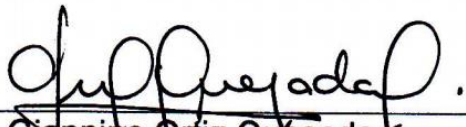


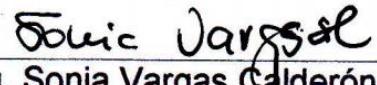
CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Rommel Cuevas Kauffmann, Ing. Giannina Ortiz Quesada, Ing. Ana Grettel Leandro Hernández, Ing. Sonia Vargas Calderón, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.


Ing. Rommel Cuevas Kauffmann.
En representación del Director


Ing. Giannina Ortiz Quesada.
Profesora Guía


Ing. Ana Grettel Leandro Hernández.
Profesora Lectora


Ing. Sonia Vargas Calderón.
Profesora Observadora

**Programación
de pila 3 y**



**estimación de duraciones para la
fabricación del acero estructural
en la rehabilitación del Puente
sobre el río, Virilla Ruta Nacional
1.**



Abstract

This report contains a comparison between the programs with different pier 3 constructive procedures and also a spreadsheet that calculates the duration of fabricating the required elements in the structural steel reinforcement.

The objectives are: the programming of pier 3 and the estimated duration for the structural steel fabrication. The identification of processes and tasks related to the intervention of the substructure, specifically to pier 3 and the superstructure, particularly the structural steel. Quantification of the requirements for each of the necessary tasks for the rehabilitation of each of the stages of the pier 3 sifting. Determination of the performance based on experts opinions and the companies database. Estimation of the duration for pier 3 based on different combinations of the constructive processes. Approximation of the duration, through a spreadsheet, of the fabrication of the reinforcing elements that entail the structural steel.

The results for the report required the use of Microsoft Excel, Microsoft Project, Auto Cad and the construction plans of the project.

Firstly, in the obtained results is the breakdown of the three schedules for the pier 3 intervention. On the other hand, the approximate duration of the fabrication process for the reinforcement elements that make up the structural steel was calculated with the spreadsheet.

The information about scheduling was provided to CODOCSA, to help with the decision about the pier 3 intervention. Likewise, the spreadsheet for calculating the approximate duration of the process for the reinforcement elements that make up the structural steel was provided for the same purpose as described above.

Keywords: Bridge, schedule, substructure, structural steel.

Resumen

Este informe presenta una comparación de tres programaciones de pila 3. A su vez, una memoria de cálculo que permite obtener las duraciones para la fabricación de los elementos requeridos en el reforzamiento del acero estructural.

Los objetivos establecidos son: la programación de pila 3 y la estimación de duraciones para la fabricación del acero estructural. La identificación de procesos y tareas de la intervención de la subestructura, específicamente de pila 3 y de la superestructura, particularmente del acero estructural. Cuantificación de requerimientos para cada una de las tareas necesarias para la rehabilitación de cada una de las etapas de colado de la pila 3. Determinación de rendimientos a base de expertos y base de datos de la empresa. Estimación de duraciones para pila 3 basado en diferentes combinaciones de procesos constructivos. Aproximación de la duración, mediante una memoria de cálculo, del proceso de fabricación de los elementos de refuerzo que conlleva el acero estructural.

Para la obtención de los resultados del informe fue necesario el uso de programas como Microsoft Excel, Microsoft Project, Auto Cad y los planos constructivos del proyecto.

En los resultados se encuentra el desglose de tres programaciones para la intervención de pila 3 y una memoria de cálculo con la duración aproximada de la fabricación de los elementos del reforzamiento del acero estructural.

La empresa CODOCSA cuenta con dichas programaciones para tomarlas en cuenta, en la decisión para la intervención de pila 3. Asimismo, se le brindó la memoria de cálculo de la duración de la fabricación de los elementos de acero estructural para el mismo fin, antes descrito.

Palabras claves: Puente, programación, rendimientos, subestructura, acero estructural.

Programación de pila 3 y estimación de duraciones para la fabricación del acero estructural en la rehabilitación del Puente sobre el río, Virilla Ruta Nacional 1.

GLORIANA BRENES MORA

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Julio del 2014

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

PREFACIO	1
RESUMEN EJECUTIVO	2
INTRODUCCIÓN	4
MARCO TEÓRICO	5
METODOLOGÍA	7
RESULTADOS	8
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	18
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	21
APÉNDICES	22
ANEXOS	45
REFERENCIAS.....	61

Prefacio

La rehabilitación del puente sobre el río Virilla en la Ruta Nacional 1 es un proyecto que se encuentra en desarrollo y de suma importancia para el país, debido a la carga vehicular que transita por él. La programación es uno de los aspectos relevantes que deben ser considerados para poder lograr, en el menor tiempo posible, cumpliendo con aspectos de calidad y costos requeridos en el proyecto.

El objetivo principal consistió en la programación de pila 3 y la estimación de duraciones para la fabricación del acero estructural. Los objetivos específicos se basaron en: la identificación de procesos y tareas de la intervención de la subestructura, específicamente de pila 3 y de la superestructura, particularmente del acero estructural. Cuantificación de requerimientos para cada una de las tareas necesarias para la rehabilitación de cada una de las etapas de colado de la pila 3. Determinación de rendimientos a base de expertos. Estimación de duraciones para pila 3 basado en diferentes combinaciones de procesos constructivos. Aproximación de la duración, mediante una memoria de cálculo, del proceso de fabricación de los elementos de refuerzo que conlleva el acero estructural.

Finalmente, se le agradece a la empresa CODOCSA por la oportunidad brindada, principalmente, a los Ingenieros Carlos León, Aarón Avendaño, Emilio Chávez y Martha Rojas por el apoyo y la enseñanza suministrada. Al departamento de Ingeniería en Construcción del Instituto Tecnológico de Costa Rica, sobre todo a la Ing. Giannina Ortiz por su guía y apoyo durante todo el proceso. Por último, a mis padres por su ayuda y su gran sacrificio para que pudiera realizar el proyecto.

Resumen ejecutivo

Para un proyecto con la magnitud como la Rehabilitación del Puente sobre el Río Virilla, en la Ruta Nacional 1, fue necesario realizar programaciones detalladas de algunas de las actividades que se encuentran en este lugar, para procurar cumplir con el tiempo estimado, tal fue el caso de la intervención en pila 3.

El proyecto realizado permitió brindarle a la empresa CODOCSA un parámetro de comparación entre diferentes procesos constructivos y tres distintas programaciones para ser tomadas en cuenta en la decisión final de la intervención en la pila 3. También, se le suministró a la empresa la duración aproximada de la fabricación para los elementos de reforzamiento del acero estructural para ser considerada a futuro.

Los objetivos establecidos se basan la programación de pila 3 y la estimación de duraciones para la fabricación del acero estructural. La identificación de procesos y tareas de la intervención de la subestructura, específicamente de pila 3 y de la superestructura, particularmente del acero estructural. Cuantificación de requerimientos para cada una de las tareas necesarias para la rehabilitación de cada una de las etapas de colado de la pila 3. Determinación de rendimientos a base de expertos. Estimación de duraciones para pila 3 basado en diferentes combinaciones de procesos constructivos. Aproximación de la duración, mediante una memoria de cálculo, del proceso de fabricación de los elementos de refuerzo que conlleva el acero estructural.

Para llevar a cabo los objetivos, mencionados anteriormente, fue necesario visitar el proyecto y conocer los procesos constructivos dados en cada una de las etapas tanto de pila 1 y 2, ya que para la 3 el proceso iba a ser similar. Se logró determinar que, para la intervención de pila 3, las

tareas requeridas en cada etapa de colado son: martelinado y picado; trazado, perforaciones, limpieza, inyección de epóxico, colocación de aros y ganchos, encofrado, colado, desencofrado y, finalmente, curado. Fue necesario establecer los rendimientos a las tareas descritas, por cual se realizó una aproximación con el Ing. Carlos León, quien se encuentra a cargo del proyecto, con el fin de utilizar como referencia los trabajos realizados en pila 1 y 2.

Luego de tener los rendimientos, se procedió a realizar los cálculos de materiales requeridos en cada una de las etapas para poder definir las duraciones requeridas.

Los procesos constructivos comparados fueron: el uso de bomba telescópica o el uso de balde con grúa para la actividad de colado, esta tuvo un rendimiento tres veces mayor el uso de bomba telescópica.

Para la actividad de la colocación de formaleta de fondo de viga, tanto para la intermedia como la cabezal, se comparó un primer método que permitía realizar un relleno hasta llegar a colocar las burras, las cuales son marcos de acero estructural, la cual tenía una duración de aproximadamente 17 días. Un segundo procedimiento era la instalación de las dalmines, estas son cerchas temporales postensadas, para este caso, serían utilizadas como soporte de vigas transversales que servirían de fondo para el encofrado, la cual tenía una duración de 7 días, aproximadamente.

Para las programaciones se tomó en cuenta el respectivo horario de trabajo del proyecto y la secuencia entre cada una de las actividades.

La primera programación consideró que, para el proceso de colado de concreto, se hiciera uso de bomba telescópica solamente y para la

colocación de formaleta de fondo de viga intermedio y cabezal se utilizaran las dalmines.

Por una parte, en la segunda programación se consideró hacer uso de balde en las columnas de la pila y bomba telescópica para la viga intermedia y cabezal para el proceso de colado. Por otra parte, el uso de dalmines para la colocación de formaleta de fondo de las vigas ya mencionadas.

La tercera programación tomó en cuenta el uso de una bomba telescópica solamente para el colado y para la colocación de formaleta de fondo de viga intermedio y cabezal, se utilizaron las "burras", las cuales requerían de un relleno previo.

En conclusión, se logró determinar que, aunque la duración del uso de balde para el proceso de colado sea tres veces mayor que el uso de bomba telescópica, comparado con las duraciones finales de las dos programaciones para la intervención de pila 3, solamente significó un día de diferencia, aproximadamente.

Además, si se utiliza el relleno para la colocación de las burras para el encofrado de la viga de fondo en lugar de las dalmines, se duraría cerca de 17 días más.

Para la intervención real de pila 3 se escogió la primera opción y, a su vez, se concluyó que la duración es un parámetro importante para la toma de decisiones. Sin embargo, existen otros factores que, de la misma manera, influyen dentro de la decisión final, como por ejemplo: los costos, la facilidad constructiva, accesibilidad, entre otros.

Para la elaboración de la memoria de cálculo que permitió obtener las duraciones de la fabricación de los elementos para el reforzamiento del acero estructural, fue necesario reconocer las diferentes tareas que se realizaban en el proceso de fabricación, tales como: corte, soldadura, perforaciones, *sand-blasting* y pintura. Asimismo, fue necesario analizar los planos preliminares disponibles.

El reforzamiento de los tramos de vigas de 27 metros de longitud consistirá en utilizar barras de postensión que generen una contra flecha, debido a que la losa que se va a colocar tiene un peso mayor que la existente. Para dicho reforzamiento, se requerirá de la fabricación de los "pañuelos", elementos de acero estructural, donde irán colocadas las barras.

Para el tramo que cuenta con un sistema de cerchas, tanto aguas arriba como abajo, se reforzará construyendo una cercha central.

Para determinar la duración de la fabricación de los elementos requeridos fue necesario determinar la cantidad de cortes, perforaciones, las secciones que requerían de soldadura y el área que necesitaba sand-blasting y pintura para cada uno de los elementos. Asimismo, fue necesario asignar los respectivos rendimientos a cada una de las actividades.

Se compararon las duraciones de los procesos de corte, soldadura, sand-blasting y pintura, en donde el proceso de soldadura es la actividad que mayor tiempo conlleva.

Finalmente, se obtuvo que la duración para la fabricación de los elementos necesitados para reforzar el acero estructural en el puente sobre el Río Virilla en la Ruta Nacional 1, es de aproximadamente 127 días.

Introducción

El puente sobre el Río Virilla en la Ruta Nacional 1, es un puente de gran importancia para el país, pues sobre él transita una gran cantidad de carga vehicular.

El puente fue construido 1960 y en los 54 años de funcionamiento no ha recibido el mantenimiento requerido y las veces que se ha intervenido han concluido sin éxito alguno. Es por esto, que la rehabilitación del Puente sobre el Río Virilla en la Ruta Nacional 1 debe realizarse, cumpliendo con aspectos de duración, costos y calidad que beneficien al país.

En el sector construcción, comúnmente, no se da la importancia necesaria a una buena programación de un proyecto y, por tanto, muchos de los proyectos concluyen sin cumplir todas las expectativas.

El presente informe se enfocó en la programación de actividades críticas, como la intervención de pila 3 y la fabricación de elementos de refuerzo para el acero estructural.

El objetivo general establecido es: la programación de pila 3 y la estimación de duraciones para la fabricación del acero estructural. Los objetivos específicos consisten en: La identificación de procesos y tareas de la intervención de la subestructura, específicamente de pila 3 y de la superestructura, particularmente del acero estructural. Cuantificación de requerimientos para cada una de las tareas necesarias para la rehabilitación de cada una de las etapas de colado de la pila 3. Determinación de rendimientos a base de expertos. Estimación de duraciones para pila 3 basado en diferentes combinaciones de procesos constructivos. Aproximación de la duración, mediante una memoria de cálculo, del proceso de fabricación de los elementos de refuerzo que conlleva el acero estructural.

Para cumplir con los objetivos fue necesario estar en el proyecto, específicamente, con el fin de definir las tareas requeridas en cada una de las

actividades. Asimismo, se procuró realizar las programaciones con valores más realistas, basados en rendimientos y cantidades específicas. Igualmente, la memoria de cálculo de la fabricación de los elementos para el reforzamiento del acero estructural.

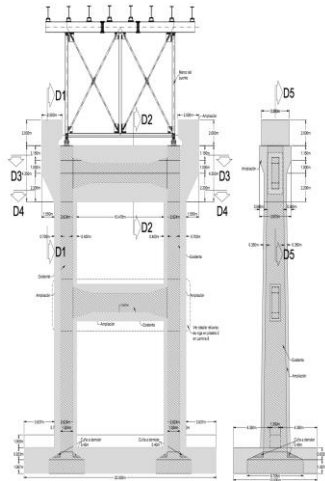
Los rendimientos utilizados fueron suministrados por el ingeniero a cargo del proyecto, por información suministrada del equipo utilizado y por los obtenidos por el Ing. Leonardo Arce en el proyecto del Puente Candelaria.

Además, fue necesario analizar los planos correspondientes de pila 3, para conocer a fondo las dimensiones, cantidades de acero, perforaciones, cantidad de concreto necesario por colar, área existente, entre otros. Asimismo, se requirió conocer las dimensiones específicas de todos los elementos necesarios para el reforzamiento del acero estructural que requería la superestructura del puente.

Al combinar los respectivos rendimientos con los datos generales, se logró obtener las duraciones de cada una de las tareas para, posteriormente, realizar las programaciones.

De esta manera se le brindó a la empresa CODOCSA, información que sirviera como base en la duración y para la toma de decisión de cómo intervenir en pila 3. A su vez, una memoria de cálculo que cuenta con las duraciones de diferentes tareas como corte, perforaciones, soldadura y sand-blasting, basadas en los planos preliminares del reforzamiento.

Figura 3. Pila 3, puente sobre el Río Virilla Ruta Nacional 1.

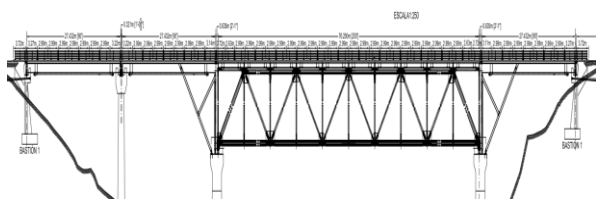


Fuente: Planos constructivos, rehabilitación del Puente sobre el Río Virilla, Ruta Nacional 1.

Superestructura Puente sobre el Río Virilla Ruta Nacional 1.

La superestructura del puente es un sistema de cerchas de paso superior con una longitud de 76m en el centro y a los extremos cuenta con vigas de 27m de longitud. Las cerchas con las que se cuentan, se encuentran ubicadas, tanto aguas arriba como abajo. En la figura 12 se muestra la superestructura.

Figura 4. Superestructura, Puente sobre el Río Virilla Ruta Nacional 1.



Fuente: Planos constructivos, rehabilitación del Puente sobre el Río Virilla, Ruta Nacional 1.

Para el proceso de fabricación de los elementos necesarios para el reforzamiento del acero estructural, se requiere tareas específicas de corte, soldadura, sand-blasting y pintura.

Corte: uno de los procesos utilizados para el corte de los elementos de refuerzo es el oxicorte. Según el Ingeniero Leonardo Arce, el oxicorte es la técnica utilizada para cortar láminas de acero, con el fin de obtener las placas del alma y los patines, se basa en el principio de la oxidación del metal, el cual se da al proyectar sobre el material a cortar una llama producida por oxígeno y gas combustible. En este caso, el acetileno es el encargado de precalentar la pieza hasta llevarla a la temperatura de combustión, punto donde mediante un chorro fino de oxígeno a presión se corta el metal y elimina los óxidos ferrosos. Este proceso puede ser manual con soplete o mediante una máquina de corte lineal.

Soldadura: se utilizaron dos tipos de soldadura:

- Tope: se utiliza la soldadura de tope para la unión de dos elementos metálicos, con el fin de lograr mejorar la penetración es necesario un biselado previo de una o ambas piezas.
- Filete: se utiliza la soldadura de filete para la unión de dos elementos metálicos perpendiculares entre sí. Es necesario apuntalarlas con el fin de lograr una mejor estabilidad y fijación. Finalmente, se requiere de una limpieza con una esmeriladora para la preparación de la junta.

Sand-blasting y pintura: es un proceso que permite la remoción de escamas de laminación y de materiales extraños mediante el método de "sand-blasting", al utilizar un chorro de arena a presión que permita la limpieza. Posteriormente, el sistema de pintura permite una protección anticorrosiva para el elemento y consta de tres capas tal y como se indica en planos:

- 1 capa de orgánico de zinc con un espesor de 3 mils de espesor.
- 1 capa de epóxico con un espesor de 2 mils.
- 1 capa de uretano con un espesor de 2 mils.

Metodología

Para lograr la programación fue necesario permanecer en el proyecto y conocer los procesos constructivos de la rehabilitación de las pilas 1 y 2 para determinar las tareas requeridas para la intervención de pila 3.

Posteriormente, fue necesario establecer rendimientos a dichas tareas, por lo cual se realizó una aproximación con el ingeniero a cargo del proyecto, utilizando como referencia los trabajos realizados en pila 1 y 2.

Luego se procedió a realizar los cálculos de materiales requeridos en cada una de las etapas de colado de pila 3. Se tomaron en cuenta valores como: el área de la nueva sección y de concreto existente; volumen requerido para el colado, cantidad de perforaciones y, finalmente, la cantidad de acero en ganchos y aros requeridos. Seguidamente, se procedió a calcular las duraciones de cada una de las tareas para las etapas de colado de la pila, basados en los rendimientos y los datos generales.

Finalmente, se realizaron las tres diferentes programaciones utilizando el programa Microsoft Project 2010, en donde se consideraron los distintos procesos constructivos; estos son los comparados para la actividad:

- 1) colado.
- 2) colocación de formaleta de fondo de viga tanto intermedia y cabezal.

En la actividad de colado, se podía realizar mediante dos métodos que la empresa consideraba convenientes. El primero era con la bomba telescópica; el segundo el haciendo uso del balde.

En la actividad de colocación de la formaleta para el fondo de vigas intermedio y cabezal, igualmente, se consideraron dos posibles procedimientos. El primero consistía en realizar un relleno, en donde se pudiera colocar las burras, las cuales son marcos de acero estructural que sirven de soporte para la

para la formaleta. El segundo procedimiento era la instalación de las dalmines, las cuales son cerchas temporales de acero utilizadas para la colocación de vigas transversales que servirían de fondo para la formaleta.

En todas las programaciones se tomó en cuenta el respectivo horario de trabajo del proyecto.

Para la elaboración de la memoria de cálculo, en donde se especifican las duraciones de la fabricación de los elementos para el reforzamiento del acero estructural, fue necesario reconocer las diferentes tareas realizadas en la fabricación.

Asimismo, se analizaron los planos preliminares que se tenían del tramo compuesto por cerchas de una longitud de 76 m y de las vigas de acero de tramos de 27 m.

Se requirió conocer para el tramo de las cerchas, las dimensiones específicas de cada uno de los perfiles que componen la nueva cercha central, reconocer la cantidad de cortes requeridos para la elaboración de dichos perfiles, así como las secciones que debían de soldarse, las que requerían de pernos y el área que necesitaba sand-blasting y pintura.

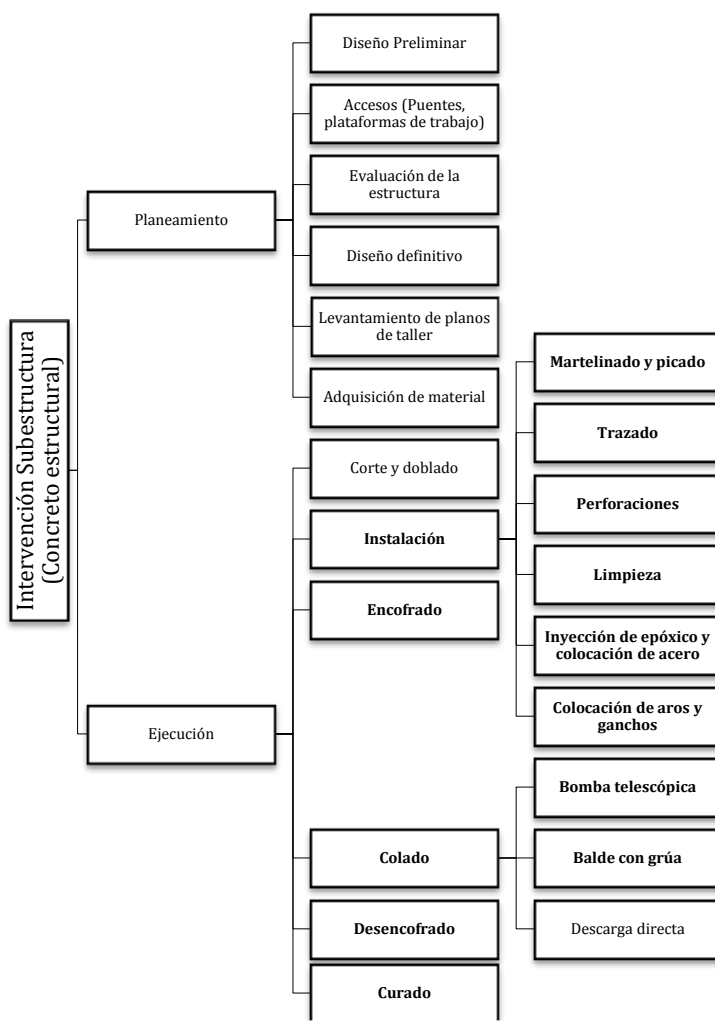
Asimismo, fue necesario asignar los respectivos rendimientos a cada una de las actividades, para, posteriormente, lograr obtener las duraciones. El mismo procedimiento se realizó para los apoyos.

A su vez, para el de los tramos de vigas de acero de 27 metros, se requería fabricar los pañuelos, elementos de acero, en donde son colocadas las barras de postensión, las cuales reforzarán dichos tramos. De la misma manera, en los perfiles y los apoyos, fue necesario conocer las dimensiones, la cantidad de corte, soldadura requerida y área de sand-blasting y pintura, para que, con sus respectivos rendimientos, se pudiera obtener las duraciones.

Resultados

En la siguiente figura se muestra el desglose de los procesos y de algunas tareas específicas para la intervención de la subestructura del puente.

Figura 5. Desglose de actividades y tareas para la intervención de la subestructura del puente sobre el río Virilla, Ruta Nacional 1.

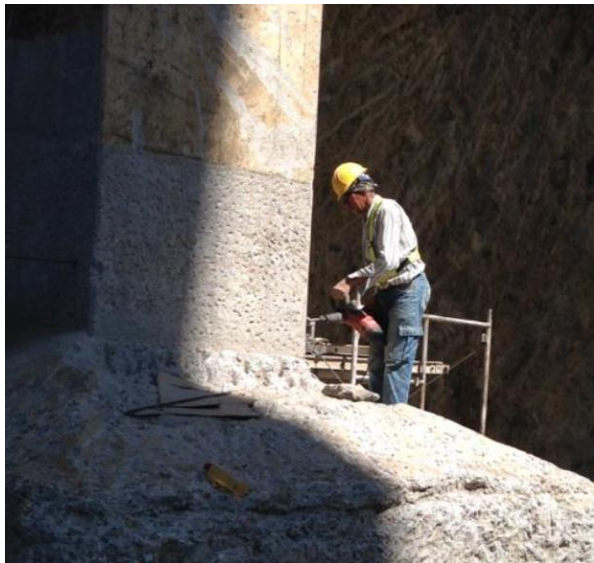


Fuente: Elaboración propia

Para la intervención en campo durante el proceso de instalación de los elementos de la subestructura del puente fue necesario realizar tareas específicas en cada una de las etapas de colado tales como:

a) Martelinado y picado: este proceso consiste en limpiar la zona de concreto existente para eliminar las impurezas y luego picar para conseguir una adherencia adecuada entre el concreto existente y el nuevo.

Figura 6. Proceso de martelinado en la primera etapa de columnas de pila 3.



Fuente: Elaboración propia

b) Trazado: es necesario realizar un trazado para ubicar donde se realizarán las respectivas perforaciones en el concreto existente. Como se muestra en la figura 3, el trazado está denotado de color amarillo.

Figura 7. Trazado en la placa de fundación de pila 3.



Fuente: Elaboración propia

c) Perforaciones: las perforaciones se realizan en el concreto existente para, posteriormente, realizar las inyecciones de epóxico para la colocación del acero.

Figura 8. Perforaciones en la placa de fundación de pila 3.

6



Fuente: Elaboración propia

d) Limpieza: luego de realizar las perforaciones, algunos residuos quedan dentro de estas, por lo que se requiere de un proceso de limpieza para que sea eficiente la inyección de epóxico y colocación del acero.

Figura 9. Proceso de limpieza en la placa de fundación de pila 3.



Fuente: Elaboración propia

e) Inyección de epóxico y colocación de acero: para entrelazar el concreto existente con el nuevo concreto, es necesario la colocación de acero, para dicho procedimiento se requiere utilizar epóxico que permita adherir el acero con el concreto existente.

Figura 10. Colocación de acero con epóxico en la placa de fundación de pila 3.



Fuente: Elaboración propia

f) Colocación de aros y ganchos: después de la inyección de epóxico y la colocación de acero; prosigue el proceso de armado, el cual consiste en colocar el acero de refuerzo requerido para la nueva etapa de la estructura.

Figura 11. Proceso de armado de la primera etapa de columnas para pila 3.



Fuente: Elaboración propia

g) Encofrado: es el proceso, en el cual se coloca la formaleta correspondiente para colocar el concreto. Para el caso del fondo de viga intermedio y cabezal en el proyecto de la "Rehabilitación del Puente sobre el Río Virilla, Ruta Nacional 1", se valoraron dos opciones; la primera opción consideraba un relleno previo para poder colocar las "burras" (marcos de acero estructural) que sirvieran de soporte para la colocación de vigas transversales, que, posteriormente, serán utilizadas, para colocar la formaleta tal como se muestra en la figura 9.

La segunda opción tomaba en cuenta el uso de dalmines (cerchas temporales de acero) y postensadas que, para este caso, serían utilizadas para la colocación de vigas transversales que servirían de fondo para la colocación de la formaleta tal y como se muestra en la figura 10.

Figura 12. Encofrado y sistema de utilización de “burras” para la formaleta de fondo de viga intermedio en pila 2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 13. Encofrado y sistema de utilización de dalmines para la formaleta de fondo de viga intermedio en pila 2.



Fuente: Elaboración propia

h) Colado: es uno de los procesos más importantes de todas las actividades requeridas en la rehabilitación. Para el proyecto se consideraron dos procesos distintos. El primero, es el colado con bomba telescópica, como se muestra en la figura 10 y el segundo es con el uso de balde, como se muestra en la figura 11.

Figura 14. Colado con bomba telescópica para la viga intermedio de pila 2.



Fuente: Elaboración propia

Figura 15. Colado haciendo uso del balde de grúa para una de las etapas de columna para pila 2.



Fuente: Elaboración propia

i) Desencofrado: consiste en la remoción de la formaleta cuando ya el concreto alcance la resistencia requerida.

j) Curado con membrana: Este procedimiento se realiza luego de desencofrar, se requiere para darle un mejor acabado al concreto.

PROGRAMACIÓN DE PILA 3 Y ESTIMACIÓN DE DURACIONES PARA LA FABRICACIÓN DEL ACERO ESTRUCTURAL EN LA REHABILITACIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA, RUTA NACIONAL 1

En el cuadro 1 se muestra un resumen de la cuantificación de requerimientos para cada una de las tareas necesarias para la rehabilitación de cada etapa de colado de pila 3.

CUADRO 1. DATOS GENERALES PILA 3					
Etapa	Área requerida para formaleta m2	Área de concreto existente m2	Volumen de colado m3	Cant. Perforaciones Unid	Acero de refuerzo kg
II (2,40m)	57,16	39,90	23,00	288,00	308,60
III (2,40m)	56,12	38,86	22,10	288,00	308,60
IV (Ajuste 0,82m)	19,00	13,10	3,73	96,00	108,70
V Viga Intermedio	137,20	91,48	99,13	600,00	608,40
VI (2,40m)	53,48	36,30	20,60	288,00	308,60
VII (2,40m)	52,44	35,24	20,03	288,00	308,60
VIII (Ajuste 1,62m)	34,86	23,14	13,30	216,00	231,50
IX Viga Cabezal	163,36	97,52	128,30	504,00	3883,14
X Viga Cabezal	97,42	24,94	110,15	84,00	2610,66

Fuente: Elaboración propia

El cuadro 2 representa el cálculo de duraciones realizado para cada tarea, según los requerimientos obtenidos en el cuadro 1; así mismo, los rendimientos aproximados para cada una de las etapas de colado necesarias para la rehabilitación de pila 3.

CUADRO 2.RENDIMIENTOS DE LAS ACTIVIDADES Y DURACIONES EN HORAS PARA CADA ETAPA PILA 3										
Actividad	Rendimiento	DURACIONES EN HORAS								
		II <small>(2,40m)</small>	III <small>(2,40m)</small>	IV <small>Ajuste 0,82m</small>	V <small>Viga Intermedio</small>	VI <small>(2,40m)</small>	VII <small>(2,40m)</small>	VIII <small>Ajuste 1,62m</small>	IX <small>Viga Cabezal</small>	X <small>Viga Cabezal</small>
Martelinado y picado	2m ² /h	10,0	9,7	3,3	22,9	9,1	8,8	5,8	24,4	6,2
Trazado	40unid/h	3,6	3,6	1,2	7,5	3,6	3,6	2,7	6,3	1,1
Perforaciones	12unid/h	12,0	12,0	4,0	25,0	12,0	12,0	9,0	21,0	3,5
Limpieza	42unid/h	3,4	3,4	1,1	7,1	3,4	3,4	2,6	6,0	1,0
Inyección de epóxico y colocación de acero	24unid/h	6,0	6,0	2,0	12,5	6,0	6,0	4,5	10,5	1,8
Colocación de aros y ganchos	12kg/h	12,9	12,9	4,5	25,4	12,9	12,9	9,6	161,8	108,8
Encofrado	2m ² /h	14,3	14,0	4,8	34,3	13,4	13,1	8,7	40,8	24,4
Colado con Bomba Telescópica	18m ³ /h	1,3	1,2	0,2	5,5	1,1	1,1	0,7	7,1	6,1
Colado con Balde	6m ³ /h	3,8	3,7	0,6	16,5	3,4	3,3	2,2	21,4	18,4
Desencofrado	4m ² /h	7,1	7,0	2,4	17,2	6,7	6,6	4,4	20,4	12,2
Curado con membrana	24m ² /h	1,2	1,2	0,4	2,9	1,1	1,1	0,7	3,4	2,0

Fuente: Elaboración propia

PROGRAMACIÓN DE PILA 3 Y ESTIMACIÓN DE DURACIONES PARA LA FABRICACIÓN DEL ACERO ESTRUCTURAL EN LA REHABILITACIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA, RUTA NACIONAL 1

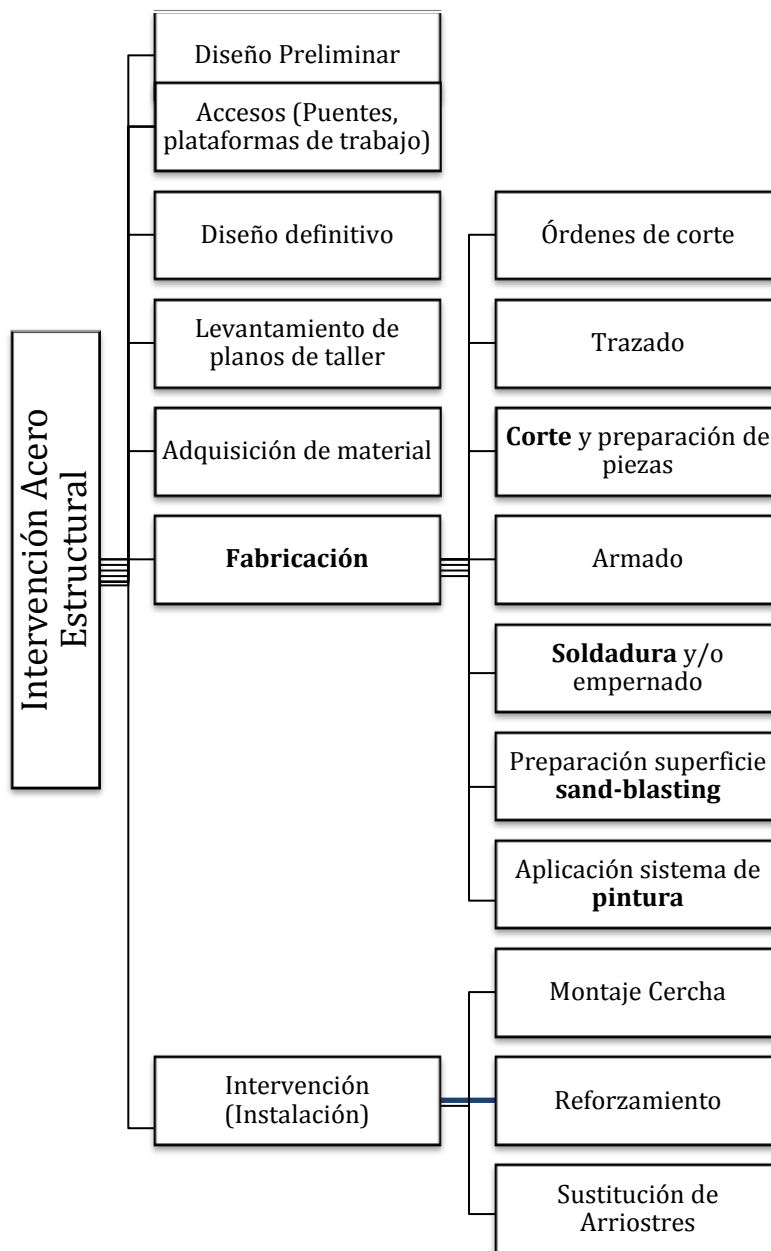
En el cuadro 3 se muestra un resumen de las duraciones de los diferentes procesos constructivos con distintos recursos, programados en el programa Project 2010, que cuenta con un total de 187 actividades, el detalle de las mismas se encuentran en los apéndices 1, 2 y 3.

CUADRO 3. DURACIÓN DE LAS PROGRAMACIONES PILA 3		
Programación	Proceso constructivo y recursos	Duración en días
1	-Colado de concreto: bomba telescópica. -Colocación de formaleta de fondo de viga intermedia y cabezal: dalmines.	106,69
2	-Colado de concreto: balde de grúa en las columnas de la pila, bomba telescópica para la viga intermedio y viga cabezal. -Colocación de formaleta de fondo de viga intermedia y cabezal: dalmines.	107,24
3	-Colado de concreto: bomba telescópica. -Colocación de formaleta de fondo de viga intermedia y cabezal: "burras", las cuales requerían de un relleno previo.	124,25

Fuente: Elaboración propia

En la figura 15 se muestra el desglose de actividades y algunas tareas específicas para la Intervención del acero estructural.

Figura 16. Desglose de actividades y tareas para la intervención del acero estructural del puente sobre el río Virilla Ruta Nacional 1.



Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 4 se muestra detalladamente las distintas duraciones de la fabricación de los elementos requeridos para el reforzamiento de la cercha de acero estructural.

El detalle de cada uno de los perfiles se muestra en el anexo 1.

CUADRO 4. FABRICACIÓN DE LOS PERFILES							
Elemento	Cantidad	Duración del elemento en días				Duración de la fabricación por perfil en días	Duración total de la fabricación en días
		Corte	Perforaciones	Soldadura	Sand-blasting y pintura		
Perfil B	4	-	0,304	-	0,550	0,854	3,416
Perfil C	2	0,042	0,360	2,858	0,552	3,811	7,623
Perfil E	2	0,041	0,194	0,925	0,121	1,281	2,562
Perfil F	4	0,030	0,159	0,926	0,120	1,235	4,455
Perfil G	2	0,075	0,844	3,674	0,547	5,140	10,279
Perfil H	2	0,113	1,079	3,669	0,554	5,415	10,830
Perfil I	1	0,203	1,148	3,669	0,559	5,579	5,579
Perfil J	4	0,030	0,526	2,130	0,387	3,073	12,290
Perfil K	4	0,029	0,526	2,129	0,387	3,072	12,288
Total	25	-	-	-	-	-	69,322

Elaboración propia

En el cuadro 5 se muestra la duración de la fabricación de los apoyos necesarios para el reforzamiento de la cercha de acero estructural. El detalle de los apoyos se muestra en el anexo 2.

CUADRO 5. FABRICACIÓN DE LOS APOYOS						
Elemento	Cantidad	Duración del elemento en horas			Duración de la fabricación por apoyo en horas	Duración total de la fabricación en horas
		Corte	Soldadura	Sand-blasting y pintura		
Apoyos	2	5,826	9,879	1,255	8,480	18,214

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 6 se muestra el detalle de la duración de la fabricación de los elementos requeridos para el reforzamiento de los tramos de las vigas de acero. El detalle de los pañuelos se muestra en el anexo 3.

CUADRO 6. FABRICACIÓN DE PAÑUELOS						
Elemento	Cantidad	Duración del elemento en horas			Duración de la fabricación por pañuelo en horas	Duración total de la fabricación en días
		Corte	Soldadura	Sand-blasting y pintura		
Pañuelo con 1 agujero	160	0,196	5,939	0,196	6,331	42,209
Pañuelo con 2 agujeros	48	0,235	6,637	0,277	7,149	14,299
Total	208	-	-	-	-	56,508

Fuente: Elaboración propia

Análisis de los resultados

En la figura 5 se muestra el desglose de actividades y algunas tareas necesarias en el planeamiento y en la ejecución para la intervención de la subestructura en el proyecto de la rehabilitación del puente sobre el río Virilla en la Ruta Nacional 1. Asimismo, se puede observar, en negrita, las tareas necesarias para realizar las tres programaciones actualizadas para la intervención de pila 3.

En el cuadro 1 se puede observar las etapas en las que fue dividida la pila de acuerdo a la altura de la formaleta que se iba a utilizar, paneles de 2,40m de altura y sus respectivos ajustes, de 0,82m y 1,62m para las etapas antes de la viga intermedio y cabezal respectivamente. En él no aparecen los datos generales de la primera etapa de colado, pues cuando se realizó la programación se encontraba finalizada.

Fue necesario utilizar los planos constructivos específicos de pila 3 para lograr la obtención de valores como el área de la nueva sección y del concreto existente; volumen requerido para el colado, cantidad de perforaciones y de acero en ganchos y aros requeridos para cada etapa. También, se observa que los valores, de lo mencionado anteriormente, disminuyen conforme aumenta la altura; lo anterior, debido a que la sección de la columna es de forma cónica, por lo cual las etapas de 2,40m no se pueden considerar iguales. Es importante recalcar que el concreto utilizado debía de cumplir especificaciones de resistencia de 280 kg/cm² con un revenimiento de 15 cm \pm 2,5 cm.

Para realizar las programaciones con la mayor precisión posible, se tomó la decisión de realizar una aproximación de rendimientos junto con el Ing. Carlos León, encargado del proyecto, en donde se utiliza como parámetro de comparación pila 1 y 2. Los rendimientos utilizados se muestran en el cuadro 2, cabe resaltar que para cumplir con las duraciones estimadas fue necesario utilizar doble cuadrilla en cada una de

las tareas, es decir, un operador por columna. En el caso de las tareas resaltadas con negrita es necesario hacer uso de dos operadores por columna.

También, en el cuadro 2 se muestran las duraciones en horas de cada tarea para cada etapa de colado de pila 3, de acuerdo con los rendimientos y los datos generales presentados en el cuadro 1. A su vez, en él se observa la diferencia en el rendimiento, por tanto, en la duración de colar con bomba telescópica o con el uso del balde, el cual determina que al utilizar un balde se dura aproximadamente tres veces más que con el uso de bomba telescópica. Sin embargo, para tomar la decisión del método se necesita tomar en consideración, no solo la duración, si no otras variables como costos, facilidad constructiva, accesibilidad, entre otros.

En el cuadro 3 se muestra el resumen de las programaciones realizadas para pila 3 en el programa Project; la primera utiliza la bomba telescópica solamente para el proceso de colado. A su vez, para la colocación de formaleta de fondo de viga intermedia y cabezal se programó de forma, en donde se hiciera uso de dalmines.

La segunda utilizó balde en las columnas y bomba telescópica para la viga intermedia y cabezal, igualmente que la programación 1, se utilizó dalmines para el encofrado de fondo de las vigas antes mencionadas.

Finalmente, la programación 3 se realizó, solamente, con bomba telescópica y para la colocación de formaleta en fondo de viga tanto intermedia como cabezal. Se hace uso de unos elementos denominados "burras" requeridas, previamente, de un relleno para poder colocarlas.

Cada una de las programaciones cuenta con una jornada de 24 horas, ya que en el proyecto se trabaja un turno de 6:00 a.m. a 6:00 p.m. y otro de 6:00 p.m. a 6:00 a.m. Cada 15 días se realiza un cambio, es decir, las cuadrillas que estaban de

noche pasan a trabajar de día y aquellas que trabajan en jornada diurna pasan a la nocturna. Cabe destacar que, ese fin de semana de cambio de turno se trabaja solamente el sábado hasta las 6:00 p.m. El domingo es no laborable y lunes se ingresa a las 6:00 a.m.

Las consideraciones mencionadas anteriormente se tomaron en cuenta para la programación. Asimismo, se tomó en cuenta para que las actividades como la instalación de dalmines, excavación y relleno, solamente, se podían realizar en el día. Esto debido a que se requiere de un operador de maquinaria pesada (grúa, excavadora, back hoe) para realizar dichas tareas y el proyecto solamente contaba con uno. Los días feriados como el 11 de abril, Semana Santa y 1 de mayo no fueron tomados en cuenta, ya que en el momento, en donde se llevó a cabo la programación se desconocía si se iban a laborar o no, debido a las características y la importancia de este.

Al hacer las programaciones específicas de pila 3 se tomó la decisión de incluir lo ya realizado, con sus fechas específicas de inicio y finalización, con el fin de registrar todas las actividades y las duraciones necesarias para la intervención completa.

Para algunas actividades no se contaba con rendimientos; por lo tanto, se le hizo la consulta al ingeniero a cargo del proyecto para tener una duración aproximada de ellas. Las actividades fueron el relleno con una duración de 15 días, la instalación de burras y dalmines, las cuales demorarían 2 y 7 días respectivamente y, finalmente, la colocación de acero de postensión tardaría 10 días.

Al comparar las duraciones de las tres programaciones mostradas en el Cuadro 3, se estableció una considerable diferencia entre la primera y segunda con la tercera, la cual es de aproximadamente 17 días, lo que indica que si pila 3 es prioridad (por ser una actividad crítica) queda prácticamente descartado utilizar el relleno y la instalación de las burras como una opción.

A su vez, si se compara la programación 1 con la 2 se puede observar una diferencia mínima de aproximadamente 1 día, lo cual quiere decir que aunque el rendimiento sea tres veces mayor con

bomba telescópica que con el uso del balde; en la programación de la pila 3, no tiene tanta relevancia, en cuanto a duración.

En la figura 16, se muestra un desglose de actividades necesarias para la intervención del acero estructural para el puente sobre el río Virilla en la Ruta Nacional 1. La fabricación de los elementos se decidió analizar para tener una noción del tiempo requerido. Lo anterior, debido a que la determinación de las dimensiones de los elementos son basados en los planos preliminares. Sin embargo, la memoria de cálculo fue diseñada para contemplar futuros cambios en los elementos. Las tareas específicas que se analizaron fue corte, perforaciones con taladro en el taller, soldadura, sand-blasting y pintura.

Para el reforzamiento del tramo de cerchas de acero estructural existente, es necesaria la instalación de un nuevo tramo central que se asemeje a las cerchas encontradas, actualmente, en aguas arriba y abajo. Para lo anterior, se necesita la fabricación de nuevos elementos detallados en planos como perfiles C,B,E,F, los cuales componen las diagonales de la cercha.

Asimismo perfiles G, H, I componen la cuerda inferior y finalmente, en J, K; perfiles son parte de la cuerda superior. Además, es necesario reforzar con la instalación en el sitio de un sobre placa los perfiles A, los cuales se encuentran los existentes y por donde pasará el nuevo tramo central. Para conocer el tiempo de fabricación de los nuevos elementos de la cercha fue necesario analizar cada uno y las dimensiones de ellos. También, se analizaron las perforaciones para las uniones requeridas, pernos, cantidad de soldadura, cortes necesarios y área requerida para el sand-blasting y pintura.

En el cuadro 4 se muestra un resumen de las duraciones requeridas para la fabricación de cada uno de los elementos, desglosado en las tareas específicas de corte, perforaciones, soldadura y finalmente sand-blasting y pintura.

El corte de cada uno de los elementos se realiza con el plasma. Cabe destacar que, para las perforaciones de 7/8" requeridas para las uniones se realiza la mitad en el taller con un taladro y la otra mitad en el sitio cuando se va a instalar.

Lo anterior para lograr una mayor precisión; por tanto, en la memoria de cálculo solamente se

consideraron las perforaciones necesarias en el taller en el momento de la fabricación.

Los rendimientos para corte fueron suministrados por la información del equipo; los de las perforaciones con taladro, fueron brindados por el ingeniero a cargo del proyecto, Carlos León. Finalmente, para las tareas de soldadura, sand-blasting y pintura se utilizaron los calculados por el Ing. Leonardo Arce para el Puente Candelaria.

Comparando las duraciones en el cuadro 4 se observa como en las diagonales de los perfiles C, B, E, F aquel que conlleva mayor tiempo es el perfil C. Lo anterior, se debe a que es una sección compuesta y, además, requiere de agujeros a lo largo de esta.

También, el perfil B, requiere menos tiempo, pues es una viga tipo W 14x159 (es decir, ya con sus respectivas dimensiones). Finalmente, los perfiles E y F tiene duraciones similares, ya que entre ambas lo que varía es el espesor del alma y de las alas, teniendo mayor espesor el E; por consiguiente, una duración mayor en su fabricación, mas no relevante, ya que es de aproximadamente 1 hora. Dicha diferencia se da, específicamente, en la tarea de corte y perforaciones; las tareas de soldadura, sand-blasting y pintura poseen la misma duración.

Para los perfiles de la cuerda inferior G, H, I, los de sección compuesta y características semejantes se observa como el I es el que mayor tiempo requiere, luego el H y por último el G. Lo anterior, debido a los espesores varían entre ellas. Igualmente, que los ubicados en las diagonales.

La diferencia entre los elementos de la cuerda inferior se dan, significativamente, en las tareas de corte y perforaciones. Finalmente, para los perfiles de la cuerda superior J y K el tiempo que se requiere para la fabricación es muy similar entre ambos debido a que la diferencia de espesores solo se presenta en los patines y no en el alma o los angulares como en los anteriores.

Los perfiles con mayor tiempo de fabricación requieren son los que se encuentran en la cuerda inferior, ya que su longitud es el doble que la de elementos de la superior y mayor que los que van ubicados diagonalmente.

La duración total de la fabricación de los 25 perfiles requeridos para el tramo central de la cercha de acero es de aproximadamente 70 días, de los cuales la menor parte se dedica al corte con una duración de 1 día. También, la actividad que mayor tiempo necesita es la de soldadura con una duración de aproximadamente 47 días, las perforaciones requiere de 12 días y sand-blasting y pintura 10 días.

Para la construcción del tramo central es necesario la elaboración de los apoyos ubicados a los extremos, para la fabricación de estos se requiere realizar el corte con oxiacetileno, rendimiento obtenido del proyecto del Ing. Leonardo Arce en el Puente Candelaria, al igual que los rendimientos en soldadura, sand-blasting y pintura.

El tiempo requerido para la fabricación de un apoyo es de 8,5 horas, aproximadamente; por lo cual la duración total de los dos es de 17 horas, de las cuales cerca de seis son para la tarea de corte, una para el sand-blasting y pintura; y, finalmente, con el mayor tiempo requerido la tarea de soldadura, con una duración de 10 horas.

Para el reforzamiento de los 3 tramos de vigas de acero de 27 metros es necesario realizar el método de postensado, el cual requiere la fabricación de "pañuelos" de 1 y 2 agujeros, con el fin de colocar dichas barras de postensión. Se requiere un total de 160 con un agujero y 48 de 2 agujeros. La duración fabricando estos últimos, es mayor a los del primer tipo si se analiza unitariamente. Sin embargo, debido a las cantidades requeridas, la duración final es de 42 días para los pañuelos de 1 agujero y 14 días para los pañuelos de 2 agujeros, obteniendo una duración final de fabricación de aproximadamente 56 días de los cuales 53 de ellos son para la tarea de soldadura.

Para la fabricación de todos los elementos requeridos para el reforzamiento el acero estructural del puente sobre el Río Virilla en la Ruta Nacional 1 se necesitan cerca de 127 días, de los cuales la mayoría del tiempo se invierte en la actividad de soldadura con un total de 100 días.

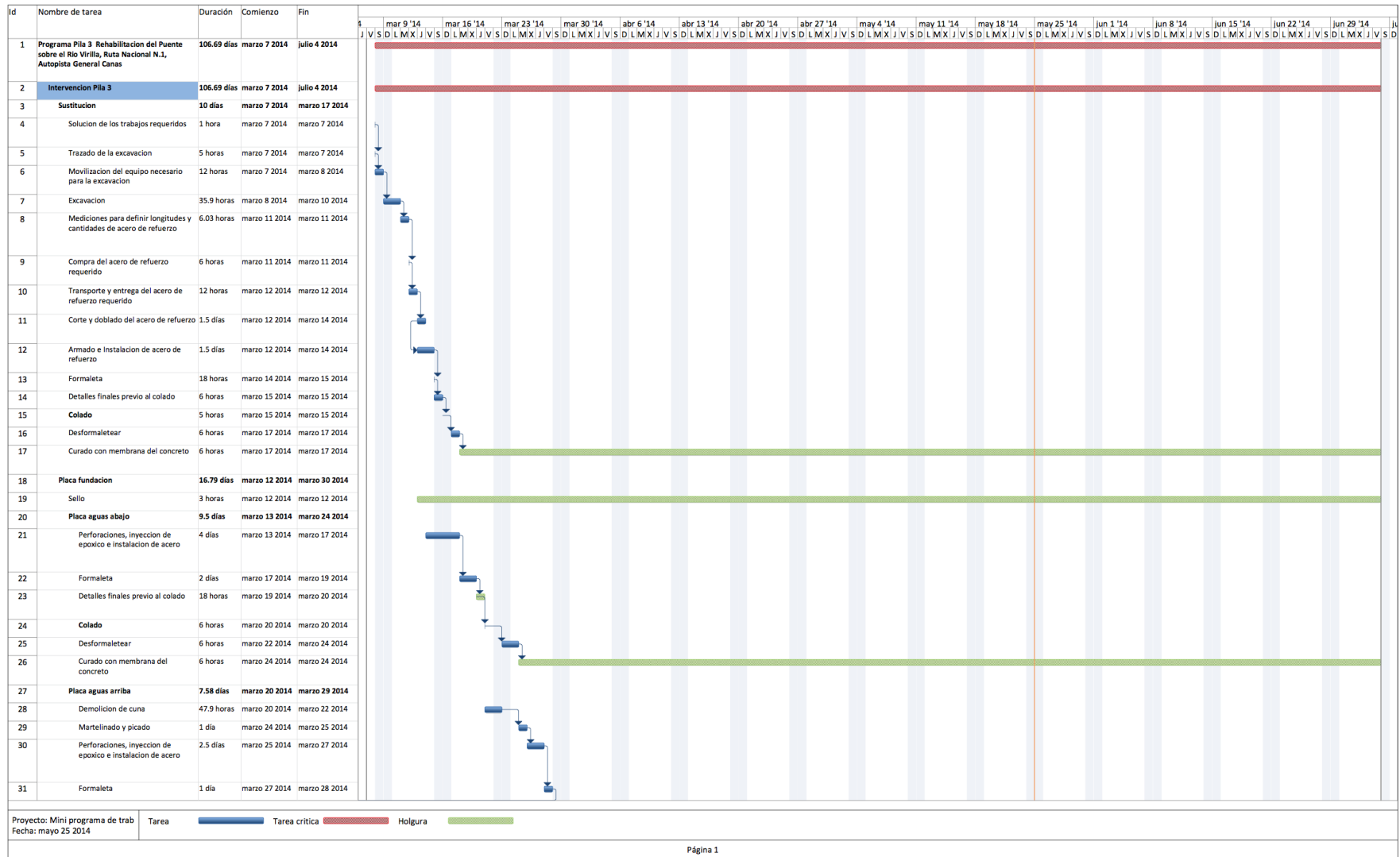
Conclusiones y recomendaciones

- Para la intervención de una subestructura de un puente de concreto reforzado, se identificaron los siguientes procesos como los más importantes en cada etapa de colado, los cuales son: martelinado y picado, trazado, perforaciones, limpieza, inyección de epóxico y colocación de aros y ganchos, encofrado, colado, desencofrado y finalmente curado.
- Para un proyecto como la Rehabilitación del Puente sobre el Río Virilla en la Ruta Nacional 1 se requiere ir actualizando la programación propuesta al inicio de este y, si es necesario, se deben de realizar programaciones detalladas de algunas de las actividades encontradas en la ruta crítica para procurar cumplir con el tiempo estimado.
- Para realizar una programación con datos más realistas es necesario conocer los rendimientos con los que se cuenta, para que de esta manera se logre determinar duraciones que no sean subjetivas y así lograr la mayor precisión posible, proporcionando al proyecto un aspecto que se pueda considerar para la toma de decisiones.
- La duración, si se utiliza el balde para el proceso de colado, es aproximadamente tres veces más que si se usa el proceso de bomba telescópica debido a que sus rendimientos son de 6m³h y 18m³h respectivamente.
- Aunque la duración del uso de balde de grúa para el proceso de colado sea tres veces mayor que el uso de bomba telescópica, comparando las duraciones finales de las dos programaciones para la intervención de pila 3, solamente significo 1 día de diferencia, aproximadamente.
- Comparando las programaciones 1 y 2 con la 3, si se utiliza el relleno para la colocación de las burras para el encofrado de la viga de fondo en lugar de las dalmines, se duraría cerca de 17 días más.
- La duración es un parámetro importante para la toma de decisiones; sin embargo, existen otros factores que, de la misma manera, influyen dentro de la decisión final, como por ejemplo los costos, la facilidad constructiva, accesibilidad, desgaste físico de la mano de obra, productividad de los trabajadores, entre otros.
- Según la memoria de cálculo elaborada, para la fabricación de los elementos para el reforzamiento del acero estructural se requiere aproximadamente 127 días, tomando en cuenta los elementos de la nueva cercha y la elaboración de los pañuelos utilizados para el reforzamiento de las vigas de 27m de longitud.
- Es la actividad de soldadura la que mayor tiempo requiere comparado con los procesos de corte, sand-blasting y pintura.
- Se le recomienda a la empresa CODOCSA continuar con las programaciones detalladas de las actividades críticas del proyecto para lograr un mejor control de este.
- Por otra parte se le recomiendo generar una base de datos que contenga los rendimientos necesarios para que se permita llevar un control adecuado de las programaciones.

Apéndices

PROGRAMACIÓN DE PILA 3 Y ESTIMACIÓN DE DURACIONES PARA LA FABRICACIÓN DEL ACERO ESTRUCTURAL EN LA REHABILITACIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA, RUTA NACIONAL 1

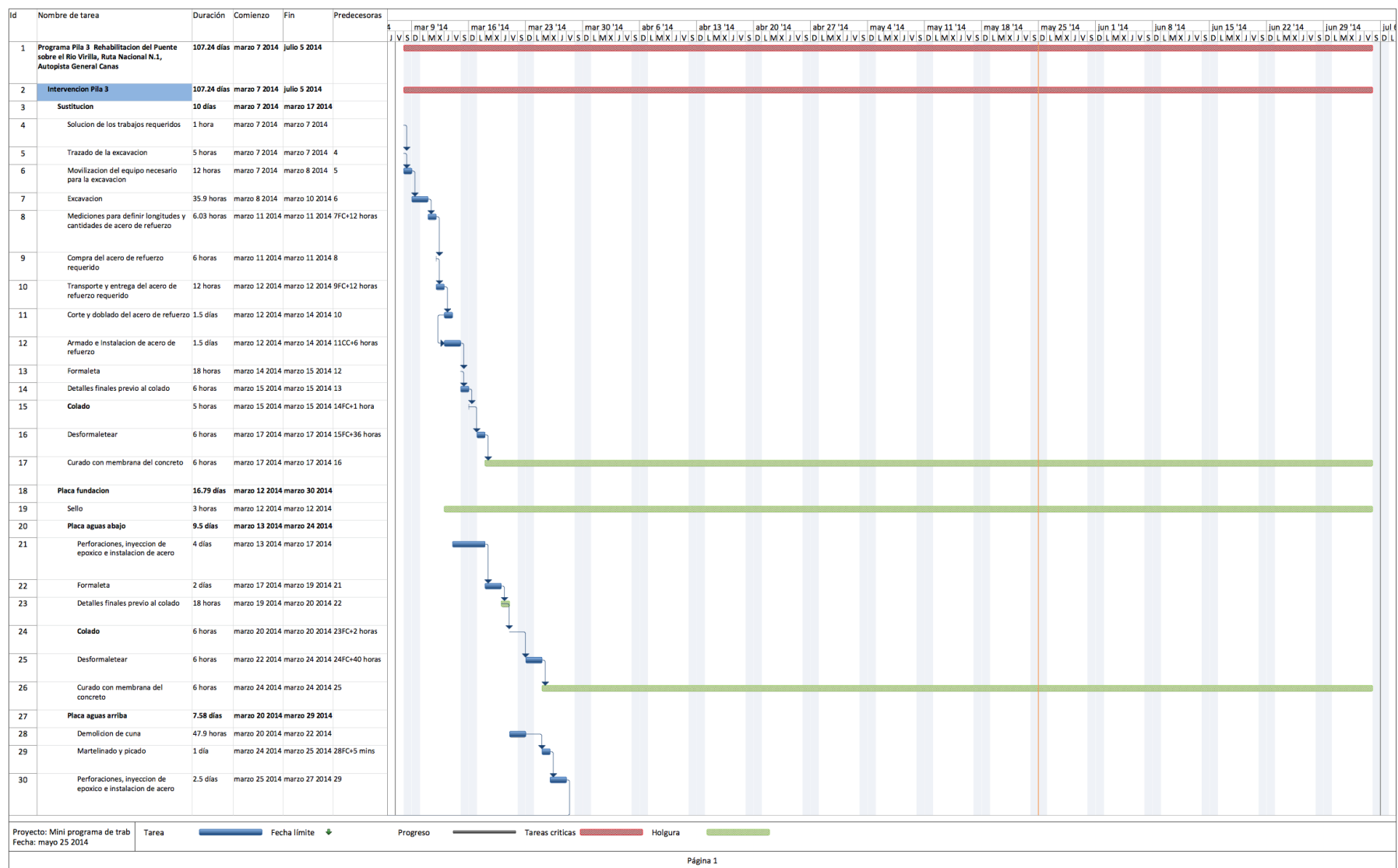
Apéndice 1. Programación 1



Fuente: Elaboración propia

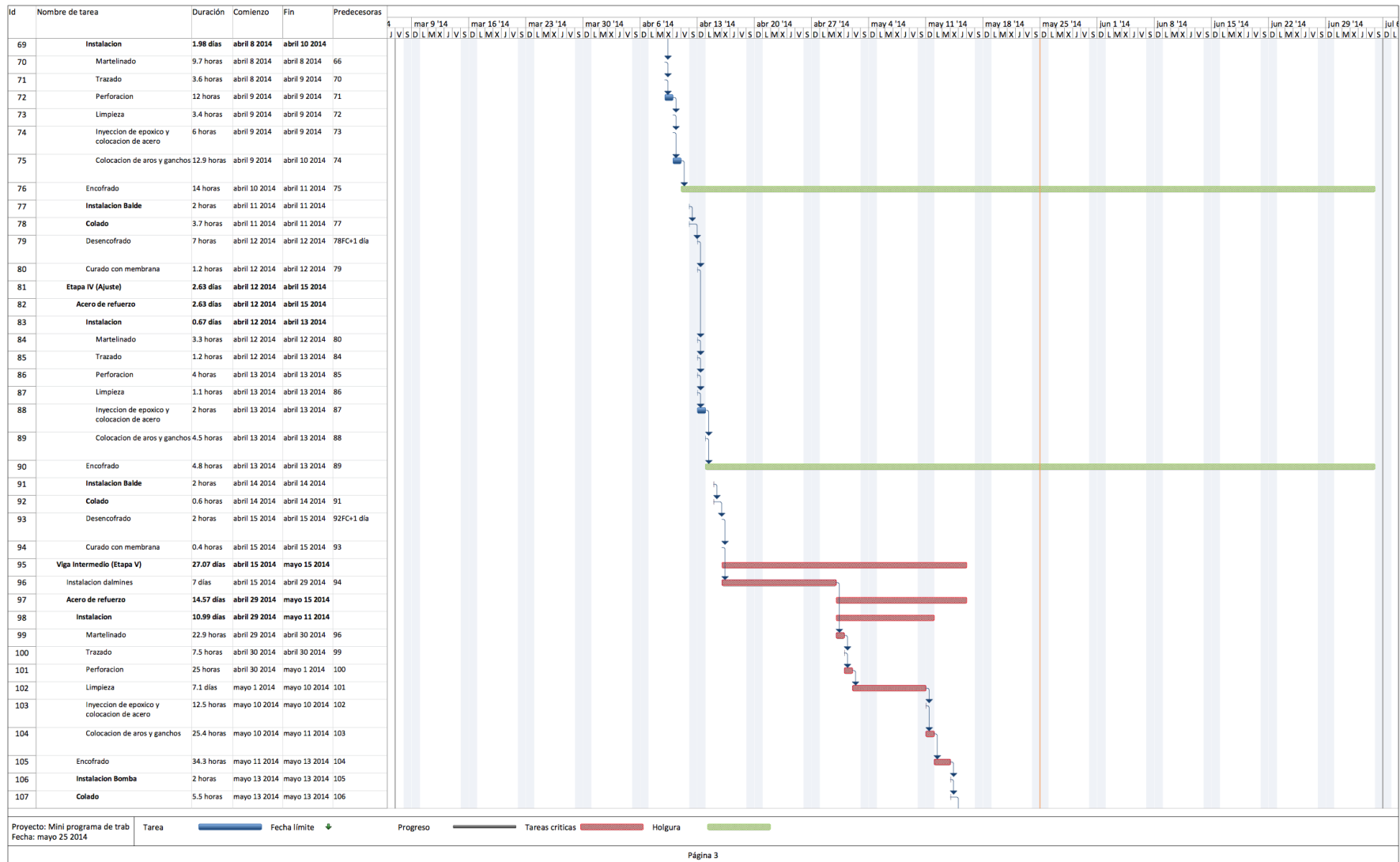
PROGRAMACIÓN DE PILA 3 Y ESTIMACIÓN DE DURACIONES PARA LA FABRICACIÓN DEL ACERO ESTRUCTURAL EN LA REHABILITACIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA, RUTA NACIONAL

Apéndice 2. Programación 2



Fuente: Elaboración propia

PROGRAMACIÓN DE PILA 3 Y ESTIMACIÓN DE DURACIONES PARA LA FABRICACIÓN DEL ACERO ESTRUCTURAL EN LA REHABILITACIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO VIRILLA, RUTA NACIONAL

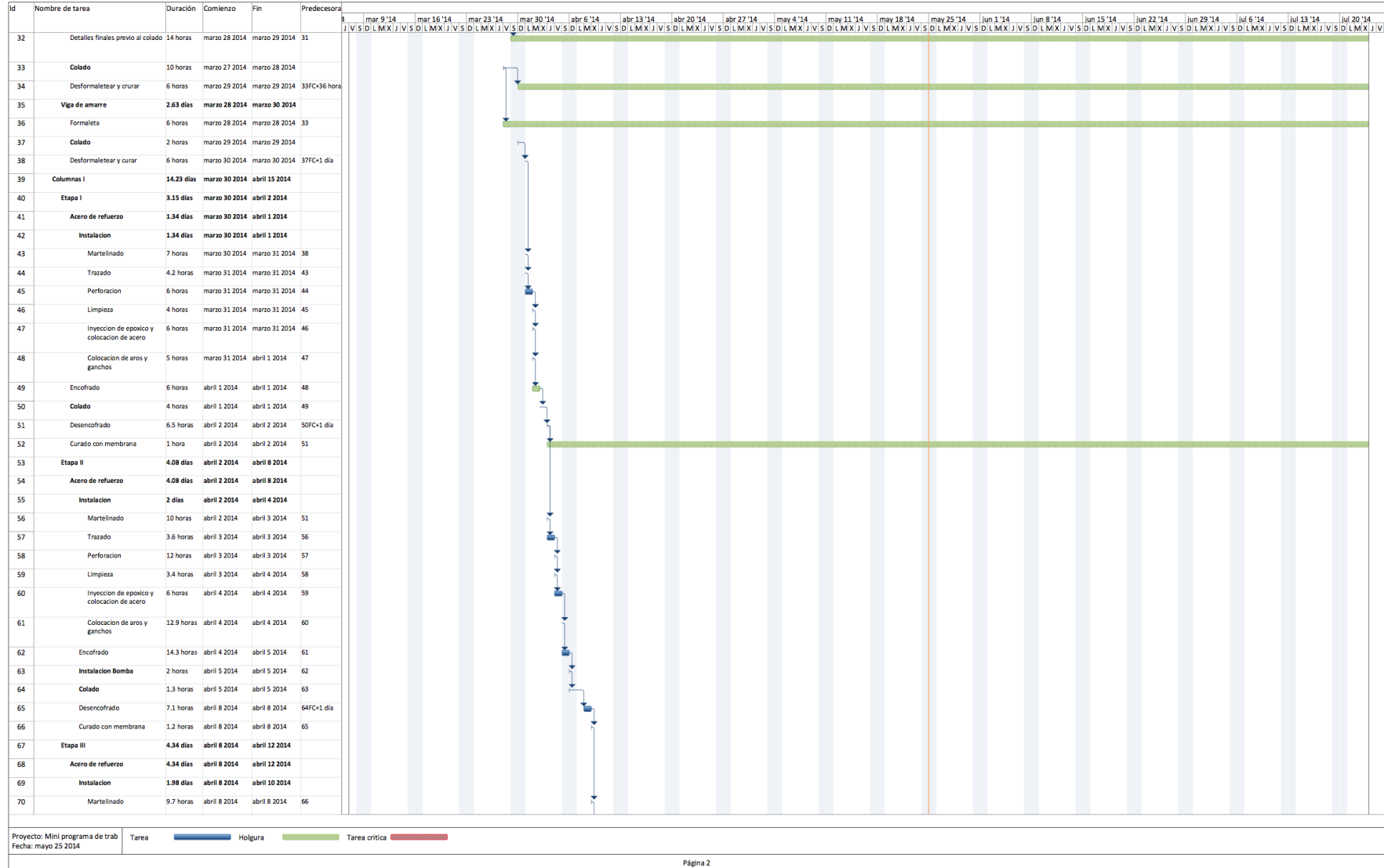


Fuente: Elaboración propia



Fuente: Elaboración propia

Apéndice 3. Programación 3



Fuente: Elaboración propia

Apéndice 4. Memoria de cálculo para la fabricación de los perfiles, apoyos y pañuelos

4 Perfiles "B"	Cantidad por perfil (Un) REAL	Longitud (m)	Ancho (m)	Espesor (pulg)	Espesor (m)	Angular Lado 1 (m)	Angular Lado 2 (m)	Peso/metro lineal (lb/ft)	Peso/metro lineal (kg/m)	Total Acero Estructural (kg)	Corte con plasma				Agujeros			Soldadura				Área sand-blasting y pintura										
											Total Corte (m)	Circunferencia agujeros	Cantidad de agujeros 1,25m (Unid)	Rendimiento (m/h)	Duración (h)	Cantidad de agujeros 7/8" (Unid)	Rendimiento (unid/h)	Duración (h)	Espesor soldadura	Peso/metro lineal soldadura (kg/m)	Tipo de soldadura	Metros total soldadura (m)	Kilos total soldadura (kg)	Rendimiento (kg/h)	Duración (h)	Perímetro (m)	Área transversal (m²)	Total Sand-blasting y pintura (m²)	Rendimiento (m²/h)	Duración (h)		
Viga W 14x159	1	10,412	-	-	-	-	-	159	236,592	2463,4	-	-	-	-	88	12,048	7,304	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2,309	0,030	24,103	7,307	3,299
Subtotal																	7,304															3,299
Total																	29,216															13,194

2 Perfiles "C"	Cantidad por perfil (Un) REAL	Longitud (m)	Ancho (m)	Espesor (pulg)	Espesor (m)	Angular Lado 1 (m)	Angular Lado 2 (m)	Peso/metro lineal (lb/ft)	Peso/metro lineal (kg/m)	Total Acero Estructural (kg)	Corte con plasma				Agujeros			Soldadura				Área sand-blasting y pintura										
											Total Corte (m)	Circunferencia agujeros	Cantidad de agujeros 1,25m (Unid)	Rendimiento (m/h)	Duración (h)	Cantidad de agujeros 7/8" (Unid)	Rendimiento (unid/h)	Duración (h)	Espesor soldadura	Peso/metro lineal soldadura (kg/m)	Tipo de soldadura	Metros total soldadura (m)	Kilos total soldadura (kg)	Rendimiento (kg/h)	Duración (h)	Perímetro (m)	Área transversal (m²)	Total Sand-blasting y pintura (m²)	Rendimiento (m²/h)	Duración (h)		
Ala inferior	1	10,544	0,762	7/16	0,011	-	-	-	-	628,3	55,552	3,927	8,000	135	0,411	-	-	-	0,0095	0,708	Topo	0,762	0,540	0,227	2,378	1,553	0,011	17,091	7,307	3,332		
Ala superior	1	10,594	0,762	9/16	0,014	-	-	-	-	911,8	25,096	-	-	99	0,253	-	-	-	0,0095	0,708	Topo	0,762	0,540	0,227	2,378	1,553	0,011	17,091	7,307	2,398		
Almas	2	10,849	0,630	3/8	0,010	-	-	-	-	930,4	48,276	-	-	147	0,328	52	12,048	4,316	0,0095	0,708	Topo	1,220	0,864	0,227	3,808	1,239	0,006	26,897	7,307	3,681		
Angular 15x152x9,5	2	10,954	-	3/8	0,010	0,152	0,152	14,9	22,1712	485,7	0,608	-	-	147	0,004	30	12,048	2,490	0,0095	0,354	Filete	66,332	23,497	0,775	30,319	0,608	0,003	13,331	7,307	1,824		
Angular 20x152x11,1	2	10,679	-	7/16	0,011	0,203	0,152	20,2	30,0576	642,0	0,710	-	-	135	0,005	22	12,048	1,826	0,0095	0,354	Filete	64,986	23,020	0,775	29,703	0,710	0,004	15,179	7,307	2,077		
Subtotal																																13,254
Total																																26,508

2 Perfiles "E"	Cantidad por perfil (Un) REAL	Longitud (m)	Ancho (m)	Espesor (pulg)	Espesor (m)	Angular Lado 1 (m)	Angular Lado 2 (m)	Peso/metro lineal (lb/ft)	Peso/metro lineal (kg/m)	Total Acero Estructural (kg)	Corte con plasma				Agujeros			Soldadura				Área sand-blasting y pintura										
											Total Corte (m)	Circunferencia agujeros	Cantidad de agujeros 1,25m (Unid)	Rendimiento (m/h)	Duración (h)	Cantidad de agujeros 7/8" (Unid)	Rendimiento (unid/h)	Duración (h)	Espesor soldadura	Peso/metro lineal soldadura (kg/m)	Tipo de soldadura	Metros total soldadura (m)	Kilos total soldadura (kg)	Rendimiento (kg/h)	Duración (h)	Perímetro (m)	Área transversal (m²)	Total Sand-blasting y pintura (m²)	Rendimiento (m²/h)	Duración (h)		
Alas	2	10,52	0,305	3/4	0,019	-	-	-	-	962,2	44,520	-	-	56,28	0,791	56	12,048	4,648	0,0095	0,708	Topo	0,610	0,432	0,227	1,904	0,648	0,006	13,650	7,307	1,868		
Almas	1	10,52	0,343	1/2	0,013	-	-	-	-	348,6	22,412	-	-	111	0,202	-	-	-	0,0095	0,708	Topo	0,943	0,243	0,227	1,070	0,711	0,004	7,493	7,307	1,025		
Alma-Alas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0095	0,354	Filete	42,080	14,906	0,775	19,234	-	-	-	-	-	-	
Subtotal																																2,893
Total																																5,787

2 Perfiles "F"	Cantidad por perfil (Un) REAL	Longitud (m)	Ancho (m)	Espesor (pulg)	Espesor (m)	Angular Lado 1 (m)	Angular Lado 2 (m)	Peso/metro lineal (lb/ft)	Peso/metro lineal (kg/m)	Total Acero Estructural (kg)	Corte con plasma				Agujeros			Soldadura				Área sand-blasting y pintura										
											Total Corte (m)	Circunferencia agujeros	Cantidad de agujeros 1,25m (Unid)	Rendimiento (m/h)	Duración (h)	Cantidad de agujeros 7/8" (Unid)	Rendimiento (unid/h)	Duración (h)	Espesor soldadura	Peso/metro lineal soldadura (kg/m)	Tipo de soldadura	Metros total soldadura (m)	Kilos total soldadura (kg)	Rendimiento (kg/h)	Duración (h)	Perímetro (m)	Área transversal (m²)	Total Sand-blasting y pintura (m²)	Rendimiento (m²/h)	Duración (h)		
Alas	2	10,515	0,305	5/8	0,016	-	-	-	-	800,6	44,500	-	-	79,32	0,561	46	12,048	3,818	0,0095	0,708	Topo	0,610	0,432	0,227	1,904	0,642	0,005	13,507	7,307	1,848		
Alma	1	10,515	0,349	3/8	0,010	-	-	-	-	273,7	22,426	-	-	147	0,153	-	-	-	0,0095	0,708	Topo	0,349	0,247	0,227	1,089	0,717	0,003	7,546	7,307	1,033		
Alas	2	8,526	0,305	5/8	0,016	-	-	-	-	649,1	36,544	-	-	79,32	0,461	28	12,048	2,324	0,0095	0,708	Topo	0,610	0,432	0,227	1,904	0,642	0,005	10,954	7,307	1,499		
Alma	1	8,526	0,349	3/8	0,010	-	-	-	-	221,9	18,448	-	-	147	0,125	-	-	-	0,0095	0,708	Topo	0,349	0,247	0,227	1,089	0,717	0,003	6,120	7,307	0,838		
Alma-Alas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0095	0,354	Filete	76,164	26,980	0,775	34,812	-	-	-	-	-	-	
Subtotal																																5,218
Total																																10,435

2 Perfiles "G"	Cantidad por perfil (Un) REAL	Longitud (m)	Ancho (m)	Espesor (pulg)	Espesor (m)	Angular Lado 1 (m)	Angular Lado 2 (m)	Peso/metro lineal (lb/ft)	Peso/metro lineal (kg/m)	Total Acero Estructural (kg)	Corte con plasma				Agujeros			Soldadura				Área sand-blasting y pintura										
											Total Corte (m)	Circunferencia agujeros	Cantidad de agujeros 1,25m (Unid)	Rendimiento (m/h)	Duración (h)	Cantidad de agujeros 7/8" (Unid)	Rendimiento (unid/h)	Duración (h)	Espesor soldadura	Peso/metro lineal soldadura (kg/m)	Tipo de soldadura	Metros total soldadura (m)	Kilos total soldadura (kg)	Rendimiento (kg/h)	Duración (h)	Perímetro (m)	Área transversal (m²)	Total Sand-blasting y pintura (m²)	Rendimiento (m²/h)	Duración (h)		
Alas (placas)	52	0,15	0,762	3/8	0,010	-	-	-	-	466,6	174,095	-	-	147	1,184	106	12,048	8,798	-	-	-	-	-	-	-	-	1,544	0,008	12,058	7,307	1,650	
Alas (placas)	4	0,30	0,762	5/8	0,010	-	-	-	-	183,6	14,592	-	-	147	0,099	32	12,048	2,656	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,544	0,008	1,868	7,307	0,256
Almas	2	15,25	0,622	7/16	0,011	-	-	-	-	1638,1	68,464	-	-	135	0,507	36	12,048	2,988	0,0095	0,708	Topo	1,244	0,881	0,227	3,882	1,266	0,007	38,627	7,307	5,286		
Angular 20x152x11,1	4	15,25	-	7/16	0,011	0,203	0,152	20,2	30,0576	1833,5	1,420	-	-	135	0,011	70	12,048	5,810	0,0095	0,354	Filete	184,420	65,327	0,775	84,293	0,710	0,004	43,441	7,307	5,931		
Subtotal																																13,124
Total																																26,247

2 Perfiles "H"	Cantidad por perfil (Un) REAL	Longitud (m)	Ancho (m)	Espesor (pulg)	Espesor (m)	Angular Lado 1 (m)	Angular Lado 2 (m)	Peso/metro lineal (lb/ft)	Peso/metro lineal (kg/m)	Total Acero Estructural (kg)	Corte con plasma				Agujeros			Soldadura				Área sand-blasting y pintura										
											Total Corte (m)	Circunferencia agujeros	Cantidad de agujeros 1,25m (Unid)	Rendimiento (m/h)	Duración (h)	Cantidad de agujeros 7/8" (Unid)	Rendimiento (unid/h)	Duración (h)	Espesor soldadura	Peso/metro lineal soldadura (kg/m)	Tipo de soldadura	Metros total soldadura (m)	Kilos total soldadura (kg)	Rendimiento (kg/h)	Duración (h)	Perímetro (m)	Área transversal (m²)	Total Sand-blasting y pintura (m²)	Rendimiento (m²/h)	Duración (h)		
Alas (placas)	68	0,15	0,77	3/8	0,010	-	-	-	-	616,5	229,840	-	-	111	2,071	156	12,048	12,948	-	-	-	-	-	-	-	-	1,560	0,008	15,927	7,307	2,180	
Almas	2	15,24	0,630	1/2	0,013	-	-	-	-	1853,6	68,280	-	-	111	0,615	52	12,048	4,316	0,0095	0,708	Topo	1,220	0,864	0,227	3,808	1,245	0,006	37,975	7,307	5,157		
Angular 20x152x19,05	4	15,24	-	3/4	0,019	0,203	0,152	33,800	50,294	3065,9	1,420	-	-	56,280	0,035	104	12,048	8,632	0,0095	0,354	Filete	184,500	65,285	0,775	84,218	0,710	0,006	43,333	7,307	5,930		
Subtotal																																13,307
Total																																26,614

Fuente: Elaboración propia

PROGRAMACIÓN DE PILA 3 Y ESTIMACIÓN DE DURACIONES PARA LA FABRICACIÓN DEL ACERO ESTRUCTURAL EN LA REHABILITACIÓN DEL PUENTE SOBRE EL RÍO RIVERA, RUTA NACIONAL

1 Perfiles "I"	Cantidad por perfil (Un) REAL	Longitud (m)	Ancho (m)	Espesor (pulg)	Espesor (m)	Angular Lado 1 (m)	Angular Lado 2 (m)	Peso/metro lineal (lb/R)	Peso/metro lineal (kg/m)	Corte con plasma				Agujeros			Soldadura					Área sand-blasting y pintura									
										Total Acero Estructural (kg)	Total Corte (m)	Circunferencia agujeros	Cantidad de agujeros 1,25m (Unid)	Rendimiento (m/h)	Duración (h)	Cantidad de agujeros 7/8" (Unid)	Rendimiento (unid/h)	Duración (h)	Espesor soldadura	Peso/metro lineal soldadura (kg/m)	Tipo de soldadura	Metros total soldadura (m)	Kilos total soldadura (kg)	Rendimiento (kg/h)	Duración (h)	Perímetro (m)	Área transversal (m²)	Total Sand-blasting y pintura (m²)	Rendimiento (m²/h)	Duración (h)	
Alas (placas)	68	0,15	0,77	1/2	0,013	-	-	-	-	783,0	229,840	-	-	111	2,071	176	12,048	14,608	-	-	-	-	-	-	-	-	1,565	0,010	15,987	7,307	2,188
Almas	2	15,24	0,610	1-5/8	0,025	-	-	-	-	3707,2	68,280	-	-	24,6	2,776	52	12,048	4,316	0,0095	0,708	Tope	1,220	0,864	0,227	3,808	1,271	0,015	38,765	7,307	5,305	
Angular 203x152x19,05	4	15,24	-	3/4	0,019	0,209	0,152	33,800	50,294	8066,9	1,420	-	-	56,280	0,025	104	12,048	8,632	0,0095	0,354	Filete	184,300	65,285	0,775	84,238	0,710	0,006	43,333	7,307	5,330	
Subtotal														4,871																	
Total														4,871																	13,423

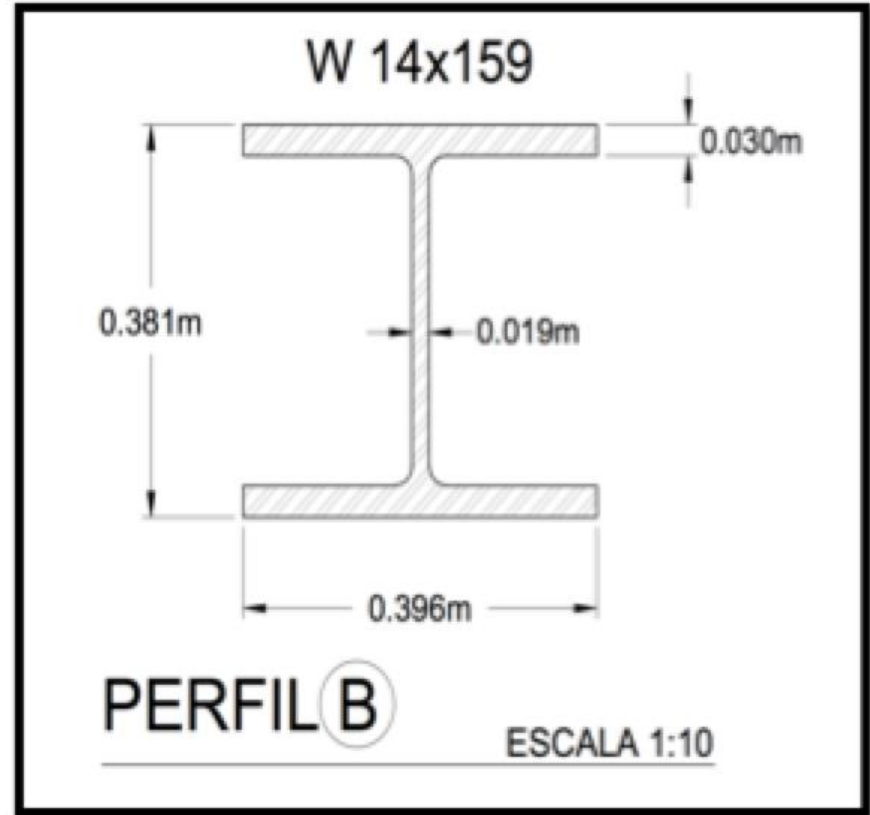
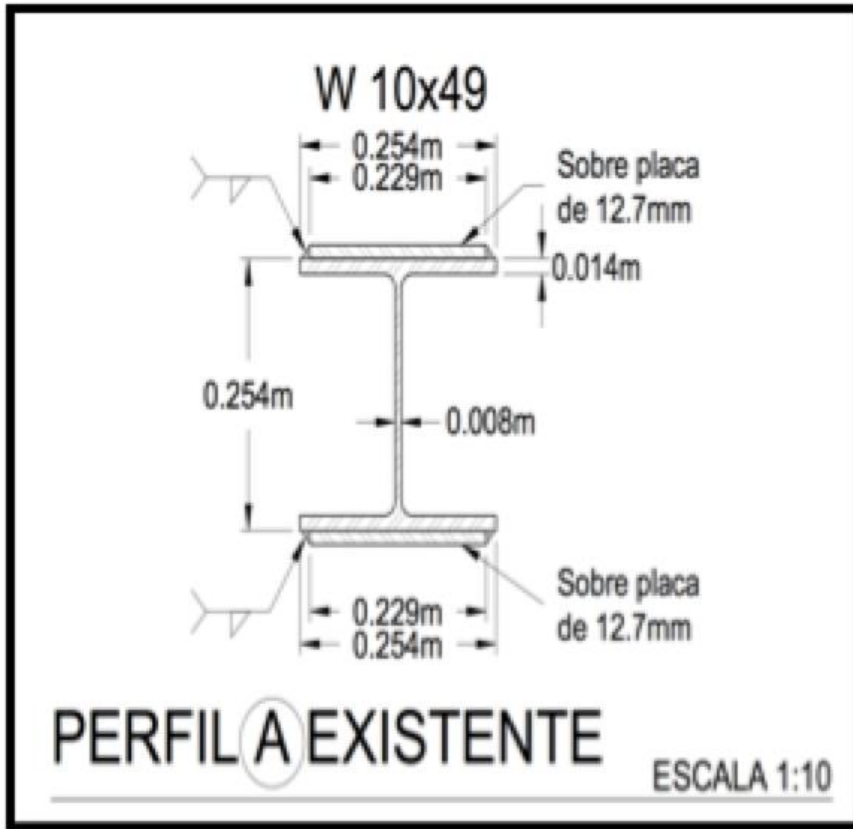
4 Perfiles "J"	Cantidad por perfil (Un) REAL	Longitud (m)	Ancho (m)	Espesor (pulg)	Espesor (m)	Angular Lado 1 (m)	Angular Lado 2 (m)	Peso/metro lineal (lb/R)	Peso/metro lineal (kg/m)	Corte con plasma				Agujeros			Soldadura					Área sand-blasting y pintura									
										Total Acero Estructural (kg)	Total Corte (m)	Circunferencia agujeros	Cantidad de agujeros 1,25m (Unid)	Rendimiento (m/h)	Duración (h)	Cantidad de agujeros 7/8" (Unid)	Rendimiento (unid/h)	Duración (h)	Espesor soldadura	Peso/metro lineal soldadura (kg/m)	Tipo de soldadura	Metros total soldadura (m)	Kilos total soldadura (kg)	Rendimiento (kg/h)	Duración (h)	Perímetro (m)	Área transversal (m²)	Total Sand-blasting y pintura (m²)	Rendimiento (m²/h)	Duración (h)	
Ala inferior	1	7,62	0,762	7/16	0,011	-	-	-	-	460,6	37,923	3,927	5,000	135	0,281	-	-	-	0,0095	0,708	Tope	0,762	0,540	0,227	2,378	1,546	0,008	16,795	7,307	2,298	
Ala superior	1	7,62	0,762	9/16	0,014	-	-	-	-	651,8	18,288	-	-	99	0,185	-	-	-	0,0095	0,708	Tope	0,762	0,540	0,227	2,378	1,553	0,011	11,853	7,307	1,627	
Almas	2	7,62	0,619	3/8	0,010	-	-	-	-	703,5	35,432	-	-	147	0,241	64	12,048	5,312	0,0095	0,708	Tope	1,238	0,877	0,227	3,864	1,257	0,006	19,168	7,307	2,623	
Angular 152x152x12,7	2	7,62	-	1/2	0,013	0,152	0,152	19,6	29,1648	444,5	0,608	-	-	111	0,005	44	12,048	3,652	0,0095	0,354	Filete	46,328	16,411	0,775	21,175	0,608	0,004	9,281	7,307	1,270	
Angular 203x152x12,7	2	7,62	-	1/2	0,013	0,209	0,152	23	34,224	521,6	0,710	-	-	111	0,006	44	12,048	3,652	0,0095	0,354	Filete	46,632	16,519	0,775	21,314	0,710	0,004	10,838	7,307	1,483	
Subtotal														0,719																	9,297
Total														2,874																	37,189

4 Perfiles "K"	Cantidad por perfil (Un) REAL	Longitud (m)	Ancho (m)	Espesor (pulg)	Espesor (m)	Angular Lado 1 (m)	Angular Lado 2 (m)	Peso/metro lineal (lb/R)	Peso/metro lineal (kg/m)	Corte con plasma				Agujeros			Soldadura					Área sand-blasting y pintura									
										Total Acero Estructural (kg)	Total Corte (m)	Circunferencia agujeros	Cantidad de agujeros 1,25m (Unid)	Rendimiento (m/h)	Duración (h)	Cantidad de agujeros 7/8" (Unid)	Rendimiento (unid/h)	Duración (h)	Espesor soldadura	Peso/metro lineal soldadura (kg/m)	Tipo de soldadura	Metros total soldadura (m)	Kilos total soldadura (kg)	Rendimiento (kg/h)	Duración (h)	Perímetro (m)	Área transversal (m²)	Total Sand-blasting y pintura (m²)	Rendimiento (m²/h)	Duración (h)	
Ala inferior	1	7,62	0,762	1/2	0,013	-	-	-	-	527,0	24,538	3,927	5,000	111	0,221	-	-	-	0,0095	0,708	Tope	0,762	0,540	0,227	2,378	1,549	0,010	16,797	7,307	2,299	
Ala superior	1	7,62	0,762	5/8	0,016	-	-	-	-	724,7	18,288	-	-	79,32	0,231	-	-	-	0,0095	0,708	Tope	0,762	0,540	0,227	2,378	1,556	0,012	11,879	7,307	1,626	
Almas	2	7,62	0,618	3/8	0,010	-	-	-	-	702,8	35,427	-	-	147	0,241	64	12,048	5,312	0,0095	0,708	Tope	1,237	0,876	0,227	3,860	1,256	0,006	19,150	7,307	2,621	
Angular 152x152x12,7	2	7,62	-	1/2	0,013	0,152	0,152	19,6	29,1648	444,5	0,608	-	-	111	0,005	44	12,048	3,652	0,0095	0,354	Filete	46,328	16,411	0,775	21,175	0,608	0,004	9,281	7,307	1,270	
Angular 203x152x12,7	2	7,62	-	1/2	0,013	0,209	0,152	23	34,224	521,6	0,710	-	-	111	0,006	44	12,048	3,652	0,0095	0,354	Filete	46,632	16,519	0,775	21,314	0,710	0,004	10,838	7,307	1,483	
Subtotal														0,704																	9,299
Total														2,818																	37,195

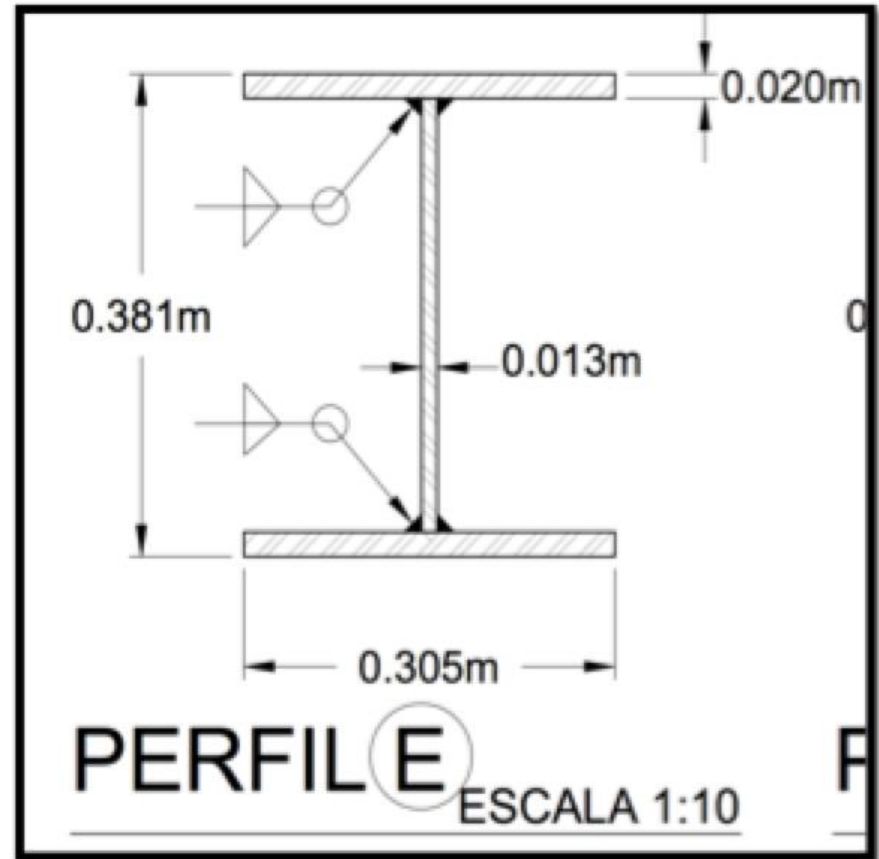
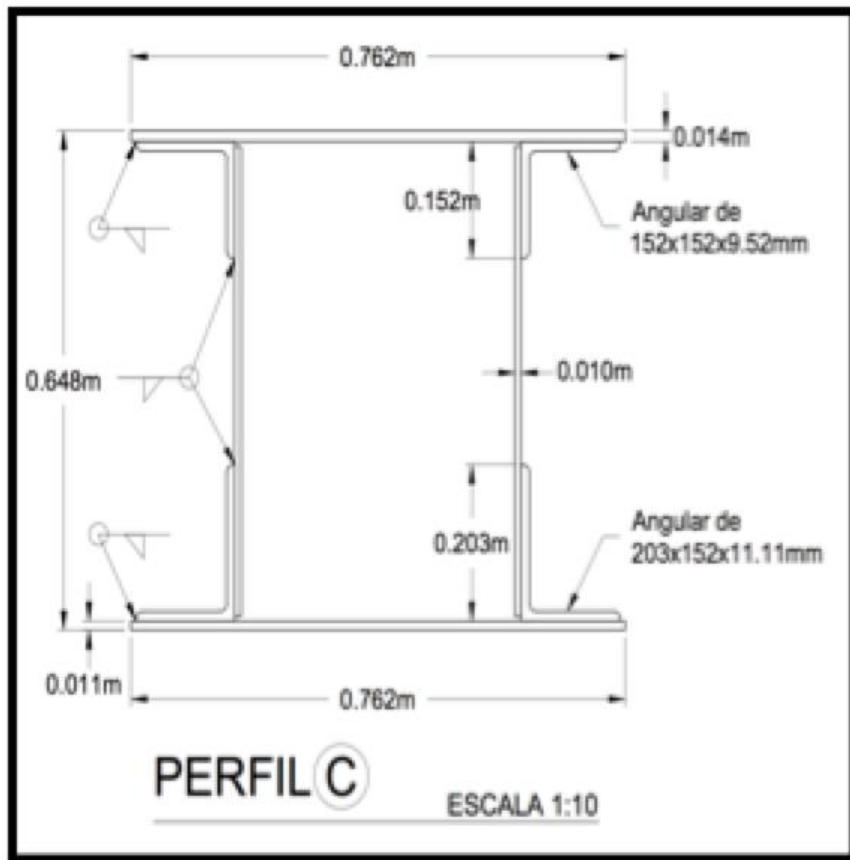
Fuente: Elaboración propia

Anexos

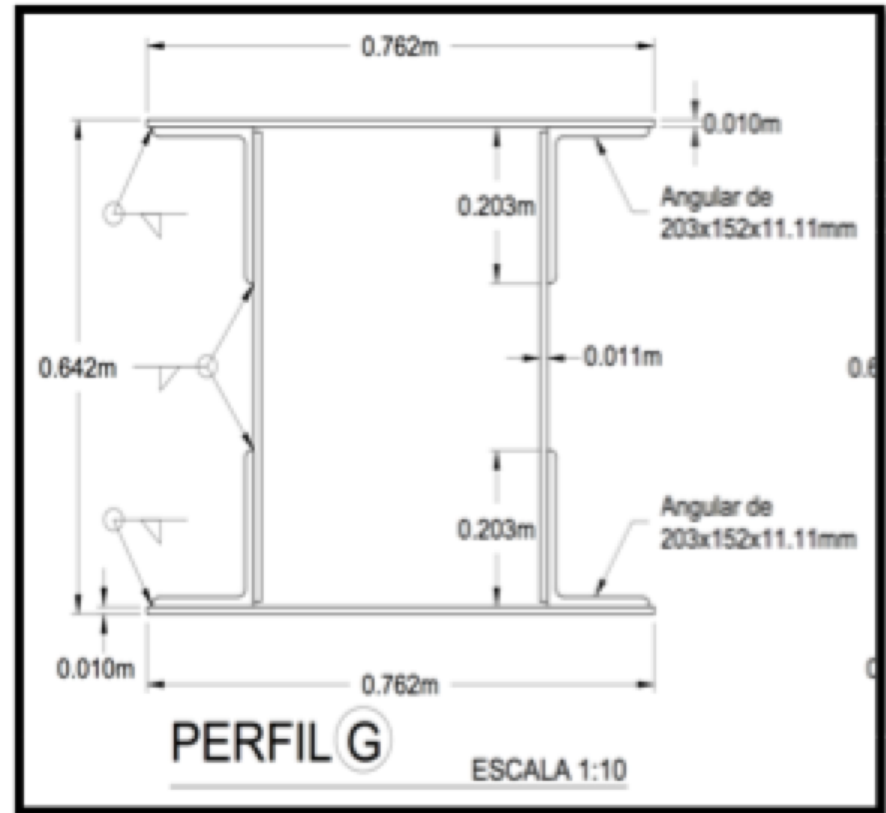
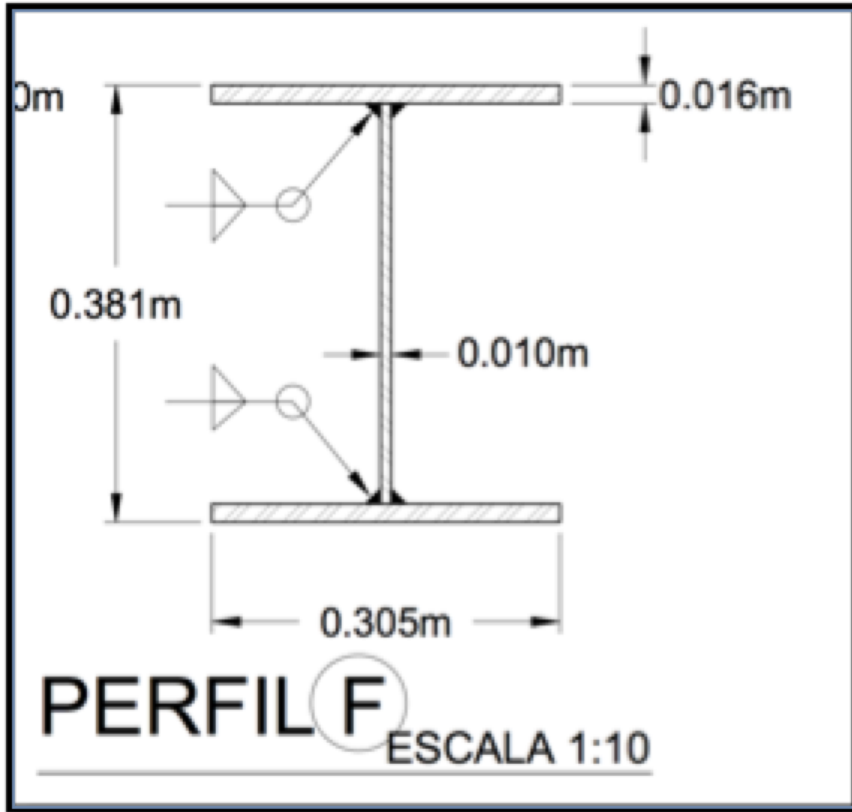
Anexo 1. Perfiles



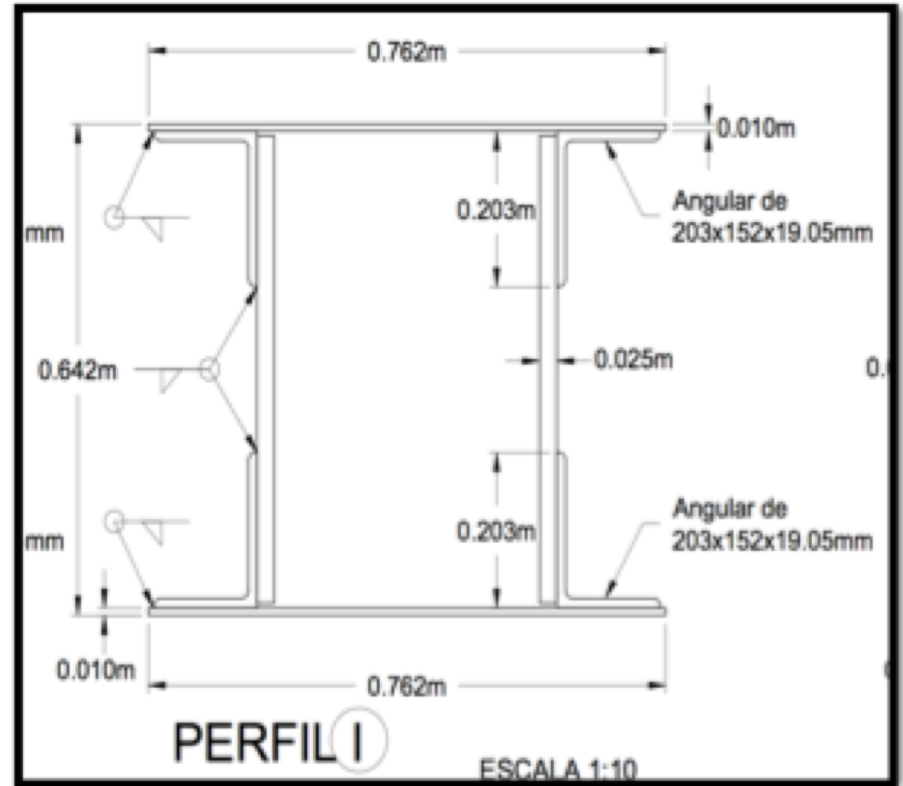
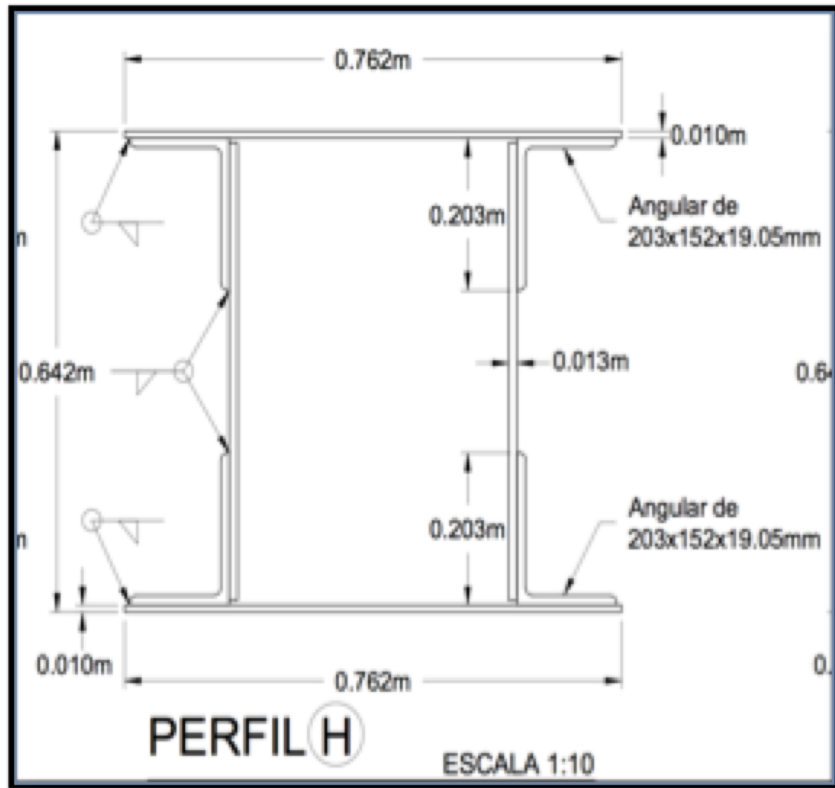
Fuente: Planos constructivos, rehabilitación del Puente sobre el Río Virilla, Ruta Nacional 1.



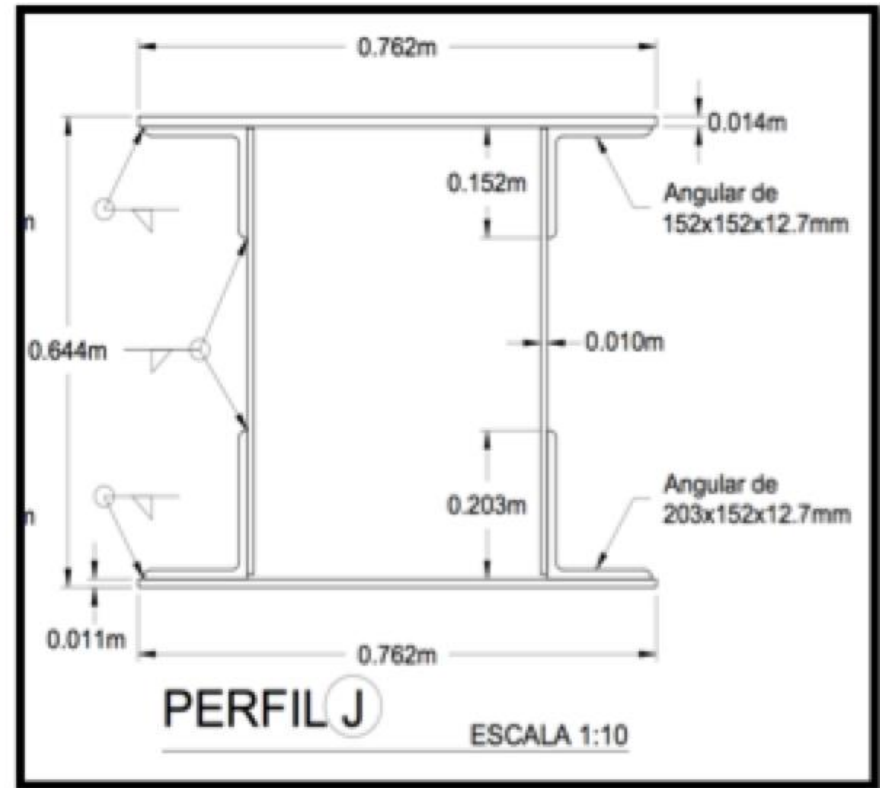
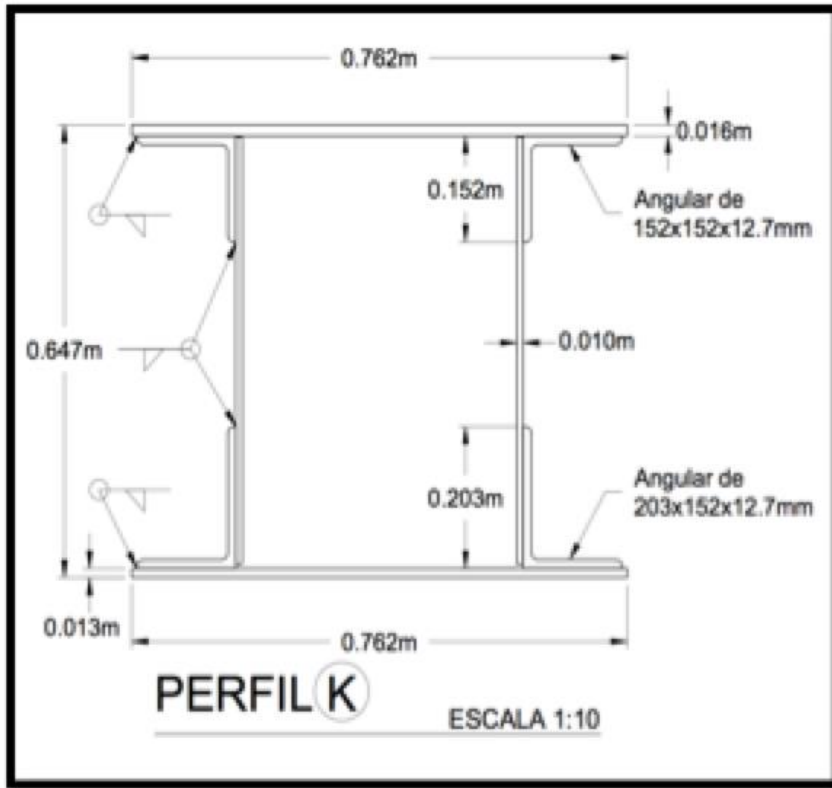
Fuente: Planos constructivos, rehabilitación del Puente sobre el Río Virilla, Ruta Nacional 1.



Fuente: Planos constructivos, rehabilitación del Puente sobre el Río Virilla, Ruta Nacional 1.



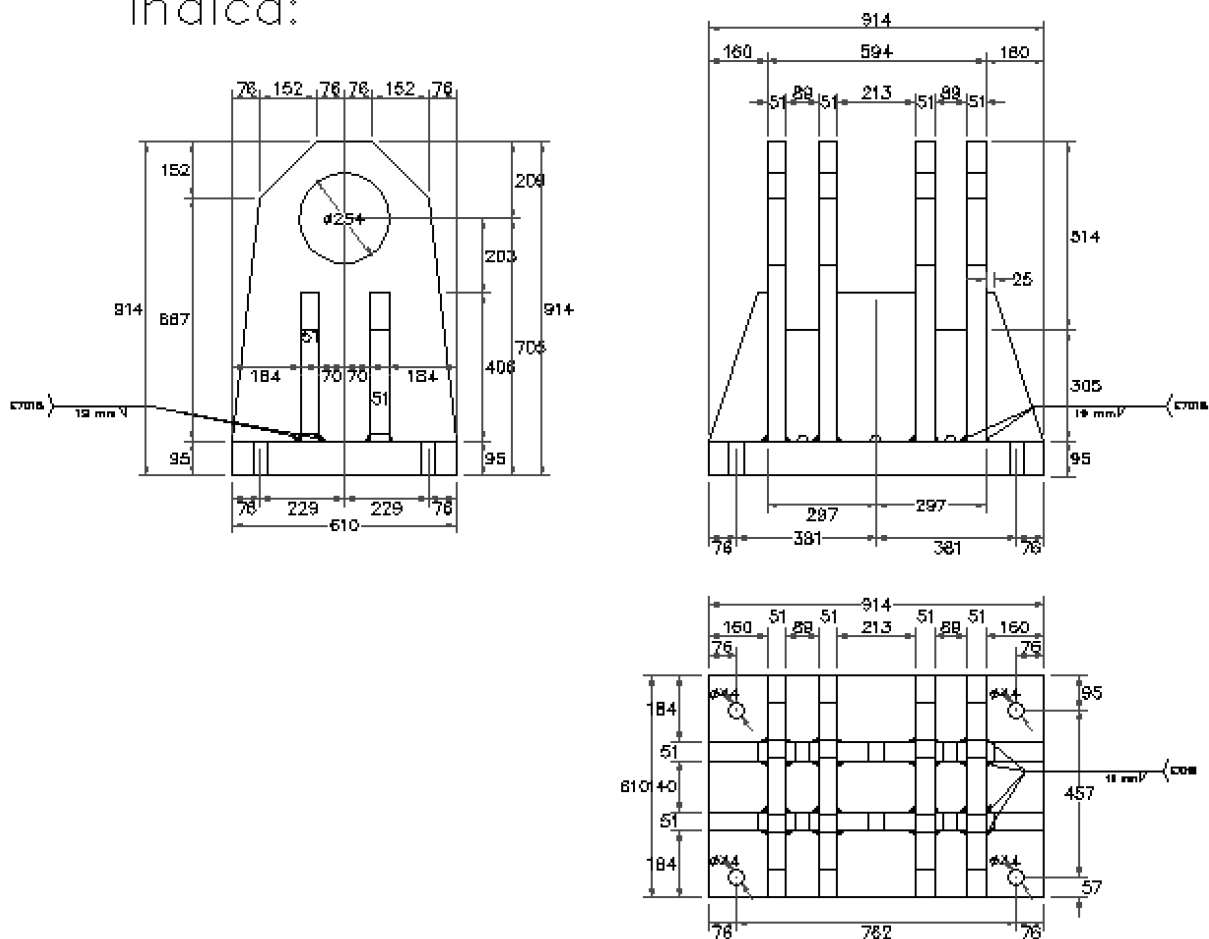
Fuente: Planos constructivos, rehabilitación del Puente sobre el Río Virilla, Ruta Nacional 1.



Fuente: Planos constructivos, rehabilitación del Puente sobre el Río Virilla, Ruta Nacional 1.

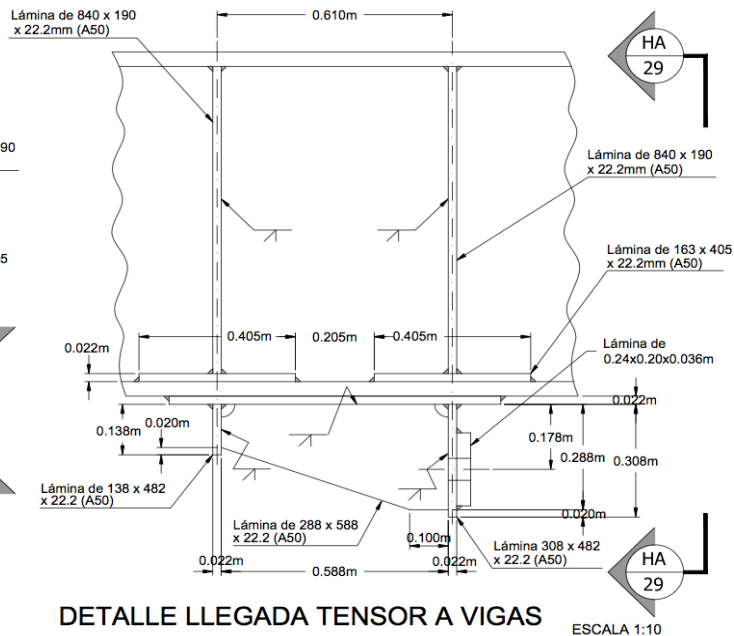
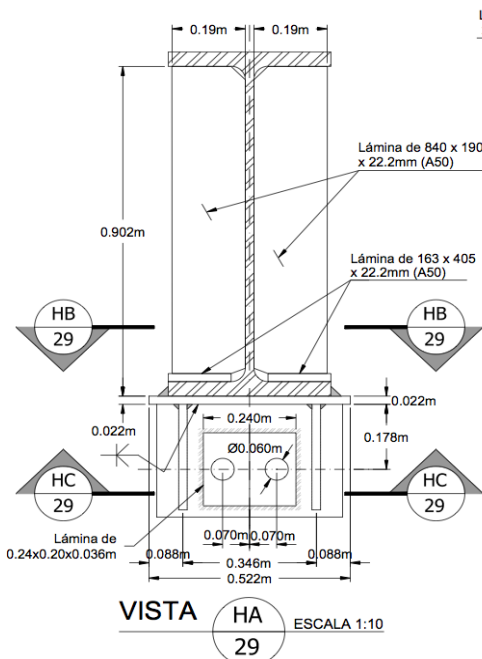
Anexo 2. Detalle de los apoyos de la nueva cercha central

Orden de fabricación.
Fabricar dos apoyos como se indica:

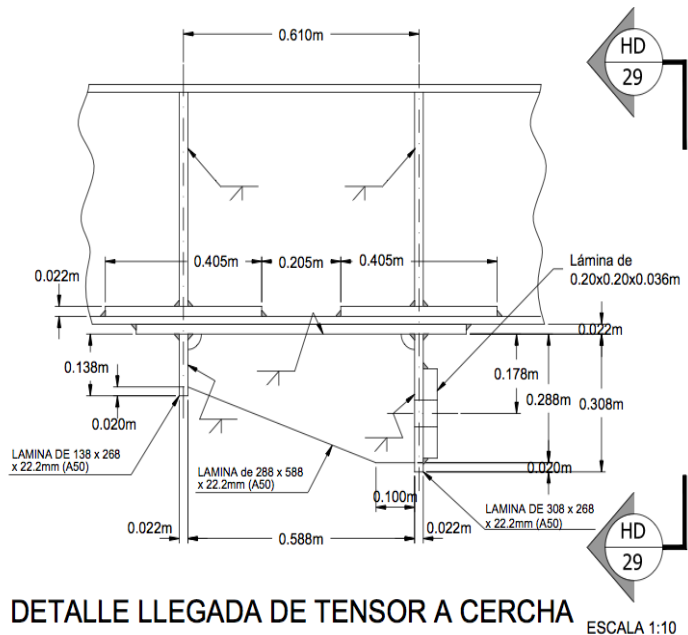
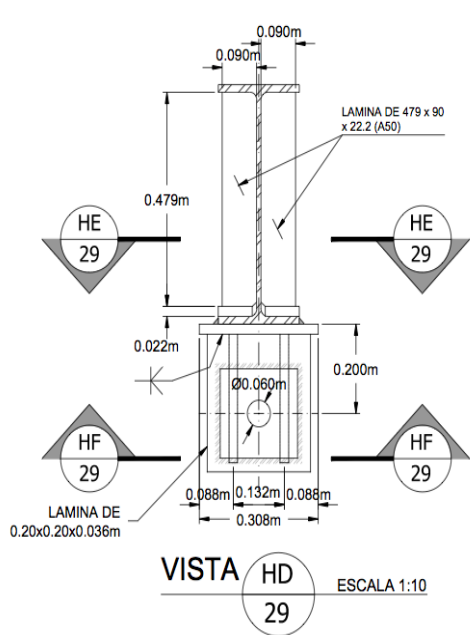


Fuente: Planos constructivos, rehabilitación Puentes sobre el Río Virilla, Ruta Nacional 1.

Anexo 3. Detalle de los “Pañuelos”



Fuente: Planos constructivos, rehabilitación Puente sobre el Río Virilla, Ruta Nacional 1.



Fuente: Planos constructivos, rehabilitación Puente sobre el Río Virilla, Ruta Nacional 1.

Anexo 4. Especificaciones de corte con el equipo de plasma



HSD130™

Mild steel Air Plasma / Air Shield 130 A Cutting

Flow Rates - lpm/scrh	
Air	
Preflow	47 / 142
Cutflow	132 / 280



Metric

Select Gases		Set Cutoff		Material Thickness	Arc Voltage	Torch-to-Work Distance	Cutting Speed	Initial Pierce Height		Pierce Delay Time
Plasma	Shield	Plasma	Shield					mm	factor %	
Air	Air	72	35	3	138	3.1	6000	6.2	200	0.1
				4	13	3.1	4930	6.2	200	0.2
				6	138	3.6	3850	7.2	200	0.3
				10	142	4.1	2450	8.2	200	0.5
				12	144	4.1	2050	8.2	200	0.5
				15	150	4.6	1450	9.2	200	0.8
				20	153	4.6	810	10.5	230	1.2
				25	163	4.6	410	Edge Start		
				32	170	5.1	250	Edge Start		

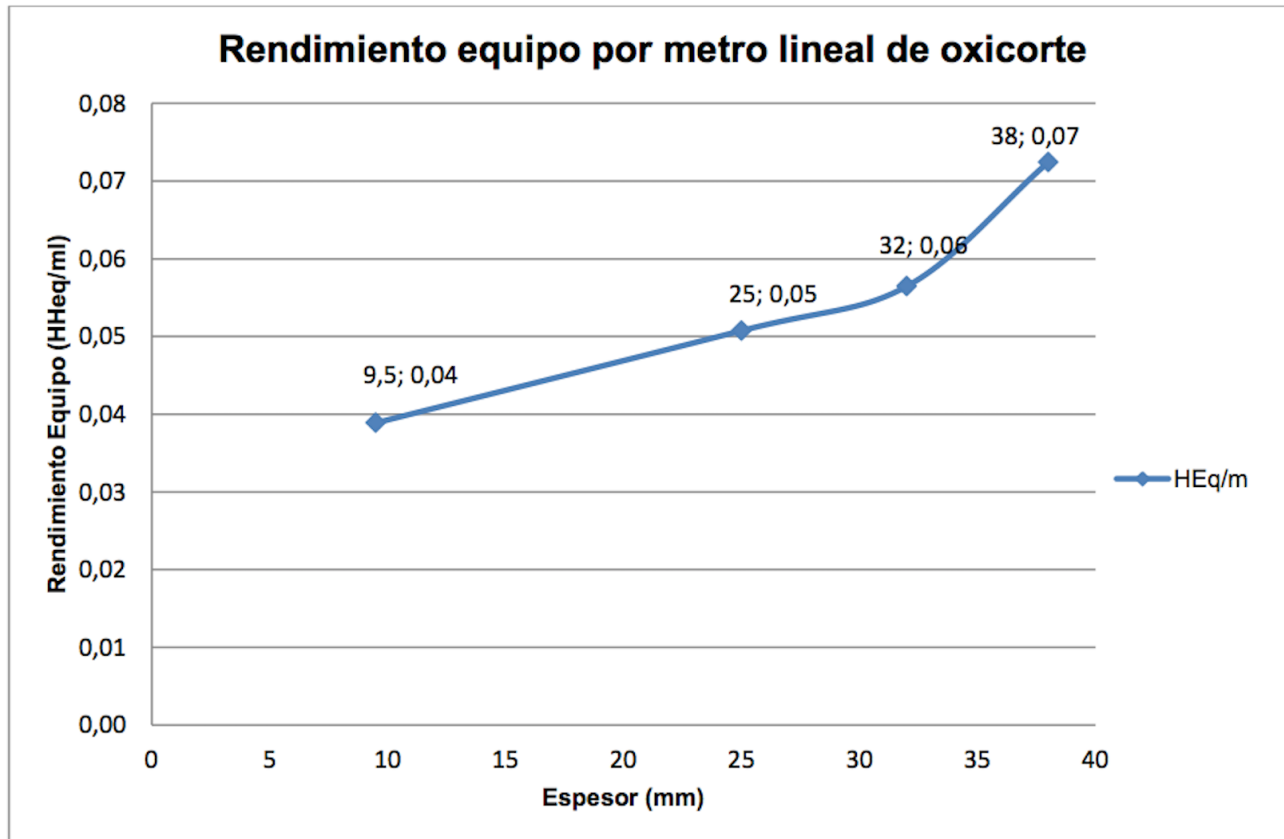
English

Select Gases		Set Cutoff		Material Thickness	Arc Voltage	Torch-to-Work Distance	Cutting Speed	Initial Pierce Height		Pierce Delay Time
Plasma	Shield	Plasma	Shield					in	factor %	
Air	Air	72	35	0.1350	138	.120	220	.240	200	0.1
				0.1875	136	.120	180	.240	200	0.2
				0.2500	138	.140	150	.280	200	0.3
				0.3750	142	.160	100	.320	200	0.5
				0.5000	144	.180	75	.320	200	0.5
				0.6250	150	.180	50	.360	200	0.8
				0.7500	153	.180	35	.420	230	1.2
				1	163	.180	15	Edge Start		
				1-1/4	170	.200	10	Edge Start		

Hypertherm

Fuente: Hoja técnica, equipo del Plasma

Anexo 5. Rendimientos de oxicorte, soldadura, sand- blasting y pintura obtenidos del proyecto Puente Candelaria



Fuente: Proyecto Puesto Candelaria

CUADRO SO 1. RENDIMIENTO DE MANO DE OBRA Y PRODUCTIVIDAD DE SOLDADURA DE FILETE Y SOLDADURA DE TOPE.						
Rendimiento	Variable	Unidad	Población	Media	Varianza	Desviación Estándar
Mano de Obra	Horas Hombre Soldadura de Filete 45°	HHSold/kg	126	1,396	0,170	0,412
		HHAy/kg	126	1,396	0,170	0,412
	Horas Hombre Soldadura de Tope	HHSold/kg	36	11,182	28,409	5,330
	Horas Hombre Acero Producido	HHSold /ton	21	12,889	7,267	2,696
HHAy/ton		21	12,889	7,267	2,696	
Avance	Soldadura Filete 45°	kg/h	126	0,775	0,046	0,214
	Soldadura de Tope	kg/h	36	0,227	0,015	0,124
	Acero Producido	ton/h	21	81,029	317,574	17,821

Fuente: Proyecto Puesto Candelaria

CUADRO SBYP 1. RENDIMIENTO DE MANO DE OBRA Y PRODUCTIVIDAD PARA SANDBLASTING Y PINTURA						
Rendimiento	Variable	Unidad	Población	Media	Varianza	Desviación Estándar
Mano de Obra	Horas Hombre Sandblasting y Pintura	HH OP/m2	21	0,112	0,001	0,018
		HH AY/m2	21	0,224	0,002	0,019
		HH Pintor/m2	19	0,031	0,001	0,006
	Horas Hombre Acero Producido (Adicional)	HH OP/ton	21	1,832	0,183	0,427
		HH AY/ton	21	3,664	0,729	0,854
		HH Pintor/ton	19	0,503	0,008	0,087
Avance	Sandblasting y Pintura	m ² /h	21	7,307	1,409	1,187
	Acero Producido (Adicional)	kg/h	21	0,454	0,009	0,090

Fuente: Proyecto Puente Candelaria

Referencias

- AISC. **13th EDITION MEMBER DIMENSIONS AND PROPERTIES VIEWER.**
- Arce, L. (2014). *PROPUESTA DE MEJORAMIENTO DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS DEL PUENTE CANDELARIA, MEDIANTE EL MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA PRODUCTIVIDAD.* Informe proyecto final de graduación. Escuela de Ingeniería en Construcción, Tecnológico de Costa Rica.
- Brenes, G. (II semestre, 2012) *Notas del curso Programación de Proyectos.* Escuela de Ingeniería en Construcción. TECNOLÓGICO DE COSTA RICA.
- Coghi, J. (2009). *PROGRAMACIÓN DE PROYECTOS (INTRODUCCIÓN AL MS- PROJECT 2007).* Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes. (2007). *Manual de Inspección de Puentes.*
- Ministerio de Obras Públicas y Transportes. *Manual de especificaciones generales para la construcción de carreteras, caminos y puentes CR-2010.*
- Salas, A. (2013). *GENERALIDADES SOBRE PUENTES.* Recuperado de http://www.univo.edu.sv:8081/tesis/019116/019116_Cap2.pdf
- Redin, F. *Manual básico de uso MS PROJECT 2010.* Recuperado de <http://erods.files.wordpress.com/2012/12/manual-basico-de-uso-project-2010.pdf>
- Villarino, A. *PUENTES.* Recuperado de <http://ocw.usal.es/eduCommons/enseanzas-tecnicas/ingenieria-civil/contenido/TEMA%207-%20PUENTES.pdf>.