

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingenierías

**Lanzamiento de vigas metálicas del Puente Sobre el Río
San Pedro ubicado en la vía Conocoto - Amaguaña,
Pichincha, Ecuador
Proyecto Técnico**

Luis Eduardo Erazo Morocho

Ingeniería Civil

Trabajo de titulación presentado como requisito
para la obtención del título de
Ingeniero Civil

Quito, 13 de mayo de 2019

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ
COLEGIO DE CIENCIAS E INGENIERÍAS

HOJA DE CALIFICACIÓN
DE TRABAJO DE TITULACIÓN

**Lanzamiento de vigas metálicas del Puente Sobre el Río San Pedro ubicado
en la vía Conocoto - Amaguaña, Pichincha, Ecuador**

Luis Eduardo Erazo Morocho

Calificación:

Nombre del profesor, Título académico:

Juan Carlos Pantoja Moyano, Magíster
en Ingeniería Civil

Firma del profesor:

Quito, 13 de mayo de 2019

Derechos de Autor

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma del estudiante:

Nombres y apellidos:

Luis Eduardo Erazo Morocho

Código:

00124738

Cédula de Identidad:

1716002421

Lugar y fecha:

Quito, 13 de mayo de 2019

RESUMEN

El trabajo consiste en diseñar el sistema más eficiente para el lanzamiento de vigas del Puente Sobre el Río San Pedro ubicado en la vía Conocoto – Amaguaña, Pichincha, Ecuador. Para lo cual primero se investiga las formas más usadas para el lanzamiento de vigas de hormigón o metálicas de los puentes en el mundo y haciendo énfasis en los últimos métodos utilizados en la construcción de puentes en el Ecuador.

Una vez determinado la opción de lanzamiento a realizar se hará un análisis de costo – beneficio para determinar el método más eficiente, por último, se describirá el diseño y metodología de lanzamiento de las vigas metálicas.

Lanzamiento, optimización, diseño, puente, eficiencia, metodología

ABSTRACT

The work consists of designing the most efficient system for the launching of beams of the bridge over the San Pedro river located in the Conocoto - Amaguaña road, Pichincha, Ecuador. First, investigate the most used forms for the launching of concrete or metal beams of bridges in the world and with emphasis on the last methods used in the construction of bridges in Ecuador.

Once the launch option is determined, realize a cost - benefit analysis will be carried out to determine the most efficient method, finally, the design and methodology for launching the metal beams will be described.

Launching, optimization, design, bridge, efficiency, methodology

TABLA DE CONTENIDOS

Introducción	12
Desarrollo del Tema.....	13
1. Tipos de lanzamiento de vigas de hormigón o metálicas de los puentes en el mundo	13
1.1. Lanzamiento por empuje	13
1.1.1. Lanzamiento por segmentos.....	14
1.1.2. Lanzamiento completo	18
1.2. Lanzamiento con viga lanzadora	21
1.3. Lanzamiento por volados sucesivos	24
1.4. Lanzamiento con estructura H	26
1.5. Lanzamiento de doble cajón colaborante	28
2. Lanzamientos de las vigas de hormigón o metálicas en los últimos puentes construidos en el Ecuador.	32
2.1. Puente Carrizal, Manabí (2010).....	32
2.2. Puente Sobre el Río Esmeraldas, Esmeraldas (2012)	48
2.3. Puente Sobre el Río Chiche, Pichincha (2015).....	52
2.4. Puente Sobre el Río Jama, Manabí (2017)	53
2.5. Puente Los Pájaros, Pichincha (2017)	55
2.6. Puente Guayaquil – Samborondón, Guayas (2018).....	59
3. Análisis de Costo – Beneficio	60
3.1. Alternativas de lanzamiento	60
3.1.1. Lanzamiento por dolly y grúas telescópicas	61
3.1.2. Lanzamiento por dolly y rodillos para movimiento transversal	63
3.1.3. Lanzamiento por dolly y pórticos para el movimiento transversal	65
3.2. Valoración económica de cada una de las alternativas.....	69
3.2.1. Lanzamiento por dolly y grúas.....	69
3.2.2. Lanzamiento por dolly y rodillos para movimiento transversal	70
3.2.3. Lanzamiento por dolly y pórticos para el movimiento transversal (Trio de vigas)	71
3.2.4. Lanzamiento por dolly y pórticos para el movimiento transversal (Par de vigas)	72
3.3. Selección del método más eficiente.....	73
4. Diseño del pórtico y extensión de viga	73
4.1. Criterios de diseño del pórtico y extensión de viga:	73
4.2. Cargas aplicadas a las estructuras:.....	73
4.3. Pre - dimensionamiento del pórtico	75
4.4. Pre - dimensionamiento de las extensiones de vigas	77
4.5. Diseño del pórtico.....	78
4.5.1. Cálculos de pórtico en SAP2000	78
4.5.2. Comprobación de cálculos del pórtico a mano	82
4.6. Diseño de las extensiones de vigas	91
4.6.1. Cálculo de la extensión en SAP2000	91
4.6.2. Comprobación de cálculo de la extensión a mano	94
5. Planos con metodología de lanzamiento, dimensiones del pórtico, extensión de viga y despiece.	98
Conclusiones	106
Referencias bibliográficas	107

Anexos	109
1. Viga IPE240.....	109
2. Ángulos 75x75x4 mm.....	110
3. Material de la viga IPE360	111
4. Material de las columnas 150x150x4 mm	112
5. Material de los ángulos 75x75x4 mm.....	112
6. Propiedades de la viga IPE360	113
7. Propiedades de las columnas 150x150x4 mm	113
8. Propiedades de los ángulos 75x75x4 mm.....	114
9. Material de la viga IPE180	114
10. Propiedades de la viga IPE180	115
11. Material de la placa A36.....	115
12. Propiedades de la placa A36.....	116

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Presupuesto para lanzamiento de vigas con Dolly y grúas	69
Tabla 2. Presupuesto para lanzamiento de vigas con Dolly y rodillos para movimiento transversal.....	70
Tabla 3. Presupuesto para lanzamiento de trio de vigas con Dolly y pórticos para el movimiento transversal	71
Tabla 4. Presupuesto para lanzamiento de par de vigas con Dolly y pórticos para el movimiento transversal	72
Tabla 5. Presupuesto para suministro, montaje y fabricación del pórtico	72
Tabla 6. Valores de Cortante, momento y fuerzas axiales.....	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1: Esquema general del lanzamiento por segmentos	14
Figura No. 2: Fase 1, pico de lanzamiento en el aire	15
Figura No. 3: Fase 2, pico de lanzamiento apoyado en estribo o pila	15
Figura No. 4: Pico de lanzamiento.....	15
Figura No. 5: Apoyo de neopreno-teflón.....	16
Figura No. 6: Cilindros hidráulicos de doble acción	16
Figura No. 7: Planta de fabricación, aledaño a la posición final del puente.....	17
Figura No. 8: Pilas auxiliares construidas entre pilas.....	17
Figura No. 9: Esquema general del lanzamiento completo	18
Figura No. 10: Rodillos fijos	19
Figura No. 11: Rodillos basculantes	20
Figura No. 12: Cilindros hidráulicos simples	20
Figura No. 13: Esquema general del lanzamiento con viga lanzadora	21
Figura No. 14: Carros lanzaderas.....	22
Figura No. 15: Carros de elevación	22
Figura No. 16: Vigas carril	23
Figura No. 17: Tensores.....	23
Figura No. 18: Estructura de celosía compuesta.....	24
Figura No. 19: Esquema general de lanzamiento por volados sucesivos	24
Figura No. 20: Carro de avance para el lanzamiento sucesivo	25
Figura No. 21: Esquema general de lanzamiento con estructura H.....	26
Figura No. 22: Cables tensionados diagonalmente al eje de lanzamiento.....	27
Figura No. 23: Rieles longitudinales donde se desplazará la estructura.....	27
Figura No. 24: Muertos de hormigón que van dentro del suelo para anclar la estructura	28
Figura No. 25: Sistema de tiro que se conforma de 2 torres.....	28
Figura No. 26: Rango de utilización del método de doble cajón colaborante	29
Figura No. 27: Rango de tipologías estructurales en función de la luz.	30
Figura No. 28: Método de lanzamiento de doble cajón.....	30
Figura No. 29: Puente de Caynarachi, Perú.....	31
Figura No. 30: Nizhnegorodsky Metro Bridge, Rusia.....	31
Figura No. 31: Viaducto de San Roque, Asturias, España	31
Figura No. 32: Enlace del Cadagua, Bilbao, España	32
Figura No. 33: Puente Carrizal - Manabí ubicado en la Presa La Esperanza en la vía Quiroga – Pichincha.....	32
Figura No. 34: Configuración de la superestructura e infraestructura.....	34
Figura No. 35: Plataforma de lanzamiento perfectamente nivelada	35
Figura No. 36: Construcción del par de vigas metálicas mediante unión de dovelas.....	35
Figura No. 37: Celosía metálica para evitar el momento negativo de cantiléver	36
Figura No. 38: Extensión de vigas metálicas unidas con pernos para fácil armado.....	36
Figura No. 39: Rodillos basculantes utilizados en el lanzamiento	37
Figura No. 40: Fase de arrastrar y retener las vigas hasta pasar 18.5 metros la pila auxiliar ..	38
Figura No. 41: Momento para que el conjunto de vigas con la barcaza empiece su movimiento simultaneo	39
Figura No. 42: Primer par de vigas metálicas llegan a su posición final y pueden ser descendidas.....	40
Figura No. 43: Retiro de la celosía metálica para poder distensionar las dos secciones del par de vigas.....	41

Figura No. 44: Descenso del primer par de vigas metálicas.....	42
Figura No. 45: Extensiones de vigas y rodillos acoplados al siguiente tramo del par de vigas metálicas.....	43
Figura No. 46: Lanzamiento del segundo par de vigas por encima del primer par de vigas metálicas.....	43
Figura No. 47: Segundo tramo de lanzamiento, basado en el mismo concepto del primer tramo.....	44
Figura No. 48: Tercer tramo de lanzamiento, el mismo sistema utiliza para los dos anteriores tramos.....	45
Figura No. 49: Descenso de los últimos pares de vigas metálicas en el tercer tramo.....	46
Figura No. 50: Segunda sección del último tramo de vigas listo para descender a su posición final.....	47
Figura No. 51: Lanzamiento de las vigas metálicas sobre el Río Esmeraldas.....	48
Figura No. 52: Pre-montaje de las vigas de lanzamiento en tierra.....	49
Figura No. 53: Comportamiento de las barcazas en bajamar.....	49
Figura No. 54: Comportamiento de las barcazas en pleamar.....	50
Figura No. 55: Barcaza y pórticos autoportantes para transporte de vigas metálicas.....	50
Figura No. 56: Colocación de las vigas metálicas en los pórticos y barcaza.....	51
Figura No. 57: Descenso a la posición final de las vigas metálicas.....	51
Figura No. 58: Cilindros hidráulicos para alinear longitudinal y transversalmente las vigas metálicas.....	52
Figura No. 59: Lanzamiento de los segmentos de hormigón.....	52
Figura No. 60: Puente sobre el Río Jama.....	53
Figura No. 61: Movimiento aguas abajo del viejo Puente sobre el Río Jama.....	54
Figura No. 62: Movimiento mediante dollies de las vigas metálicas paralelas al Río Jama.....	54
Figura No. 63: Lanzamiento de las vigas donde se observa las pilas auxiliares, rodillos, grúa y el tractor para tirar las vigas.....	55
Figura No. 64: Lanzamiento de las vigas metálicas del puente Los Pájaros.....	55
Figura No. 65: Sección transversal de la superestructura.....	56
Figura No. 66: Lanzamiento de las 4 vigas utilizando el método incremental.....	56
Figura No. 67: Gatos Strand utilizados para el lanzamiento incremental.....	57
Figura No. 68: Caja registradora de datos.....	58
Figura No. 69: Cables vibrantes TFR, WH, BFR instalados en la sección S1.....	58
Figura No. 70: Alambre vibratorio BFR instalado en la sección S1.....	58
Figura No. 71: Construcción de las vigas metálicas del puente Guayaquil - Samborondón.....	59
Figura No. 72: Actual puente sobre el Río San Pedro el cual tiene un solo carril de circulación.....	60
Figura No. 73: Sitio nivelado y para construir las vigas metálicas.....	61
Figura No. 74: Construcción de vigas metálicas a un costado de la vía.....	61
Figura No. 75: Levantamiento de las 3 vigas arriostradas con las grúas telescópicas.....	62
Figura No. 76: Dolly con las vigas metálicas sobre el puente existente.....	62
Figura No. 77: Primer trio de vigas metálicas en su posición final aguas arriba.....	62
Figura No. 78: Segundo trio de vigas listos para ser lanzado con grúas telescópicas aguas arriba.....	63
Figura No. 79: Segundo trio de vigas ubicados en su posición final.....	63
Figura No. 80: Construcción de las vigas embancadas en madera para estar más alto que el dolly.....	63
Figura No. 81: Descenso de las primeras 3 vigas en el dolly mediante cilindros hidráulicos.....	64
Figura No. 82: Rodillos ubicados transversalmente para mover las vigas a su posición final.....	64
Figura No. 83: Movimiento transversal de las vigas metálicas mediante rodillos fijos.....	64

Figura No. 84: Segundo trio de vigas metálicas lista para ser movidas a través del puente....	65
Figura No. 85: Rodillos ubicados transversalmente para mover el segundo trio de vigas aguas arriba.....	65
Figura No. 86: Vigas ubicadas aguas arriba del puente existente.....	65
Figura No. 87: Construcción de las vigas metálicas a un costado de la vía existente	66
Figura No. 88: Elevación y descenso de las vigas hasta el dolly mediante los pórticos.....	66
Figura No. 89: Elevación de las vigas para que el dolly quede liberado	66
Figura No. 90: Movimiento transversal del primer par de vigas usando los pórticos	67
Figura No. 91: Movimiento del pórtico conforme se mueven las vigas metálicas y se las embancan.....	67
Figura No. 92: Descenso del segundo par de vigas metálicas a al dolly mediante los pórticos	68
Figura No. 93: Dolly liberado para mover par de vigas transversalmente mediante los pórticos	68
Figura No. 94: Segundo par de vigas metálicas ubicados en su posición final	68
Figura No. 95: Cargas aplicadas en toneladas	75
Figura No. 96: Cargas aplicadas en las extensiones de viga en toneladas	75
Figura No. 97: Secciones por utilizar en el pórtico.....	76
Figura No. 98: Deflexión en el centro de la viga IPE240 en metros	77
Figura No. 99: Pandeo hacia afuera del pórtico de las columnas en metros.....	77
Figura No. 100: Prediseño de la celosía posible a utilizarse como extensión de viga.....	78
Figura No. 101: Flexión de la extensión de viga en metros.....	78
Figura No. 102: Cargas vivas aplicadas al pórtico.....	79
Figura No. 103: Secciones que cumplen con el AISC 360-16.....	80
Figura No. 104: Reacciones en la base en toneladas	81
Figura No. 105: Desplazamiento del centro de la viga en metros	81
Figura No. 106: Desplazamiento de las columnas en metros	82
Figura No. 107: Viga IPE180 que cumple con el AISC 360-16.....	92
Figura No. 108: Cargas aplicadas en toneladas	93
Figura No. 109: Reacciones en la base en toneladas	93
Figura No. 110: Desplazamiento del extremo de la viga en metros	94

INTRODUCCIÓN

La vía Conocoto – Amaguaña es de las vías más antiguas del Cantón Quito, por lo cual sus características geométricas son obsoletas y está en una situación deplorable, por este motivo el Gobierno Autónomo Descentralizado de la Provincia de Pichincha (GADPP) va a realizar la repavimentación de 12,3 km de vía que incluye la construcción de dos puentes, uno sobre la quebrada Aguarico, parroquia Conocoto de 14 m de longitud y el segundo sobre el Río San Pedro, parroquia Amaguaña de 25 m de longitud, el proyecto empezará las primeras semanas de Julio del 2018 y tendrá un plazo de 180 días, con un monto total de USD \$2'512.898,33 (DOS MILLONES QUINIENTOS DOCE MIL OCHOCIENTOS NOVENTA y OCHO, CON 33/100 Dólares de los Estados Unidos de América) sin incluir IVA. Por lo que esta tesis será de gran ayuda y tendrá una aplicación teórica – práctica en el lanzamiento de las vigas metálicas del Puente Sobre el Río San Pedro.

El objetivo principal de esta tesis es diseñar el método más apropiado para realizar el lanzamiento de las vigas metálicas del Puente Sobre el Río San Pedro ubicado en la vía Conocoto – Amaguaña, basándose en los últimos métodos utilizados en el mundo y específicamente en el Ecuador.

DESARROLLO DEL TEMA

1. Tipos de lanzamiento de vigas de hormigón o metálicas de los puentes en el mundo

Los puentes son obras de arte que se usan para transponer cursos de agua y/o lechos secos llamados quebradas. De igual manera se los usa para conectar dos tramos de vías que permiten enlazar localidades. Para fines de diseño y construcción los puentes se dividen en infraestructura y superestructura. Como parte de la infraestructura se considera todo lo que es cimentación, estribos y pilas o apoyos centrales; la superestructura está constituida por las vigas, el tablero, cables y capa de rodadura que transmiten la carga a la infraestructura.

Las vigas sean de metal, hormigón, madera u otro material son los elementos que materializan la unión entre estribos y pilas, sobre ellas se construye el tablero y la capa de rodadura. Al ser el elemento que materializa la unión cobran vital importancia pues son los elementos más largos y deben ser colocados de manera ingeniosa pues en si constituyen el puente, por ende, no tiene elementos intermedios existentes, por lo que hay que recurrir al ingenio de los ingenieros para salvar estas luces a través de lo que comúnmente se llama lanzamientos de vigas, ya que una vez colocadas en la posición final prácticamente se ha materializado la unión entre una orilla y otra.

En el mundo se han optado varios métodos para el lanzamiento de vigas, siendo los más destacados los siguientes:

1.1. Lanzamiento por empuje

Este lanzamiento como su nombre lo indica consiste en empujar las vigas sea utilizando medios mecánicos, hidráulicos o una máquina. Para el deslizamiento se pueden utilizar rodillos o apoyos metálicos entre los cuales se coloca un elemento que disminuya la fricción tal como el teflón.

Dentro del lanzamiento por empuje existen métodos entre los cuales está el lanzamiento por segmentos y completo.

1.1.1. Lanzamiento por segmentos



Figura No. 1: Esquema general del lanzamiento por segmentos

Este tipo de lanzamiento se lo ha utilizado en mayor parte con vigas con sección tipo cajón de hormigón y longitudes de vanos medianas, para garantizar una adecuada unión entre segmentos generalmente se utiliza un sistema de postensado. Este método consiste en avanzar secuencialmente de segmento en segmento, de manera que se acopla en tierra el segmento nuevo al recién lanzado, luego se continua con el empuje hasta que llegue a la posición final en el estribo opuesto (Figura No. 1).

En la parte frontal de las vigas se puede colocar un pico de lanzamiento comúnmente llamado nariz, el cual debe ser liviano para reducir la tensión y reducir el descenso vertical de la viga por el momento negativo que se genera en el aire. Se debe considerar durante la operación de lanzamiento que el dintel (elemento que une la viga con el pico de lanzamiento), soportará tanto momentos flectores positivos como negativos. (A.N. Fontán, Hernández, Baldomir, & Díaz, 2012).

El comportamiento del momento en las vigas cuando están en voladizos se puede determinar en dos fases. La primera fase cuando el pico de lanzamiento está en el aire (Figura No. 2), y la segunda cuando el pico está apoyado en la pila o estribo ubicado a continuación de donde se partió (Figura No. 3).

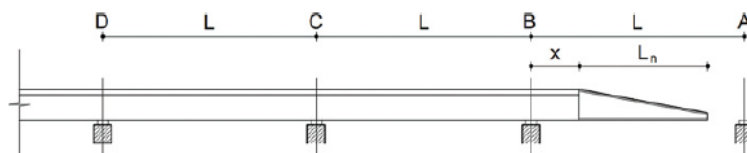


Figura No. 2: Fase 1, pico de lanzamiento en el aire

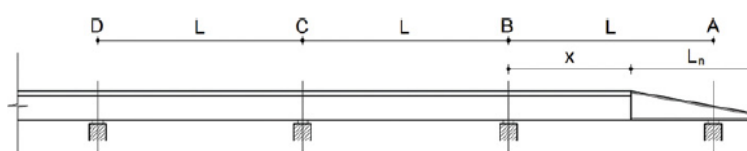


Figura No. 3: Fase 2, pico de lanzamiento apoyado en estribo o pila

El lanzamiento por segmentos consta de los siguientes elementos requeridos:

- Pico de lanzamiento: Vulgarmente conocida como “nariz”, es una sección liviana construida en la parte frontal de la viga inicial con el objetivo de alivianar el puente, esto favorece para que la viga pueda llegar rápidamente y sin tanta caída al siguiente estribo o pila (Figura No. 4).



Figura No. 4: Pico de lanzamiento

- Apoyo de Neopreno-teflón: Se coloca debajo de las vigas y la superficie de apoyo, permite mantener el coeficiente de fricción bastante reducido mientras

se realiza el lanzamiento de vigas, esto facilita y reduce el tiempo general de la maniobra (Figura No. 5).



Figura No. 5: Apoyo de neopreno-teflón

- Dispositivos de lanzamiento: Proporciona la fuerza necesaria para arrastrar o empujar las vigas hasta su posición final, generalmente son gatos hidráulicos de gran capacidad y de muy grande longitud de desarrollo (Figura No. 6).



Figura No. 6: Cilindros hidráulicos de doble acción

- Planta de fabricación: Es el sitio donde se construyen las vigas ya sean metálicas o de hormigón, en este sitio se realiza soldadura en caso de las vigas metálicas y resistencia a la compresión en caso de vigas de hormigón, además de un permanente control de calidad en las uniones, fundiciones (Figura No. 7).

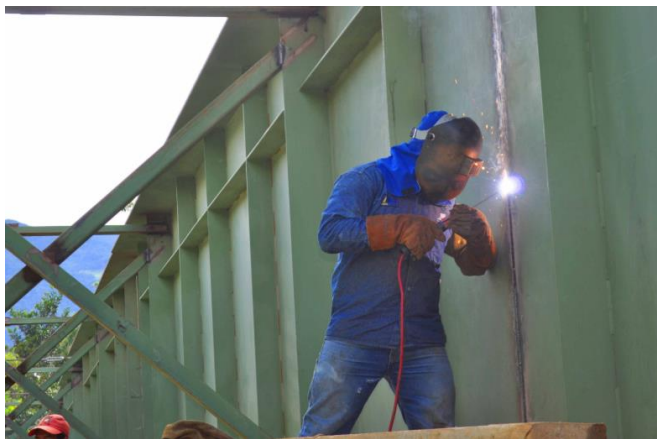


Figura No. 7: Planta de fabricación, aledaño a la posición final del puente

- Pilas auxiliares: Conocidas comúnmente como obras falsas, sirven cuando la longitud total de las vigas supera los 40 o 50 metros, normalmente se realizan estas pilas con secciones rectangulares de madera porque son de fácil acceso o pueden ser metálicas tipo celosía, pero siempre deben permitir ser removidas con facilidad (Figura No. 8).



Figura No. 8: Pilas auxiliares construidas entre pilas

1.1.2. Lanzamiento completo



Figura No. 9: Esquema general del lanzamiento completo

Este tipo de lanzamiento se caracteriza por construir las vigas completamente en un solo lado o se construye en dos secciones ubicadas en cada lado. Independientemente de cómo se construyó las vigas es necesario construir obras falsas entre pilas o entre estribos, de manera que permitan reducir las luces manteniendo el criterio práctico de un tramo en el aire y dos en el piso con lo cual el rango de seguridad es igual o cercano a dos.

Estos lanzamientos, especialmente en vigas metálicas se recomiendan hacer en pares o mas para así mantener un arriostamiento entre vigas lo que impide una deformación que pueda sobrepasar el rango elástico y evite la deformación permanente de las vigas.

El lanzamiento completo consta de los siguientes elementos requeridos:

- Pico de lanzamiento: En este tipo de lanzamiento es opcional, descrito anteriormente (Figura No. 4).

- Rodillos fijos: Son elementos que sirven para deslizar el puente en el proceso de lanzamiento y para recibir la estructura en el apoyo de llegada, es vital que sus ejes se encuentren en buen estado (no desgastados) y la superficie del rodillo lo más lisa posible, que permita el fácil deslizamiento de los paneles (Figura No. 10).



Figura No. 10: Rodillos fijos

- Rodillos basculantes: Son elementos que permiten el deslizamiento del puente y se ubican generalmente en los apoyos donde se considera como eje de giro del lanzamiento, también se los ubica sobre las torres de pilas. Permiten deslizar todo el panel en su superficie debido a que son capaces de girar longitudinalmente con respecto al rodillo central lo que permite a la nariz de lanzamiento que avanza con una inclinación adaptarse fácilmente para deslizarse (Figura No. 11).



Figura No. 11: Rodillos basculantes

- Cilindros hidráulicos: Son elementos mecánicos que a través de aceite comprimido generan empuje hidráulico, existen varias capacidades de cilindros (Figura No. 12).

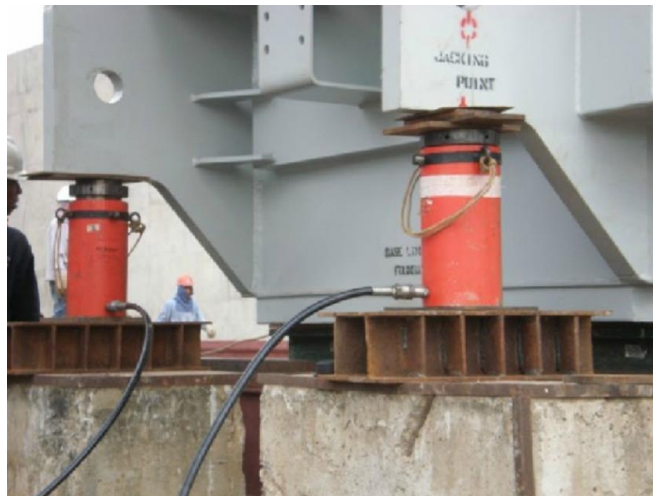


Figura No. 12: Cilindros hidráulicos simples

- Dispositivos de lanzamiento: Descrito anteriormente (Figura No. 6).
- Planta de fabricación: Descrito anteriormente (Figura No. 7).
- Pilas auxiliares: Descrito anteriormente (Figura No. 8).

1.2. Lanzamiento con viga lanzadora



Figura No. 13: Esquema general del lanzamiento con viga lanzadora

Este tipo de lanzamiento se realiza para vigas prefabricadas de hormigón, aunque también pudiera realizarse con vigas metálicas. Este sistema está compuesto por vigas modulares de celosías compuestas, las cuales sirven como un puente provisional por el cual solo se trasladará la viga definitiva. El sistema se basa en descargar la viga del camión detrás del estribo de lanzamiento, donde la viga modular sujeta la viga de hormigón y permite que el camión se retire. A continuación, el sistema desplaza la viga de hormigón hasta estar ubicado exactamente por encima de su posición final y por último la descende verticalmente.

El lanzamiento con viga lanzadora consta de los siguientes elementos requeridos:

- Carros lanzaderas: Permiten que las vigas de celosía se desplacen longitudinalmente (Figura No. 14).



Figura No. 14: Carros lanzaderas

- Carros de elevación: Permiten descender o ascender la viga de hormigón (Figura No. 15).



Figura No. 15: Carros de elevación

- Vigas carril: Dos vigas HEB 600 arriostradas en las alas superiores, tiene un tope para evitar salirse longitudinalmente (Figura No. 16).



Figura No. 16: Vigas carril

- Tensores: Cadenas de 10 toneladas que impiden posibles vuelcos laterales de las vigas carril (Figura No. 17).



Figura No. 17: Tensores

- Estructura de celosía compuesta: Formados por dos vigas IPE 360 en el cordón superior y dos vigas IPE 500 en el cordón inferior, las cuales forman una estructura total de 120 metros de longitud total (Figura No. 18).

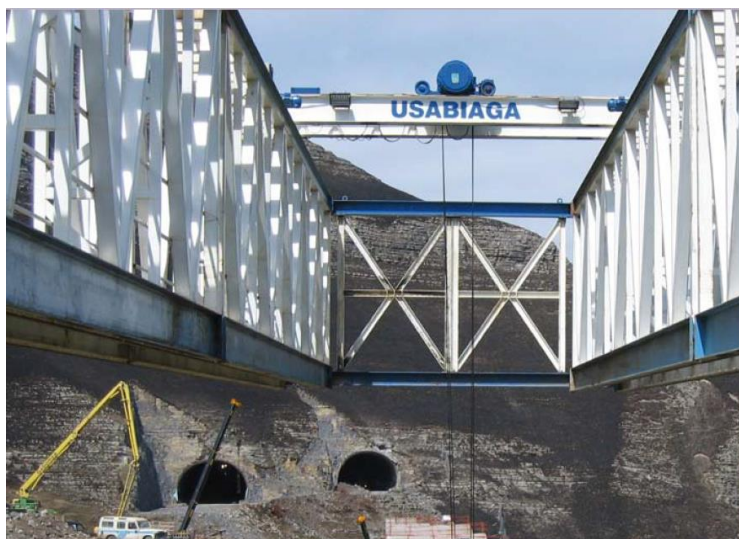


Figura No. 18: Estructura de celosía compuesta

1.3. Lanzamiento por volados sucesivos



Figura No. 19: Esquema general de lanzamiento por volados sucesivos

El lanzamiento por voladizo sucesivo principalmente es unir mediante el dintel secciones de hormigón en la parte frontal de la viga, el carro de avance es el que se encarga de ubicar las dovelas en su posición final (Figura No. 19). Frecuentemente los puentes que usan este sistema son los atirantados, ya que sus luces superan los 100 hasta 200 metros de longitud. El primer puente construido por voladizos sucesivos fue el de Santa Catalina, sobre el Rio Peixe, cerca de Herval, en Brasil, y fue en el año 1931

por el Ing. Baumgarten. Es un puente de hormigón armado con dintel continuo de tres vanos que, con los 68 metros de luz central fue récord del tramo recto durante algunos años (Perdomo & Schneider, 2011).

El lanzamiento sucesivo se basa en el carro de avance (Figura No. 20), el cual consta de los siguientes elementos:



Figura No. 20: Carro de avance para el lanzamiento sucesivo

- Vigas metálicas principales: Es la estructura principal del carro, se encarga de soportar las solicitaciones transmitidas por los encofrados.
- Vigas metálicas transversales: Son dos vigas de celosías ubicadas transversalmente a la viga metálica principal, sirven para dar rigidez y capacidad portante.
- Apoyos frontales: Permite nivelar el carro de avance permitiendo eliminar el efecto de deformación.
- Anclaje trasero: Permite evitar el vuelco del sistema que se genera por el peso de la dovela y el propio carro de avance.
- Vigas de rodadura: Permiten que el carro avance de dovela en dovela.
- Vigas y elementos que soportan el encofrado: Son armaduras que conforman los diferentes tipos de encontrados.

- Pisos de trabajo: Son espacios para poder operar el carro de avance, no se los debe ocupar como zonas de acopio de material.
- Elementos auxiliares: Elementos necesarios para el correcto funcionamiento de los carros, entre estos esta rodadura del encofrado interior, castillete para el apoyo del voladizo, equipo hidráulico, barras de cuelgue, anclaje, etc.
- Plataformas auxiliares: Opcionales, pero sirven para los operarios que construyen las dovelas.

1.4. Lanzamiento con estructura H



Figura No. 21: Esquema general de lanzamiento con estructura H

Este tipo de lanzamiento se lo realiza comúnmente cuando no es fácil construir pilas auxiliares, el objetivo principal es lanzar el puente hasta la mitad de su longitud total para que en el momento de estar casi a la mitad lo cables que están sujetos a la torre puedan sostener y continuar el lanzamiento. Para que el sistema sea seguro se tiene que jalar y a la vez soltar en la parte de atrás del puente los cables tensionados que controlan que la estructura no se desplace sin control. Otro problema de este lanzamiento es los vientos transversales, por lo cual se debe sujetar la parte frontal del puente a puntos diagonales a su eje de desplazamiento (Figura No. 22).



Figura No. 22: Cables tensionados diagonalmente al eje de lanzamiento

El lanzamiento con estructura H consta de los siguientes elementos:

- Rieles longitudinales de hormigón: Sirven para colocar una placa de metal sobre la cual se deslizarán los patines (Figura No. 23).



Figura No. 23: Rieles longitudinales donde se desplazará la estructura

- Muertos de hormigón: Ubicados detrás de las vigas de lanzamiento y detrás de la estructura H para anclar los cables de retenida (Figura No. 24).



Figura No. 24: Muertos de hormigón que van dentro del suelo para anclar la estructura

- Sistema de tiro: Dos torres en el estribo opuesto del lanzamiento en donde se anclan los cables de tiro y los de retenida de la propia torre (Figura No. 25).



Figura No. 25: Sistema de tiro que se conforma de 2 torres

1.5. Lanzamiento de doble cajón colaborante

La técnica de empuje de puentes tuvo su primera aplicación moderna en 1961 en el puente sobre el río Caoní, Venezuela; desde entonces se usa en lanzamiento de vigas de grandes longitudes. Existen diferentes problemas con este tipo de lanzamiento entre los cuales se puede enunciar:

- Las vigas en los lanzamientos soportan grandes momentos negativos y positivos que se generan conforme la maniobra se realiza.

- El costo se eleva mucho con los tiempos muertos generados por mover los equipos, elevar o descender las gatas, fijación de los elementos de deslizamiento, anclaje o desanclaje de los patines, etc.
- En la forma actual como se realiza este procedimiento las velocidades máximas que se alcanzan son de 6 a 8 m/h.
- Poca adaptabilidad a otras situaciones y dificultad para reutilizar los materiales.
- Limitación en la longitud de lanzamiento, actualmente está entre 50 a 80 metros.

Es por todas estas limitaciones que el lanzamiento por empuje se ha optimizado, para lograr ventajas claras sobre el antiguo método como por ejemplo velocidades de lanzamiento de hasta 15m/h, o también para aumentar las luces de lanzamiento que pudiera llegar hasta los 110 metros, con lo cual se reduciría en gran cantidad las pilas auxiliares que significan un costo adicional en la construcción.

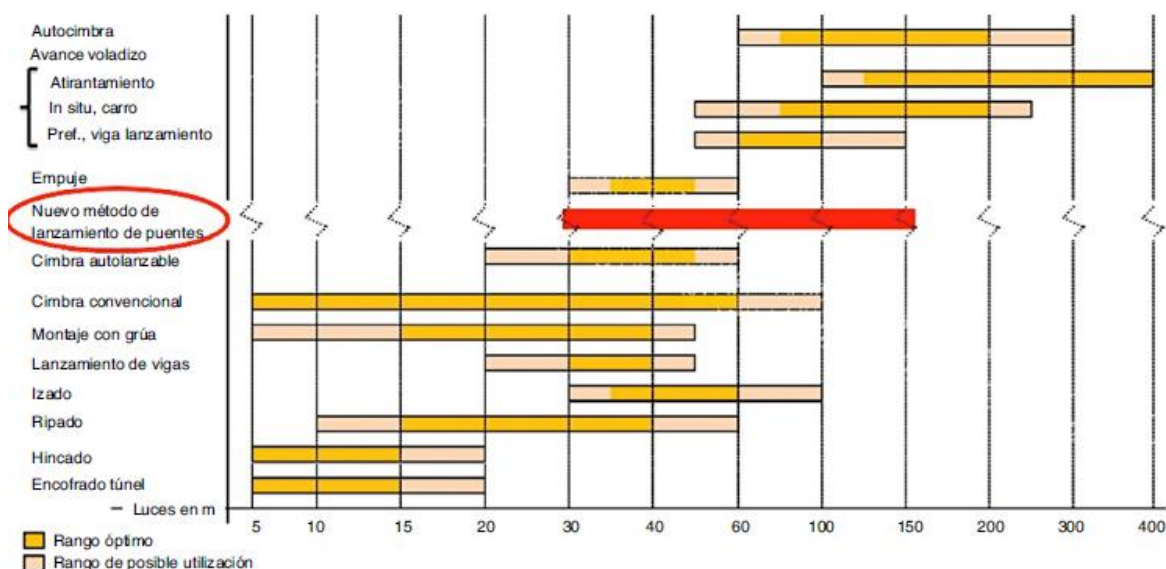


Figura No. 26: Rango de utilización del método de doble cajón colaborante.

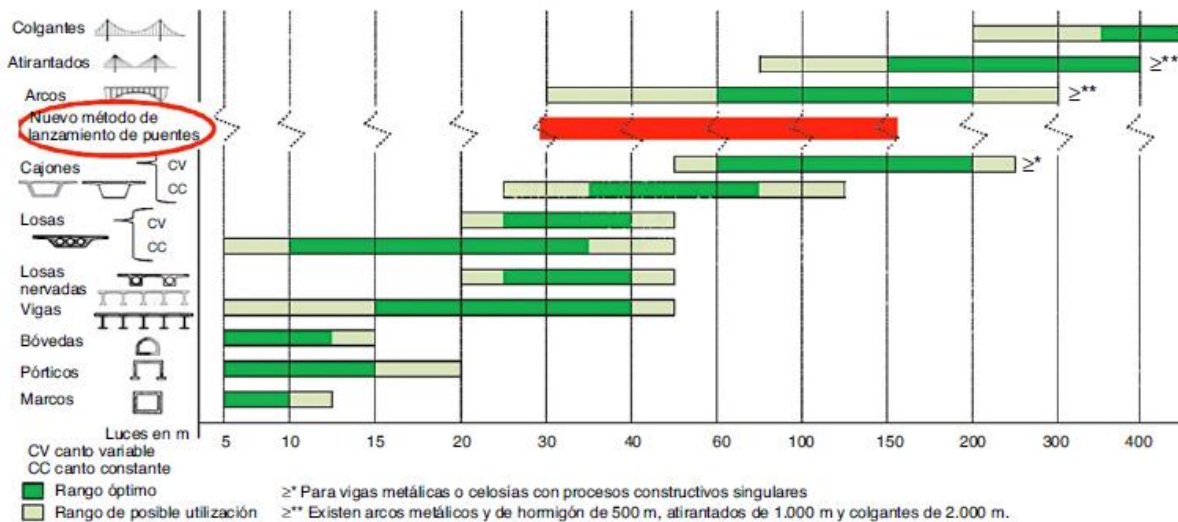


Figura No. 27: Rango de tipologías estructurales en función de la luz.

En base a esto el nuevo sistema de lanzamiento es el de doble cajón colaborante (DCNLBS), donde se espera alcanzar las luces dichas anteriormente (150m), para lograr estas longitudes se necesita una celosía de 12 metros de canto con cordones superiores constituidos por 4 HEB 600. Está claro que cada puente requiere una celosía de momentos negativos específica (Navarro-Mansoa, Alonso-Martínez, Del Coz Díaz, Castro-Fresnoc, & Álvarez-Rabanalba, 2014).

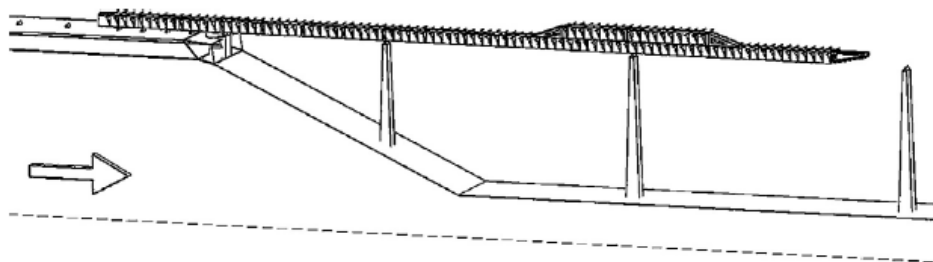


Figura No. 28: Método de lanzamiento de doble cajón

En ciertos países de Suramérica, como países europeos este método ya ha sido utilizado.



Figura No. 29: Puento de Caynarachi, Perú

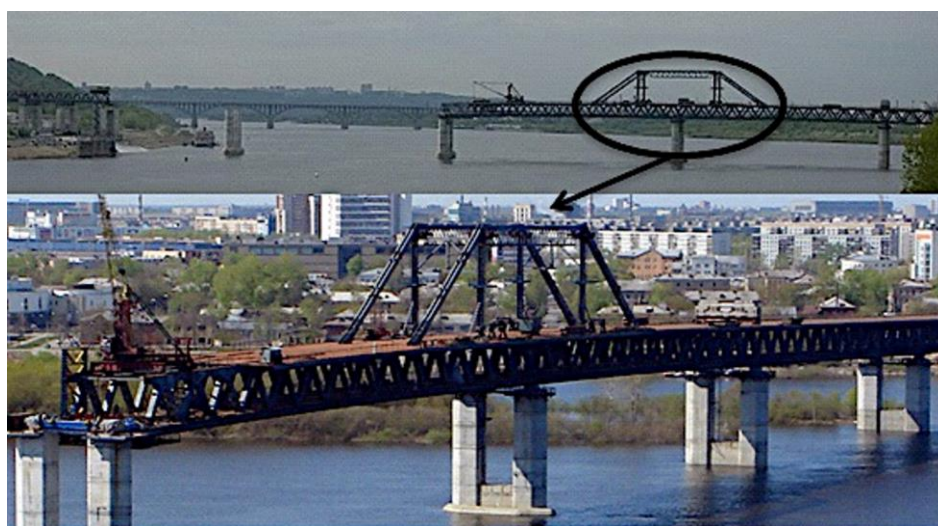


Figura No. 30: Nizhnegorodsky Metro Bridge, Rusia



Figura No. 31: Viaducto de San Roque, Asturias, España



Figura No. 32: Enlace del Cadagua, Bilbao, España

2. Lanzamientos de las vigas de hormigón o metálicas en los últimos puentes construidos en el Ecuador.

2.1. Puente Carrizal, Manabí (2010)



Figura No. 33: Puente Carrizal - Manabí ubicado en la Presa La Esperanza en la vía Quiroga – Pichincha

El puente construido sobre embalse de la Presa la Esperanza tiene una longitud de 249.2 que consta de dos estribos laterales y dos pilas intermedias. En cada tramo

se colocarán 4 vigas metálicas de 75 m de largo y 2.85 de peralte unidas por diafragmas y tensores inferiores. Las pilas intermedias se erigen mediante 9 pilotes prebarrenados de 2,00 m. de diámetro que sustentan tramos de 12 m. de la superestructura de hormigón armado. El método utilizado para el lanzamiento de las vigas metálicas fue el de celosía combinada y punto de flotación (Morales, Saltos, & Andrade, 2010).

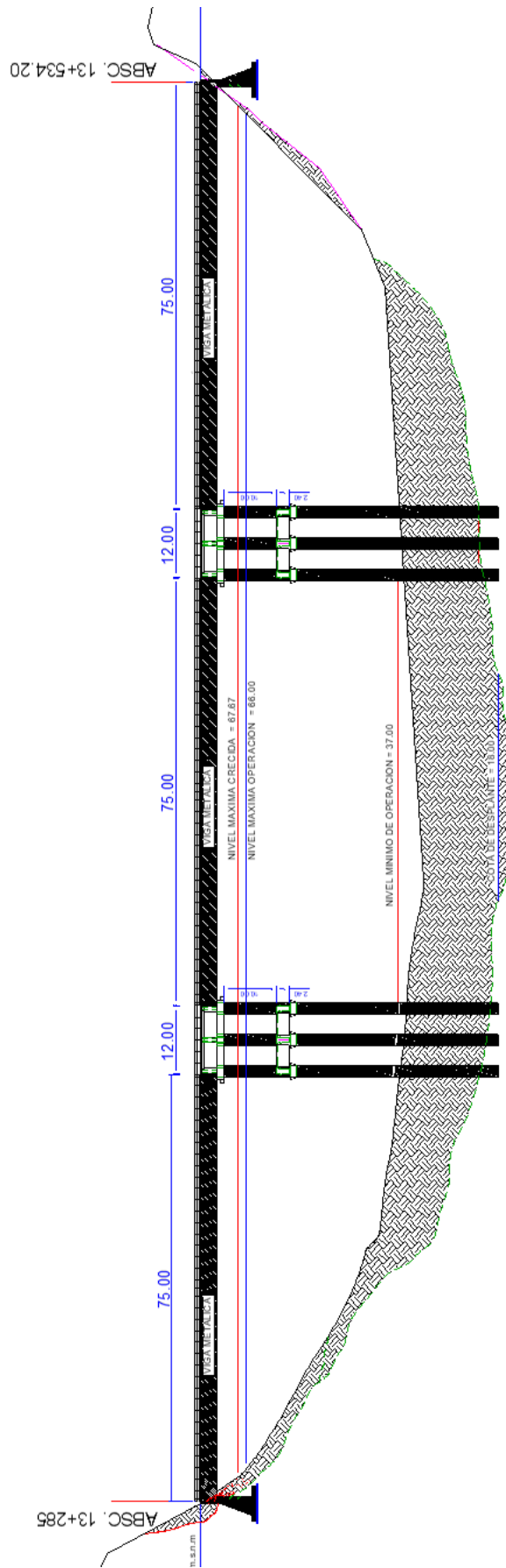


Figura No. 34: Configuración de la superestructura e infraestructura

El proceso preliminar para el lanzamiento de las vigas metálicas comienza con una plataforma de 120 metros de largo y 15 metros de ancho; los primeros 30 metros debe estar perfectamente nivelados y compactados para asegurar estabilidad en el lanzamiento (Figura No. 35). A continuación, el armado de dovelas se realizó colocando las vigas de arriostamiento de montaje una a continuación de otra, para obtener una longitud total de 120 metros y para evitar volcamiento se colocó un contrapeso de 2 t/viga (Figura No. 36). También se montó una celosía de 30 metros de largo y 10 metros de altura para evitar el momento negativo de cantiléver (Figura No. 37).



Figura No. 35: Plataforma de lanzamiento perfectamente nivelada



Figura No. 36: Construcción del par de vigas metálicas mediante unión de dovelas



Figura No. 37: Celosía metálica para evitar el momento negativo de cantiléver

Para descender y colocar las vigas en su posición final se utilizaron extensiones de vigas, las cuales estaban pernadas y podrían resistir el peso de la viga hasta colocar los apoyos provisionales. Una vez en posición utilizaron cilindros hidráulicos para descender y ubicar las vigas metálicas correctamente, este procedimiento se lo realizó simultáneamente en la pila intermedia y el estribo para que no exista problemas de estabilidad en el conjunto (Figura No. 38).

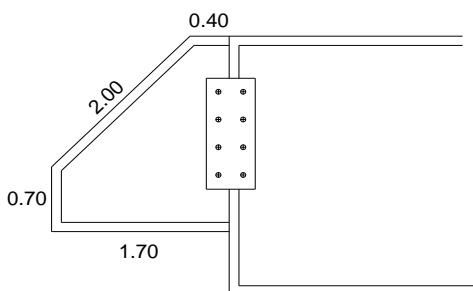


Figura No. 38: Extensión de vigas metálicas unidas con pernos para fácil armado

Por último, en los procesos preliminares se necesitó compactar el suelo para evitar asentamientos, ya que se apoyaron 6 rodillos basculantes de 106 toneladas y 6 rodillos estáticos de 50 toneladas de capacidad (Figura No. 39). También se construyó los anclajes de los winches, uno a 20 metros del estribo para arrastre y el otro a 4 metros del lado posterior para retención, 1 por cada lado.

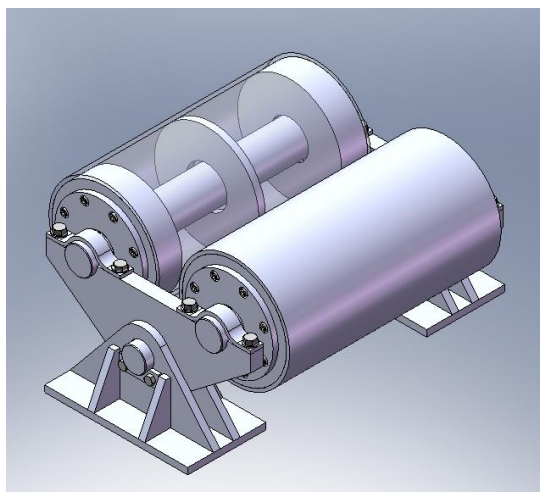


Figura No. 39: Rodillos basculantes utilizados en el lanzamiento

En la fase de lanzamiento se arrastró el par de vigas arriestradas con lo winches ubicados en la pila y a retener con lo winches en la parte posterior de las vigas. También se utilizó una barcaza movible ubicada a 30 metros desde el lado de lanzamiento; esta pila auxiliar tenía que estar en constante medición desde el patín inferior hasta la plataforma de la torre para saber la bancada necesaria a utilizar (Figura No. 40).

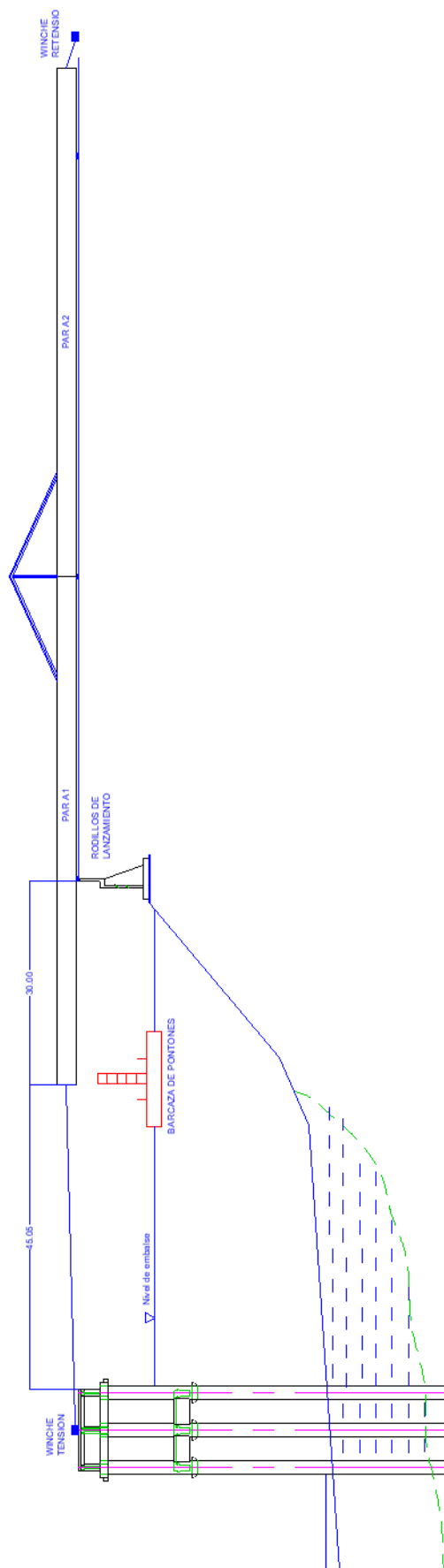


Figura No. 40: Fase de arrastrar y retener las vigas hasta pasar 18.5 metros la pila auxiliar

Cuando viga metálica sobrepasó 18.5 metros adicionales sobre la torre de la barcaza y al estar en contacto con la pila auxiliar se movió el conjunto hasta llegar a la bancada de recibimiento, una vez en el sitio se procede a liberar y retirar la barcaza (Figuras No. 41 y 42).

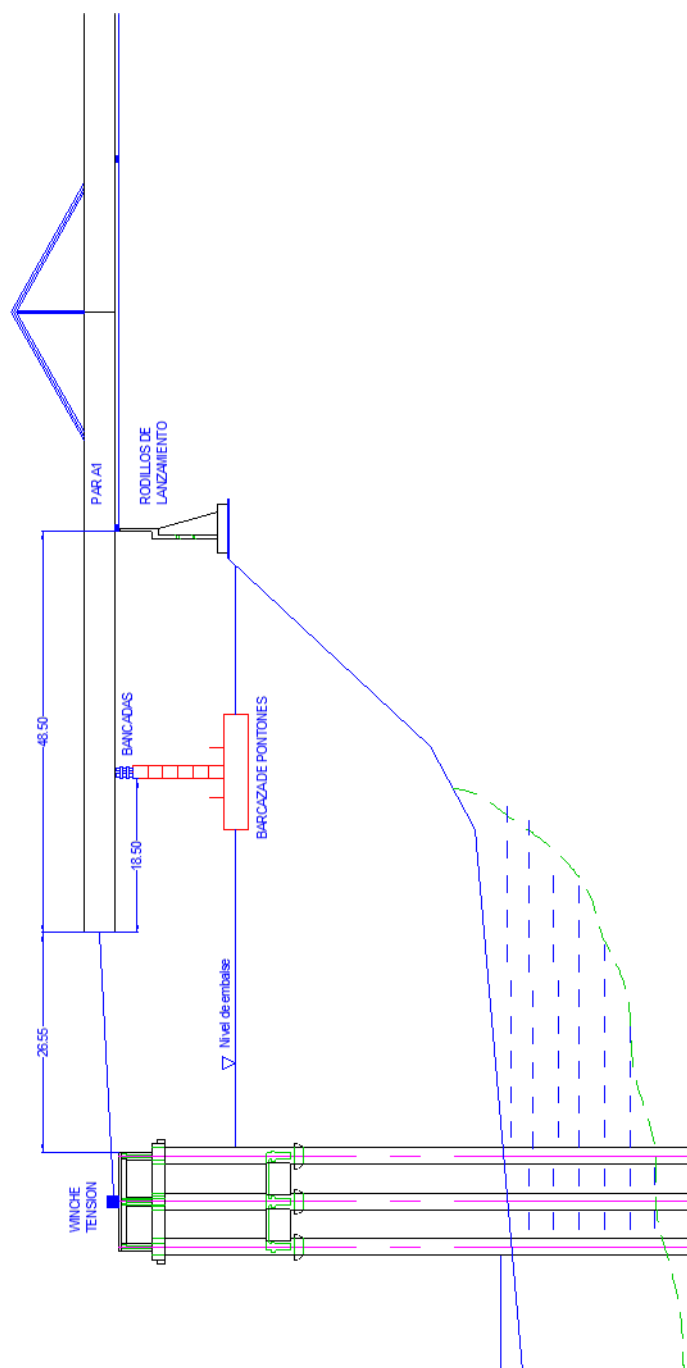


Figura No. 41: Momento para que el conjunto de vigas con la barcaza empiece su movimiento simultaneo

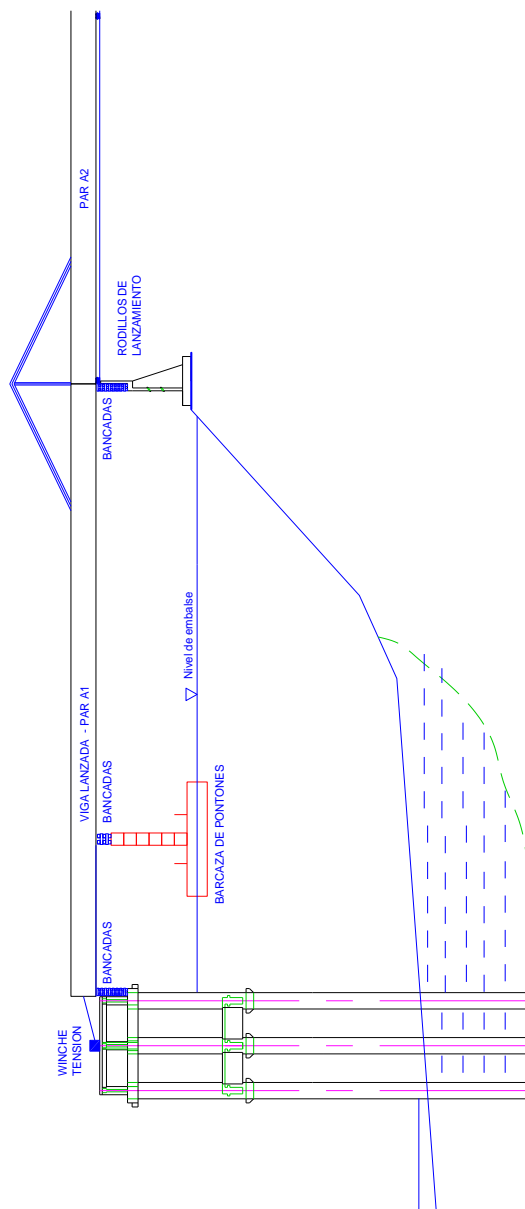


Figura No. 42: Primer par de vigas metálicas llegan a su posición final y pueden ser descendidas
 Se procedió a elevar los extremos del conjunto de vigas mediante cilindros hidráulicos con el objetivo de distensionar la celosía para su posterior retiro (Figura No. 43). Una vez realizado esto se cortó la junta de unión entre los dos pares de vigas y se descendió a su posición final (Figura No. 44).

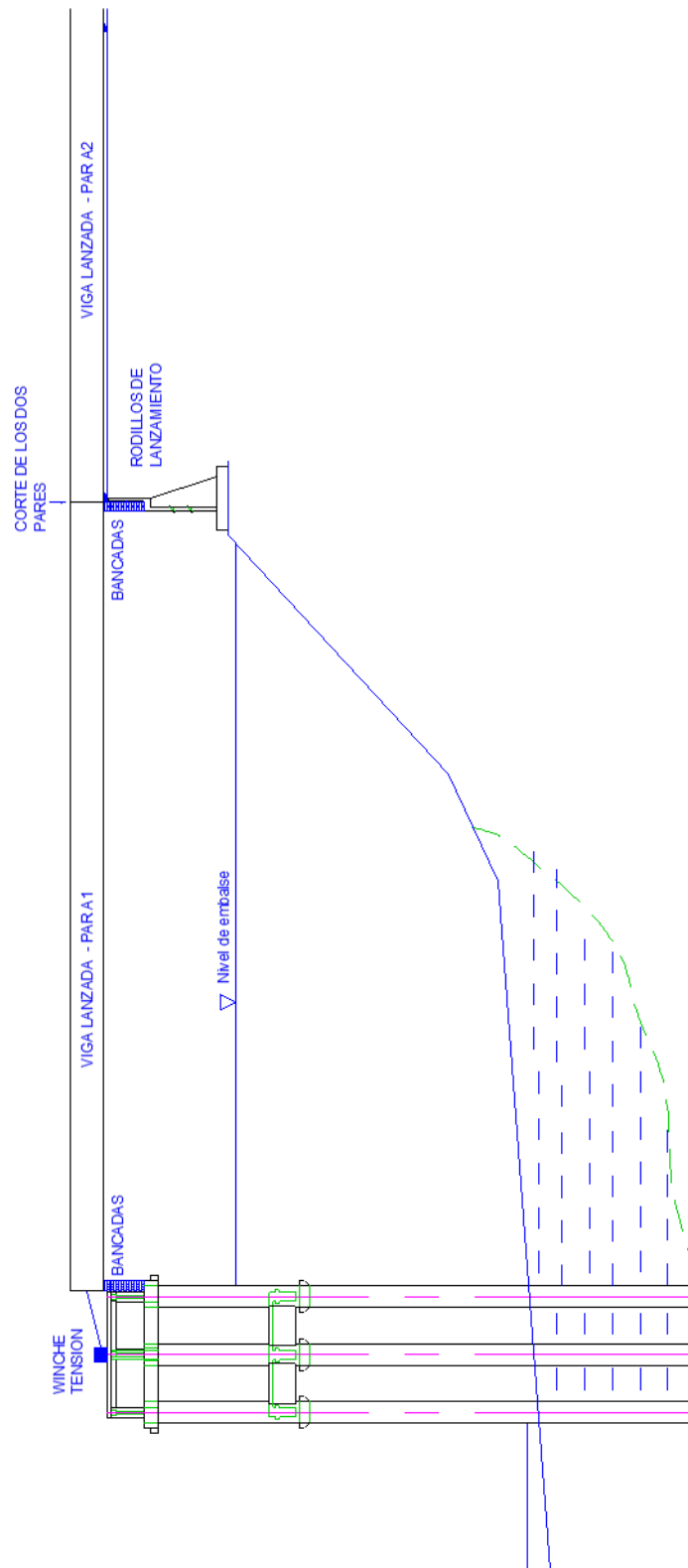


Figura No. 43: Retiro de la celosía metálica para poder distensionar las dos secciones del par de vigas

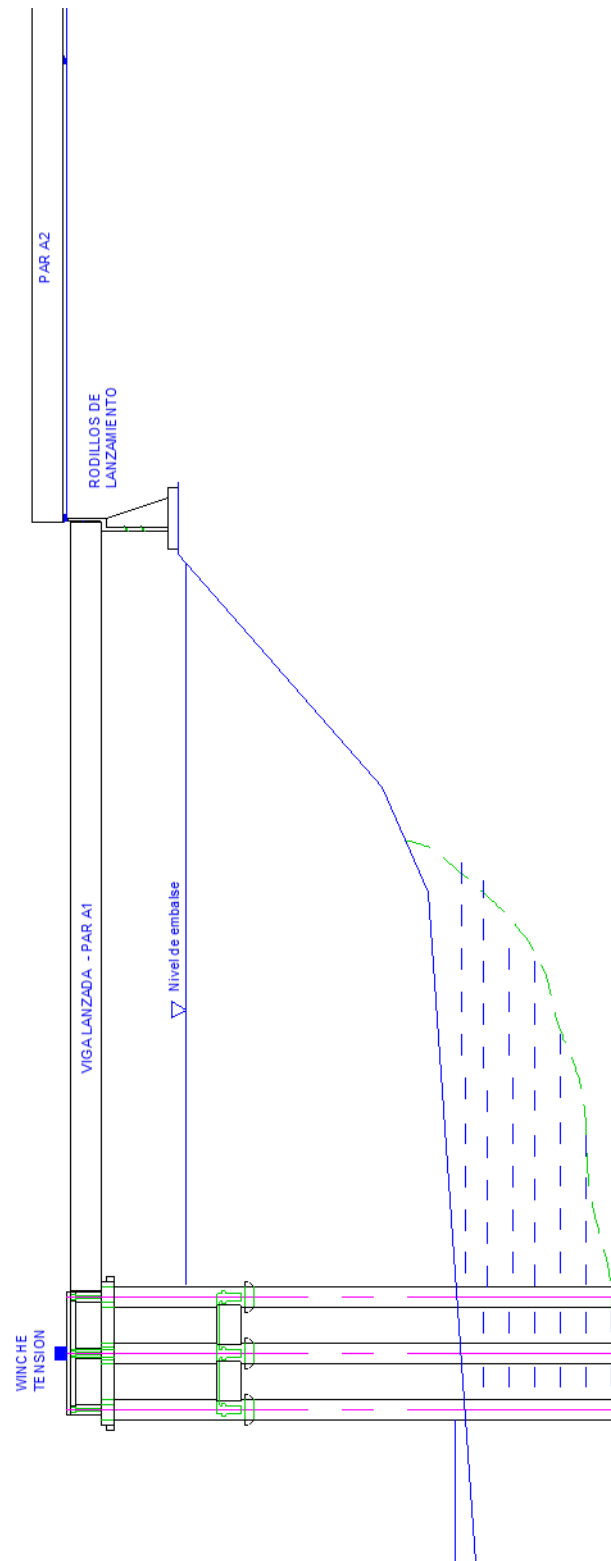


Figura No. 44: Descenso del primer par de vigas metálicas

A continuación, se acoplaron las extensiones de vigas en la mitad siguiente de la viga metálica y se soldaron 2 rodillos basculantes en los extremos de esta viga (Figura No. 45).

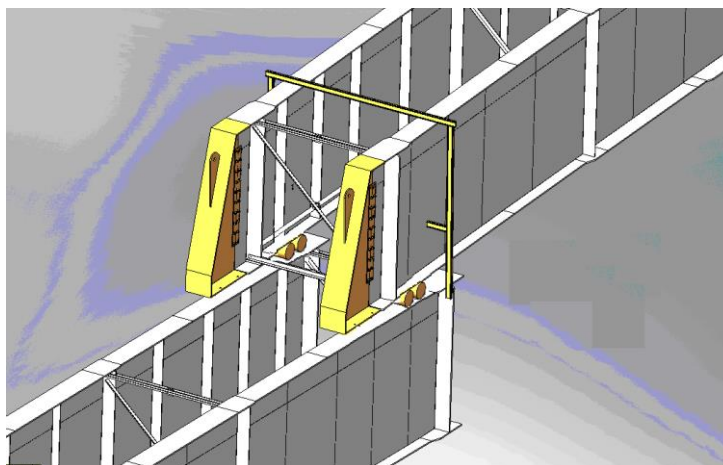


Figura No. 45: Extensiones de vigas y rodillos acoplados al siguiente tramo del par de vigas metálicas

Se realizó el movimiento del segundo par de vigas sobre el primer par mediante operaciones de tensión verificando el movimiento mediante el dispositivo de tope, de tal manera que la viga no tenga desalineación con respecto a su eje. Una vez el segundo par llega a su posición adecuada se desmontó las extensiones y los rodillos se giraron 90 grados para llevar el par de vigas a su posición final y poder descender como el primer par (Figura No. 46).

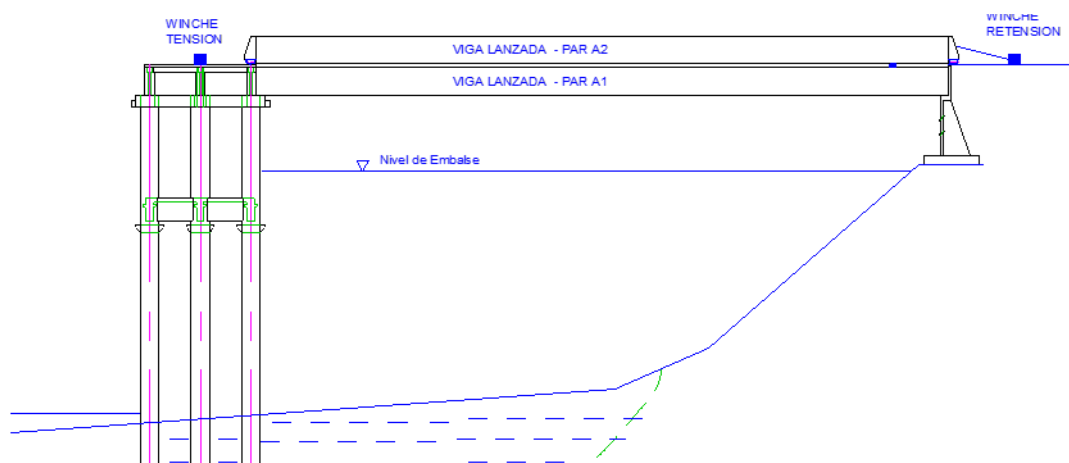


Figura No. 46: Lanzamiento del segundo par de vigas por encima del primer par de vigas metálicas

Para realizar el lanzamiento de los siguientes pares se repite básicamente el procedimiento anteriormente descrito y también se distensionó la segunda sección para poder ubicar ese par en el costado que le corresponde (Figura No. 47).

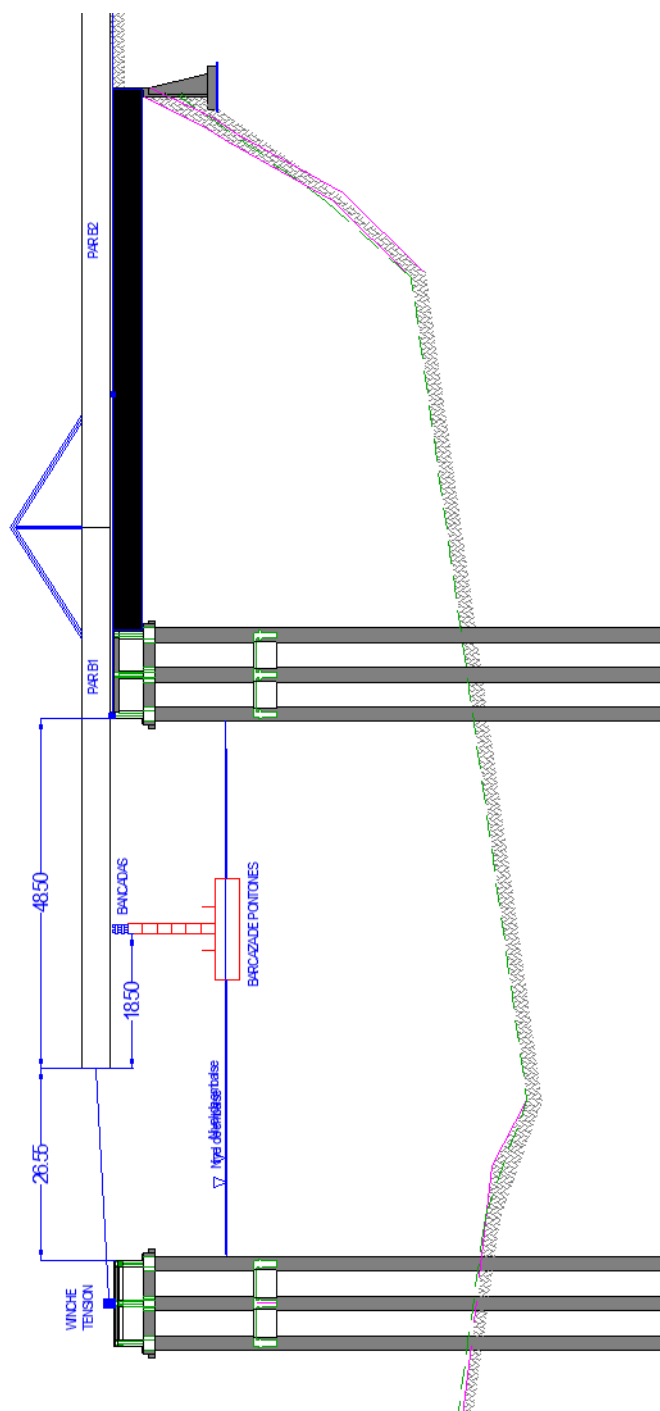


Figura No. 47: Segundo tramo de lanzamiento, basado en el mismo concepto del primer tramo
 Para las últimas vigas del puente se utilizó la barcaza, y se procedió hacer lo mismo que en todas las fases para terminar el lanzamiento de todas las vigas necesarias para terminar la superestructura del puente (Figuras No. 48, 49 y 50).

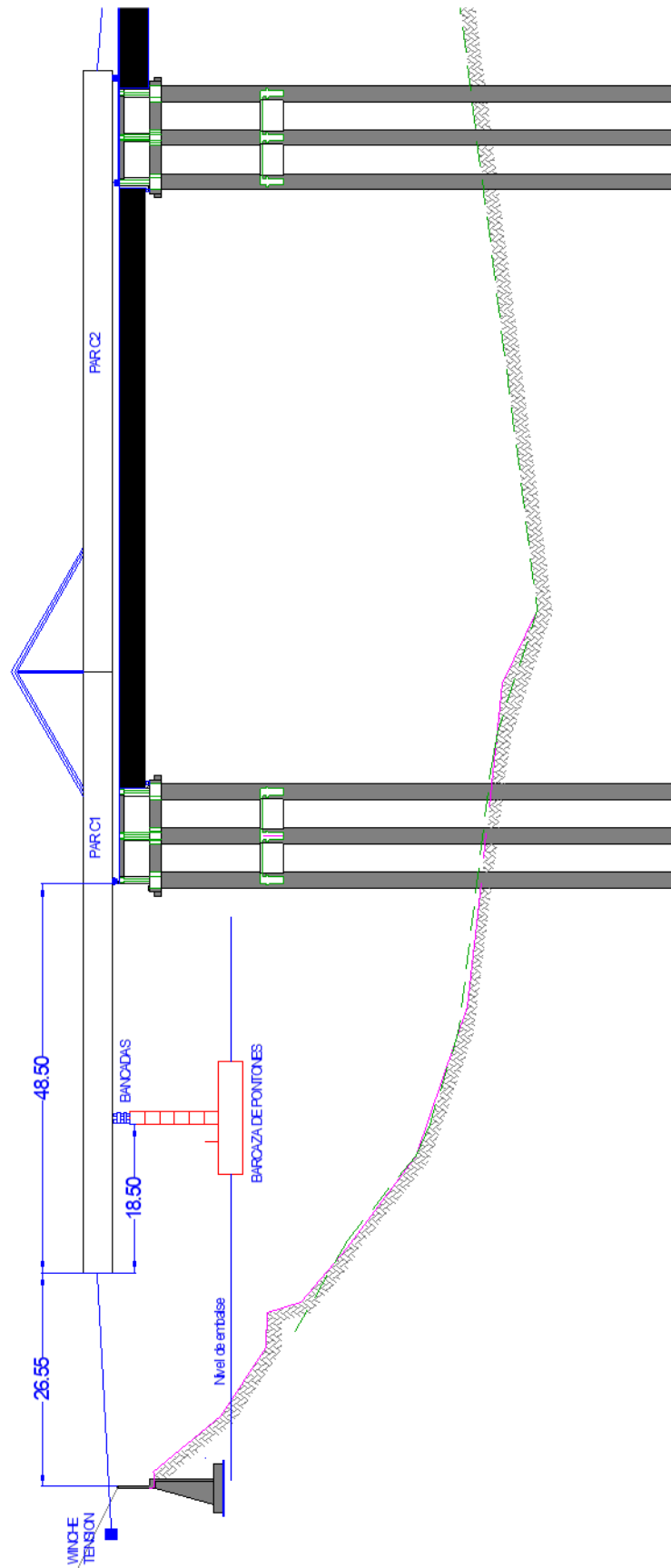


Figura No. 48: Tercer tramo de lanzamiento, el mismo sistema utiliza para los dos anteriores tramos

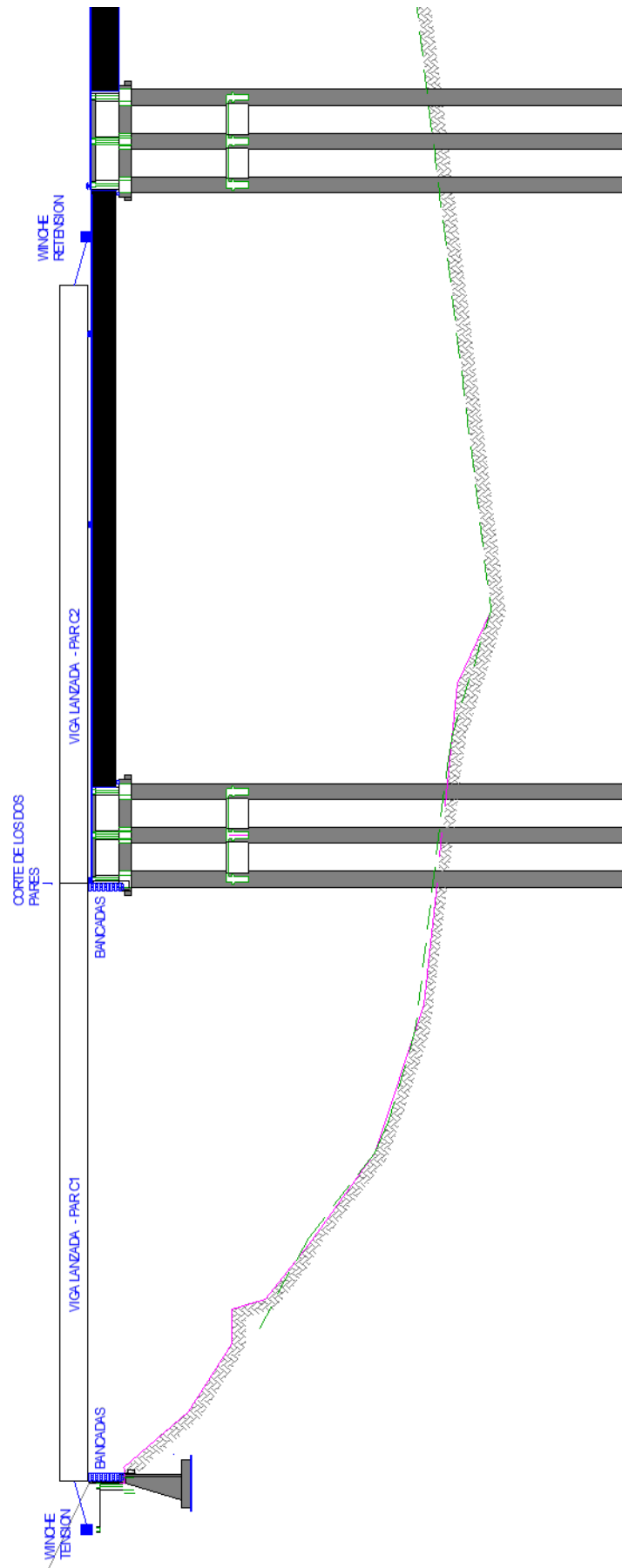


Figura No. 49: Descenso de los últimos pares de vigas metálicas en el tercer tramo

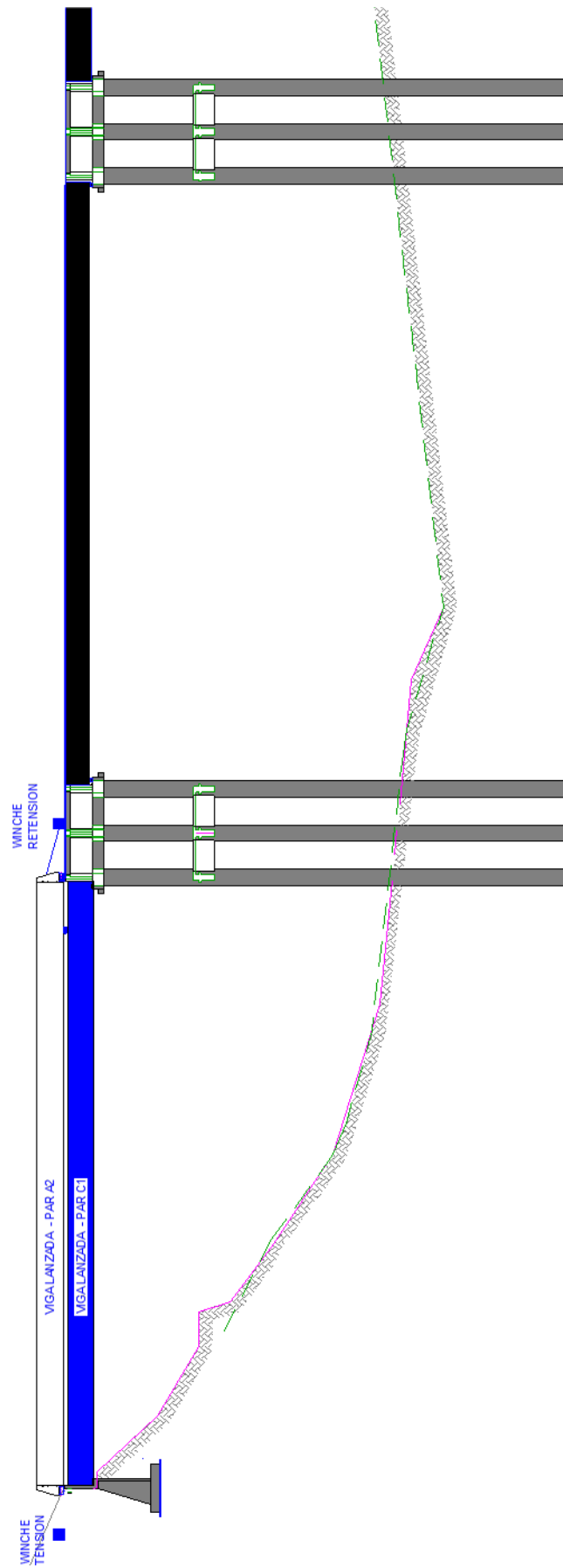


Figura No. 50: Segunda sección del último tramo de vigas listo para descender a su posición final

2.2. Puente Sobre el Río Esmeraldas, Esmeraldas (2012)



Figura No. 51: Lanzamiento de las vigas metálicas sobre el Río Esmeraldas

El Puente Principal del proyecto “Puentes Sobre el Estuario del Río Esmeraldas y Vías de Acceso”, fue construido sobre el brazo principal del Río Esmeraldas, La estructura metálica del puente consiste en 6 vigas continuas de 7 vanos de 62.0 m con sus respectivos diafragmas y arriostramientos. Las vigas son de sección variable, siendo el peralte mayor de 3,60 metros y el menor de 1,80 m (Erazo, 2012).

El transporte de los módulos fue previsto realizarlo desde el Campamento Muelle Tachina, a través de barcazas, pórticos autoportantes, (fabricados exclusivamente para este propósito) y sistemas hidráulicos de elevación y descenso (Erazo, 2012). Es importante considerar las cotas de lanzamiento y llegada de manera que las vigas puedan ser trasladadas y colocadas en su posición final, con una diferencia no mayor de 50 cm, para maniobra de toda la estructura.

El pre-montaje se lo realizó detrás de uno de los estribos por medio de tecles y cuñas de placas de acero, las cuales se ajustaron a las piezas de los siguientes tramos de cada viga metálica; una vez posicionadas las vigas fueron soldadas y arriostradas en

pares, permitiendo formar módulos que se desplacen horizontal y verticalmente (Figura No. 52).



Figura No. 52: Pre-montaje de las vigas de lanzamiento en tierra

El montaje se lo realizó estudiando el comportamiento de las mareas durante 24 horas y 30 días previos al lanzamiento de las primeras unidades, con esta información se pudo determinar día y hora aproximado para la ejecución. Se trató de que el traslado tierra – río, se haga en marea baja y el descenso en estribo y pilas se lo haga en marea alta, esto permitió aprovechar la diferencia de alturas que se producen por este efecto (Figuras No. 53 y 54).

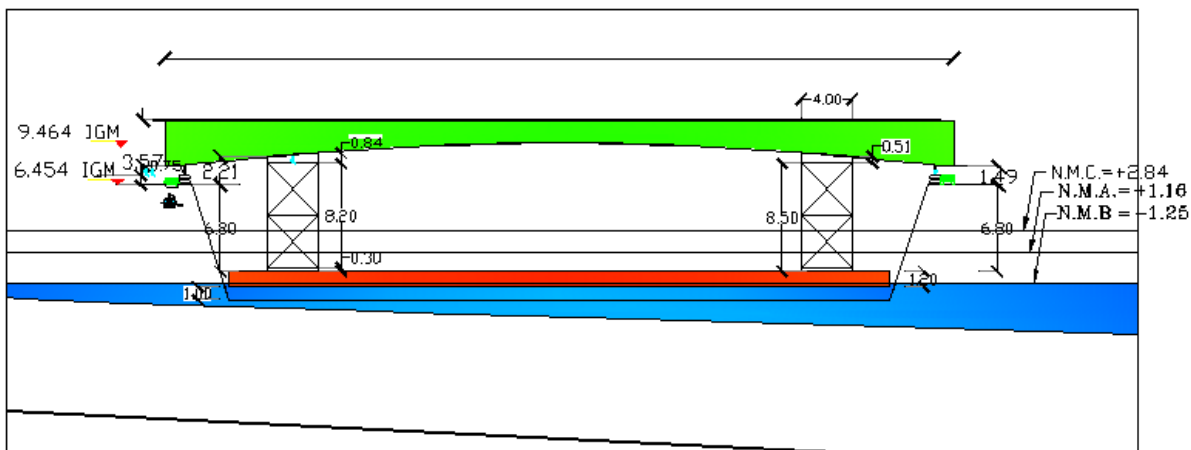


Figura No. 53: Comportamiento de las barcazas en bajamar

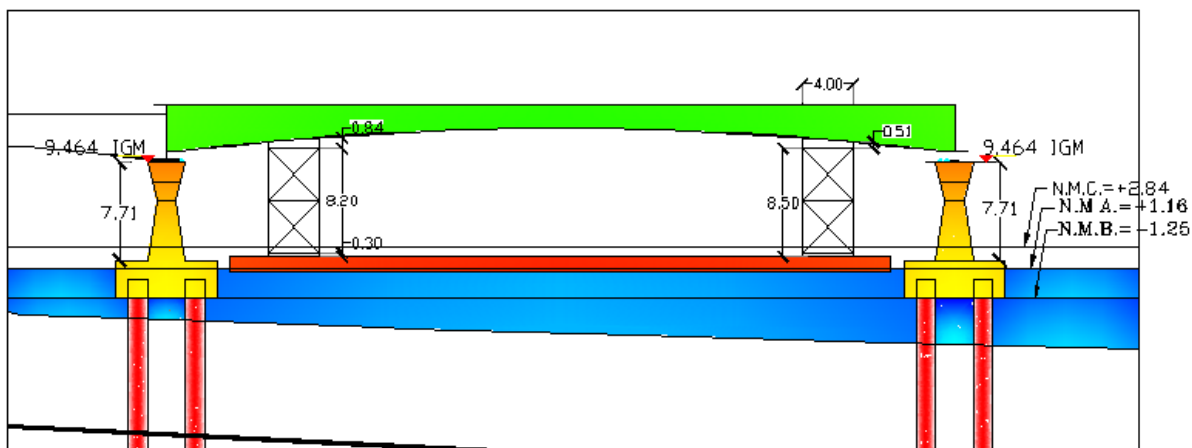


Figura No. 54: Comportamiento de las barcasas en pleamar

El transporte de las vigas a través de las plataformas flotantes requirió un especial cuidado debido al peso que se transportó, aproximadamente 130 toneladas. Estos pórticos estaban coronados con los módulos de apoyo, de tal manera que la sección variable de las vigas se transformó en una superficie horizontal para el mejor aprovechamiento de la barcaza y estabilidad de los módulos de vigas (Figura No. 55).



Figura No. 55: Barcaza y pórticos autoportantes para transporte de vigas metálicas



Figura No. 56: Colocación de las vigas metálicas en los pórticos y barcaza



Figura No. 57: Descenso a la posición final de las vigas metálicas

El conjunto de vigas transportadas en barcazas debió ser perfectamente alineado, tanto transversalmente como longitudinalmente, para este efecto se usó un sistema de cilindros hidráulicos de “tira y empuja” (Figura No. 58), los cuales se anclaron a las zapatas de pila y a través de apoyos en las embarcaciones hasta conseguir la alineación perfecta, tanto longitudinal como transversal; solo después de aquello se pudo iniciar la operación de descenso final.



Figura No. 58: Cilindros hidráulicos para alinear longitudinal y transversalmente las vigas metálicas

2.3. Puente Sobre el Río Chiche, Pichincha (2015)



Figura No. 59: Lanzamiento de los segmentos de hormigón

El puente construido sobre el Río Chiche está formado por dos tableros idénticos y paralelos separados entre sí 2.40 metros, cada tablero tiene 14 metros de ancho. La longitud total del puente es de 330.80 la misma que se halla dividida en tres tramos: dos tramos laterales de 88.40 metros cada uno y uno central de 154 metros; el tablero del puente es una viga cajón de una célula, de sección variable con 8.22 metros

de altura en la cara de las pilas y 3.14 metros en el centro del puente y sobre los estribos (Romo, 2015).

2.4. Puente Sobre el Río Jama, Manabí (2017)



Figura No. 60: Puente sobre el Río Jama

El puente construido sobre el Río Jama de longitud 70 metros y dos carriles de 3.50 metros más 2 sobrecanchos de 1.20 metros; se lo construyó debido a que el viejo puente sobre este Río Jama fue afectado por el terremoto del 16 de abril del 2016.

Para realizar la construcción del puente definitivo, se movió mediante grúas el puente Mabey Johnson 11 metros aguas abajo, luego de darle mantenimiento a la estructura, esto permitió que el tráfico siga fluyendo mientras se construía el nuevo puente (Figura No. 61). Las vigas metálicas se construyeron paralelas al río en un sitio aledaño, porque no se podían construir en una de sus orillas alineadas con su posición final ya que era necesario realizar una excavación profunda para los pilotes pre-barrenados para los estribos. Una vez terminado la construcción de los estribos las vigas metálicas fueron movidas mediante dolly hasta su posición de lanzamiento (Figura No. 62).



Figura No. 61: Movimiento aguas abajo del viejo Puente sobre el Río Jama



Figura No. 62: Movimiento mediante dollies de las vigas metálicas paralelas al Río Jama

Una vez en su posición de lanzamiento se utilizó una grúa y cilindros hidráulicos para ubicar las vigas metálicas sobre los rodillos, al mismo tiempo se construyó dos pilas auxiliares para aplicar la teoría de un tercio de la longitud total en el aire y dos tercios en tierra (Figura No. 63). El lanzamiento de las vigas metálicas se lo hizo mediante un tractor instalado en la orilla opuesta desde el cual se tiraba el conjunto de vigas (Figura No. 63); mientras el desplazamiento longitudinal era controlado en la

parte posterior de las vigas con cables sujetos a la grúa este sistema también servía de contrapeso para las mismas.



Figura No. 63: Lanzamiento de las vigas donde se observa las pilas auxiliares, rodillos, grúa y el tractor para tirar las vigas

2.5. Puente Los Pájaros, Pichincha (2017)



Figura No. 64: Lanzamiento de las vigas metálicas del puente Los Pájaros

El Puente de los Pájaros, ubicado sobre el Rio Monjas, es una obra construida como parte del proyecto de la Prolongación de la Av. Simón Bolívar; específicamente, conecta la ampliación con la Av. Manuel Córdova Galarza. El puente tiene una longitud de 195m y está conformado por dos estructuras con un total de nueve vigas de acero

tipo “I”. La estructura fue diseñada y construida utilizando el procedimiento de lanzamiento incremental, en donde toda la superestructura fue armada detrás de uno de los estribos, para luego ser movilizada longitudinalmente y cruzar el río (ADSTREN, 2017).

El puente está construido con dos estructuras independientes de cuatro y cinco vigas (Figura No. 65); todas las vigas son idénticas y continuas sobre los soportes. Las estructuras se ensamblaron completamente detrás del Pilar B y se movieron hacia adelante para cruzar el valle y el Río Monjas usando el ILM (Figura No. 66). Esta metodología se seleccionó sobre la otra opción que consistía en ensamblar las vigas de dos en dos y colocarlas sobre los soportes con el uso de grúas (Sanchez, Robalino, & Graciano, 2018).

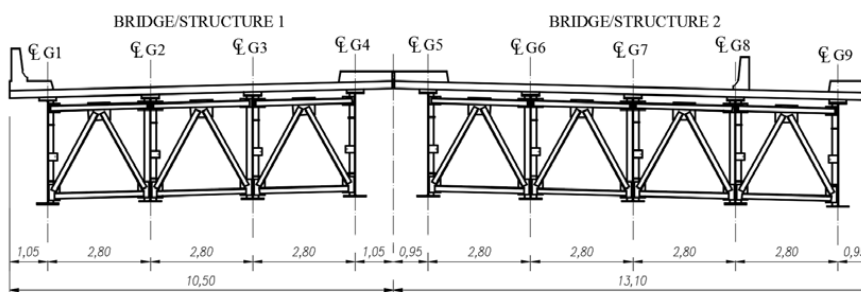


Figura No. 65: Sección transversal de la superestructura



Figura No. 66: Lanzamiento de las 4 vigas utilizando el método incremental

Algunos de los beneficios del lanzamiento incremental son que todas las operaciones se llevan a cabo en suelo firme, no hay necesidad de localizar ningún elemento de construcción en el terreno inclinado, y es significativamente más rápido que el otro método.

El lanzamiento se lo realizó utilizando los gatos Strand que se instalaron en el estribo para tirar de la estructura (Figura No. 67), luego se deslizó sobre los cojinetes pivotantes montados en los estribos y los pilares. Además, una nariz de lanzamiento se instaló en el extremo de la estructura de acero para facilitar las operaciones (Sanchez, Robalino, & Graciano, 2018). Esta nariz permitió que el cantiléver formado mientras se empuja las vigas pueda reducirse en una gran cantidad y así la punta no llega por debajo de los rodamientos ubicados en los pilares, con esto las deflexión y tensión de las vigas se reduce considerablemente.



Figura No. 67: Gatos Strand utilizados para el lanzamiento incremental

El puente fue instrumentado con 20 medidores de tensión conocidos como cables vibrantes. Los cables vibrantes se conectaron a un registrador de datos con múltiples canales que recopilaban las mediciones de deformación durante el lanzamiento (Figura No. 68, 69 y 70).



Figura No. 68: Caja registradora de datos



Figura No. 69: Cables vibrantes TFR, WH, BFR instalados en la sección S1



Figura No. 70: Alambre vibratorio BFR instalado en la sección S1

2.6. Puente Guayaquil – Samborondón, Guayas (2018)

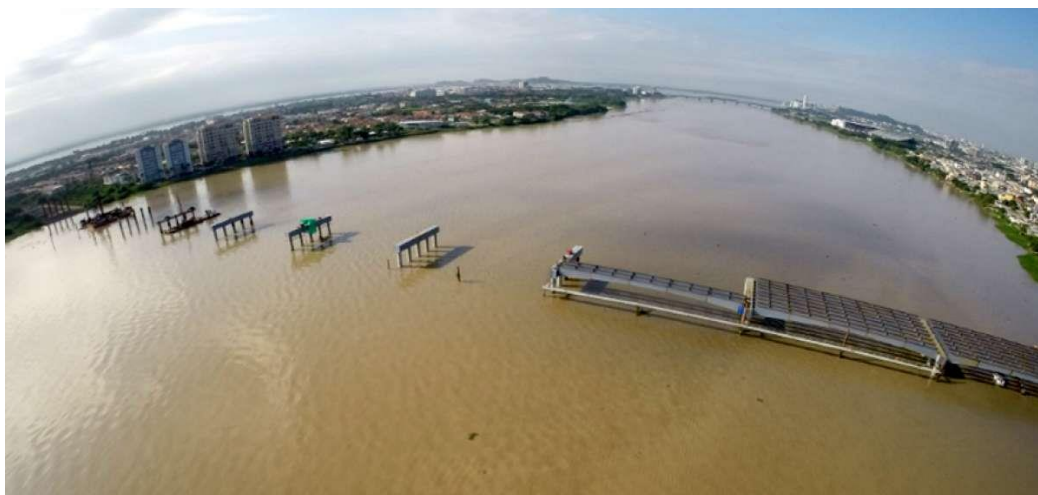


Figura No. 71: Construcción de las vigas metálicas del puente Guayaquil - Samborondón

Solución vial para conectar Guayaquil con Samborondón. Está constituida principalmente por un puente metálico de 780 metros de longitud sobre el Río Daule cimentado sobre pilotes hincados metálicos, el puente tiene una longitud total de 2.3 km. Para las vigas metálicas en tierra se usaron grúas apoyadas en el suelo y para las vigas metálicas sobre el agua se usaron barcazas las cuales tenían grúas encima o también celosías metálicas donde se ubicaron las vigas como se realizó la construcción del puente Sobre el Río Esmeraldas.

3. Análisis de Costo – Beneficio

3.1. Alternativas de lanzamiento

El actual puente sobre el Río San Pedro es de un carril, el cual es insuficiente para el tráfico del sector, por lo que la metodología para construcción y lanzamiento de vigas metálicas debe realizarse interrumpiendo lo menos posible el tráfico vehicular (Figura No. 72). El nuevo puente está ubicado aguas arriba del puente existente, por lo cual la construcción es a un costado de la vía actual (Figura No. 73).



Figura No. 72: Actual puente sobre el Río San Pedro el cual tiene un solo carril de circulación



Figura No. 73: Sitio nivelado y para construir las vigas metálicas

Las alternativas del lanzamiento de las vigas metálicas para el puente sobre el Río San Pedro son las siguientes:

- Lanzamiento por dolly y grúas telescópicas.
- Lanzamiento por dolly y rodillos para movimiento transversal.
- Lanzamiento por dolly y pórtico para el movimiento transversal.

3.1.1. Lanzamiento por dolly y grúas telescópicas

El proceso consiste en las siguientes etapas:

- Etapa 1: Construir las vigas metálicas a un costado de la vía actual un trío detrás del otro (Figura No. 74).
- Etapa 2: Levantar las 3 primeras vigas arriostradas con las grúas telescópicas y ubicarlas en el dolly, para transportar las vigas metálicas a través del puente (Figura No. 75).
- Etapa 3: Tomar con las grúas telescópicas el trío de vigas metálicas para retirar el dolly y mover las vigas metálicas a su posición final aguas arriba del puente existente (Figura No. 76).

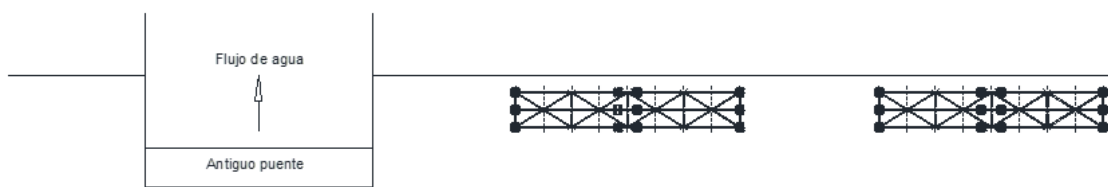


Figura No. 74: Construcción de vigas metálicas a un costado de la vía

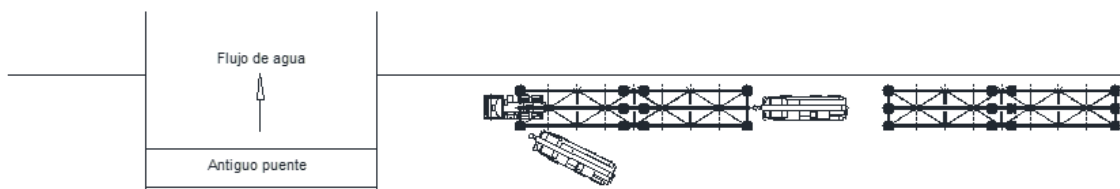


Figura No. 75: Levantamiento de las 3 vigas arriostradas con las grúas telescópicas

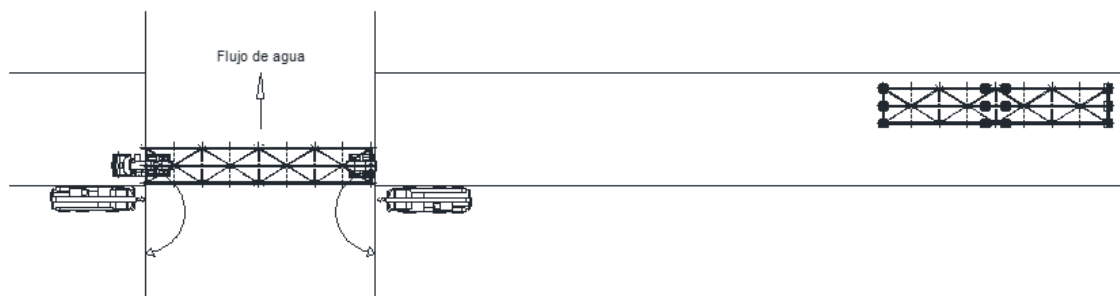


Figura No. 76: Dolly con las vigas metálicas sobre el puente existente

- Etapa 4: Mover las últimas tres vigas cuando estén ubicadas el primer trio de vigas aguas arriba (Figura No. 77).
- Etapa 5: Ubicar el último trio de vigas en el dolly y mover a través del puente existente (Figura No. 78).
- Etapa 6: Utilizar las grúas telescópicas para levantar el trio de vigas, sacar el dolly y ubicar en su posición final aguas arriba (Figura No. 79).

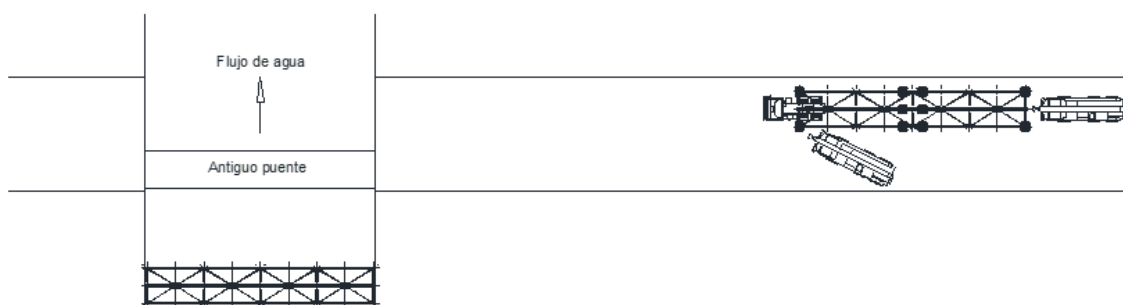


Figura No. 77: Primer trio de vigas metálicas en su posición final aguas arriba

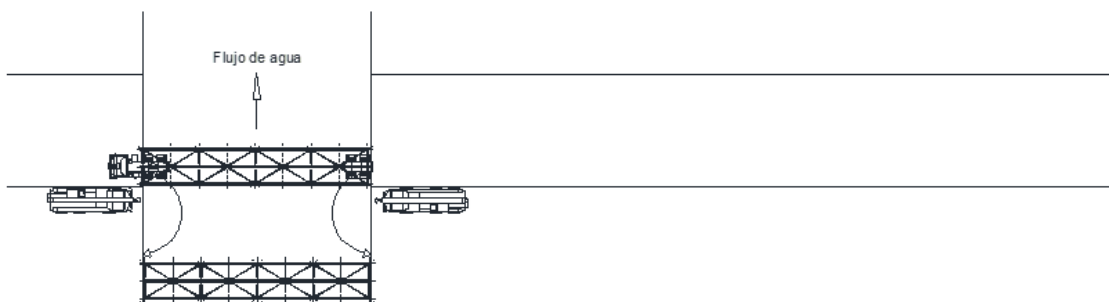


Figura No. 78: Segundo trio de vigas listos para ser lanzado con grúas telescópicas aguas arriba

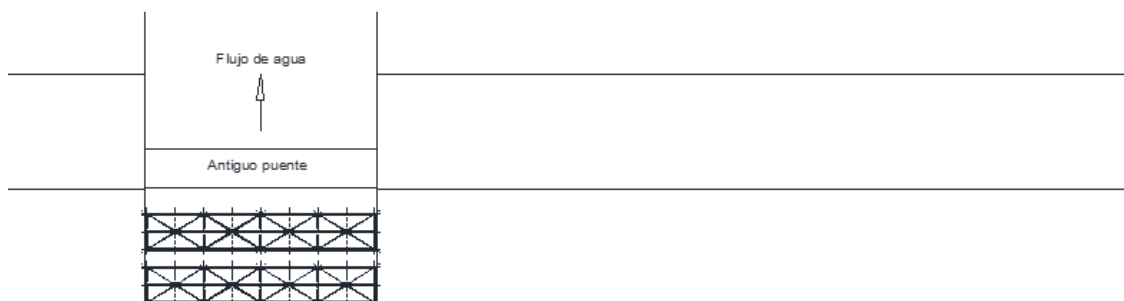


Figura No. 79: Segundo trio de vigas ubicados en su posición final

3.1.2. Lanzamiento por dolly y rodillos para movimiento transversal

El proceso consiste en las siguientes etapas:

- Etapa 1: Igual que el lanzamiento por grúas telescópicas. (Figura No. 74).
- Etapa 2: Descender las 3 primeras vigas metálicas con cilindros hidráulicos y ubicar en el dolly para transportar las vigas metálicas a través del puente existente (Figura No. 81).
- Etapa 3: Ubicar las vigas metálicas en los rodillos transversalmente al eje de la vía (Figura No. 82).

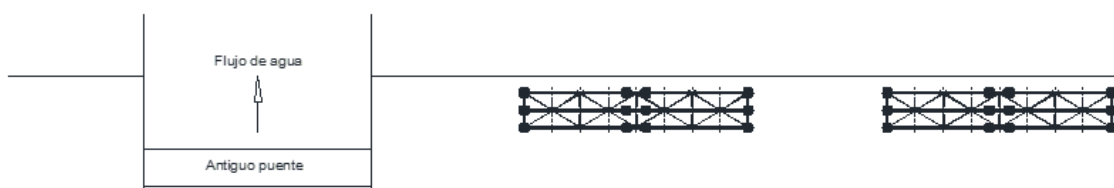


Figura No. 80: Construcción de las vigas embancadas en madera para estar más alto que el dolly

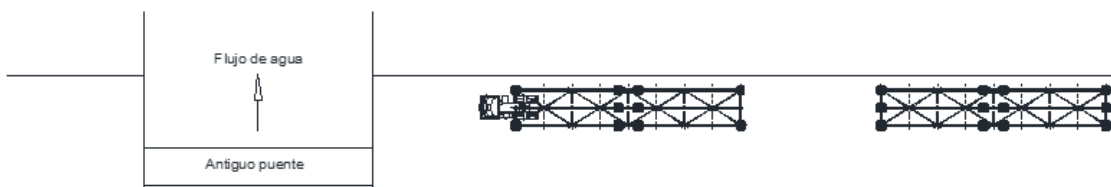


Figura No. 81: Descenso de las primeras 3 vigas en el dolly mediante cilindros hidráulicos

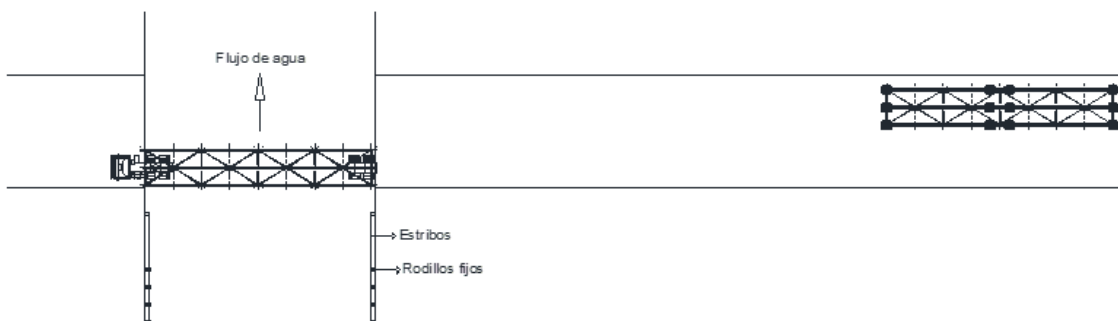


Figura No. 82: Rodillos ubicados transversalmente para mover las vigas a su posición final

- Etapa 4: Mover las vigas transversalmente al eje de la vía mediante rodillos fijos hasta su posición final aguas arriba (Figura No. 83).
- Etapa 5: Descender el segundo trio de vigas metálicas con los cilindros hidráulicos al Dolly y mover a través del puente existente (Figura No. 84).
- Etapa 6: Mover las vigas metálicas transversalmente al eje de la vía, mediante los rodillos fijos hasta su posición final (Figura No. 85).

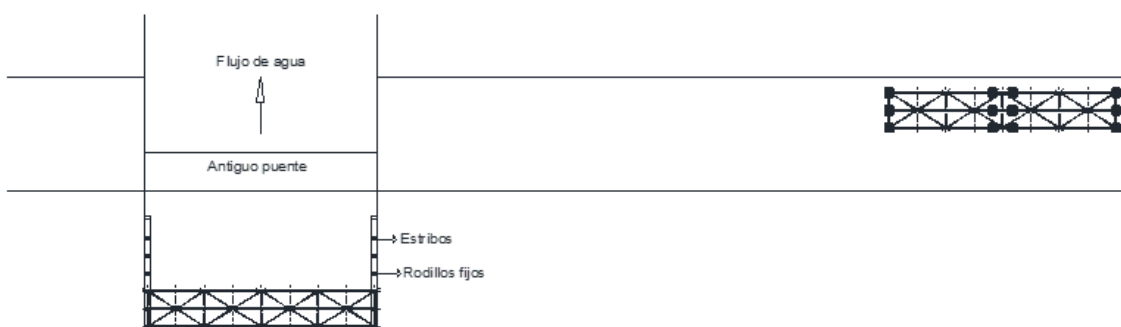


Figura No. 83: Movimiento transversal de las vigas metálicas mediante rodillos fijos



Figura No. 84: Segundo trío de vigas metálicas lista para ser movidas a través del puente

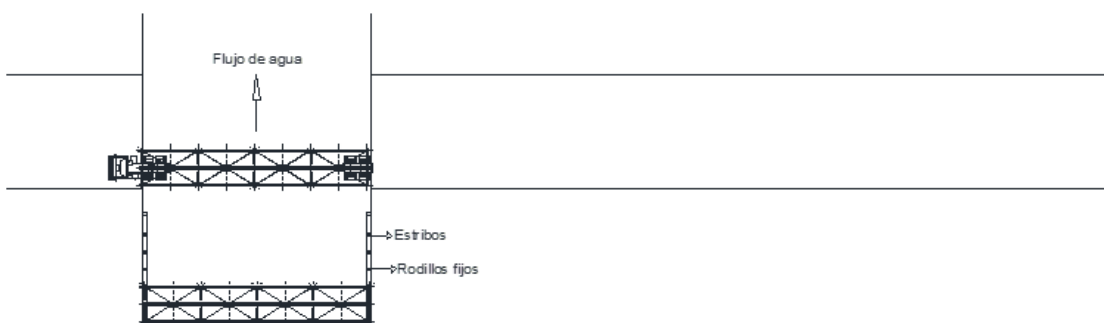


Figura No. 85: Rodillos ubicados transversalmente para mover el segundo trío de vigas aguas arriba



Figura No. 86. Vigas ubicadas aguas arriba del puente existente

3.1.3. Lanzamiento por dolly y pórticos para el movimiento transversal

El proceso consiste en las siguientes etapas:

- Etapa 1: Construcción de las vigas metálicas a un costado de la vía actual. (Figura No. 87).
- Etapa 2: Ubicar el pórtico en la parte delantera y posterior de las vigas para elevar todo el conjunto mediante extensiones de vigas para que el dolly con el camión pueda entrar debajo del par de vigas (Figura No. 88).

- Etapa 3: Transportar las vigas metálicas a través del puente (Figura No. 89).
- Etapa 4: Ubicar los pórticos atrás del estribo para mover el par de vigas transversalmente al eje de la vía mediante el tecele que está soldado en el pórtico (Figura No. 90).
- Etapa 5: Mover el par de vigas dentro del pórtico, se procederá a embancar las vigas para mover el pórtico y seguir con los movimientos hasta llegar a la posición final aguas arriba (Figura No. 91).

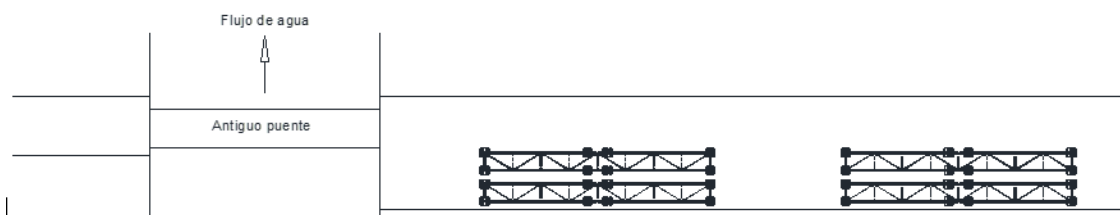


Figura No. 87: Construcción de las vigas metálicas a un costado de la vía existente

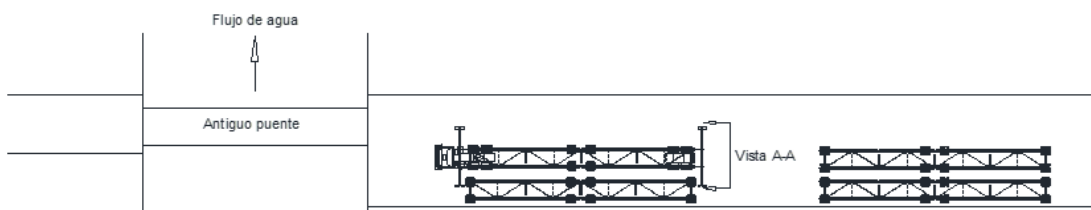


Figura No. 88. Elevación y descenso de las vigas hasta el dolly mediante los pórticos

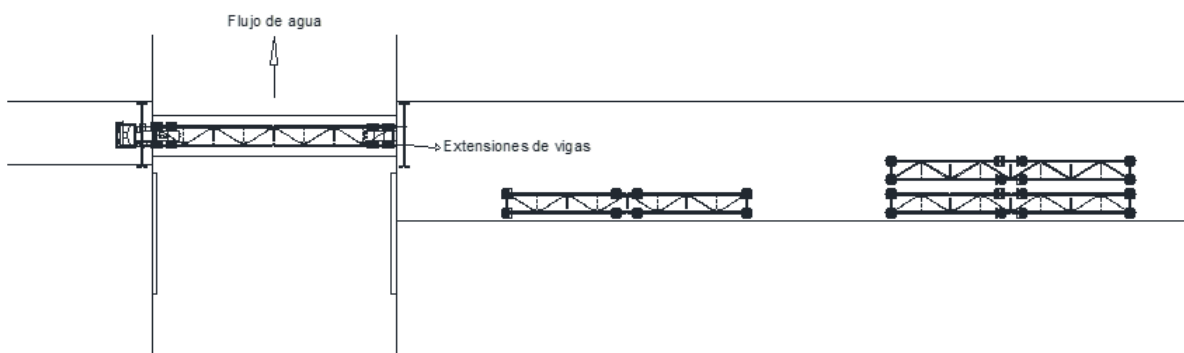


Figura No. 89: Elevación de las vigas para que el dolly quede liberado

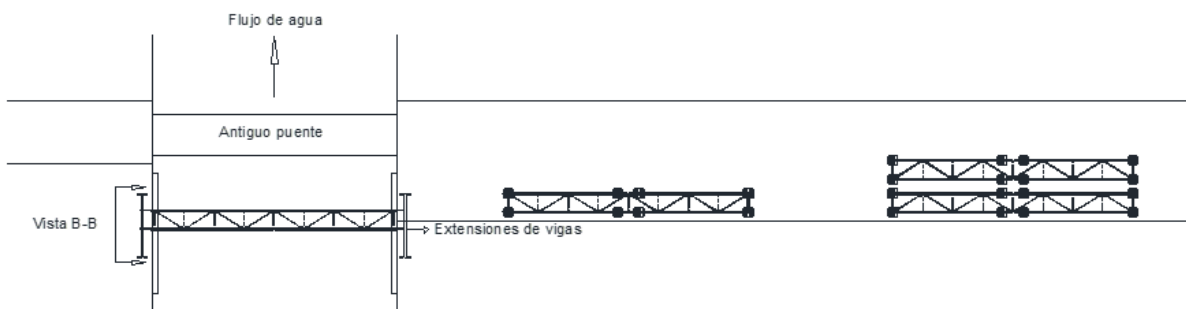


Figura No. 90: Movimiento transversal del primer par de vigas usando los pórticos



Figura No. 91. Movimiento del pórtico conforme se mueven las vigas metálicas y se las embancan

- Etapa 6: Elevar las siguientes dos vigas y descender en el dolly con la ayuda de los pórticos, una vez que el primer par de vigas este en el sitio que le corresponde aguas arriba (Figura No. 92).
- Etapa 7: Elevar el segundo par de vigas con los pórticos mediante las extensiones de vigas hasta moverse transversalmente a su posición aguas arriba (Figura No. 93).
- Etapa 8: Ubicado en la posición final se descenderá las vigas metálicas con los pórticos, y al estar apoyadas se retirarán las extensiones (Figura No. 94).
- Etapa 9: Se debe repetir todo el procedimiento para los dos pares restantes.

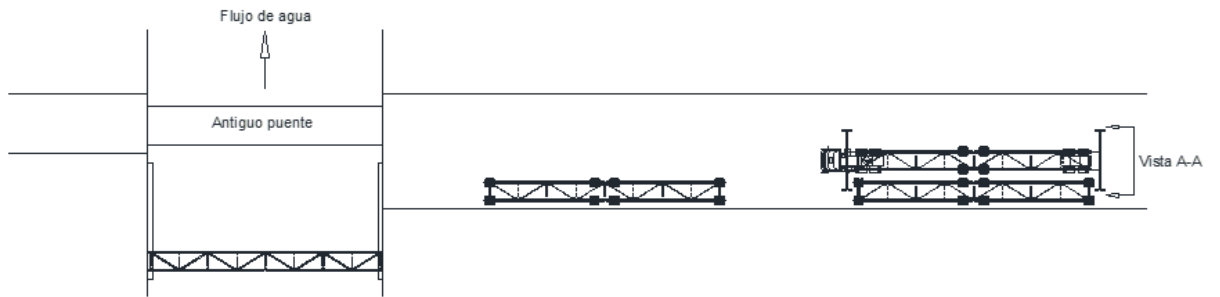


Figura No. 92: Descenso del segundo par de vigas metálicas a al dolly mediante los pórticos

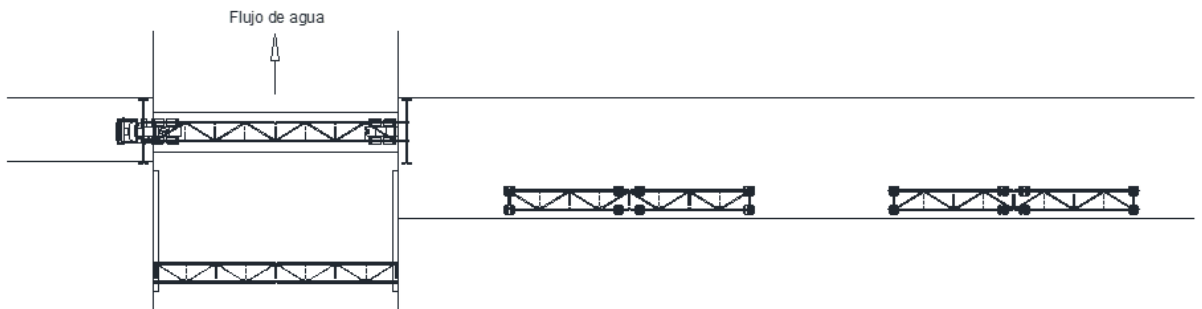


Figura No. 93: Dolly liberado para mover par de vigas transversalmente mediante los pórticos

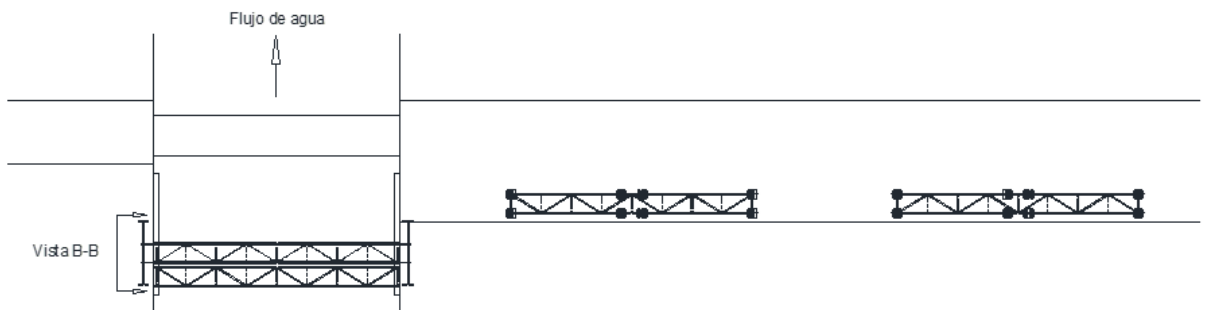


Figura No. 94: Segundo par de vigas metálicas ubicados en su posición final

3.2. Valoración económica de cada una de las alternativas

3.2.1. Lanzamiento por dolly y grúas

Tabla 1. Presupuesto para lanzamiento de vigas con Dolly y grúas

PRESUPUESTO 1 - Movimiento en trio de vigas con grúas					
RUBRO: MONTAJE DE ACERO ESTRUCTURAL (ASTM A-588)				UNIDAD: kg	
EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Grúa telescópica de 50 toneladas	2.00	87.50	175.00	0.00103	0.36
Dollies o cama baja	1.00	62.50	62.50	0.00103	0.13
Excavadora	1.00	35.00	35.00	0.00103	0.07
Equipo de oxicorte	1.00	1.75	1.75	0.00103	0.00
Motosoldadora	1.00	1.75	1.75	0.00103	0.00
Herramienta y equipo menor (5%MO)	1.00	0.004	0.0040	-	0.00
SUBTOTAL					0.56
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Residente de obra	1.00	4.74	4.74	0.00129	0.01
Inspector de obra	1.00	4.73	4.73	0.00129	0.01
Soldador	1.00	4.72	4.72	0.00129	0.01
Ayudante soldador	1.00	4.21	4.21	0.00129	0.01
Operador excavadora	1.00	4.72	4.72	0.00129	0.01
Ayudante	6.00	4.21	25.27	0.00103	0.03
SUBTOTAL					0.08
MATERIALES					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
Bancadas de madera de 15x15x100 cm		U	0.003226	2.50	0.01
Seguridad industrial (Poretección anticadidas, casco, visual, auditiva, manos)		U	0.000290	72.10	0.02
Soldadura electrodo AWS 7018		kg	0.001601	3.00	0.00
Discos de desbaste para acero inox Grinding 7 X 17/64 X7/8		U	0.000484	5.30	0.00
SUBTOTAL					0.03
TRANSPORTE					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
Grúa telescópica de 50 toneladas		Glb	0.000032	800.00	0.03
SUBTOTAL					0.03
COSTO DIRECTO TOTAL					0.70
COSTO INDIRECTO TOTAL (18%)					0.13
COSTO TOTAL					0.83

3.2.2. Lanzamiento por dolly y rodillos para movimiento transversal

Tabla 2. Presupuesto para lanzamiento de vigas con Dolly y rodillos para movimiento transversal

PRESUPUESTO 2 - Movimiento en trio con rodillos fijos					
RUBRO: MONTAJE DE ACERO ESTRUCTURAL (ASTM A-588)				UNIDAD: kg	
EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Rodillos fijos (15 ton de capacidad)	8.00	18.75	150.00	0.00103	0.15
Cilindros hidraulicos (3 ton de capacidad)	6.00	39.38	236.25	0.00103	0.24
Dollies o cama baja	1.00	62.50	62.5	0.00103	0.06
Excavadora	1.00	35.00	35	0.00103	0.04
Equipo de oxicorte	1.00	1.75	1.75	0.00103	0.00
Motosoldadora	1.00	1.75	1.75	0.00103	0.00
Herramienta y equipo menor (5%MO)	1.00	0.004	0.004		0.00
SUBTOTAL					0.49
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Residente de obra	1.00	4.74	4.74	0.00232	0.01
Inspector de obra	1.00	4.73	4.73	0.00232	0.01
Soldador	1.00	4.72	4.72	0.00232	0.01
Ayudante soldador	1.00	4.21	4.21	0.00232	0.01
Operador excavadora	1.00	4.72	4.72	0.00232	0.01
Ayudante	6.00	4.21	25.27	0.00103	0.03
SUBTOTAL					0.08
MATERIALES					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
Acero estructural (ASTM A-536) para montaje		Kg	0.02735	1.60	0.04
Bancadas de madera de 15x15x100 cm		U	0.00323	2.50	0.01
Soldadura electrodo AWS 7018		kg	0.00160	3.00	0.00
Discos de desbaste para acero inox Grinding 7 X 17/64 X7/8		U	0.00048	5.30	0.00
Seguridad industrial (Poretección anticadidas, casco, visual, auditiva, manos)		U	0.00029	72.10	0.02
SUBTOTAL					0.07
TRANSPORTE					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
Transporte de rodillos fijos y cilindros hidraulicos		Glb	0.00003	250	0.01
SUBTOTAL					0.01
COSTO DIRECTO TOTAL					0.65
COSTO INDIRECTO TOTAL (18%)					0.12
COSTO TOTAL					0.77

3.2.3. Lanzamiento por dolly y pórticos para el movimiento transversal (Trio de vigas)

Tabla 3. Presupuesto para lanzamiento de trio de vigas con Dolly y pórticos para el movimiento transversal

PRESUPUESTO 3 - Movimiento en trio de vigas con pórtico					
RUBRO: MONTAJE DE ACERO ESTRUCTURAL (ASTM A-588)				UNIDAD: kg	
EQUIPO					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Dollies o cama baja	1.00	62.50	62.50	0.00103	0.06
Excavadora	1.00	35.00	35.00	0.00103	0.04
Tecla de cadena marca truper capacidad 5 ton	4.00	42.50	170.00	0.00103	0.18
Tecla de cadena marca truper capacidad 1 ton	2.00	16.25	32.50	0.00103	0.03
Herramienta y equipo menor (5%MO)	1.00	0.0030	0.00300	-	0.00
SUBTOTAL					0.31
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
Residente de obra	1.00	4.74	4.74	0.00155	0.01
Inspector de obra	1.00	4.73	4.73	0.00155	0.01
Operador excavadora	1.00	4.72	4.72	0.00155	0.01
Ayudante	6.00	4.21	25.27	0.00103	0.03
SUBTOTAL					0.06
MATERIALES					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO
Pórtico para montaje		Kg	0.07389	1.89	0.14
Bancadas de madera de 15x15x100 cm		U	0.00323	2.50	0.01
Materiales varios		U	0.00032	5.30	0.00
Seguridad industrial (Poretección anticadas, casco, visual, auditiva, manos)		U	0.00029	72.10	0.02
SUBTOTAL					0.17
TRANSPORTE					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
Acero estructural (ASTM A-536) para montaje		Glb	0.00003	500.00	0.02
SUBTOTAL					0.02
COSTO DIRECTO TOTAL					0.56
COSTO INDIRECTO TOTAL (18%)					0.1
COSTO TOTAL					0.66

3.2.4. Lanzamiento por dolly y pórticos para el movimiento transversal (Par de vigas)

Tabla 4. Presupuesto para lanzamiento de par de vigas con Dolly y pórticos para el movimiento transversal

PRESUPUESTO 4 - Movimiento en par de vigas con pórtico						
RUBRO: MONTAJE DE ACERO ESTRUCTURAL (ASTM A-588)					UNIDAD: kg	
EQUIPO						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Dollies o cama baja	1.00	62.50	62.50	0.00103	0.06	
Excavadora	1.00	35.00	35.00	0.00129	0.05	
Tecla de cadena marca truper capacidad 5 ton	4.00	42.50	170.00	0.00129	0.22	
Tecla de cadena marca truper capacidad 1 ton	2.00	16.25	32.50	0.00129	0.04	
Herramienta y equipo menor (5%MO)	1.00	0.0025	0.00250	-	0.00	
					SUBTOTAL	0.37
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Residente de obra	1.00	4.74	4.74	0.00206	0.01	
Inspector de obra	1.00	4.73	4.73	0.00206	0.01	
Operador excavadora	1.00	4.72	4.72	0.00206	0.01	
Ayudante	4.00	4.21	16.85	0.00129	0.02	
					SUBTOTAL	0.05
MATERIALES						
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
Pórtico para montaje		Kg	0.07389	1.89	0.14	
Bancadas de madera de 15x15x100 cm		U	0.00323	2.50	0.01	
Materiales varios		U	0.00032	5.30	0.00	
Seguridad industrial (Poretección anticadidas, casco, visual, auditiva, manos)		U	0.00023	72.10	0.02	
					SUBTOTAL	0.17
TRANSPORTE						
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
Pórtico para montaje		Glb	0.00003	500.00	0.02	
					SUBTOTAL	0.02
					COSTO DIRECTO TOTAL	0.61
					COSTO INDIRECTO TOTAL (18%)	0.11
					COSTO TOTAL	0.72

Tabla 5. Presupuesto para suministro, montaje y fabricación del pórtico

Montaje, fabricación y ensamblaje pórtico						
RUBRO: MONTAJE, FABRICACIÓN Y ENSAMBLAJE DE PÓRTICO					UNIDAD: kg	
EQUIPO						
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Equipo de oxicorte	1.00	1.75	1.75	0.02794	0.05	
Motosoldadora	1.00	1.75	1.75	0.02794	0.05	
Herramienta y equipo menor (5%MO)	1.00	0.02	0.01850	-	0.02	
					SUBTOTAL	0.12
MANO DE OBRA						
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL/HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO	
Soldador	1.00	4.72	4.72	0.02794	0.13	
Ayudante soldador	2.00	4.21	8.42	0.02794	0.24	
					SUBTOTAL	0.37
MATERIALES						
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	COSTO	
Acero estructural (ASTM A-536)		Kg	1.00000	1.10	1.10	
Cable de alma de acero 3/16 pulg		ml	0.00873	2.58	0.02	
Soldadura electrodo AWS 7018		kg	0.025000	3.00	0.08	
Discos de desbaste para acero inox Grinding 7 X 17/64 X7/8		U	0.006548	5.30	0.03	
					SUBTOTAL	1.23
TRANSPORTE						
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	TARIFA	COSTO	
Acero estructural (ASTM A-536) para montaje		Glb	0.00044	400.00	0.17	
					SUBTOTAL	0.17
					COSTO DIRECTO TOTAL	1.89
					COSTO INDIRECTO TOTAL (18%)	0.34
					COSTO TOTAL	2.23

3.3. Selección del método más eficiente

Una vez realizado la valoración económica de cada propuesta de lanzamiento, se observa que el lanzamiento por dolly y pórticos para el movimiento transversal en trío de vigas metálicas es el mejor por relación costo-beneficio (Tabla 3). Pero al tener movimientos transversales pequeños y un espacio angosto a través del anterior puente, el movimiento se lo hará en pares de vigas. Otra de las bondades claras de este método a utilizar es que el pórtico no se alquila y se puede ser utilizado en otros lanzamientos de vigas metálicas, convirtiéndose en una alternativa para beneficio de la empresa.

4. Diseño del pórtico y extensión de viga

4.1. Criterios de diseño del pórtico y extensión de viga:

- Soportar su peso propio.
- Soportar las cargas vivas aplicadas debido a las vigas del puente.
- Cumplir con una carga aplicada lateralmente debido a cualquier golpe de máquina en la estructura.
- Cumplir con los requerimientos de diseño por LFRD de cortante, flexión y compresión del AISC 306-16.
- Cumplir el requerimiento de estados combinados del AISC 360-16 en cada uno de los elementos del pórtico.
- Realizar lo más económico posible ambas estructuras.
- Limitar toda deflexión al 2%.

4.2. Cargas aplicadas a las estructuras:

El pre-dimensionamiento del pórtico se realiza para soportar dos vigas del puente simultáneamente. Se conoce que el conjunto de 6 vigas pesa 31.374 kilogramos entre vigas y arriostramientos, concluyendo que el peso a levantar con los dos pórticos es de 11 toneladas, es decir cada pórtico levanta aproximadamente 6 toneladas los cuales

serán elevados con dos tecles de 5 tonf cada uno, por lo que se tiene dos cargas puntuales de 3 toneladas en la viga. Para encontrar la carga lateral sobre la viga se utiliza las fórmulas de resistencia al rodamiento. Se encuentra que la fuerza lateral para romper la inercia de 8 rodamientos de diámetro de 10 cm es de 0.0012 toneladas.

$$C_{rr} = \frac{\mu_r}{R}$$

Donde: C_{rr} = Coeficiente de rozamiento.

μ_r = Depende de la naturaleza de los cuerpos en contacto.

R = Es el radio de la rueda

Por lo tanto, la rueda a utilizar tiene un diámetro de 10 cm y un coeficiente μ_r de 0.1 mm considerando la fricción entre bolas en acero sobre acero de.

$$C_{rr} = \frac{0.0001}{0.05} = 0.002$$

$$F = C_{rr} * N$$

Donde: N = Es la reacción normal

$$F = 0.002 * 1 = 0.002 \text{ ton}$$

Al ser 8 rodamientos la fuerza se multiplica por 8.

$$F = 0.002 * 8$$

$$F = 0.016 \text{ ton}$$

Ante cualquier posible impacto de una máquina se va a ubicar una carga lateral de 1.5 toneladas apartes del esfuerzo de rozamiento.

Una vez encontrado las cargas puntuales y laterales se aplican en un modelo matemático que considera la distribución de masa y rigidez del pórtico construido con el software SAP2000 (Figura No. 95).

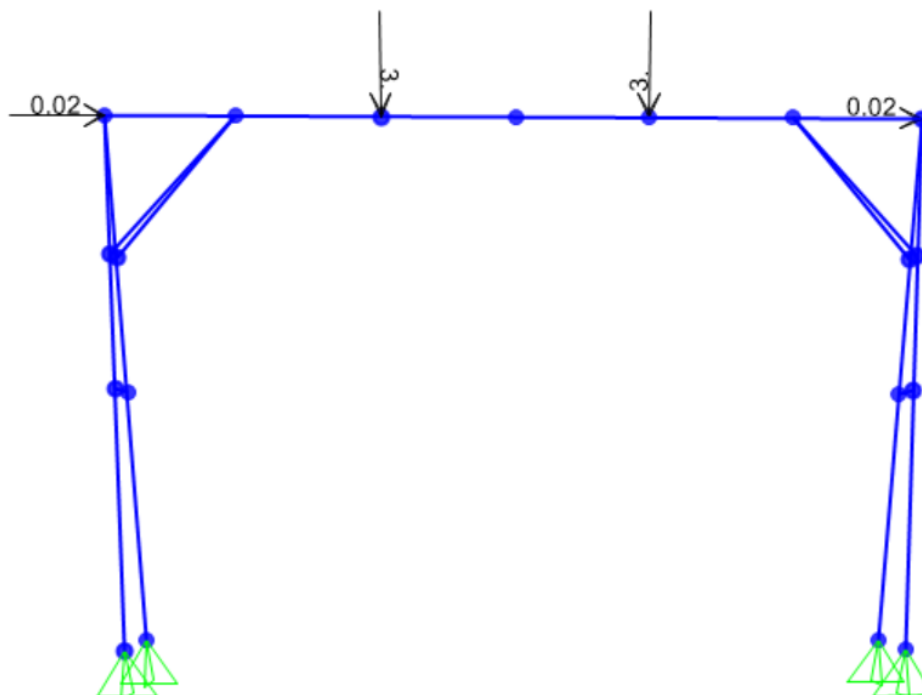


Figura No. 95. Cargas aplicadas en toneladas

El pre-dimensionamiento de las extensiones se realiza para soportar la carga de cada viga del puente, se sabe que el par de vigas pesa 11 toneladas y dividiendo para 4 extensiones da una carga de 2.75 toneladas (Figura No. 96).

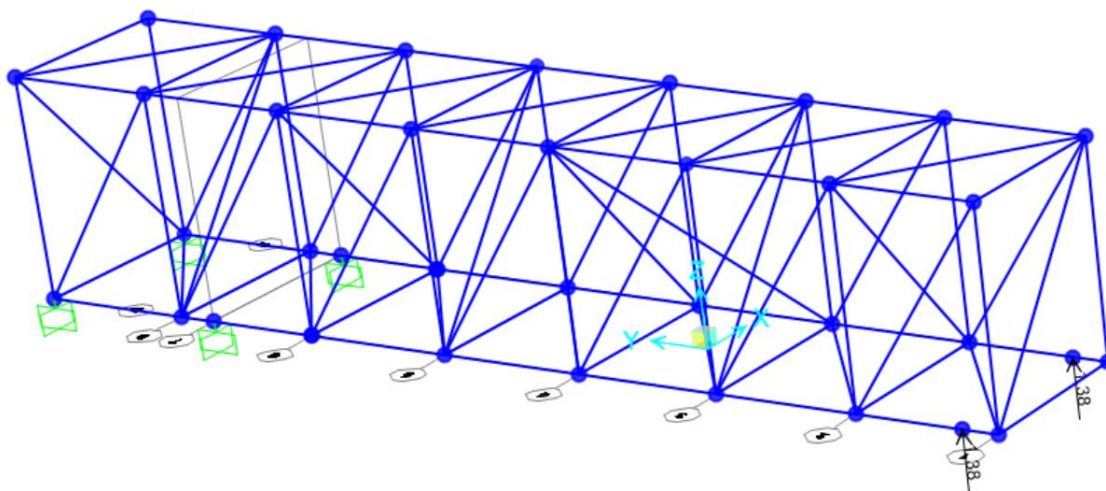


Figura No. 96. Cargas aplicadas en las extensiones de viga en toneladas

4.3. Pre - dimensionamiento del pórtico

El criterio para el prediseño y selección de elementos a utilizar se basa en lo dicho anteriormente, por lo cual se tiene lo siguiente:

- Viga IPE240.
- Columnas estructurales 150x150x4 mm.
- Ángulos estructurales de 75x75x4 mm.

De los resultados obtenidos del diseño estructural en SAP2000 se obtiene que la viga IPE240, tiene una esbeltez mayor a 200, lo cual no cumple con los criterios de elementos a compresión del AISC E2 y segundo la viga esta sobre esforzada a flexión (Anexos No.1 y 2). Lo cual da como resultado una deflexión en el centro de la viga IPE240 de 2.99 cm y un desplazamiento lateral de las columnas de 1.21 cm (Figuras No. 98 y 99).



Figura No. 97. Secciones por utilizar en el pórtico

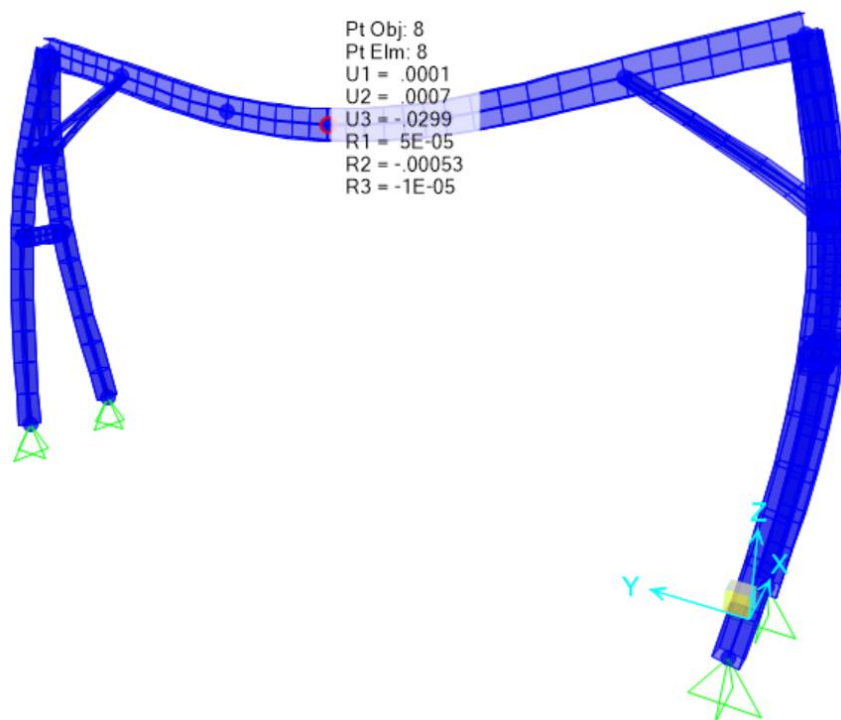


Figura No. 98. Deflexión en el centro de la viga IPE240 en metros

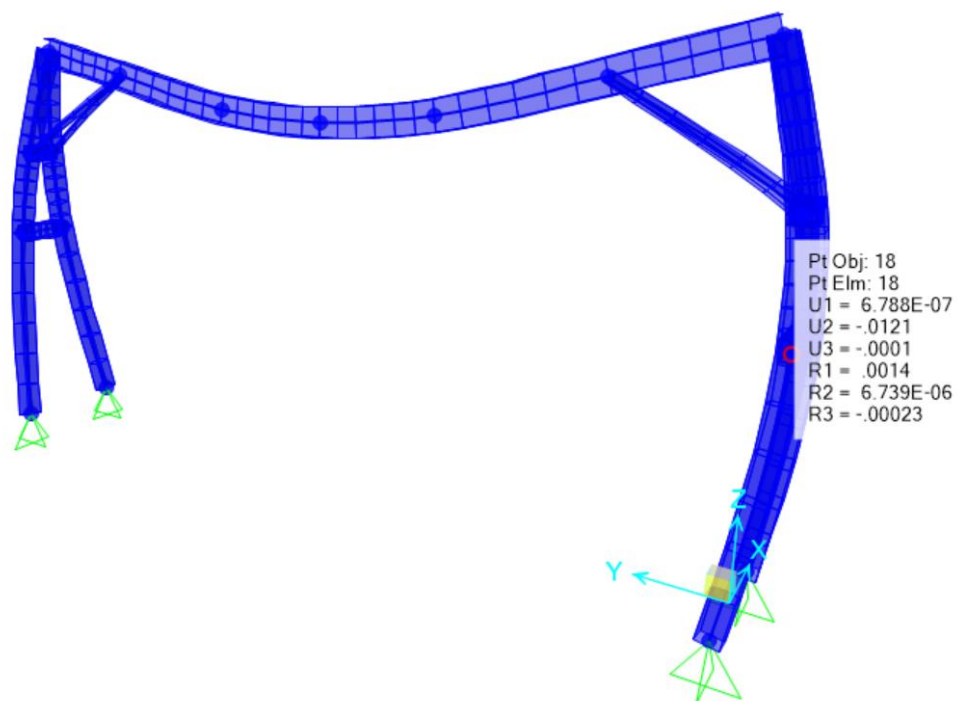


Figura No. 99. Pandeo hacia afuera del pórtico de las columnas en metros

4.4. Pre - dimensionamiento de las extensiones de vigas

El objetivo es realizar la extensión conformada por varios ángulos, por lo cual se tiene los siguiente:

- Ángulos internos de 25x25x3 mm.
- Ángulos esquineros de 50x50x4 mm.

El problema de este modelo de extensión es el peso de 220 kg, ya que se busca tener la menor cantidad de kg acero para reducir costos de suministro y fabricación. Con esta celosía se llega a tener un desplazamiento en la punta de 0.54 cm (Figura No.101).

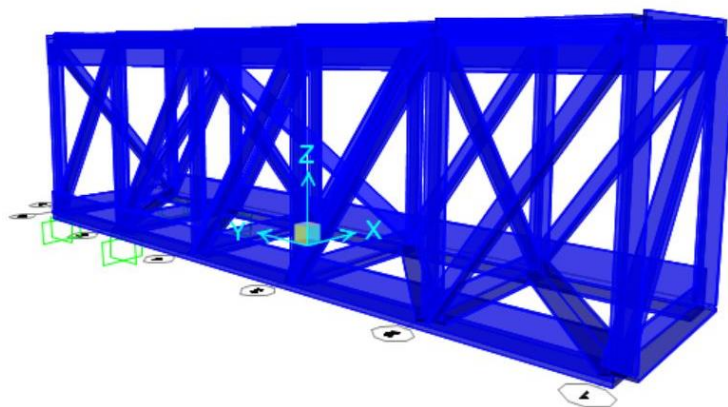


Figura No. 100. Prediseño de la celosía posible a utilizarse como extensión de viga

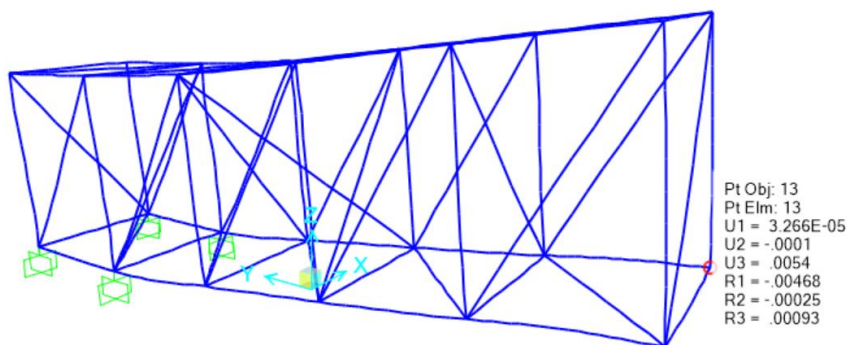


Figura No. 101. Flexión de la extensión de viga en metros

4.5. Diseño del pórtico

4.5.1. Cálculos de pórtico en SAP2000

Del análisis de elementos se concluye que el prediseño no cumple con el AISC 360-16 y se cambian las secciones y geometría con el fin de aprovechar todo el espacio interno del pórtico:

- Viga IPE360.

- Columnas de 150x150x4 mm.
- Ángulos de 75x75x4 mm.

Donde se define los materiales y propiedades de las secciones (Anexos No. 3 a 8). El nuevo modelo de pórtico solo moverá pares de viga, ya que se requiere hacer movimientos grandes dentro del pórtico y el ancho del puente existente permite dos vigas, por lo tanto, las cargas a soportar son las siguientes.

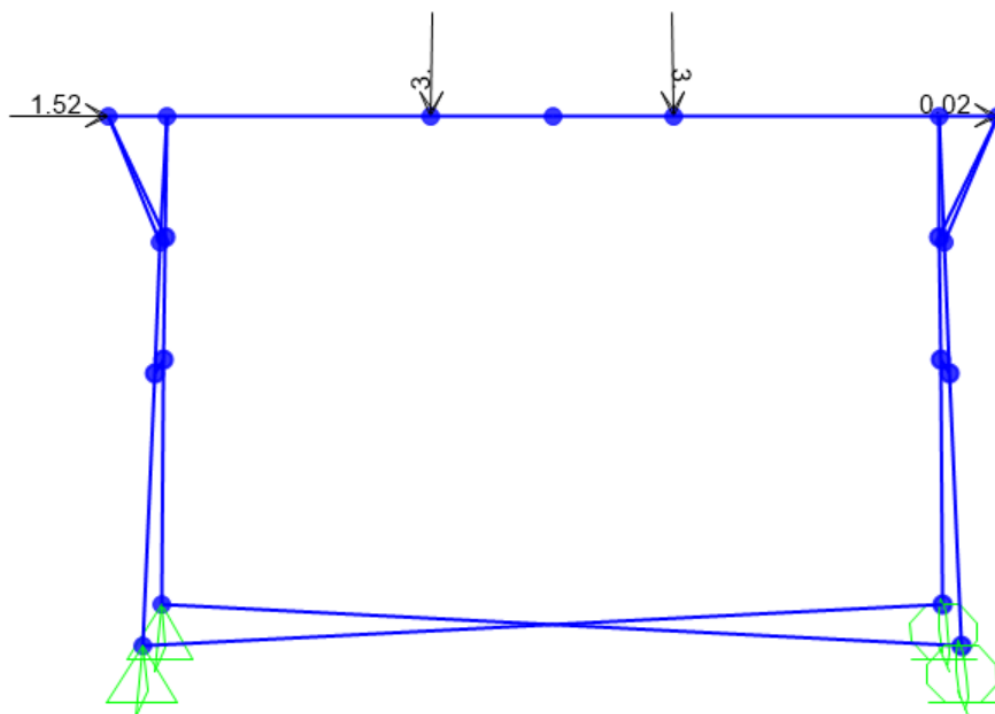


Figura No. 102. Cargas vivas aplicadas al pórtico

Con esto se observa que el pórtico cumple con el AISC 360-16, basado en el diseño LFRD (Figura No. 103).

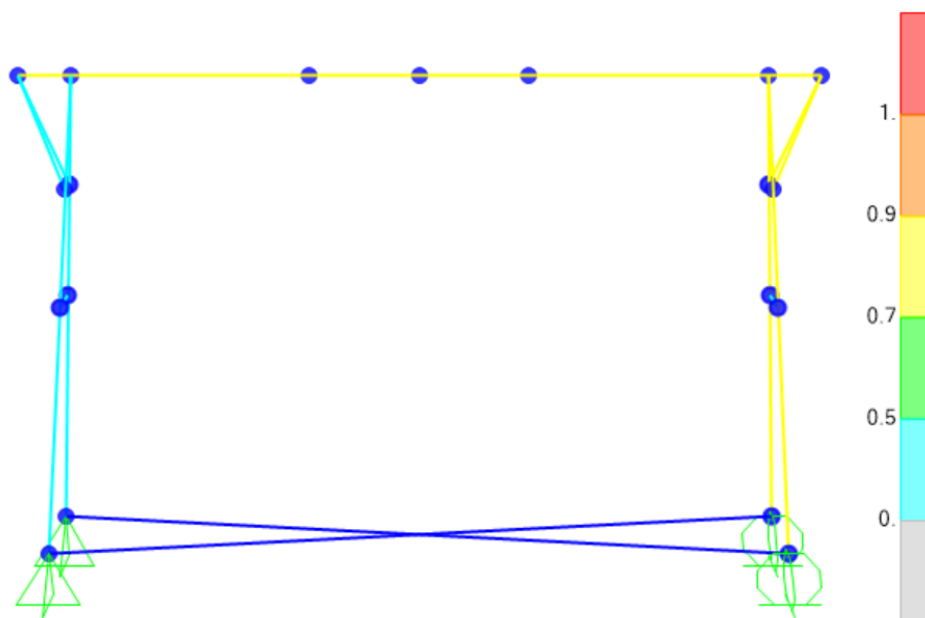


Figura No. 103. Secciones que cumplen con el AISC 360-16

Las fuerzas aplicadas generan el siguiente cortante, momento y fuerzas axiales en las secciones como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 6. Valores de Cortante, momento y fuerzas axiales

	Cortante (Tonf)	Momento (Tonf - m)	Fuerzas axiales (Tonf)
Viga IPE360	13.79	10.62	6.50
Ángulos 75x75x4 mm	0.17	0.16	7.71
Columnas 150x150x4 mm	2.44	2.63	10.27
Varillas de phi 12	0.019	0.029	0.89

Las reacciones en la base debido a las cargas aplicadas son las siguientes.

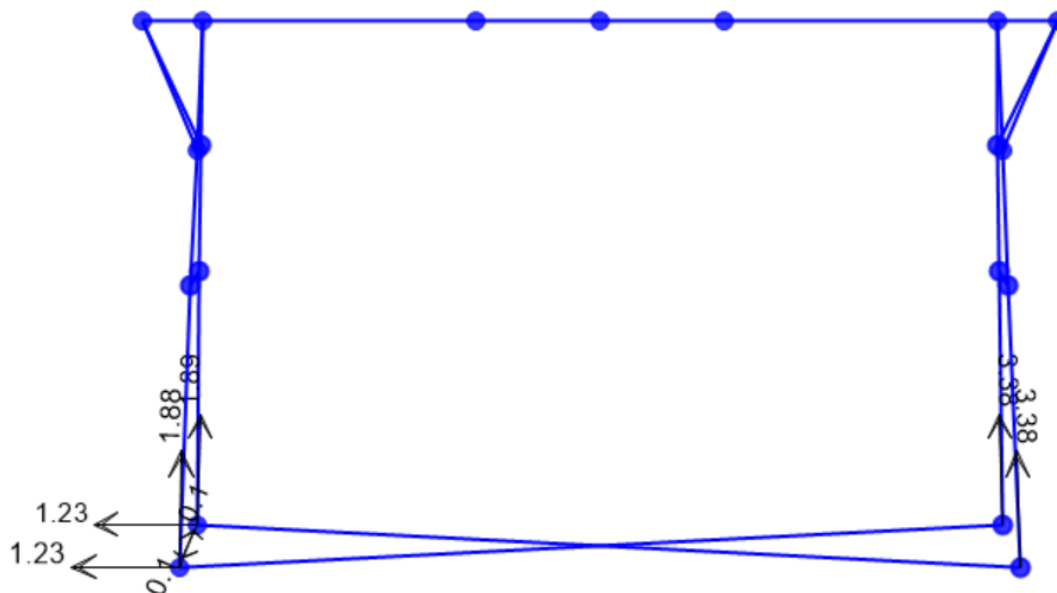


Figura No. 104. Reacciones en la base en toneladas

Los desplazamientos con la viga IPE 330, columnas de 150x150x4 mm y ángulos de 75x75x4 mm son las siguientes.

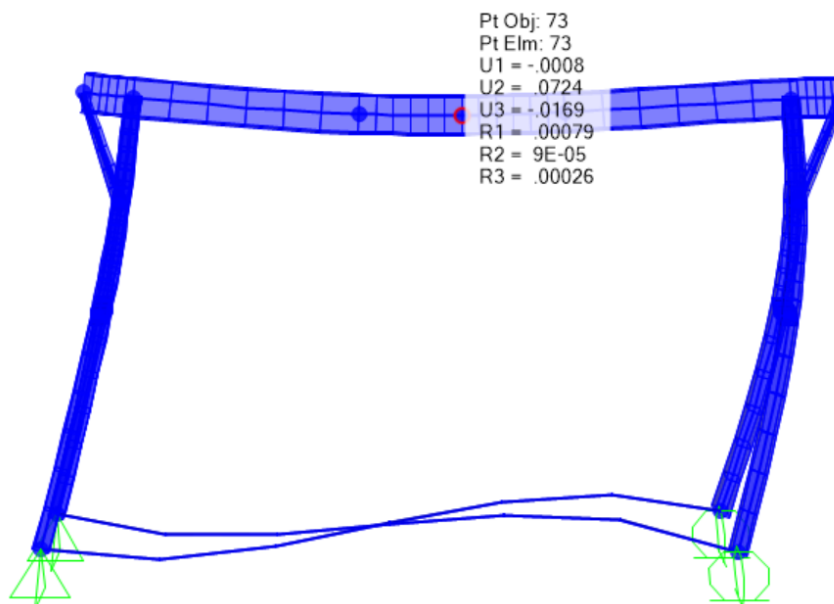


Figura No. 105. Desplazamiento del centro de la viga en metros

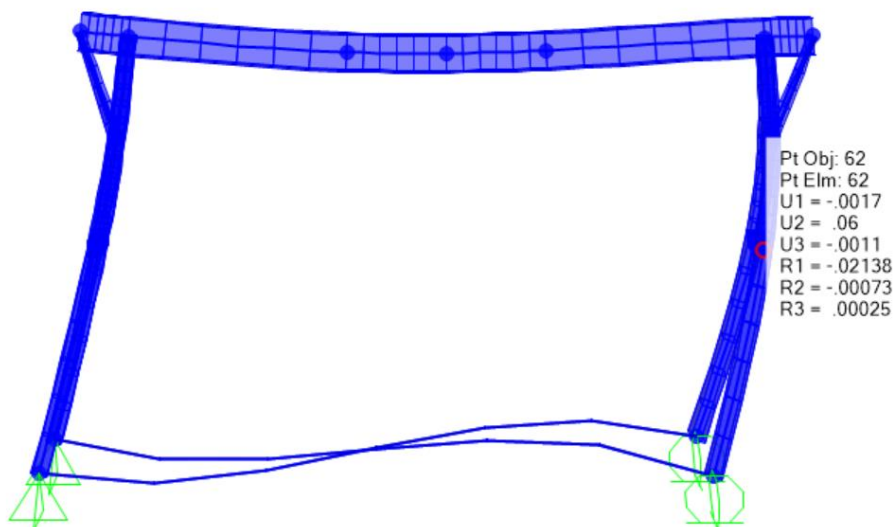


Figura No. 106. Desplazamiento de las columnas en metros

Al analizar los desplazamientos la viga IPE 360 se estima una deflexión de 1.65 cm, que corresponde al 0.25 % para una luz de 6.60 metros. Para las columnas se estima un desplazamiento lateral de 6.05 cm en 3.70 metros de altura, lo cual es el 1.63%.

4.5.2. Comprobación de cálculos del pórtico a mano

PROPIEDADES DE LA VIGA IPE360:

E = 200000 N/mm ²	F _y = 344.74 N/mm ²	S _x = 904000 mm ³	Z _x = 974000 mm ³
I _y = 10400000 mm ⁴	J = 293590 mm ⁴	R _y = 37.9 mm	

Nuevo valor de EI para la viga IPE360 (Braced frames):

$$EI^* = 0.8 * \tau_b * E * I$$

1) Cuando:

$$\frac{\alpha * P_r}{P_{ns}} \leq 0.5 ; \tau_b = 1$$

$$\frac{\alpha * P_r}{P_{ns}} > 0.5 ; \tau_b = 4 * \left(\alpha \frac{P_r}{P_{ns}} \right) * \left(1 - \alpha \frac{P_r}{P_{ns}} \right)$$

2) Entonces:

$$\frac{\alpha * P_r}{P_{ns}} = \frac{1 * 1.6 * 14808.04}{F_y * A_g} = \frac{1 * 1.6 * 14808.04}{344.74 * 7270} = 0.0095 < 0.5$$

3) Por lo tanto:

$$\tau_b = 1$$

$$EI^* = 0.8 * \tau_b * E * I = 0.8 * 1 * 200000 * I$$

$$EI^* = 160000 * I$$

Viga a flexión IPE 360:

1) Revisar si es compacta, no compacta o esbelta con la tabla B4.1b del AISC 360-16.

Alma:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{360 - (2 * 12.70 - 2 * 18)}{8.0} = 46.33 < 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{160000}{344.74}} = 81$$

Entonces es compacta el alma.

Ala:

$$\frac{b}{t_f} = \frac{85}{12.70} = 6.69 < 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{160000}{344.74}} = 8.19$$

Entonces es compacta el ala.

2) Al ser compacta el alma y el ala según la tabla F1.1 se revisa la sección F2, donde se analiza fluencia y pandeo lateral torsional.

Fluencia:

$$M_n = M_p = F_y * Z_x$$

$$M_n = 344.74 * 974000$$

$$M_n = 335776760 \text{ N. mm}$$

Pandeo lateral torsional:

$$L_b = 6580 \text{ mm}$$

$$L_p = 1.76 * r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$L_p = 1.76 * 37.9 \sqrt{\frac{160000}{344.74}} = 1437.03 \text{ mm}$$

$$r_{ts} = \sqrt{\frac{I_y * h_o}{2 * S_x}}$$

$$r_{ts} = \sqrt{\frac{10400000 * 347.3}{2 * 904000}} = 44.70$$

$$L_r = 1.95 * r_{ts} * \frac{E}{0.7 * F_y} \sqrt{\frac{J * c}{S_x * h_o} + \sqrt{\left(\frac{J * c}{S_x * h_o}\right)^2 + 6.76 * \left(\frac{0.7 * F_y}{E}\right)^2}}$$

$$L_r = 1.95 * 44.70 * \frac{160000}{0.7 * 344.74} \sqrt{\frac{293590 * 1}{904000 * 347.3} + \sqrt{\left(\frac{293590 * 1}{904000 * 347.3}\right)^2 + 6.76 * \left(\frac{0.7 * 344.74}{160000}\right)^2}}$$

$$L_r = 4072.82 \text{ mm}$$

Entonces $L_b > L_r$ por lo cual se usa el caso c.

$$C_b = \frac{12.5 * M_{max}}{2.5 * M_{max} + 3 * M_A + 4 * M_B + 3 * M_C}$$

$$C_b = \frac{12.5 * 274.02}{2.5 * 274.02 + 3 * 274.02 + 4 * 170.08 + 3 * 192.9} = 1.24$$

Por lo tanto, la tensión crítica es la siguiente:

$$F_{cr} = \frac{C_b * \pi^2 * E}{\left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2} * \sqrt{1 + 0.078 * \frac{J * c}{S_x * h_o} * \left(\frac{L_b}{r_{ts}}\right)^2}$$

$$F_{cr} = \frac{1.24 * \pi^2 * 160000}{\left(\frac{6580}{44.70}\right)^2} * \sqrt{1 + 0.078 * \frac{293590 * 1}{904000 * 347.3} * \left(\frac{6580}{44.70}\right)^2}$$

$$F_{cr} = 145.17 \text{ MPa}$$

$$M_n = F_{cr} * S_x \leq M_p$$

$$M_n = 145.17 * 904000 \leq M_p$$

$$M_n = 131230787.2 \text{ N.mm} \leq M_p$$

$$M_n = 13.38 \text{ ton.m}$$

$$M_n = (0.9) * 13.38 \text{ ton.m} = 12.04 \text{ ton.m}$$

Entonces la capacidad a flexión de la viga IPE 360 por LFRD es de 12.04 tonf-m y la demanda es de 10.62 tonf-m.

Viga a cortante IPE 360:

1) Resistencia de Corte del alma sin acción de campo de tracciones:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{360 - (2 * 12.70 - 2 * 18)}{8.0} = 46.33 \leq 2.24 * \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.24 * \sqrt{\frac{160000}{344.74}} = 48.26$$

Entonces se obtiene que:

$$\varphi_v = 1.00 \text{ (LFRD)} \text{ y } C_{v1} = 1.0$$

$$V_n = 0.6 * F_y * A_w * C_{v1}$$

$$V_n = 0.6 * 344.74 * 2676.8 * 1$$

$$V_n = 553689.02 \text{ N}$$

$$V_n = (0.9) * 56.46 \text{ Ton} = 50.81 \text{ Ton}$$

Por lo tanto, la capacidad a cortante de la viga IPE 360 por LFRD es de 50.81 tonf y la demanda es de 13.79 tonf.

Diseño a esfuerzos combinados IPE 360:

$$\frac{M_r}{M_c} = \frac{5108660}{131230787.2}$$

$$\frac{M_r}{M_c} = 0.039 \leq 0.05$$

Entonces no existe inestabilidad en el plano y pandeo fuera del plano o pandeo lateral-torsional.

PROPIEDADES DE LA COLUMNA 150x150x4 mm:

$A_g = 2295 \text{ mm}^2$	$E = 200000 \text{ N/mm}^2$	$r_y = 59.3 \text{ mm}$	$e = 4 \text{ mm}$
$Z = 124870 \text{ mm}^3$	$I = 8078200 \text{ mm}^4$	$b = 150 \text{ mm}$	$r = 8 \text{ mm}$
$F_y = 344.74 \text{ N/mm}^2$	$J = 12678200 \text{ mm}^4$		

Nuevo valor de EI para la columna 150x150x4 mm (Braced frames):

$$EI^* = 0.8 * \tau_b * E * I$$

Cuando:

$$\frac{\alpha * P_r}{P_{ns}} \leq 0.5 ; \tau_b = 1$$

$$\frac{\alpha * P_r}{P_{ns}} > 0.5 ; \tau_b = 4 * \left(\alpha \frac{P_r}{P_{ns}} \right) * \left(1 - \alpha \frac{P_r}{P_{ns}} \right)$$

Entonces:

$$\frac{\alpha * P_r}{P_{ns}} = \frac{1 * 1.6 * 30890.95}{F_y * A_g} = \frac{1 * 1.6 * 30890.95}{344.74 * 2295} = 0.0624 < 0.5$$

Por lo tanto:

$$\tau_b = 1$$

$$EI^* = 0.8 * \tau_b * E * I = 0.8 * 1 * 200000 * I$$

$$EI^* = 160000 * I$$

Columna a flexión 150x150x4 mm:

1) Revisar si es compacta, no compacta o esbelta con la tabla B4.1b del AISC 360-16.

Alma y Ala:

$$\frac{b}{t} = \frac{150 - (2 * 8)}{4} = 33.50 > 1.12 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.12 \sqrt{\frac{160000}{344.74}} = 24.13$$

$$\frac{b}{t} = \frac{150 - (2 * 8)}{4} = 33.50 > 1.4 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.12 \sqrt{\frac{160000}{344.74}} = 30.16$$

Entonces es esbelta el alma y ala.

2) Al ser esbelta según la tabla F1.1 se debe revisar la sección F7, donde se analiza fluencia, pandeo local alma, pandeo local ala y pandeo lateral torsional.

Fluencia:

$$M_n = M_p = F_y * Z$$

$$M_n = 344.74 * 124870 = 43047683.8 \text{ N.mm}$$

Pandeo local alma y ala:

$$b_e = 1.92 * t_f * \sqrt{\frac{E}{F_y}} * \left(1 - \frac{0.38}{\frac{b}{t_f}} * \sqrt{\frac{E}{F_y}} \right) \leq b$$

$$b_e = 1.92 * 4 * \sqrt{\frac{160000}{344.74}} * \left(1 - \frac{0.38}{\frac{150 - (3 * 4)}{4}} * \sqrt{\frac{160000}{344.74}} \right) \leq 150 - (3 * 4)$$

$$b_e = 126.19 \leq 138$$

$$I_{eff} = I_x * \left(\frac{150 - 126.19}{12} * 4^3 + (150 - 126.19) \left(\frac{150}{2} - \frac{4}{2} \right)^2 \right) * 2$$

$$I_{eff} = 8078200 * \left(\frac{150 - 126.19}{12} * 4^3 + (150 - 126.19) \left(\frac{150}{2} - \frac{4}{2} \right)^2 \right) * 2$$

$$I_{eff} = 8078200 - \left(\frac{150 - 126.19}{12} * 4^3 + (150 - 126.19) \left(\frac{150}{2} - \frac{4}{2} \right)^2 \right) * 2$$

$$I_{eff} = 7824179.05 \text{ mm}^4$$

$$S_e = \frac{I_{eff}}{\frac{h}{2}}$$

$$S_e = \frac{7824179.05}{\frac{150}{2}}$$

$$S_e = 104322.39 \text{ mm}^3$$

$$M_n = F_y * S_e$$

$$M_n = 344.74 * 104322.39$$

$$M_n = 35964099.79 \text{ N.mm}$$

$$M_n = 3.66 \text{ ton.m} = (0.9) * 3.66 = 3.29 \text{ ton.m}$$

Pandeo lateral torsional:

$$L_b = 2020 \text{ mm}$$

$$L_p = 0.13 * E * r_y \sqrt{\frac{J * A_g}{M_p}}$$

$$L_p = 0.13 * 160000 * 59.3 \sqrt{\frac{12678200 * 2295}{344.74 * 124870}} = 32067365.22 \text{ mm}$$

Entonces $L_b < L_p$ por lo cual este caso no aplica.

Entonces la capacidad a flexión de la columna 150x150x4 mm es de 3.29 tonf-m y la demanda es 2.63 tonf-m.

Columna a compresión 150x150x4 mm:

1) Revisar si es esbelta o no esbelta con la tabla B4.1b del AISC 360-16.

Alma y Ala:

$$\frac{b}{t} = \frac{150 - (2 * 8)}{4} = 33.50 > 1.40 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.40 \sqrt{\frac{160000}{344.74}} = 30.16$$

Entonces es esbelta el alma y ala.

2) Al ser no esbelta el alma y el ala según la tabla E1.1 se debe revisar la sección E7, donde se analiza pandeo local y pandeo por flexión.

Pandeo por flexión:

$$\frac{K * L}{r} = \frac{1 * 2020}{59.3} = 34.06 < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \sqrt{\frac{160000}{344.74}} = 101.47$$

Entonces es inelástico y F_{cr} se calcula con la siguiente formula:

$$F_e = \left(\frac{\pi^2 * E * C_w}{\left(\frac{K * L}{r}\right)^2} + G * J \right) \frac{1}{I_x + I_y}$$

$$F_e = \left(\frac{\pi^2 * 160000 * 0}{(34.06)^2} + 77200 * 12678200 \right) \frac{1}{8078200 + 8078200}$$

$$F_e = 10580.14 \text{ MPa}$$

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_e}} \right) * F_y$$

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{160000}{10580.14}} \right) * 160000 = 285.24 \text{ MPa}$$

$$P_n = F_{cr} * A_e$$

$$P_n = 285.24 * 126.19 * 4 * 2$$

$$P_n = 287954.92 \text{ N}$$

$$P_n = 29.36 \text{ ton} = (0.9) * 29.36 = 26.42 \text{ ton}$$

Entonces la capacidad a compresión de la columna 150x150x4 mm es de 26.42 tonf y la demanda es de 10.27 tonf.

Diseño a esfuerzos combinados columna 150x150x4 mm:

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{3.26}{29.36} = 0.11 < 0.2$$

Entonces:

$$\frac{P_r}{2 * P_c} + \frac{M_r}{M_c} = \frac{3.26}{2 * 29.36} + \frac{0.64}{3.29}$$

$$0.25 \leq 1$$

Por lo tanto, cumple la relación entre flexión y compresión.

PROPIEDADES DEL ÁNGULO 75x75x4 mm:

Sx = 7200 mm	b = 75 mm	t = 4 mm	Lb = 1130 mm
--------------	-----------	----------	--------------

Angulo a flexión 75x75x4 mm:

1) Revisar si es compacta, no compacta o esbelta con la tabla B4.1b del AISC

$$\frac{b}{t} = \frac{75}{4} = 18.75 > 0.54 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.54 \sqrt{\frac{160000}{344.74}} = 11.63$$

$$\frac{b}{t} = \frac{75}{4} = 18.75 > 0.91 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.91 \sqrt{\frac{160000}{344.74}} = 19.60$$

Entonces es no compacta.

2) Al ser esbelta según la tabla F1.1 se debe revisar la sección F10.

Fluencia:

$$M_n = 1.5 * M_y = 1.5 * F_y * S_x$$

$$M_n = 1.5 * 160000 * 7200$$

$$M_n = 1.5 * 160000 * 7200$$

$$M_n = 1728000000 \text{ N. mm}$$

Pandeo lateral torsional:

$$\frac{M_y}{M_{cr}} = \frac{160000 * 7200}{3480795.96} = 330.96 > 1$$

$$M_{cr} = \frac{0.58 * E * b^4 * t * C_b}{L_b^2} \left[\sqrt{1 + 0.88 \left(\frac{L_b * t}{b^2} \right)^2} - 1 \right]$$

$$M_{cr} = \frac{0.58 * 160000 * 75^4 * 4 * 1.5}{1130^2} \left[\sqrt{1 + 0.88 \left(\frac{1130 * 4}{75^2} \right)^2} - 1 \right]$$

$$M_{cr} = 3480795.96 \text{ N. mm}$$

Entonces al tener que:

$$\frac{M_y}{M_{cr}} = \frac{160000 * 7200}{3480795.96} = 330.96 > 1$$

$$M_n = \left(0.92 - \frac{0.17 * M_{cr}}{M_y} \right) * M_{cr}$$

$$M_n = \left(0.92 - \frac{0.17 * 3480795.96}{160000 * 7200} \right) * 3480795.96$$

$$M_n = 3200544.34 \text{ N. mm}$$

$$M_n = 0.32 \text{ ton. m} = (0.9) * 0.32 = 0.288 \text{ ton. m}$$

Pandeo local ala:

$$M_n = F_y * S_e \left(2.43 - 1.72 \left(\frac{b}{t} \right) \sqrt{\frac{F_y}{E}} \right)$$

$$M_n = 160000 * 0.8 * 7200 \left(2.43 - 1.72 \left(\frac{75}{4} \right) \sqrt{\frac{344.74}{160000}} \right)$$

$$M_n = 859872603.7 \text{ N.mm}$$

Entonces la capacidad a flexión del ángulo 75x75x4 mm es de 0.288 tonf-m y la demanda es de 0.16 tonf-m.

Varillas de phi 12 a tensión:

Se deber revisar que la capacidad a tensión se mayor a la demanda, ya que estas varillas son fundamentales para que el pórtico funcione correctamente. El fy es de 60 ksi que es igual a 413 MPa

$$E = \frac{F}{A}$$

$$F = E * A$$

$$F = 413000000 * 1.13E - 4$$

$$F = 46709.2 \text{ N}$$

$$F = 4.76 \text{ tonf}$$

Entonces la capacidad a tensión de la varilla phi 12 es de 4.76 tonf-m y la demanda es de 0.89 tonf.

4.6. Diseño de las extensiones de vigas

4.6.1. Cálculo de la extensión en SAP2000

Debido al peso de la celosía con ángulos se busca cambiar la extensión por otro diseño, por lo que la sección optima a utilizar es una viga IPE180 con placas que se sostengan a la viga del puente y a la extensión (Figura No. 107).

Una vez encontrado esto se define los materiales y propiedades de las secciones (Anexos No. 9 y 10).

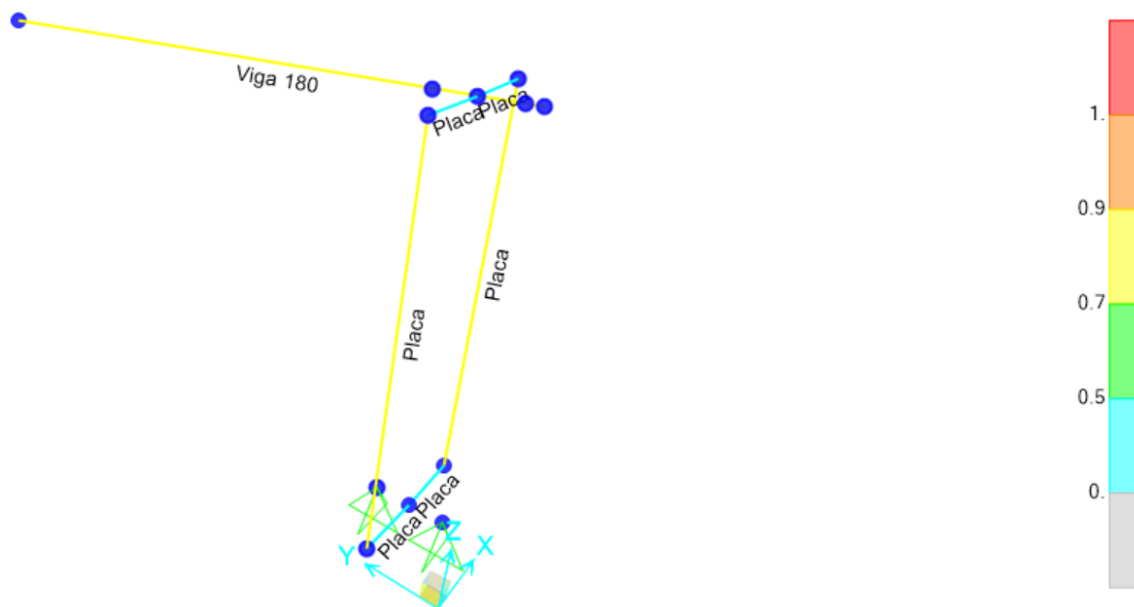


Figura No. 107. Viga IPE180 que cumple con el AISC 360-16

Con la carga aplicada (Figura No. 108), se puede encontrar el cortantes, fuerzas axiales y momentos como se muestra en la siguiente tabla:

	Cortante (Tonf)	Momento (Tonf-m)	Fuerzas axiales (Tonf)
Viga IPE180	4.8	5.79	0
Placa A36	7.87E-14	3.09	2.38

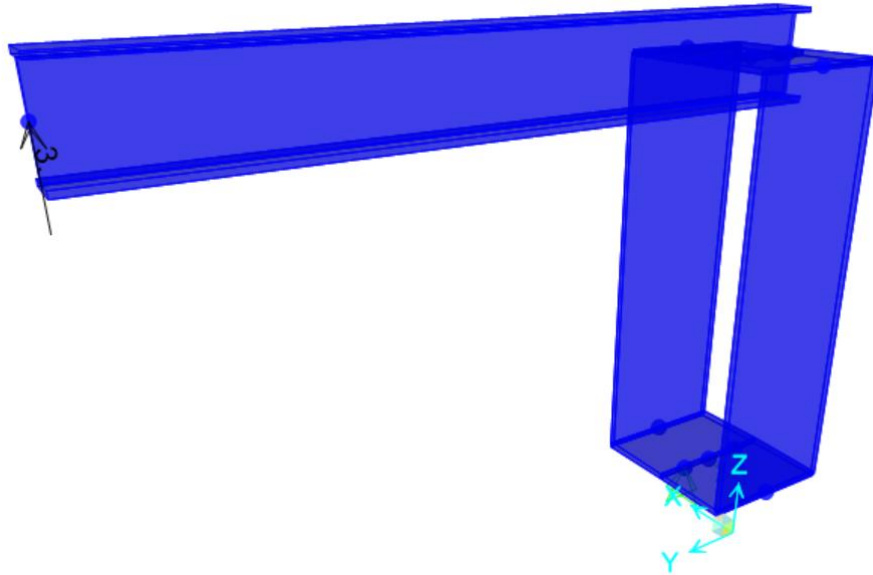


Figura No. 108. Cargas aplicadas en toneladas

Las reacciones y desplazamiento generada por la fuerza aplicada en la viga IPE180, son las siguientes (Figuras No. 109 y 110).

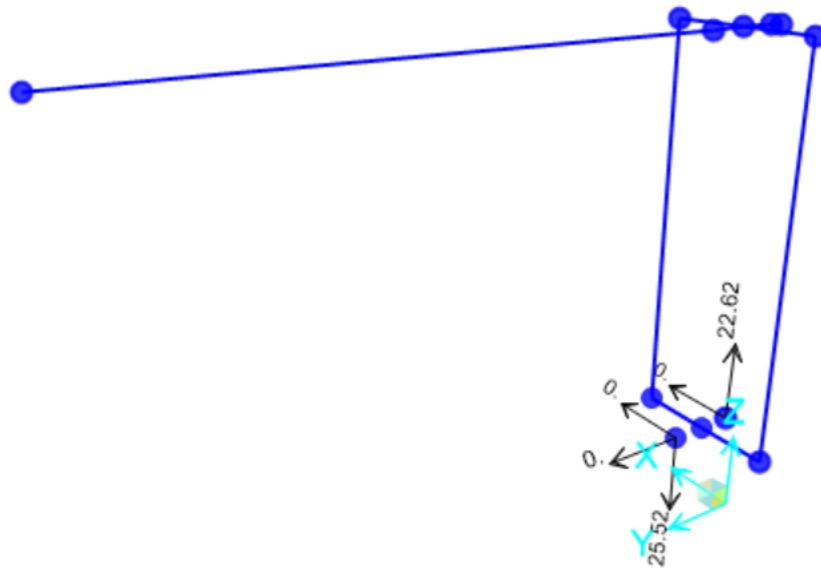


Figura No. 109. Reacciones en la base en toneladas

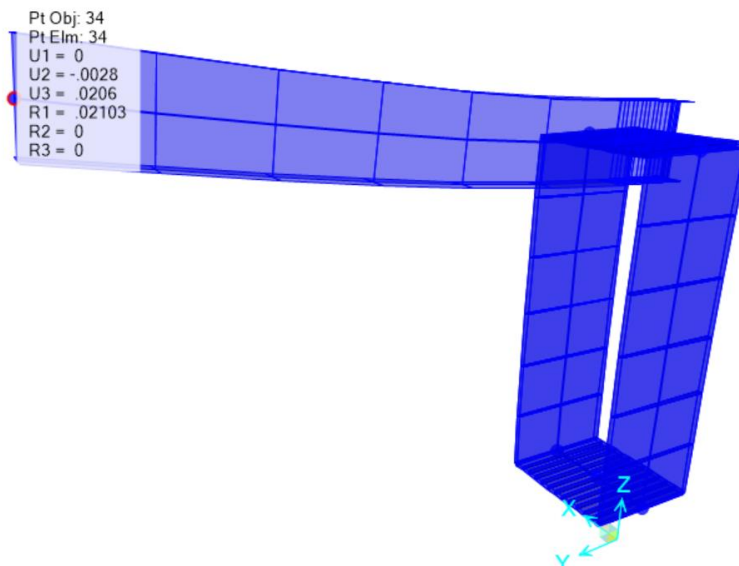


Figura No. 110. Desplazamiento del extremo de la viga en metros

Este valor está en metros y llevado a centímetros en la viga IPE180 se espera una flexión de 1.29 cm, lo cual en 1.15 metros de luz solo es el 1.79 %.

4.6.2. Comprobación de cálculo de la extensión a mano

E = 200000 N/mm ²	F _y = 344.74 N/mm ²	S _x = 83200 mm ³	Z _x = 147000 mm ³
I _y = 1010000 mm ⁴	J = 50600 mm ⁴		

Viga a flexión IPE180:

1) Revisar si es compacta, no compacta o esbelta con la tabla B4.1b del AISC 360-16.

Alma:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{180 - (3 * 0.21)}{0.21} = 30.76 < 3.76 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 3.76 \sqrt{\frac{29000}{50}} = 90.55$$

Entonces es compacta el alma.

Ala:

$$\frac{b}{t_f} = \frac{3.23}{0.29} = 11.14 > 0.38 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 0.38 \sqrt{\frac{29000}{50}} = 9.15$$

$$\frac{b}{t_f} = \frac{3.23}{0.29} = 11.14 < 1.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 1.00 \sqrt{\frac{29000}{50}} = 24.08$$

Entonces no es compacta el ala.

3) Al ser compacta el alma y no compacta el ala según la tabla F1.1 se debe revisar la sección F3, donde se analiza pandeo lateral torsional y pandeo local del ala.

Pandeo lateral torsional:

$$L_b = 45.28 \text{ in}$$

$$L_p = 1.76 * r_y \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$L_p = 1.76 * 0.81 \sqrt{\frac{29000}{50}} = 34.33 \text{ in}$$

$$r_{ts} = \sqrt{\frac{\sqrt{I_y * C_w}}{S_x}}$$

$$r_{ts} = \sqrt{\frac{\sqrt{2.43 * 150}}{8.91}} = \sqrt{2.14} = 1.46$$

$$L_r = 1.95 * r_{ts} * \frac{E}{0.7 * F_y} \sqrt{\frac{J * c}{S_x * h_o} + \sqrt{\left(\frac{J * c}{S_x * h_o}\right)^2 + 6.76 * \left(\frac{0.7 * F_y}{E}\right)^2}}$$

$$L_r = 1.95 * 1.46 * \frac{29000}{0.7 * 50} \sqrt{\frac{0.461 * 1}{8.91 * 5.93} + \sqrt{\left(\frac{0.461 * 1}{8.91 * 5.93}\right)^2 + 6.76 * \left(\frac{0.7 * 50}{29000}\right)^2}}$$

$$L_r = 316.46 \text{ in}$$

Entonces $L_p < L_b < L_r$ por lo cual se usa el caso b.

$$C_b = \frac{12.5 * M_{max}}{2.5 * M_{max} + 3 * M_A + 4 * M_B + 3 * M_C}$$

$$C_b = \frac{12.5 * 252.92}{2.5 * 252.92 + 3 * 252.92 + 4 * 131.26 + 3 * 29.41} = 1.58$$

$$M_n = M_p = F_y * Z_x$$

$$M_n = M_p = 50 * 18.9 = 945 \text{ kips.in}$$

$$M_n = C_b * \left[M_p - (M_p - 0.7 * F_y * S_x) * \left(\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right) \right] \leq M_p$$

$$M_n = 1.58 * \left[945 - (945 - 0.7 * 50 * 16.7) * \left(\frac{45.28 - 34.33}{316.46 - 34.33} \right) \right] \leq M_p$$

$$M_n = 876.78 \text{ kips.in}$$

$$M_n = 73.07 \text{ kips.ft}$$

$$M_n = (0.9) * 10.10 \text{ ton.m}$$

$$M_n = 9.09 \text{ ton.m}$$

Pandeo local del ala:

$$M_n = M_p - (M_p - 0.7 * F_y * S_x) * \left(\frac{\lambda - \lambda_{pf}}{\lambda_{rf} - \lambda_{pf}} \right)$$

$$M_n = 945 - (945 - 0.7 * 50 * 16.7) * \left(\frac{6.68 - 9.15}{24.08 - 9.15} \right)$$

$$M_n = 1004.64 \text{ kips.in} = 83.72 \text{ kips.ft}$$

Entonces la capacidad a flexión de la viga IPE180 es de 9.09 tonf-m y la demanda es de 5.79 tonf-m.

Viga a cortante IPE 180:

1) Resistencia de Corte del alma sin acción de campo de tracciones:

$$\frac{h}{t_w} = \frac{180 - (2 * 8) - (2 * 7)}{5.3} = 28.30 \leq 2.24 * \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 2.24 * \sqrt{\frac{160000}{344.74}} = 48.26$$

Entonces se obtiene que:

$$\phi_v = 1.00 \text{ (LFRD)} \text{ y } C_{v1} = 1.0$$

$$V_n = 0.6 * F_y * A_w * C_{v1}$$

$$V_n = 0.6 * 344.74 * 795 * 1$$

$$V_n = 164440.98 \text{ N}$$

$$V_n = (0.9) * 16.77 \text{ Ton} = 15.09 \text{ Ton}$$

Por lo tanto, la capacidad a cortante de la viga IPE 180 por LFRD es de 15.09 tonf y la demanda es de 4.8 tonf.

Diseño a esfuerzos combinados IPE 180:

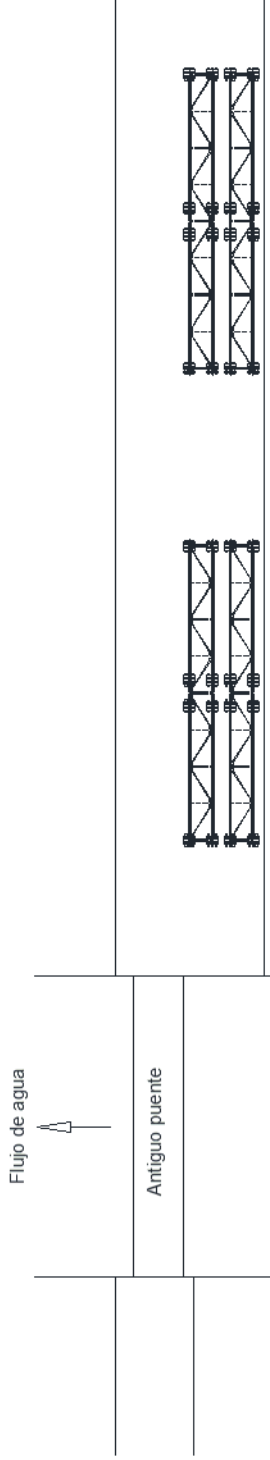
$$L_{cz} = 180 < L_{cy} = 1150$$

Entonces no existe inestabilidad en el plano y pandeo fuera del plano o pandeo lateral-torsional.

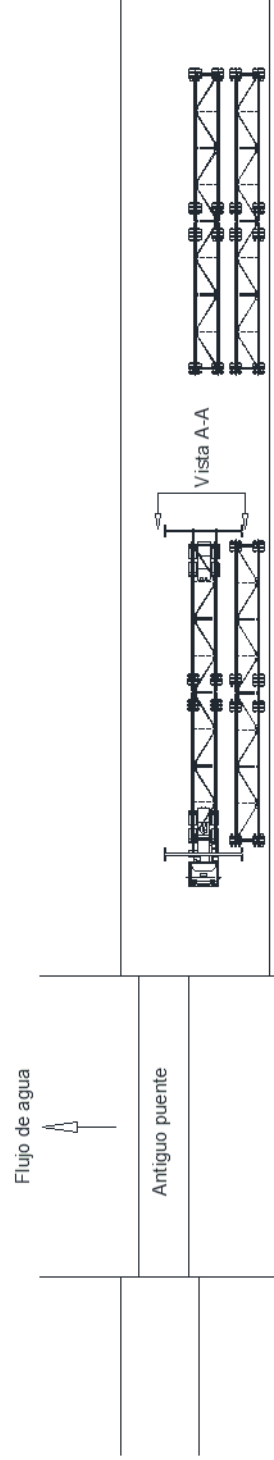
**5. Planos con metodología de
lanzamiento, dimensiones del pórtico,
extensión de viga y despiece.**

METODOLOGÍA PARA IZAJE Y DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL DE DOS TRIOS DE VIGAS METÁLICAS (VISTA EN PLANTA)

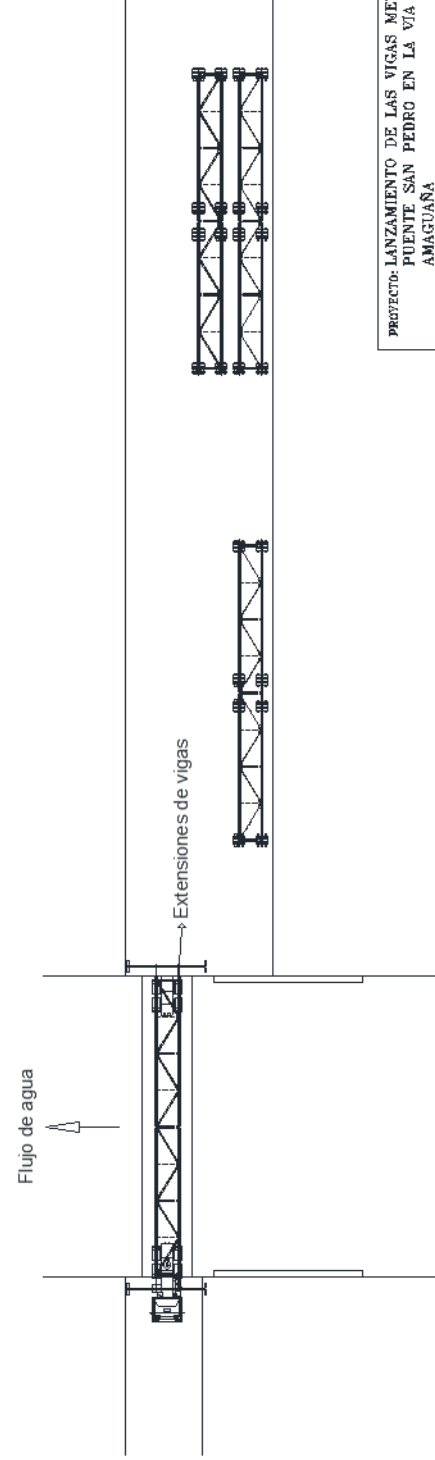
ETAPA 1: Armado de dovelas y arriostramientos de vigas metálicas



ETAPA 2: Izaje del primer par de vigas metálicas para posicionamiento de dolly



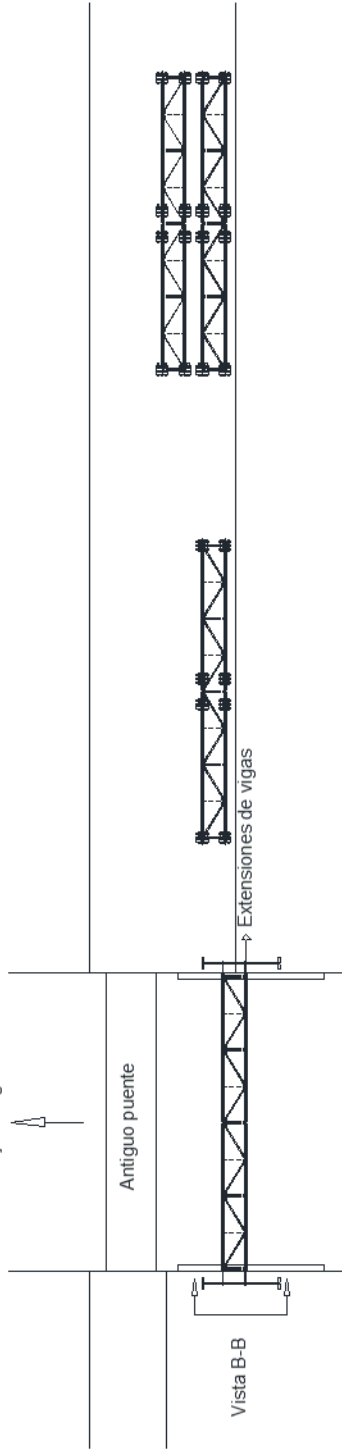
ETAPA 3: Izaje para liberación del dolly y embancamiento del primer par de vigas metálicas para movimiento transversal



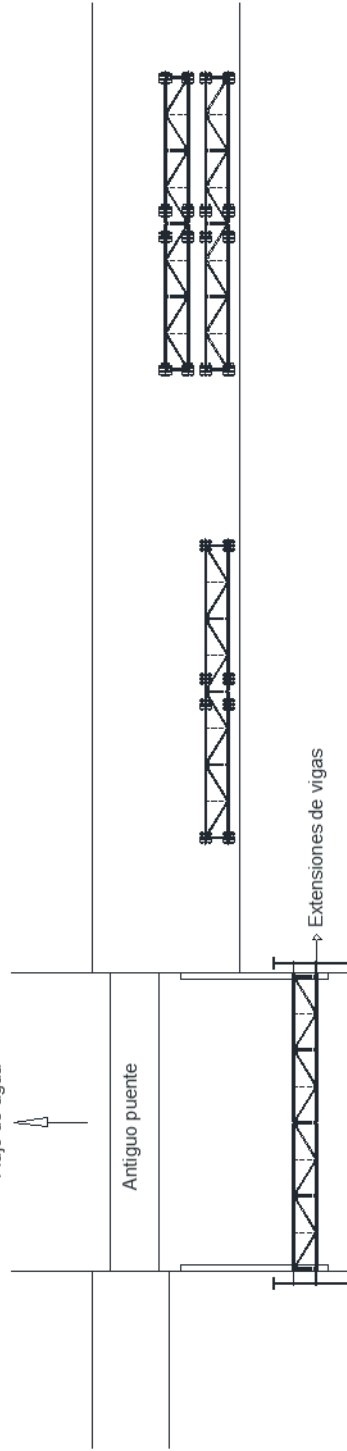
PROYECTO: LANZAMIENTO DE LAS VIGAS METÁLICAS DEL PUENTE SAN PEDRO EN LA VÍA CONOCOTO - AMAGUANA		ESCALA: 1:200
CONTIENE: METODOLOGÍA PARA IZAJE Y DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL DE VIGAS METÁLICAS		FECHA: NOVIEMBRE-2010
SUPERINTENDENTE: DIRECTOR DE PROYECTO: ING. NIVÓ GORDILLO		HOJA: 1 DE 3
PROYECTISTA: SUBSECTOR DE PROYECTO: ING. LUIS ERAZO		DISEÑO: LUIS ERAZO
ING. NIVÓ GORDILLO		ING. JUAN CARLOS PANTOJA

METODOLOGÍA PARA IZAJE Y DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL DE DOS TRIOS DE VIGAS METÁLICAS (VISTA EN PLANTA)

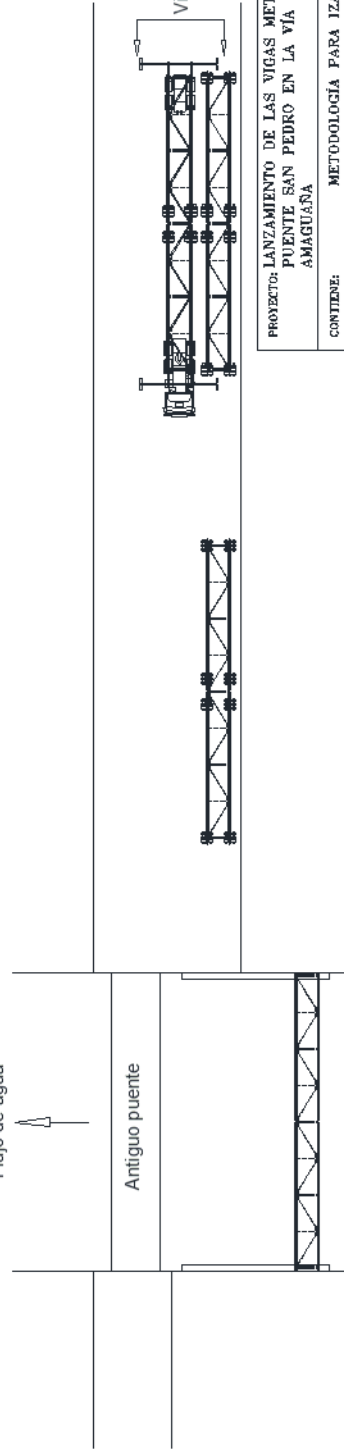
ETAPA 4: Desplazamiento transversal del primer par de vigas metálicas con el pórtico
Flujo de agua



ETAPA 5: Descenso del primer par de vigas metálicas a los asientos de los estribos con la ayuda del pórtico
Flujo de agua



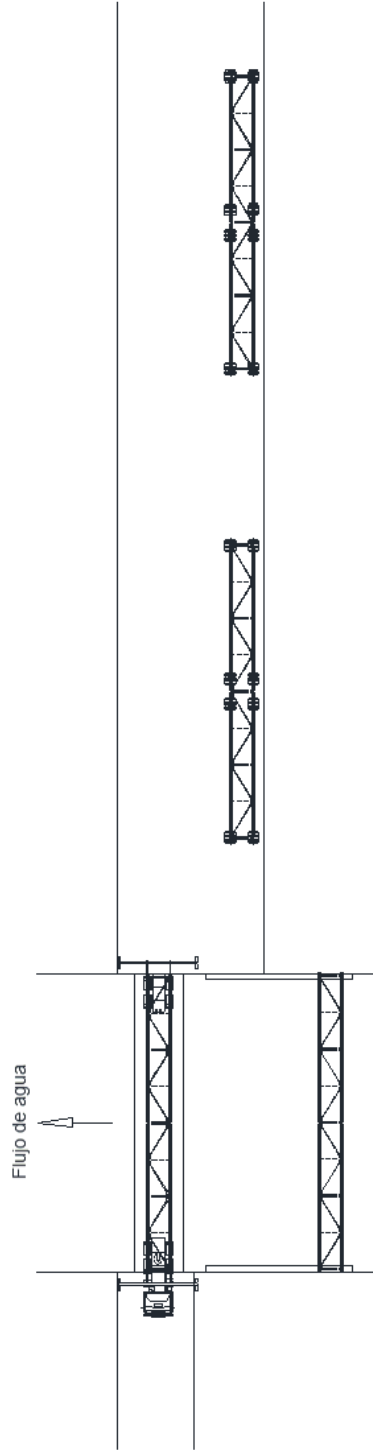
ETAPA 6: Izaje del segundo par de vigas metálicas para posicionamiento del dolly
Flujo de agua



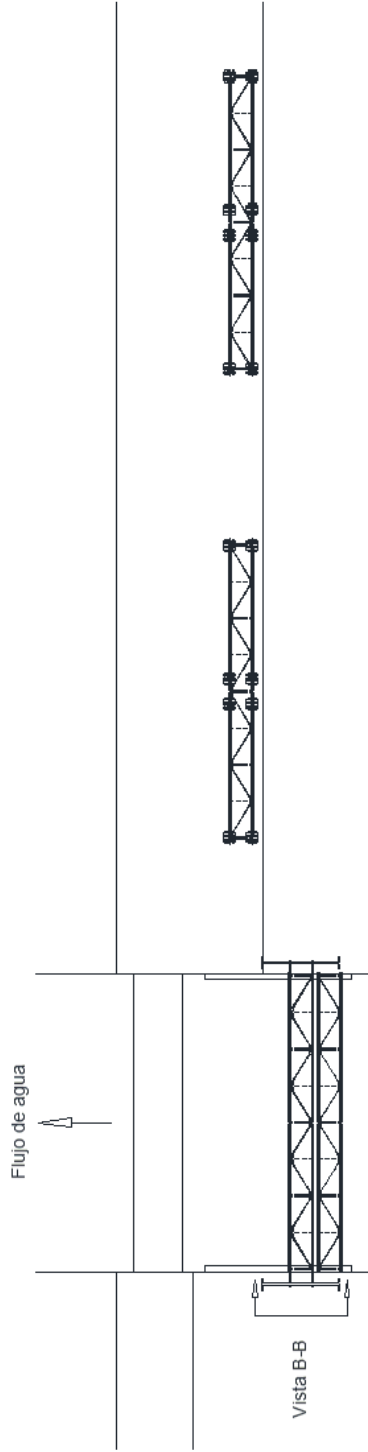
PROYECTO: LANZAMIENTO DE LAS VIGAS METÁLICAS DEL PUNTE SAN PEDRO EN LA VÍA CONOCOTO - AMAGUANA		ESCALA: 1:500
FECHA: NOVIEMBRE-2016		
CONTIENE: METODOLOGÍA PARA IZAJE Y DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL DE VIGAS METÁLICAS		HOJA: 2 DE 3
RESPONSABLE: ING. JIVY GONZALEZ	PROYECTISTA: ING. LUIS ERAZO	REVISOR: LUIS ERAZO
SUPERVISOR: ING. JUAN CARLOS PANTOJA		REPRESENTANTE LEGAL:

METODOLOGÍA PARA IZAJE Y DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL DE DOS TRIOS DE VIGAS METÁLICAS (VISTA EN PLANTA)

ETAPA 7: Izaje del segundo par de vigas metálicas para liberación del dolly



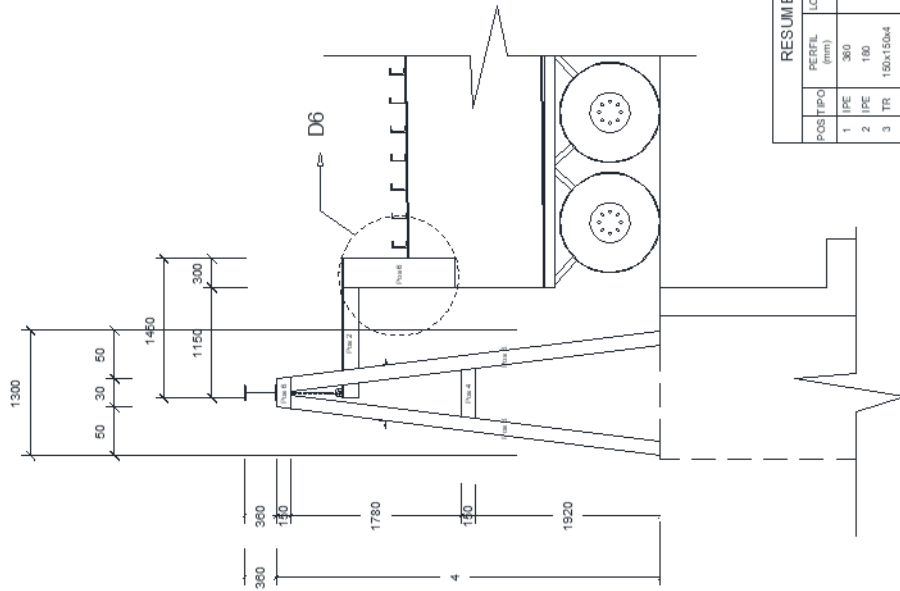
ETAPA 8: Desplazamiento transversal y descenso del segundo par de vigas metálicas al asiento del estribo



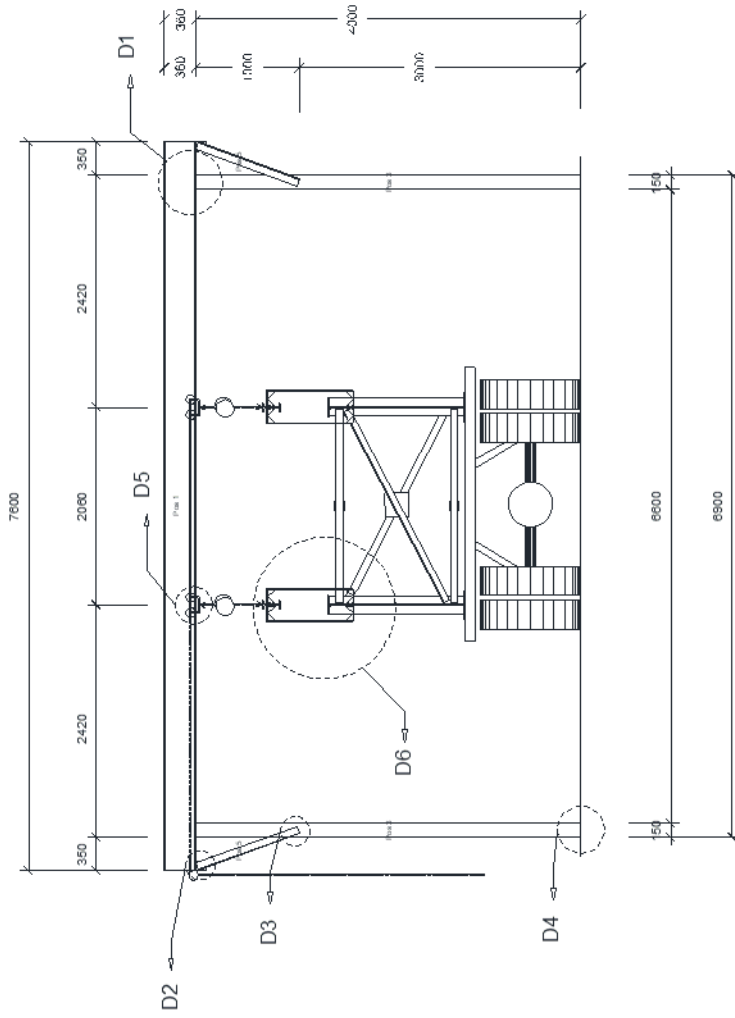
PROYECTO LANZAMIENTO DE LAS VIGAS METÁLICAS DEL PUEBLO SAN PEDRO EN LA VÍA CONOCOTO - AMAGUANA		ESCALA: 1:500
CONTIENE: METODOLOGÍA PARA IZAJE Y DESPLAZAMIENTO TRANSVERSAL DE VIGAS METÁLICAS		FECHA: NOVIEMBRE-2018
SUPERVISOR: PROYECTISTA: DIRECTOR DE PROYECTO:		FECHA: 9 DE 8
ING. NIVIO GORRILLO	LUIS BRAZO	TIPO: LUIS BRAZO
	ING. JUAN CARLOS PANTOJA	RESPONSABLE LEGAL

IZAJE DE LAS VIGAS METÁLICAS PARA ENTRADA Y SALIDA DEL DOLLY (VISTA A-A)

Vista lateral del pórtico



Vista posterior del pórtico



RESUMEN TOTAL DE MATERIALES					
POS TIPO	PERFIL (mm)	LONG. PARCIAL (m)	LONG. TOTAL (m)	PESO (kg)	OBSERVACION.
1	IFE 360	7.60	15.20	867.92	ASTM A-572
2	IFE 180	1.45	5.80	109.04	ASTM A-572
3	TR 150x150x4	4.05	32.40	583.52	ASTM A-572
4	TR 150x150x4	0.55	2.20	38.62	ASTM A-572
5	L 75x75x6	1.15	9.20	43.33	ASTM A-572
6	PLA 300x600x12	-	-	221.64	ASTM A-36
TOTAL			1695.07		

ESPECIFICACIONES TECNICAS

- ACERO ESTRUCTURAL
- ASTM A-572 Gr. 50 (Viga IPE 360) fy= 3500 kg/cm²
- ASTM A-572 Gr. 50 (Vigas IPE 180) fy= 3500 kg/cm²
- ASTM A-500 (Columnas 150x150x4 mm) fy= 3500 kg/cm²
- ASTM A-572 Gr. 50 (Angular 75x75x6 mm) fy= 3500 kg/cm²
- ASTM A-36 Gr. 36 (Plancha de espesor 12 mm) fy= 2530 kg/cm²
- SOLDADURA: ELECTRODO AWS 7018 O SIMILAR APROBADO EN TALLER Y CAMPO.

PROYECTO: LANZAMIENTO DE LAS VIGAS METÁLICAS DEL PUENTE SAN PEDRO EN LA VÍA CONOCOTO - AMAGUANA

ESCALAS: 1:25

FECHA: NOVIEMBRE - 2018

NO.: 1 DE 2

DIBUJO: LUIS ERAZO

REPRESENTANTE LEGAL

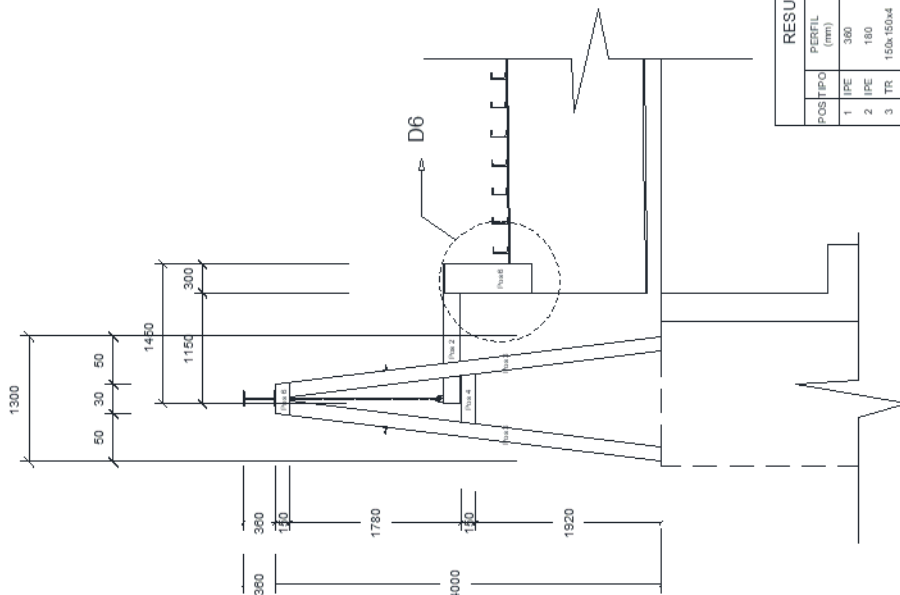
CONTIENE: PÓRTICO PARA IZAJE Y DESPALZAMIENTO TRANSVERSAL DE VIGAS METÁLICAS (CORTE A-A)

SUPERVISOR: DIRECTOR DE PROYECTO:

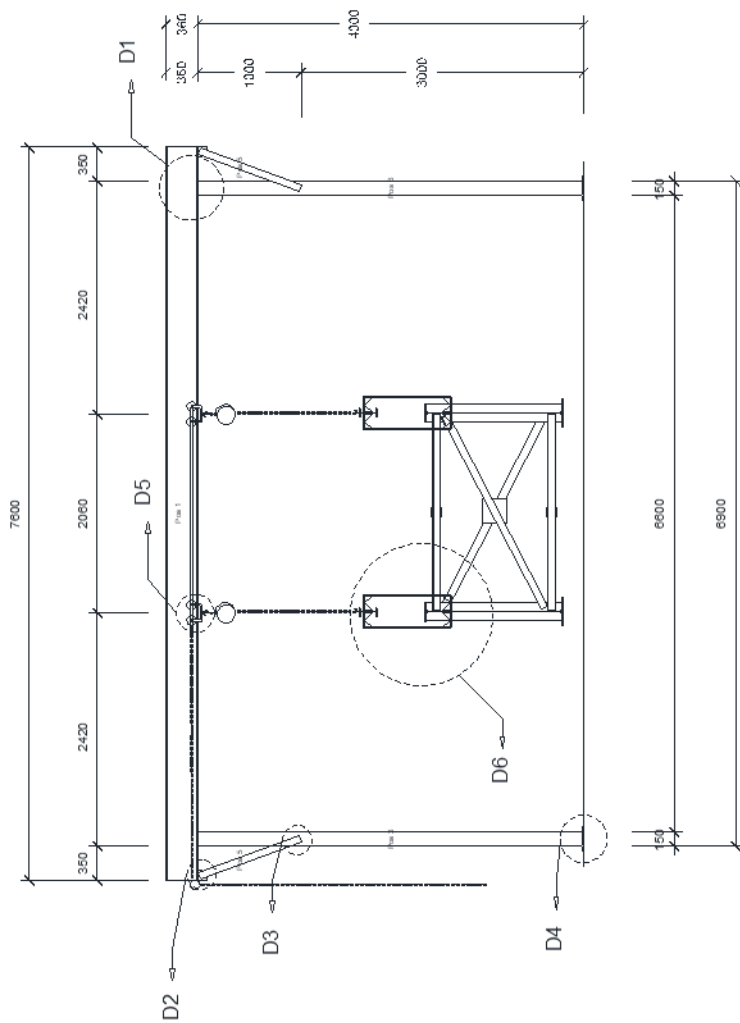
ING. NIVÓ CORDILLO LUIS ERAZO ING. JUAN CARLOS PANTOJA

IZAJE DE LAS VIGAS METÁLICAS PARA ENTRADA Y SALIDA DEL DOLLY (VISTA A-A)

Vista lateral del pórtico



Vista posterior del pórtico

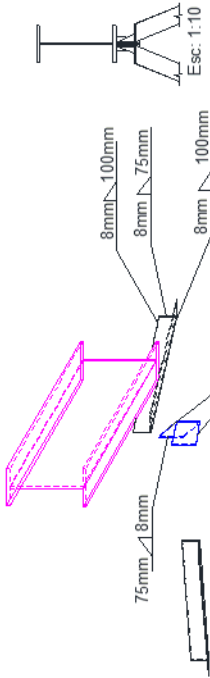


RESUMEN TOTAL DE MATERIALES					
POSTIPO	PERFIL (mm)	LONG. PARCIAL (m)	LONG. TOTAL (m)	PESO (kg)	OBSERVACION.
1	IPE 380	7.80	15.20	867.92	ASTM A-572
2	IPE 180	1.45	5.80	109.04	ASTM A-572
3	TR 150x150x4	4.05	32.40	583.52	ASTM A-572
4	TR 150x150x4	0.85	2.20	38.62	ASTM A-572
5	L 75x75x6	1.15	9.20	43.33	ASTM A-572
6	PLA 300x900x12	-	-	221.64	ASTM A-36
		TOTAL		1865.07	
ESPECIFICACIONES TECNICAS					
<ul style="list-style-type: none"> ACERO ESTRUCTURAL ASTM A-572 Gr. 50 (Viga IPE 380) fy= 3500 kg/cm² ASTM A-572 Gr. 50 (Vigas IPE 180) fy= 3500 kg/cm² ASTM A-500 (Columnas 150x150x4 mm) fy= 3500 kg/cm² ASTM A-572 Gr. 50 (Ángulos 75x75x6 mm) fy= 3500 kg/cm² ASTM A-36 Gr. 36 (Plancha de espesor 12 mm) fy= 2530 kg/cm² 					
SOLDADURA ELECTRODO AWS 7018 O SIMILAR APROBADO EN TALLER CAMPO.					

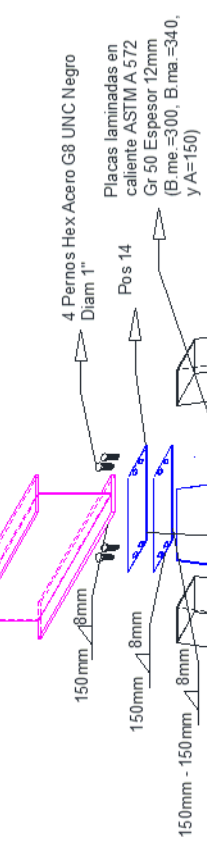
PROYECTO: LANZAMIENTO DE LAS VIGAS METÁLICAS DEL PUENTE SAN PEDRO EN LA VÍA CONOCOTO - AMAGUANA ESCALAS: 1:25	
FECHA: NOVIEMBRE - 2018	
HOJA: 2 DE 2	
DIBUJO: LUIS ERAZO	
REPRESENTANTE LEGAL:	
SUPERINTENDENTE:	DIRECTOR DE PROYECTO:
ING. NIVO GORDILLO	LUIS ERAZO
ING. JUAN CARLOS PANTOJA	

VISTA DETALLADA DE DESPIECE, UNIONES Y RODAMIENTOS (D1, D2 y D3)

VISTA FRONTAL D2



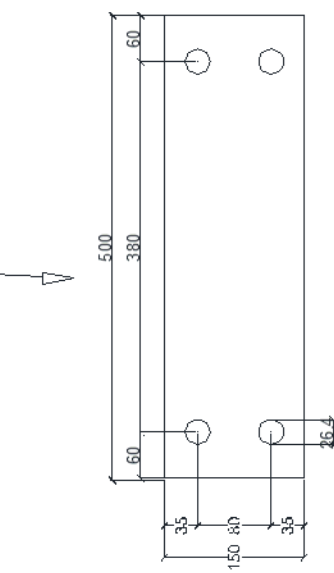
Pos 15
Esc: 1:10



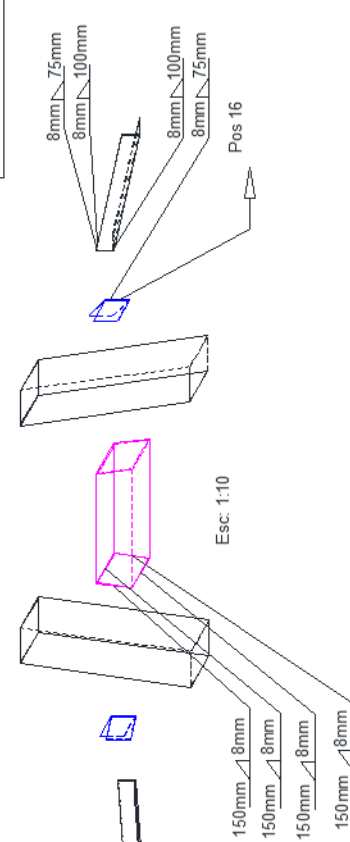
4 Pernos Hex Acero G8 UNC Negro
Diam 1"

Placas laminadas en
caliente ASTM A 572
Gr 50 Espesor 12mm
(B.me.=300, B.ma.=340,
y A=150)

Pos 14
Esc: 1:10



D3



RESUMEN TOTAL DE MATERIALES						
POS TIPO	PERFIL (mm)	LONG. PARCIAL (m)	No	LONG. TOTAL (m)	PESO (kg)	OBSERVACION
14	PLA 150x50x12	-	8	-	61.57	ASTM A-36
15	PLA 100x100x12	-	8	-	6.21	ASTM A-36
16	PLA 100x100x12	-	16	-	16.42	ASTM A-36
				TOTAL	84.20	

ESPECIFICACIONES TECNICAS

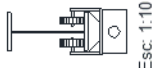
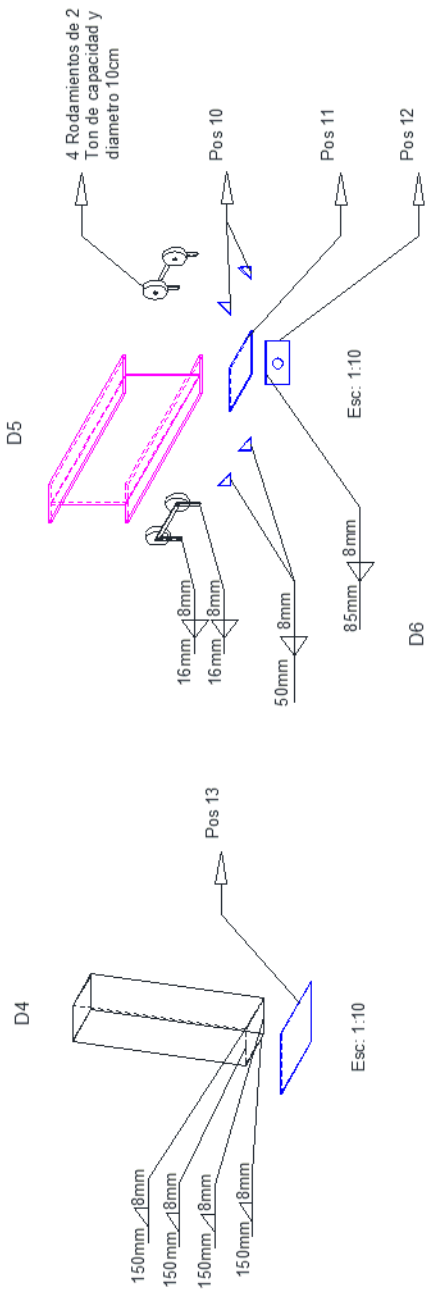
- ACERO ESTRUCTURAL
- ASTM A 572 Gr. 50 (Vigas IPE 360) fy= 3500 kg/cm²
- ASTM A 572 Gr. 50 (Vigas IPE 180) fy= 3500 kg/cm²
- ASTM A 500 (Columnas 150x150x4 mm) fy= 3500 kg/cm²
- ASTM A 572 Gr. 50 (Ángulas 75x75x6 mm) fy= 3500 kg/cm²
- ASTM A 36 Gr. 36 (Plancha de espesor 12 mm) fy= 2530 kg/cm²

SOLDADURA: ELECTRODO AWS 7018 O SIMILAR APROBADO EN TALLER Y CAMPO.

PROYECTO: LANZAMIENTO DE LAS VIGAS METÁLICAS DEL PUENTE SAN PEDRO EN LA VIA CONOCOTO - AMAGUANA	ESCALAS:	Indicadas
CONTIENE: VISTA DETALLADA DE DESPIECE, UNIONES Y RODAMIENTOS (D1, D2, D3, D4, D5 Y D6)	FECHA:	NOVIEMBRE - 2018
SUPERINTENDENTE:	FOLIA:	1 DE 2
PROYECTISTA:	DISEÑO:	LUIS ERAZO
DIRECTOR DE PROYECTO:	REPRESANTANTE LEGAL	
INC. NVO GORDILLO	LUIS ERAZO	ING. JUAN CARLOS PANTOJA

VISTA DETALLADA DE DESPIECE, UNIONES Y RODAMIENTOS (D4, D5 Y D6)

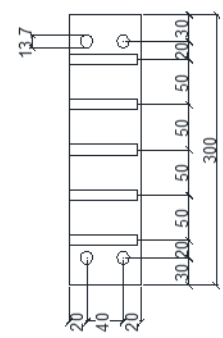
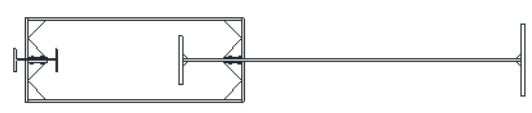
VISTA FRONTAL D5



RESUMEN TOTAL DE MATERIALES					
POSTIPO	PERFIL (mm)	LONG. PARCIAL (m)	LONG. TOTAL (m)	RESO (kg)	OBSERVACION
6	PLA 300x90x12	-	8	221.64	ASTM A-36
7	PLA 300x150x12	-	16	71.88	ASTM A-36
8	PLA 300x80x12	-	16	36.40	ASTM A-36
9	PLA 75x75x12	-	28	36.94	ASTM A-36
10	PLA 50x50x12	-	16	2.05	ASTM A-36
11	PLA 180x180x12	-	4	13.30	ASTM A-36
12	PLA 180x100x12	-	4	7.36	ASTM A-36
13	PLA 250x250x12	-	8	51.30	ASTM A-36
		TOTAL		445.90	

- ESPECIFICACIONES TECNICAS**
- ACEROESTRUCTURAL
 - ASTM A572 Gr. 50 (Viga IPE 300) fy= 3500 kg/cm²
 - ASTM A572 Gr. 50 (Viga IPE 180) fy= 3500 kg/cm²
 - ASTM A-500 (Columnas 150x150x4 mm) fy= 3500 kg/cm²
 - ASTM A-572 Gr. 50 (Ángulos 75x75x6 mm) fy= 3500 kg/cm²
 - ASTM A-36 Gr. 36 (Plancha de espesor 12 mm) fy= 2530 kg/cm²
- SOLDADURA: ELECTRODO AWS 7018 O SIMILAR APROBADO EN TALLER Y CAMPO.

VISTA FRONTAL D6



PROYECTO: LANZAMIENTO DE LAS VIGAS METÁLICAS DEL PUENTE SAN PEDRO EN LA VÍA CONOCOTO - AMAGUANA		ESCALAS: Indicadas
SUPERINTENDENTE: ING. NTO GORDILLO	PROYECTISTA: LUJES ERAZO	FECHA: NOVIEMBRE - 2018
DIRECTOR DE PROYECTO: ING. JUAN CARLOS PANTOJA	REPRESENTANTE LEGAL:	HORA: 2 DE 2
SUPERINTENDENTE:	DIRECTOR DE PROYECTO:	OBJETO: LUJES ERAZO

Esc: 1:10

CONCLUSIONES

Realizar el pórtico tiene un costo de 23 040 dólares, comparando al lanzamiento con las grúas y los rodillos es 3520 dólares y 1600 dólares más económico. Al diseñar esta metodología se nota la falta de información o normas para el diseño de lanzamientos de vigas metálicas, donde debería limitarse deflexiones o desplazamiento máximos. Para un buen comportamiento de la estructura se debe arriostrado la base, ya que sino se hace esto fallaría en caso de una colisión de maquinaria o fuerzas externas muy grandes. Este procedimiento se acopla perfectamente al déficit de espacio en el lugar y a la casa que esta en el eje del nuevo puente, al momento de mover el pórtico una maquinaria lo puede realizar sin ningún problema, ya que pesa 3200 kilogramos. El diseño cumple con todos los requerimientos del AISC 360-16 por LFRD. Por último, esta metodología de lanzamiento podrá ser usada y optimizadas por la empresa en cualquier otra ocasión para que se acople a futuros lanzamientos de vigas metálicas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A.N. Fontán, S., Hernández, A., Baldomir, & Díaz, J. (2012). Diseño óptimo del pico de lanzamiento de puentes lanzados. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Ingeniería*, 93-102.
- ADSTREN. (2017). ADSTREN. Obtenido de <http://www.adstren.com/puente-los-pjaros>
- Avellano, J. (1993). *Construcción de puentes de concreto mediante el sistema de lanzamiento sucesivo*. México DF: MEXPRESA.
- Cárdenas, J. (Noviembre de 2012). *Diseño y fabricación de los rodillos y malacate para el desplazamiento del puente metálico de vigas continuas sobre el río cebadas de 60 metros de longitud y procedimiento de lanzamiento (Tesis para obtención de título de Ingeniero Mecánico)*. Obtenido de <http://repositorio.espe.edu.ec/xmlui/handle/21000/6092>
- Erazo, F. (2012). MONTAJE DE LAS VIGAS DEL PUENTE PRINCIPAL (434 M) DEL PROYECTO “PUENTES SOBRE EL ESTUARIO DEL RIO ESMERALDAS Y VIAS DE ACCESO”. *Colegio de Ingenieros Civiles del Ecuador*, 1-4.
- Gruas Asabiaga S.A. (2015). Montaje Lanzavigas. *Grúas Asabiaga*, 78-104.
- Morales, E., Saltos, G., & Andrade, R. (2010). *Metodología de lanzamiento de las vigas metálicas del Puente Carrizal, Manabí*. Quito.
- Navarro-Mansoa, A., Alonso-Martínez, M., Del Coz Díaz, J. J., Castro-Fresnoc, D., & Álvarez-Rabanalba, F. (2014). Nuevo método de lanzamiento y sistema de empuje de puentes metálicos. *ScienceDirect*, 151-163.
- Pardina, M., Moreno, F., & Alfonso, F. (2003). Lanzamiento del Viaducto de Lanjaron. *II CONGRESO DE ACHE DE PUENTES Y ESTRUCTURAS* (págs. 1-13). Lanjarón: ACHE. Obtenido de Adurcal.

Perdomo, M., & Schneider, G. (Junio de 2011). *Estudio Comparativo de Puentes Construidos por Voladizos Sucesivos (Tesis de Maestría. Universidad Politécnica de Cataluña)*.

Obtenido de

<https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/12701/Estudio%20Comparativo%20de%20Puentes%20Construidos%20por%20Voladizos%20Sucesivos.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

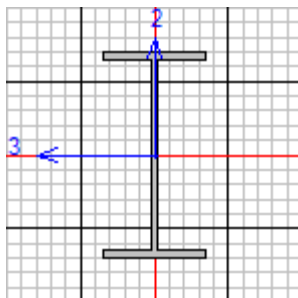
Romo, F. (2015). *Fernando Romo Consultores*. Obtenido de

<http://www.fernandoromo.com/puentechiche.html>

Sanchez, T., Robalino, A., & Graciano, C. (10 - 13 de Abril de 2018). Interaction Between Patch Loading, Bending, and Shear in Steel Girder Bridges Erected with the Incremental Launching Method. Baltimore, Maryland, Estados Unidos.

ANEXOS

1. Viga IPE240



AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : Tonf, m, C

Frame : 8 X Mid: 0.000 Combo: DSTL1 Design Type: Beam
Length: 6.580 Y Mid: 3.290 Shape: Viga IPE240 Frame Type: SMF
Loc : 3.977 Z Mid: 3.600 Class: Compact Princpl Rot: 0.000 degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis
D/C Limit=0.950 2nd Order: General 2nd Order Reduction: Tau-b Fixed
AlphaPr/Py=0.014 AlphaPr/Pe=0.138 Tau_b=1.000 EA factor=0.800 EI factor=0.800

PhiB=0.900 PhiC=0.900 PhiTY=0.900 PhiTF=0.750
PhiS=0.900 PhiS-RI=1.000 PhiST=0.900

A=0.004 I33=3.671E-05 r33=0.099 S33=3.059E-04 Av3=0.002
J=0.000 I22=2.827E-06 r22=0.028 S22=4.711E-05 Av2=0.001
E=20389019.16 fy=35153.481 Ry=1.100 z33=3.460E-04 Cw=0.000
RLLF=1.000 Fu=45699.526 z22=7.268E-05

DESIGN MESSAGES

Error: Section overstressed
Warning: $kl/r > 200$ (AISC E2)

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo DSTL1)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
3.977	-1.813	6.366	0.001	0.004	7.511E-04	-2.189E-04

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1b)

D/C Ratio: $1.628 = 0.087 + 1.540 + 0.000$
 $= (1/2)(Pr/Pc) + (Mr33/Mc33) + (Mr22/Mc22)$

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1b)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	0.696	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Minor Bending	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

LTB	Lltb	Kltb	Cb
	1.000	1.000	1.359

Axial	Pu Force	phi*Pnc Capacity	phi*Pnt Capacity
	-1.813	10.370	117.646

	Mu Moment	phi*Mn Capacity	phi*Mn No LTB	phi*Mn Cb=1
Major Moment	6.366	4.134	10.947	3.042
Minor Moment	0.001	2.299		

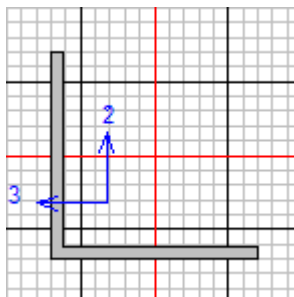
SHEAR CHECK

	Vu Force	phi*Vn Capacity	Stress Ratio	Status Check
Major Shear	0.004	28.247	0.000	OK
Minor Shear	7.511E-04	44.648	1.682E-05	OK

CONNECTION SHEAR FORCES FOR BEAMS

	VMajor Left	VMajor Right
Major (V2)	1.682	1.560

2. *Ángulos 75x75x4 mm*



AISC 360-16 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station)
Units : Tonf, m, C

Frame : 11 X Mid: 0.069 Combo: DSTL1 Design Type: Brace
 Length: 1.421 Y Mid: 6.080 Shape: Angulos 75x75x4 mFrame Type: SMF
 Loc : 1.421 Z Mid: 3.100 Class: Slender Princpl Rot: 45.000 degrees

Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis
 D/C Limit=0.950 2nd Order: General 2nd Order Reduction: Tau-b Fixed
 AlphaPr/Py=0.262 AlphaPr/Pe=0.413 Tau_b=1.000 EA factor=0.800 EI factor=0.800

PhiB=0.900 PhiC=0.900 PhiTY=0.900 PhiTF=0.750
 PhiS=0.900 PhiS-RI=1.000 PhiST=0.900

A=5.840E-04 I33=0.000 r33=0.024 S33=5.932E-06 Av3=3.000E-04
 J=0.000 I22=0.000 r22=0.024 S22=5.932E-06 Av2=3.000E-04
 Ixy=0.000 Imax=0.000 rmax=0.030 Smax=9.788E-06
 Rot= 45 deg Imin=0.000 rmin=0.015 Smin=4.565E-06
 E=20389019.16 fy=35153.481 Ry=1.100 z33=1.068E-05
 RLLF=1.000 Fu=45699.526 z22=1.068E-05

DESIGN MESSAGES

Error: Section overstressed

STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo DSTL1)

Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
1.421	-5.375	-0.073	-0.032	0.066	0.021	7.827E-06

PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H2-1)

D/C Ratio: 1.121 = 0.642 + 0.323 + 0.156
 = fa/Fa + fbw/Fbw + fzb/Fbz

AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H2-1)

Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	0.546
Minor Bending	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000

Lltb Kltb Cb

LTB	1.000	1.000	1.000	
	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt	
Axial	Force	Capacity	Capacity	
	-5.375	8.377	18.477	
	Mu	phi*Mn	phi*Mn	phi*Mn
	Moment	Capacity	No LTB	Cb=1
Major Moment	-0.074	0.230	0.338	0.230
Minor Moment	0.029	0.185		
SHEAR CHECK				
	Vu	phi*Vn	Stress	Status
	Force	Capacity	Ratio	Check
Major Shear	0.066	5.695	0.012	OK
Minor Shear	0.021	5.695	0.004	OK
BRACE MAXIMUM AXIAL LOADS				
	P	P		
	Comp	Tens		
Axial	-5.375	0.000		

3. Material de la viga IPE360

The image shows a 'Material Property Data' dialog box for a material named 'Viga'. The dialog is organized into several sections:

- General Data:** Material Name and Display Color (Viga), Material Type (Steel), and Material Notes (Modify/Show Notes...).
- Weight and Mass:** Weight per Unit Volume (7.849), Mass per Unit Volume (0.8004), and Units (Tonf, m, C).
- Isotropic Property Data:** Modulus Of Elasticity, E (20389019), Poisson, U (0.3), Coefficient Of Thermal Expansion, A (1.170E-05), and Shear Modulus, G (7841930).
- Other Properties For Steel Materials:** Minimum Yield Stress, Fy (35153.48), Minimum Tensile Stress, Fu (45699.53), Expected Yield Stress, Fye (38668.83), and Expected Tensile Stress, Fue (50269.48).

At the bottom, there is a checkbox for 'Switch To Advanced Property Display' (unchecked) and 'OK' and 'Cancel' buttons.

4. Material de las columnas 150x150x4 mm

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: Columnas ■

Material Type: Steel

Material Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 7.849

Mass per Unit Volume: 0.8004

Units: Tonf, m, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 20389019.

Poisson, U: 0.3

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 7841930.

Other Properties For Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 35153.48

Minimum Tensile Stress, Fu: 45699.53

Expected Yield Stress, Fye: 38668.83

Expected Tensile Stress, Fue: 50269.48

Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

5. Material de los ángulos 75x75x4 mm

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: Angulos ■

Material Type: Steel

Material Notes: [Modify/Show Notes...](#)

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 7.849

Mass per Unit Volume: 0.8004

Units: Tonf, m, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 20389019.

Poisson, U: 0.3

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 7841930.

Other Properties For Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 35153.48

Minimum Tensile Stress, Fu: 45699.53

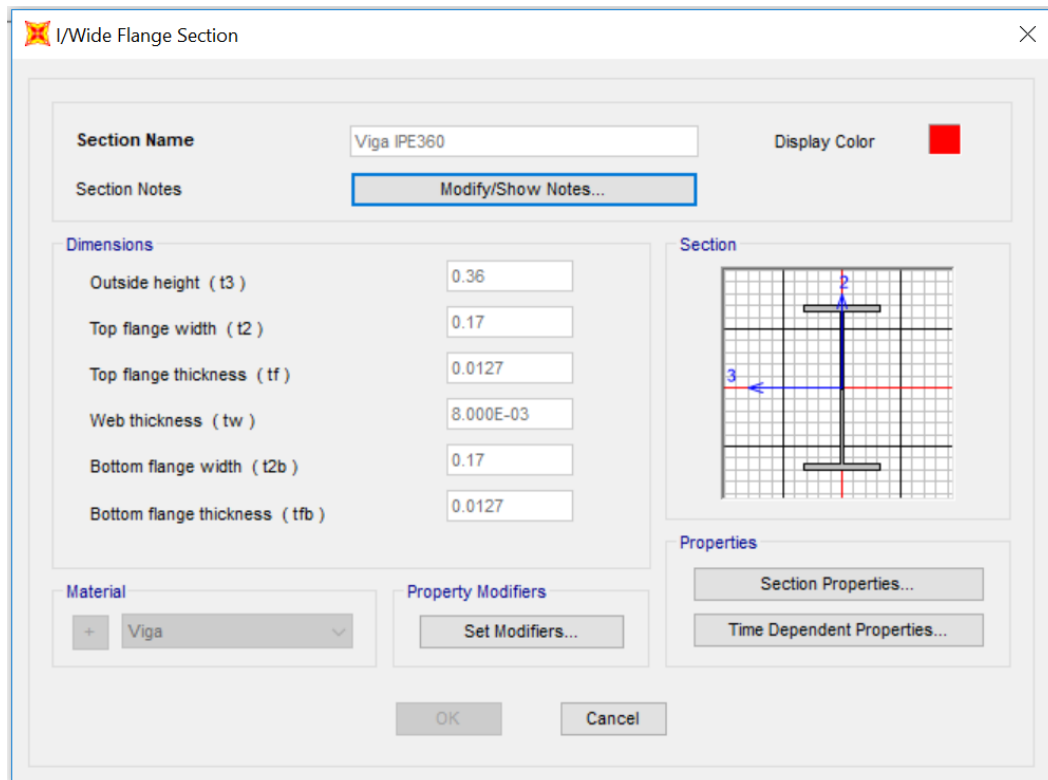
Expected Yield Stress, Fye: 38668.83


Expected Tensile Stress, Fue: 50269.48

Switch To Advanced Property Display

OK Cancel

6. Propiedades de la viga IPE360

 I/Wide Flange Section

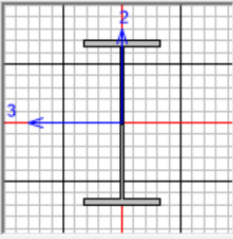
Section Name **Display Color** 

Section Notes

Dimensions

Outside height (t3)	<input type="text" value="0.36"/>
Top flange width (t2)	<input type="text" value="0.17"/>
Top flange thickness (tf)	<input type="text" value="0.0127"/>
Web thickness (tw)	<input type="text" value="8.000E-03"/>
Bottom flange width (t2b)	<input type="text" value="0.17"/>
Bottom flange thickness (tfb)	<input type="text" value="0.0127"/>

Section

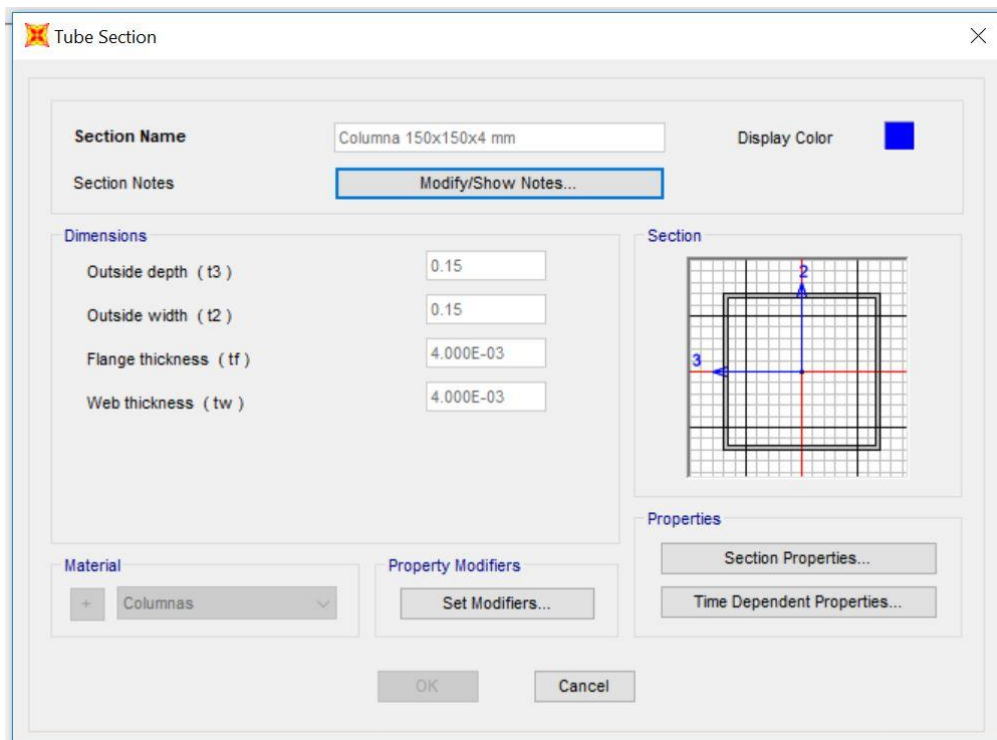



Material

Property Modifiers

Properties

7. Propiedades de las columnas 150x150x4 mm

 Tube Section

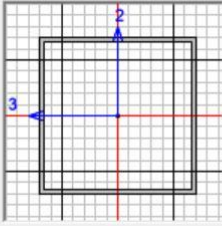
Section Name **Display Color** 

Section Notes

Dimensions

Outside depth (t3)	<input type="text" value="0.15"/>
Outside width (t2)	<input type="text" value="0.15"/>
Flange thickness (tf)	<input type="text" value="4.000E-03"/>
Web thickness (tw)	<input type="text" value="4.000E-03"/>

Section



Material

Property Modifiers

Properties

8. Propiedades de los ángulos 75x75x4 mm

Angle Section

Section Name: Angulos 75x75x4 mm Display Color: ■

Section Notes:

Dimensions

Outside vertical leg (t3) : 0.075

Outside horizontal leg (t2) : 0.075

Horizontal leg thickness (tf) : 4.000E-03

Vertical leg thickness (tw) : 4.000E-03

Section

Material: Angulos

Property Modifiers:

Properties:

9. Material de la viga IPE180

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: Viga ■

Material Type: Steel

Material Notes:

Weight and Mass

Weight per Unit Volume: 7.849

Mass per Unit Volume: 0.8004

Units: Tonf, m, C

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E: 20389019

Poisson, U: 0.3

Coefficient Of Thermal Expansion, A: 1.170E-05

Shear Modulus, G: 7841930

Other Properties For Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy: 35153.48

Minimum Tensile Stress, Fu: 45699.53

Expected Yield Stress, Fye: 38668.83

Expected Tensile Stress, Fue: 50269.48

Switch To Advanced Property Display

10. Propiedades de la viga IPE180

I/Wide Flange Section

Section Name: Viga IPE180 Display Color: ■

Section Notes:

Dimensions

Outside height (t3)	0.18
Top flange width (t2)	0.091
Top flange thickness (tf)	8.000E-03
Web thickness (tw)	5.300E-03
Bottom flange width (t2b)	0.091
Bottom flange thickness (tfb)	8.000E-03

Section

Material: Viga

Property Modifiers:

Properties:

11. Material de la placa A36

Material Property Data

General Data

Material Name and Display Color: A36 ■

Material Type: Steel

Material Notes:

Weight and Mass

Weight per Unit Volume	7.849
Mass per Unit Volume	0.8004

Units:

Isotropic Property Data

Modulus Of Elasticity, E	20389019.
Poisson, U	0.3
Coefficient Of Thermal Expansion, A	1.170E-05
Shear Modulus, G	7841930.

Other Properties For Steel Materials

Minimum Yield Stress, Fy	25310.507
Minimum Tensile Stress, Fu	40778.04
Expected Yield Stress, Fye	37965.76
Expected Tensile Stress, Fue	44855.84

Switch To Advanced Property Display

12. Propiedades de la placa A36

