

**APOYO TECNICO Y LOGISTICO EN LA FABRICACION DE LA ESTRUCTURA
METALICA EN TALLER DEL PROYECTO PUENTE GUAMBUYACO QUE
COMUNICA LOS MUNICIPIOS DE PEÑOL Y TAMINANGO EN EL
DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

CARLOS ROGER ARMANDO ERAZO BASTIDAS

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2015**

**APOYO TECNICO Y LOGISTICO EN LA FABRICACION DE LA ESTRUCTURA
METALICA EN TALLER DEL PROYECTO PUENTE GUAMBUYACO QUE
COMUNICA LOS MUNICIPIOS DE PEÑOL Y TAMINANGO EN EL
DEPARTAMENTO DE NARIÑO**

CARLOS ROGER ARMANDO ERAZO BASTIDAS

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Civil**

Director

**Ing. Rodrigo De Los Ríos Rodríguez
Gerente Estructuras De Nariño S.A.S.**

Codirector

**Ing. Carlos Armando Buchely
Director Fondo De Construcciones**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL
SAN JUAN DE PASTO
2015**

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en el trabajo de grado son de responsabilidad exclusiva del autor.

Artículo 1º del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966, emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

“La Universidad de Nariño no se hace responsable de las opiniones o resultados obtenidos en el presente trabajo y para su publicación priman las normas sobre el derecho de autor”

Artículo 13, Acuerdo N°005 de 2010 emanado del Honorable Consejo Académico.

Nota de aceptación:

Presidente

Jurado

Jurado

Pasto, Febrero de 2015

AGRADECIMIENTOS

Expreso mis sinceros agradecimientos, a:

A mis padres, por darme la vida, enseñarme a luchar por mis metas y darme las herramientas para hacerlo.

A Estructuras de Nariño, una empresa que no solo me abrió las puertas sino que me dio toda la confianza y compartió conmigo toda su experiencia en el medio.

A los ingenieros, Rodrigo de los Ríos y Carlos Armando Buchely que aportaron su trabajo y dedicación para el desarrollo de esta pasantía.

A Dios, último y no menos importante por llenarme de tantas oportunidades y experiencias en este proceso.

RESUMEN

El presente trabajo hace constar todas las actividades que se desarrollaron con el fin de cumplir con los objetivos planteados en el proyecto de pasantía. Siendo parte de ellas: elaboración y digitalización de planos de taller, cálculo de cantidades de obra, supervisión de la fabricación en taller y coordinación del transporte para el montaje. Estas actividades dieron paso al acompañamiento constante en la fabricación efectuada en taller, verificación de los materiales en planta, inventarios, certificados de calidad y cuantificación final de obra para elaboración de actas.

ABSTRACT

This report describes the all activities developed in order to achieve the objectives proposed in the preliminary draft internship. Being part of them: drafting and digitizing shop drawings, calculation of quantities of work, monitoring shop fabrication and transportation coordination for assembly. These activities gave way to the constant support in making workshop made, verification of plant materials, inventory, quality certificates and final quantification of work for preparation of minutes.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.....	13
1. DESCRIPCION DEL PROYECTO.....	17
2. ELABORACION DE PLANOS DE TALLER.....	19
2.1 DETERMINACION DE LAS CANTIDADES DE OBRA.....	19
3. PROCESO DE FABRICACION EN PLANTA	22
3.1 RECEPCION DEL MATERIAL A PLANTA	22
3.2 INICIO DE LA FABRICACION.....	23
3.2.1 Viga transversal	23
3.2.2 Vigas longitudinales IPE – 400.....	36
3.2.3 Viga de rigidez	36
3.3 ARMADO DE MODULO DE PUENTE.....	54
3.4 ESTADO ACTUAL DE LA FABRICACION	55
4. CONCLUSIONES	57
5. RECOMENDACIONES	58
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	59
ANEXOS	60

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema general del puente colgante	17
Figura 2. Planta estructural del puente	18
Figura 3. Corte longitudinal del puente	18
Figura 4. Recepción del material a la planta	22
Figura 5. Verificación del lote con el certificado de calidad	22
Figura 6. Especificaciones viga IPE - 700.....	23
Figura 7. Corte de lámina en mesa de corte CNC	24
Figura 8. Detalles viga IPE - 700	24
Figura 9. Proceso de armado de la viga IPE - 700.....	25
Figura 10. Vigas IPE - 700 armadas listas para resoldar	26
Figura 11. Cortes y biselado sobre aletas de la viga IPE - 700	27
Figura 12. Biselado sobre el alma de la viga armada.....	28
Figura 13. Soldadura de empate aleta alma de la viga	28
Figura 14. Proceso de soldadura de la viga.....	29
Figura 15. Cordones de soldadura alternados	29
Figura 16. Cordón de soldadura completo	30
Figura 17. Soldadura en empates de aletas	30
Figura 18. Alzada típica del ensayo de ultrasonido	31
Figura 19. Inspección con líquidos penetrantes	32
Figura 20. Trazado y demarcación de las perforaciones.....	33
Figura 21. Limpieza mecánica sobre vigas	33
Figura 22. Viga IPE - 700 completamente pintada con anticorrosivo	34
Figura 23. Perforación con ayuda del taladro magnético	35
Figura 24. Almacenamiento en planta.....	35
Figura 25. Transporte de vigas a obra	36
Figura 26. Vigas IPE - 400 cortadas y perforadas.....	37

Figura 27. Vigas IPE - 400 pintadas y almacenadas.....	37
Figura 28. Ángulos para vigas de rigidez en paquetes de 12 metros	38
Figura 29. Plantillas base para el corte y la perforación	39
Figura 30. Ángulos centro punteados listos para instalar	39
Figura 31. Ángulos con corte a la medida según planos de taller	40
Figura 32. Proceso de perforación con taladro magnético	40
Figura 33. Ángulo perforado y limpio listo para pintar	41
Figura 34. Platinas de conexión viga de rigidez	41
Figura 35. Ángulos de la viga de rigidez pintados con anticorrosivo	42
Figura 36. Armado de la viga de rigidez en planta	43
Figura 37. Ángulos de conexión viga IPE - 700 con viga IPE - 400.....	44
Figura 38. Corte de lámina de 1/2" para abrazaderas.....	44
Figura 39. Tipos de abrazadera.....	45
Figura 40. Deformación de la lámina con prensa hidráulica.....	45
Figura 41. Piezas de la abrazadera para el armado.....	46
Figura 42. Abrazadera completamente armada.....	47
Figura 43. Detalle tambor de conexión	48
Figura 44. Trazado de tambores para el corte	48
Figura 45. Tambores cortados según requerimientos de obra	49
Figura 46. Procedimiento general	50
Figura 47. Apertura de cables a 60°	50
Figura 48. Limpieza inicial con thinner	51
Figura 49. Ácido clorhídrico	51
Figura 50. Cable sumergido en soda cáustica	52
Figura 51. Fundición con zinc del bloque de acero y cable.....	53
Figura 52. Sometimiento de la conexión a la tracción	53
Figura 53. Aplicación de 3500psi de tracción.....	54
Figura 54. Módulo del puente armado	55
Figura 55. Estado actual de la obra civil en concreto	56

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Ficha de cantidades de obra	21
--	----

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo A. Planos de Taller Puente Guambuyaco	61
---	----

INTRODUCCION

La estructura metálica siendo una de las ramas del sector de la infraestructura que se encuentra en auge, fue asignada como protagonista para el desarrollo de la obra Puente Guambuyaco; un puente colgante de 180 metros de luz ubicado sobre el río Juanambú y que comunicará los municipios del Peñol y Taminango dando paso a una de las obras más importantes para el progreso no solo de las regiones directamente afectadas sino de todo el departamento. Dicho puente fue diseñado por la Universidad del Cauca y adjudicado al Consorcio Puente Guambuyaco 518 para la construcción.

Teniendo en cuenta las ventajas que ofrece la estructura metálica para la ejecución de este tipo de obras la empresa Estructuras de Nariño S.A.S con una experiencia de más de 30 años en el medio participa como contratista de estructura metálica de la obra. Como plan general de ejecución de la obra se divide en tres fases, fabricación (en el taller ubicado en la ciudad de Pasto), transporte y montaje.

Una vez definidos los lineamientos del montaje la empresa emprende un arduo proceso de fabricación en el cual se enfoca el presente informe, trabajo de supervisión continua y apego total a las normas vigentes durante su desarrollo. En este proceso se lograron procesar más de 220 toneladas de acero de diferentes clases y aleaciones. Para dar paso a la transformación de toda esta cantidad de acero se analizaron y efectuaron distintas actividades que hacen parte del presente trabajo como son: elaboración y digitalización de planos de taller, determinación de cantidades de obra, supervisión continúa de los operarios en taller, logística para el almacenamiento y transporte final a la obra.

En resumen el presente trabajo engloba todas las actividades necesarias para la correcta ejecución de la etapa de fabricación de la estructura.

DEFINICION DEL PROBLEMA

Uno de los canales principales para fomentar el desarrollo de una región es el mejoramiento continuo de su infraestructura vial, lo cual no solo representa facilidad en el transporte, si no el ingreso y egreso de innumerables productos que ayudan al crecimiento de la economía local y repercuten también, en la economía nacional. En la búsqueda de este mejoramiento el Departamento de Nariño con la representación de la Gobernación del mismo ha determinado ejecutar el proyecto encaminado a la construcción de la vía Pasto – El Tambo.

Teniendo en cuenta que en la actualidad la infraestructura vial con la que se cuenta en la zona de influencia del proyecto es prácticamente nula, ya que no existe la posibilidad de acceso continuo y adecuado de vehículos al sitio, para lograr un diseño óptimo desde el punto de vista estructural y funcional en donde se disminuya los tiempos de traslado, que sea una alternativa económica y eficaz a la hora de emprender un proyecto de desarrollo vial y teniendo en cuenta la geografía de la zona, los entes encargados determinaron que es necesario atravesar el río Juanambú con la construcción de un puente que comunique los dos extremos de la rivera del río y de continuidad al proyecto vial de la zona.

La alternativa elegida dadas las condiciones del proyecto ha sido la construcción de un puente colgante de 180 metros de luz a 70 metros de altura sobre el lecho del río aproximadamente, dado que este tipo de estructuras permite tener grandes luces en su vano central y por otro lado, la plataforma de tránsito puede estar ubicada a alturas considerables, no se necesita apoyos centrales durante la construcción, lo que permite la libre ejecución sobre ríos anchos o cañones profundos, adicionalmente, son relativamente flexibles con las acciones del viento y sismo, cabe resaltar que sumado a estas características positivas del sistema se suma que es una salida más económica respecto a puentes más rígidos que implicarían mayores dimensiones del mismo.

JUSTIFICACION

La necesidad de mejorar y crear nuevas rutas de comunicación en el departamento de Nariño crecen día a día, el desarrollo urbano es una de las prioridades de todo Municipio no solo desde el punto de vista estructural sino también económico, social, cultural y en el caso específico del departamento de Nariño es necesario prever rutas de evacuación en caso de emergencia volcánica.

Al noreste del departamento de Nariño se ubican los municipios de Taminango y el Peñol, los cuales por años han estado luchando por superar las necesidades, el marginamiento y atraso a los que se han visto sometidos. En el año 2011, el Consejo Asesor de Regalías avaló el proyecto por el cual se aprobó la construcción del puente Guambuyaco sobre el río Juanambú entre los municipios del Peñol y Taminango. Dicha obra es de gran importancia, pues une la zona occidental y la zona norte del departamento beneficiando adicionalmente los municipios de los Andes, El Tambo, Linares, La Llanada, lo que contribuirá con la comercialización de productos agrícolas hacia los centros de producción. Adicionalmente, se constituye en una alternativa de evacuación para los habitantes de la zona ante una emergencia del volcán Galeras, pues podrán conectarse con la vía Panamericana.

La construcción o adecuación de un medio de comunicación intermunicipal con características óptimas de funcionamiento y calidad fomentan diferentes aspectos del progreso de las comunidades tales como la economía de los municipios involucrados ya que se benefician por la reducción de distancias, menores y más

cómodos recorridos en el transporte facilitan el comercio, adicionalmente, con el desarrollo de un proyecto de esta envergadura se fomenta la generación de empleo para las personas de la zona y la facilidad que para algunos de los usuarios representa más seguridad al transitar. Cabe resaltar que este tipo de proyectos no solo benefician a los municipios involucrados si no que generan un paso hacia adelante en el progreso del departamento en general y la necesidad de seguir creciendo cada día.

OBJETIVOS

Objetivo general: brindar apoyo técnico y logístico en la fabricación en planta de la estructura metálica para el puente colgante Guambuyaco que comunica los municipios del Peñol y Taminango.

Objetivos específicos:

- Llevar a la práctica todos los conocimientos adquiridos durante la formación de pregrado, en especial aquellos aprendidos en la asignatura de estructuras metálicas.
- Contribuir en la elaboración y corrección de los planos de taller para la fabricación de la estructura en planta.
- Elaborar órdenes de trabajo pertinentes que optimicen la realización de las actividades en planta por parte de los operarios.
- Contribuir con la solución de las inquietudes e inconvenientes que se generen a lo largo del desarrollo de las actividades en planta.
- Supervisar la correcta ejecución de las órdenes de trabajo dando como resultado la fabricación acorde con planos de taller.
- Efectuar el cálculo de cantidades de obra para el correcto funcionamiento y abastecimiento de materiales en planta.
- Contribuir en lo posible con el desarrollo de obras fuera del Puente Guambuyaco.
- Cumplir con las especificaciones estipuladas en los planos de diseño, pliegos de condiciones y normas de construcción vigentes.
- Ampliar los conocimientos respecto a la norma NSR – 2010 en especial el título F concerniente a estructuras metálicas.

METODOLOGIA

Para la ejecución del presente trabajo se cumplió con las siguientes actividades:

- Elaboración y digitalización de planos de taller.
- Cálculo de cantidades de obra.
- Elaboración de órdenes de trabajo para fabricación en taller por parte de los operarios.

Supervisión y control en la fabricación:

- Verificación de medias de corte y perforación
- Verificación de calidad del acabado del corte
- Verificación de calidad de acabados usados (acero, tornillos, soldadura, pintura entre otros.)
- Verificación de las condiciones de limpieza dependiendo de las especificaciones según plano de diseño
- Verificación de las condiciones de pintura y almacenamiento de la estructura antes del transporte.

1. DESCRIPCION DEL PROYECTO

El presente trabajo se enfoca en la fabricación de la estructura metálica de la obra Puente Guambuyaco, puente de 180 metros de luz compuesto por tres tramos uno central de 100 metros y dos extremos de 40 metros divididos por dos torres centrales de 70 metros de altura aproximadamente. La estructura metálica se divide en los siguientes ítems: viga de rigidez, vigas transversales y longitudinales, cable, pendolones, galápagos y pernos de anclaje. La estructura del puente colgante esta sobre el rio Juanambú, comunicando los municipios del Peñol y Taminango.

A continuación, se muestra la estructura del puente:(Fig, 1, 2, 3.).

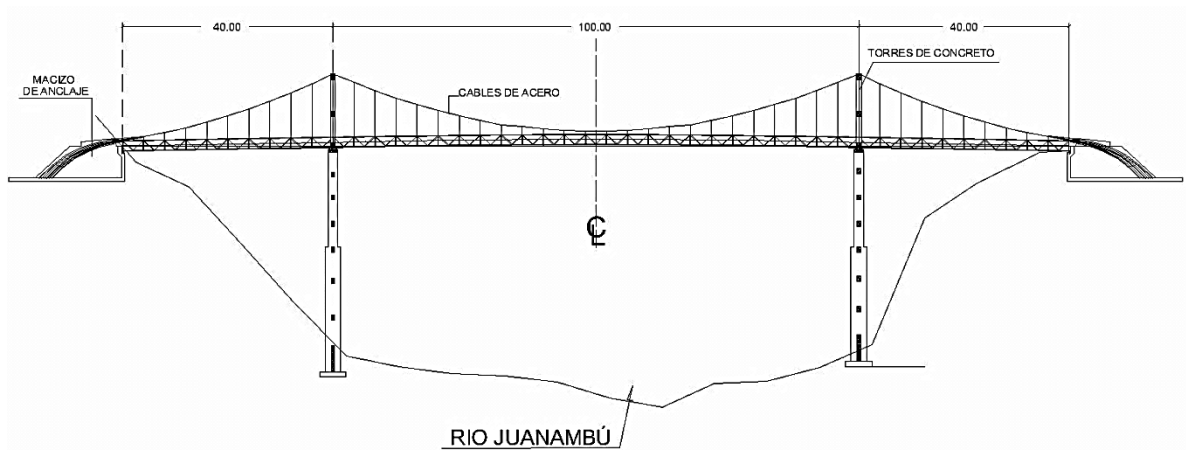


Figura 1. Esquema general del puente colgante

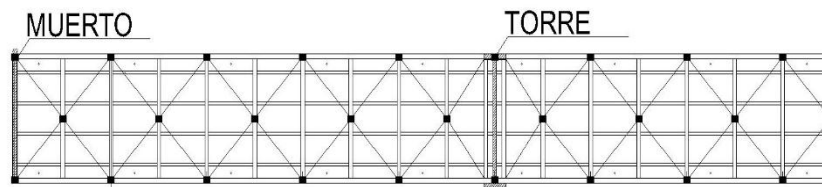


Figura 2. Planta estructural del puente

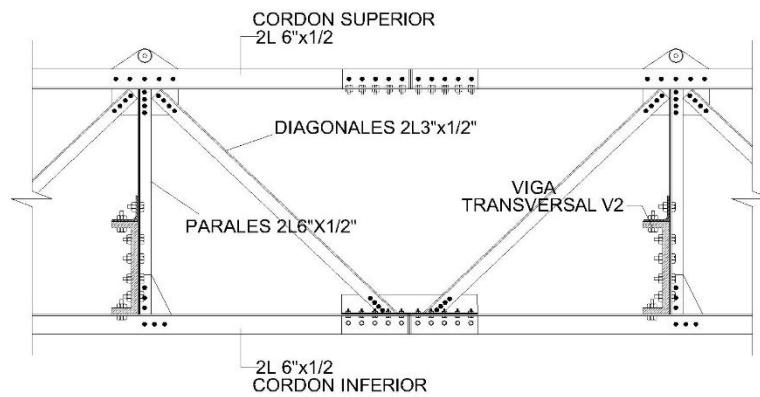


Figura 3. Corte longitudinal del puente

2. ELABORACION DE PLANOS DE TALLER

La actividad más importante y que repercute tanto en la fabricación como transporte y montaje es la elaboración de los planos de taller. Para la ejecución de esta actividad se analizan varios factores como son: las vías de comunicación hacia la obra y el vehículo tipo de transporte en la vía de acceso, dando como resultado el mayor tamaño de las piezas a transportar y el peso total que se puede transportar en cada uno de los camiones; el suministro de energía en el lugar de montaje determinando el tipo de conexiones a utilizar y el espacio para maniobras de montaje.

Una vez analizados estos factores se determinó que el transporte se realizará en tracto camiones del tipo C3 con capacidad para 10 toneladas, dado que la vía que llega al sitio de montaje no se encuentra en condiciones que permitan una mayor capacidad de transporte y la mayor longitud de los elementos a transportar es de 8.32 metros; el sitio de montaje carece de suministro de energía eléctrica dando como resultado conexiones atornilladas propuestas inicialmente por el diseñador facilitando las condiciones de montaje considerando los riesgos de trabajos en caliente a alturas tan grandes y evitando en lo posible equipos de soldadura en obra.

Como se ha mencionado anteriormente el puente se compone de las siguientes partes: la viga de rigidez ubicada a lo largo de todo el puente a ambos lados, la viga transversal que une las vigas de rigidez, las vigas longitudinales que funcionan como viguetas recibiendo la carga de la losa, transfiriéndola a las vigas transversales y estas a su vez a las vigas de rigidez que finalmente distribuyen las cargas en el cable a través de los pendolones.

Finiquitada la logística para el montaje y como se efectuará la fabricación se elaboraron los planos de taller que se indican en el anexo 1.

2.1 DETERMINACION DE LAS CANTIDADES DE OBRA

Una vez establecidos los planos de taller se procedió a cuantificar el material necesario para iniciar el proceso de fabricación. Hay que tener en cuenta que elementos como la viga transversal IPE-700 no es comercial y por tal motivo hay que armarla partiendo de láminas de los espesores determinados por el diseñador, otros a su vez requieren de un maquinado preliminar por parte del proveedor, todo esto se podrá observar más adelante cuando se trate la fabricación como tal.

Esta determinación es de vital importancia dado que hay materiales que requieren importación y que el proveedor requiere por lo menos de dos meses para adelantar este trámite, además el proveedor debe consolidar una carga para poder legalizar la importación siendo imposible importar pequeñas cantidades que no se hayan tenido en cuenta inicialmente.

Otro caso que repercute en la disposición del material en planta es el tiempo de entrega por parte de proveedores que ejecutan un maquinado previo en sus plantas como el caso de los cables que requieren de 3 meses para la fabricación y tambores un mes.

Es necesario aclarar que en el alcance del presente trabajo se excluyen algunas cantidades de material que la gerencia de la Estructuras de Nariño determinó y compró posteriormente, por flujos de dinero y cambios a la hora del montaje; como es el caso de los pendolones los cuales se determinarán una vez montado el cable, algunos herrajes, equipos y subestructuras para el montaje. (ver tabla 1)

Tabla 1. Ficha de cantidades de obra

 ESTRUNAR® ESTRUCTURAS DE NARIÑO SAS		FICHA DE CANTIDADES DE OBRA	
		OBRA:	PUENTE GUAMBUYACO
		FECHA	MARZO DE 2014
CANTIDAD	DESCRIPCION	FORMATO	OBSERVACIONES
VIGA LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL			
19	Lamina 19mm	8X20 pies	A-36
18	Lamina 12mm	4 m	A-36
60	IPE - 400	12 m	ASTM A - 572 GRADO 50
2	L 4"X1/2"	12 m	A - 36
14	L 3"X1/2"	12 m	A - 36
5	L 3"X1/2"	12 m	A - 36
VIGA DE RIGIDEZ			
60	L 6"X1/2"	12 m	A - 36
60	L 6"X1/2"	12 m	A - 36
24	L 6"X1/2"	12 m	A - 36
73	L 3"X1/2"	12 m	A - 36
15	LAMINA 1/2"	8X20 pies	A - 36
ARRIOSTRAMIENTOS LATERALES			
50	L 4"X5/16"	12 m	A - 36
3	LAMINA 1/2"	8X20 pies	A - 36
CABLE DE ACERO EIPS 6X29 21/4"			
28	ROLLO CABLE ACERO NEGRO 2-1/4"	194.00 m	CABLE ACERO FU:225TON
TAMBORES DE CONEXIÓN			
28	EJE MACIZO 12"	0.30 m	ACERO CALIDAD 1020
PERNOS DE ANCLAJE			
56	EJE ROSCADO 2" ACERO 1045	6.00 m	ACERO CALIDAD 1045
PROVEEDOR: VENDEDOR: FLETES Y TRANSPORTE:			
AUTORIZO:			
CARRERA 51 #19 A 100 TOROBAJO TEL: 7307546			

3. PROCESO DE FABRICACION EN PLANTA

3.1 RECEPCION DEL MATERIAL A PLANTA

Todo comienza con la recepción y verificación del material a la planta donde se corrobora que este cumpla con todas las características establecidas en los certificados de calidad de los materiales. (ver figura 4-5)



Figura 5. Recepción del material a la planta



Figura 4. Verificación del lote con el certificado de calidad

El material llega debidamente marcado para poder verificar que el lote en planta coincida con los certificados de calidad suministrados por el proveedor.

Se desarma parte de la carrocería para que con la ayuda de una grúa se proceda a realizar el descargue y acopio en las zonas determinadas por la empresa; todo esto siguiendo las recomendaciones del área SISO de la empresa.

3.2 INICIO DE LA FABRICACION

3.2.1 Viga transversal. La viga transversal IPE – 700, es una viga armada a base de láminas calidad A-36 de distintos espesores todo esto con base en el diseño estructural. **(ver figura 6)**

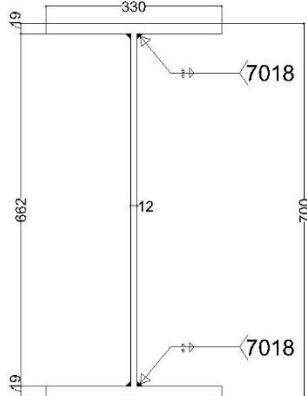
	ELEMENTO
	IPE - 700
	MEDIDA
	8320 mm
	CANTIDAD
	48 UNDS

Figura 6. Especificaciones viga IPE - 700

Una vez que los planos de taller están definidos se procede a desarrollar cada una de las actividades que permitan la fabricación de cada uno de los elementos. (ver figura 7-9)



Figura 7. Corte de lámina en mesa de corte CNC

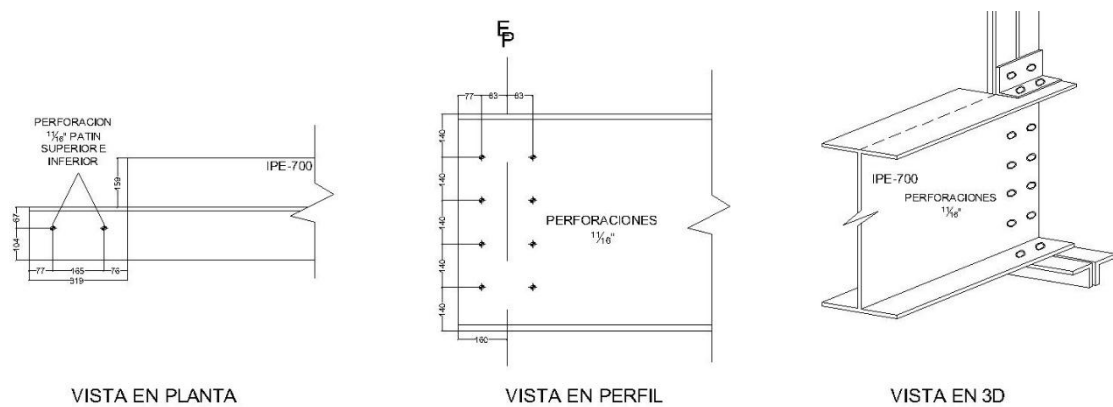


Figura 8. Detalles viga IPE - 700



Figura 7. Proceso de armado de la viga IPE - 700

Como se mencionó anteriormente, la viga IPE-700 no es de dimensiones comerciales y para fabricarla se debe partir del corte de las láminas de diferentes espesores que conformen el alma y las aletas dando paso a la sección transversal solicitada. Para obtener mejores resultados con el corte la empresa cuenta con una mesa de corte asistido por computador CNC con dos medios de corte plasma y oxicorte; para efectuar estos cortes se usó el plasma que genera una fuente externa a la mesa producido por aire a altas presiones y un arco eléctrico constante, es importante resaltar que el corte con plasma es mucho más rápido, la calidad del corte es mejor y genera una mínima cantidad de escoria ayudando así al proceso de soldadura posterior.

El proceso de armado comprende la unión de las platinas de las aletas y el alma de la viga con unos pequeños cordones de soldadura de 3 a 4 centímetros aproximadamente, siempre verificando que entre estas exista un ángulo de 90° y la simetría del elemento con respecto al alma; para darle más estabilidad a la viga antes y durante el proceso de soldadura se colocan unos pies de amigo en varilla o ángulos.

Una vez que las vigas están armadas se empieza con un arduo trabajo de soldadura, para darle agilidad y garantizar la calidad del mismo, la empresa cuenta con unos equipos para soldadura MIG un proceso que cuenta con un arco eléctrico y gas (agamix), de igual manera los operarios de soldadura en planta son

certificados bajo la norma AWS y cuentan con la experiencia suficiente para desarrollar esta actividad con altos estándares de calidad.

Antes de emprender el proceso de la soldadura como tal, se deben efectuar los biseles y cortes correspondientes en aletas y alma que garanticen la penetración suficiente de la soldadura. Además, se limpia la zona de empalme de las platinas para evitar que agentes contaminantes afecten la calidad del trabajo y repercutan en problemas generando zonas de falla en la estructura una vez esta esté en funcionamiento.

Al no ser una viga laminada en caliente el proceso de armado debe ser de óptima calidad. (ver figura 10-13)



Figura 8. Vigas IPE - 700 armadas listas para resoldar

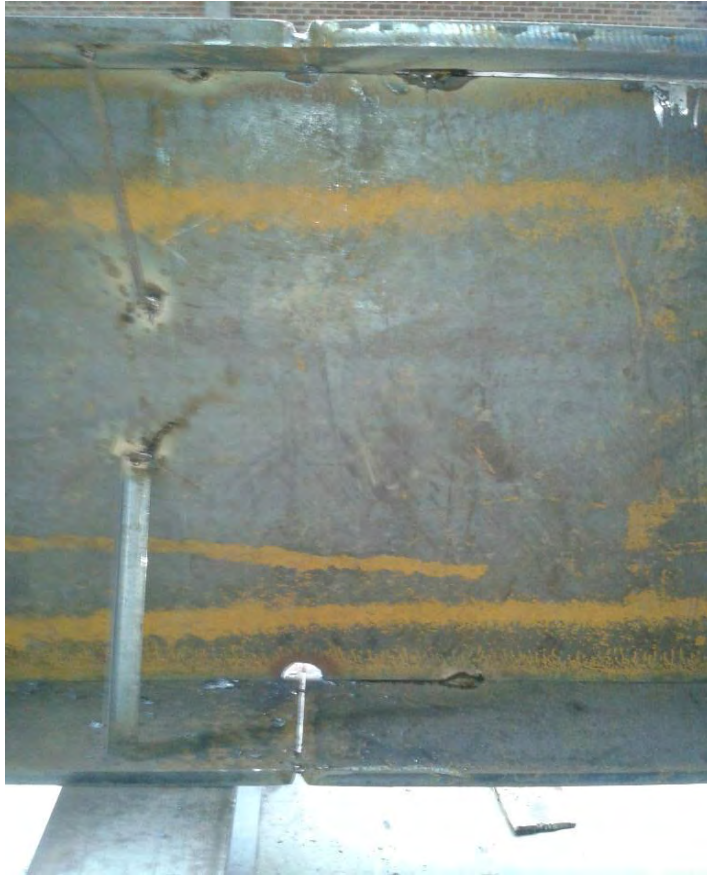


Figura 9. Cortes y biselado sobre aletas de la viga IPE - 700



Figura 10. Biselado sobre el alma de la viga armada



Figura 11. Soldadura de empate aleta alma de la viga

Se inicia el proceso de soldadura con un espesor de garganta de 10mm no superando el calibre de la lámina más delgada 12mm.

Teniendo en cuenta la longitud del cordón de soldadura y para no deformar las láminas con todo el calor al cual va a ser sometida la viga, los cordones se hacen dejando espacios entre ellos y alternados con respecto a los cordones que van al otro lado. (ver figura 14-17)

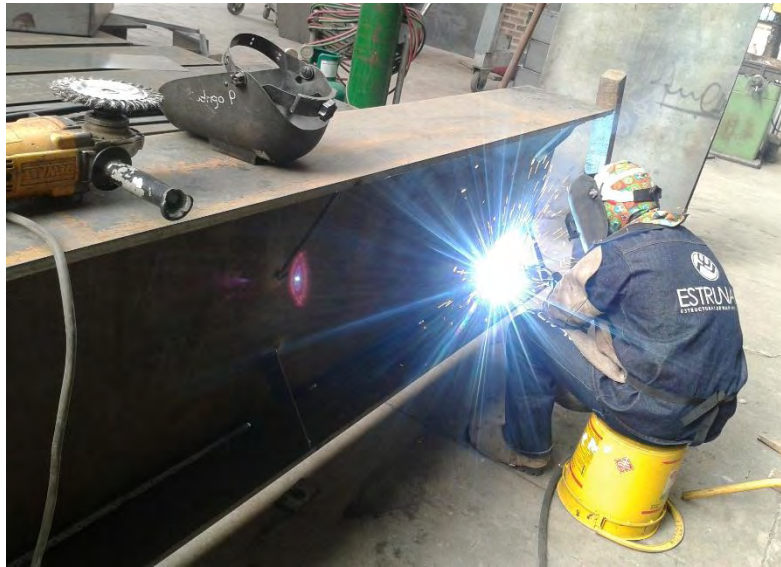


Figura 12. Proceso de soldadura de la viga

Una vez realizado el primer recorrido con la soldadura el operario regresa completando los cordones, durante la inspección se verifica constantemente que la viga no se encuentre deformada.



Figura 13. Cordones de soldadura alternados



Figura 14. Cordón de soldadura completo



Figura 15. Soldadura en empates de aletas

Para verificar la calidad de todo este proceso se contrata a una compañía debidamente certificada para que realice las pruebas de soldadura pertinentes a las vigas IPE – 700 armadas.

Para cumplir con todos los requisitos de calidad se realizan pruebas de inspección visual, tintas penetrantes y ultrasonido. Todas estas pruebas se hacen bajo el acompañamiento del pasante.

El propósito de la inspección visual al 100% de las soldaduras de las vigas de la referencia IPE - 700, realizadas en el momento de la revisión, fue determinar la existencia o no de discontinuidades y/o defectos tales como, poros, grietas, socavaciones, verificación del perfil de soldadura incluyendo el tamaño aproximado de los filetes, para tal propósito se utilizó, cámara fotográfica digital y galga para soldadura, la inspección, estuvo basada en los requerimientos, procedimientos y criterios de aceptación o rechazo de los siguientes códigos y especificaciones. El propósito de la inspección por líquidos penetrantes a las soldaduras de fabricación de las vigas de la referencia, es detectar la existencia o no de fisuras, socavados, poros y otras manifestaciones anormales abiertas a la superficie, que comprometan el buen funcionamiento de la misma. Para llevar a cabo el propósito mencionado, se usaron líquidos penetrantes visibles, solubles en agua, penetrante SKL WP y Revelador SKD S2, marca MAGNAFLUX. La finalidad de la inspección por ultrasonido para detección de fallas, fue encontrar, en el caso de existir, indicaciones, discontinuidades o defectos internos en las soldaduras a tope de las vigas de referencia. Para tal propósito se utilizó la unidad digital de ultrasonido para detección de fallas, SONATEST D20 y palpador angular, usando como medio acoplante ecogel.

Cabe mencionar que durante todas estas inspecciones los resultados encontrados fueron favorables y no se tuvo que reparar en ningún caso las soldaduras aplicadas. (ver figura 18-21)

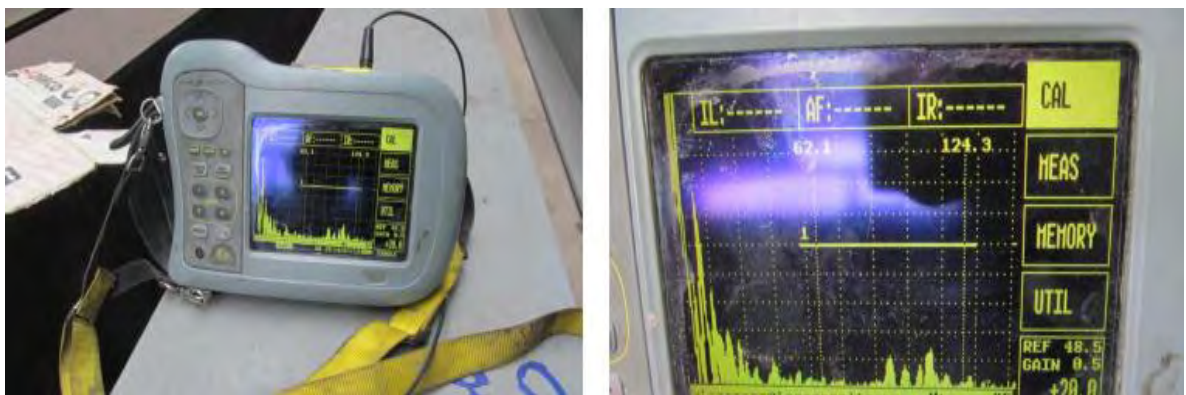


Figura 16. Alzada típica del ensayo de ultrasonido

Una vez emitidos estos resultados favorables se continúa con la fabricación dando paso a la perforación y descaje del patín en la zona de empate con la viga de rigidez.



Figura 17. Inspección con líquidos penetrantes

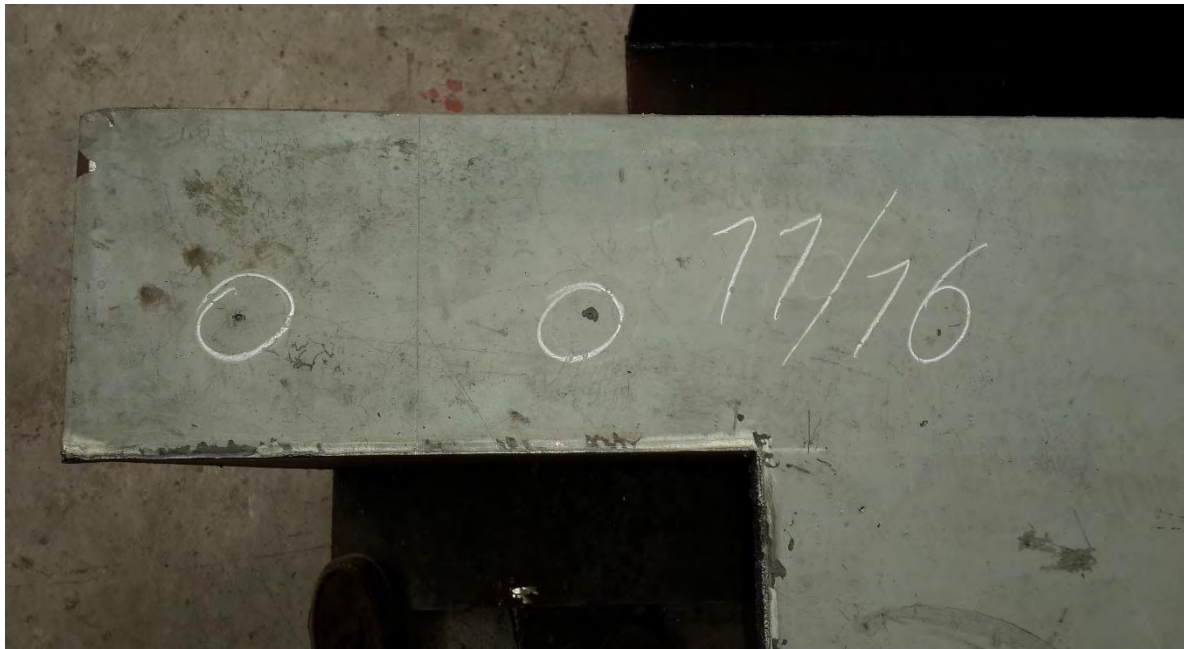


Figura 19. Trazado y demarcación de las perforaciones



Figura 20. Limpieza mecánica sobre vigas

El taladro magnético es una herramienta de perforación que permite la fijación total del taladro durante la perforación impidiendo desplazamientos durante el proceso garantizando así las tolerancias entre perforaciones y a bordes de placa. Una vez la viga está completamente resoldada, perforada y cumple con todos los requerimientos impuestos por los planos de taller se inicia el proceso de pintura, primero removiendo todo tipo de impurezas, escoria y oxido por medios mecánicos y manuales siguiendo los lineamientos de la norma de limpieza SP3.

Para darle protección al metal ya limpio se procede a aplicar dos manos de pintura anticorrosiva alquídica gris plata. (ver figura 22-23)



Figura 21. Viga IPE - 700 completamente pintada con anticorrosivo



Figura 22. Perforación con ayuda del taladro magnético

Una vez efectuada la pintura se procede a almacenar las vigas en la planta y a transportarlas en tracto camiones tipo C3 de 8 unidades cada viaje para no exceder el peso que resiste el vehículo y en algunas oportunidades en una cama baja. (ver figura 24)



Figura 23. Almacenamiento en planta

3.2.2 Vigas longitudinales IPE – 400. Dado que la viga IPE – 400 es altamente comercial la planta coordinó la compra en formato de 12 metros, se realizó las actividades de corte por medio de oxicorte una mezcla de gas propano y oxígeno dándole la medida correspondiente a planos de taller, perforación con ayuda del taladro magnético, limpieza mecánica tipo SP3, pintura con anticorrosivo, almacenamiento y transporte final. Todos estos procesos siguen los mismos lineamientos que se describió anteriormente. (ver figura 25)



Figura 24. Transporte de vigas a obra

3.2.3 Viga de rigidez. La viga de rigidez es el elemento del puente donde son transmitidas todas las cargas que posteriormente se distribuyen en el cable. Es importante resaltar que esta viga cuenta con una serie de platinas de conexión en lámina de $\frac{1}{2}$ " y es básicamente una viga en celosía angular donde estos van en forma de T, describiéndola un poco más a fondo la viga cuenta con un cordón o cuerda superior e inferior en ángulo doble de $6"x6"x\frac{1}{2}"$, parales o montantes también en ángulos dobles de $6"x6"x\frac{1}{2}"$, diagonales en ángulos dobles de $3"x3"x\frac{1}{2}"$ y diferentes platinas de conexión en lámina de $\frac{1}{2}"$ calidad A-36, cabe mencionar que todas las conexiones en esta viga son atornilladas dejando a un lado el proceso de soldadura pero incrementando el trabajo de perforación debido al número de orificios necesarios para las conexiones. (ver figura 26-34)



Figura 26. Vigas IPE - 400 cortadas y perforadas



Figura 27. Vigas IPE - 400 pintadas y almacenadas

En resumen, los procesos que se aplican son muy similares a los que se describieron con las anteriores vigas salvo unas particularidades que se irán mencionando.



Figura 25. Ángulos para vigas de rigidez en paquetes de 12 metros



Figura 26. Plantillas base para el corte y la perforación



Figura 27. Ángulos centro punteados listos para instalar



Figura 28. Ángulos con corte a la medida según planos de taller



Figura 29. Proceso de perforación con taladro magnético



Figura 31. Ángulo perforado y limpio listo para pintar



Figura 30. Platinas de conexión viga de rigidez

Es importante resaltar que los dos tramos de los extremos, los que hacen la conexión con el muerto de anclaje se fabricarán una vez estén instalados los cables y se haya avanzado en el proceso de montaje pues hay varios factores que pueden generar ligeras modificaciones en las medidas y que se solucionarán con estos tramos.

Teniendo en cuenta la cantidad de perforaciones con las que cuenta la viga de rigidez, en taller se armó un tramo para analizar posibles ajustes en los planos y obviamente en la fabricación para que no se retrase el montaje por correcciones que se tengan que hacer en obra, toda vez, que en obra no se cuenta con la infraestructura y equipos necesarios para la fabricación y devolver material a taller para ser corregido, pudo generar aún más problemas.

Hay que mencionar que en la viga de rigidez se hicieron algunas modificaciones con respecto a los planos de diseño, una de ellas y tal vez la más representativa es que el ángulo para los montantes de la viga determinado por el diseñador es de 3"x6"x1/2" ángulo de aletas desiguales no comercial en Colombia que se cambió al mismo ángulo de la cuerda inferior y superior de 6"x6"x1/2"; las dimensiones en todas las platinas de conexión se tuvieron que ajustar con respecto al número de perforaciones necesarias y las tolerancias que la norma determina con respecto a las distancias mínimas entre perforaciones y distancias mínimas entre la perforación y el borde de la placa. (ver figura 35-36)



Figura 35. Ángulos de la viga de rigidez pintados con anticorrosivo



Figura 32. Armado de la viga de rigidez en planta

3.2.4 Elementos de conexión y herrajes. Es claro que todos y cada uno de los elementos que componen el puente son importantes para su funcionamiento, una vez analizados los elementos más predominantes como son la viga de rigidez, longitudinal y transversal, se da paso a la fabricación de elementos más pequeños como son: ángulos, platinas y abrazaderas. (ver figura 37-39)



Figura 33. Ángulos de conexión viga IPE - 700 con viga IPE - 400



Figura 38. Corte de lámina de 1/2" para abrazaderas

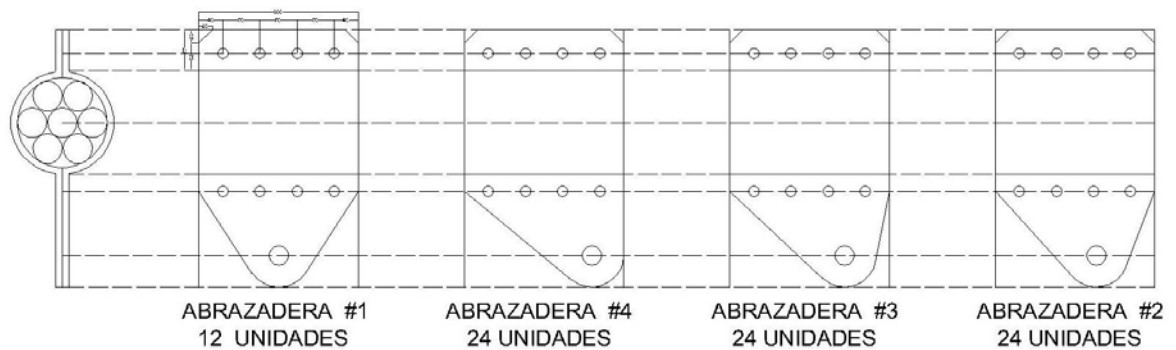


Figura 39. Tipos de abrazadera

Las abrazaderas son las encargadas de sujetar los siete cables de 2.25" ubicados a cada uno de los lados del puente y ayudar a transmitir a ellos con ayuda de los pendolones conectados a la viga de rigidez las cargas que resiste el puente en sí. El cable en cada uno de sus tramos presenta unas deflexiones diferentes y para asegurar que las cargas se transmitan correctamente el diseñador definió 4 tipos de abrazaderas diferentes que se ajustan a los requerimientos de la estructura. Una vez analizada la forma y posible construcción de las abrazaderas se determinó que el cilindro que abraza los cables se construiría a base de lámina de $\frac{1}{2}$ ", pues en el mercado no hay un tubo de características que se ajusten a esta forma. (ver figura 40)



Figura 34. Deformación de la lámina con prensa hidráulica

El proceso para la fabricación de estos semicilindros empieza con el corte de la lámina, teniendo en cuenta el desarrollo de esta para que quede a la medida una vez efectuados los dobleces con la ayuda de la prensa hidráulica y una guía circular construida con lámina de 38mm y un banco en lámina 3/4" como se observa en la figura anterior.

Inicialmente, se hizo una prueba construyendo solamente una para determinar qué tan factible resultaría armar completamente la abrazadera; se obtuvieron resultados favorables que condujeron a la fabricación de la totalidad de las mismas.

Se inicia el proceso de soldadura para unir las piezas y obtener los resultados deseados. (ver figura 41-42)



Figura 35. Piezas de la abrazadera para el armado



Figura 36. Abrazadera completamente armada

3.2.5 Tambores de conexión a barras de anclaje. Para elementos como los tambores que no es más que un elemento macizo con tres perforaciones a lo largo de él con 30 centímetros de largo, la planta no cuenta para la fabricación total de ellos por lo cual se compró un eje redondo de acero calidad 1045 y se contrató con el mismo proveedor la perforación según el plano de taller determinado.

La figura anterior muestra la pieza que el proveedor fabricará, como anexo se presenta el plano completo. Una vez la pieza arribó a la planta se ultimó la fabricación cortándola para darle la medida indicada.



Figura 38. Detalle tambor de conexión



Figura 37. Trazado de tambores para el corte

Se analizó dejar la pieza tal y como llegó del proveedor pero por su diámetro no se podía instalar dado que la separación entre los pernos no era la suficiente. Este elemento es supremamente importante pues es el responsable de unir los pernos de anclaje con los cables principales. La calidad de estos elementos viene respaldada con certificados del fabricante; discontinuidades en la fundición del eje macizo o grietas producidas por la perforación podrían generar que la conexión falle provocando en las peores circunstancias el colapso de todo el puente. Los resultados de las pruebas de ultrasonido que la empresa contrató despejaron cualquier duda respecto a posibles errores. (ver figura 45)



Figura 45. Tambores cortados según requerimientos de obra

Tan importante como verificar la calidad del elemento a conectar como es el tambor es chequear también la fundición con zinc que une el cable con el tambor. Por tal motivo, se realizaron pruebas en planta para verificar la conexión que posteriormente se realizará en obra. (ver figura 46-47)

- Prueba de la fundición de cables y tambor con zinc

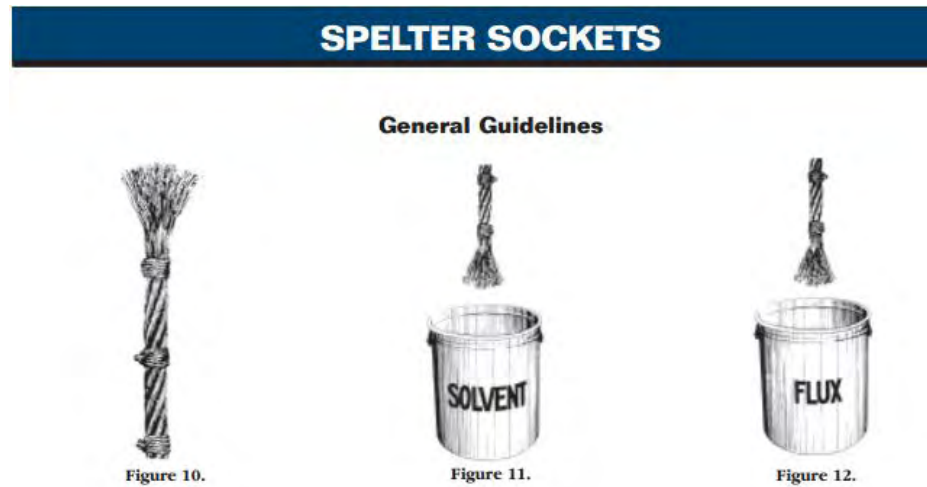


Figura 39. Procedimiento general



Figura 40. Apertura de cables a 60°

Mediante un proceso manual se desenhebra los torones del cable y se da apertura a los alambres hasta formar un cono cuya apertura aproximada es de 60 °.

El ángulo de apertura de las hebras facilita la limpieza del cable y genera mayor área de contacto en el proceso de fundición con Zinc. (ver figura 48)



Figura 41. Limpieza inicial con thinner

Utilizando una brocha se aplica el disolvente (Thiner) sobre los alambres del cable con el fin de remover el lubricante que los recubre. (ver figura 49-50)



Figura 42. Ácido clorhídrico



Figura 43. Cable sumergido en soda cáustica

Consiste en sumergir el cable en la solución (1000 / 50 ml) de agua + ácido clorhídrico (37%) durante un tiempo aproximado de 30 segundos, con el fin de eliminar la contaminación producida por el disolvente garantizando que la solución de ácido no deteriore el material.

Al sumergir el cable en soda cáustica se elimina la contaminación producida por el ácido clorhídrico consiste en hacer una solución de agua caliente con 100 gr de soda caustica, y en esta solución sumergir el cable y agitarlo durante 30 segundos aproximadamente. (ver figura 51)



Figura 51. Fundición con zinc del bloque de acero y cable

Una vez el cable se encuentre limpio, se procede a ubicarlo dentro del elemento contenedor y a hacer el vaciado del zinc, convirtiendo el cable y los bloques de acero en una pieza monolítica. (ver figura 52-53)



Figura 44. Sometimiento de la conexión a la tracción



Figura 45. Aplicación de 3500psi de tracción

Con la ayuda de la prensa hidráulica se somete la conexión a tensión con un esfuerzo del 50% de la carga de rotura del cable teniendo en cuenta que el factor de seguridad del cable supera el 3.

ESFUERZO APLICADO: 3500 psi

ESFUERZO DE ROTURA: 7000 psi

% ESFUERZO APLICADO=50%

El elemento presenta comportamiento estable, no se generan grietas, fisuras u otro tipo de alteración en la fundición Cable – ZINC esto garantiza la calidad del procedimiento empleado.

3.3 ARMADO DE MODULO DE PUENTE

Al igual que lo realizado con la viga de rigidez para revisar y culminar la fabricación se procedió a armar en planta un tramo completo del puente, todo con el fin de encontrar posibles errores o detalles complejos que impidan la versatilidad del montaje.

El proceso inicia armando las dos vigas de rigidez laterales, conectándolas a través de la viga transversal y se finaliza instalando las vigas longitudinales IPE – 400. Durante el desarrollo de esta actividad no se encontró ningún problema que atacar ni se presentó algún ajuste por hacer.

3.4 ESTADO ACTUAL DE LA FABRICACION

Es importante aclarar que la empresa continúa con el proceso de fabricación, toda vez que el tiempo en el cual el pasante prestó sus servicios quedaron elementos menores por fabricar y otros que llegan directamente a obra como el caso de los cables, en general, durante todo este proceso de pasantía se logró fabricar:

Viga de rigidez:	100% para un total de 102 toneladas
Vigas transversal y longitudinal:	100% para un total de 122 toneladas
Tambores:	100% 28 unidades
Abrazaderas:	100% 84 unidades

Dadas las condiciones de la fabricación la empresa puede emprender el montaje y terminar de fabricar al tiempo. Sin dejar de lado la importancia de definir el color de acabado de la estructura que el contratante aún no ha decidido. (ver figura 54)



Figura 46. Módulo del puente armado

Actualmente el contratista de obra civil está ultimando el relleno de los muertos de anclaje extremos pero ya se puede iniciar el proceso de montaje; aunque para eso la empresa Estructuras de Nariño S.A.S tiene que instalar sus equipos y subestructuras para el montaje. (ver figura 55)



Figura 55. Estado actual de la obra civil en concreto

4. CONCLUSIONES

Durante la ejecución de esta pasantía además de la aplicación de los conocimientos adquiridos durante la formación de pregrado, también se aplicaron los principios de responsabilidad y ética profesional importantes dentro del óptimo desarrollo de la labor del ingeniero civil.

Se identifica que el éxito de la fabricación está en la correcta elaboración de los planos de taller pues en ellos el operario encuentra toda la información necesaria para desarrollar cada una de las actividades además de la información técnica apegada a las normas vigentes.

El ingeniero a través de las órdenes de trabajo con las que la empresa cuenta puede dar un mensaje más claro hacia el operario para optimizar la ejecución de los trabajos.

El acompañamiento constante durante la fabricación logró una retroalimentación de los conocimientos del pasante y el personal en planta.

La estructura metálica es una rama de la ingeniería que ofrece muchas bondades pero a su vez requiere de unos conocimientos específicos, de alguna manera es un trabajo más especializado que involucra procesos con altos estándares de calidad.

Este tipo de proyectos contribuyen al desarrollo del departamento y generan progreso para la gente de la región beneficiada como tal.

Fomentar la modalidad de pasantía en la Universidad brinda al futuro ingeniero muchas herramientas que serán fundamentales a la hora del ejercicio profesional.

5. RECOMENDACIONES

Sugerir un acompañamiento constante de un profesional encargado de la seguridad industrial, salud ocupacional y medio ambiente en la planta; disminuyendo así los riesgos que corre el personal por el mal manejo de equipos y el no uso de los elementos de protección.

Definir lo antes posible el color de acabado de la estructura para culminar del todo la fabricación.

Complementar la catedra de estructuras metálicas con conocimientos de construcción, al igual, que en las áreas de concretos y pavimentos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SISMICA. Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá. AIS. 2010. 1147p.

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERIA. Reflexiones Sobre Nuestros Puentes. Departamento De Publicaciones Escuela Colombiana De Ingeniería. 1995. 449 p.

FREDERICK S. Merrit y RICKETS Jonathan. Guía del Ingeniero Civil. Santa Fe de Bogotá. Mc Graw Hill, 1996. 415 p.

HERNANDEZ, Marciano. El Hierro En La Construcción Cálculo Y Aplicaciones. Monografías CEAC de la construcción. 1985. 172 p.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS. Presentación de tesis y otros trabajos de grado. Sexta actualización. Bogotá. Pirámide. 2008. 120 p.

RAMIREZ MARTINEZ Evelio. Análisis de Costos y Programación. Editorial Universidad Nacional de Medellín. 1990.

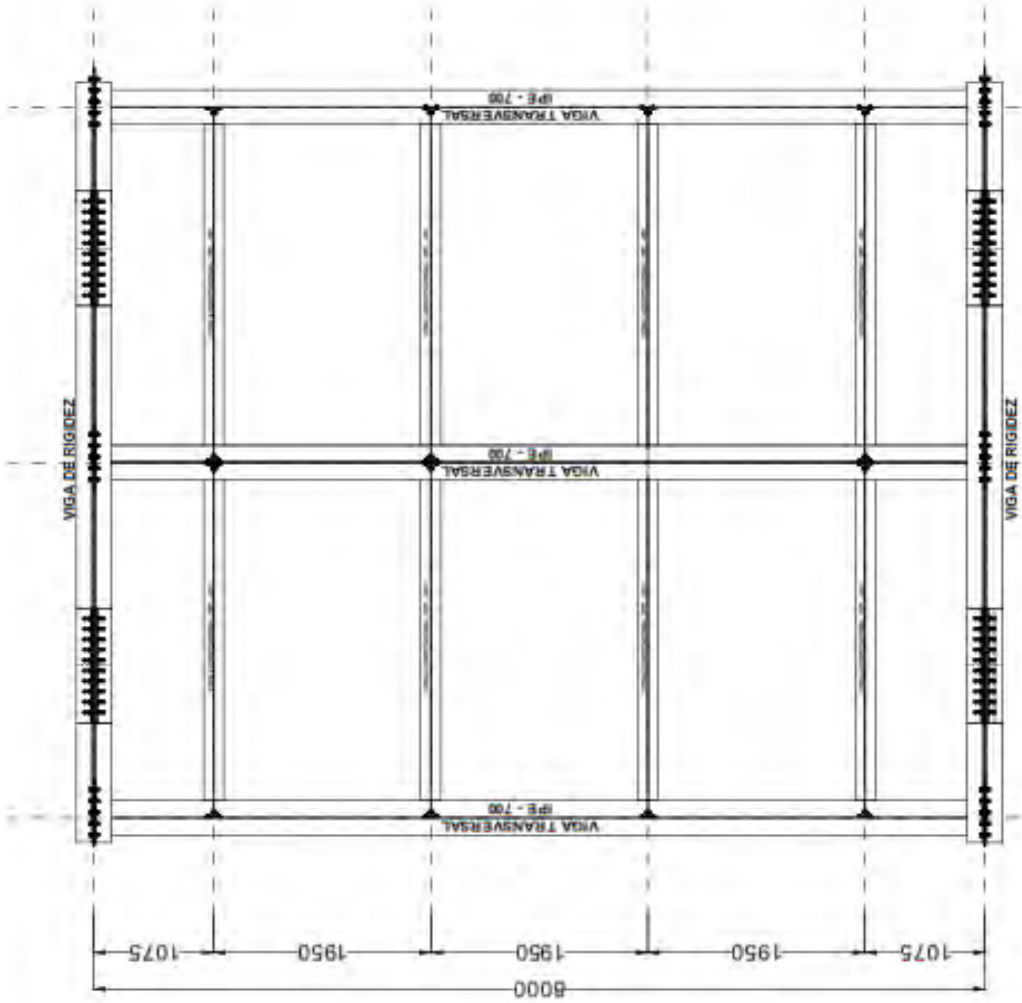
SANCHEZ M. Marco Enrique. Organización y control de Obras. Módulo De Especialización De Empresas Constructoras. Universidad de Nariño. Pasto. 1999.

SUAREZ SALAZAR, Carlos. Costo y Tiempo en Edificaciones, México Limusa 1985. 180 p.

VINNAKOTA, SRIRAMULU. Estructuras De Acero Comportamiento y LRFD. Mc Graw Hill interamericana, 2066. 904 p.

ANEXOS

Anexo A. Planos de Taller Puente Guambuyaco



62

