TORRES Vera
 RESIDENTE PTE. MANTARO
 SIMA - PERÚ

GOBIERNO REGIONAL - JUNIN
 Sub Comencia de Supervisión y Liquidación de Obras


 Ing. Arturo Daniel Del Pozo Castro
 Inspector de Obras
 CIP N° 65603



EVALUACION DE LA ADHERENCIA					
PROYECTO	REPARACION DE FISURAS DE LOSA DE CONCRETO DEL PUENTE MANTARO				
CLIENTE	SERVICIOS INDUSTRIALES DE LA MARINA S.A.				
CONTRATISTA	SACOSI				
FECHA	2/10/2017				
I. MATERIAL A EVALUAR					
TIPO DE SUPERFICIE	ACERO	CONCRETO X	FRP= CARBOPLATE E 170		
	PRODUCTO	CODIGO			
SUSTRATO	CONCRETO	A			
ADHESIVO	ADESILEX	B			
FRP	CARBOPLATE E 170	C			
II. EQUIPOS Y RESULTADOS					
NORMA APLICADA	1) ASTM D 454 Standard test Method for Pull-Off coatings sing portable adhesion testers 2) ASTM C 881				
EQUIPO : Adhesión Tester Manual	Marca: ELCOMETER	MODELO: E 106 -4			
RESULTADOS					
Ubicación y Nro. de Prueba	Presión MPa	Adhesión % de fallas	Cohesión % Fallas	Pegamento % Fallas	Ubicación de Fallas
Paño N° 21 Prueba N° 01	4.00				
Paño N° 21 Prueba N° 02	5.00				
Paño N° 21 Prueba N° 03	4.00				
Paño N° 25 Prueba N° 01	4.00				
Paño N° 25 Prueba N° 02	3.80				
Paño N° 25 Prueba N° 03	3.80				
Promedio = 4.1 MPa		Valor según fabricante ≥ 3 MPa			
Ninguna Observación					
III. CONCLUSIONES					
<p>De las seis pruebas de pull off cinco valores superan 3.8 MPa. El valor de adherencia del Carboplate E 170 en el concreto supera el valor mínimo de trabajo del Adesilex ≥ 3 como estipula los fabricantes. La evaluación cualitativa de las pruebas en los desprendimientos no muestra fallas. Las pruebas de adherencia se realizaron en obra.</p>					

Ing. Omar TORRES Vera
RESIDENTE PTE. MANTARO
SIMA - PERÚ

Gobierno Regional - JUNIN
Sub Gerencia de Supervisión y Liquidación de Obras
Ing. Arturo Daniel Del Pozo Castro
Inspector de Obras
CIP N° 65003



EVALUACION DE LA ADHERENCIA					
PROYECTO	REPARACION DE FISURAS DE LOSA DE CONCRETO DEL PUENTE MANTARO				
CLIENTE	SERVICIOS INDUSTRIALES DE LA MARINA S.A.				
CONTRATISTA	SACOSI				
FECHA	2/10/2017				
I. MATERIAL A EVALUAR					
TIPO DE SUPERFICIE	ACERO	CONCRETO	FRP		
	PRODUCTO	CODIGO			
SUSTRATO	CONCRETO	A			
ADHESIVO	ADESILEX	B			
FRP	MAPEWARP B UNI -AX	C			
II. EQUIPOS Y RESULTADOS					
NORMA APLICADA	1) ASTM D 454 Standard test Method for Pull-Off coatings sing portable adhesion testers 2) ASTM C 881				
EQUIPO : Adhesión Tester Manual	Marca: ELCOMETER	MODELO: E 106 -4			
RESULTADOS					
Ubicación y Nro. de Prueba	Presión MPa	Adhesión % de fallas	Cohesión % Fallas	Pegamento % Fallas	Ubicación de Fallas
0+0.076 Prueba N° 01	4.20				
0+0.100 Prueba N° 02	3.80				
0+0.142 Prueba N° 03	3.70				
0+0.184 Prueba N° 01	4.30				
0+0.230 Prueba N° 02	3.80				
0+0.284 Prueba N° 03	3.75				
Promedio = 3.9 MPa		Valor de adherencia al concreto según fabricante \geq 3 MPa			
Ninguna Observación					
III. CONCLUSIONES					
De las seis pruebas todos los valores superan 3.75 MPa. El valor de adherencia del Maperod C en el concreto supera el valor mínimo de trabajo del adhesivo Adesilex > 3 como estipula los fabricantes. La evaluación cualitativa de las pruebas en los desprendimientos no muestra fallas respectivamente. Las pruebas de adherencia se realizaron en obra.					


 Ing. Omar TORRES Vera
 RESIDENTE PTE. MANTARO
 SIMA - PERÚ

GOBIERNO REGIONAL - JUNIN
 Sub Gerencia de Supervisión y Liquidación de Obras
 Ing. Arturo Pineda Del Pozo Castro
 Inspector de Obras
 CIP N° 65603

ANEXO N° 7
DIMENSIONAMIENTO DE LA FIBRA DE CARBONO EJECUTADO
POR SIMA PERÚ

DIMENSIONAMIENTO DE LA FIBRA DE CARBONO.

Se estudian diferentes zonas del tablero:

$$\text{Zona 1} \quad \sigma_s = 210000 \times 0.4 / 300 = 280 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Zona 2} \quad \sigma_s = 210000 \times 0.6 / 450 = 280 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Zona 3} \quad \sigma_s = 210000 \times 1.2 / 800 = 315 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Zona 4} \quad \sigma_s = 210000 \times 0.6 / 700 = 180 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Zona 5} \quad \sigma_s = 210000 \times 0.6 / 1200 = 105 \text{ N/mm}^2$$

La deformación unitaria remanente para la plastificación de la armadura resulta en cada caso:

$$\text{Zona 1} \quad \epsilon_s = 0.4 / 300 = 0.133 \% \quad \epsilon_r = 0.200 - 0.133 = 0,067 \%$$

$$\text{Zona 2} \quad \epsilon_s = 0.6 / 450 = 0.133 \% \quad \epsilon_r = 0.200 - 0.133 = 0,067 \%$$

$$\text{Zona 3} \quad \epsilon_s = 1,2 / 800 = 0.150 \% \quad \epsilon_r = 0.200 - 0.150 = 0,050 \%$$

$$\text{Zona 4} \quad \epsilon_s = 0.6 / 700 = 0.086 \% \quad \epsilon_r = 0.200 - 0.086 = 0,114 \%$$

$$\text{Zona 5} \quad \epsilon_s = 0.6 / 1200 = 0.050 \% \quad \epsilon_r = 0.200 - 0.050 = 0,150 \%$$

La armadura dispuesta, obtenida a partir de los planos de proyecto, resulta la siguiente:

Zona central de la losa:

$$\text{Flexión positiva} \quad A_d = 9.95 \text{ cm}^2/\text{m} \quad (\#5 \text{ a } 200 \text{ mm})$$

$$\text{Flexión negativa} \quad A_d = 10.40 \text{ cm}^2/\text{m} \quad (\#4 \text{ a } 300 \text{ mm} + \#5 \text{ a } 300 \text{ mm})$$

Zonas laterales de la losa:

$$\text{Flexión positiva} \quad A_d = 5.65 \text{ cm}^2/\text{m} \quad (\#4 \text{ a } 200 \text{ mm})$$

$$\text{Flexión negativa} \quad A_d = 10.40 \text{ cm}^2/\text{m} \quad (\#4 \text{ a } 300 \text{ mm} + \#5 \text{ a } 300 \text{ mm})$$

Considerando las tensiones actuales anteriormente obtenidas, es necesario el refuerzo adicional a flexión en las siguientes zonas:

Zonas 1 y 2:

Zona central de losa:

Flexión positiva $As = 42.3 / 0.9 / 0.175 / (42 - 28) / 0.9 = 21,3 \text{ cm}^2/\text{m}$

Flexión negativa $As = 32.8 / 0.9 / 0.175 / (42 - 28) / 0.9 = 16,5 \text{ cm}^2/\text{m}$

Zonas laterales de losa:

Flexión positiva $As = 25.3 / 0.9 / 0.175 / (42 - 28) / 0.9 = 12,7 \text{ cm}^2/\text{m}$

Flexión negativa $As = 21.0 / 0.9 / 0.175 / (42 - 28) / 0.9 = 10,6 \text{ cm}^2/\text{m}$

Zona 3:

Zona central de losa:

Flexión positiva $As = 42.3 / 0.9 / 0.175 / (42 - 31,5) / 0.9 = 28,4 \text{ cm}^2/\text{m}$

Flexión negativa $As = 32.8 / 0.9 / 0.175 / (42 - 31,5) / 0.9 = 22.0 \text{ cm}^2/\text{m}$

Zonas laterales de losa:

Flexión positiva $As = 25.3 / 0.9 / 0.175 / (42 - 31.5) / 0.9 = 17.0 \text{ cm}^2/\text{m}$

Flexión negativa $As = 21.0 / 0.9 / 0.175 / (42 - 31.5) / 0.9 = 14.1 \text{ cm}^2/\text{m}$

Zona 4:

Zona central de losa:

Flexión positiva $As = 42.3 / 0.9 / 0.175 / (42 - 18) / 0.9 = 12.4 \text{ cm}^2/\text{m}$

Flexión negativa $As = 32.8 / 0.9 / 0.175 / (42 - 18) / 0.9 = 9.6 \text{ cm}^2/\text{m}$

Zonas laterales de losa:

Flexión positiva $As = 25.3 / 0.9 / 0.175 / (42 - 18) / 0.9 = 7.4 \text{ cm}^2/\text{m}$

Flexión negativa $As = 21.0 / 0.9 / 0.175 / (42 - 18) / 0.9 = 6.2 \text{ cm}^2/\text{m}$

Zona 5:

Zona central de losa:

$$\text{Flexión positiva } A_s = 42.3 / 0.9 / 0.175 / (42 - 10.5) / 0.9 = 9.5 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{Flexión negativa } A_s = 32.8 / 0.9 / 0.175 / (42 - 10.5) / 0.9 = 7.4 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Zonas laterales de losa:

$$\text{Flexión positiva } A_s = 25.3 / 0.9 / 0.175 / (42 - 10.5) / 0.9 = 5.7 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{Flexión negativa } A_s = 21.0 / 0.9 / 0.175 / (42 - 10.5) / 0.9 = 4.7 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Como puede observarse, en función del estado de fisuración de la losa es necesario o no el refuerzo a flexión de la misma.

En zonas con apertura de fisuras pequeñas o grandes separaciones entre las mismas no es necesario el refuerzo a flexión de la losa, mientras que en zonas más fisuradas es necesario el refuerzo a flexión tanto en la cara superior como en la cara inferior.

Para las zonas no fisuradas o con fisuración controlada, se considera que únicamente está actuando el peso propio, resultando las siguientes deformaciones unitarias remanentes para la plastificación de la armadura:

Zona central de losa:

$$\text{Flexión positiva } \epsilon_s = 3.5 \times 1000 / 0.9 / 0.175 / 995 / 210000 \times 102 = 0.011 \% \quad \epsilon_r = 0.200 - 0.011 = 0.189 \%$$

$$\text{Flexión negativa } \epsilon_s = 5.1 \times 1000 / 0.9 / 0.175 / 1040 / 210000 \times 102 = 0.015 \% \quad \epsilon_r = 0.200 - 0.015 = 0.185 \%$$

$$\text{Zonas laterales de losa: Flexión positiva, } \epsilon_s = 3.0 \times 1000 / 0.9 / 0.175 / 565 / 210000 \times 102 = 0.016 \% \quad \epsilon_r = 0.200 - 0.016 = 0.184 \%$$

Flexión negativa, $\varepsilon_s = 4.8 \times 1000 / 0.9 / 0.175 / 1040 / 210000 \times 102 = 0.014 \%$ $\varepsilon_r = 0.200 - 0.014 = 0.186 \%$

Dimensionamiento del Refuerzo.

Se consideran los siguientes materiales para el refuerzo de la cara superior.

Barras de fibra de carbono MAPEROD C:

Diámetro nominal, 12 mm, resistencia a tracción 2100 N/mm², módulo elástico 140000 N/mm², alargamiento en rotura 1,5 %, coeficiente de dilatación térmica $6-10 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Resina MAPEWRAP 11-12

Adherencia al concreto > 3 N/mm², resistencia a tracción 30 N/mm², alargamiento a tracción 1 %, resistencia a compresión 70 N/mm², resistencia a flexión 40 N/mm², módulo elástico a compresión 8000 N/mm², módulo elástico a flexión 4000 N/mm²

Se consideran los siguientes materiales para el refuerzo de la cara inferior.

Láminas de fibra de carbono CARBOPLATE E170.

Espesor nominal 1,4 mm, resistencia a tracción 3100 N/mm², módulo elástico, 170000 N/mm², alargamiento en rotura 2,0 %, resistencia a cortante 77 MPa, coeficiente de dilatación térmica $6 \times 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$

Adhesivo epoxídico ADESILEX PG1-PG2:

Adherencia concreto-acero > 3 N/mm², adherencia concreto-Carboplate > 3 N/mm², adherencia acero-acero 19 N/mm², resistencia a tracción 30 N/mm², alargamiento a tracción 1 %, resistencia a compresión 70 N/mm², resistencia a flexión 40 N/mm², módulo elástico a compresión 8000 N/mm², módulo elástico a flexión 4000 N/mm²

Por tanto, para el cálculo dimensionado del refuerzo, se limitará a la deformación unitaria máxima de la sección a tracción al alargamiento máximo a tracción de las resinas (1 %).

Se obtienen a continuación los parámetros de diseño de los elementos de refuerzo:

Barras de fibra de carbono:

$$f_{fu} = CE f_{fu}^* = 0,85 \times 2100 = 1785 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{fu} = CE \varepsilon_{fu}^* = 0,85 \times 1,5 = 1,275 \%$$

$$CE = 0,85$$

Láminas de fibra de carbono:

$$f_{fu} = CE f_{fu}^* = 0,85 \times 3100 = 2635 \text{ N/mm}^2$$

$$\varepsilon_{fu} = CE \varepsilon_{fu}^* = 0,85 \times 2,0 = 1,7 \%$$

$$CE = 0,85$$

Concreto base para el refuerzo:

$$f'_c = 28 \text{ MPa}$$

$$E_c = 4700 (28)^{1/2} = 24870 \text{ N/mm}^2$$

Se obtiene a continuación el alargamiento máximo admisible para que no se produzca el descuelgue del refuerzo laminado:

$$\varepsilon_{fd} = 0,41 (f'_c / (n E_f t_f))^{1/2} = 0,41 (28 / 1 / 170000 / 1,4)^{1/2} = 0,0045$$

Se obtiene a continuación el alargamiento máximo admisible para que no se produzca el arrancamiento del refuerzo mediante barras:

$$\varepsilon_{fd} = 0,7 \varepsilon_{fu} = 0,7 \times 0,01275 = 0,0089$$

Se obtiene a continuación el alargamiento máximo admisible en las zonas de anclaje para el caso de tracción pura del refuerzo laminado:

$$\varepsilon_{fe} = k_v \varepsilon_{fu} = 0,178 \times 0,017 = 0,003 \leq 0,004$$

$$k_v = 2 k_1 k_2 L_e / 11900 / \varepsilon_{fu} = 2 \times 1,025 \times 1,0 \times 17,7 / 11900 / 0,017 = 0,178 \leq 0,75$$

$$L_e = 23300 / (n_f t_f E_f)^{0,58} = 23300 / (1 \times 1,4 \times 170000)^{0,58} = 17,7 \text{ mm}$$

$$k_1 = (f_c' / 27)^{2/3} = 1,025$$

$$k_2 = 1,0$$

Por lo que las máximas deformaciones unitarias admisibles para los refuerzos resultan ser las siguientes:

Láminas de fibra de carbono:

$$\varepsilon_{f,adm} = \text{mín} (\varepsilon_{fu}; \varepsilon_{fd}; 1,0 \%) = \text{mín} (0,017; 0,0045; 0,010) = 0,0045$$

Barras de fibra de carbono:

$$\varepsilon_{f,adm} = \text{mín} (\varepsilon_{fu}; \varepsilon_{fd}; 1,0 \%) = \text{mín} (0,01275; 0,0089; 0,010) = 0,0089$$

Por tanto, las tensiones máximas admisibles en los refuerzos resultan:

Láminas de fibra de carbono

$$f_{f,adm} = \varepsilon_{f,adm} E_f = 0,0045 \times 170000 = 765 \text{ N/mm}^2$$

Barras de fibra de carbono

$$f_{f,adm} = \varepsilon_{f,adm} E_f = 0,0089 \times 140000 = 1246 \text{ N/mm}^2$$

Las cuantías de refuerzo predimensionadas por tracción resultan iguales a:

Láminas de fibra de carbono en cara inferior:

$$\text{Refuerzo tipo 1} \quad A_d = F_d / f_{f,adm} = 450 / 76,5 = 5,9 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{Refuerzo tipo 2} \quad A_d = F_d / f_{f,adm} = 325 / 76,5 = 4,2 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Barras de fibra de carbono en cara superior:

$$\text{Refuerzo tipo 1} \quad A_d = F_d / f_{f,adm} = 450 / 124,6 = 3,6 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{Refuerzo tipo 2} \quad A_d = F_d / f_{f,adm} = 325 / 124,6 = 2,6 \text{ cm}^2/\text{m}$$

La deformación unitaria máxima de la armadura de refuerzo existente se considera, a efectos de predimensionado y puesto que siempre será menor que la deformación resultante en los refuerzos de fibra, igual a la obtenida para los refuerzos:

Armadura superior $\epsilon_{s,adm} = 0,0089$

Armadura inferior $\epsilon_{s,adm} = 0,0045$

Resultando unas resistencias máximas de la sección de concreto iguales a:

Zona central de la losa:

Flexión positiva $M_{r,s} = 9,95 \times 42 \times 0,45 / 2 \times 0,9 \times 0,175 = 14,8 \text{ kNm/m}$

Flexión negativa $M_{r,s} = 10,40 \times 42 \times 0,89 / 2 \times 0,9 \times 0,175 = 30,6 \text{ kNm/m}$

Zonas laterales de la losa:

Flexión positiva $M_{r,s} = 5,65 \times 42 \times 0,45 / 2 \times 0,9 \times 0,175 = 8,4 \text{ kNm/m}$

Flexión negativa $M_{r,s} = 10,40 \times 42 \times 0,89 / 2 \times 0,9 \times 0,175 = 30,6 \text{ kNm/m}$

Los momentos flectores que deberán ser resistidos por los refuerzos son los siguientes:

Zona central de la losa:

Flexión positiva $M_d = 42,3 - 14,8 = 27,5 \text{ kNm/m}$

Flexión negativa $M_d = 32,8 - 30,6 = 2,2 \text{ kNm/m}$

Zonas laterales de la losa:

Flexión positiva $M_d = 25,3 - 8,4 = 16,9 \text{ kNm/m}$

Flexión negativa $M_d = 21,0 - 30,6 < 0 \text{ Md} = 0$

Resultando unas cuantías de refuerzo predimensionadas por flexión iguales a:

Zona central de la losa:

Flexión positiva $A_d = M_d / 0,9 / d / f_{f,adm} / 0,9 = 2,5 \text{ cm}^2/\text{m}$

Flexión negativa $A_d = M_d / 0,9 / d / f_{f,adm} / 0,9 = 0,3 \text{ cm}^2/\text{m}$

Zonas laterales de la losa:

Flexión positiva $A_d = M_d / 0,9 / d / f_{f,adm} / 0,9 = 1,6 \text{ cm}^2/\text{m}$

Flexión negativa $A_d = 0$

Por lo que se disponen los siguientes refuerzos:

Láminas de fibra de carbono en cara inferior:

Refuerzo tipo 1:

Zona central de la losa bandas 100x1,4 mm cada 0,200 m

Zona lateral de la losa bandas 100x1,4 mm cada 0,200 m

Refuerzo tipo 2:

Zona central de la losa bandas 100x1,4 mm cada 0,300 m

Zona lateral de la losa bandas 100x1,4 mm cada 0,300 m

Barras de fibra de carbono en cara superior:

Refuerzo tipo 1:

Zona central de la losa barras $\phi 12$ mm cada 0,250 m

Zona lateral de la losa barras $\phi 12$ mm cada 0,250 m

Refuerzo tipo 2:

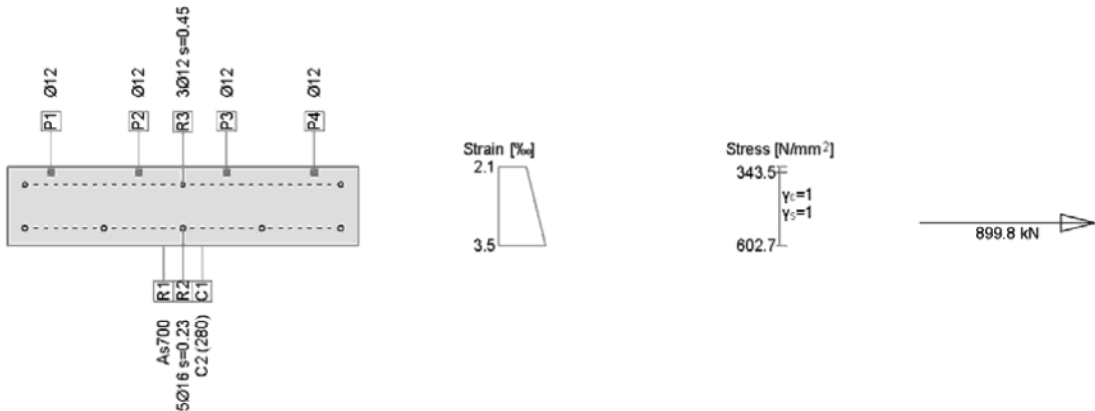
Zona central de la losa barras $\phi 12$ mm cada 0,300 m

Zona lateral de la losa barras $\phi 12$ mm cada 0,300 m

Se verifican a continuación los refuerzos anteriores para las zonas del tablero con una fisuración moderada (zonas 4 y 5 definidas y zonas sin fisuración o con fisuración controlada).

REFUERZO TIPO 1 EN ZONA CENTRAL DE LOSA CON FLEXIÓN POSITIVA

Deformaciones unitarias



Stress analysis Cross section (column): REF_T1_CENTRAL_POS

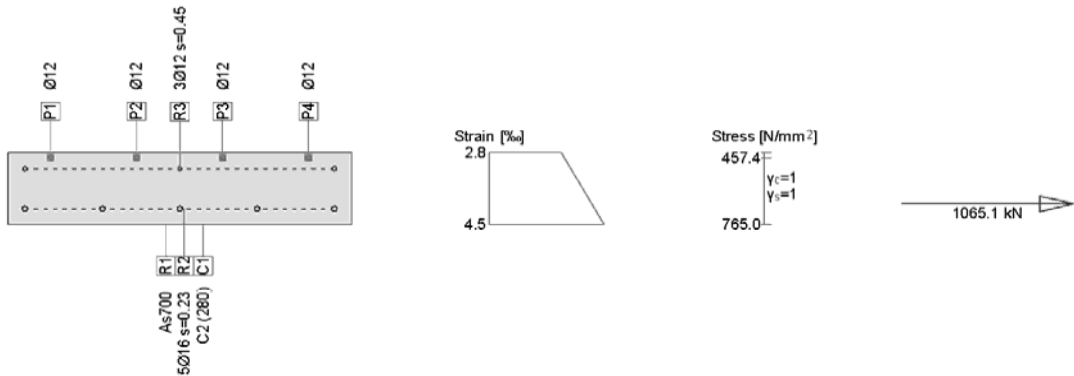
Action forces

No.	AP	P	Bending and axial force			Shear forces and torsion			Remarks
			N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	V _y [kN]	V _z [kN]	T [kNm]	
1	1SLS		900.0	42.3	-				-

- : Calculation with uniaxial bending (neutral axis is horizontal)!!

Extreme stresses and strain

Name	Class	y _{ci} [m]	z _{ci} [m]	ε [%]	σ _d [N/mm²]	γ [-]
C1	280	1.00	0.23	2.1	0	1.00
C1	280	0	0	3.5	0	1.00
P4	CARBONO	0.88	0.21	2.2	343.5	1.00
R1	LAMINA	0	0	3.5	602.7	1.00



Ultimate strength analysis Cross section (column): REF_T1_CENTRAL_POS

Action forces / Efficiency: eff(M,N) = 0.84 OK

No.	AP	P	Bending and axial force			eff(M,N) [-]	Shear forces and torsion			Complete CS eff(M,N,V,T) [-]
			N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]		V _y [kN]	V _z [kN]	T [kNm]	
1	1ULS		900.0	42.3	-	0.84				

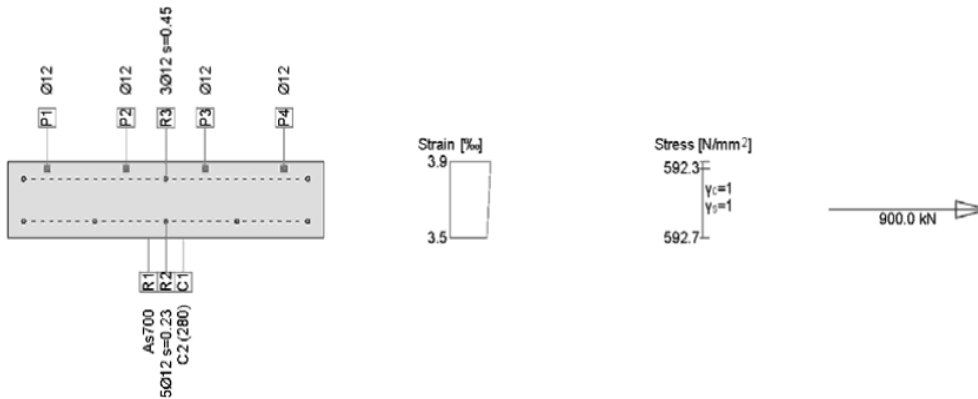
- : Calculation with uniaxial bending (neutral axis is horizontal)!!

Extreme stresses and strain

Name	Class	y _{ci} [m]	z _{ci} [m]	ε [%]	σ _d [N/mm²]	γ [-]
C1	280	1.00	0.23	2.8	0	1.00
C1	280	0	0	4.5	0	1.00
P4	CARBONO	0.88	0.21	3.0	457.4	1.00
R1	LAMINA	0	0	4.5	765.0	1.00

REFUERZO TIPO 1 EN ZONA LATERAL DE LOSA CON FLEXIÓN POSITIVA

deformaciones unitarias



Stress analysis Cross section (column): REF_T1_LATERAL_POS

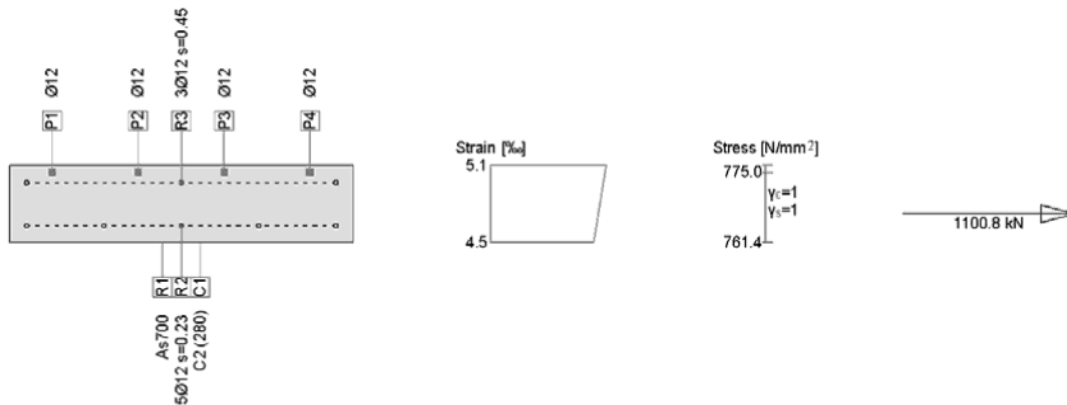
Action forces

No.	AP	P	Bending and axial force			Shear forces and torsion			Remarks
			N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	V _y [kN]	V _z [kN]	T [kNm]	
1	!SLS		900.0	25.3	0				-

Extreme stresses and strain

Name	Class	y _q [m]	z _q [m]	ε [%]	σ _d [N/mm ²]	γ [-]
C1	280	0.00	-0.00	3.5	0	1.00
R1	LAMINA	0.00	-0.00	3.5	592.7	1.00
P4	CARBONO	0.87	0.20	3.8	592.3	1.00

Verificación de resistencia



Ultimate strength analysis Cross section (column): REF_T1_LATERAL_POS

Action forces / Efficiency: eff(M,N) = 0.82 OK

No.	AP	P	Bending and axial force			eff(M,N) [-]	Shear forces and torsion			Complete CS eff(M,N,V,T) [-]
			N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]		V _y [kN]	V _z [kN]	T [kNm]	
1	!ULS		900.0	25.3	0	0.82				

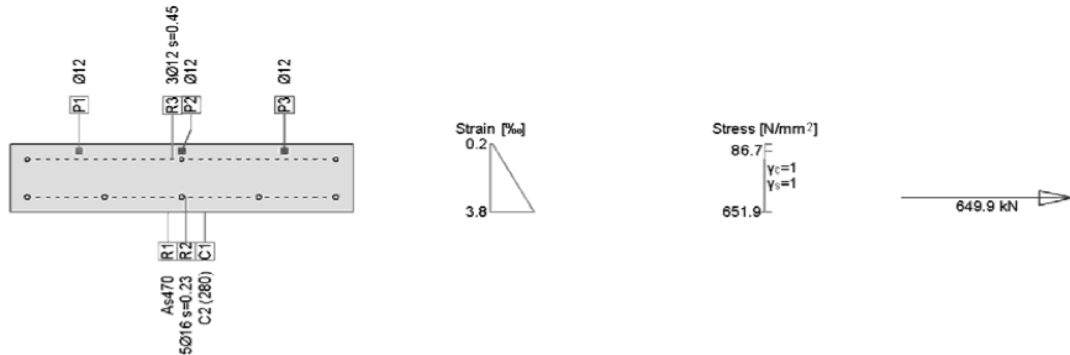
Extreme stresses and strain

Name	Class	y _q [m]	z _q [m]	ε [%]	σ _d [N/mm ²]	γ [-]
C1	280	0.00	-0.00	4.5	0	1.00
R1	LAMINA	0.00	-0.00	4.5	761.4	1.00
P4	CARBONO	0.87	0.20	5.0	775.0	1.00

Factor de eficiencia = 0,82 < φ = 0,90 → OK

REFUERZO TIPO 2 EN ZONA CENTRAL DE LOSA CON FLEXIÓN PO

Deformaciones unitarias



Stress analysis Cross section (column): REF_T2_CENTRAL_POS

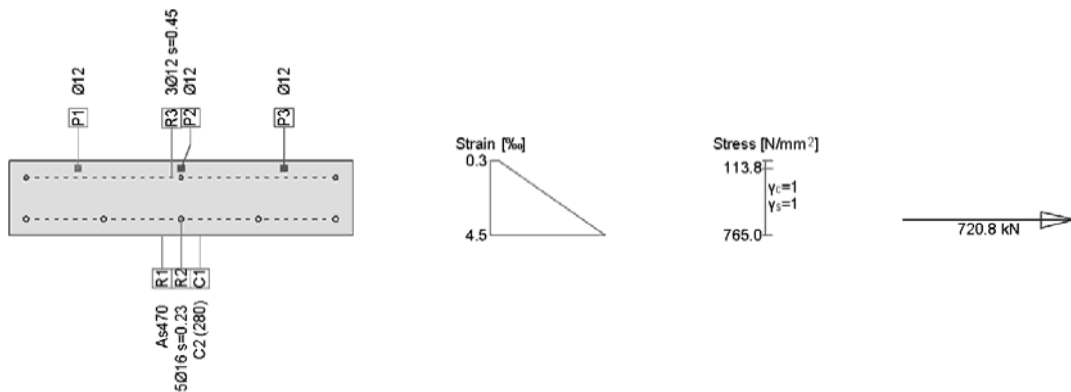
Action forces

No.	AP	P	Bending and axial force			Shear forces and torsion			Remarks
			N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	V _y [kN]	V _z [kN]	T [kNm]	
1	!SLS		650.0	42.3	0				-

Extreme stresses and strain

Name	Class	y _q [m]	z _q [m]	ε [%]	σ _d [N/mm ²]	γ [-]
C1	280	0	0.23	0.2	0	1.00
C1	280	1.00	-0.00	3.8	0	1.00
F1	CARBONO	0.20	0.20	0.6	86.7	1.00
R1	LAMINA	1.00	-0.00	3.8	651.9	1.00

Verificación de resistencia



Ultimate strength analysis Cross section (column): REF_T2_CENTRAL_POS

Action forces / Efficiency: eff(M,N) = 0.90 OK

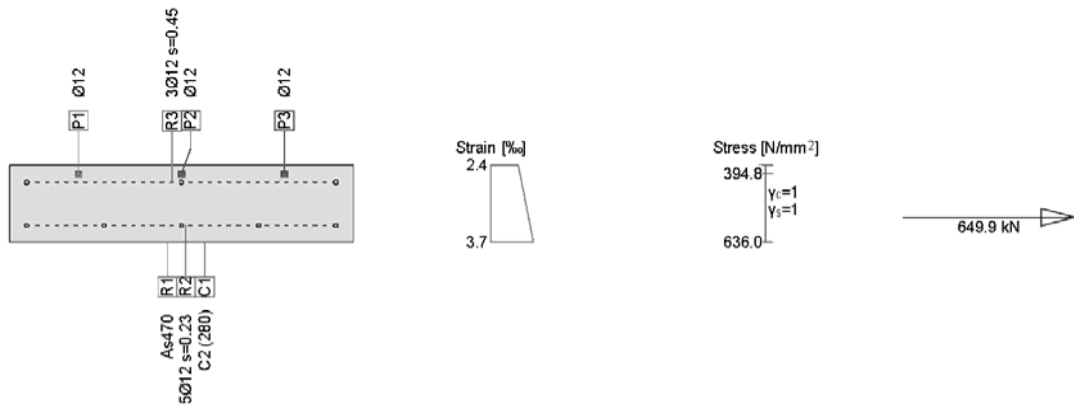
No.	AP	P	N [kN]	Bending and axial force			eff(M,N) [-]	Shear forces and torsion			Complete CS eff(M,N,V,T) [-]
				M _y [kNm]	M _z [kNm]	eff(V,T) [-]		V _y [kN]	V _z [kN]	T [kNm]	
1	!ULS		650.0	42.3	0	0.90					

Extreme stresses and strain

Name	Class	y _q [m]	z _q [m]	ε [%]	σ _d [N/mm ²]	γ [-]
C1	280	0	0.23	0.3	0	1.00
C1	280	1.00	-0.00	4.5	0	1.00
F1	CARBONO	0.20	0.20	0.7	113.8	1.00
R1	LAMINA	1.00	-0.00	4.5	765.0	1.00

$$\text{Factor de eficiencia} = 0,90 \leq \phi = 0,90 \rightarrow \text{OK}$$

REFUERZO TIPO 2 EN ZONA LATERAL DE LOSA CON FLEXIÓN POSITIVA



Stress analysis Cross section (column): REF_T2_LATERAL_POS

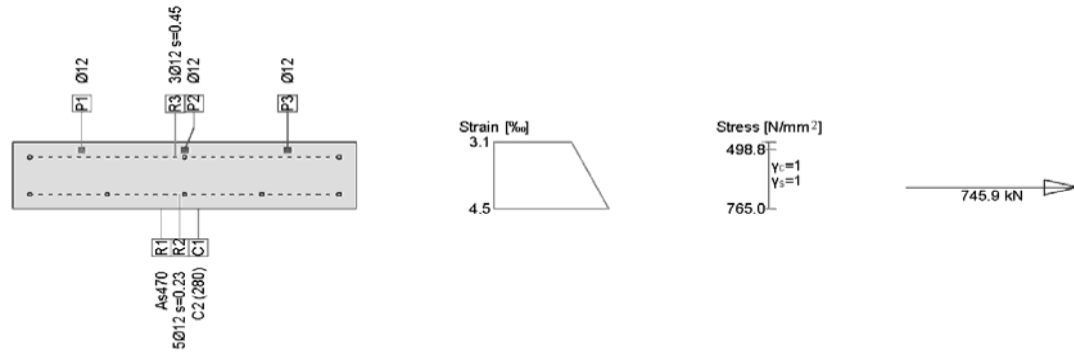
Action forces

No.	AP	P	Bending and axial force			Shear forces and torsion			Remarks
			N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	V _y [kN]	V _z [kN]	T [kNm]	
1	!SLS		650.0	25.3	0				-

Extreme stresses and strain

Name	Class	y _q [m]	z _q [m]	ε [%]	σ _d [N/mm ²]	γ [-]
C1	280	0.00	0.23	2.4	0	1.00
C1	280	1.00	-0.00	3.7	0	1.00
F1	CARBONO	0.20	0.20	2.5	394.8	1.00
R1	LAMINA	1.00	-0.00	3.7	636.0	1.00

Verificación de resistencia



Ultimate strength analysis Cross section (column): REF_T2_LATERAL_POS

Action forces / Efficiency: eff(M,N) = 0.87 OK

No.	AP	P	Bending and axial force			eff(M,N) [-]	Shear forces and torsion			eff(V,T) [-]	Complete CS eff(M,N,V,T) [-]
			N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]		V _y [kN]	V _z [kN]	T [kNm]		
1	!ULS		650.0	25.3	0	0.87					

Extreme stresses and strain

Name	Class	y _q [m]	z _q [m]	ε [%]	σ _d [N/mm ²]	γ [-]
C1	280	0.00	0.23	3.1	0	1.00
C1	280	1.00	-0.00	4.5	0	1.00
F1	CARBONO	0.20	0.20	3.2	498.8	1.00
R1	LAMINA	1.00	-0.00	4.5	765.0	1.00

Factor de eficiencia = 0,87 < φ = 0,90 → OK

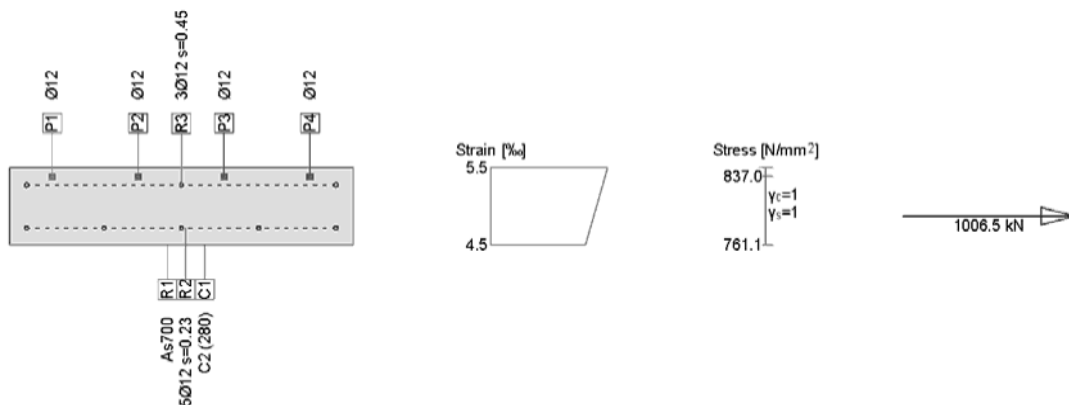
En las zonas con mayor concentración de fisuras con grandes aperturas (zonas 1, 2 y 3 definidas). Es necesario, de manera puntual, aumentar los refuerzos a disponer, considerándose siguientes cuantías:

- Láminas de fibra de carbono en cara inferior:
 - o Refuerzo tipo 1:
 - Zona central de la losa → 1 banda adicional de 100x1,4 mm por metro
 - Zona lateral de la losa → No es necesario refuerzo adicional
 - o Refuerzo tipo 2:
 - Zona central de la losa → 2 bandas adicionales de 100x1,4 mm por metro
 - Zona lateral de la losa → 1 banda adicional de 100x1,4 mm por metro

- Barras de fibra de carbono en cara superior:
 - o Refuerzo tipo 1:
 - Zona central de la losa → 2 barras adicionales ϕ 12 mm por metro
 - Zona lateral de la losa → 2 barras adicionales ϕ 12 mm por metro
 - o Refuerzo tipo 2:
 - Zona central de la losa → 1 barra adicional ϕ 12 mm por metro
 - Zona lateral de la losa → 1 barra adicional ϕ 12 mm por metro

Se verifican a continuación los refuerzos anteriores.

REFUERZO TIPO 1 EN ZONA LATERAL DE LOSA CON FLEXIÓN POSITIVA



Ultimate strength analysis Cross section (column): REF_T1_LATERAL_POS_FI

Action forces / Efficiency: $\text{eff}(M,N) = 0.89$ OK

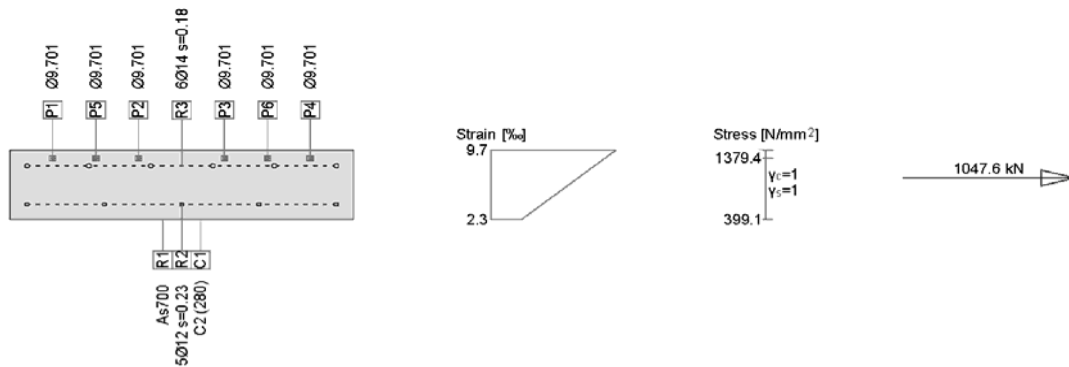
No.	AP	P	Bending and axial force			eff(M,N)	Shear forces and torsion			Complete CS eff(M,N,V,T)
			N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]		V _y [kN]	V _z [kN]	T [kNm]	
1	!ULS		900.0	25.3	0	0.89				

Extreme stresses and strain

Name	Class	y _q [m]	z _q [m]	ε [%]	σ _d [N/mm ²]	γ [-]
C1	280	0.00	-0.00	4.5	0	1.00
C1	280	1.00	0.23	5.5	0	1.00
R1	LAMINA	0.00	-0.00	4.5	761.1	1.00
P4	CARBONO	0.88	0.20	5.4	837.0	1.00

Factor de eficiencia = $\leq \phi = \rightarrow \text{OK}$

REFUERZO TIPO 1 EN ZONA LATERAL DE LOSA CON FLEXIÓN NEGATIVA



Ultimate strength analysis Cross section (column): REF_T1_LATERAL_NEG_FI

Action forces / Efficiency: $\text{eff}(M,N) = 0.86$ OK

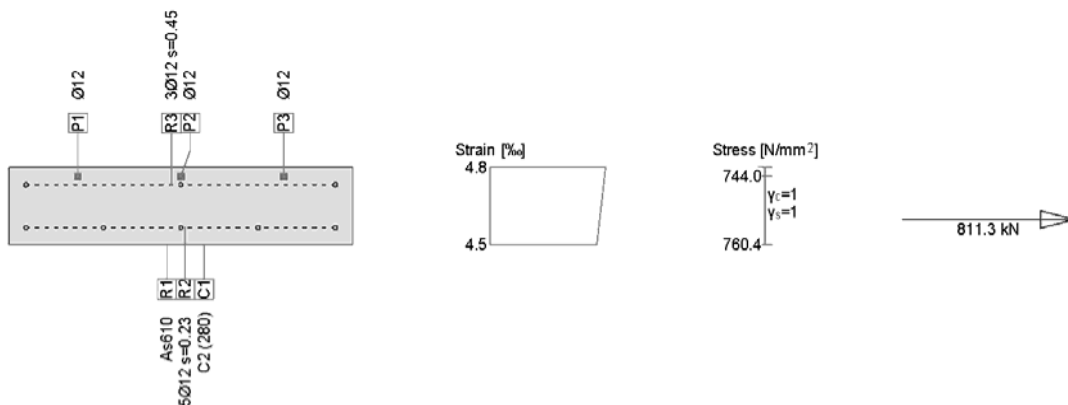
No.	AP	P	Bending and axial force			eff(M,N)	Shear forces and torsion			Complete CS eff(M,N,V,T)
			N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]		V _y [kN]	V _z [kN]	T [kNm]	
1	!ULS		900.0	-21.0	0	0.86				

Extreme stresses and strain

Name	Class	y _q [m]	z _q [m]	ε [%]	σ _d [N/mm ²]	γ [-]
C1	280	0	-0.00	2.3	0	1.00
C1	280	1.00	0.23	9.7	0	1.00
R1	LAMINA	0	-0.00	2.3	399.1	1.00
P4	CARBONO	0.88	0.20	8.9	1379.4	1.00

Factor de eficiencia = 0,86 < $\phi = 0,90 \rightarrow \text{OK}$

REFUERZO TIPO 2 EN ZONA LATERAL DE LOSA CON FLEXIÓN POSITIVA



Ultimate strength analysis Cross section (column): REF_T2_LATERAL_POS_FI

Action forces / Efficiency: $\text{eff}(M,N) = 0.80$ OK

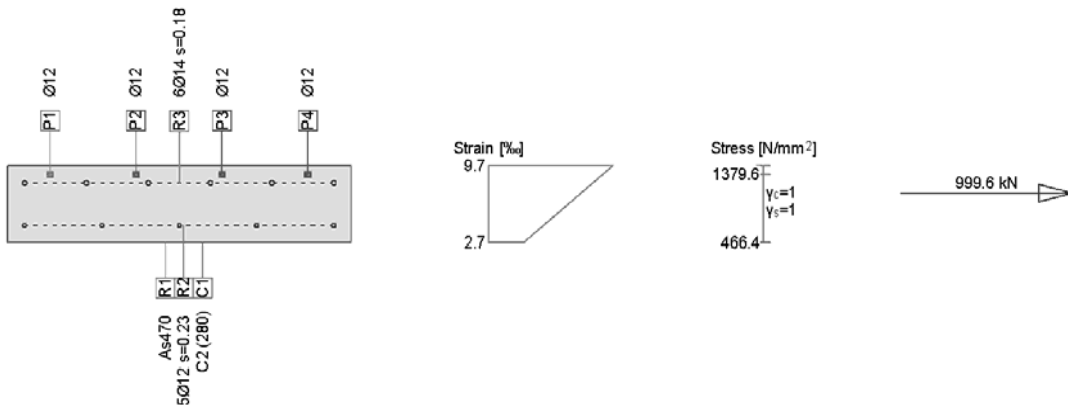
No.	AP	P	Bending and axial force			eff(M,N) [-]	Shear forces and torsion			eff(V,T) [-]	Complete CS eff(M,N,V,T) [-]
			N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]		V _y [kN]	V _z [kN]	T [kNm]		
1	!ULS		650.0	25.3	0	0.80					

Extreme stresses and strain

Name	Class	y _{cl} [m]	z _{cl} [m]	ε [‰]	σ _d [N/mm²]	γ [-]
C1	280	0.00	-0.00	4.5	0	1.00
R1	LAMINA	0.00	-0.00	4.5	760.4	1.00
P3	CARBONO	0.80	0.20	4.8	744.0	1.00

Factor de eficiencia = 0,80 < φ = 0,90 → OK

REFUERZO TIPO 2 EN ZONA LATERAL DE LOSA CON FLEXIÓN NEGATIVA



Ultimate strength analysis Cross section (column): REF_T2_LATERAL_NEG_FI

Action forces / Efficiency: $\text{eff}(M,N) = 0.65$ OK

No.	AP	P	Bending and axial force			eff(M,N) [-]	Shear forces and torsion			eff(V,T) [-]	Complete CS eff(M,N,V,T) [-]
			N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]		V _y [kN]	V _z [kN]	T [kNm]		
1	!ULS		650.0	-21.0	0	0.65					

Extreme stresses and strain

Name	Class	y _{cl} [m]	z _{cl} [m]	ε [‰]	σ _d [N/mm²]	γ [-]
C1	280	0	-0.00	2.7	0	1.00
C1	280	1.00	0.23	9.7	0	1.00
R1	LAMINA	0	-0.00	2.7	466.4	1.00
P4	CARBONO	0.88	0.20	8.9	1379.6	1.00

Factor de eficiencia = 0,65 < φ = 0,90 → OK

La tensión de adherencia resistente en la interfase refuerzo-acero resulta igual a:

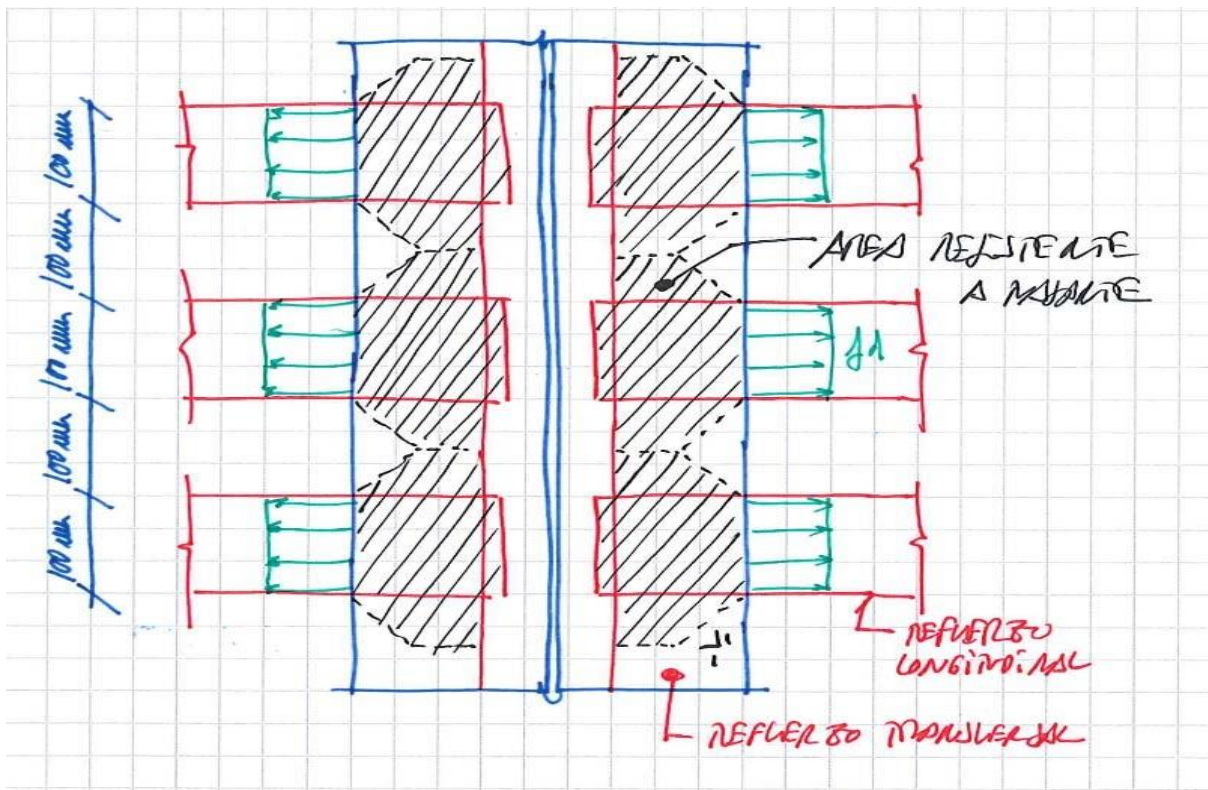
- De acuerdo con la ficha del producto ADESILEX (adherencia acero-acero):

$$\tau_r = 19000 \text{ kN/m}^2 > \tau_{sd} = 7368$$

- De acuerdo con bibliografía existente:

$$\tau_r = 4600 \text{ kN/m}^2 < \tau_{sd} = 7368$$

Para garantizar el anclaje, a falta de ensayos específicos en obra con las condiciones reales del adhesivo y el material base, se considera necesario reforzar el anclaje mediante bandas de fibra transversales, de forma que sea posible garantizar un rasante solicitante inferior a la resistencia de 4600kN/m².



Por lo que resulta una tensión a transmitir en la conexión refuerzo-acero igual a:

$$\tau_{sd} = 92,0 / (0,125 \times 0,100 + 2 \times (0,050 \times 0,050 + 0,050 \times 0,050 / 2)) = 4600 \text{ kN/m}^2$$

La tensión de adherencia resistente en la interfase refuerzo-acero resulta igual a:

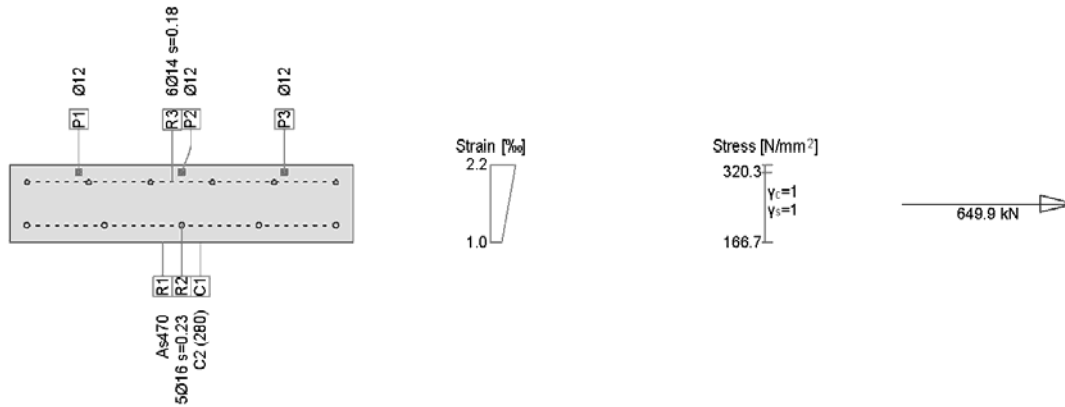
- De acuerdo con la ficha del producto ADESILEX (adherencia acero-acero):

$$\tau_r = 19000 \text{ kN/m}^2 > \tau_{sd} = 4600 \text{ kN/m}^2$$

- De acuerdo con bibliografía existente:

$$\tau_r = 4600 \text{ kN/m}^2 = \tau_{sd} = 4600 \text{ kN/m}^2$$

Por lo que el anclaje se considera suficiente.



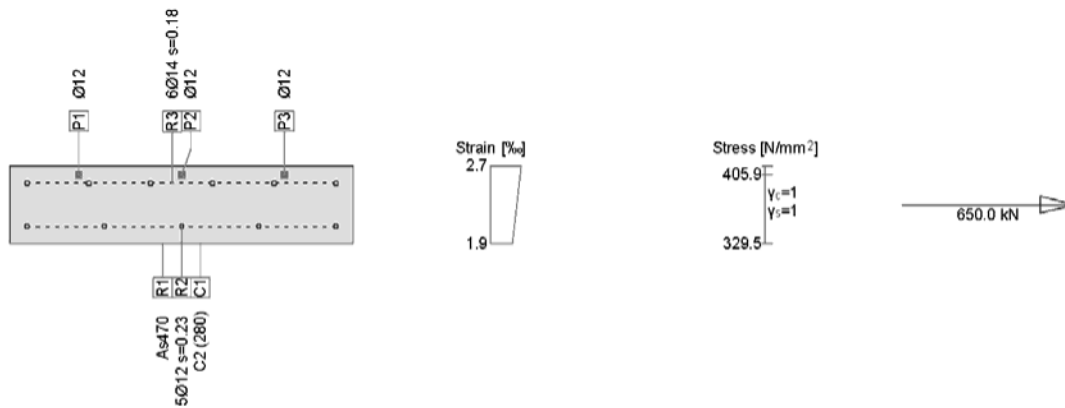
Stress analysis Cross section (column): REF_T2_CENTRAL_NEG

Action forces

No.	AP	P	Bending and axial force			Shear forces and torsion			Remarks
			N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	V _y [kN]	V _z [kN]	T [kNm]	
1	!SLS		650.0	0	0				-

Extreme stresses and strain

Name	Class	y _{ci} [m]	z _{ci} [m]	ε [%]	σ _{ci} [N/mm ²]	γ [-]
C1	280	0.00	-0.00	1.0	0	1.00
C1	280	1.00	0.23	2.2	0	1.00
R1	LAMINA	0.00	-0.00	1.0	166.7	1.00
P3	CARBONO	0.80	0.20	2.1	320.3	1.00



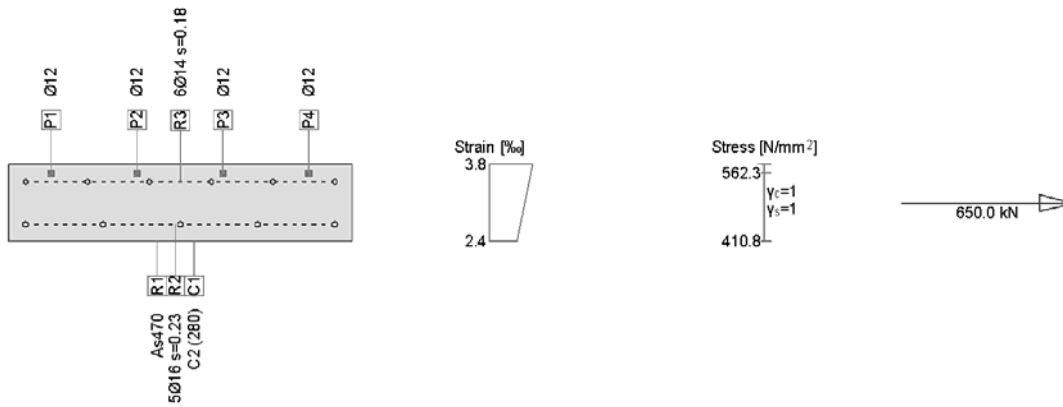
Stress analysis Cross section (column): REF_T2_LATERAL_NEG

Action forces

No.	AP	P	Bending and axial force			Shear forces and torsion			Remarks
			N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	V _y [kN]	V _z [kN]	T [kNm]	
1	!SLS		650.0	0	0				-

Extreme stresses and strain

Name	Class	y _{ci} [m]	z _{ci} [m]	ε [%]	σ _{ci} [N/mm ²]	γ [-]
C1	280	0.00	-0.00	1.9	0	1.00
R1	LAMINA	0.00	-0.00	1.9	329.5	1.00
P3	CARBONO	0.80	0.20	2.6	405.9	1.00



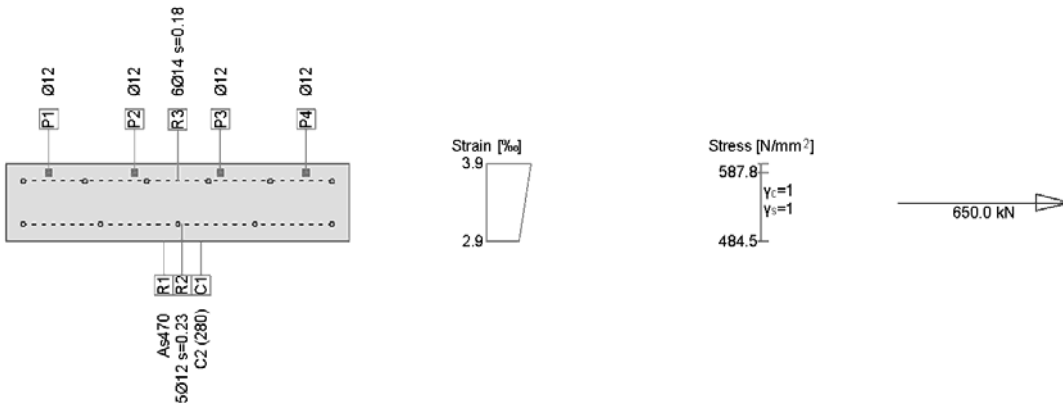
Stress analysis Cross section (column): REF_T2_CENTRAL_NEG_FI

Action forces

No.	AP	P	Bending and axial force			Shear forces and torsion			Remarks
			N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	V _y [kN]	V _z [kN]	T [kNm]	
1	!SLS		650.0	0	0				

Extreme stresses and strain

Name	Class	y _q [m]	z _q [m]	ε [%]	σ _d [N/mm ²]	γ [-]
C1	280	0.00	-0.00	2.4	0	1.00
C1	280	1.00	0.23	3.8	0	1.00
R1	LAMINA	0.00	-0.00	2.4	410.8	1.00
P4	CARBONO	0.88	0.20	3.6	562.3	1.00



Stress analysis Cross section (column): REF_T2_LATERAL_NEG_FI

Action forces

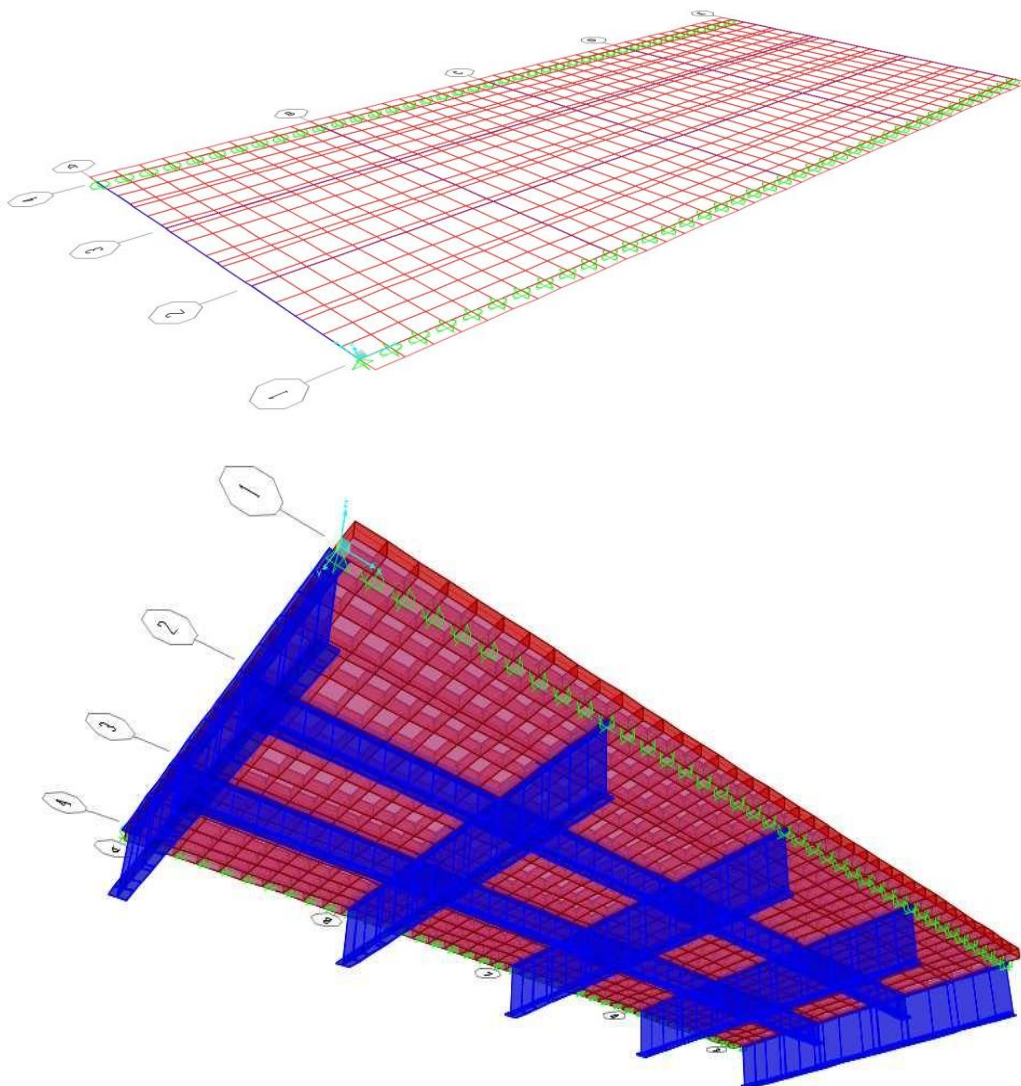
No.	AP	P	Bending and axial force			Shear forces and torsion			Remarks
			N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	V _y [kN]	V _z [kN]	T [kNm]	
1	!SLS		650.0	0	0				

Extreme stresses and strain

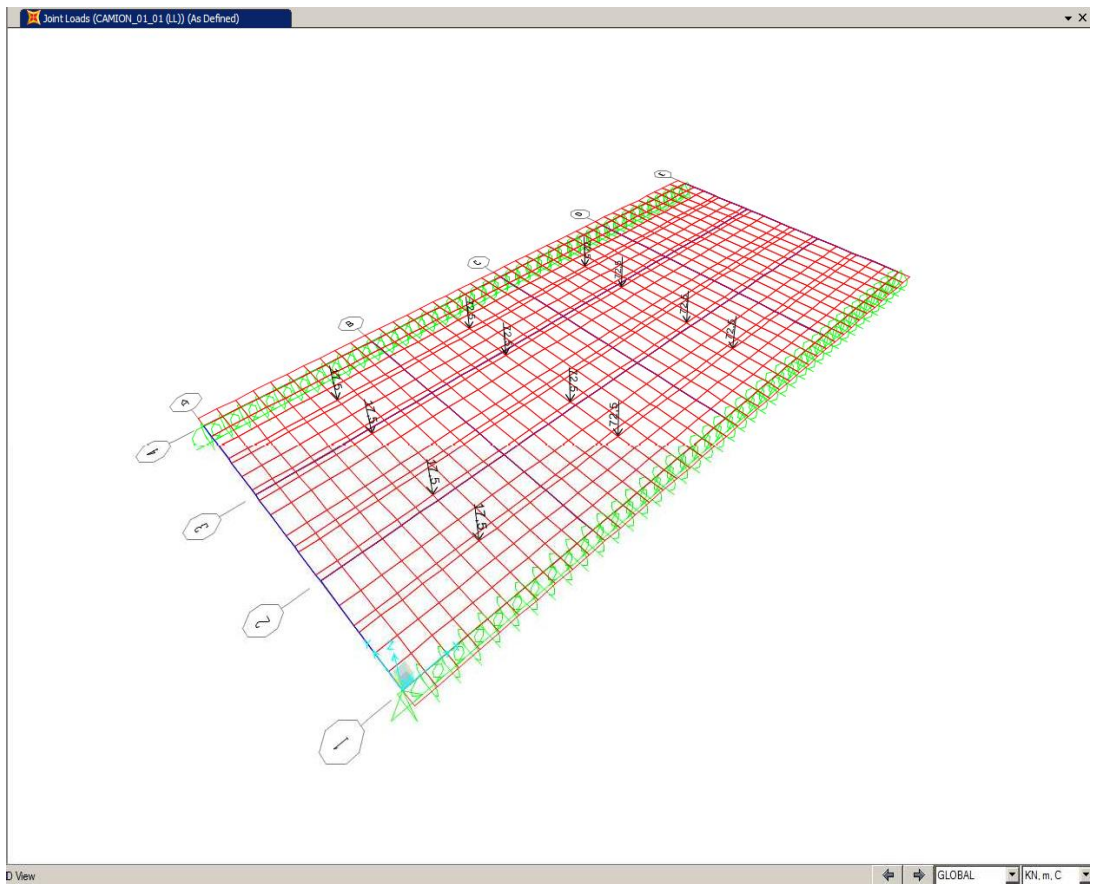
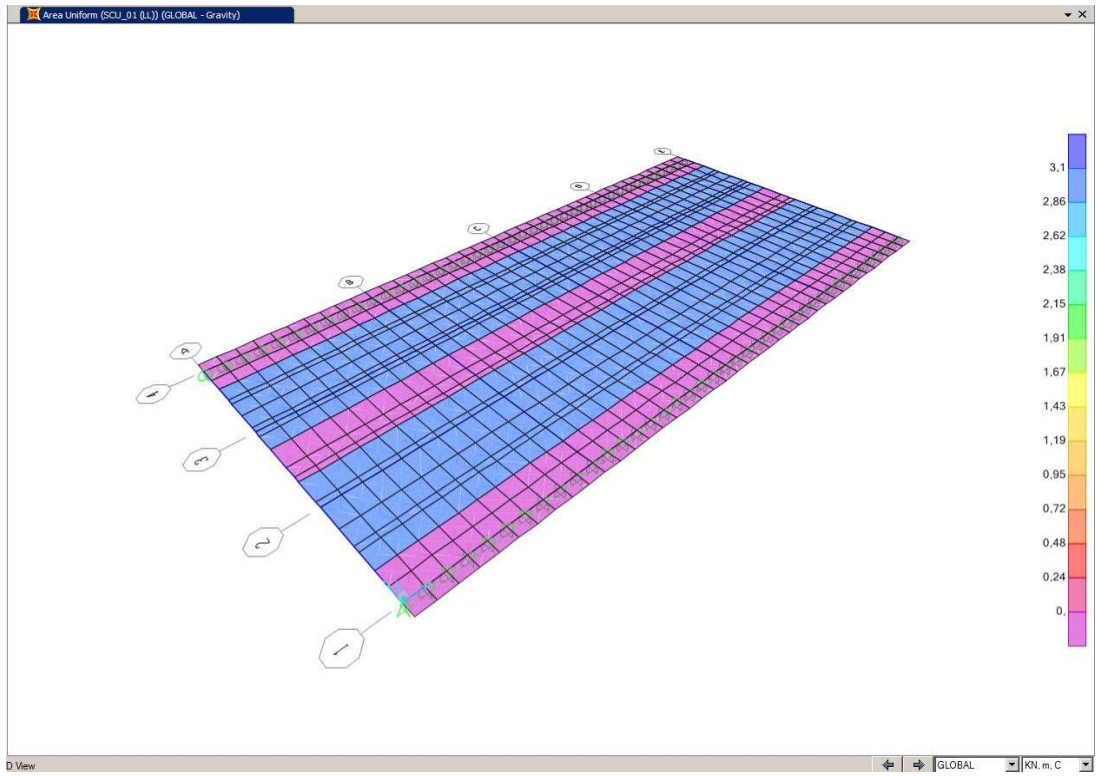
Name	Class	y _q [m]	z _q [m]	ε [%]	σ _d [N/mm ²]	γ [-]
C1	280	0.00	-0.00	2.9	0	1.00
C1	280	1.00	0.23	3.9	0	1.00
R1	LAMINA	0.00	-0.00	2.9	484.5	1.00
P4	CARBONO	0.88	0.20	3.8	587.8	1.00

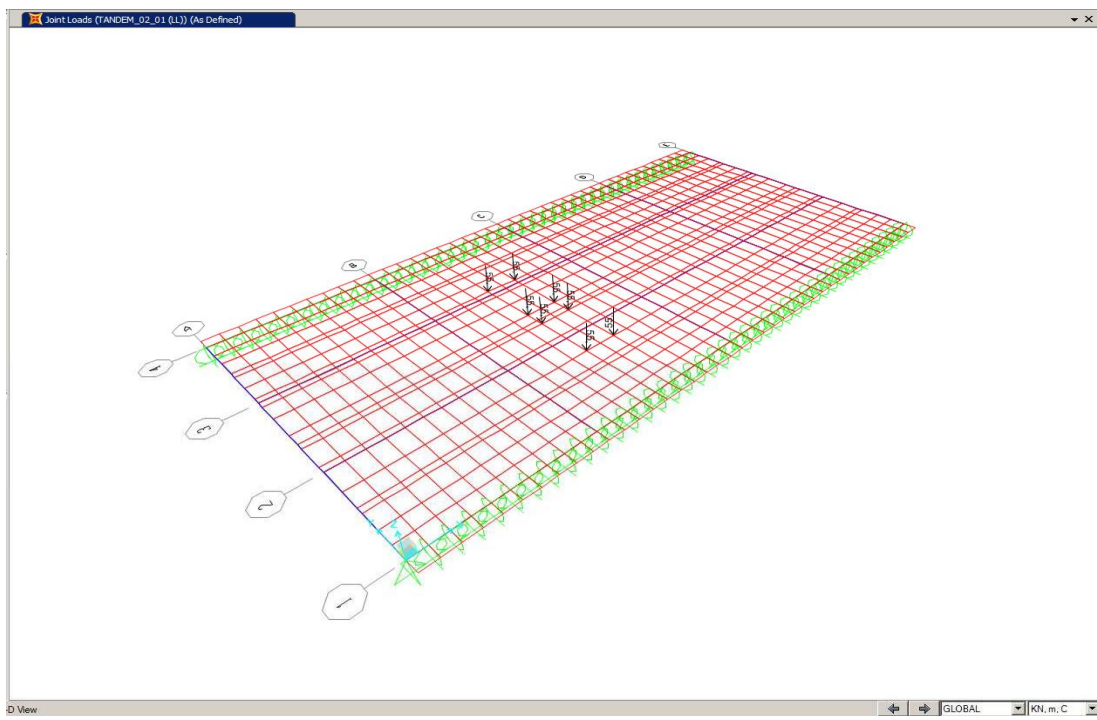
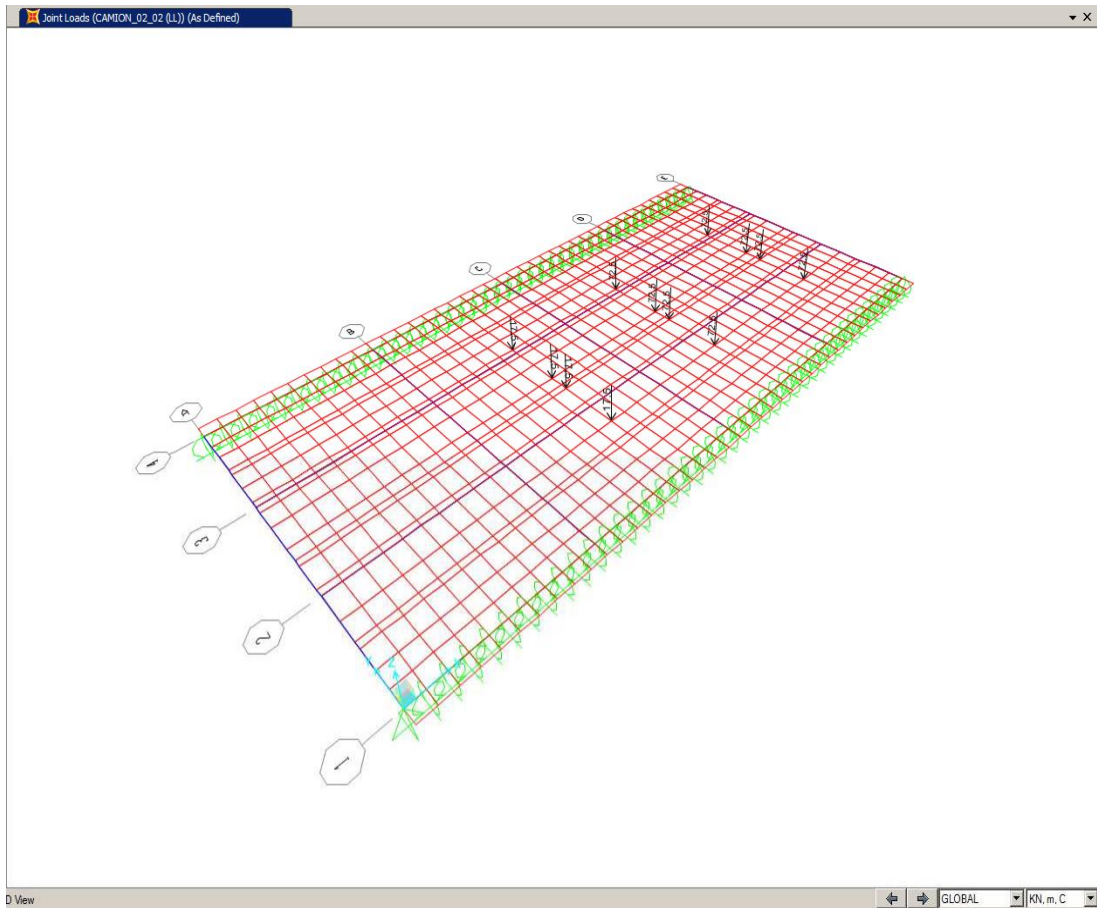
VERIFICACIÓN DE LA ARMADURA TRANSVERSAL DE LA LOSA

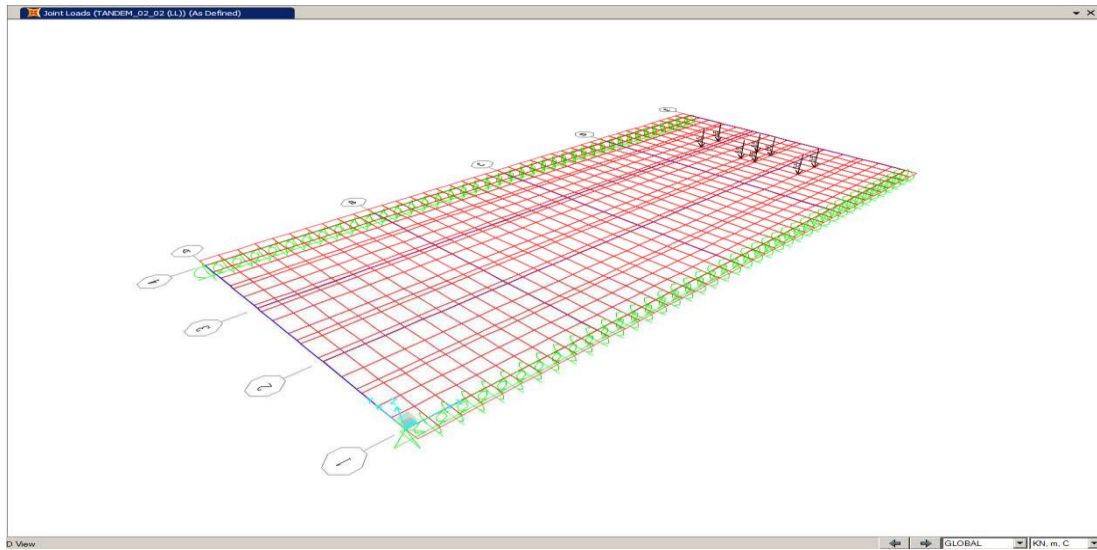
Para la evaluación transversal de la losa se realiza un modelo de elementos simplificado con elementos tipo "shell" y tipo barra mediante el programa SAP2000 en el que se representa una zona del tablero. El tablero se considera rígidamente apoyado en las vigas longitudinales principales y se considera la rigidez real de las vigas transversales y longitudinales secundarias. A continuación se incluyen unos gráficos con el modelo realizado.



A continuación se muestran las cargas consideradas en el modelo de cálculo



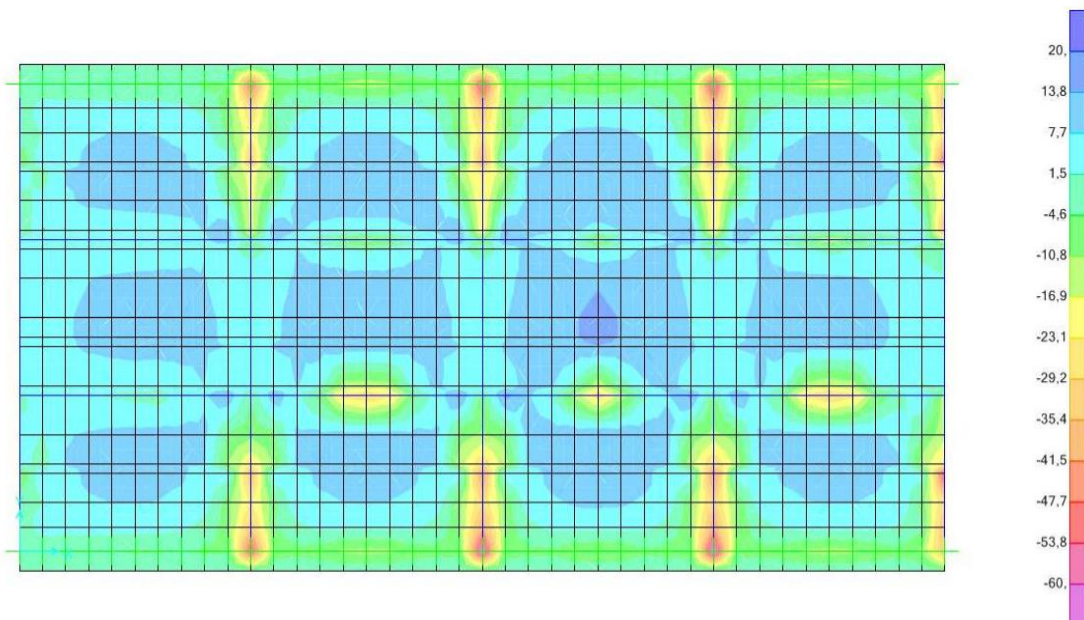




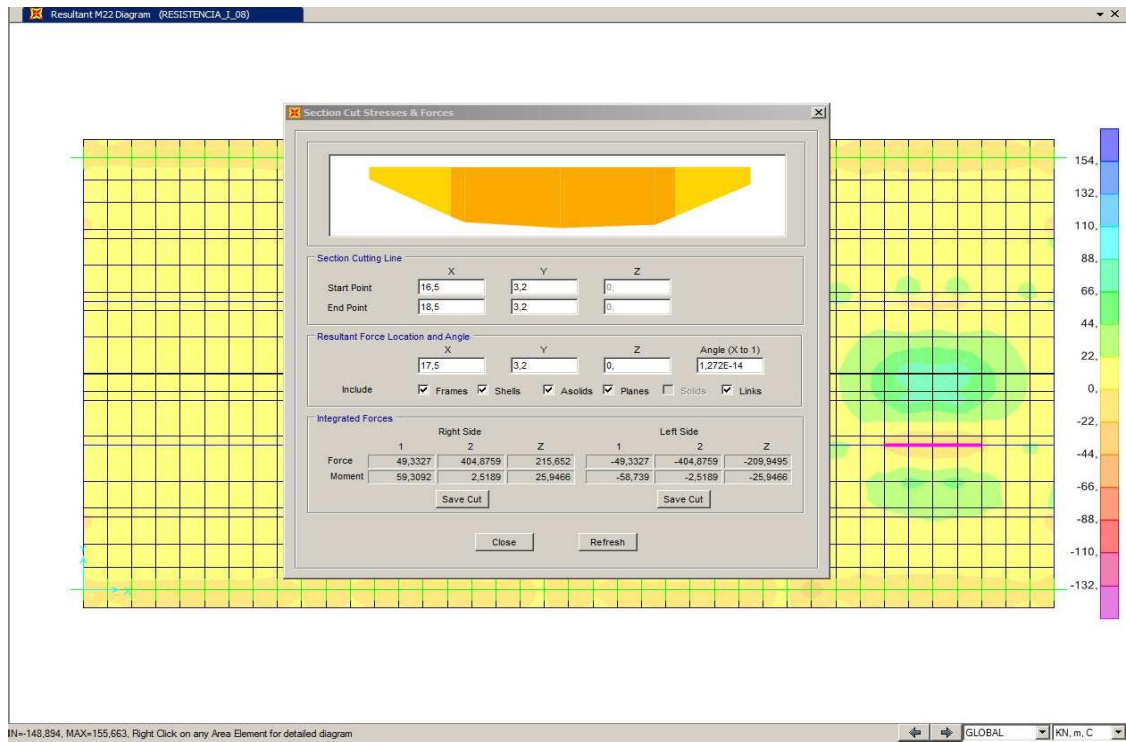
Para el reparto de las cargas puntuales se considera un tamaño de rueda de 510x250 mm. Se considera la siguiente combinación de cálculo:

$$\text{RESISTENCIA} = 1,25 \text{ DC} + 1,50 \text{ DW} + 1,75 \text{ LL}$$

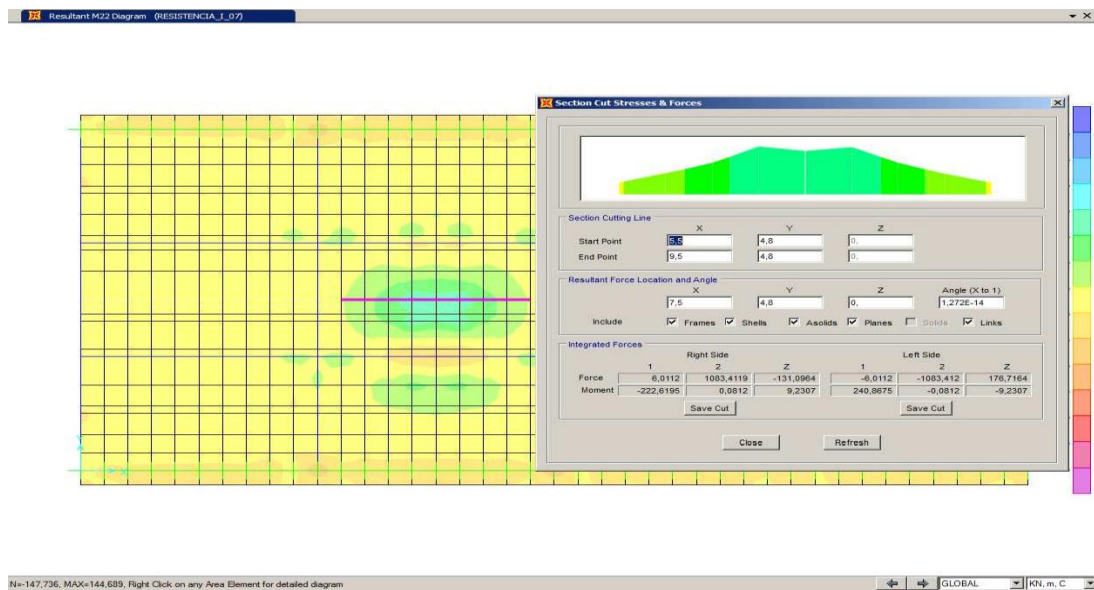
Se obtienen los siguientes esfuerzos solicitantes:



Los esfuerzos solicitantes para la armadura longitudinal de la losa (que es la armadura objeto de estudio), resultan iguales a:



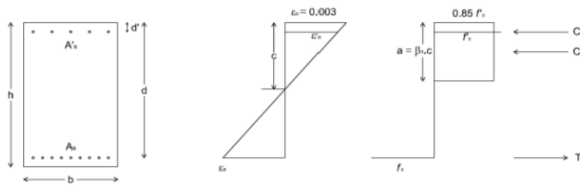
Máximo momento positivo = $M_{sd} = 55,7 \text{ kNm/m}$



Mínimo momento negativo € $M_{sd} = -29,6 \text{ kNm/m}$

CHECK OF RECTANGULAR SECTION ACCORDING TO AASHTO-ACI CODES

GEOMETRY



b =	1,000 m
h =	0,225 m
rec mecánico (inf) =	0,038 m
d' =	0,036 m
d =	0,19 m

MATERIALS

Concrete Type 28-day	$f_c =$	28 N/mm ²	4064 psi
Max. Tensile Conc. Str	$0,623 \cdot \sqrt{f_c} =$	3,29 N/mm ²	
Unit weight of Concrete:	$w_c =$	2319 kg/m ³	
	$E_c =$	25244 N/mm ²	3663888 psi
	$f_y =$	420 N/mm ²	60958 psi
	$E_s =$	199810 N/mm ²	29000000 psi
	$n = \text{int}(E_s/E_c) =$	8	Aashto 8.15.3.4

FLEXURAL STRENGTH CONTROL

Height of beam	h =	0,23 m
Width of beam	b =	1,00 m
Concrete Cover	$d_c =$	0,04 m
Effective depth	d =	0,19 m
Area of Steel (pos.)	$A_s^+ =$	9,95 cm ²
Area of Steel (neg.)	$A_s^- =$	4,30 cm ²
Center-to-center (pos.)	$s^+ =$	200 mm
Center-to-center (neg.)	$s^- =$	300 mm
Positive Design Moment	$M_u^+ =$	55,70 kN·m
Negative Design Moment	$M_u^- =$	29,60 kN·m
Reinforcement Ratio (pos.)	$\rho^+ =$	0,005321
Reinforcement Ratio (neg.)	$\rho^- =$	0,002299
	$a^+ = A_s^+ \cdot f_y / 0,85 \cdot f_c \cdot b =$	0,018 m
	$a^- = A_s^- \cdot f_y / 0,85 \cdot f_c \cdot b =$	0,008 m
Strength reduction factor for flexure	$\phi =$	0,90

Design Moment Strength

$\phi \cdot M_n^+ = \phi [A_s^+ \cdot f_y (d - a/2)] =$	67,03 kN·m	> M_u^+ , OK
$\phi \cdot M_n^- = \phi [A_s^- \cdot f_y (d - a/2)] =$	29,78 kN·m	> M_u^- , OK

Balanced reinforcement ratio

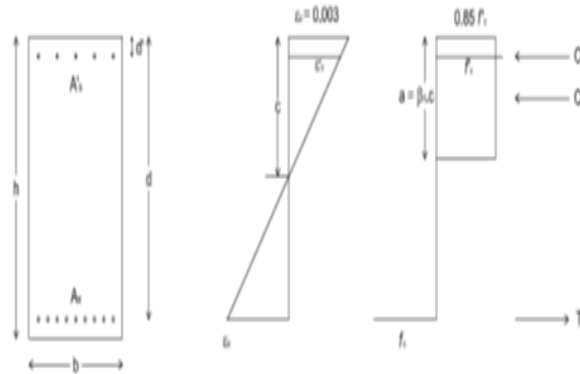
$\beta_1 =$	0,8	
$0,75 \cdot \rho_b = (0,85 \cdot \beta_1 \cdot f_c / f_y) (87000 / (87000 + f_y)) =$	0,0200	> ρ , OK

MINIMUM REINFORCEMENT CONTROL FOR RECTANGULAR SECTION

$M_{cr} = f_r \cdot I_g / y_t =$	27,79 kN·m	
$1,2 \cdot M_{cr} =$	33,35 kN·m	
$I_g =$	0,000949 m ⁴	
$y_t =$	0,11 m	
$f_r =$	3,29 N/mm ²	
$\phi \cdot M_n^+ =$	67,03 kN·m	> $1,2 \cdot M_{cr}$, OK
$\phi \cdot M_n^- =$	29,78 kN·m	< $1,2 \cdot M_{cr}$, NOT OK

A continuación se comprueba la losa para los esfuerzos anteriores.

GEOMETRY



b =	1,00 m
h =	0,23 m
rec mecánico (inf) =	0,04 m
d' =	0,04 m
d =	0,19 m

MATERIALS

Concrete Type 28-day	$f_c =$	45 N/mm ²	6531 psi
Max.Tensile Conc. Stres	$0,623 \cdot \sqrt{f_c} =$	4,18 N/mm ²	
Unit weight of Concrete	$W_c =$	2319 kg/m ³	
	$E_c =$	32003 N/mm ²	4644825 psi
	$f_y =$	420 N/mm ²	60958 psi
	$E_s =$	199810 N/mm ²	29000000 psi
	$n = \text{int}(E_s/E_c) =$	6	Aashto 8.15.3.4

MINIMUM REINFORCEMENT CONTROL FOR RECTANGULAR SECTION

$M_{cr} = f_r \cdot I_g / y_t =$	35,23 kN·m
$1.2 \cdot M_{cr} =$	42,28 kN·m
$I_g =$	0,000949 m ⁴
$y_t =$	0,11 m
$f_r =$	4,18 N/mm ²

La armadura superior no cumple de cuantía mínima por rotura frágil, por lo que se recomienda proceder al refuerzo de la losa.

DIMENSIONADO DEL REFUERZO TRANSVERSAL

El dimensionado de un refuerzo que permita cumplir con el criterio de cuantía mínima para rotura frágil de la losa frente a esfuerzos flectores negativos en el apoyo transversal de la losa en las vigas metálicas longitudinales.

Se obtiene a continuación el momento resistente mínimo para rotura frágil teniendo en cuenta la resistencia real del concreto según el resultado de los ensayos realizados para un total de 30 probetas en el Laboratorio de Estructuras de la Pontificia Universidad Católica (PUCP) según las normas ASTM C-39 y C-42 a petición del Gobierno Regional de Junín.

$$M_r \geq 1,2 M_{cr} = 42,3 \text{ kNm}$$

Siendo M_{cr} el momento de fisuración de la losa.

Para el refuerzo se va considerar la disposición de tela de fibra de carbono unidireccional, resumiéndose a continuación las características básicas:

Tela de fibra de carbono MAPEWRAP B UNI-AX:

$$\text{Peso} = 600 \text{ g/m}^2$$

$$\text{Densidad} = 2.75 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Espesor equivalente} = 0.215 \text{ mm}$$

$$\text{Resistencia a tracción} = 4840 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Módulo elástico} = 89000 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Alargamiento en rotura} = 3,15 \%$$

Resina MAPEWRAP 11-12:

$$\text{Adherencia al concreto} = > 3 \text{ N/mm}^2$$

Resistencia a tracción = 30 N/mm²

Alargamiento a tracción = 1 %.

Resistencia a compresión = 70 N/mm²

Resistencia a flexión = 40 N/mm²

Módulo elástico a compresión = 8000 N/mm²

Módulo elástico a flexión = 4000 N/mm²

Características técnicas del conjunto tela más resina:

Resistencia a tracción = 2000 N/mm²

Módulo elástico = 85000 N/mm²

Alargamiento en rotura = 2 %

Por tanto, para el cálculo dimensionado del refuerzo, se limitará a la deformación unitaria máxima de la sección a tracción al alargamiento máximo a tracción de las resinas (1 %). Se obtienen a continuación los parámetros de diseño de los elementos de refuerzo: f_{fu}

Tela de fibra de carbono:

$$f_{fu} = C_E f_{fu}^* = 0,85 \times 2000 = 1700 \text{ N/mm}^2$$

$$\epsilon_{fu} = C_E \epsilon_{fu}^* = 0,85 \times 2,0 = 1,7 \% \quad C_E = 0,85 \text{ (tabla 9.1)}$$

Table 9.1—Environmental reduction factor for various FRP systems and exposure conditions

Exposure conditions	Fiber type	Environmental reduction factor C_E
Interior exposure	Carbon	0.95
	Glass	0.75
	Aramid	0.85
Exterior exposure (bridges, piers, and unenclosed parking garages)	Carbon	0.85
	Glass	0.65
	Aramid	0.75
Aggressive environment (chemical plants and wastewater treatment plants)	Carbon	0.85
	Glass	0.50
	Aramid	0.70

Concreto base para el refuerzo: $f'_c = 45 \text{ MPa}$.

$$E_c = 4700 (45)^{1/2} = 31528 \text{ N/mm}^2$$

Se obtiene a continuación el alargamiento máximo admisible para que no se produzca el descuelgue del refuerzo laminado:

$$\epsilon_{fd} = 0,41 (f'_c / (n E_f t_f))^{1/2} = 0,41 (45 / 1 / 85000 / 0,215)^{1/2} = 0,02$$

Por lo que las máximas deformaciones unitarias admisibles para los refuerzos resultan ser las siguientes:

Tela de fibra de carbono:

$$\epsilon_{f,adm} = \text{mín} (\epsilon_{fu} ; \epsilon_{fd}) = \text{mín} (0,02 ; 0,019) = 0,019$$

Por tanto, las tensiones máximas admisibles en los refuerzos resultan:

$$\text{Tela de fibra de carbono} \rightarrow f_{f,adm} = \epsilon_{f,adm} E_f = 0,019 \times 85000 = 1615 \text{ N/mm}^2 \text{ Para}$$

alcanzar un momento resistente necesario el refuerzo a disponer resulta igual a:

$$A_s = 42,3 / 0,9 / 0,225 / 161,5 / 0,9 = 1,44 \text{ cm}^2/\text{m}$$

La cuantía de refuerzo disponible resulta igual a:

$$A_d = 100 \times 0,0215 = 2,15 \text{ cm}^2/\text{m} > 1,44 \text{ cm}^2/\text{m}$$

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta todo lo anterior, se ha verificado que la armadura transversal de la losa del puente Mantaro no cumple cuantía mínima por rotura frágil, en base a la normativa de aplicación y a los cálculos realizados a tal efecto por lo que se recomienda proceder con el refuerzo transversal de la cara superior de la losa.

El refuerzo anteriormente definido es independiente de la reparación iniciada en la losa para el refuerzo y tratamiento de la fisuración existente.

ANEXO N° 8
ÁREA FISURADA

LOSA DE CONCRETO ARMADO PUENTE SOBRE RÍO
MANTARO, DISTRITO DE CHILCA TRES DE DICIEMBRE

MEDIDAS DE FISURAS TRAMO 0+0.070 Km.				
N°	LONGITUD	ESPESOR		ÁREA
	m	mm	M	m ²
1	4.2	0.4	0.0004	0.00168
2	7	0.4	0.0004	0.0028
3	3.1	1.2	0.0012	0.00372
4	10	1.2	0.0012	0.012
5	4.2	1.2	0.0012	0.00504
6	2.9	1.2	0.0012	0.00348
7	7.6	0.6	0.0006	0.00456
8	6	0.6	0.0006	0.0036
9	7.6	0.8	0.0008	0.00608
10	5	0.6	0.0006	0.003
11	7.6	0.6	0.0006	0.00456
12	5	0.5	0.0005	0.0025
13	2.5	0.4	0.0004	0.001
14	4.5	0.45	0.00045	0.002025
15	7.6	0.8	0.0008	0.00608
16	7.6	0.4	0.0004	0.00304
17	7.6	0.8	0.0008	0.00608
18	7.6	0.8	0.0008	0.00608
19	7.6	0.3	0.0003	0.00228
20	10	0.2	0.0002	0.002
21	7.6	0.4	0.0004	0.00304
				0.084645

RESUMEN	
TRAMO 0+0.070 Km	0.084645
TRAMO 0+0.070 a 0+0.150 Km	0.123118
TRAMO 0+0.150 a 0+0.230 Km	0.83247
TRAMO 0+0.0230 a 0+0.300 Km	0.55056
TOTAL ÁREA DE FISURA M2	1.590793

Fuente propia

LOSA DE CONCRETO ARMADO PUENTE SOBRE RÍO
MANTARO, DISTRITO DE CHILCA TRES DE DICIEMBRE

TRAMO 0+0.700 - 0+0.150 Km.				
N°	LONGITUD	ESPESOR e		ÁREA
	m	e=m	e=mm	m ²
1	3.1	0.4	0.0004	0.00124
2	0.76	0.8	0.0008	0.000608
3	5	0.4	0.0004	0.002
4	7.6	0.2	0.0002	0.00152
5	5.5	1	0.001	0.0055
6	4.8	0.4	0.0004	0.00192
7	2.1	0.6	0.0006	0.00126
8	3.5	0.5	0.0005	0.00175
9	7.6	0.9	0.0009	0.00684
10	5.3	0.3	0.0003	0.00159
11	6.5	0.4	0.0004	0.0026
12	7.6	0.4	0.0004	0.00304
13	7.6	0.3	0.0003	0.00228
14	7.6	0.4	0.0004	0.00304
15	4	0.4	0.0004	0.0016
16	7.6	0.4	0.0004	0.00304
17	3.2	0.4	0.0004	0.00128
18	7.6	1.2	0.0012	0.00912
19	7.6	1.6	0.0016	0.01216
20	7.6	0.4	0.0004	0.00304
21	3.2	0.2	0.0002	0.00064
22	7.6	0.4	0.0004	0.00304
23	7.6	1.2	0.0012	0.00912
24	7.6	1.2	0.0012	0.00912
25	7.6	1.2	0.0012	0.00912
26	1	0.4	0.0004	0.0004
27	6	1.4	0.0014	0.0084
28	3.1	1.2	0.0012	0.00372
29	1.5	0.3	0.0003	0.00045
30	7.6	0.6	0.0006	0.00456
31	7.6	1.2	0.0012	0.00912
				0.123118

Fuente propia

LOSA DE CONCRETO ARMADO PUENTE SOBRE RÍO
MANTARO, DISTRITO DE CHILCA TRES DE DICIEMBRE

TRAMO 0+0.150 - 0+0.230 Km				
N°	LONGITUD	ESPESOR e		ÁREA
		m	e=m	
1	0.6	0.4	0.0004	0.00024
2	0.6	0.4	0.0004	0.00024
3	0.6	0.4	0.0004	0.00024
4	0.6	0.4	0.0004	0.00024
5	7.6	0.3	0.0003	0.00228
6	7.6	0.3	0.0003	0.00228
7	7.6	102	0.102	0.7752
8	7.6	1.4	0.0014	0.01064
9	1.5	0.5	0.0005	0.00075
10	7.6	0.4	0.0004	0.00304
11	7.6	0.4	0.0004	0.00304
12	7.6	0.9	0.0009	0.00684
13	0.6	0.6	0.0006	0.00036
14	0.8	0.4	0.0004	0.00032
15	7.6	0.2	0.0002	0.00152
16	7.6	0.6	0.0006	0.00456
17	7.6	0.2	0.0002	0.00152
18	7.6	0.3	0.0003	0.00228
19	7.6	0.4	0.0004	0.00304
20	7.6	0.6	0.0006	0.00456
21	4.2	0.4	0.0004	0.00168
22	7.6	0.4	0.0004	0.00304
23	7.6	0.4	0.0004	0.00304
24	7.6	0.2	0.0002	0.00152
			TOTAL	0.83247

Fuente propia

LOSA DE CONCRETO ARMADO PUENTE SOBRE RÍO
MANTARO, DISTRITO DE CHILCA TRES DE DICIEMBRE

TRAMO 0+0.230 - 0+0.300 Km				
N°	LONGITUD	ESPESOR e		ÁREA
	m	e=m	e=mm	m ²
1	0.42	0.6	0.0006	0.000252
2	0.73	0.6	0.0006	0.000438
3	1.42	0.6	0.0006	0.000852
4	0.33	0.6	0.0006	0.000198
5	0.6	0.54	0.00054	0.000324
6	0.28	0.4	0.0004	0.000112
7	0.6	0.6	0.0006	0.00036
8	7.6	0.2	0.0002	0.00152
9	7.6	0.4	0.0004	0.00304
10	7.6	0.2	0.0002	0.00152
11	7.6	0.4	0.0004	0.00304
12	7.6	0.6	0.0006	0.00456
13	1.8	0.2	0.0002	0.00036
14	2.4	0.8	0.0008	0.00192
15	7.6	0.5	0.0005	0.0038
16	7.6	0.6	0.0006	0.00456
17	2.5	0.4	0.0004	0.001
18	1.8	0.7	0.0007	0.00126
19	1.8	0.7	0.0007	0.00126
20	1.8	0.7	0.0007	0.00126
21	7.6	0.6	0.0006	0.00456
22	3.2	0.8	0.0008	0.00256
23	7.6	0.9	0.0009	0.00684
24	2.2	0.8	0.0008	0.00176
25	7.6	0.4	0.0004	0.00304
26	4.4	0.4	0.0004	0.00176
27	0.3	1	0.001	0.0003
28	0.8	0.5	0.0005	0.0004
29	3.2	0.5	0.0005	0.0016
30	0.4	1.5	0.0015	0.0006
			TOTAL	0.055056

Fuente propia

ANEXO N° 9

MATRIZ DE CONSISTENCIA Y DE OPERAZIONALIZACION DE VARIABLES

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO	PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLE	DIMENSION	METODOLOGÍA
ESTUDIO DEL USO DE SELLADOR, VARILLAS, PLATINAS Y MANTAS DE FIBRA DE CARBONO EN EL COMPORTAMIENTO DE LA LOSA DE CONCRETO ARMADO DEL TABLERO DEL PUENTE SOBRE EL RÍO MANTARO, EN LOS DISTRITOS DE CHILCA, TRES DE DICIEMBRE, PROVINCIAS DE HUANCAYO, CHUPACA, REGIÓN JUNÍN 2017.	PROBLEMA GENERAL: ¿Cuál es el efecto del uso de sellador, varillas, platinas y mantas de fibra de carbono en el comportamiento de la losa de concreto armado del tablero del Puente sobre el Río Mantaro, en los distritos de Chilca, Tres de Diciembre. Provincias de Huancayo y Chupaca Región Junín 2017?	OBJETIVO GENERAL: Determinar el efecto del uso de sellador, varillas, platinas y mantas de fibra de carbono en el comportamiento de la losa de concreto armado del tablero del Puente sobre el Río Mantaro, en los distritos de Chilca, Tres de Diciembre, Provincias de Huancayo, Chupaca Región Junín 2017.	HIPOTESIS GENERAL: El efecto del uso de sellador, de varillas, platinas y mantas de fibra de carbono influye positivamente en el comportamiento de la losa de concreto armado del tablero del Puente sobre el Río Mantaro, en los distritos de Chilca, Tres de Diciembre. Provincias de Huancayo, Chupaca Región Junín 2017.	INDEPENDIENTE Uso de selladores, varillas, platinas, y mantas de fibra de carbono, en la losa de concreto	X1 : Uso de selladores, en losa de concreto X2: Uso de varillas de fibra de carbono, en losa de concreto X3: Uso de platinas de fibra de carbono en losa de concreto X4: Uso de mantas de fibra de carbono, en losa de concreto.	Tipo de Investigación: Experimental Aplicada Nivel de Investigación: Causas efecto. Método de la Investigación: Deductivo Diseño de la investigación: Por objetivos. Universo: El puente Atirantado Población: Tablero del Puente Atirantado. Muestra: Losa de concreto. Instrumentos: De medición, normas nacionales e internacionales. Fuentes: Libros, Revistas, inspecciones, internet.
	PROBLEMA ESPECIFICO 1 ¿Cuál es el efecto del nivel de resistividad en el comportamiento de la losa de concreto armado del tablero del Puente sobre el Río Mantaro, en los Distritos de Huancayo, Tres de Diciembre. Provincias de Huancayo, Chupaca 2017?	OBJETIVO ESPECIFICO 1 Determinar el efecto del nivel de resistividad en el comportamiento de la losa de concreto armado del tablero del Puente sobre el Río Mantaro en los Distritos de Huancayo, Tres de Diciembre, Provincias de Huancayo Chupaca 2017.	HIPOTESIS ESPECIFICO 1 El efecto del nivel de resistividad influye negativamente en el comportamiento de la losa de concreto armado del tablero del Puente sobre el Río Mantaro, en los Distritos de Huancayo, Tres de Diciembre Provincias de Huancayo, Chupaca 2017.	DEPENDIENTE. Comportamiento de losa de concreto.	Y1: Resistencia a la tracción, compresión y corte de la losa de concreto. Y2: Reforzamiento estructural de la losa de concreto	
	PROBLEMA ESPECIFICO 2 ¿Cuál es el efecto del nivel de adherencia de sellador, en el comportamiento de la losa de concreto armado del tablero del Puente sobre el Río Mantaro, en los distritos de Huancayo, Tres de Diciembre, Provincias de Huancayo, Chupaca 2017?	OBJETIVO ESPECIFICO 2 Determinar el efecto del nivel de adherencia de sellador en el comportamiento de la losa de concreto armado del tablero del Puente sobre el Río Mantaro, en los distritos de Huancayo, Tres de Diciembre, Provincias de Huancayo, Chupaca 2017	HIPOTESIS ESPECIFICO 2 El efecto del nivel de adherencia de sellador influye positivamente en el comportamiento de la losa de concreto armado del tablero del Puente sobre el Río Mantaro, en los distritos de Huancayo, Tres de Diciembre, Provincias de Huancayo, Chupaca 2017	DEPENDIENTE. Comportamiento de losa de concreto.	Y1: Resistencia a la tracción, compresión y corte de la losa de concreto. Y2: Reforzamiento estructural de la losa de concreto	
	PROBLEMA ESPECIFICO 3 ¿Cuál es el efecto del nivel de adherencia de las varillas, platinas y mantas de fibras de carbono, en el comportamiento de la losa de concreto armado del tablero del Puente sobre el Río Mantaro, en los Distritos de Huancayo, Tres de Diciembre, Provincias de Huancayo, Chupaca 2017?	OBJETIVO ESPECIFICO 3 Determinar efecto del nivel de adherencia de las varillas, platinas y mantas de fibras de carbono, en el comportamiento de la losa de concreto armado del tablero del Puente sobre el Río Mantaro, en los distritos de Huancayo, Tres de Diciembre, Provincias de Huancayo, Chupaca 2017	HIPOTESIS ESPECIFICO 3 El efecto del nivel de adherencia al aplicar varillas platinas mantas de fibras de carbono, influye positivamente en el comportamiento de la losa de concreto armado del tablero del Puente sobre el Río Mantaro, en los distritos de Huancayo, Tres de Diciembre, Provincias de Huancayo, Chupaca 2017.	DEPENDIENTE. Comportamiento de losa de concreto.	Y1: Resistencia a la tracción, compresión y corte de la losa de concreto. Y2: Reforzamiento estructural de la losa de concreto	
	PROBLEMA ESPECIFICO 4 ¿Cuál es el efecto del nivel de resistencia estructural al aplicar selladores, varillas platinas y mantas de fibra de carbono, en el comportamiento de la losa de concreto armado del tablero del Puente sobre el Río Mantaro, en los distritos de Huancayo, Tres de Diciembre, Provincias de Huancayo, Chupaca 2017?	OBJETIVO ESPECIFICO 4 Determinar el efecto del nivel de resistencia estructural al aplicar sellador, varillas, platinas y mantas de fibra de carbono, en el comportamiento de la losa de concreto armado del tablero del Puente sobre el Río Mantaro, en los distritos de Huancayo, Tres de Diciembre, Provincias de Huancayo, Chupaca 2017.	HIPOTESIS ESPECIFICO 4. El efecto del nivel de resistencia estructural al aplicar sellador, varillas, platinas y mantas de fibra de carbono, influye positivamente en el comportamiento de la losa de concreto armado del tablero del Puente sobre el Río Mantaro, en los distritos de Huancayo Tres de Diciembre, Provincias de Huancayo y Chupaca 2017	DEPENDIENTE. Comportamiento de losa de concreto.	Y1: Resistencia a la tracción, compresión y corte de la losa de concreto. Y2: Reforzamiento estructural de la losa de concreto	

TÍTULO: USO DE SELLADOR, VARILLAS PLATINAS MANTAS DE FIBRA DE CARBONO EN LA LOSA DE CONCRETO ARMADO DEL TABLERO DEL PUENTE SOBRE EL RÍO MANTARO EN LOS DISTRITOS DE CHILCA, TRES DE DICIEMBRE. PROVINCIAS DE HUANCAYO Y CHUPACA, REGIÓN JUNÍN AÑO 2017.

MATRIZ DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

HIPOTESIS	VARIABLES	DEFINICION	DIMENSIONES	INDICADORES
El efecto del uso de sellador, de varillas platinas mantas de fibra de carbono, influye positivamente en el comportamiento de la losa de concreto armado del tablero del Puente sobre el Río Mantaro, en los distritos de Chilca, Tres de Diciembre. Provincias de Huancayo y Chupaca Región Junín 2017.	Independiente: X = Uso de selladores, varillas platinas mantas de fibra de carbono.	Uso de sellador de concreto, son aditivos para ligar fisuras, elementos químicos que perite sellar los vacíos de las fisuras en la losa de concreto.	Uso de sellador, varillas, mantas de fibra de carbono para mejorar la losa de concreto.	1. Nivel de resistividad de la losa de concreto.
		Uso de varillas, platinas, manta de fibra de carbono en losa de concreto, es un proceso que permite adherir sobre la losa de concreto, para mejorar la resistencia estructural, incrementa la resistividad reforzando la estructura existente.		2. Nivel de sellado de fisuras de la losa de concreto.
		3. Nivel de adhesión de láminas y fibras de carbono en la losa de concreto.		
		4. Nivel de incremento de la resistencia estructural de la losa de concreto.		
	Dependiente: Y= Comportamiento de losa de concreto armado.	Comportamiento de la losa de concreto, es la verificación o comprobación de cómo actúa los elementos estructurales de la losa de concreto al estímulo de los esfuerzos estáticos y dinámicos al paso de los vehículos.	Resistencia a la tracción, flexión, y corte de la losa de concreto. Resistencia estructural al estímulo de los esfuerzos estáticos y dinámicos.	1. Nivel de resistencia que soporta a la compresión y flexión la losa de concreto.
				2. Nivel de resistencia que soporta al corte la losa de concreto.

VARIABLES	DEFINICION	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD DE MEDICION
<p>Independiente:</p> <p>X = Uso de sellador, varillas, platinas, mantas de fibra de carbono.</p>	<p>Uso de sellador de concreto, son aditivos para ligar fisuras, elementos químicos que permite sellar los vacíos de las fisuras en la losa de concreto.</p> <p>Uso de varillas, platinas, manta de fibra de carbono en losa de concreto, es un proceso que permite adherir sobre la losa de concreto, para mejorar la resistencia estructural, incrementa la resistividad reforzando la estructura existente.</p>	<p>Uso de sellador, varillas, mantas de fibra de carbono para mejorar la losa de concreto.</p>	<p>Nivel de resistividad de la losa de concreto.</p>	<p>Continua</p>
			<p>Nivel de sellado de fisuras de la losa de concreto.</p>	<p>Nominal</p>
			<p>Nivel de adhesión de láminas y fibras de carbono en la losa de concreto.</p>	<p>Continua</p>
			<p>Nivel de incremento de la resistencia estructural de la losa de concreto.</p>	<p>Continua</p>
<p>Dependiente:</p> <p>Y= Comportamiento de losa de concreto.</p>	<p>Comportamiento de la losa de concreto, es la verificación o comprobación de cómo actúa los elementos estructurales de la losa de concreto al estímulo de los esfuerzos estáticos y dinámicos al paso de los vehículos.</p>	<p>Resistencia a la tracción, flexión, y corte de la losa de concreto. Resistencia estructural al estímulo de los esfuerzos estáticos y dinámicos.</p>	<p>Nivel de resistencia que soporta a la compresión y flexión la losa de concreto.</p>	<p>Continua</p>
			<p>Nivel de resistencia que soporta al corte la losa de concreto.</p>	<p>Continua.</p>

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES
 TITULO: USO DE SELLADOR, VARILLAS, PLATINAS Y MANTAS DE FIBRA DE CARBONO EN EL COMPORTAMIENTO DE LA LOSA DE CONCRETO ARMADO DEL TABLERO DEL PUENTE SOBRE EL RÍO MANTARO EN LOS DISTRITOS DE CHILCA, TRES DE DICIEMBRE. PROVINCIAS DE HUANCAYO, CHUPACA, REGIÓN JUNÍN 2017.

HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ACTIVIDAD	MDA	DA	EB	ED	MED
El efecto del uso de sellador, de varillas platinas mantas de fibra de carbono, influye positivamente en el comportamiento de la losa de concreto armado del tablero del Puente sobre el río Mantaro, en los distritos de Chilca, Tres de Diciembre. Provincias de Huancayo y Chupaca Región Junín 2017.	VARIABLE INDEPENDIENTE X= Uso de selladores, varillas platinas mantas de fibra de carbono en la losa de concreto.	Uso de selladores, varillas, mantas de fibra de carbono para mejorar la resistencia estructural de la losa de concreto.	1) Nivel de resistividad de la losa de concreto.	Modelamiento de la losa de concreto del puente					
			2) Nivel de sellado de fisuras de la losa de concreto.	Inyección de ligamento para sellado de fisura					
			3) Nivel de adhesión de láminas y fibras de carbono en la losa de concreto.	Prueba de adhesión de láminas y fibras de carbono.					
			4) Nivel de incremento de la resistencia estructural de la losa de concreto.	Modelamiento de la losa de concreto luego de la aplicación de láminas y fibra de carbono.					
	VARIABLE DEPENDIENTE Y = Comportamiento de losa de concreto.	Resistencia a la tracción, flexión, y corte de la losa de concreto. Reforzamiento estructural al estímulo de los esfuerzos estáticos y dinámicos.	1) Nivel de resistencia que soporta a la compresión y flexión el tablero a través de la losa.	Modelamiento del puente y prueba de carga					
			2) Nivel de resistencia que soporta a rotura el tablero a través de la losa.	Modelamiento del puente y prueba de carga					

MDA, Muy de acuerdo. DA, de acuerdo. EB es bueno. ED en desacuerdo, MED Muy en desacuerdo.

MATRIZ DE OPERARACIONALIZACION.
TITULO: USO DE SELLADOR, VARILLAS, PLATINAS Y MANTAS DE FIBRA DE CARBONO EN EL COMPORTAMIENTO DE LA LOSA DE CONCRETO ARMADO DEL TABLERO DEL PUENTE SOBRE EL RÍO MANTARO EN LOS DISTRITOS DE CHILCA, TRES DE DICIEMBRE. PROVINCIAS DE HUANCAYO, CHUPACA, REGIÓN JUNÍN 2017.

HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
<p>El efecto del uso de sellador, de varillas, platinas y mantas de fibra de carbono, influye positivamente en el comportamiento de la losa de concreto armado del tablero del Puente sobre el Río Mantaro, en los distritos de Chilca, Tres de Diciembre. Provincias de Huancayo, Chupaca, Región Junín 2017.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE X= Uso de selladores, varillas platinas mantas de fibra de carbono en la losa de concreto.</p>	<p>Uso de selladores, varillas, mantas de fibra de carbono para mejor la resistencia estructural de la losa de concreto.</p>	<p>1. Nivel de resistividad de la losa de concreto.</p>
	<p>VARIABLE DEPENDIENTE. Y= Comportamiento de losa de concreto.</p>	<p>Resistencia a la tracción, flexión, y corte de la losa de concreto. Reforzamiento estructural al estímulo de los esfuerzos estáticos y dinámicos.</p>	<p>2. Nivel de sellado de fisuras de la losa de concreto.</p>
			<p>3. Nivel de adhesión de láminas y fibras de carbono en la losa de concreto.</p>
			<p>4. Nivel de incremento de la resistencia estructural de la losa de concreto.</p>
			<p>1- Nivel de resistencia que soporta a la compresión y flexión la losa de concreto.</p>
	<p>2- Nivel de resistencia que soporta a rotura la losa de concreto.</p>		