

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y DE ENERGIA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA MECANICA**



**“PROCEDIMIENTO Y APLICACIÓN  
DE NORMAS INTERNACIONALES EN LA  
FABRICACION, EMPALME Y LANZAMIENTO DE LAS  
VIGAS METALICAS DEL PUENTE CATARATA  
EN LA PROVINCIA DE HUANCASANCOS – AYACUCHO”**

**INFORME DE EXPERIENCIA LABORAL PARA OBTENER EL  
TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO MECANICO**

**PRESENTADO POR:  
BACHILLER: JAVIER MARTIN LUNA ASENCIO**

**Callao, Setiembre 2016  
PERU**

## INDICE

	PAG
<b>INTRODUCCION</b>	05
<b>I. OBJETIVOS</b>	
1.1 Objetivo general	07
1.2 Objetivos específicos	07
<b>II. LA EMPRESA</b>	
2.1 La empresa	08
2.2 Organización	08
2.3 Cargo y funciones desarrolladas	09
<b>III. ACTIVIDADES DESARROLLADAS POR LA EMPRESA</b>	
3.1 Principales productos	12
3.2 Principales clientes	12
3.3 Principales obras de participación	13
<b>IV. DESCRIPCION DETALLADA DEL PROYECTO DE INGENIERIA</b>	
4.1 Descripción del tema	15
4.2 Antecedentes	15
4.3 Planteamiento del problema	19
4.4 Justificación	21
4.5 Marco teórico	22
4.5.1 Puentes	22
4.5.1.1 Partes de los puentes	22
4.5.1.2 Clasificación de los puentes	24
4.5.2 Puentes de acero	24
4.5.2.1 Tipos de puentes	25
4.5.3 Puente de vigas o sección compuesta	28
4.5.3.1 Partes	28
4.5.3.2 Tipos	31
4.5.4 Lanzamiento de puentes	31
4.5.4.1 Tipos de lanzamiento	32
4.6 Fases del proyecto	34

4.6.1 Fase I: Materiales para la fabricación	34
4.6.1.1 Acero estructural	34
4.6.1.2 Metal de aporte y fundente para proceso de soldadura	37
4.6.1.3 Pernos de anclaje	39
4.6.1.4 Conectores de corte	40
4.6.2 Fase II: Proceso de fabricación de las vigas metálicas	40
4.6.2.1 Actividades previas	41
4.6.2.2 Fabricación	44
4.6.3 Fase III: Soldadura	62
4.6.3.1 Procesos de soldadura	61
4.6.3.2 Equipos	67
4.6.3.3 Registro y calificación de procedimiento de soldadura	70
4.6.3.4 Calificación de soldadores	78
4.6.3.5 Preparación del material base para soldadura	80
4.6.3.6 Control de distorsiones y contracciones	81
4.6.3.7 Inspección de soldadura	83
4.6.4 Fase IV: Preparación superficial	87
4.6.4.1 Documentación de referencia	87
4.6.4.2 Tipos de preparación superficial	88
4.6.4.3 Identificación visual de los grados de limpieza superficial	90
4.6.4.4 Aspectos previos	92
4.6.4.5 Procedimiento de limpieza	99
4.6.4.6 Inspecciones y pruebas	100
4.6.5 Fase V: Protección superficial	102
4.6.5.1 Documentos de referencia	102
4.6.5.2 Métodos de aplicación	102
4.6.5.3 Condiciones ambientales	107
4.6.5.4 Tipos de protectores	108

4.6.5.5 Equipos	112
4.6.5.6 Aplicación	113
4.6.5.7 Inspección y pruebas	114
4.6.6 Fase VI: Control de calidad	121
4.6.6.1 Control de calidad por procesos	122
4.6.6.2 Controles e inspecciones	123
4.6.6.3 Liberación de estructuras para despacho a obra	126
4.6.6.4 Durante los procesos en obra	126
4.6.6.5 Control final para entrega al cliente	127
4.6.6.6 Registros de control de calidad	127
4.6.6.7 Control de producto no conforme	128
4.6.7 Fase VII: Manejo de materiales	129
4.6.7.1 Codificación	129
4.6.7.2 Lista de materiales	129
4.6.7.3 Manejo de carga	129
4.6.7.4 Transporte	130
4.6.7.5 Almacenamiento en obra	131
4.6.8 Fase VIII: Empalme y lanzamiento de las vigas metálicas	131
4.6.8.1 Actividades previas	132
4.6.8.2 Empalme	132
4.6.8.3 Lanzamiento	140
<b>V. EVALUACION TECNICO – ECONOMICA</b>	
5.1 Costos de fabricación	148
5.2 Costos de transporte	151
5.3 Costos de empalme y lanzamiento	151
5.4 Costos de calidad	153
5.5 Cronograma de ejecución	153
5.6 Curva “S” de costos	154
<b>VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
6.1 Conclusiones	159

6.2 Recomendaciones	160
<b>VII. REFERENCIALES</b>	
Referenciales	162
<b>VIII. ANEXOS</b>	
Anexo A. Memoria de cálculo del puente Catarata.	
Anexo B. Planos del proyecto.	
Anexo C. Registro de calificación de procedimiento proceso GMAW.	
Anexo D. Registro de calificación de procedimiento proceso SAW.	
Anexo E. Especificación de procedimiento de soldadura proceso GMAW.	
Anexo F. Especificación de procedimiento de soldadura proceso SAW.	
Anexo G. Calificación de soldadores.	
Anexo H. Especificación técnica de calidad para obras Viales.	
Anexo I. Plan de calidad.	
Anexo J. Plan de mantenimiento.	

## INTRODUCCION

El presente trabajo tiene como finalidad explicar los procesos constructivos de las estructuras metálicas del puente de sección compuesta "Puente Catarata" con una luz de 50m, desde su etapa de fabricación hasta la etapa de empalme y lanzamiento siguiendo procedimientos lógicos, normas internacionales, lineamiento de aseguramiento y control de calidad.

Los puentes de sección compuesta son estructuras metálicas constituidas por vigas de acero armadas por soldadura como elementos principales (también llamadas vigas de alma llena), así mismo cuenta con diafragmas (elementos de unión entre viga), conectores de corte, dispositivos de apoyo, barandas, junta de dilatación y una loza de concreto en la parte superior como superficie de rodadura. Por eso la denominación de sección compuesta una parte de acero y la otra concreto.

Estos puentes son seleccionados por ser económicos y de rápida ejecución, su disposición puede ser de 2, 3 o 4 vigas por puente según el número de vías considerado (una vía o dos vías) y consideraciones de diseño; estos puentes se diseñan bajo la norma AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) y el Manual de Diseño de Puentes dispuesto por la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles del Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

En la fabricación, montaje y lanzamientos de las estructuras metálicas para puentes se emplean normas y recomendaciones prácticas internacionales como la son la de la AWS (American Welding Society) para soldadura de puentes (empleando la AWS D1.5-2008 en nuestro proyecto), las de la SSPC (Steel Structure Paint Coincil) para preparación y protección superficial y las ASTM (American Society Testing Materials)

para identificación de materiales, pruebas mecánicas de materiales y ensayos de inspección.

Las vigas para estos puentes son fabricadas en tramos los cuales son transportados hacia la obra donde se empalman a través de soldadura, siguiendo todas normas y recomendaciones de calidad aplicadas en taller para que una vez listas pueda iniciarse su lanzamiento.

Dependiendo del lugar de lanzamiento, condiciones climatológicas, equipos de izaje (grúas, maquinaria pesada) y costos se plantea un plan de lanzamiento donde se enumera una serie de pasos a seguir para la ubicación final de las vigas metálicas entre sus estribos. Particularmente para este puente se empleó el lanzamiento utilizando cables como huella.

Este trabajo se desarrolla en seis capítulos. El capítulo I indica los objetivos generales y específicos del presente informe. Los capítulos II y III describen la empresa y sus principales actividades de desarrollo como los cargos y funciones desarrolladas por el autor. El capítulo IV describe los antecedentes, marco teórico, planteamiento y justificación del problema de ingeniería tratado hasta el desarrollo de cada fase de la fabricación, montaje y lanzamiento de las estructuras metálicas del puente Catarata. En el capítulo V se revisan los costos de fabricación, montaje y lanzamiento del proyecto, cronogramas de ejecución y curva "S" de costos entre lo real y lo presupuestado. Por último el capítulo VI recoge las conclusiones y recomendaciones del presente proyecto de ingeniería realizado.

# I. OBJETIVOS

## 1.1 Objetivo General

Explicar los procedimientos y aplicación de normas internacionales en los procesos de fabricación, empalme y lanzamiento de las estructuras metálicas para favorecer la reducción de costos y obtener una producción de calidad en la construcción del puente Catarata ubicado en el distrito de Carapo, provincia de Huancasancos, departamento de Ayacucho.

## 1.2 Objetivos Específicos

- a. Explicar los procedimientos de fabricación para las estructuras metálicas del Puente Catarata favoreciendo a reducir costos y tiempo.
- b. Identificar durante el proceso fabricación de las estructuras metálicas del Puente Catarata el uso y empleo de normas internacionales según AWS D1.5-2008, SSPC y ASTM para obtener estructuras de calidad y durables.
- c. Explicar el procedimiento de lanzamiento de las estructuras metálicas del Puente Catarata para conocer uno de los métodos de lanzamiento de puentes y los factores para su selección.
- d. Aplicar un plan de calidad durante la fabricación, empalme y lanzamiento de las estructuras metálicas del Puente Catarata, con la finalidad de obtener estructuras de calidad, durables y dentro de los costos estimados.



## II. ORGANIZACION DE LA EMPRESA

### 2.1 La Empresa

Inversiones Metálicas S.A. es una empresa constituida desde Abril de 1990 con RUC 20161864812, dedicada a brindar servicios de ingeniería, suministro, fabricación, montaje de productos siderúrgicos y bienes metal mecánicos a los sectores de transporte, pesquería, minería, y construcción.

Cuenta con una planta ubicada en el distrito de Puente Piedra de 4000 m2 con una capacidad de procesamiento mensual de 200 toneladas.

Entre sus principales equipos cuenta con un puente grúa de 15 ton, 02 montacargas de 6 toneladas, una mesa de corte por oxiacetileno CNC, una cámara de granallado semiautomática, equipos de soldadura para los procesos SAW, GMAW, FCAW y SMAW, equipos de pintado airless, taladros de columna, punzonadoras como de equipos y herramientas para el montaje de estructuras.

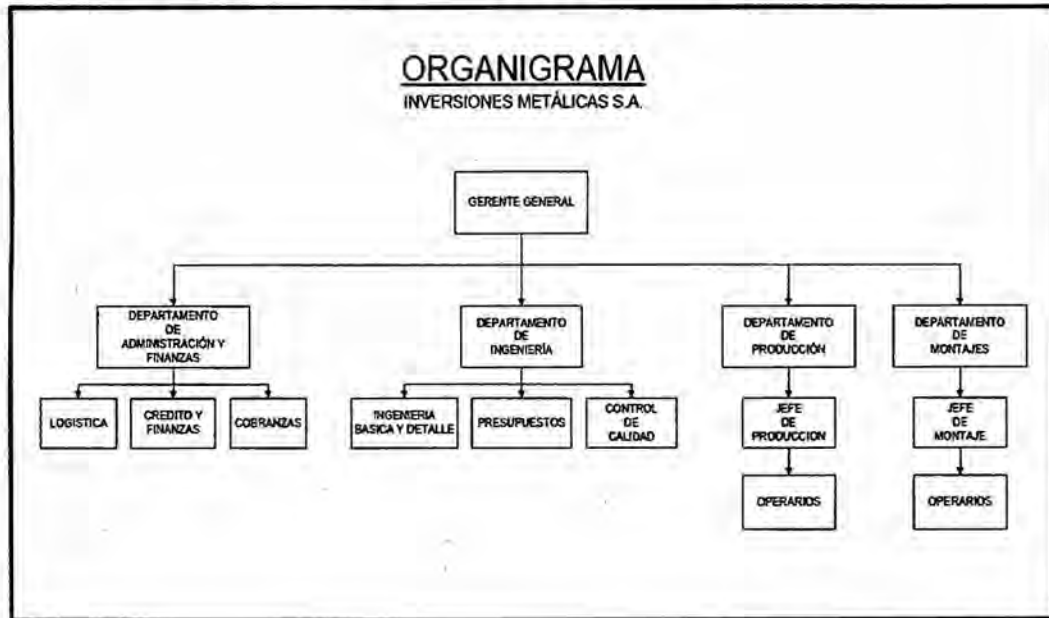
### 2.2 Organización

Inversiones Metálicas SA es una mediana empresa que cuenta con un personal estable básico de 18 personas distribuidas en sus departamentos como sigue:

Gerencial general	: 1
Departamento de administración y finanzas	: 3
Departamento de ingeniería	: 3
Departamento de producción	: 7
Departamento de montaje	: 4

En la figura N° 01 se muestra el organigrama de la empresa.

Figura N° 1.- Organigrama de la empresa Inversiones Metálicas S.A.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

### 2.3 Cargo y Funciones Desarrolladas

Las funciones desarrolladas en esta empresa fueron:

- **Jefe de Logística**

Periodo: Julio 2004 – Julio 2005

Funciones:

- Desarrollar, implementar y controlar las políticas, estrategias y programas para asegurar el suministro de materiales y de servicios a las áreas en forma oportuna y eficiente.
- Planificar las adquisiciones según programa de proyectos desarrollados.
- Dirigir y coordinar las actividades relacionadas con el proceso de adquisición de materiales y de servicios, en apoyo a los departamentos de producción y administrativas.
- Controlar y aprobar la adquisición de materiales y servicios, de acuerdo a la escala de montos, niveles de autorización y prioridades dispuestas.

- Coordinar con el departamento de administración y finanzas, acerca del financiamiento de fondos necesarios para las operaciones de adquisiciones y contrataciones.
- Supervisar y controlar las actividades de recepción y almacenamiento y despacho de materiales.
- Coordinación con los órganos de control internos y externos en el campo de su competencia.

- **Jefe de Ingeniería de Detalle**

Periodo: Julio 2005 – Julio 2006

Funciones:

- Planear, organizar, dirigir y controlar las actividades orientadas a proporcionar la información técnica concerniente a los proyectos de construcción en sus diferentes procesos hasta la obtención del producto terminado.
- Coordinar con el cliente sobre el encargo de nuevos proyectos de construcciones, modificaciones estructurales y metal mecánica en general.
- Elaborar programas de trabajo, evaluando plazos y supervisar la realización de los trabajos.
- Supervisar la elaboración de planos, especificaciones técnicas y lista de materiales requeridos para los proyectos que le sean asignados.
- Preparar planos, esquemas de sistemas, lista de materiales, equipos y diseños en general, de acuerdo a su especialidad.
- Recabar información y apoyar en la elaboración de las especificaciones técnicas del proyecto, de acuerdo a su especialidad.

- **Supervisor de Producción**

Periodo: Julio 2006 – Julio 2007

Funciones:

- Programar, organizar y controlar la ejecución de los trabajos encomendados por el jefe de producción, distribuyendo y supervisando la calidad en los diferentes trabajos a fin de que se cumplan los programas establecidos con eficiencia, seguridad y economía.
- Orientar técnicamente al personal en la ejecución de los trabajos para que se realicen con calidad y eficiencia, buscando la minimización de los costos.
- Preparar los informes técnicos de todos los trabajos realizados en base a las normas de calidad establecidas, indicando los problemas encontrados en la realización de los trabajos y presentando alternativas de solución.
- Proponer el programa de mantenimiento de máquinas y equipos al jefe de producción y controlar su realización.
- Velar por el buen uso y mantenimiento de los activos a su cargo, asimismo, de la limpieza y ornato del área.
- Llevar el control de las fichas historiales de las máquinas y equipos.

- **Supervisor de Control de Calidad**

Periodo: Julio 2007 – Marzo 2008

Funciones:

- Estudiar e interpretar planos y especificaciones técnicas del producto a fabricar y/o reparar.
- Establecer métodos de inspección para la verificación de la calidad de los trabajos y de los materiales y/o equipos adquiridos.
- Supervisar las acciones de inspección de calidad en los insumos, procesos de producción y producto final (fabricación o reparación).
- Participar en las inspecciones realizadas por los inspectores externos, coordinando los ajustes y pruebas necesarias.
- Supervisar el mantenimiento actualizado del registro estadístico de las fallas de calidad ocurridas y de sus causas.

- Evaluar permanentemente las condiciones de operatividad de los equipos, accesorios, herramientas y/o materiales, a fin de que cumplan los procesos de producción esperados.
- Emitir informes de las inspecciones, indicando los niveles de calidad alcanzados en las fabricaciones y reparaciones, certificando el nivel de calidad de los mismos.

### **III. ACTIVIDADES DESARROLLADAS POR LA EMPRESA**

Sus principales actividades son en el campo de la metalmecánica brindando los siguientes servicios:

- Asesoramiento en diseño, planificación, fabricación y montaje.
- Fabricación y montaje.
- Mantenimiento y reparación.

#### **3.1. Principales Productos**

Entre sus principales productos tenemos los siguientes:

- Estructuras: Tuberías de acero, tanques de acero al carbono y acero inoxidable, ciclones y tolvas, chute de descarga, galpones industriales, compuertas, fajas transportadoras, parrillas grating, cimbras, tolvas para camiones.
- Puentes: De sección compuesta tipo alma llena, reticulados, modulares, colgantes, peatonales.
- Edificios: Edificios de acero, plataformas, puentes grúas.

#### **3.2. Principales Clientes**

Entre sus principales clientes se encuentran las siguientes entidades:

- Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
- Provias Nacional.
- Provias Departamental.

- Gobierno Regional de Ayacucho.
- Gobierno Regional del Cuzco.
- Proyecto Especial Sierra Centro Sur.
- Proyecto Especial Alto Huallaga.
- Cosapi.
- Techint.

### **3.3. Principales Obras de Participación**

Durante mi periodo de trabajo en la empresa Inversiones Metálicas he participado en varios proyectos entre los cuales los más importantes son:

- Obra: CORREDOR VIAL INTEROCEANICO SUR - TRAMO2 PUENTE OCONGATE - Luz: 30.00 m - Fabricación, montaje y lanzamiento de 04 vigas metálicas con sus elementos diafragmas, junta de dilatación, conectores – Cliente: CONIRSA.
- Obra: AMPLIACION DEL PUENTE RIMAC - Luz: 70.00 m - Fabricación, montaje y lanzamiento de 08 vigas metálicas con sus elementos diafragmas, junta de dilatación, conectores – Cliente: CONVIAL CALLAO.
- Obra: PUENTE ILLIPATA – Luz: 30.00 m - Fabricación, Montaje y Lanzamiento de 02 vigas metálicas con sus elementos diafragmas, junta de dilatación, conectores – Cliente: CONSTRUCTORA RODRIGO Y ASOCIADOS SAC.
- Obra: PUENTE VILCANCHOS (Ayacucho) - Luz: 42.00 m - Fabricación, montaje y lanzamiento de 02 vigas metálicas con sus elementos diafragmas, junta de dilatación, conectores – Cliente: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE VILCANCHOS.
- Obra: PUENTE ANCHIHUAY (Ayacucho) - Luz: 40.90 m - Fabricación, montaje y lanzamiento de 03 vigas metálicas con sus elementos diafragmas, junta de dilatación, conectores – Cliente: PROYECTO ESPECIAL SIERRA CENTRO SUR.

- Obra: PUENTE EL AGUILA (Sihuas) - Luz: 30.50 m - Fabricación de 04 vigas metálicas y empalme en obra – Cliente: MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES.
- Obra: PUENTE CENTRAL HIDROELÉCTRICA DE MACCHUPICCHU (Cuzco) - Luz : 60.00 m - Fabricación, montaje y lanzamiento de las estructuras metálicas del puente reticulado - Cliente : COSAPI - CARTELLONE.
- Obra: PUENTE RESERVORIO SAN DIEGO (Caraz) - Luz: 44.00 m - Fabricación, montaje y lanzamiento de las estructuras metálicas del puente reticulado - Cliente: COSAPI S.A.
- Obra: EMBARCADERO FLUVIAL SAN PABLO (Iquitos) - Luz: 50.00 m - Fabricación de las estructuras metálicas del puente reticulado - Cliente: CEBASA – CIPOR.
- Obra: PUENTE TINCOCC (Ayacucho) - Luz: 50.00 m - Fabricación, montaje y lanzamiento de las estructuras metálicas del puente reticulado - Cliente: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE SARHUA.
- Obra: TORRES METÁLICAS DEL PUENTE NIEVA Y ACCESO – Luz: 155 m - Suministro, fabricación y empalme de la 04 Torres Metálicas del puente colgante.
- Obra: REPARACION Y MANTENIMIENTO DEL PUENTE SAN FRANCISCO (Ayacucho-Cuzco) – Luz: 237.5 m - Cambio de placas, instalación de refuerzos, arenado y pintado del 100% de la estructura para el puente tipo Waagner Biro - Cliente: PROVIAS NACIONAL.

## **IV. DESCRIPCION DETALLADA DEL PROYECTO DE INGENIERIA**

### **4.1 Descripción del Tema**

Procedimientos y aplicación de normas internacionales en el proceso de fabricación, empalme y lanzamiento de las estructuras metálicas para favorecer la reducción de costos y obtener una producción de calidad en la construcción del puente Catarata de 50 m de luz, ubicado en el distrito de Carapo, provincia de Huancasancos Departamento de Ayacucho.

### **4.2 Antecedentes**

Morales y Sapallanay (2001) en su libro Diseño de Superestructura Puentes de Sección Compuesta; desarrolla información sobre los tipos de superestructuras para puentes, su clasificación y el diseño de vigas principales metálicas para puentes de sección compuesta como el diseño de losas de C°A°, el diseño abarca para puentes con 02 y 03 vigas . Así mismo muestra las diferentes formas de lanzamiento para este tipo de puentes.

Afirman la ventaja de las construcciones de puentes de sección compuesta frente a las cargas sísmicas en vista a su menor peso empleado, así mismo garantiza el método del factor de carga (LFRD) para el diseño de puentes de sección compuesta ya que se obtienen mejores condiciones de durabilidad, servicio y menor peso. Finalmente resaltan la rapidez de construcción de este tipo de puentes lo cual constituye una gran ventaja en el caso que se requiera la rehabilitación de vías en el más corto tiempo, siendo una alternativa factible y viable.

AASHTO/NSBA (2002) emite una publicación titulada S2.1 Steel Bridge Fabrication Guide Specification, la cual es una guía para la fabricación de puentes de acero especialmente para vigas, esta guía inicia definiendo las responsabilidades de los encargados, las tareas previas a la fabricación



como lo es la ingeniería de detalle, ejecución de procedimientos, aseguramiento y control de calidad y la seguridad; después define las actividades propias del proceso de fabricación como es el corte de materiales, control de deformaciones, soldadura, agujeros. Y por último la aplicación de calor en los elementos, geometría de los elementos y geometrías de puente.

AASHTO/NSBA (2002) en su publicación S4.1 Steel Bridge Fabrication QC/QA Guide Specification, esta publicación dividida en tres partes detalla los lineamientos para el control y aseguramiento de calidad en la fabricación de puentes de acero, en la primera parte define términos referentes a los responsables de calidad dentro de un proyecto de fabricación; la segunda parte es referente al control de calidad en las diferentes etapas constructivas, los ensayos no destructivos, certificación y calificaciones, documentación y procedimientos de inspección. Por último el aseguramiento de calidad donde indica los requerimientos mínimos que se necesitan para su aplicación.

Maza (2002) en su informe profesional denominado Fabricación, Montaje y Lanzamiento de Puentes Tipo Alma Llena, describe las etapas de fabricación, las consideraciones del montaje, los diferentes tipos de lanzamientos, las pruebas de carga una vez instalada las estructuras y el mantenimiento de las estructuras metálicas de los puentes tipo alma llena.

Concluye que la fabricaciones de los puentes tipo alma llena es ventajosa en varios factores como su corto tiempo de fabricación, mejor comportamiento a los efectos sísmicos, no tiene inconvenientes para fabricarse en cualquier época del año frente a los puentes de concreto que necesitan de colocar falsos puentes para su construcción, su competencia en costo frente a los puentes de concreto es muy ventajosa

y va mejorando con el uso de nuevos aceros de mayor resistencia y mejores características frente a la corrosión. Así mismo resalta la importancia en las inspecciones de las uniones soldadas con los ensayos no destructivos en todos los tipos de juntas de acuerdo a lo indicado en la normas de soldadura para puentes garantizando su sanidad. Por ultimo muestra las formas más usuales de lanzamiento para puentes indicando que su selección se realizara en función de la geografía del terreno, cauce del rio y costos.

Andrade, Domínguez y Pinzón (2004) en la tesis de grado Aplicación del Código AASHTO/AWS D1.5-2002 en la soldadura de Puentes Vehiculares, revisan el proceso de soldadura en sus diferentes etapas en la construcción de un puente metálico; desde la calificación de procedimientos (PQR), la especificación de soldadura (WPS) , calificación de soldadores, control de calidad antes-durante y después en las juntas soldadas y los ensayos no destructivos (gammagrafía, ultrasonido, y partículas magnéticas) que deben realizarse para la verificación de la sanidad de las juntas soldadas.

Entre sus hallazgos resalta la importancia de aplicar un código de construcción a las uniones soldadas para puentes como el AASHTO/AWS D1.5-2002 con la finalidad de controlar los aportes de calor, las zonas afectadas térmicamente, concentración de esfuerzos, velocidades de enfriamiento, discontinuidades muy relacionadas al momento de soldar y que deben medirse para evitar fracturas frágiles, disminución en la tenacidad del material base y resistencia con lo cual podrían hacer colapsar la estructura.

Campoverde (2006) en su tesis de grado con título Estudio de Fabricación de un Puente de Estructuras Soldadas utilizando el código AWS D1.5, donde estudia la fabricación de un puente de estructuras de acero

soldadas empleando la norma AWS D1.5 desde la ingeniería de detalle, proceso de fabricación de partes, sistema de protección y su despacho.

Indica la ventaja en trabajar con estructuras soldadas ya que requieren un menor tiempo de fabricación y montaje haciéndolas más económicas, así mismo las uniones soldadas proporcionan suficiente rigidez y resistencia para soportar las cargas presentes en puentes lo que proporciona menores secciones y ahorro de material.

Santos (2012) en su tesis de grado titulada Desarrollo e Implementación de un Sistema de Control de Calidad de Soldadura con el uso de Ensayos No Destructivos en Puentes Metálicos utilizando la norma AWS D1.5, investiga sobre los controles de calidad en el proceso de soldadura en puentes metálicos teniendo como base la norma AWS D1.5 y generando un sistema de control paralelo a este, desde su importancia en el diseño de las juntas, calificación del personal, los tipos de discontinuidades, ensayos no destructivos de aplicación, requerimientos de personal para ensayos no destructivos como los métodos de inspección. Así mismo hace un estudio a la norma de AWS D1.5 capítulo por capítulo, donde resalta los procedimientos, aplicación y evaluación para ensayos no destructivos aplicados para estas estructuras como lo son el de inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas y ultrasonido.

Los resultados en la aplicación de la norma AWS D1.5 en un sistema de control en el proceso de soldadura cumple los requisitos de aseguramiento de calidad en las juntas soldadas, la aplicación de un procedimientos de control basado en esta norma generaron registros, e informes de gran ayuda antes, durante y después del proceso de soldadura reduciendo tiempos y maximizando el trabajo de inspección. En cuanto a la aplicación de ensayos no destructivos recomienda la

aplicación de ultrasonido como método principal de inspección para las juntas a penetración completa debido a obtener resultados de forma inmediata y no significar un riesgo frente a la aplicación de ensayos radiográficos.

Torres (2013) en su tesis de grado Aplicación del Proceso de Soldadura en Puentes Vehiculares hace un enfoque a los proceso de soldadura empleados para soldar estructuras metálicas explicando los procesos existentes, la operación y funcionamiento de los equipos de soldar, clasificación de los materiales base y material de aporte, identificación de los problemas presentes en soldadura con sus respectivas causas y posibles soluciones; por ultimo relaciona los temas de calidad para este proceso y los costos que involucran.

Resuelve y propone a los procesos de soldadura SMAW, FCAW y SAW como los procesos de mayor funcionalidad y productividad en la unión de elementos para puentes, también de la importancia del control de calidad en cada una de sus etapas disminuyendo los costos por fallas y el costo de no calidad superando a los costos de prevención.

#### **4.3 Planteamiento del Problema**

La necesidad de unir los pueblos salvando una serie de obstáculos ya sean naturales o creados por el hombre ha llevado a realizar innumerables puentes de varias características, en el Perú desde los tiempos de los incas ya se construían puentes colgantes, oroyas de un cable fijo y huaros o tarabitas de dos cables fijos (Gallegos, 2012), entre los más importantes son los que se ubicaron sobre el río Apurímac como el puente Qeswachaka (“puente de ichu” en Quechua) de 45 m de luz, construido por el Inca Pachacutec (Cuscoface.com, 2014).

Por eso para permitir la interconexión entre los distritos de Carapo y Huancasancos de la provincia de Huancasancos del departamento de Ayacucho, el programa de apoyo al desarrollo socioeconómico y la descentralización (AGORAH) con el financiamiento de la Comisión de las Comunidades Europeas y del Gobierno Regional de Ayacucho ejecutaron la construcción del puente Catarata ubicado en el distrito de Carapo, provincia de Huancasancos, departamento de Ayacucho.

Para tal efecto el programa AGORAH solicitó la fabricación, suministro e instalación de estructuras metálicas del puente Catarata, las mismas que fueron adquiridas según los procedimientos y la normativa señalada en el texto único ordenado de la ley N° 26850 de la ley de contrataciones y adquisiciones del estado y reglamentos aprobados por los decretos supremos N° 83 y 84-2004-PCM, a través de la licitación pública nacional No. 003-2007-GRA/UEP-A-AGORAH.

La convocatoria se realizó por fabricación, suministro e instalación de vigas metálicas del puente catarata, en un plazo de 45 días y por un monto de S/. 716,399.24 (Setecientos Dieciséis Mil Trescientos Noventa y Nueve con 24/100 Nuevos Soles) incluido impuestos.

La fabricación se inició a fines del mes de diciembre del 2007 concluyéndose los trabajos en enero del 2008.

El presente informe profesional propone explicar ¿Cuáles son los procedimientos y aplicación de normas internacionales en el proceso de fabricación, empalme y lanzamiento de las estructuras metálicas para favorecer la reducción de costos y obtener una producción de calidad en la construcción del puente Catarata de 50 m de luz, ubicado en el distrito de Carapo, provincia de Huancasancos Departamento de Ayacucho?

#### **4.4 Justificación**

El presente informe profesional es importante porque permite explicar los procedimientos y aplicación de normas internacionales en los procesos de fabricación, montaje y lanzamiento de las estructuras metálicas para favorecer la reducción de costos y obtener una producción de calidad en la construcción del puente Catarata.

Este informe se justifica teóricamente porque desarrolla cada fase del proceso de fabricación de las estructuras metálicas basado en especificaciones técnicas y normas internacionales.

Así mismo también se justifica metodológicamente porque aporta un diseño de procedimiento a seguir para la fabricación de estructuras metálicas para puentes, útil para seguir como modelo de guía en las empresas metalmecánicas.

Además se justifica de forma práctica en el uso y manejo de normas por parte de los ingenieros mecánicos en los procesos de fabricación, empalme y lanzamiento de las estructuras metálicas para puentes.

Finalmente este informe servirá como orientación a estudiantes de pregrado de la carrera de ingeniería mecánica de las diferentes universidades e institutos de formación técnica en cuanto a los procesos de fabricación, empalme y lanzamientos de estructuras metálicas para puentes, el empleo de normas internacionales para estas estructuras y controles de calidad durante su ejecución.

## **4.5 Marco Teórico**

### **4.5.1 Puentes**

Los puentes son estructuras utilizadas para salvar irregularidades naturales como ríos, valles, lagos y a su vez obstáculos artificiales como vías férreas, carreteras, dando continuidad a los caminos (Carrera, 2015).

Los puentes son estructuras viales que tienen su trazado por encima de las superficies irregulares o accidentes geográficos presentes en la naturaleza a lo largo de proyectos viales (Cárdenas, 2012).

Puente es una estructura reticular que facilita aquellas actividades que pudieran encontrar dificultad para sortear un obstáculo natural o una vía de circulación terrestre o marina (Torres, 2013).

Por definición un puente es una construcción que permite salvar un obstáculo, ya sea natural como un río, un acantilado o algún otro tipo de accidente geográfico o artificial como un camino, una carretera o una vía férrea (Santos, 2012).

#### **4.5.1.1 Partes de los Puentes**

Los puentes de acuerdo a lo indicado por Martínez-Manzanares (2007) están constituidas por las siguientes partes: superestructura, sub estructura y obras complementarias. La definición de cada una de estas a continuación:

##### **a) Superestructura**

Es el conjunto de elementos que forman la parte superior del puente, y generalmente está compuesto por:

- La superficie de rodadura: conformado por el concreto reforzado de alta resistencia o elementos prefabricados.

- La superficie asfáltica: que sirve como recubrimiento protector a la superficie de rodadura.
- La acera: es la sección para el tránsito peatonal sobre el puente, por lo general se colocan a ambos lados del puente.
- Las vigas longitudinales: Son los elementos principales y donde se soporta la superficie de rodadura. Su número puede ser de 2, 3 o 4 vigas según el número de vías.
- Los diafragmas: son los elementos que sirven de arrioste lateral a la estructura, capaces de transmitir las fuerzas sísmicas o fuerzas del viento hacia la subestructura.

#### **b) Subestructura**

Compuesta por los estribos y pilas, la cimentación y los aparatos de apoyo. La subestructura soporta las cargas originadas en la superestructura y la transmiten al estrato resistente.

- Los estribos: son la estructura de retención que soporta la superestructura y la calzada de principio a fin.
- Pilar: son estructuras que soportan la superestructura en puntos medios.
- Apoyos: son sistemas mecánicos que transmiten las cargas horizontales y verticales de la superestructura a la subestructura como los movimientos para acomodarse entre la superestructura y la subestructura.

#### **c) Obras Complementarias**

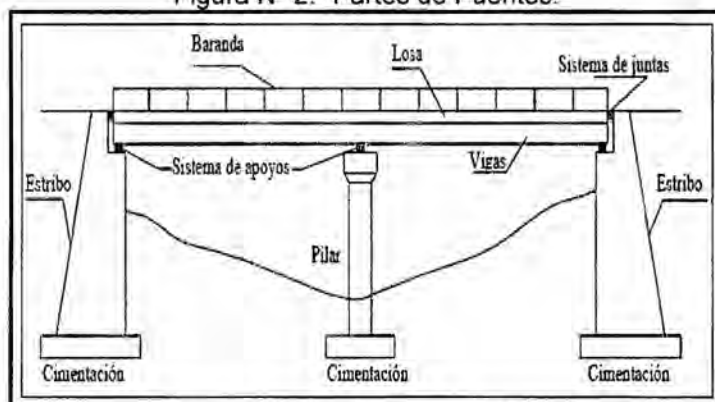
Veredas: Para vías de tránsito personal.

Desagüe: Asegurando el escurrimiento del agua pluvial.

Protecciones: Contra erosiones de taludes, cauces de ríos, impacto de embarcaciones, señalizaciones.



Figura N° 2.- Partes de Puentes.



Fuente: Pagina web [www.construaprende.com](http://www.construaprende.com)

#### 4.5.1.2 Clasificación de los Puentes

Los puentes podrán clasificarse de acuerdo con Carrera (2014) bajo los siguientes criterios:

- **Por el servicio que prestan:** como acueductos, viaductos, peatonales, carreteros, vías férreas.
- **Por el material de la superestructura:** de madera, concreto armado, concreto pre esforzado, acero y sección compuesta (acero y concreto).
- **Por la forma de la estructura:** de losa maciza, losa aligerada, viga cajón, viga T, viga I, arco, atirantado, colgante, pórtico, reticulado.
- **Por el tiempo de vida útil:** definitivos y temporales.
- **Por el tipo de apoyo:** isostáticos e hiperestáticos.
- **Por el proceso constructivo:** vaciado en situ, compuesta, prefabricados y doveles.
- **Por el trazo geométrico:** rectos, esviado y curvo.

#### 4.5.2 Puentes de Acero

Los puentes de acero han marcado una revolución en la construcción, permitiendo construcciones de puentes más largos y livianos que los logrados con hormigón. Gracias a su buena resistencia a la tracción, ductilidad y tenacidad entre sus principales características.

Los puentes de acero facilitan la construcción, el ensamblaje y el montaje reduciendo costos y tiempos.

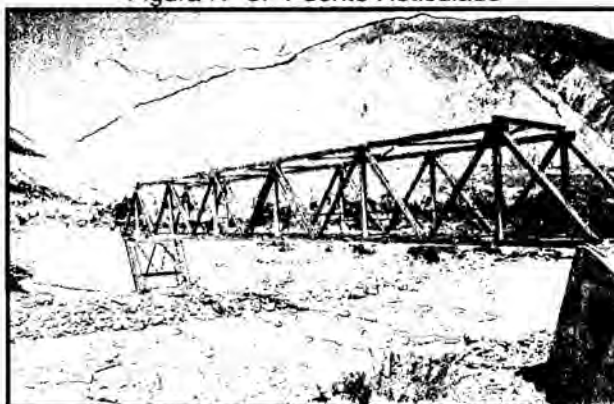
#### **4.5.2.1 Tipos de Puente**

Los puentes de acero compartiendo el criterio de Torres (2013) pueden ser reticulados, de vigas o sección compuesta, colgante, atirantada y modular, el detalle de cada uno a continuación:

##### **a. Puentes Reticulados**

Conformados por dos vigas longitudinales exteriores, arriostradas en su parte superior mediante un sistema reticulado para formar un conjunto estructural, diseñado para actuar simplemente apoyado sobre estribos de concreto. Ideal para luces entre 50 a 110 metros.

Figura N° 3.- Puente Reticulado



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

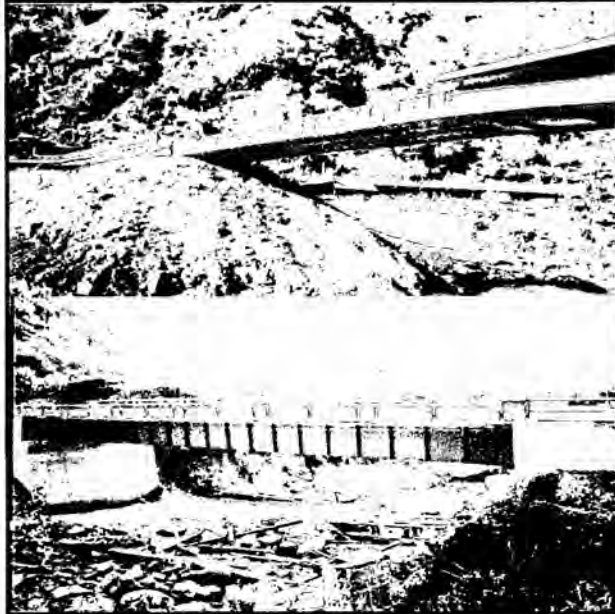
##### **b. Puente de Vigas o Sección Compuesta**

Este tipo de puente es de principal interés de nuestro informe y están compuestos por 2 o varias vigas longitudinales, que soportan una losa de concreto armado con carpeta asfáltica, de uso para luces entre 30 a 50 metros. Su ventaja principal es su rápida fabricación e instalación y bajo costo.

Este tipo de puente es de principal interés de nuestro informe y están compuestos por 2 o varias vigas longitudinales, que soportan una losa de

concreto armado con carpeta asfáltica, de uso para luces entre 30 a 50 metros. Su ventaja principal es su rápida fabricación e instalación y bajo costo.

Figura N°4.-Puente de Vigas o Sección Compuesta.

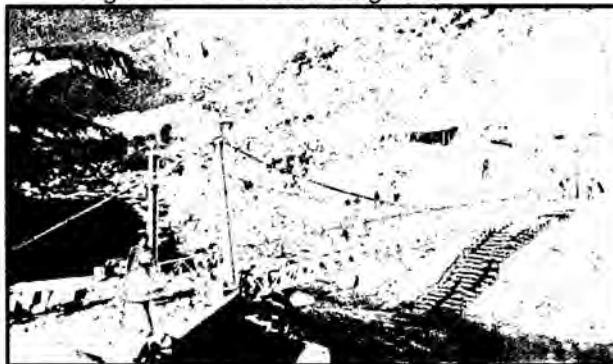


Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

### c. Puentes Colgantes

Son puentes sostenidos por un arco invertido formado por numerosos cables de acero, del que se suspende el tablero del puente mediante tirantes verticales. Los cables que constituyen el arco invertido de los puentes colgantes deberán estar anclados en cada extremo del puente ya que son los encargados de transmitir una parte importante de la carga que tiene que soportar la estructura.

Figura N° 5.- Puente Colgante.

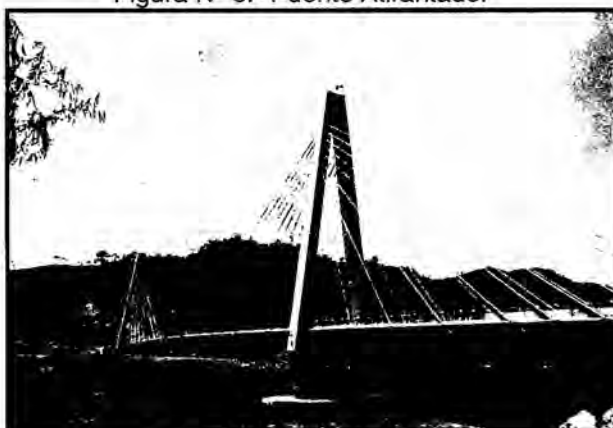


Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

#### **d. Puentes Atirantados**

Están formados por un tablero suspendido por el que circulan los vehículos; los puentes atirantados sostienen la plataforma mediante cables de acero, estos cables se conectan directamente a los pilares, a diferencia de los puentes colgantes donde los cables se conectan a un cable principal.

Figura N° 6.- Puente Atirantado.

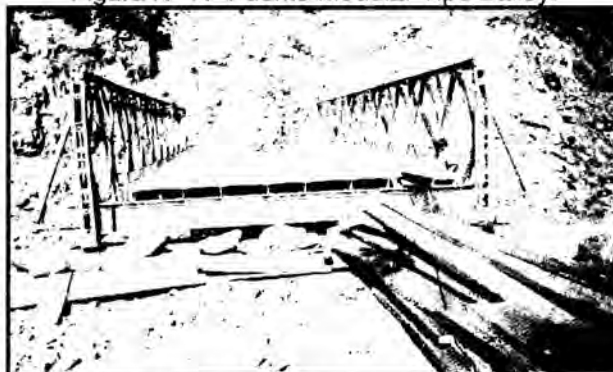


Fuente: SIMA PERU.

#### **e. Puentes Modulares**

Los puentes modulares son estructuras prefabricadas constituidas de paneles laterales unidas por pines y entrelazadas con vigas transversales. La superficie de rodadura puede ser con tableros de madera, acero y concreto asfaltadas. Estas estructuras por lo general son de carácter temporal y para cubrir emergencia.

Figura N° 7.- Puente Modular Tipo Bailey.



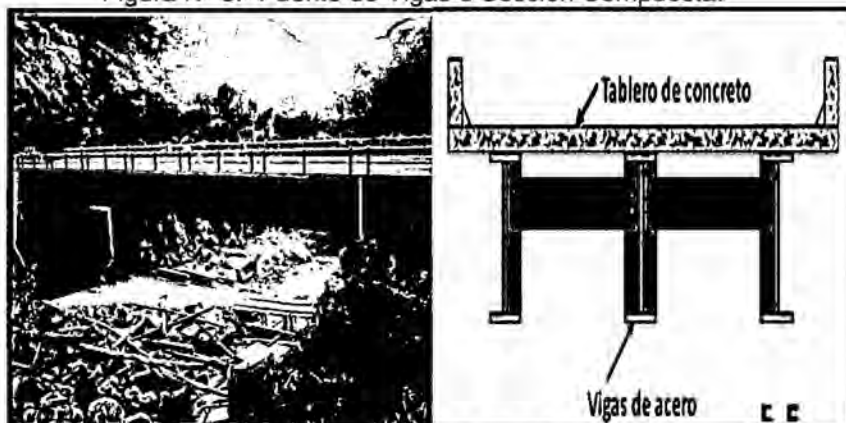
Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

### 4.5.3 Puente de Vigas o Sección Compuesta

Puentes cuyas vigas principales son elementos que están formados por perfiles de acero unidos entre sí por soldadura y que en la parte superior se instala una losa de concreto, la losa de concreto se conecta a las vigas a través de los conectores de corte que se encuentran en la parte superior de las vigas. La construcción de estos puentes es aprovechar la capacidad del acero para soportar cargas de flexión y las del concreto para las cargas a compresión.

La utilización de estos dos componentes hacen también llamar a estos puentes de sección compuesta (acero y concreto).

Figura N° 8.- Puente de Vigas o Sección Compuesta.



Fuente: INVERSIONES METAALICAS S.A.

#### 4.5.3.1 Partes

Los puentes de vigas o sección compuesta están constituidos según COMBRI (2008) por el alma, las alas, los rigidizadores de apoyos e intermedios, los diafragmas, los conectores de corte y las placas de apoyo; las definiciones de cada una a continuación:

##### a. Alma

Es la parte vertical en una viga "I" la cual se encarga de tomar casi todo el esfuerzo cortante de las alas, así mismo se encarga de conectar a las alas. La determinación de su espesor está en función del esfuerzo

contante requerido y su peralte entre  $1/6$  o  $1/15$  de la luz del puente. Su altura puede limitarse en función al formato de planchas en el mercado, consideraciones de fabricación, transporte y montaje.

**b. Alas (Superior e Inferior)**

Son los elementos horizontales en una viga "I", las cuales juegan el papel más importante en la resistencia a flexión en las vigas de sección "I". El ala superior trabaja a compresión y el ala inferior a tracción por ende los espesores para esta última son mayores que la del ala inferior. A su vez el ancho del ala superior puede ser menor que el del ala inferior por la acción doble de esta y la del concreto de soportar las cargas a compresión.

**c. Rigidizadores (Apoyo e Intermedios)**

Los rigidizadores son elementos que tiene la función de columna a fin de evitar el pandeo en el alma de la viga, estos pueden ser rigidizadores de apoyo que transfieren fuertes reacciones al peralte total del alma y los rigidizadores intermedios (sin carga) que colocados a intervalos según la dirección del peralte se emplean para prevenir el pandeo debido a la compresión diagonal. Los rigidizadores a excepción de los de apoyo pueden ser colocados en una cara o ambas caras del alma de la viga.

**d. Diafragmas**

Los diafragmas son los elementos transversales ya sea de celosía u otro perfil que sirven para proporcionar a las estructura las siguientes funciones:

Evitar el pandeo lateral torsional durante el montaje.

Distribuir la carga entre vigas múltiples.

Transferir cargas laterales (viento) de las vigas al tablero.

Evitar el pandeo lateral torsional en el ala inferior comprimida durante la fase de servicio.

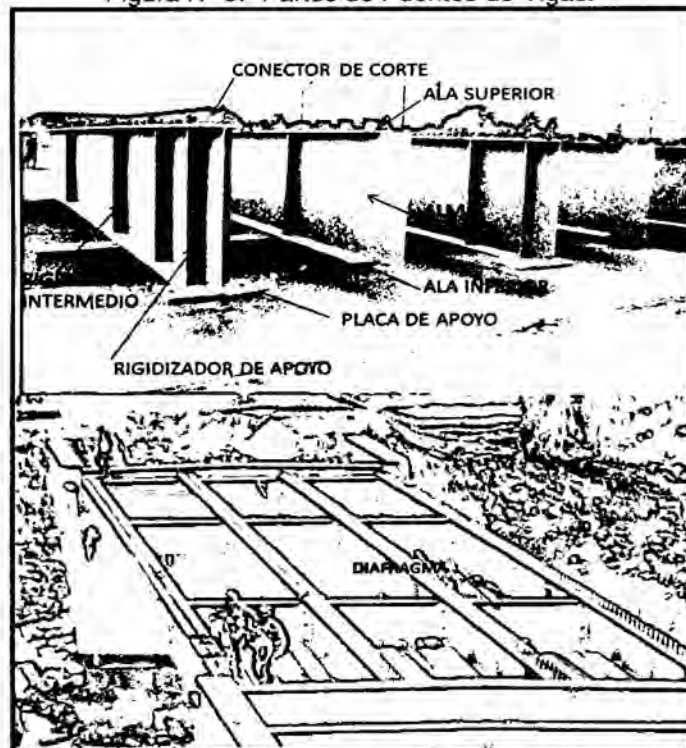
#### e. Conectores de Corte

Los conectores de corte son esenciales para desarrollar la acción compuesta. Los conectores de corte irán soldados al ala superior de la viga quedando embebidos en el concreto. Estos deberán transferir el cortante horizontal con deformaciones extremadamente pequeñas, de manera que la estructura se comporte como una sola unidad, así mismo deben ser capaces de resistir cualquier tendencia de la losa a separarse verticalmente de las alas de acero por pandeo u otras causas. Los conectores pueden ser de varios tipos como: de perfil U, perfil L, esparrago o pernos.

#### f. Placa de Apoyo

Las placas de apoyo son los elementos que se encontraran en contacto con los dispositivos de apoyo, ya sean metálicos o elastómeros. Las placas de apoyo serán de dos tipos fijos y móviles.

Figura N° 9.- Partes de Puentes de Vigas.

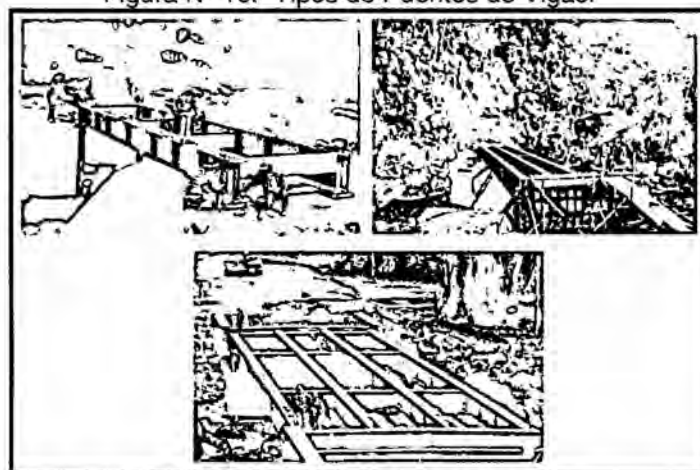


Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

#### 4.5.3.2 Tipos

Los tipos de puentes de vigas o sección compuesta dependerán de las sobrecargas de diseño, número de vías (una o doble), la luz o separación entre estribos. Según estas consideraciones los puentes podrán tener 2,3 o 4 vigas según la figura N° 10.

Figura N° 10.- Tipos de Puentes de Vigas.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

#### 4.5.4 Lanzamiento de Puentes

Es el método de montaje habitual para puentes de todo tipo. Precisamente en el caso de puentes, en los que no es posible o es demasiado caro elevarlos con la grúa móvil ya sea por su peso o por el acceso de estos equipos a la zona, el lanzamiento representa la alternativa más práctica.

Con el lanzamiento el puente se monta a un lado del obstáculo y mediante rodillos es aproximado hasta el borde del estribo para que luego mediante uno de los tipos de lanzamiento (utilizando cables como huella, con apoyos intermedios, con cables aéreos) quede ubicado en su posición final, es decir entre sus estribos.

La determinación de una de las formas de lanzamiento dependerá de las condiciones del lugar, costo y seguridad.



#### 4.5.4.1 Tipos de Lanzamiento

Los más aplicados a este tipo de puentes son:

➤ **Utilizando cables como huella.**

Este método consiste en construir dos senderos o tres senderos dependiendo del número de vigas que conforman el puente por hileras de cables cada uno de 3, 4, o 5 dependiendo del peso de la estructura para que sea utilizado como huella o camino al momento que es arrastrado del estribo opuesto. Para esto las estructuras son arriostradas entre si y el conjunto es el que se arrastra por los cables.

Figura N°11.- Lanzamiento utilizando cables como huella.



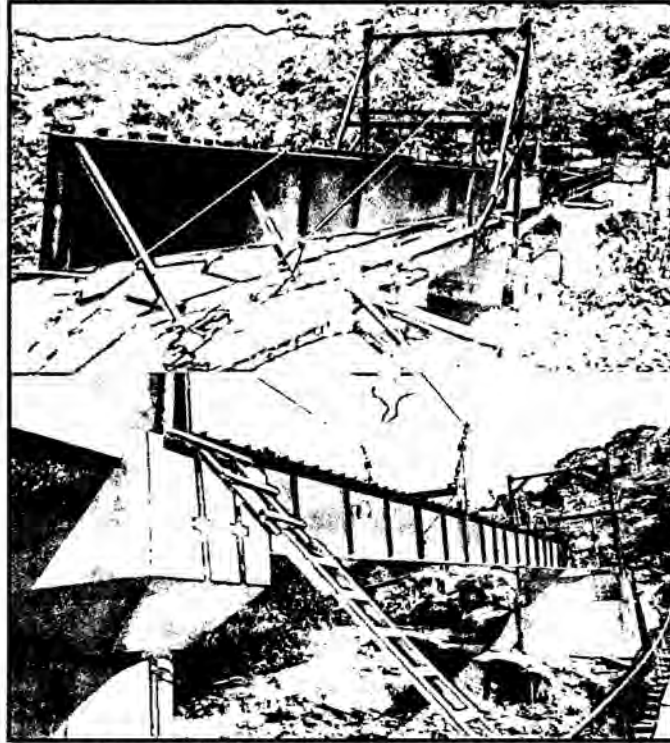
Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

➤ **Utilizando cables de forma aérea.**

Para este método se necesita la construcción de 02 pórticos generalmente ubicados en cada uno de los estribos por los cuales se tenderán cables de acero los cuales serán anclados en unas cámaras de cimentación detrás de

los pórticos. Terminado estas operaciones las vigas son maniobradas independientemente hasta su posición en los estribos.

Figura N° 12.- Lanzamiento empleando cables aéreos.



Fuente: INVERSIONES METAALICAS S.A.

➤ **Utilización de apoyos intermedios.**

Para emplear este método se construyen pórticos intermedios que dependiendo de la luz de la estructuras podrán ser 4,6 según los cálculos realizados previamente, los cuales se ubican entre los estribos para servir como apoyos intermedios, en este caso las estructuras son lanzadas en su conjunto.

Figura N° 13.- Lanzamiento con apoyos intermedios.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

## **4.6 Fases del Proyecto**

Nuestro proyecto lo dividimos en ocho fases comenzando por los materiales de fabricación, el proceso de fabricación, la soldadura, la preparación superficial, la protección superficial, el control de calidad, el manejo de materiales y finalmente el empalme y lanzamiento de las vigas del puente, a continuación el desarrollo de cada etapa:

### **4.6.1 Fase I: Materiales para la Fabricación**

Los materiales empleados en la fabricación de los elementos principales y secundarios de las vigas metálicas para el puente fueron los siguientes:

#### **4.6.1.1 Acero Estructural**

Se empleó acero estructural de las calidades, según la tabla N° 1.

Tabla N° 1.- Calidades de acero empleadas en el proceso de fabricación.

MATERIAL	Según ASTM	Según AASHTO
Acero de Alta Resistencia y Baja Aleación, Grado 50	A572 Grado 50	M270 Grado 50
Acero al Carbono, Grado 36	A36	M270 Grado 36

- **Acero de Alta Resistencia y Baja Aleación Columbio-Vanadio de Calidad Estructural ASTM A572 grado 50 (AASHTO M270 Grado 50).**

Los requerimientos mecánicos de tracción, según tabla N° 2.

Tabla 2.- Requerimientos para ensayo de tracción para acero ASTM A572 Grado 50.

Limite de Fluencia (min.) ksi [MPa]	Resistencia a la Tracción (min.) ksi [MPa]	Elongación %, min.	
		En 8" [200 mm]	En 2" [50 mm]
50 - [345]	65 - [450]	18	21

Fuente: Norma ASTM A36-05.

Los requerimientos de composición química, según tabla N° 3.

Tabla 3.- Requerimientos de análisis de composición química de un acero ASTM A572 Grado 50.

Carbono, % max.	Manganeso, % max.	Fósforo, % max.	Azufre, % max.	Silicio, % max.
0.23	1.35	0.04	0.05	0.40

Fuente: Norma ASTM A572-01.

Este acero presenta varias tipos en función de sus elementos aleantes, el empleado en este caso fue el tipo 1, según la tabla N° 4.

Tabla N° 4.- Composición de análisis químico de aleantes del tipo 1 para aceros ASTM A572 Grado 50.

	Elemento	Contenido (%)
Tipo 1	Columbio	0.005 - 0.05

Fuente: Norma ASTM A572-01.

➤ **Acero Estructural ASTM A36 (AASHTO M270 Grado 36).**

Los requerimientos mecánicos de tracción, según lo indicado en la tabla N° 5.

Tabla N° 5.- Requerimientos para ensayo de tracción de un acero ASTM 36.

Limite de Fluencia (min.) ksi [MPa]	Resistencia a la Tracción (min.) ksi [MPa]	Elongación %, min.	
		En 8" [200 mm]	En 2" [50 mm]
36 - [250]	58 - 80 [400 - 550]	20	21

Fuente: ASTM A36-01.

Los requerimientos de composición química, según lo indicado en la tabla N° 6.

Tabla N° 6.- Requerimientos de análisis de composición química de un acero ASTM 36 clasificados por su espesor.

	ESPESOR DE PLANCHAS				
	Hasta 3/4" [20 mm]	Mayores de 3/4" hasta 1 1/2" [20<e≤40 mm]	Mayores de 1 1/2" hasta 2 1/2" [40<e≤65 mm]	Mayores de 2 1/2" hasta 4" [65<e≤100 mm]	Mayores a 4" [100 mm]
C, %max.	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
MN, %		0.80 - 1.20	0.80 - 1.20	0.85 - 1.20	0.85 - 1.20
P, % max.	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
S, % max.	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Si, %	0.40 max	0.40 max	0.15 - 0.40	0.15 - 0.40	0.15 - 0.40
Cu, % min.	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20

Fuente: ASTM A36-01.

Las propiedades de los aceros usados fueron verificados a través de sus correspondientes certificados de calidad entregados por el proveedor, la verificación de la calidad de estos materiales también fue verificada a través de ensayos en un laboratorio de confianza, de acuerdo con las

especificaciones de la norma ASTM A370-05 (Pruebas Mecánicas de los Productos de Acero). Estos ensayos se realizaron al inicio de los trabajos de fabricación.

#### 4.6.1.2 Metal de Aporte y Fundente para el Proceso de Soldadura

Los electrodos, alambres y fundentes empleados en los procesos de soldadura cumplieron con las siguientes especificaciones según el código de soldadura D1.5 ANSI/AASHTO/AWS-2008.

##### ➤ Especificación para electrodos de acero al carbono para soldadura de arco protegido (SMAW), AWS A5.1.

Los electrodos empleados bajo esta especificación fueron los de clasificación E6011 y E7018, cuyas propiedades mecánicas y químicas se presentan en las tabla N° 7, tabla N° 8, tabla N° 9 y tabla N° 10 respectivamente.

Tabla N° 7.- Propiedades mecánicas del material de aporte E6011 en ensayo a tracción.

PROPIEDADES MECANICAS			
Resistencia a la Tracción	Limite Elástico	Ch "V" (-20 °C)	Elongación en 2"
450 – 550 N/mm <sup>2</sup>	> 360 N/mm <sup>2</sup>	>70 J	22 – 30%
65 000 a 80 000 lb/pulg <sup>2</sup>	> 52 000 lb/pulg <sup>2</sup>		

Fuente: Manual de Soldadura Soldexa.

Tabla N° 8.- Requerimientos de análisis químico para el electrodo E6011.

ANALISIS QUIMICO				
% C	% Mn	% Si	% P	% S
0.08 – 0.15	0.40 – 0.60	0.18 – 0.25	0.01	0.01

Fuente: Manual de Soldadura Soldexa.

Tabla N° 9.- Propiedades mecánicas del material de aporte E7018 en ensayo a tracción.

PROPIEDADES MECANICAS			
Resistencia a la Tracción	Limite Elástico	Ch "V" (-20 °C)	Elongación en 2"
510 – 610 N/mm <sup>2</sup>	> 380 N/mm <sup>2</sup>	>140 J	24%
74 000 a 88 000 lb/pulg <sup>2</sup>	> 55 000 lb/pulg <sup>2</sup>		

Fuente: Manual de Soldadura Soldexa.

Tabla N° 10.- Requerimientos de análisis químico para el electrodo E7018.

ANALISIS QUIMICO		
% C	% Mn	% Si
0.08	1.20	0.50

Fuente: Manual de Soldadura Soldexa.

➤ **Especificación para electrodos y fundentes de acero al carbono para soldadura de arco sumergido (SAW), AWS A5.17.**

Se empleó el alambre con la clasificación EL1, cuyas propiedades mecánicas y químicas se muestran en la tabla N° 11 y N° 12 respectivamente.

Tabla N° 11.- Propiedades mecánicas del material de aporte EL1 en ensayo a tracción.

PROPIEDADES MECANICAS			
Resistencia a la Tracción	Limite Elástico	Ch "V" (-20 °C)	Elongación en 2"
500 – 600 N/mm <sup>2</sup>	> 400 N/mm <sup>2</sup>	>50 J	24%

Fuente: Manual de Soldadura Soldexa.

Tabla N° 12.- Requerimientos de análisis químico para el material de aporte EL1.

ANALISIS QUIMICO		
% C	% Mn	% Si
0.04 - 0.08	1.20 – 1.26	0.50 - 0.80

\*Fuente Manual de Soldadura Soldexa.

➤ **Especificación para metales de aporte de acero al carbono para soldadura de arco con atmosfera protegida (GMAW), AWS A5.18.**

Se empleó el alambre de clasificación ER70S-6, cuyas propiedades mecánicas y químicas se muestran en la tabla N° 13 y N° 14 respectivamente:

Tabla N° 13.- Propiedades mecánicas del material del alambre ER70S-6 en ensayo a tracción.

PROPIEDADES MECANICAS			
Unidades	Resistencia a la Tracción	Limite Elástico	Elongación en 2"
Lb/pulg <sup>2</sup>	72 000	60 000	22%
MPa	500	420	

Fuente: Manual de Soldadura Soldexa.

Tabla N° 14.- Requerimientos de análisis químico para el material de aporte ER70S-6.

ANALISIS QUIMICO					
%Cr	%Si	%Mn	%P	%S	%Cu
0.074	0.858	1.4 – 1.8	0.010	0.011	0.006

Fuente: Manual de Soldadura Soldexa.

#### 4.6.1.3 Pernos de Anclaje

Los pernos de anclajes fueron de acero estructural calidad ASTM A36, sus requerimientos de tracción según tabla N° 5 y requerimientos de análisis de composición química según la tabla N° 15.

Tabla N° 15.- Requerimientos de análisis de composición química de un acero ASTM 36 clasificados por su diámetro.

	DIAMETRO DE BARRAS			
	Hasta 3/4" [20 mm]	Mayores de 3/4" hasta 1 1/2" [20<e≤40 mm]	Mayores de 1 1/2" hasta 2 1/2" [40<e≤65 mm]	Mayores a 4" [100 mm]
C, %max.	0.26	0.27	0.28	0.29



<b>MN, %</b>	---	0.60 – 0.90	0.60 – 0.90	0.60 – 0.90
<b>P, % max.</b>	0.04	0.04	0.04	0.04
<b>S, % max.</b>	0.05	0.05	0.05	0.05
<b>Si, %</b>	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.40 max
<b>Cu, % min.</b>	0.20	0.20	0.20	0.20

Fuente: Norma ASTM A36-01.

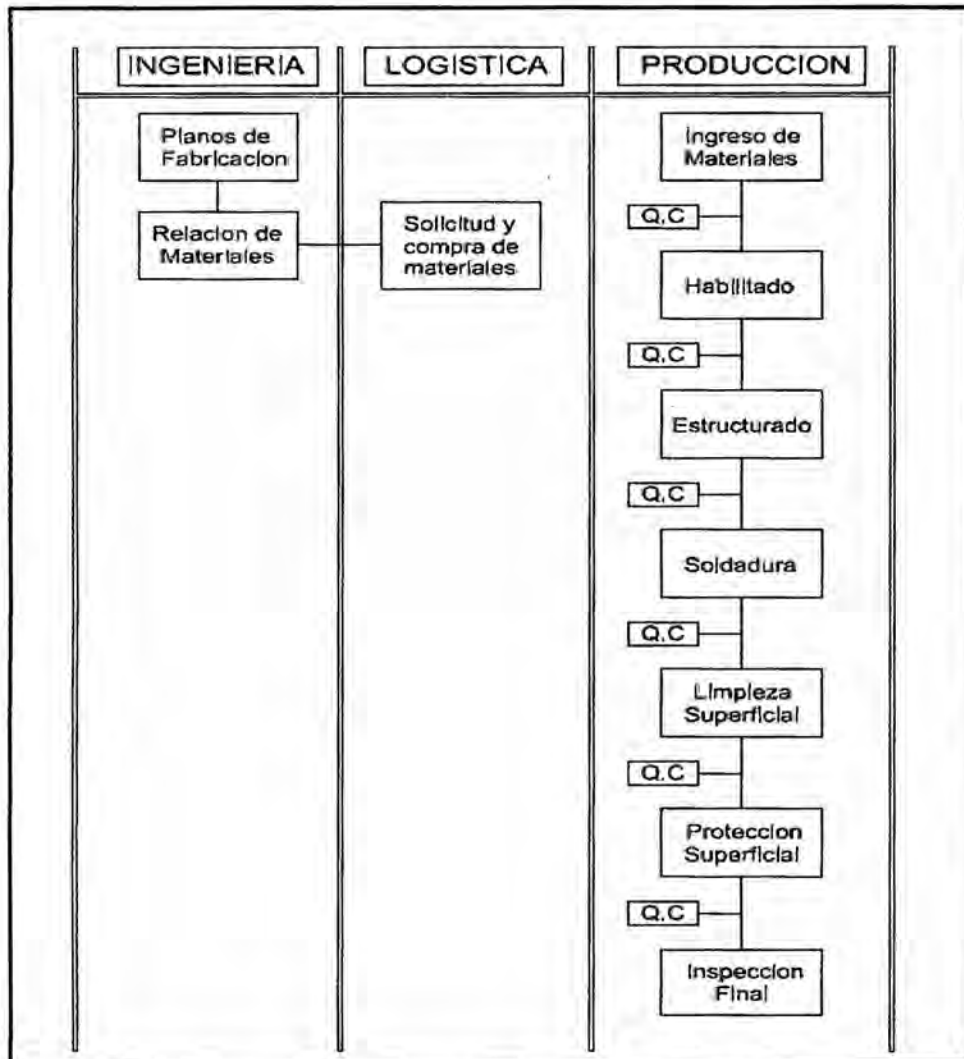
#### **4.6.1.4 Conectores de Corte**

Los conectores de corte empleados fueron los del tipo canal, los cuales fueron de acero estructural calidad ASTM A36, los requerimientos de tracción y análisis químico según tabla N° 5 y 6 respectivamente.

#### **4.6.2 Fase II: Proceso de Fabricación de las Vigas Metálicas**

El proceso de fabricación de las estructuras metálicas del puente fue dividido en varias etapas, la figura N° 14 muestra un diagrama de todas estas operaciones desde las actividades previas de ingeniería hasta la última etapa del proceso de fabricación.

Figura N° 14.- Diagrama del proceso de fabricación de las estructuras metálicas del puente Catara.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

#### 4.6.2.1 Actividades Previas

Dentro de las actividades previas al proceso de fabricación tenemos:

##### ➤ Desarrollo de la Ingeniería de Detalle (Planos de Fabricación)

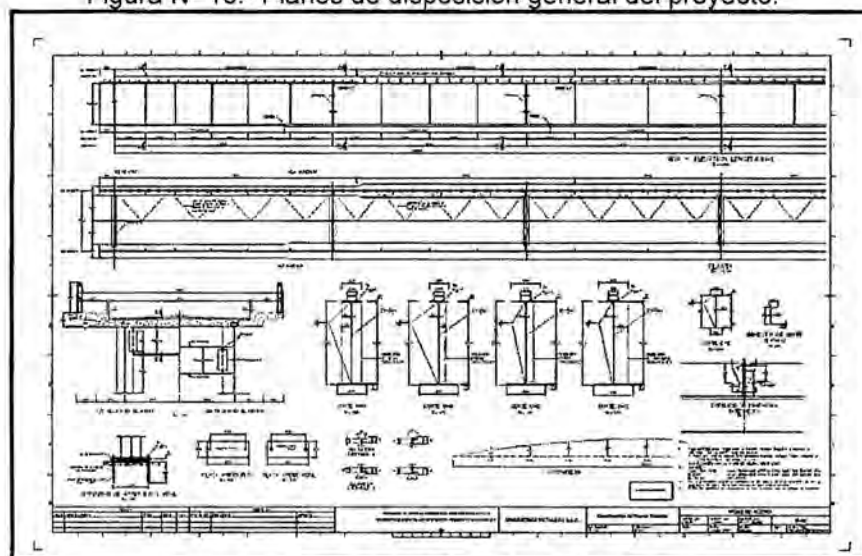
Con los planos aprobados de ingeniería básica del proyecto se procede a realizar la ingeniería de detalle con la ayuda de software de modelamiento, teniendo como resultado planos donde se muestran las dimensiones de cada una de las partes, detalles constructivos,

dimensiones de las soldaduras, tipo de material, perforaciones, etc. Ver figura N° 15 y anexo "B".

Toda esta información permite elaborar también los planos de corte, que son planos donde se disponen todos los componentes de un mismo espesor ya sea de plancha, tubo, barra, canal y cualquier otro material con la finalidad de optimizar la solicitud de material en los formatos comerciales de venta de cada producto.

Conociendo la relación de acero, accesorios, área y peso procedemos hacer la relación de materias primas y consumibles que serán adquiridos por el área de logística.

Figura N° 15.- Planos de disposición general del proyecto.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

### ➤ Pedido y Recepción de Materiales

Emitida la relación de materias primas y consumibles por el área de ingeniería el área de logística procedió a realizar las cotizaciones de dichos productos siguiendo las especificaciones técnicas para su compra, una vez localizado el producto y que cumpla con las especificaciones como del precio procediendo a su compra. Estos materiales fueron trasladados por el proveedor a nuestra planta acompañados de sus respectivos certificados de calidad.

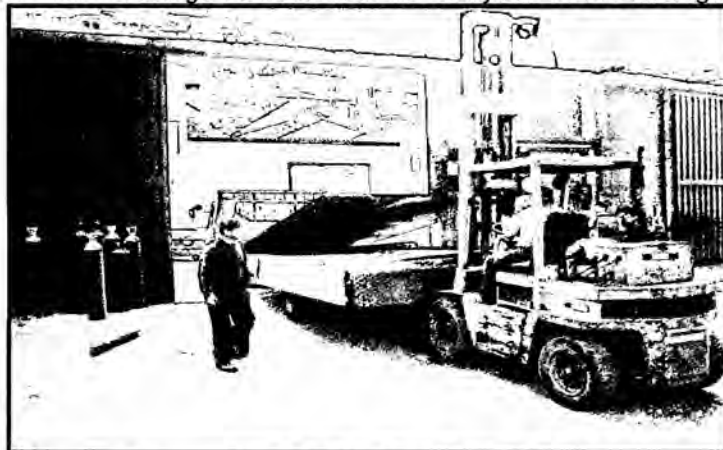
Una vez llegado los materiales a planta personal de control de calidad verifico los certificados de calidad de cada producto conjuntamente con el material ingresante. Las planchas de acero por lo general traen una estampa de fábrica indicando las características del material (dimensiones, espesor, tipo de acero, procedencia y número de colada) las cuales coinciden con las registradas en cada certificado de calidad.

Verificado la calidad de los materiales personal de control de calidad genero un reporte al respecto y dio su aprobación para su ingreso a planta y sea trabajado.

Este procedimiento se realiza tanto para la materia prima como para los consumibles.

Las figuras N° 16,17 y 18 muestran la forma de descarga de las planchas de acero una vez llegados a planta y su estampa indicando sus principales características.

Figura N° 16.- Descarga de materiales con la ayuda de montacargas.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Figura N° 17.- Estampa en una plancha de acero, indicando procedencia, calidad, colada y dimensiones.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Figura N° 18.- Estampa en una plancha de acero indicando calidad, dimensiones y colada.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

#### 4.6.2.2 Fabricación

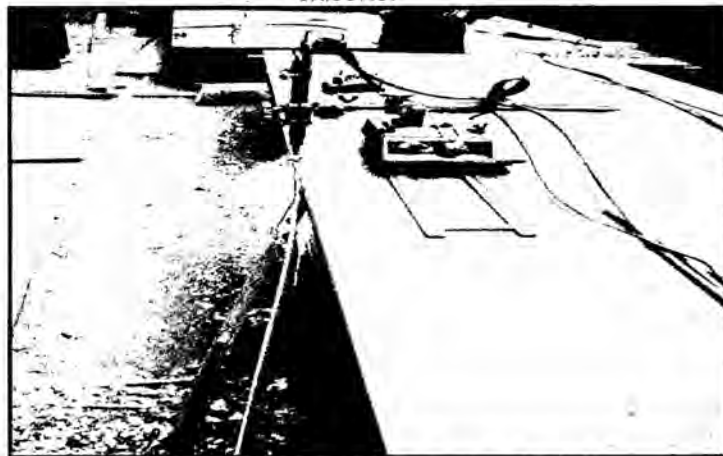
La fabricación se inició con los planos de ingeniería de detalle aprobados por el jefe de ingeniería y el supervisor del proyecto por parte del cliente. Con los planos listos procedemos con las siguientes actividades:

##### ➤ Trazado y Corte de Alas Superior e Inferior

El trazado es la actividad que hace el calderero la cual consiste en el dimensionamiento de los materiales siguiendo los planos de corte con la ayuda de tizas, winchas, reglas, escuadras. El primer trabajo es para las

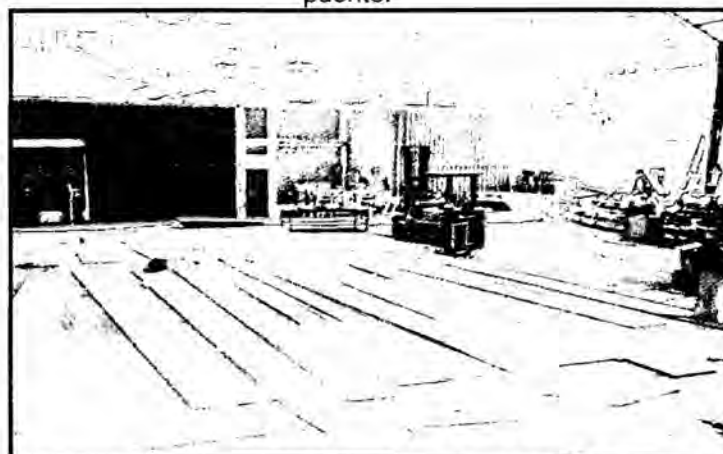
al as superior e inferior de las vigas del puente. Definida las líneas de trazo se procedió a realizar los cortes a través de procesos térmicos (oxicorte) y empleando tractores mecánicos para una mayor velocidad y precisión. Concluido el proceso de corte se procedió a limpiar todos los bordes de las rebabas que puedan haber quedado producto del corte. Seguidamente personal de control de calidad verifico estas dimensiones y aprobó su continuidad para la siguiente etapa.

Figura N° 19.- Proceso de corte de las alas del puente con la ayuda de un tractor de oxicorte.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Figura N° 20.- Vista general del 100% del corte para las alas superior e inferior del puente.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

➤ **Trazado y Corte del Alma**

Así como para las alas de las vigas se procedió con el corte de los elementos del alma de acuerdo a las dimensiones de los planos de fabricación empleando también procesos térmicos (oxicorte) para el corte y ayudado por medios de tractores mecánicos para una mayor velocidad y precisión.

Seguidamente personal de control de calidad verifico estas dimensiones y aprobó su continuidad para la siguiente etapa.

Figura N° 21.- Corte del alma con la ayuda de un tractor.

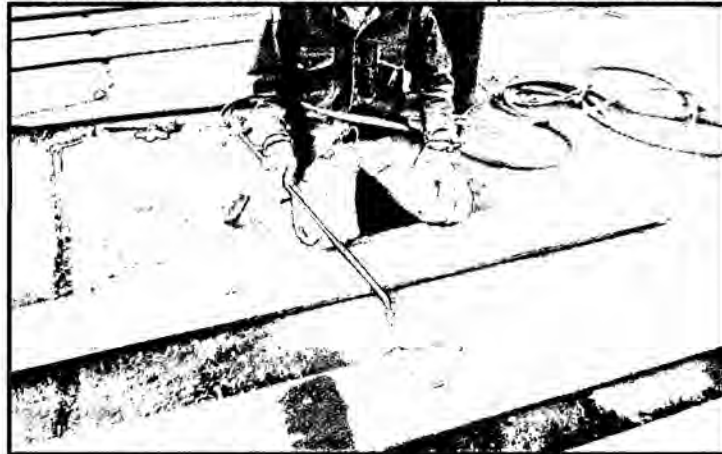


Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

➤ **Limpieza y Enderezado**

Después del corte térmico los bordes de los elementos se limpiaron con herramientas mecánicas y eléctricas quedando libres de rebabas así mismo los cortes fueron perfectamente rectos. Algunos elementos sufrieron distorsiones los cuales fueron enderezados por medios mecánicos y por la aplicación localizada de calor. La temperatura utilizada fue menor de los 650° C según recomendación de la norma AWS D1.5-2008.

Figura N° 22.- Enderezado de una de las alas con la aplicación de calor localizado.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

### ➤ Preparación del PQR, WPS y WQR

Antes de los inicios de los trabajos de soldadura en base a la norma de referencia AWS D1.5 empleada para puentes y para este proyecto calificamos nuestros procedimientos de soldadura a emplear a través de ensayos y pruebas que satisficieron lo indicado en el punto 5 de la norma AWS D1.5 (5. Qualification). Estos procedimientos se ejecutaron en base a los espesores a soldar, material base, proceso de soldadura, posición de soldeo, tipo de corriente, polaridad como variables esenciales, el registro de todos los ensayos fueron guardados en el PQR (Registro de Calificación de Procedimiento – Procedure Qualification Record) este documento sirve de respaldo al WPS (Especificación de Procedimiento de Soldadura – Welding Procedure Qualification) que es el documento donde se indica el resumen de las pruebas y brinda información técnica para la construcción de la unión soldada.

Teniendo nuestro WPS calificado se procedió a la calificación de nuestros soldadores a participar, ellos conformaran probetas según lo indicado en la norma para que después sean soldadas siguiendo las instrucciones del WPS calificado y ensayadas por gammagrafía.

Todos estos conceptos de calificación de procedimiento y soldadores son vistos en el punto 3.3 Soldadura, con mayor detalle.



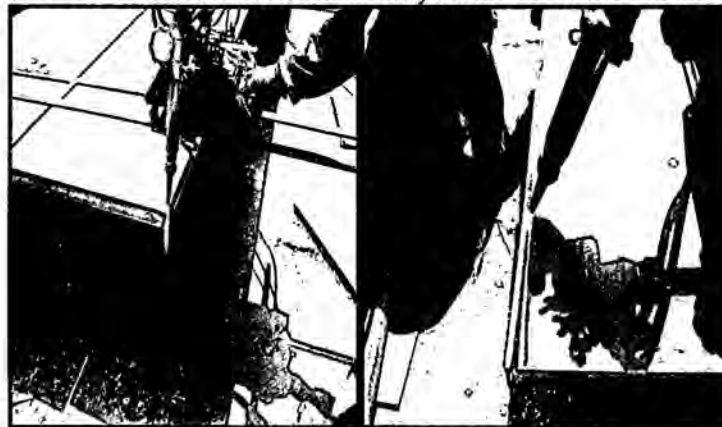
### ➤ Preparación de Biseles

La preparación de biseles es el paso previo al empalme de elementos por soldadura tanto para las alas como del alma. El tipo de bisel a emplear fue el correspondiente al espesor, proceso de soldadura a emplear y facilidad de acceso según lo indicado en los planos de fabricación.

La preparación de biseles fue a través de corte térmico (oxicorte) una vez terminada el corte fueron limpiadas de toda rebaba que pudo haber quedado producto del corte.

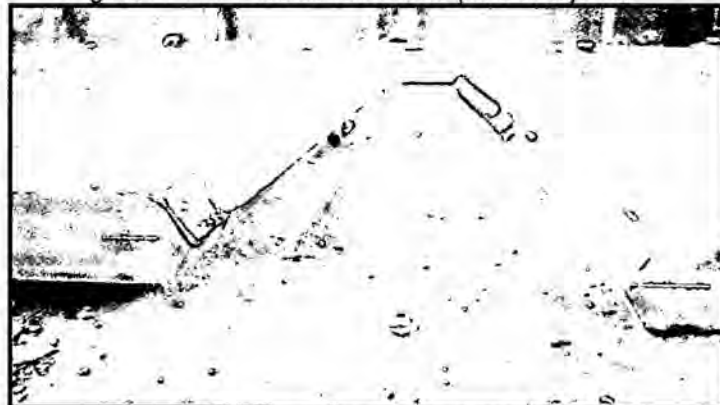
Procesado los biseles de los elementos a ser empalmados personal de control de calidad verifico sus dimensiones y aprobó su continuidad para la siguiente etapa.

Figura N° 23.- Corte de biseles con la ayuda de un tractor de corte.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Figura N° 24.- Biseles terminado para una junta.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Figura N° 25.- Verificación del dimensionamiento de los biseles con la ayuda de una galga.



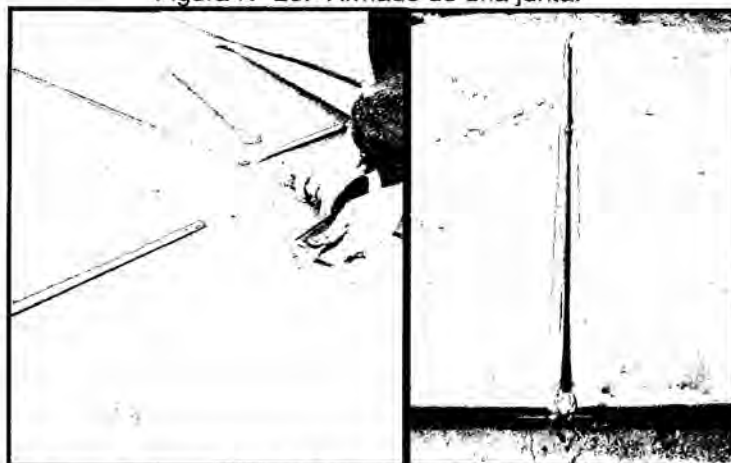
Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

### ➤ Empalme de Elementos

Con los elementos habilitados (ala superior, inferior y alma) y los biseles de las juntas preparadas se procedió a empalmar los elementos de acuerdo a las dimensiones establecidas en los planos de fabricación. Estos tuvieron la abertura en la junta y nivelación correspondiente de acuerdo a las especificaciones de ingeniería y planos de fabricación.

Los empalmes se realizaron según los WPS calificados e inspeccionados con ensayos de líquidos penetrantes y END a fin de verificar su sanidad. Terminado los empalmes, personal de control de calidad verifico estas juntas aprobando su continuidad para la siguiente etapa.

Figura N° 26.- Armado de una junta.



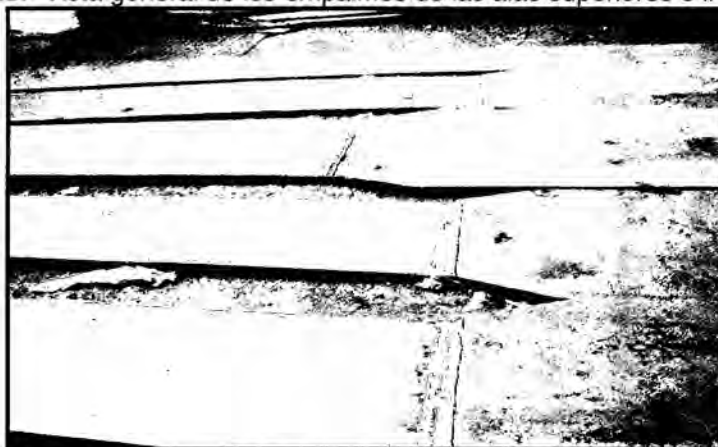
Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Figura N° 27.- Inspección por líquidos penetrantes en un empalme al pase de raíz.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Figura N° 28.- Vista general de los empalmes de las alas superiores e inferiores.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

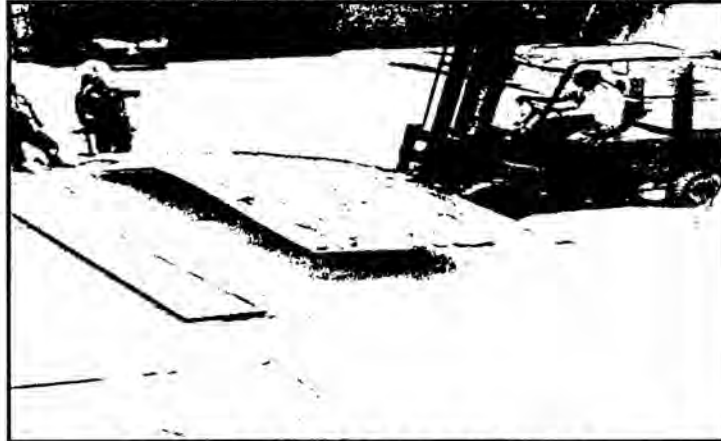
### ➤ Trazo y Corte de Contraflecha

Habilitada las planchas para el alma se procedió primeramente a un tendido de estas representando el alma de la viga del puente, esta representación se realizó considerando el espaciamiento para las uniones soldadas en las juntas; concluido esto se procedió a trazar sobre las planchas tendidas a la contraflecha de fabricación con la ayuda de winchas, reglas, tizas que permitieron su clara identificación para su posterior corte.

Trazada la contraflecha de fabricación se procedió al corte por el proceso térmico de oxicorte con ayuda medios mecánicos por su mayor velocidad.

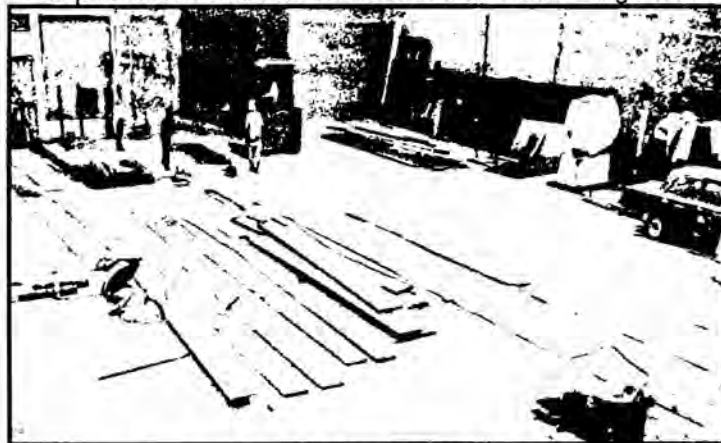
Terminada la labor de corte de contraflecha personal de control de calidad valido esta operación permitiendo su pase a la siguiente etapa.

Figura N° 29.- Ubicación de las planchas para el alma de la viga del puente.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Figura N° 30.- Las planchas del alma son ubicadas en todo el largo total del puente.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Figura N° 31.- Se debe considerar la separación entre las juntas del alma a unirse.



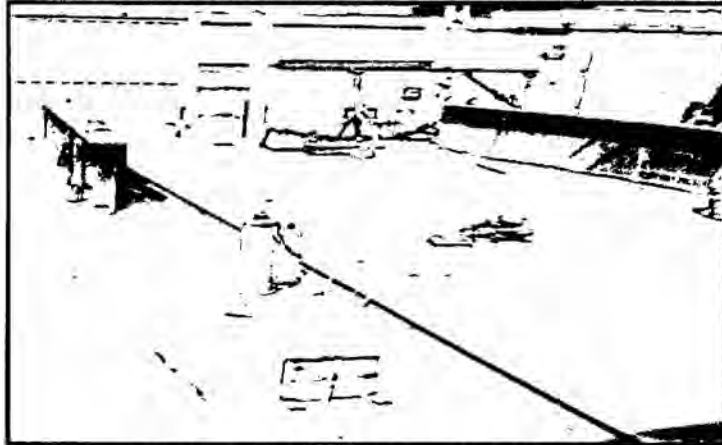
Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Figura N° 32.- Ubicadas las planchas del alma en todo su largo se procede a trazar la contraflecha de fabricación.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Figura N° 33.- Trazada la contraflecha de fabricación se procede al corte.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

### ➤ Armado de Vigas

Al tener tanto los empalmes de alas y almas de la viga se procedió con el armado empezando esta labor colocando el alma sobre el ala inferior para luego fijarla a través de puntos de soldadura y arriostrarla con puntales. Las vigas del puente son moduladas y segmentadas en un número de tramos determinados por el área de ingeniería con la finalidad de facilitar su transporte y llegada a obra.

Para el apuntalamiento se utilizaron electrodos básicos como el E7018 y en la zona donde se considere necesario un puntal se tendrá que precalentar las zonas a soldar según lo indicado en los WPS aprobados.

Seguidamente se colocó el ala superior con la ayuda de un montacargas (pudiendo hacerse con una grúa u otro sistema de izaje); sobre los elementos primeramente armados.

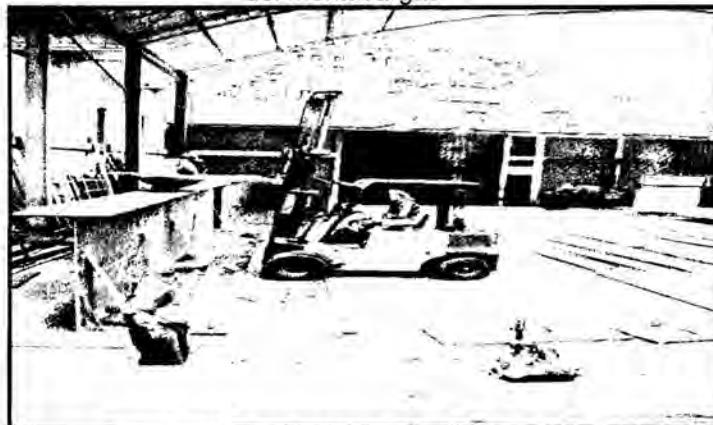
En el armado de las vigas se emplearon herramientas como teclees, tacos, punzones, cuñas lo que facilitan su armado.

Figura N° 34.- Vigas en pleno proceso de armado, se ve como el alma ha sido colocado sobre el ala superior donde es sujeta por puntales.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Figura N° 35.- Ubicación del ala superior en una de los segmentos de viga con la ayuda del montacargas.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Figura N° 36.- Con la ayuda de teclees se fija el ala superior al alma y arriostrada con puntales. Los puntales se colocan a un solo lado para no dificultar las labores de soldadura posterior.



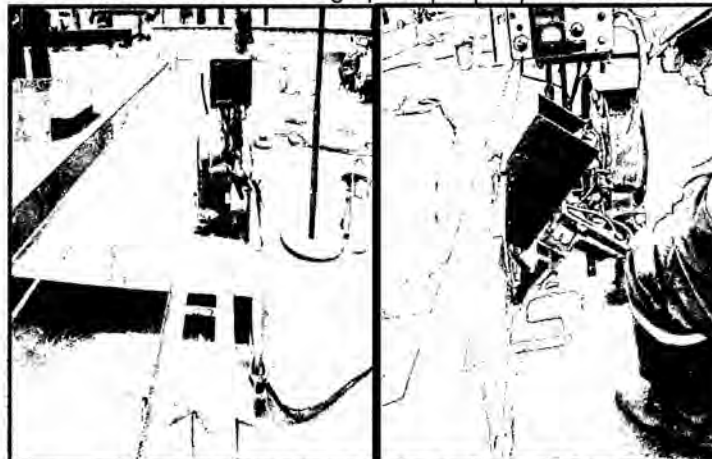
Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

#### ➤ **Proceso de Soldadura de Viga Principal**

El proceso de soldadura de las vigas metálicas empezó una vez terminado de armar los tramos de vigas que la conforman. Estas se soldaron de acuerdo al proceso de soldadura calificado, proceso SAW (Soldadura por Arco Sumergido - Submerged Arc Welding).

Personal de control de calidad verifico estos trabajos cumpliendo con los criterios de inspección visual de la norma AWS D1.5 (6. Inspection).

Figura N° 37.- Soldadura de filete en la viga principal por proceso de soldadura SAW.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Figura N° 38.- Acabado de un cordón de soldadura en filete por proceso SAW, se observa un cordón continuo y limpio.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

### ➤ **Instalación de Rigidizadores**

Terminado el proceso de soldadura de las vigas se procedió a la colocación de los atieadores o rigidizadores de apoyo e intermedios según corresponda en los planos de fabricación. Estos se soldaron con el proceso de soldadura GMAW según su WPS calificado.

Los controles de verificación fueron realizados por personal de control cumpliendo con los criterios de inspección visual de la norma AWS D1.5 (6. Inspection).

Figura N° 39.- Soldado de rigidizadores con proceso GMAW.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.



Figura N° 40.- Vista general de un tramo de viga con sus rigidizadores.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

#### ➤ **Ensayos No destructivos**

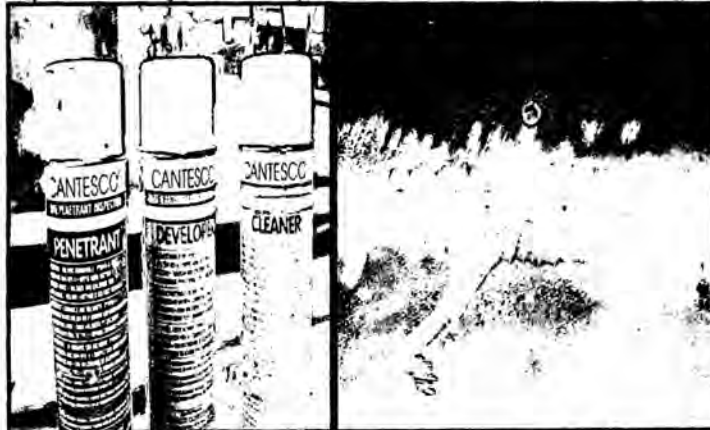
Los ensayos no destructivos empleados en el proceso de fabricación de este puente fueron: Líquidos Penetrantes (LP), Partículas Magnéticas (MT) y Placas Radiográficas (RT).

Los ensayos de líquidos penetrantes (LP) se realizan durante el proceso de fabricación en todos los empalmes de alas y almas para el armado de las vigas con una longitud total ensayada de 32 metros lineales.

Los ensayos de partículas magnéticas (MT) son para la verificación de los cordones en filete de las vigas principales se ensayaron 40 metro lineales.

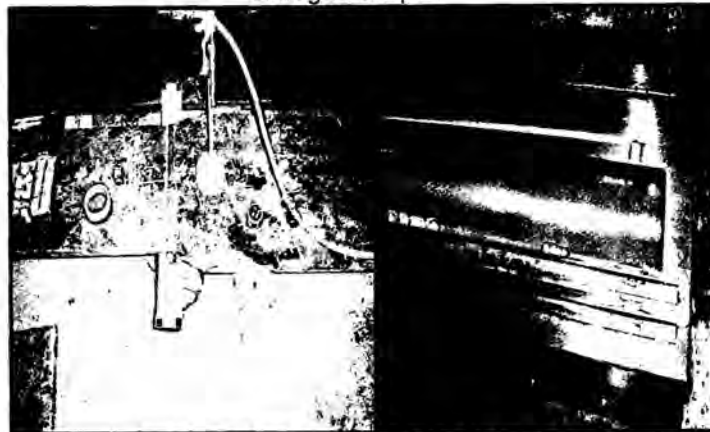
Los ensayos radiográficos (RT) para un mayor avance se realizaron una vez de concluir el soldado de todos los empalmes de las alas superior e inferior, para los empalmes del alma estos se verificaron al final del armado de cada tramo de viga, el número total de placas registradas fue de 48 unidades (la longitud de cada una fue de 300 mm). La selección de estos ensayos se realizó según lo indicado en las especificaciones del proyecto y lo indicado en norma AWS D1.5-2008.

Figura N° 41.- Ensayo de inspección por líquidos penetrantes, a la izquierda el kit (limpiador, penetrante y revelador), a la derecha la inspección en una junta.



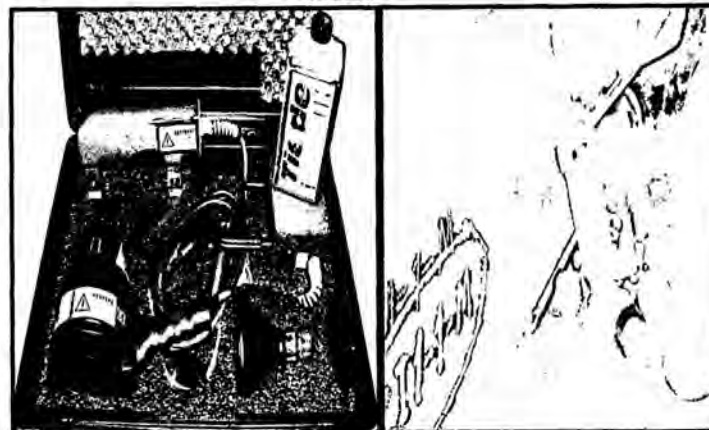
Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Figura N° 42.- Ensayo de inspección por radiografía, a la izquierda toma de una placa radiográfica al ala inferior de la viga, a la derecha la revisión de una placa radiográfica en el negatoscopio.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Figura N° 43.- Equipos de ensayo de partículas magnéticas y evaluación en cordones de filete.

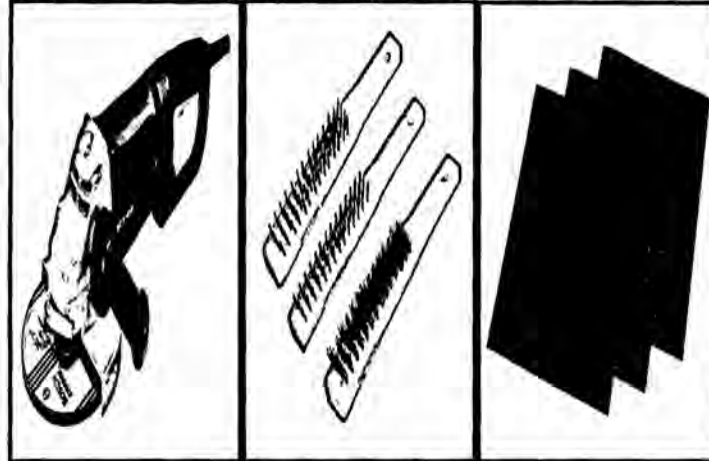


Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

### ➤ Limpieza Mecánica

Terminadas las labores de soldadura se procedió a la limpieza de las vigas a través de medios mecánicos eliminando toda escoria, rebaba, puntos de soldadura provisionales que existan.

Figura N° 44.- Equipos para limpieza superficial mecánica.



Fuente: [www.bosch-profesional.com](http://www.bosch-profesional.com)

### ➤ Preparación Superficial

Listos los segmentos de viga se procedió a la limpieza superficial en nuestro caso arenado para lo cual se trasladaran las vigas a un área adecuada para el desempeño de este trabajo. El grado de preparación superficial fue el SSPC-SP-5 (Arenado al metal blanco) de acuerdo a las especificaciones técnicas del proyecto.

Cabe indicar que al inicio de las labores de cualquiera de los tipos de preparación superficial se tomaran las condiciones atmosféricas las cuales definirán si procede o no esta labor, al momento de los trabajos se identificó las siguientes mediciones:

Temperatura de bulbo seco: 22 °C

Temperatura de bulbo húmedo: 18°C

Temperatura de superficie: 25°C

Temperatura de rocío: 16 °C

Humedad relativa: 68%

Así mismo se evaluó la arena a emplearse al inicio de los trabajos a través de un análisis de cloruros por el método del kit de Taylor obteniendo un valor de 50 ppm menor al máximo permisible de 100 ppm indicado en la norma ASTM D4940-89.

Con el inicio de los trabajos de limpieza superficial se realizó también los controles de rugosidad a las superficies de la estructura para dar conformidad al perfil de rugosidad solicitado para el sistema de pintura a emplear, esta medición se realizó con de la cinta de réplica de acuerdo a la norma ASTM D4417-C sobre el substrato arenado según la figura N°46 y medido por un micrómetro mecánico, el valor de esta medición fue de 2 – 2.5 mils en promedio; valor aceptable para el sistema de pintura a emplearse.

Figura N° 45.- Equipos e insumos para los trabajos de arenado. Figura izquierda se muestra una compresora, figura derecha una tolva de arenado y parte inferior arena a utilizarse en el proceso.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Figura N° 46.- Proceso de arenado en vigas del puente e inspección del perfil de rugosidad a través de la cinta de réplica.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

#### ➤ Protección Superficial (Pintado)

Concluido el proceso de preparación superficial se procedio al pintado de las vigas metálicas de acuerdo a las especificaciones técnicas del proyecto donde se indica el número de capas, color y pintura a emplearse en cada una de ellas. En este proyecto se aplicó 03 capas, las cuales fueron aplicadas en taller. La primera capa fue un zinc inorgánico en un espesor de película seca de 2 – 3 mils, la segunda un esmalte epoxico de alto contenido de solido a 4 – 5 mils y la ultima un esmalte poliuretano a 2 – 3 mils.

Al igual como en el proceso de preparación superficial se midieron las condiciones atmosféricas para poder realizar esta labor, obteniendo las siguientes mediciones:

Temperatura de bulbo seco: 20 °C

Temperatura de bulbo húmedo: 18°C

Temperatura de superficie: 23°C

Temperatura de roció: 17 °C

Humedad relativa: 83%

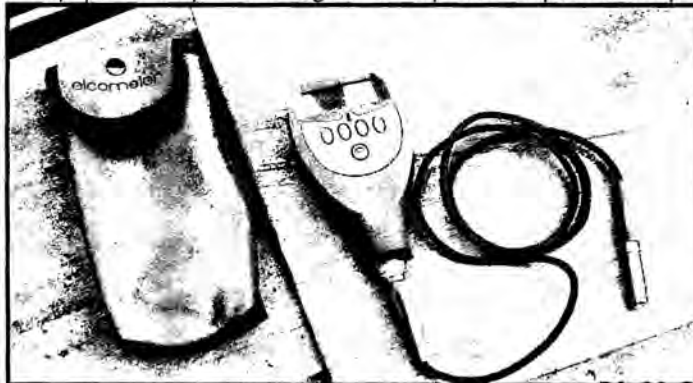
Durante esta etapa se realizaron inspecciones de medición de película de pintura tanto al aplicarse (medición en película húmeda) como a su secado total (medición de película seca).

Figura N° 47.- Proceso de aplicación de pintura para la protección superficial de la estructura.



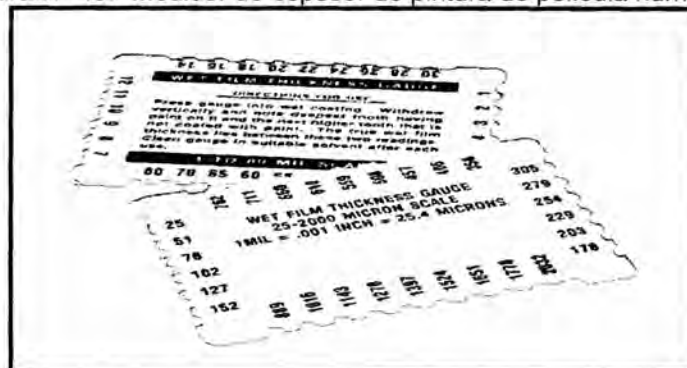
Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Figura N° 48.- Equipo de inspección digital de espesor de pintura de película seca.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Figura N° 49.- Medidor de espesor de pintura de película húmeda.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

### **4.6.3 Fase III: Soldadura**

Todos los requisitos en soldadura para la fabricación de las estructuras metálicas del puente fueron efectuados de acuerdo con los requisitos de la norma ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008 "Bridge Welding Code" y especificaciones técnicas del proyecto.

La información necesaria respecto al lugar, tipo, tamaño y extensión de todas las soldaduras, estuvieron indicadas en los planos de fabricación, distinguiendo claramente entre las soldaduras de taller y las realizadas en la obra.

#### **4.6.3.1 Procesos de Soldadura**

Los procesos de soldadura empleados para la fabricación de estructuras metálicas del puente Catarata, fueron los indicados en el numeral 1.3 (Welding Processes) de la norma ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008, siendo los siguientes:

➤ **Proceso SMAW (Shielded Metal Arc Welding - Proceso de soldadura por arco eléctrico y electrodo metálico revestido).**

En la fabricación de las estructuras metálicas solamente se utilizó el proceso SMAW para el armado (apuntalado) de los componentes de las vigas metálicas (alas y almas) y en los apoyos temporales (armado de viga).

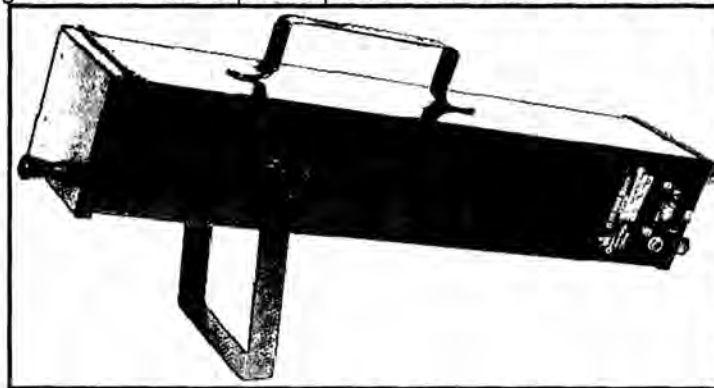
Para estos trabajos se emplearon solamente electrodos de bajo hidrogeno (E-7018) según AWS A5.1 "Specification for Covered Carbon Steel Arc Welding Electrodes" y de acuerdo a la parte B "Shielded Metal Arc Welding (SMAW)" del capítulo 4 "TECHNIQUE" de la norma ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008.

Dichos electrodos fueron adquiridos en envases herméticamente cerrados, una vez abiertos los envases estos fueron guardados en un horno de mantenimiento controlando de esta forma el contenido de humedad a una temperatura de 110 - 120°C (numeral 4.5.2.2 del ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008).

Los electrodos expuestos por más de 4 horas a la atmosfera fueron resecados en un horno a la temperatura de resecado de 230 – 290 °C por un periodo 2 horas como mínimo (numeral 4.5.2.1 del ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008). La temperatura de resecado se mide en el centro de la ruma de electrodos y el tiempo se mide a partir del momento en el que se alcanza la temperatura de resecado especificada por eso es recomendable no apilar más de cuatro filas de electrodos en el horno.

Por recomendación los electrodos no se resecaron más de una sola vez (numeral 4.5.4 del ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008).

Figura N° 50.- Termo portátil para conservación de electrodos.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Figura N° 51.- Horno de conservación para electrodos.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.



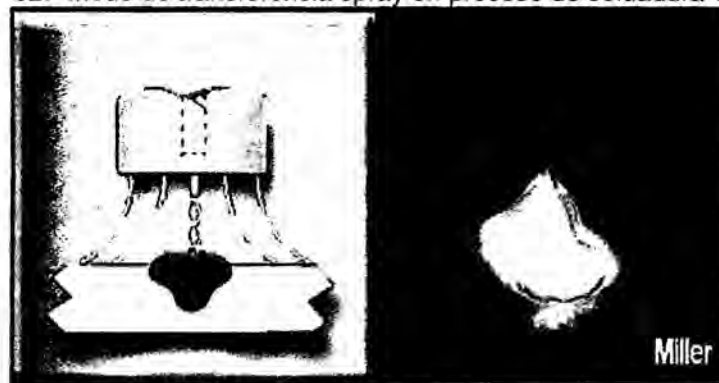
➤ **Proceso GMAW (Gas Metal Arc Welding - Proceso de soldadura por arco eléctrico con protección de gas).**

Este proceso fue empleado para los empalmes de alas superior e inferior y del alma. El proceso fue empleado de acuerdo al procedimiento de soldadura (WPS) aprobado para este proyecto (Ver Anexo E); donde se especifican el material de aporte, corriente, voltaje, velocidad de avance, gas de protección entre otras variables.

Este proceso de soldadura presenta cuatro modos de transferencia siendo el utilizado en la fabricación de puentes es de transferencia spray por su mayor penetración en espesores gruesos y respaldada por la norma AWS D1.5. Así mismo esta indica la no utilización del modo de transferencia por corto circuito en su comentario C.1.3.4 del ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008, debido a presentar problemas de fusión incompleta a causa de un calentamiento insuficiente del material base.

De acuerdo a nuestro WPS el proceso de soldadura seleccionado fue el de transferencia spray por su ventaja en penetrar en secciones de gran espesor y en juntas a penetración total muy empleadas en puentes.

Figura N° 52.- Modo de transferencia spray en proceso de soldadura GMAW.



Fuente: [www.millerwelds.com](http://www.millerwelds.com)

El proceso de soldadura utilizó polaridad inversa con electrodo al positivo (DCEP) a fin de obtener un arco estable, buena penetración y buena transferencia del material de aporte.

El material de aporte fue de acuerdo a AWS A5.28 "Specification for low Alloy Steel Filler Metals for Gas Shielded Arc welding", electrodos con protección gaseosas. El electrodo empleado fue el ER70S-6 comercialmente llamado carbofil en un diámetro de 1.0 mm.

Como gas protector se empleó una mezcla de Ar más CO<sub>2</sub> en una proporción 80% a 20%, por sus características de generar un arco más suave, mayor visibilidad del arco, mejor aspecto del cordón y mayor estabilidad del arco. El caudal usado del gas resulta fundamental a la hora de obtener un buen cordón de soldadura. Un caudal insuficiente de gas da lugar a una protección insuficiente. Por el contrario un caudal excesivo puede dar origen a la entrada del propio gas y del aire en el baño de fusión, de forma que se originen porosidades internas en el cordón de soldadura. Una regla empírica en condiciones normales es la siguiente:

$$Q = 10 \times d \text{ (l / mim)}$$

Dónde:

Q = Caudal de gas (l/mim)

d = Diámetro del alambre (mm)

En nuestro proceso de soldadura empleando un diámetro de alambre de 1.0 mm y aplicando la formula obtuvimos un valor de 10 l/min, con una tolerancia  $\pm 5$  l/min.

Figura N° 53.- Consumibles del proceso GMAW: lado izquierdo alambre de aporte en carretes, lado derecho gas de protección.



Fuente: [www.miller.com](http://www.miller.com); [www.messer.es](http://www.messer.es)

Entre las ventajas del empleo de este proceso en este trabajo fueron:

- Mayor velocidad de soldadura comparado con el proceso SMAW, debido a su alimentación continúa.
- Debido a su alimentación continua se evitaron paradas continuas del soldador a diferencia del proceso SMAW.
- Casi no requiere limpieza después del soldeo por la poca escoria producida.
- Uniones menos sensibles a la corrosión debido al gas protector que impide el contacto entre la atmosfera y charco de fusión.
- Al ser alambres desnudos no hay problema de absorción de humedad en el revestimiento.
- El depósito realizado por el alambre de soldar ER70S-6 es similar al del electrodo E-7018.

➤ **Proceso SAW (Submerged Arc Welding - Proceso de soldadura por arco sumergido).**

Este proceso se empleó en las uniones de las alas con el alma, formando la viga principal del puente. ◦

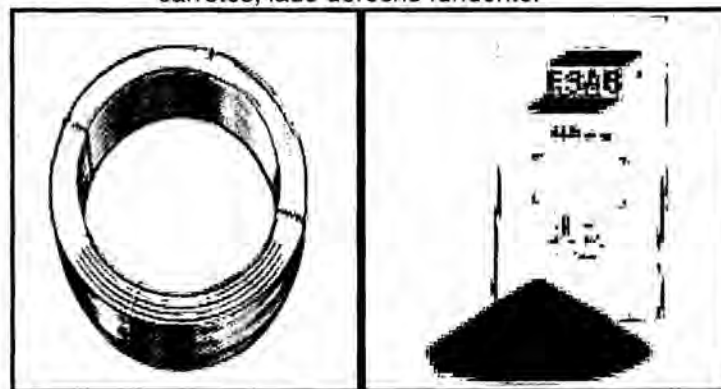
Para el empleo de este proceso se preparó un procedimiento de soldadura (WPS) tal como se muestra en el Anexo G.

El material de aporte es un alambre sólido que cumple con la AWS A5.17 "Specification for Carbon Steel Electrode and Fluxes for Submerged Arc Welding", el alambre utilizado fue el EL-12 (E= electrodo, L=contenido de manganeso (0.60% máx. bajo contenido de manganeso), 12 = 0.12% de carbono) con un diámetro de 1/8".

Este proceso además del alambre trabaja con un fundente el cual para nuestro caso se empleó el F7A0-EL12 (F=fundente, 7= 70 Ksi de resistencia, A= sin tratamiento térmico, 0= menor temperatura a la cual la resistencia al impacto del metal de soldadura alcanza o excede los 27J),

comercialmente es conocido como POP 185. Este fundente al ser del tipo granular aluminato rutilico fue conservado en horno a 150 °C antes de su utilización y resecado entre 300 – 350 °C por 2 hora. Esta tareas son necesaria en vista a que este fundente es higroscópico es decir capta humedad si son mal almacenado o son expuestos a la atmosfera por periodos superiores a las 4 horas.

Figura N° 54.- Consumibles del proceso SAW: lado izquierdo alambre de aporte en carretes, lado derecho fundente.



Fuente: [www.esab.com](http://www.esab.com)

La polaridad de trabajo es la inversa (alambre conectado al polo positivo), por su mayor penetración, mejor aspecto, mejor forma del cordón y menor tendencia a la presencia de poros.

Las ventajas del empleo de este proceso fueron:

- Alta velocidad y rendimiento.
- Eficiencia en deposición alrededor del 95%.
- Soldaduras homogéneas.
- Soldaduras de buen aspecto y penetración uniforme.
- Escasa presencia de humos.

#### 4.6.3.2 Equipos

Los equipos de soldadura empleados en la fabricación de las vigas metálicas del puente fueron:

- **Proceso SMAW**

Figura N°55.- Equipo de soldadura proceso SMAW.

DESCRIPCION	EQUIPO
Cantidad: 03 Modelo: SRH-444 Capacidad: 400 A Marca: Miller	

Fuente: [www.miller.com](http://www.miller.com)

- **Proceso GMAW**

Figura N°56.- Equipo de soldadura proceso GMAW.

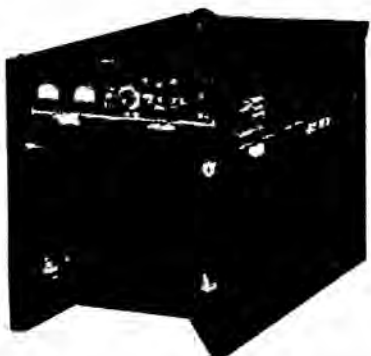
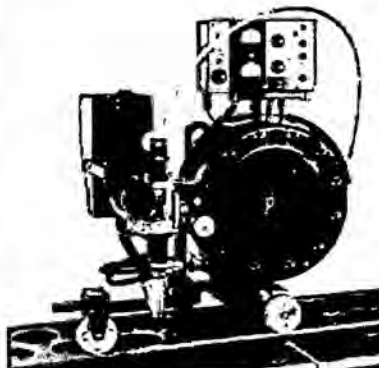
DESCRIPCION	EQUIPO
Cantidad: 03 Modelo: DELTAWELD 450 Maquina Multiproceso Capacidad: 450 A Marca: Miller	

<p>Cantidad: 03          Modelo: S-32L          Alimentador de          Alambre          Marca: Miller</p>	
--	--

Fuente: [www.miller.com](http://www.miller.com)

- **Proceso SAW**

Figura N°57.- Equipo de soldadura proceso SAW.

DESCRIPCIÓN	EQUIPO
<p>Cantidad: 01          Modelo: IDEALARC          DC-600          Maquina          Multiproceso          Capacidad: 600A          Marca: Lincoln</p>	
<p>Cantidad: 01          Modelo: LT-7          Alimentador de          Alambre          Mecanizado          Marca: Lincoln</p>	

Fuente: [www.lincolnelectric.com](http://www.lincolnelectric.com)

#### **4.6.3.3 Registro y Calificación de Procedimiento de Soldadura (PQR y WPS).**

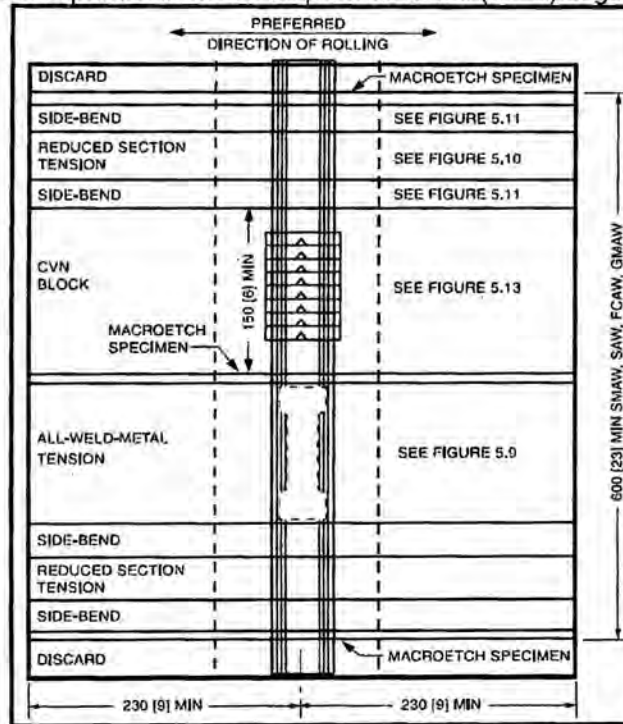
Este tipo de estructuras donde la soldadura es de suma importancia se trabajó en base a un procedimiento de soldadura calificado (WPS), el cual fue trabajado de acuerdo a la parte "A" de la sección 5 "QUALIFICATION" del ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008.

El cupón para la calificación del procedimiento para juntas de penetración completa se realizó de acuerdo a los requerimiento en el numeral 5.7.1 y según la figura 5.1 del ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008 (Fig. 58). El cupón contó con unas dimensiones de 500 x 650 mm en un espesor de 25 mm [1 in] de acuerdo al numeral 5.6 del ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008, con una plancha de respaldo de 9.5 x 75 mm [3/8" x 3"].

El bisel en la junta del cupón fue el B-U2a-GF, con una abertura de raíz de 8 mm y un ángulo de 55° (Fig. 58).

La probeta se realizó en posición 1G (posición plana), en plancha ASTM A572 Grado 50, alambre ER70S-6, mezcla de protección Ar (80%) + CO<sub>2</sub> (20%), modo de transferencia spray, polaridad inversa, temperatura de precalentamiento de 100°C, entre sus variables principales.

Figura N° 58.- Probeta para calificación de procedimiento (WPS) según AWS D1.5-2008.



Fuente: Figura 5.1 del AWS D1.5-2008.

Figura N° 59.- Tipo de bisel para el cupón del WPS con tolerancias R y  $\alpha$ .

Welding Process	Joint Designation	Base Metal Thickness (U = unlimited)		Groove Preparation		Allowed Welding Positions	Gas Shielding for FCAW	Notes
		T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	Root Opening	Groove Angle			
SMAW	B-U2a	U	-	R = 6	$\alpha = 45^\circ$	All	—	1, 9
				R = 10	$\alpha = 30^\circ$	F, V, OH	—	1, 9
				R = 12	$\alpha = 20^\circ$	F, V, OH	—	1, 9
GMAW FCAW	B-U2a-GF	U	-	R = 5	$\alpha = 30^\circ$	F, V, OH	Required	9
				R = 10	$\alpha = 30^\circ$	F, V, OH	Not req.	9
				R = 6	$\alpha = 45^\circ$	F, V, OH	Not req.	9
SAW	B-L2a-S	50 max	—	R = 6	$\alpha = 30^\circ$	F	—	9
SAW	B-U2-S	U	—	R = 16	$\alpha = 20^\circ$	F	—	9

Fuente: Figura 2.4 del AWS D1.5-2008.



Una vez soldado el cupón se designó el número y tipo de pruebas a realizarse de acuerdo a la tabla 5.5 del numeral 5.16.3 del ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008 (Fig. 60). Antes de la aplicación de estos ensayos se tuvo que verificar la sanidad del cordón de la probeta a través de ensayos radiográficos según 5.17 y verificado según el capítulo 6 "INSPECTION" numeral 6.26.1 y 6.26.2 del ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008.

Figura N° 60.- Requerimiento del número de probetas y ensayos para la calificación del procedimiento.

Table 5.5 Required Number of Test Specimens-WPS Qualification (see 5.16.3)						
Test Plate Figure	All Weld Metal Tension Test	Reduced Section Tension Test	Side Bend Test	CVN Test	Groove Weld Macroetch Test	Fillet Weld Macroetch Test
5.1	1	2	4	5 <sup>1</sup>	(Note 2)	—
5.2	1	—	2	5	—	—
5.3	—	2	4	—	2	—
5.8	—	—	—	—	—	3

Notes:  
1. Eight CVN tests shall be required for ESW and EGW.  
2. When required by the Engineer.

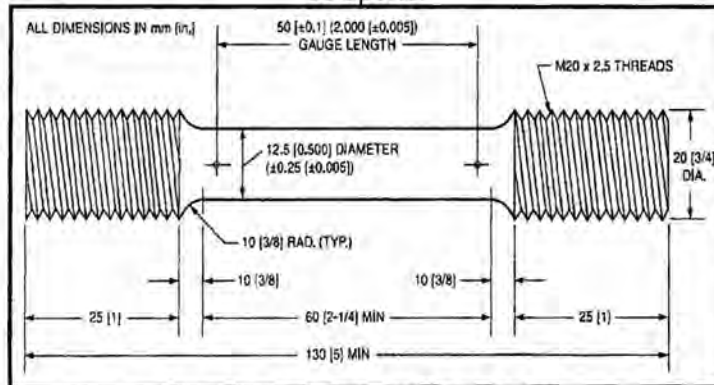
Fuente: Tabla 5.5 del AWS D1.5-2008.

De donde los ensayos realizados se muestran en la tabla N° 16:

Tabla N° 16.- Números de ensayos y tipos de pruebas a realizarse para la calificación de procedimiento.

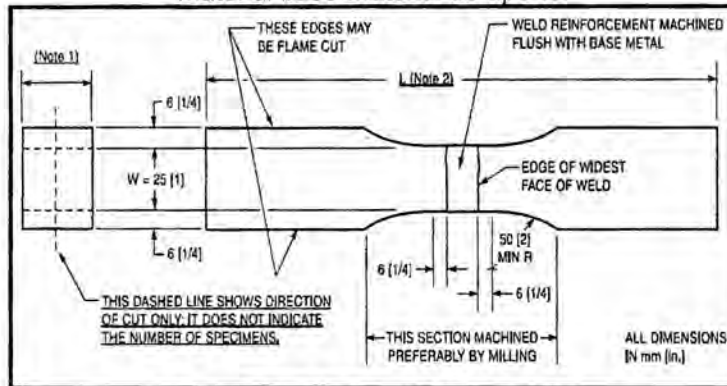
Número de Ensayos	Tipo de Prueba
01	Prueba de tracción de metal de aporte. (Fig. 61).
02	Prueba de tracción de sección reducida. (Fig. 62).
04	Prueba de doblez de lado. (Fig. 63).
05	Prueba de impacto (Fig. 64).

Figura N° 61.- Dimensiones de la probeta para realizar el ensayo de tracción del metal de aporte.



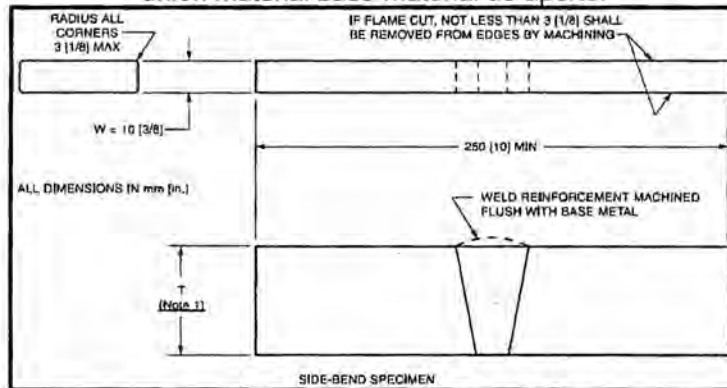
Fuente: Fig. 5.9 del AWS D1.5-2008.

Figura N° 62.- Dimensiones de la probeta para realizar el ensayo de tracción de la unión material base-material de aporte.



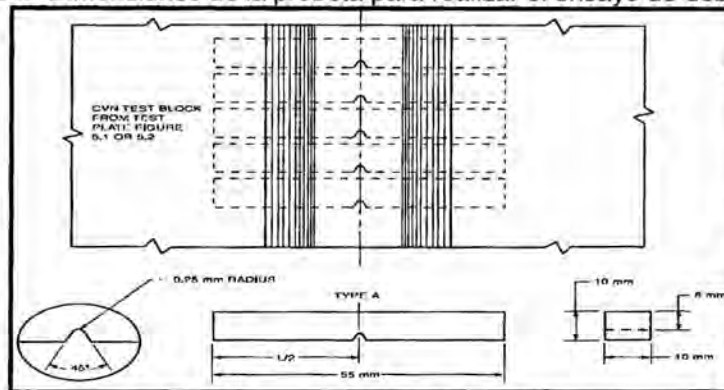
Fuente: Fig. 5.10 del AWS D1.5-2008.

Figura N° 63.- Dimensiones de la probeta para realizar el ensayo de doblado de lado de la unión material base-material de aporte.



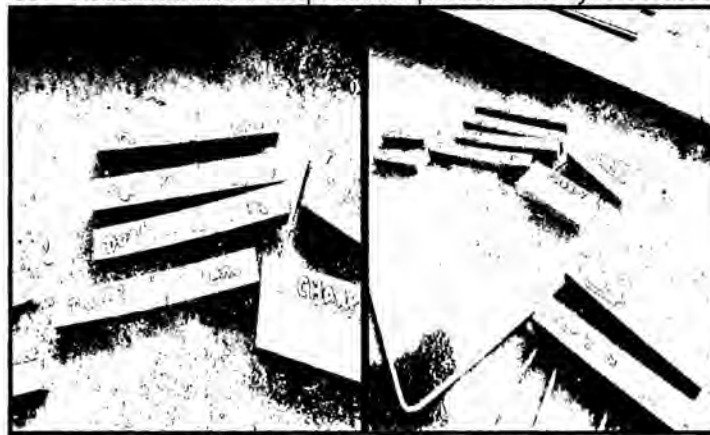
Fuente: Fig. 5.11 del AWS D1.5-2008.

Figura N° 64.- Dimensiones de la probeta para realizar el ensayo de doblez impacto.



Fuente: Fig. 5.13 del AWS D1.5-2008.

Figura N° 65.- Visualización de las probetas para los ensayos seleccionados.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Los requerimientos para la calificación de estos ensayos para el metal de soldadura fueron de acuerdo a los valores de la tabla 4.2 del ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008 (Fig. 66).

Figura N° 66.- Requerimientos para los ensayos del metal de aporte.

Base Metal	AWS Electrode Specification	Qualification Test Requirement				
		Minimum Yield Strength, MPa [ksi]	Minimum Tensile Strength, MPa [ksi]	Elongation in 50 mm (2 in.), Percent	CVN, J (ft-lb) AASHTO Temperature Zones	
AASHTO (ASTM) Designation					I and II	III
M270M (M270) (A 709M [A 709]) Gr. 345 (50)	GMAW AWS A5.18/A5.18M ER 70S-2, 3, 6, 7 E70C-3C, E70C-3M E70C-6C, E70C-6M	345 [50]	450 [65]	22	27@-20°C [20@0°F]	27@-30°C [20@-20°F]
	FCAW-S AWS A5.20 E7XT-A, 8 AWS A5.29 E7XT8-X	345 [50]	450 [65]	22	27@-20°C [20@0°F]	27@-30°C [20@-20°F]

Fuente: Tabla 4.2 del AWS D1.5-2008.

Los resultados del ensayo de dobléz de lado fueron verificados conforme a los requerimientos del numeral 5.19.2 del ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008.

El resultado de todos estos ensayos son registrados en el PQR (Ver Anexo D), aprobados todos estos ensayos se procedio a la elaboración del procedimiento de soldadura WPS (Anexo F). Los formatos de estos documentos se muestran en la figura 67 y 68.

De igual forma se preparó un PQR y WPS para las soldaduras de filete realizada por el proceso SAW. Las dimensiones de la probeta de calificación fueron de acuerdo a lo indicado en 5.10, el número y tipo de prueba de acuerdo al numeral 5.15 (ensayo macroataque) y sus resultados de prueba de acuerdo al numeral 5.19.3 del ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008. Para las dimensiones de la probeta ver la figura N° 69.

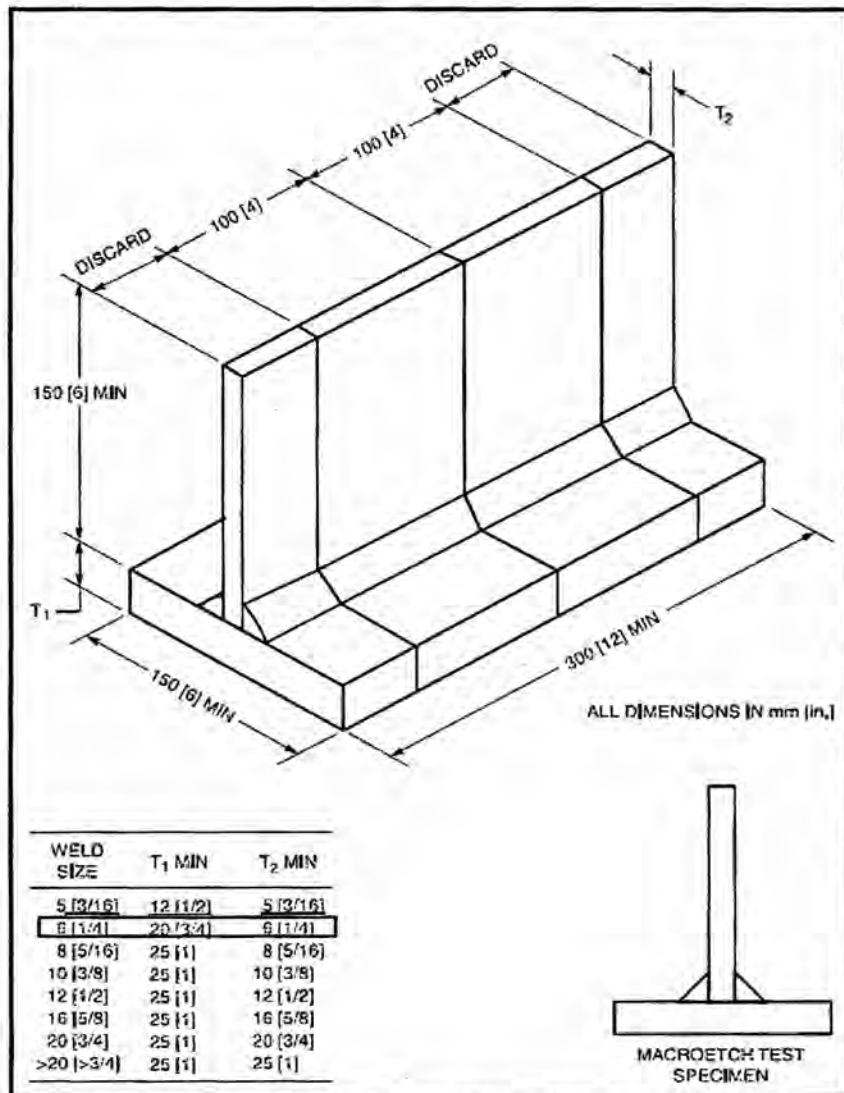
Figura N° 67.- Formato para registro de calificación de procedimiento PQR.

PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR)					
Contractor _____			Test Date _____		
Process _____			Filler Metal _____		
Position _____					
Electrode(s) Mfg. Designation _____			AWS Classification _____		
Flux Mfg. Designation _____			AWS Classification _____		
Electrode Extension _____					
	Dia.	Current	WFS*	Voltage	Current and Polarity
Electrode (1)	_____	_____	_____	_____	_____
(2)	_____	_____	_____	_____	_____
(3)	_____	_____	_____	_____	_____
Calculated Heat Input _____		(See 5.12)			
Shielding Gas _____			Flow Rate _____		
Dew Point _____			Travel Speed _____		
Base Metal Specification and Thickness _____					
(Attach Certified Copy of Mill Test Report)					
Preheat Temp. _____			Interpass Temp. Min _____ Max _____		
SPECIMEN	TEST RESULTS				
All Weld Metal Tension (AWMT)	Tensile Strength (MPa) _____				
	Yield Strength (MPa) _____				
	Elongation in 50 mm [2 in.] (%) _____				
	Reduction in Area % _____				
Side Bends	1. _____	2. _____	3. _____	4. _____	
Reduced Section Tension	Tension Strength		1. _____	Location of Break 1. _____	
			2. _____	2. _____	
CVN Test	( _____ )				
Toughness of Weld Metal	Avg. J [ft-lb]** _____ @ _____ °C [°F]				
SMAW, SAW, FCAW, GMAW—5 Reg.	( _____ )				
	Avg. J [ft-lb]** _____ @ _____ °C [°F]				
ESW and EGW—8 Reg.	**Discard the highest and lowest values and average the remaining values.				
Chemistry of Deposited Weld Metal	C _____	Mn _____	Si _____	P _____	S _____
When Required by Contract	Ni _____	Cr _____	Mo _____	V _____	Cu _____
Documents					
REMARKS	Visual _____		Radiographic Test _____		
*Wire feed may be used in lieu of current when a correlation curve is provided for the same electrode diameter and same electrode extension.					
Test Witness: _____			Agency: _____		
Results Reviewed: _____			State Acceptance: _____		
Form III-3			Date: _____		

Fuente: Form III del AWS D1.5-2008.



Figura N° 69.- Dimensiones del cupón para soldaduras en filete y evaluación de macroataque.



Fuente: Figura 5.8 del AWS D1.5-2008.

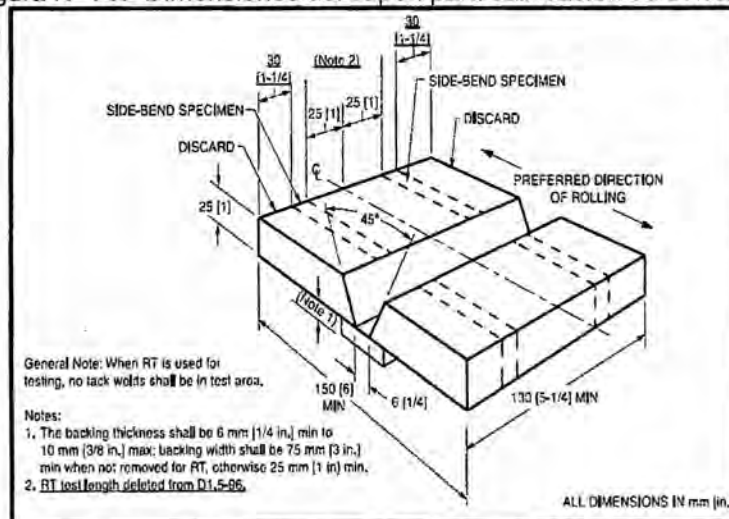
#### 4.6.3.4 Calificación de Soldadores

Obtenido el WPS se procedió a la calificación de soldadores, calificación que nos muestra la habilidad del soldador a realizar juntas satisfactorias según los requerimientos del WPS aprobado.

La calificación se llevó a cabo en posición 1G (posición plana) y la probeta de calificación fue de acuerdo a lo indicado en 5.23.1.2 (figura 70); el número y tipo de pruebas como el rango de calificación fue según lo

indicado en 5.25.1 y en la tabla 5.7 (figura 71) del ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008.

Figura N° 70.- Dimensiones del cupón para calificación de soldador.



Fuente: Figura 5.17 del AWS D1.5-2008.

Al tener que soldar planchas de espesores de 9.5 a 38 mm [3/8" – 1 1/2"] se eligió la calificación en plancha de 25.4 mm [1 in]. Para la inspección de las probetas tal como indica la norma estas pueden ser evaluadas por dobles o ensayo radiográfico, en nuestro caso se evaluó la sanidad de la probeta por ensayos radiográficos. Se adjunta calificación de soldadores en el anexo G.

Figura N° 71.- Número y tipos de pruebas para calificación de soldador.

Table 5.7 Number and Type of Specimens and Range of Thickness Qualified— Welder and Welding Operator Qualification (see 5.25.1)								
I. Test on Plate								
Type of Weld	Thickness of Test Plate (T) as Welded, mm [in.]	Visual Inspection	Number of Specimens					Plate Thickness Qualified, mm [in.]
			Bend Tests <sup>5</sup>			T-Joint Break	Macro-Etch Test	
			Face	Root	Side			
Groove <sup>6</sup>	10 [3/8]	Yes	1	1	—	—	—	20 [3/4] max <sup>1,3</sup>
Groove	10 [3/8] < T < 25 [1]	Yes	—	—	2	—	—	2T <sup>3,4</sup> max
Groove	25 [1] or over	Yes	—	—	2	—	—	Unlimited <sup>3</sup>

Fuente: Figura 5. 7 del AWS D1.5-2008.



#### **4.6.3.5 Preparación del Material Base para Soldadura**

Antes de iniciar las labores de soldadura se tomaron previamente las siguientes consideraciones:

- Las superficies y bordes a soldar serán suaves y uniformes, quedando libres de defectos y discontinuidades que podrían afectar la calidad y la resistencia de la soldadura. Las superficies a soldar quedaron libres de suciedad de cualquier tipo o de materiales extraños pudiendo afectar la calidad de la soldadura o producir defectos dentro de la soldadura.

Toda la preparación de la superficie se ajustó a lo establecido en el punto 3.2 Preparation of Base Metal, párrafos 3.2.1, 3.2.2, 3.2.2.1, 3.2.2.2 y 3.2.2.3 del ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008.

- La inspección visual y la preparación de los biseles cortados por medio térmicos fueron inspeccionados de acuerdo al punto 3.2.3 Visual Inspection and Repair of Base Metal Cut Edges, párrafos 3.2.3.1, 3.2.3.2, 3.2.3.4, 3.2.3.5, 3.2.3.6, 3.2.3.7, 3.2.4, 3.2.5, 3.2.6, 3.2.7, 3.2.8 y 3.2.9 del ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008.
- Los requerimientos de la temperatura de precalentamiento y entre pases son de vital importancia para prevenir fisuras y esfuerzos residuales. La experiencia ha demostrado que la temperatura mínima especificada en la tabla 4.4 de la sección 4.2 Preheat and Interpass Temperature Requirements del ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008, es adecuada para prevenir fisuras en la mayoría de los casos
- Se verifico que la temperatura ambiente no sea menor a  $-20$  °C, de acuerdo al punto 4.2 Preheat and Interpass Temperature Requeriments, parte 4.2.6 del ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008, o

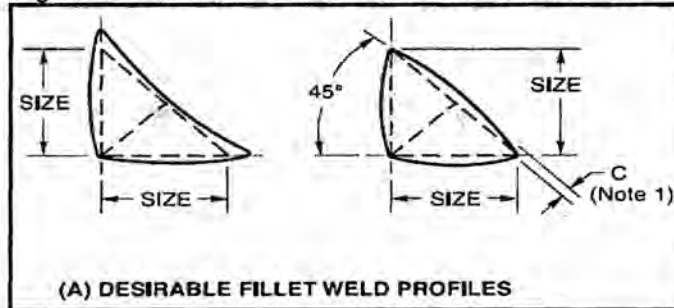
que se realicen cuando las superficies estén húmedas o expuestas a lluvia, niebla o altas velocidades de viento.

#### **4.6.3.6 Control de Distorsiones y Contracciones**

Durante el armado y proceso de soldadura se contó con un procedimiento y secuencia de soldadura para poder minimizar las distorsiones y las contracciones que traen consigo el proceso de soldadura. Para lograr minimizar estos problemas se siguieron los numerales 3.4.1, 3.4.2, 3.4.2, 3.4.4, 3.4.5, 3.4.6, 3.4.7 del ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008.

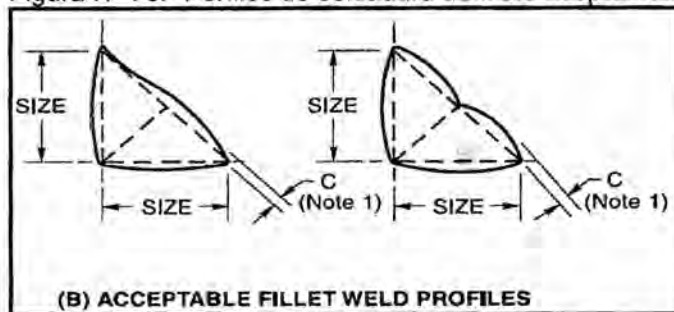
- Tolerancias dimensionales: las dimensiones de los miembros estructurales soldados deberán cumplir con las tolerancias de: (1) las especificaciones generales del proyecto, (2) las tolerancias dimensionales especificadas en los ítems 3.4.1.1 a 3.5.1.12 de ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008.
- La cara de las soldaduras de filete fueron suavemente convexa, recta o muy suavemente cóncava, como se muestra en la figura N° 72 y N° 73 así mismo no se permitieron perfiles como los de la figura N° 74. Para soldadura de ranura se aceptaron perfiles según figura 75 y no aceptables según figura N° 76, según el punto 3.6 de ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008.
- Todas las soldaduras cumplieron con lo indicado en los ítems 3.6.1 a 3.6.5 de ANSI/AASHTO/AWS D 1.5:2008.
- Todas las reparaciones en soldaduras cumplieron con lo indicado en los ítems 3.7.1 a 3.7.7 de ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008.
- La limpieza de la soldadura debe cumplir con los ítems 3.11.1 y 3.11.2 de ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008.
- Las soldaduras adecuadamente terminadas deben cumplir con los ítems 3.12.1, 3.12.2 y 3.12.3 de ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008.

Figura N° 72.- Perfiles de soldadura de filete deseables.



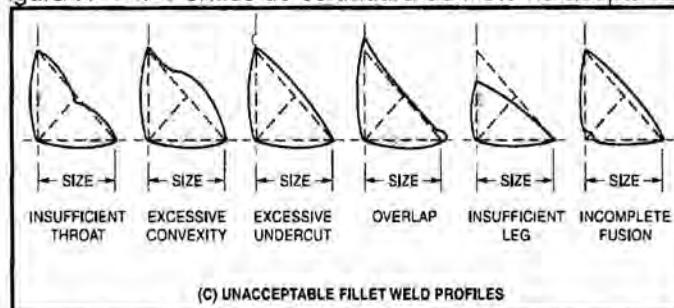
Fuente: Figura 3.3 del AWS D1.5-2008.

Figura N° 73.- Perfiles de soldadura de filete aceptables.



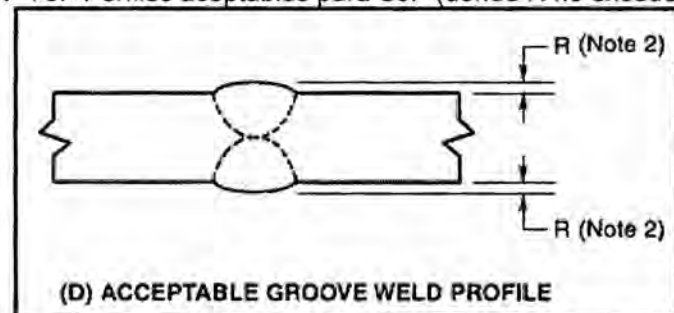
Fuente: Figura 3.3 del AWS D1.5-2008.

Figura N° 74.- Perfiles de soldadura de filete no aceptables.



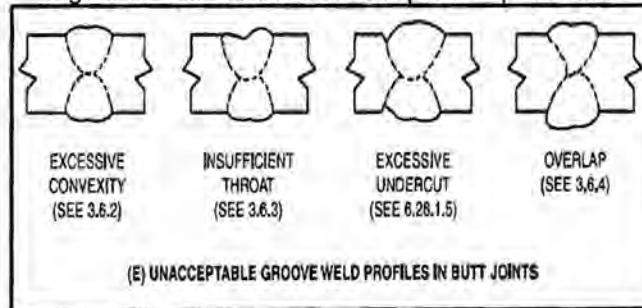
Fuente: Figura 3.3 del AWS D1.5-2008.

Figura N° 75.- Perfiles aceptables para CJP (donde R no excederá 3mm).



Fuente: Figura 3.3 del AWS D1.5-2008.

Figura N° 76.- Perfiles NO aceptables para CJP.



Fuente: Figura 3.3 del AWS D1.5-2008.

#### 4.6.3.7 Inspección de Soldadura

La inspección en soldadura fue realizada en base a lo indicado en la sección 6 "INSPECTION" del ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008.

La definición de las personas, responsabilidades, calificación, dentro del plan de inspección, sea para control de calidad o para aseguramiento de la calidad, fueron realizados en conformidad con los ítems 6.1.2 a 6.1.5 de ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008.

La inspección de soldadores, operadores de máquinas de soldar y soldadores de soldaduras provisionales realizados de acuerdo con los ítems 6.4.1 a 6.4.4 de ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008.

Las pruebas no destructivas fueron realizadas de acuerdo a los ítems 6.7 Nondestructive Testing (NDT) 6.7.1 a 6.7.7 del ANSI/AASHTO/AWS D 1.5:2008, teniendo en consideración los siguientes puntos:

**(6.7.1)** Las soldaduras CJP (Complete Joint Penetration – Junta de Penetración Completa) de ranura en miembros o elementos principales fueron sometidas a ensayos de control de calidad por END según lo siguiente:

- Todas las soldaduras CJP de ranura en juntas a tope sometidas a tracción o a inversión de esfuerzos serán inspeccionadas con Ensayos Radiográficos.

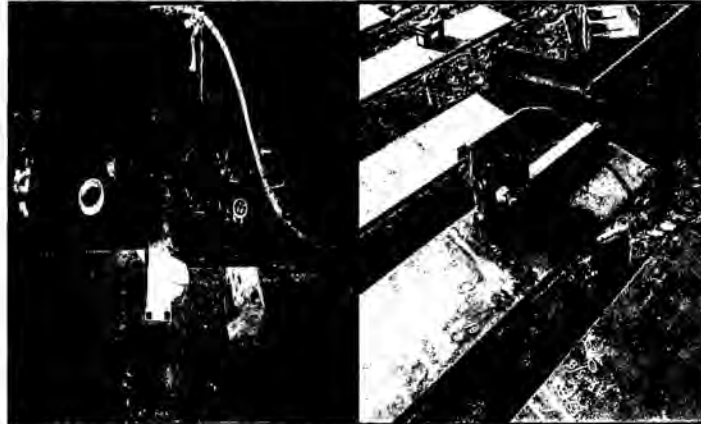
- Todas las soldaduras CJP de ranura en juntas en T y de esquina serán ensayadas con Ensayos Ultrasónicos.
- Todas las soldaduras CJP de ranura en juntas a tope en compresión o corte será hecho con Ensayos Radiográficos o Ensayos Ultrasónicos.

**(6.7.1.2)** Los Ensayos Radiográficos o Ensayos Ultrasónicos de soldaduras se realizaron según el siguiente plan de muestreo:

- El 100% de cada junta sujeta a tracción o inversión de esfuerzos, excepto en soldaduras en juntas verticales en columnas o vigas según se indica:
  - a) 1/6 de la altura del alma empezando desde el punto o puntos de máxima tracción.
  - b) 25% del resto de la altura del alma también será ensayada.
  - c) Si se han encontrado inconformidades en la inspección según (a) o (b) entonces todo el resto del alma será ensayada.
- El 25% de cada junta sujeta a compresión o corte, o, según el cliente 25% del total de juntas sujetas a compresión o corte, tomando en cuenta la siguiente información:
  - a) Si se encuentran discontinuidades inaceptables en el punto o lugar de la prueba, se revisara el total de su longitud.
  - b) Si se encuentran discontinuidades inaceptables en el 20% o más de todas las juntas en compresión o corte, se deberá ensayar todos los empalmes en su longitud total.
  - c) Una parte es definida como aquella tensión, compresión y juntas a corte o ambas las cuales hayan sido soldadas conforme al mismo WPS y ensayado con el mismo END.

- Los requerimientos de RT y UT serán aplicados igualmente para soldadura de taller y campo.

Figura N° 77.- Ensayo radiográfico a las juntas de las alas.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Figura N° 78.- Ensayo de ultrasonido a las juntas del alma y alas.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

**(6.7.2)** Las soldaduras de filete y PJP (Parcial Joint Penetration – Junta de Penetración Parcial) soldaduras de ranura, uniendo componentes primarios de miembros principales, fueron ensayados usando partículas magnéticas según lo siguiente:

**(6.7.2.1)** Al menos 300 mm será ensayado por cada 3m de longitud incluyendo soldaduras longitudinales en juntas a tope en vigas o almas de vigas y 300 mm por las soldaduras de menos de 3 m en total tomando en cuenta en longitud de cada tamaño de soldadura y tipo de junta en

miembros principales incluyendo las conexiones finales de dichos miembros. Si discontinuidades inaceptables son encontradas en cualquier parte de la soldadura ensayada, toda la longitud de la soldadura o 1.5 m de ambos lados de la longitud ensayada, serán ensayadas.

**(6.7.2.3)** Para soldadura de filete en miembro secundarios el ensayo de partículas magnéticas (MT) no es requerido.

Figura N° 79.- Equipo para ensayo de MT y aplicación de inspección en los cordones de filete.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

**(6.7.3)** Después de reparaciones de discontinuidades se realizaron inspecciones adicionales con END para asegurar que la reparación ha resultado satisfactoria. Los ensayos deben incluir el área reparada más, al menos, 50mm por cada lado de área reparada.

La Inspección radiográfica de soldaduras de bisel en uniones a tope fue realizado de conformidad con los párrafos 6.8 a 6.13.3 del ANSI/AASHTO/AWSD1.5:2008.

La inspección con ultrasonido de las soldaduras de bisel fue realizada conforme a los ítems 6.13 a 6.25 de ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008.

La inspección por partículas magnéticas fue realizada conforme a la norma ASTM E709 "Guide for Magnetic Particle Examination" y los criterios de aceptación según 6.26 de ANSI/AASHTO/AWS D1.5:2008.

#### **4.6.4 Fase IV: Preparación Superficial**

*En esta fase especificaremos el sistema de preparación de superficie (en nuestro caso arenado) empleado en las estructuras metálicas del puente Catarata; en base a las especificaciones técnicas del proyecto y normas internacionales.*

Por preparación de superficie se entiende la limpieza que se efectúa, antes de aplicar la protección superficial (pintura), con el objeto de eliminar todo agente contaminante, partículas sueltas o mal adheridas, que sean ajenas o no a la superficie, dejándola apta para recibir una protección.

Obteniendo así en los aceros nuevos un perfil de anclaje que asegure la buena adherencia mecánica del recubrimiento sobre la superficie protegida.

El realizar una limpieza inadecuada o poco cuidadosa puede provocar fallas prematuras en las pinturas, aunque las aplicaciones se realicen conforme a las indicaciones. Se calcula que aproximadamente entre el 70% y 80% de las fallas de los sistemas de recubrimientos se debe a superficies incorrectamente preparadas, por esta razón se debe hacer especial hincapié en una limpieza de buena calidad y especificarse claramente para cada caso en particular.

##### **4.6.4.1 Documentos de Referencia**

Particularmente para la limpieza de nuestra estructura se cumplió con las especificaciones técnicas del proyecto, la cual se basó en la siguiente especificación internacional:



- Las "Especificaciones Estándares para Puentes de Carreteras", de la AASHTO según la SSPC (Steel Structures Painting Council – Norma Americana), sección 13 "PINTURA" en su última edición.
- Así mismo existen otras especificaciones utilizadas en este tipo de estructuras como las siguientes:
  - ❖ Las SIS 055900 (ISO 8501-1:1988) (Swedish Standard Institution – Instituto Sueco de Normas). Referido a los grados de preparación de superficie en relación con el estado inicial del acero a pintar.
  - ❖ La NACE (National Association of Corrosion Engineers) Norma Americana.

#### 4.6.4.2 Tipos de Preparación Superficial

Los estándares más usados para la limpieza de superficies en puentes de acero son los de la SSPC (Steel Structures Painting Council). Estos incluyen estándares para todos los métodos comunes de limpieza; desde la limpieza por medio mecánico hasta con el del empleo de sustancias abrasivas.

Los estándares sobre preparación de superficies de acero establecidos por la SSPC han sido resumidos a continuación en la tabla N° 17.

Tabla N° 17.- Preparación de superficies según SSPC.

ESPECIFICACION	DESCRIPCION
<b>SSPC SP-1</b> Limpieza con Solventes	Eliminación de Aceite, grasa, tierra, sales y demás suciedades por medio de lavado con solventes, vapor álcalis.
<b>SSPC-SP-2</b> Limpieza Manual	Eliminación de óxido suelto, escoria (mill scale), pintura suelta por medio de rasquetado, lijado o cepillado manual.
<b>SSPC-SP-3</b> Limpieza Mecánica	Eliminación de óxido suelto, escoria (mill scale), pintura suelta por medio de rasquetado, lijado o cepillado mecánica.

<p align="center"><b>SSPC-SP-4</b> Limpieza con Soplete de fuego</p>	<p>Eliminación de óxido, escoria (mill scale), por medio de soplete de fuego seguido por una limpieza con cepillo metálico.</p>
<p align="center"><b>SSPC-SP-5</b> Arenado a Metal Blanco</p>	<p>Equivalente Sa 3 en la escala sueca o NACE N° 1, eliminación de todo el óxido y escoria (Mill scale) pintura y demás suciedades visibles por medio de arenado, este método debe ser usado en donde la corrosión sea muy severa y el alto costo de este método sea factible.</p>
<p align="center"><b>SSPC-SP-6</b> Arenado Comercial</p>	<p>Equivalente a Sa 2 en la escala sueca o NACE N° 3, Arenado de las superficies hasta por lo menos 2/3 partes la superficie estén perfectamente libres de todo residuo visible. Método para ser usado en condiciones severas de corrosión.</p>
<p align="center"><b>SSPC-SP-7</b> Arenado Simple</p>	<p>Equivalente a Sa 1 en la escala sueca o NACE N° 4, Arenado para remover todos los residuos de óxido, escoria y pintura suelta, permitiéndose áreas sin arenar donde la pintura antigua y la escoria estén firmemente adheridas.</p>
<p align="center"><b>SSPC-SP-8</b> Lavado con Acido</p>	<p>Eliminación del óxido y la escoria (Mill Scale) por medio de ácidos fuertes en tanques de inmersión y enjuague posterior con agua limpia.</p>
<p align="center"><b>SSPC-SP-9</b></p>	<p>Exposición a la intemperie para remover todo o parte de la escoria (Mill Scale) seguida de arenado a cualquiera de los grados de limpieza deseada.</p>
<p align="center"><b>SSPC-SP-10</b> Arenado al metal casi blanco Equivalente a Sa 2 1/2 en la escala sueca NACE N° 2</p>	<p>Eliminación del óxido, escoria, pintura suelta, hasta que por lo menos el 95% de la superficie esté libre de todos los residuos visibles. Método usado en ambientes muy húmedos, marinos o corrosivos.</p>

Fuente: Norma SSPC.

La preparación de superficie empleada en las estructuras metálicas del puente Catarata fue la SSPC-SP-5 (metal arenado al blanco).

A continuación en la tabla N° 18 presentamos las equivalencias con los sistemas de limpieza más empleados entre los estándares más conocidos.

Tabla N° 18.- Equivalencias en normas de preparación superficial.

<b>Norma Americana</b>	<b>Norma SSPC</b>	<b>Norma SIS (Sueca)</b>	<b>Norma NACE</b>
Metal Blanco	SSPC-SP-5	Sa 3	Nace 1
Metal Casi Blanco	SSPC-SP-10	Sa 2 ½	Nace 2
Comercial	SSPC-SP-6	Sa 2	Nace 3
Simple o Ligero	SSPC-SP-7	Sa 1	Nace 4

Fuente: Manual técnico Sherwin Williams.

#### **4.6.4.3 Identificación Visual de los Grados de Limpieza Superficial**

Para ayudar a identificar el nivel de limpieza del acero, la SSPC (Steel Structures Painting Council) ha preparado patrones de identificación visual según como sigue:

**SSPC-VIS 1:** Guía y Fotografías de Referencia para Superficies de Acero Preparadas Mediante Limpieza por Chorro Abrasivo Seco (figura N° 80); el VIS 1 contiene estándares fotográficos para cuatro grados de limpieza con chorro abrasivo.

Para hacer uso del estándar VIS, en primer lugar se debe establecer la condición inicial del acero usando los estándares visuales. Los aceros en distintas condiciones iniciales aparecen significativamente diferentes unos de otros, después de un proceso de limpieza similar.

Condición Inicial del Acero Antes de su Preparación:

**Condición A:** Completamente cubierto con escamas de laminación adheridas; poco o ningún óxido visible.

**Condición B:** Cubierto con escamas de laminación y con óxido.

**Condición C:** Completamente cubierto con óxido; poca o ninguna picadura.

**Condición D:** Completamente cubierto con óxido; picaduras visibles.

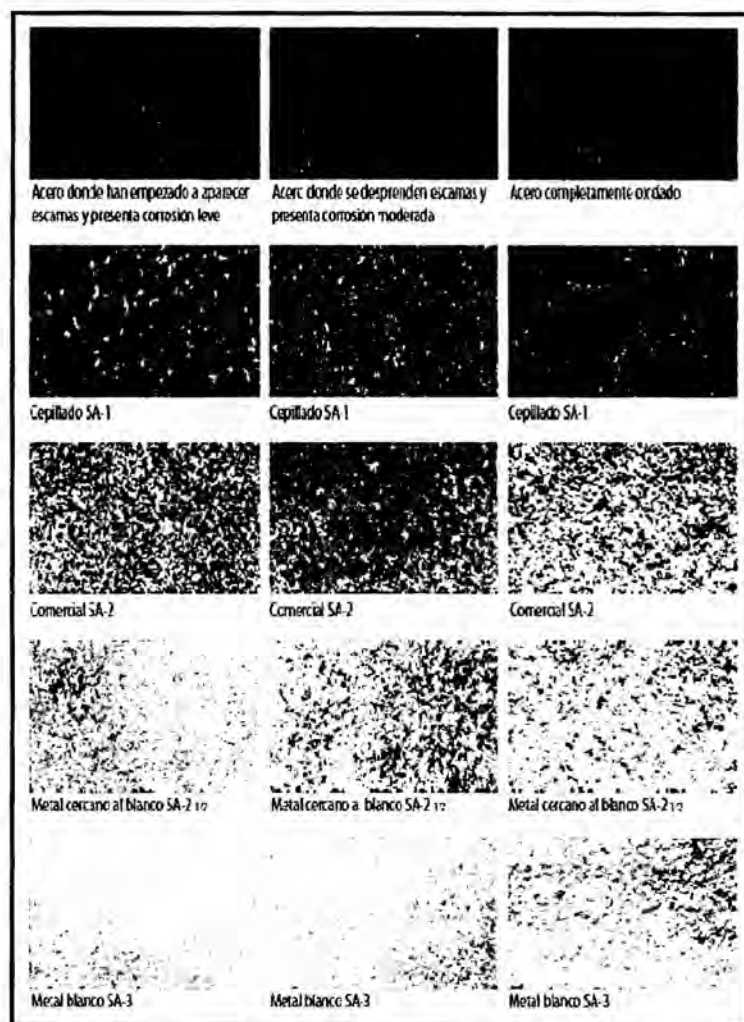
Después de determinar el grado inicial apropiado del acero, se debe comparar el acero limpio con los estándares fotográficos correspondientes a tal grado. Estos estándares están disponibles para grados de limpieza y de condiciones de la A hasta la D para limpieza con chorro abrasivo.

Las fotografías en SSPC-VIS 1 también muestran las diferentes apariencias de las superficies SP-5 obtenidas con abrasivos metálicos y no metálicos, así como diferencias en perfiles, ángulos de vista y difusión de la luz.

Aunque es deseable emplear los estándares visuales o fotografías de referencia publicados, otra manera de establecer un estándar para el acero limpiado con chorro abrasivo es aplicar el chorro a una sección de la estructura a un nivel previamente acordado y cubrirla, con una laca de color claro para conservarla como estándar durante la operación de limpieza. También se puede limpiar con chorro abrasivo una bandeja de prueba de unos 30 cm [12 pulgadas] y guardarla en un recipiente a prueba de agua y de grasa.

El SSPC-VIS 1 sólo sirve como ayuda para establecer el nivel de limpieza. La definición de la SSPC es la norma legal. A fin de evitar confusiones, se deberá citar los estándares visuales apropiados en el contrato de servicios.

Figura N° 80.- Patrón de identificación visual SSPC-VIS-1.



Fuente: [www.sandblast.net](http://www.sandblast.net)

#### 4.6.4.4 Aspectos Previos

##### ➤ Condiciones Ambientales

Antes de realizar las labores de limpieza superficial se verificaron que las condiciones ambientales sean las deseables y de acuerdo a:

- Medición de la Temperatura del Aire y de Bulbo Húmedo (ASTM E337-B): 22°C y 18°C respectivamente.
- Medición de la Humedad Relativa (ASTM E337-B): 68%.
- Medición de la temperatura de Rocío (ASTM E337-B): 16°C.
- Medición de la Temperatura Superficial (ASTM E337-B): 25°C

Todos los trabajos de aplicación de preparación superficial se realizaron considerando que la temperatura de la superficie debe ser mínimo 3°C por encima de la temperatura del punto de rocío, humedad relativa menor al 85% y una temperatura de superficie entre 5-49 °C.

El monitoreo de las condiciones ambientales se dio en forma constante antes y durante su ejecución.

#### ➤ **Arena**

La arena seleccionada conto con las siguientes características:

- Procedencia: La arena fue de cantera, lavada y seca. No se debiendo usar arena de playa.
- Composición: Conto con 95% cuarzo y un 5% restante de mica, feldespato y rocas diversas.
- No se utilizó arena contaminada con sustancias orgánicas (calcita, etc.) u oxidantes (salitre, pirita, etc.)
- Granulometría: Paso por la malla 26 y fue retenida por la malla 30.
- Aspecto: Limpia y de color uniforme.
- Composición en cloruros no debe ser mayor a 100 ppm (ASTM D4940), el análisis indico un valor de 50 ppm.

#### ➤ **Aire Comprimido**

Para el aire a utilizar se consideró lo siguiente:

- Presión: Aproximadamente 689.5 kPa (100 psi), a la salida del compresor.
- Caudal: Aproximadamente 0.094 m<sup>3</sup>/s (200 cfm) por cada tobera de arenado.
- Composición: Libre de agua y aceite.

## ➤ Equipos

El equipo para la limpieza con chorro abrasivo posee cinco componentes básicos:

### a. Compresor de aire.

Este aparato, como su nombre indica, toma, comprime y libera grandes volúmenes de aire por acción de un pistón o de un rotor hacia la máquina de chorreado (figura N° 81). El continuo y constante suministro de altas presiones y volúmenes de aire para impulsar los abrasivos desde la tolva de abrasivo por la manguera del abrasivo y la boquilla hasta la superficie del metal es una de las partes más cruciales de la operación de chorreado. Las presiones típicas en la boquilla de salida fueron de 6,5 a 7 MPa [90 a 100 psi].

Figura N° 81.- Compresora de aire de tornillo.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

El ratio de limpieza del chorreado es directamente proporcional a la presión y al volumen de salida. Una caída de 0,7MPa [10 psi] reducirá el avance en un 15%.

Las causas de pérdida de presión en la limpieza por chorro abrasivo, incluyen:

- Partes del compresor mal colocadas.
- Mangueras de poco diámetro y gran longitud.
- Acoples de unión desgastada.

- Debe cuidarse el ingreso de aceite y monóxido de carbono en el aire aspirado por el equipo.

(\*) Limpieza del Aire y del Abrasivo

Se emplean filtros de agua y de aceite para remover los contaminantes que podrían ser transferidos a las superficies limpiadas. Requieren inspección y limpieza frecuentes. Se puede detectar la presencia de contaminantes en el agua y el aceite mediante una simple prueba de papel secante (ASTM D 4285). Se sostiene una hoja de papel secante o un pedazo de tela a unos 45 o 50cm [18 pulgadas] frente a la boquilla de salida del chorro sólo con el flujo de aire durante uno o dos minutos. Cualquier mancha o gota atrapada en el papel o en el trapo indicará la presencia de contaminantes.

Una prueba sencilla de la contaminación del abrasivo con aceite consiste en colocar una pequeña cantidad de abrasivo en un recipiente de vidrio lleno de agua limpia. Se agita bien. Cualquier mancha aceitosa que suba a la superficie del agua indica contaminación por aceite.

b. Manguera de aire.

La manguera que lleva el aire desde el compresor a la máquina de chorreado no requiere ser tan durable como la manguera del abrasivo, en la medida que no es atacada por el componente abrasivo o arrastrada por el suelo. Debe tener un diámetro tan grande como sea lo más práctico (por lo general unos 5 cm [2 pulgadas] cuando la manguera sea de menos de 17 metros [50 pies]) y una longitud tan corta como sea lo práctico y como para reducir pérdidas por fricción. Debe usarse la menor cantidad posible de empalmes para evitar la pérdida de presión de aire por sus juntas.



c. Máquina de chorreado.

La máquina de chorreado (llamada por la gente del medio como "tolva de arenado") contiene el abrasivo (figura N° 82). Una válvula que se encuentra en el fondo del recipiente controla la cantidad de abrasivo que ingresa a la manguera. Las principales partes de una máquina de chorreado típica, alimentada por gravedad, son:

- Separador de humedad
- Válvula de escape
- Cabezal de llenado
- Válvula medidora
- Conexión o empalme de la manguera al tanque.

Se requiere un flujo continuo y uniforme de abrasivo, producido por la válvula automática de medida, para una limpieza eficiente. La capacidad de las máquinas de chorreado varía desde 20 kg [50 libras] hasta varias toneladas de abrasivo. Las máquinas más pequeñas requieren más tiempo para mantenerlas llenas y operando.

Figura N° 82.- Tolva de arenado.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

d. Manguera de abrasivo.

La manguera que lleva el aire con el abrasivo desde la máquina de chorreado hasta la boquilla de aplicación debe ser robusta y flexible y tratada para evitar choques eléctricos (figura N° 83). Una manguera típica de tres capas, con un diámetro interno de unos 32 mm [1,25 pulgadas] se vende en secciones acoplables para minimizar la pérdida por fricción y siempre trae una capa externa conductora de electricidad estática.

Algunos equipos traen una corta sección de manguera liviana, muy flexible que es llamada "el chicote", a la que va adosada la boquilla. Ello permite el manejo sencillo en áreas estrechas pero no se recomienda porque su reducido diámetro causa pérdida por fricción. Se pueden usar aplicadores cortos para esos propósitos.

Figura N° 83.- Manguera para abrasivo de la marca CLEMCO.

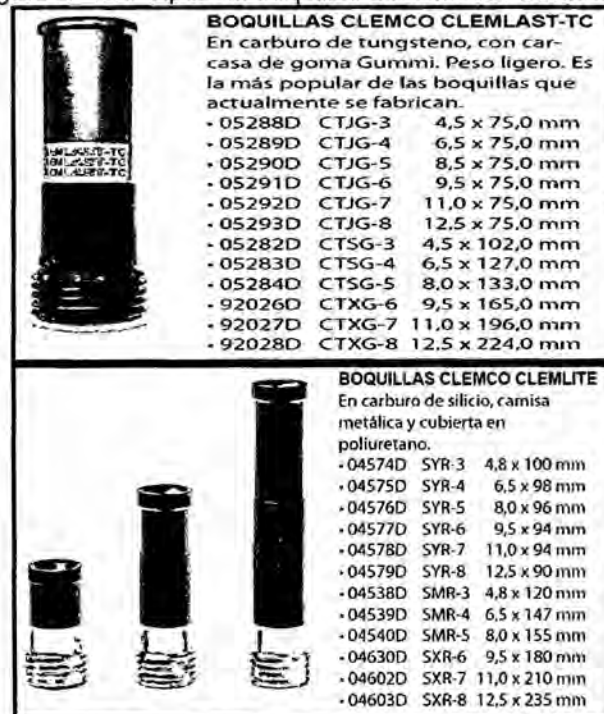


Fuente: Catalogo CLEMCO – 2012.

e. Boquilla.

Las boquillas o aplicadores están disponibles en diferentes longitudes, diseños, tamaño de boca y materiales (figura N° 84). Se usan generalmente las de entre 125 a 200mm [5 a 8 pulgadas] para remover la óxido y las escamas de laminación muy adheridas. Las más cortas 75mm [3pulgadas] o menos son más apropiados para usar detrás de vigas y otros sitios de difícil acceso.

Figura N° 84.- Tipos de boquillas de la marca CLEMCO.



Fuente: Catalogo CLEMCO – 2012.

La forma afilada de la boquilla Venturi es mucho más eficiente que las de forma cilíndrica. Produce un patrón más uniforme del chorro y puede llegar a incrementar las tasas de limpieza en hasta 30 o 50%.

Se debe escoger el tamaño del orificio de salida de la boquilla según el volumen de aire de la máquina. El tamaño más grande y práctico que mantiene la presión constante es siempre el mejor. Una boquilla de 12 mm [media pulgada] con apropiado suministro de aire puede limpiar cuatro veces más área que una boquilla de 6 mm [un cuarto de pulgada]. Los fabricantes las ofrecen en tamaños indicados por números: Las de 12 mm [media pulgada] son N° 8, por ejemplo, mientras que la de 6 mm [un cuarto de pulgada] es de N° 4.

El recubrimiento interno de la boquilla, en especial en el cuello, es gradualmente desprendido por acción del abrasivo. Dado que el aumento de las aberturas óptimas reduce la eficiencia del chorro, dicho recubrimiento es usualmente reemplazado después de que el diámetro se ha incrementado al tamaño inmediato siguiente. Los recubrimientos de

carburo de tungsteno y de Norbide pueden tener una vida útil de 300 y 750 a 1000 horas, respectivamente, en comparación con las 6 a 8 horas de los recubrimientos de hierro colado. El mal uso de las boquillas de carburo de tungsteno y de Norbide, que son más quebradizas, dejándolas caer o golpeándolas, reduce su tiempo de vida. No obstante, son mucho más económicas a largo plazo.

Todas las boquillas vienen equipadas con interruptores de seguridad, que deben ser presionados para dejar pasar el flujo de aire con abrasivo. Si el operario suelta la boquilla, el flujo es inmediatamente cortado.

Se usa un calibrador de aguja hipodérmico para medir la presión en la boquilla, como se indica en ASTM D 4264. El calibrador se inserta en la manguera de chorro justo enfrente de la boquilla en la dirección del flujo abrasivo para minimizar el daño a aquél.

#### **4.6.4.5 Procedimiento de Limpieza**

Se aplicó el chorro de arena a la superficie de acero, a fin de eliminar todos los óxidos (mills scale), pintura y sustancias extrañas. La limpieza por chorro convencional es mejor si es hecho sistemáticamente, y atendiendo a las siguientes consideraciones:

- **Angulo de ataque.** El ángulo entre la boquilla y la superficie puede ir de 45 a 90°, dependiendo del trabajo. Un ángulo de 80 a 90° es recomendable para retirar óxido y escamas de laminación, y para limpiar los agujeros. Un ángulo menor permite mejor visibilidad. Un ángulo de entre 45 a 60° es mejor para desescamar capas pesadas de recubrimiento u óxido. La limpieza general es mejor a 60 o 70°.

- **Distancia de la boquilla a la superficie.** Mientras más cerca esté la boquilla de la superficie, mayor densidad abrasiva habrá, pero menor el patrón de anclaje. Mientras que una distancia corta (150mm [6 pulgadas]) puede ser necesaria para retirar escamas de laminación, 450mm [18 pulgadas] o más será más apropiado para quitar pintura vieja.
- **Pasadas rectas.** Cada pasada con la boquilla de chorro debe ser hecha en línea recta a la misma distancia de la superficie. Variar la distancia puede producir una limpieza no uniforme.
- **El pintado de superficies limpias.** No se debe limpiar más superficies de las que se pintará el mismo día, ya que durante la noche puede producirse óxido. En días cálidos y húmedos ello puede suceder en pocas horas. Si eso sucede, deberá retirarse mediante un chorreado ligero antes de pintar. La contaminación con sales solubles también acelera el óxido instantáneo. En un trabajo de ritmo industrial, sólo se requiere un pintor para manejar cuatro operaciones de chorreado. El trabajo debe planearse adecuadamente.
- **Deshumedecimiento.** La deshumidificación de espacios cerrados debe hacerse para mantener limpia una superficie ya limpiada. La deshumidificación es descrita en SSPC-TR 3 (NACE 6A 192), "La deshumidificación y el control de la temperatura durante la preparación de superficies, la aplicación y el curado de recubrimientos en tanques de acero, barcos y otros espacios cerrados".

#### 4.6.4.6 Inspección y Pruebas

La inspección y tipo de prueba del perfil de la superficie del acero limpiado mediante Chorro Abrasivo se realizó de acuerdo a la norma ASTM D 4417 en donde se describen tres métodos para determinar el perfil (profundidad promedio entre "picos y valles") de superficies (perfil de rugosidad) de acero limpiadas con chorro abrasivo.

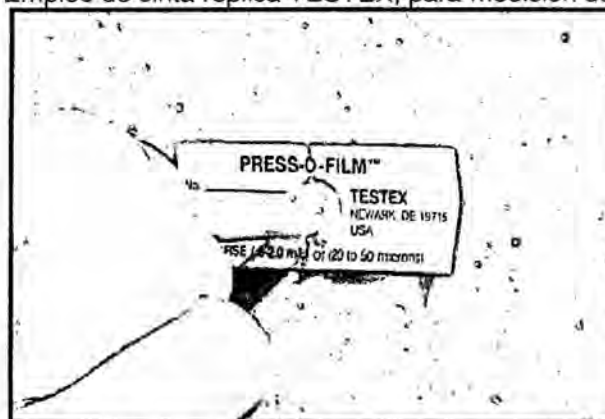
El método preferido es el de la Cinta Replica presionable sobre la película protectora (figura 69), de Testex, porque es fácil de efectuar, es preciso y produce un registro permanente. La cinta consiste en una capa de espuma plástica deformable unida a un soporte de Mylar. La cinta es frotada sobre la superficie a ser examinada con un pegamento que produce una imagen replicada del perfil. Luego el perfil en la cinta es medido con un micrómetro de resortes (figura N° 86).

Es muy importante usar la cinta apropiada para obtener una medida precisa del perfil. El micrómetro puede ser configurado para sustraer automáticamente el soporte de Mylar de 50µm [2 mil] de espesor.

Un procedimiento alternativo, en el cual se usa un comparador del perfil superficial, está disponible para determinar dicho perfil. Los comparadores incluyen instrumentos ISO, Clemtex, y Keane-Tator. Básicamente utilizan un magnificador iluminado de cinco poderes que permite efectuar una comparación visual de la superficie sometida a chorro con profundidades establecidas como estándares. Hay estándares para abrasión por arena, escoria y chorro por perdigones.

Un tercer procedimiento para medir el perfil de la superficie emplea un "perfilómetro". Este instrumento tiene un dial medidor y un sensor que se proyecta hacia los "valles" del perfil.

Figura N° 85.- Empleo de cinta replica TESTEX, para medición de rugosidad superficial.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Figura N° 86.- Empleo del Micrómetro y determinar el valor de la rugosidad superficial.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

#### **4.6.5 Fase V: Protección Superficial**

En esta fase mostramos los tipos, modos y requerimientos generales en la aplicación de pintura y el sistema de protección que se empleó para las estructuras metálicas del puente "Catarata".

##### **4.6.5.1 Documentos de Referencia**

Todos los elementos de acero del puente se pintaron siguiendo lo dispuesto en las especificaciones técnicas del proyecto, esta se formularon en concordancia a las especificaciones técnicas de calidad de pinturas para obras viales del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC).

##### **4.6.5.2 Métodos de Aplicación**

Los métodos aceptados para aplicar los recubrimientos protectores en estas estructuras son: pistola de aire convencional, pistola de recipiente de presión convencional y pistola sin aire. A continuación, explicamos las ventajas e inconvenientes de cada método.

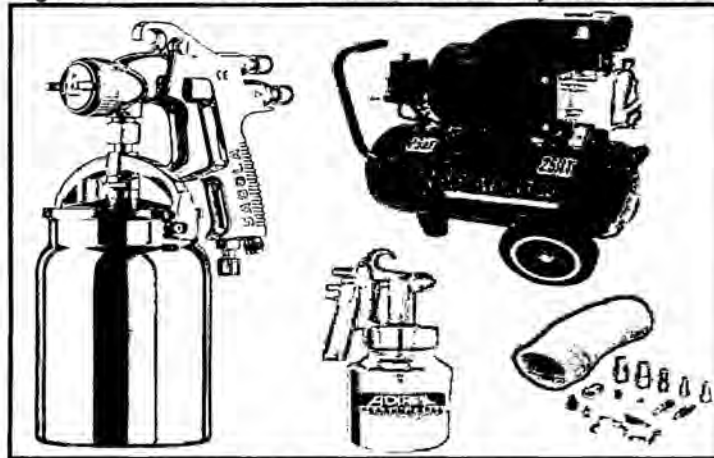
##### **➤ Pistola de Aire Convencional**

Se trata de un método rápido de aplicación de pintura de gran aceptación, en el cual la pintura se pulveriza mediante una corriente de aire a baja

presión. El equipo de pistola de aire "convencional" es relativamente sencillo y económico, pero es esencial utilizar la combinación correcta de volumen de aire, presión del aire y flujo de líquido, para lograr una buena atomización y una capa de pintura exenta de defectos.

Si la aplicación mediante pistola convencional no se controla correctamente, se pueden producir grandes pérdidas de pintura por sobre pulverización y rebote en la superficie, además de otros problemas como escaso flujo, chorreones y picaduras. El principal inconveniente de la aplicación de pintura con pistola convencional es que no se pueden aplicar en general recubrimientos de gran espesor, ya que la mayoría de las pinturas se deben diluir hasta alcanzar una viscosidad que permita una atomización satisfactoria, con lo cual se pierden sus propiedades de espesor. Este equipo fue utilizado para la aplicación de áreas pequeñas producto de alguna reparación u observación puntual.

Figura N° 87.- Pistola de Aire Convencional y Accesorios



Fuente: [www.ayarys.com.pe](http://www.ayarys.com.pe)

#### ➤ **Pistola de Aire con Recipiente a Presión**

Los depósitos de alimentación a presión o "recipientes de presión" se utilizan generalmente en combinación con las pistolas (convencionales) de corriente de aire a baja presión, para proporcionar un medio de



aplicación de la pintura a una presión regulada desde un depósito, a través de una manguera de fluido a una pistola de pulverización.

Varias empresas fabrican equipos adecuados (por ej. DeVilbiss, Binks) que funcionan de la manera siguiente:

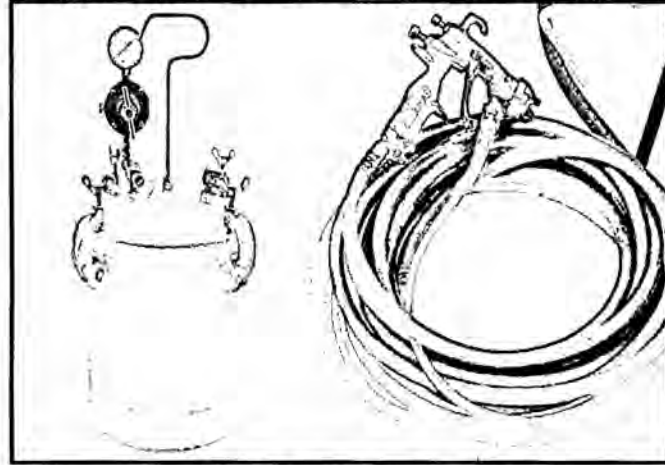
Un trozo de manguera de aire se conecta desde el suministro de aire comprimido a un regulador de presión del aire situado en la tapa del depósito. Cierta cantidad de aire pasa a través del regulador a una presión ajustada al interior del depósito, pero la mayor parte del aire atraviesa el regulador y llega a la pistola de pulverización a través de otro trozo de manguera de aire que atomiza la pintura a medida que se pulveriza. El aire que ha entrado en el depósito expulsa la pintura desde éste a la pistola a través de un trozo de manguera de fluido. Para evitar que se deposite la pintura en el depósito se utiliza un agitador de accionamiento manual o un motor de aire comprimido.

La pistola de aire (de recipiente a presión) está recomendada cuando es necesario aplicar grandes cantidades de pintura, mientras que su uso, en lugar de una copa de alimentación por aspiración o gravedad unida a la pistola, reduce significativamente el tiempo perdido en recargar constantemente y también permite girar la pistola en cualquier ángulo para recubrir los objetos eficazmente sin derramar la pintura.

Se pueden utilizar depósitos de alimentación a presión con capacidad de hasta 20 litros para una mayor libertad de movimiento en el lugar de trabajo.

En nuestro proyecto este equipo se empleó para la aplicación de la primera capa de pintura que fue de zinc inorgánico.

Figura N° 88.- Equipo de pintar con olla a presión y pistola de pintado con dos vías.



Fuente: [www.ayarys.com.pe](http://www.ayarys.com.pe)

### ➤ **Pistola Airless**

A diferencia de la pistola de aire, en la formación de la atomización no se mezcla el aire con la pintura, de donde le viene el nombre de pistola sin aire. La pulverización se consigue obligando a la pintura a pasar por difusores o boquillas especialmente diseñadas, mediante presión hidráulica. La presión hidráulica necesaria suele generarse en una bomba accionada por aire con una elevada relación presión de fluido/presión de aire de entrada. Hay bombas disponibles con relaciones comprendidas entre 20:1 y 60:1, siendo el valor más corriente de 45:1.

Las principales ventajas de la pistola airless son:

1. Se pueden aplicar recubrimientos de gran espesor sin tener que diluir la pintura.
2. Es posible una aplicación muy rápida, lo que supone una ventaja económica.
3. En comparación con la pistola convencional, se reduce la sobre pulverización y el rebote, lo cual se traduce en una pérdida menor de material y una reducción de los peligros de polvo y vapores.

Las boquillas, por las que tiene que pasar la pintura para conseguir la pulverización, son de carburo de tungsteno y son piezas de alta precisión.

El "abanico" de pintura atomizada se produce por una ranura abierta en la cara del orificio. Hay disponibles varios tamaños de orificio, con distintos ángulos de ranura. La elección de la boquilla depende de la presión de fluido necesaria para la pulverización, junto con el tamaño de orificio necesario para conseguir la tasa de salida de fluido correcta. La tasa de salida del fluido controla el espesor de película aplicado.

Con diferentes ángulos de ranura se producen abanicos de distinta anchura. La selección de una anchura de abanico determinada depende de la forma y tamaño de la estructura que se va a pintar. La elección de anchura de abanico está también relacionada con el tamaño del orificio; para el mismo tamaño de orificio, la pintura aplicada por unidad de superficie será menor cuanto más ancho sea el abanico de pulverización.

Las pistolas sin aire funcionan normalmente a presiones de fluido de hasta 352 kg/cm<sup>2</sup> y deberán utilizarse siempre de acuerdo con las instrucciones de funcionamiento y las precauciones de seguridad del fabricante.

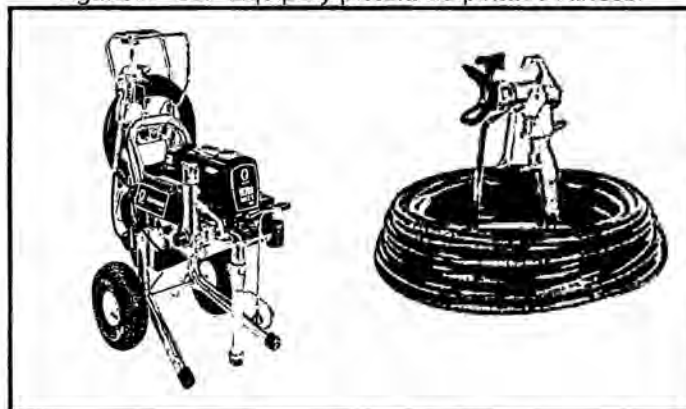
En general, las boquillas con un tamaño de orificio de 0,23-0,33 mm (9-12 milésimas de pulgada) son adecuadas para aplicar recubrimientos de 50 micras (2 milésimas de pulgada) aproximadamente de espesor de la película húmeda. Los tamaños de boquilla comprendidos entre 0,33 y 0,48 mm (13-19 milésimas de pulgada) son adecuados para películas húmedas de 100-200 micras (4-8 milésimas de pulgada) y 0,48-0,79 mm (19-31 milésimas de pulgada) para 200 micras (8 milésimas de pulgada) en adelante. Los mástiques de gran resistencia que se aplican a espesores de película muy gruesos podrían necesitar boquillas con orificios de hasta 1,02-1,52 mm (40-60 milésimas de pulgada).

Existen varios diseños de boquillas disponibles, cuya elección depende del acabado requerido, la facilidad de aplicación y la facilidad de limpieza de los bloqueos que se producen en las mismas. Sin embargo, la aplicación con pistola sin aire es el más empleado en la actualidad como

un método conveniente de aplicación de recubrimientos protectores de alto rendimiento.

En nuestro proyecto este equipo sirvió para la aplicación de la segunda y tercer capa de pintura es decir para la aplicación del esmalte epoxico y esmalte poliuretano.

Figura N° 89.- Equipo y pistola de pintado Airless.



Fuente: [www.ayarys.com.pe](http://www.ayarys.com.pe)

#### 4.6.5.3 Condiciones Ambientales

Previo al inicio de las labores de pintura, se verificaron que las condiciones ambientales sean satisfactorias por lo que se realizaron las siguientes mediciones:

- Medición de la Temperatura del Aire y de Bulbo Húmedo (ASTM E337-B): 22°C y 18°C respectivamente.
- Medición de la Humedad Relativa (ASTM E337-B): 68%.
- Medición de la temperatura de Rocío (ASTM E337-B): 16°C.
- Medición de la Temperatura Superficial (ASTM E337-B): 25°C

Todos los trabajos de aplicación de la pintura se realizarán considerando que la temperatura de la superficie debe ser mínimo 3°C por encima de la temperatura del punto de rocío, humedad relativa menor al 85% y temperatura de superficie entre 5-49 °C.

#### 4.6.5.4 Tipos de Protectores

Las estructuras metálicas del puente Catarata recibieron el sistema protector mostrado en la tabla N° 19.

Tabla N° 19.-Sistema de protección superficial anticorrosivas del puente "Catarata".

ESQUEMA DE PINTADO	PRODUCTO	ESPECIFICACION DEL SISTEMA	N° DE CAPAS	ESPESOR DE PELICULA SECA
PRIMER	ZINC RICH	SSPC-PAINT 20	1	2 -3 mils
INTERMEDIO	ESMALTE EPOXICO	SSPC-PAINT 22	1 - 2	4 - 5 mils
ACABADO	ESMALTE POLIURETANO	USPC-C-644-A	1	2 - 3 mils
<b>TOTAL DEL SISTEMA</b>				<b>8 - 11 MILS</b>

Fuente: Especificación Técnica MTC-1998.

Este sistema es el principal de acuerdo a las especificaciones técnicas y normativa del MTC, existiendo otras que son una combinación de estas como:

- Sistema Epoxico – Epoxico – Poliuretano (el espesor de pintura final del sistema será de 10 a 12 mils).
- Sistema Zinc – Epoxico – Epoxico (el espesor de pintura final del sistema será de 8 a 12 mils).

Las características de cada producto para el esquema empleado se mencionan a continuación.

##### a. Primer

Las pinturas ricas en zinc, también llamadas pinturas de protección catódica, son formuladas con resinas apropiadas y pigmentadas con zinc metálico de alta pureza.

Estas formulaciones utilizan un polvo de zinc muy fino, dispersado en un agente ligante o una resina, completando una célula electroquímica cuando es aplicado sobre el acero.

El pintado con este tipo de materiales, cuando son adecuadamente formulados, permite que las superficies del acero expuestas a los medios corrosivos, aun sin la aplicación de otro material sobre el, resistan a la corrosión.

Cuando el acero recubierto con estas pinturas es expuesto, por ejemplo, con daños mecánicos en la pintura, el zinc metálico inhibe la formación de óxido en una significativa área inmediatamente adyacente. El óxido no se forma sobre la película de pintura rica en zinc, puesto que el zinc protege al acero catódicamente, lo que no ocurre con las pinturas no pigmentadas con zinc.

### **Orgánicos de Zinc**

Las pinturas ricas en zinc con vehículo orgánico (generalmente epoxy), deben ser formuladas con un tenor adecuado de zinc, para obtener la adherencia suficiente. En estas pinturas el exceso de zinc (por encima del 95%) en la película seca, no permite la unión necesaria para adherirse al substrato de acero y la película se torna frágil y porosa.

Insuficiente tenor de zinc (por debajo del 85%) en la película seca, causa el encapsulado del zinc con el ligante y esto evita que el zinc este en contacto íntimo con el acero, lo que es necesario para completar la conexión eléctrica.

### **Inorgánicos de Zinc**

En las pinturas ricas en zinc formuladas con vehículos inorgánicos tales como los etil silicatos, el encapsulamiento de las partículas de zinc no

acontece. El poli silicato de etilo en presencia de alcohol y humedad, forma ácido silícico, un ligante conductor que no aísla las partículas de zinc. Por el contrario, junto con el zinc, forman un film continuo y conductor cuando recibe humedad, dando una protección similar al galvanizado.

La película seca es porosa y cuando se expone al oxígeno del aire (sin revestimiento) ocurre una lenta oxidación del zinc en la película seca, formando compuestos de zinc que irán también protegiendo el sustrato de acero por la formación de una barrera.

Independientemente de que los espacios vacíos sean ocupados por compuestos de zinc, la humedad penetra por capilaridad a través de estos, estableciendo un contacto eléctrico entre las partículas del zinc metálico y el acero. Este fenómeno es importante para que ocurra la protección catódica, pues sin la presencia de agua, el intercambio de iones no acontece y no existiendo el contacto de iones, no hay protección catódica.

En nuestro proyecto se aplicó Zinc inorgánico de la marca Sherwin Williams, el producto empleado fue Zinc Clad 60 BR.

#### **b. Intermedio**

Los esquemas de pintura a base de resina epóxica, ocupan un importante espacio en el campo de los revestimientos de obras metalmeccánica.

Las combinaciones más frecuentes en el área de productos para revestimientos de obras metalmeccánica para las resinas epóxicas son como poliamida y poliamina.

Las resinas epóxicas reaccionan químicamente con estas sustancias, dando como resultado revestimientos termoestables, también conocidos como convertibles.

Estos polímeros tienen diversas y extraordinarias propiedades que los caracterizan, tales como: resistencia a los solventes, a algunos ácidos, álcalis y sales.

Películas basadas en resina epóxica combinadas con poliamidas o poliaminas, adecuadamente pigmentadas, incluidas las cargas o extendedores, ofrecen una notable adherencia sobre diferentes sustratos, formando una película dura, resistente a la abrasión y de alto desempeño por sus propiedades físicas y químicas.

Las características más importantes son: gran resistencia a ambientes químicamente agresivos y durabilidad en trabajos pesados que exigen resistencia a los daños mecánicos.

Las combinaciones de resinas epoxy con poliamida, resultan en productos de excelente resistencia al agua y a la humedad.

Las resinas epoxy combinadas con poliamina ofrecen un amplio abanico de opciones para la protección de agentes químicos de alta agresividad.

En nuestro proyecto se aplicó un epoxy de la marca Sherwin Williams, el producto empleado fue Macropoxy 646.

### **c. Acabado**

Los revestimientos poliuretánicos, de modo general, se presentan como pinturas de dos componentes. La base puede ser un poliéster y el catalizador un poli-isocianato. Una vez mezclados, estos componentes reaccionan para formar un polímero que da como resultado una película



que conjuga características estéticas, físicas y químicas distintas a los demás revestimientos de secado al aire.

Entre los diversos tipos de poliuretanos comercializados en la actualidad para diferentes usos, citaremos a dos grupos principales que se diferencian por características bien marcadas:

Los poliuretanos aromáticos usados como primers, manos intermedias o terminaciones, son sensibles a la radiación ultravioleta, pues cuando son expuestos a la acción de la intemperie sufren un rápido amarilleamiento y pérdida de brillo por la acción del sol.

Estos poliuretanos aromáticos son recomendados para el pintado de superficies que no serán expuestas a la acción de la intemperie.

Los poliuretanos alifáticos se caracterizan por la excelente resistencia a la intemperie bajo las condiciones atmosféricas más diversas, tales como: áreas marítimas, áreas industriales altamente contaminadas y húmedas, áreas donde la deposición de residuos en suspensión sobre la superficie pintada es de forma agresiva para el revestimiento.

Estos factores adversos no producen cambios en la protección anticorrosiva, ni el deterioro visual en cuanto a brillo o retención de color, excepto a muy largo plazo.

En nuestro proyecto se aplicó un poliuretano de la marca Sherwin Williams, el producto empleado fue Sumathane HS Brillante.

#### **4.6.5.5 Equipos**

Los equipos de aplicación básicos requeridos son los siguientes:

- Pistola Devilbiss JGA o similar (Para Sistema Airless el más empleado).

- Compresora Eléctrica o Autopropulsada, con un rango de operación de 0 – 150 psi.
- Juego de repuestos de manguera y equipos.

#### **4.6.5.6 Aplicación**

La aplicación de la pintura se realizó en estricto control de las condiciones ambientales, estos valores deben ser medidos antes y durante toda la etapa de pintado.

Para la aplicación de pintura se tomaron en cuenta las siguientes indicaciones:

1. Una vez terminado el arenado se procedió al pintado ese mismo día en que se realizó la limpieza.
2. Superficies tratadas que se hubieran oxidado o hayan contaminado con materias extrañas antes de realizar la pintura, fueron nuevamente limpiadas.
3. Para el proceso de pintura se utilizó equipos Devilbiss para la aplicación de la primera capa y equipos Airless para la capa intermedia y final. Para la reparación de daños menores y zonas pequeñas se empleó equipos convencionales. Solamente se podrá utilizar brocha o rodillo para el pintado de retoques, repasos y resanes.
4. Previa limpieza final con aire, se inició la aplicación de la primera capa de pintura de un espesor de la película protectora seca igual a 2 - 3 mils.
5. Cada elemento que recibió la primera capa y dentro de los 6 horas posteriores como mínimo, se le aplicó la segunda capa de pintura de un espesor de la película protectora seca igual a 4 - 5 mils.
6. Para cada elemento que recibió la segunda capa y dentro de las 6 horas posteriores se le aplicó la tercera capa de pintura superficial con un espesor de la película protectora seca igual a 2 - 3 mils.

7. Posteriormente a la colocación de cada capa de pintura, se controlaron y verificaron conjuntamente con el supervisor el espesor de pintura colocado con ayuda de instrumentos (calibrador de espesor digital).

Todas las pinturas se aplicaron de acuerdo con las especificaciones e instrucciones técnicas del proveedor de pintura, durante la aplicación se recibió asesoría técnica del fabricante de pintura para la aplicación y control de calidad.

#### 4.6.5.7 Inspección y Pruebas

##### ➤ Inspección Visual

Las tareas de inspección visual durante el proceso de pintado se dividió en dos: la primera durante la aplicación y la segunda al término, después del tiempo de secado de la última capa. A continuación detallaremos los principales defectos y causas más conocidas para cada una de estas.

##### • Durante la aplicación

DESCRIPCION	CAUSA
<b>Ecurrido.</b> También llamado acortinado, flujo excesivo de recubrimiento	Pistola muy cerca del sustrato, demasiado adelgazador, demasiado recubrimiento o superficie muy lisa o brillante.
<b>Cascara de naranja.</b> Picos y valles en la superficie, parecidos a una cascara de naranja	Recubrimiento demasiado viscoso, pistola muy cerca de la superficie, evaporación rápida de solvente, baja presión de aire, inapropiada atomización.
<b>Ojo de Pescado.</b> Separación o restirado de la película de recubrimiento húmeda, que deja descubierta la película inferior o el sustrato.	Aplicación sobre aceite, polvo, silicón o recubrimiento incompatible.
<b>Poros (Pinholes).</b> Agujeros pequeños y profundos exponiendo el sustrato.	Insuficiente e inadecuada atomización del recubrimiento, pigmento mal incorporado o contaminación del recubrimiento.
<b>Sobre aspersion.</b>	Partículas de recubrimiento medio secas depositadas en la superficie.

- **Termino de la aplicación de cada**

DESCRIPCION	CAUSA
Acocodrilamiento	La pintura ya aplicada presenta cuarteaduras que se asemejan a la piel de cocodrilo.
Agrietamiento	Fractura irregular profundas directa de la película de pintura hasta el sustrato.
Ampollas	Pequeñas áreas deformadas semejantes a ampollas.
Decoloración	El acabado presenta falta de color en la superficie.
Caléo	Perdida de brillo y superficie con polvo.
Burbuja	Pequeñas marcas uniformes en la película.
Delaminación	Falta de adhesión entre capas de pintura o entre la pintura y el sustrato.
Atomización seca	Superficie de textura granulosa con una rugosidad parecida a la de la lija; se presenta principalmente con recubrimientos de zinc inorgánico.
Incrustaciones de contaminantes	Secciones con contaminantes incrustados en la película.
Ojo de pescado	Se forma cavidades entre las películas que se asemejan a hoyos o depresiones profundas de pintura.
Poros	Cavidades de tamaño suficiente para atravesar una o varias capas y se localizan en la superficie.
Ablandamiento	Película aparentemente seca por la superficie, pero el recubrimiento bajo ella se encuentra blando; al presionar con el dedo pulgar queda plasmada la huella.
Efecto adherente	Los recubrimientos tienen penetración parcial; la superficie se encuentra seca pero al tocarla se asemeja a una cinta adhesiva.
Corrugado	Superficie rugosa y áspera.

### ➤ **Inspección de Espesor de Película Húmeda**

La inspección de espesor de película húmeda se realizó siguiendo las instrucciones de los métodos de la norma ASTM A-4414, siguiendo lo siguiente:

#### a. Procedimiento de Medición

Durante la aplicación, se controló el espesor húmedo cada cierto tiempo para asegurarnos de estar poniendo suficiente pintura sobre el sustrato, pero debemos ser cuidadosos al calcular el espesor húmedo para obtener una película seca dentro del rango especificado. Para ello se utiliza el calibrador en húmedo o "galleta". Así, el espesor seco de película equivale al espesor húmedo tantas veces como el porcentaje de sólidos en volumen de la pintura. Este porcentaje de sólidos se da en las hojas técnicas de los productos. Así por ejemplo, para una pintura de 50% de sólidos que requiere 4 mils secos debemos aplicar un mínimo de 8 mils (200 para 100 micrones) en húmedo; para obtener 2 mils secos se debe aplicar 4 mils en húmedo (100 para 50 micrones).

Si diluimos la pintura antes de aplicarla, estamos reduciendo su contenido de sólidos, entonces debemos tomar en cuenta la dilución para determinar el espesor húmedo requerido.

Las fórmulas son:

$$EPH = (EPS \text{ requerido} * (1+d)) / SV$$

EPH: espesor de película húmeda.

EPS: espesor de película seca.

SV: Sólidos por volumen (en tanto por uno).

d: dilución expresada en tanto por uno.

Ejemplo:

EPS: 8mils.

SV: 0.70 (70% sólidos en volumen).

d: 0.10 (10% dilución).

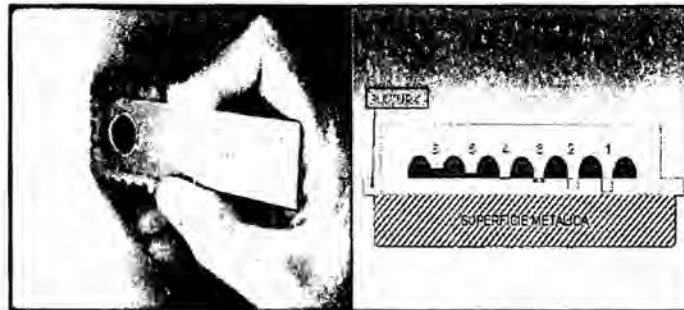
$EPH = (8*(1.1)/0.70) = 13$  mils

#### b. Equipos de Inspección

Para calibrar el espesor de película húmeda se utiliza unas laines comúnmente llamadas "galletas" (figura N° 90), con las que podemos hacer las mediciones.

Los espesores de película húmeda en nuestro proyecto fueron para la primera capa de 4 – 5 mils (considerando 61% en sólidos, 15% de dilución y 2 – 3 mils de película seca), para la segunda de 6 – 7 mils (considerando 72% en sólidos, 10% de dilución y 4 – 5 mils de película seca) y la tercera de 4 – 5 mils (considerando 70% en sólidos, 15% de dilución y 2 – 3 mils de película seca).

Figura N° 90.-Equipo de inspección de película húmeda. A la derecha el empleo de la galleta en la medición de espesor, a la izquierda se muestra la forma de trabajo de la galleta marcando el nivel de pintura aplicado.



Fuente: [www2.cppq.com.pe](http://www2.cppq.com.pe)

### ➤ **Inspección de Espesor de Película Seca**

Se realizó de la siguiente forma:

#### a. Procedimiento de medición

Para asegurarnos que el espesor de la pintura cumplió los requerimientos de la especificación en la superficie pintada de las vigas metálicas del puente Catarata se tuvieron que realizar múltiples mediciones basadas en la norma SSPC-PA-2(2004) "Measurement of Saint Thickness with Magnetic Gages", la cual describe una metodología para medir el espesor de película seca de un recubrimiento no magnético aplicado en un sustrato magnético usando diferentes instrumentos disponibles en el mercado (pulloff gages y electronic gages). La determinación del espesor de película seca aplicada, el tipo de muestreo y la cantidad de lecturas fueron las indicadas por la norma y de acuerdo a lo siguiente:

Para superficies menores o iguales a 10 m<sup>2</sup>, se toman 5 niveles de medición al azar; para formar un nivel de medición se debe trazar un círculo con un diámetro igual a 4,0 cm; dentro del área del círculo trazado, se toman 3 lecturas al azar, siendo el promedio simple de estas lecturas el espesor del nivel.

Para áreas que no excedan los 30 m<sup>2</sup>, el área total se divide entre 3 y se debe aplicar la distribución en cada área de 10 m<sup>2</sup>, de acuerdo a lo establecido para áreas de 10 m<sup>2</sup>.

Para áreas que no excedan los 100 m<sup>2</sup>, se toman al azar tres áreas de 10 m<sup>2</sup> cada una las cuales se deben medir de acuerdo a lo establecido para áreas de 10 m<sup>2</sup>.

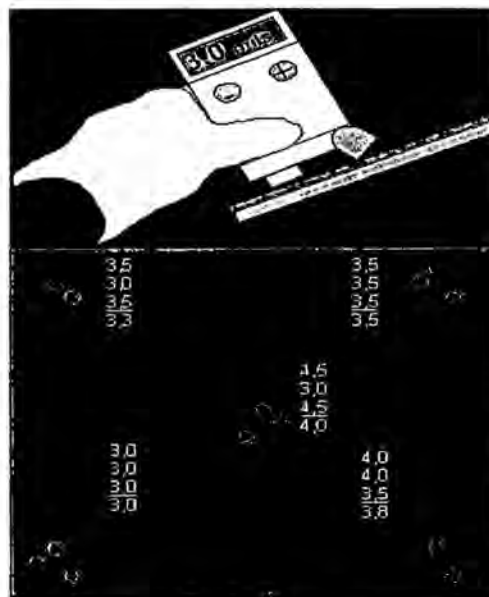
Para superficies que excedan los 100 m<sup>2</sup>, los primeros 100 m<sup>2</sup> se miden de acuerdo a lo indicado para áreas que no excedan de 100 m<sup>2</sup>; adicionalmente se toman 10 m<sup>2</sup> al azar, los cuales se deben medir de acuerdo a establecido para áreas de 10 m<sup>2</sup>.

Si algunos de los espesores de alguna área de 10 m<sup>2</sup> no cumplen con lo especificado, se deben tomar lecturas adicionales para delimitar el área que presenta el problema.

Nivel de medición: Para formar un nivel de medición se debe trazar un círculo con un diámetro igual a 4,0 cm; dentro del área del círculo trazado, se toman 3 lecturas al azar, siendo el promedio simple de estas lecturas el espesor del nivel.

Una vez obtenidos los resultados, éstos se calificaron de acuerdo con los criterios de aceptación establecidos.

Figura N° 91.- Medición de espesores de película seca de acuerdo a la norma SSPC PA 2.



Fuente: [www2.cppq.com.pe](http://www2.cppq.com.pe)

Esesor mínimo: El promedio de las medidas de cada nivel para cada 10 m<sup>2</sup> de área, no debe ser menor al valor mínimo especificado. Ninguna lectura de un punto de cualquier a nivel en el área de 10 m<sup>2</sup>, debe ser menor al 80 % del espesor mínimo especificado; en el caso de detectar no conformidades, se deben hacer mediciones adicionales para delimitar el área que presente el problema.

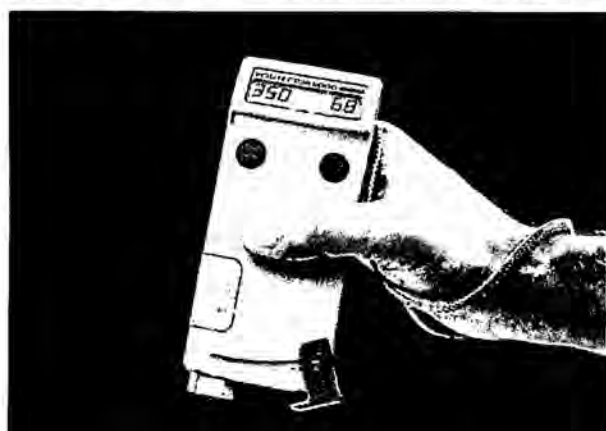


**Espesor máximo:** El promedio de las medidas de cada nivel para cada 10 m<sup>2</sup> de área, no debe ser mayor al valor máximo especificado. Ninguna lectura de algún punto de cualquier nivel en el área de 10 m<sup>2</sup>, debe ser mayor al 120 % del espesor máximo especificado; en el caso de detectar no conformidades, se deben hacer mediciones adicionales para delimitar el área que presenta el problema y solicitar más información acerca del comportamiento del recubrimiento con el fabricante del recubrimiento.

b. Equipos de inspección

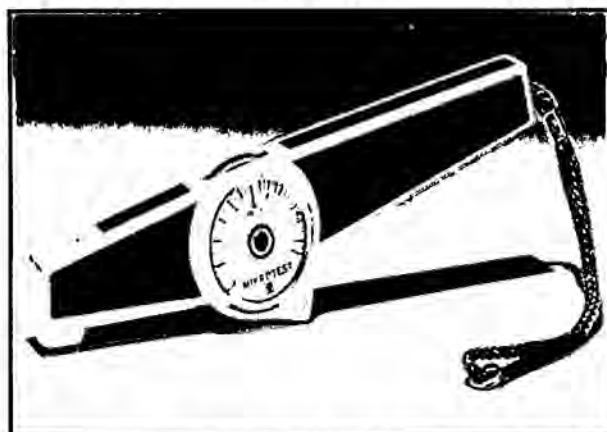
Existe en el mercado diferentes marcas de equipos para calibrar espesores de pintura, los hay digitales y magnéticos para calibrar espesores de película seca (figura N° 92 y N° 93) en este caso los más exactos son los digitales. Así mismo considerar que estos equipos deben de calibrarse según los criterios de calidad de la empresa como del uso.

Figura N° 92.- Calibrador de película seca digital.



Fuente: [www2.cppq.com.pe](http://www2.cppq.com.pe)

Figura N° 93.- Calibrador de película seca magnético.



Fuente: [www2.cppq.com.pe](http://www2.cppq.com.pe)

#### 4.6.6 Fase VI: Control de Calidad

Para el control de calidad de la fabricación de las estructuras metálicas del puente Catarata se creó un plan de calidad, plan que cubría desde la ingeniería de detalle, recepción de materiales para la fabricación, hasta la liberación de las estructuras para su despacho para continuar con el montaje de las estructuras metálicas en obra. El plan de calidad cubrió todos los procesos cumpliendo con los requisitos establecidos por el proyecto.

Así mismo se generaron procedimientos de inspección, planes de puntos de inspección e instrucciones técnicas complementarias para la ejecución de este plan de aseguramiento de calidad en todos sus procesos.

Los documentos de referencia para la generación de este plan fueron los siguientes:

- Planos de detalle o fabricación.
- Especificaciones técnicas del proyecto.
- Normas ASTM
- Código AWS D1.5
- Normas SSPC
- Normas ISO 9001.

Inversiones Metálicas no cuenta con una certificación ISO 9001 versión 2000, pero se estableció un sistema de calidad basado en la norma ISO 9000 para la fabricación de puentes metálicos. En base a este sistema de calidad se estableció los procesos críticos para la fabricación de las estructuras metálicas para puente determinando la secuencia e interacción de los mismos, así como los criterios, métodos, recursos e información para su correcta ejecución, seguimiento, medición y control de dichos procesos con el fin de asegurar el cumplimiento de los requisitos de nuestro cliente para este proyecto.

La documentación del plan de calidad para la fabricación y montaje de puentes incluyó lo siguiente:

- Política y objetivos de calidad.
- Plan de aseguramiento y control de calidad.
- Procedimientos de inspección.
- Instrucciones técnicas complementarias.
- Registros de calidad.

En el anexo I se adjunta el plan de control de calidad empleado para este proyecto.

#### **4.6.6.1 Control de Calidad por Procesos**

Para el proyecto "Fabricación y Montaje del Puente Catarata", Inversiones Metálicas estableció métodos apropiados para el seguimiento y medición, mediante el control de calidad de los procesos de manera que se verifiquen y cumplan los requisitos y especificaciones técnicas del proyecto.

El control de calidad se desarrolló en las etapas apropiadas de cada proceso, definidas por el impacto de estas en el cumplimiento de los requisitos de nuestro cliente.

El control de calidad para el proyecto “Fabricación y Montaje del Puente Catarata” conto con los siguientes controles e inspecciones que resumiremos a continuación y que se ejecutaron desde la recepción de materiales, productos y equipos a utilizarse, hasta su montaje en obra.

#### **4.6.6.2 Controles e Inspecciones**

Se ejecutaran durante los siguientes procesos:

- En la recepción de materiales y suministros que ingresan a los procesos en planta y obra.
- En las etapas previas a la fabricación de las estructuras.
- En los procesos de fabricación de las estructuras.
- Liberación de estructuras para su despacho a obra.
- En el proceso de montaje de las estructuras.
- Control final para entrega al cliente.

#### **➤ En la Recepción de Materiales**

Se verificaron todo los materiales y suministros llegados a planta para el proyecto, verificando el cumplimiento de las especificaciones técnicas. Los certificados de calidad tuvieron especial importancia los cuales fueron emitidos por los fabricantes, los certificados mostraron:

- Identificación del material o suministro.
- Propiedades físicas, químicas y mecánicas según sea el caso.
- Cumplimiento de cualquier otra especificación indicada en el proyecto.
- Los documentos para estos controles son:
- Procedimiento de inspección en la recepción de materiales, productos y equipos.
- Plan de puntos de inspección en la recepción de materiales, productos y equipos.

### ➤ **En las Etapas Previas a la Fabricación**

Se realizaron las calificaciones a los procedimientos de soldadura a utilizarse en el proyecto como la calificación del personal que realizo dichos procesos, de acuerdo al procedimiento, plan de puntos de inspección e instrucciones técnicas complementarias.

Los documentos para la ejecución de estas calificaciones fueron:

- Plan de puntos de inspección para las actividades previas a la soldadura.
- Instrucción técnica complementaria para la calificación de procedimientos y soldadores.

### ➤ **Durante los Procesos de Fabricación**

Se realizaron controles e inspecciones definidos en los procedimientos, planes de puntos de inspección e instrucciones técnicas complementarias correspondientes a cada proceso para la "Fabricación y Montaje del Puente Catara".

Los ensayos no destructivos como lo son el ensayo gammagrafía, el ensayo por ultrasonido y el ensayo de partículas magnéticas para la evaluación de los cordones de soldadura fueron evaluados por una empresa de servicio acreditada.

Los controles realizados en los procesos de fabricación y su documentación correspondiente fueron:

#### **Inspección del Habilitado**

- Procedimiento de inspección en el habilitado de elementos.
- Plan de puntos de inspección para el habilitado de elementos.

#### **Inspección Visual de Soldadura**

Se realizaron las inspecciones 100% de las soldaduras.

- Procedimiento de inspección en la soldadura de elementos.
- Plan de puntos de inspección para la soldadura de elementos.

- Instrucción técnica complementaria para la inspección visual de soldadura.

### **Ensayos no destructivos**

#### **Ensayos por gammagrafía**

Se realizaron dichos ensayos de acuerdo al código AASHTO/AWS D1.5: 2008 acápite 6.7 (Nondestructive Testing).

#### **Ensayo por Ultrasonido**

Se inspeccionaron por ultrasonido al 100% las juntas a tope sometidas a tracción (ala inferior de las vigas).

#### **Ensayo por Partículas Magnéticas**

Se realizaron dichos ensayos por muestreo a las juntas de penetración parcial y soldadura filete en elementos principales (vigas) según código AASHTO/ AWS D1.5: 2008 ACÁPITE 6.7 Nondestructive Testing.

La documentación a utilizarse será la siguiente:

- Procedimiento de inspección en la soldadura de elementos.
- Plan de puntos de inspección para la soldadura de elementos.
- Procedimientos de ensayos del proveedor de servicios de ensayos no destructivos.

#### **Inspección del Estructurado.**

- Procedimiento de inspección en el estructurado.
- Plan de puntos de inspección para el estructurado.

#### **Inspección del Limpieza Superficial (Arenado).**

- Procedimiento de Inspección en el arenado de elementos y estructuras.
- Plan de puntos de inspección para el arenado y pintado de elementos y estructuras.

#### **Inspección de la Protección Superficial (Pintado).**

- Procedimiento de inspección en el pintado de elementos y estructuras.
- Plan de puntos de inspección para el arenado y pintado de elementos y estructuras.

#### **4.6.6.3 Liberación de Estructuras para Despacho a Obra**

Antes del despacho a obra se realizó el control final en planta, que comprendió:

- La verificación documentaria de la realización de todos los controles e inspecciones definidos para cada estructura, así como de la conformidad de dichos controles e inspecciones.
- La inspección integral de los elementos a despachar.
- La Liberación de las estructuras para su despacho.

Los documentos para la ejecución de este control final fueron:

- Procedimiento de inspección para la liberación de elementos.
- Plan de Puntos de inspección para la liberación de elementos.

#### **4.6.6.4 Durante los Procesos en Obra**

El Control de calidad en los procesos correspondientes a obra, en el proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DE PUENTE CATARATA" estuvo a cargo de personal especializado y conto con documentación específica para dichos procesos, que se realizaron en el lugar de la obra.

Para el caso de ensayos especializados como los ensayos no destructivos a la soldadura que fueron requeridos, éstos fueron ejecutados por una empresa de servicios acreditada y evaluada por Inversiones Metálicas, en las cantidades que se determinaron en los planos de montaje aprobados.

A continuación, presentamos un extracto con lineamientos generales del manual de control de calidad en obra.

### **EN LOS PROCESOS DE MONTAJE**

Se realizarán las siguientes inspecciones:

Replanteo Topográfico Preliminar.

Recepción e Inspección.

Ubicación de Soldadura en Obra.

Inspección Visual de Soldadura en Obra.

Inspección de Ajuste de Pernos.

Verificación y Control dimensional.

Control Topográfico de Montaje.

Inspección General en Obra.

Control Final del Montaje.

Adicionalmente, sobre la soldadura en Obra se realizó:

Ultrasonido.

Gammagrafía.

#### **4.6.6.5 Control Final para entrega al Cliente**

Antes de la entrega al cliente, Inversiones Metálicas S.A.C. realizó un control final físico y documentario, para verificar el cumplimiento de todos los requisitos de nuestro Cliente.

El control final documentario incluye la presentación del dossier de calidad del proyecto al cliente.

#### **4.6.6.6 Registros de Control de Calidad**

Todos los procedimientos, instructivos, planes de puntos de inspección e instrucciones técnicas complementarias que forman parte del plan de aseguramiento de calidad para el proyecto de ingeniería y construcción del proyecto "Fabricación y Montaje del Puente Catarata", hacen referencia a los registros en los que se dejó evidencia de los controles realizados y de la conformidad con los requisitos establecidos por nuestro cliente.



Dichos registros indican las personas que autorizaron la liberación de los materiales, productos o equipos en sus diferentes procesos y en el control final.

Al finalizar el Proyecto, Inversiones Metálicas S.A.C. entrego un dossier de calidad conteniendo toda la documentación de calidad correspondiente a éste, incluidos los registros de calidad. Inversiones Metálicas S.A.C conservará un ejemplar del dossier de calidad por espacio de tres años, manteniéndolo identificado, protegido y fácilmente recuperable durante ese periodo.

#### **4.6.6.7 Control de Producto No Conforme**

Inversiones Metálicas S.A.C. tiene establecido la metodología para el control de los productos no conformes. Con esta metodología se aseguró de que el producto que no sea conforme con los requisitos, se identificara y controlara para prevenir su uso y entrega no intencional. Los controles, las responsabilidades y autoridades relacionadas con el tratamiento del producto no conforme estuvieron definidos.

Para el proyecto "Fabricación y Montaje del Puente Catarata", Inversiones Metálicas S.A.C. aplico este tratamiento a las estructuras del proyecto que no cumplieron con algún requisito establecido:

- Tomando acciones para eliminar la no conformidad detectada.
- Autorizando su uso, liberación o aceptación bajo concesión por una autoridad pertinente y la aprobación de nuestro cliente.
- Tomando acciones para impedir su uso o aplicación originalmente previsto.
- Se mantendrán registros de la naturaleza de las no conformidades y de cualquier acción tomada posteriormente, incluyendo las concesiones que se hayan obtenido.
- Cuando se corrija una no conformidad, deberá someterse a una nueva verificación para demostrar su conformidad con los requisitos.

- Los registros del tratamiento de no conformes serán realizados en el formato: Formato para Informe de No Conformidad.

#### **4.6.7 Fase VII: Manejo de Materiales**

Una vez terminada la fabricación de las estructuras metálicas del puente se procedió al transporte de todos los elementos que componen la superestructura desde el taller de fabricación hasta la obra.

##### **4.6.7.1 Codificación**

Se codificaron todas las partes de la estructura para facilitar su montaje, a través de punzonado manual; el código atribuido fue reflejado en el plano de marcas utilizado para su montaje.

Los segmentos de las vigas principales se codificaron de la siguiente manera: V1-T1 (viga 1 – tramo 1), V1-T2, V1-T3, V1-T4, V1-T5, V1-T6, V2-T1, V2-T2, V2-T3, V2-T4, V2-T5 y V2-T6.

Al final cada viga estuvo comprendida por seis segmentos, contando dos vigas principales se obtuvo 12 segmentos en total.

##### **4.6.7.2 Lista de Materiales**

Antes de transportar la estructura a la obra, se verificaron que todos sus elementos correspondan en dimensiones, peso, cantidad, identificación y descripción, a las descritas en el listado de materiales o comúnmente llamado parking list.

##### **4.6.7.3 Manejo de Carga**

La forma de ubicar los tramos de la estructura principal dentro de las unidades es de mucha ayuda en el momento de la descarga en obra, a fin de ubicarlas rápidamente en su posición de armado evitando así movimientos mayores y difíciles. Para el transporte de las estructuras se

prepararon 04 unidades de transporte llevando cada una 03 tramos de viga.

La ubicación de los segmentos en cada unidad fue la siguiente:

Unidad 1: V1-T2 (lado izquierdo), V1-T1 (centro) y V1-T3 (lado derecho).

Unidad 2: V1-T5 (lado izquierdo), V1-T4 (centro) y V1-T6 (lado derecho).

Unidad 3: V2-T2 (lado izquierdo), V2-T1 (centro) y V2-T3 (lado derecho).

Unidad 4: V2-T4 (lado izquierdo), V2-T4 (centro) y V2-T6 (lado derecho).

La descarga de las unidades de transporte se inició con la viga central, seguido por la viga del lado izquierdo y finalmente la viga del lado derecho.

#### **4.6.7.4 Transporte**

El medio de transporte utilizado fue el terrestre para lo cual se hicieron todos los arreglos de embalaje, así mismo se tomaron las precauciones para un adecuado embarque y desembarque, de tal manera de asegurar que los diferentes elementos de la estructura lleguen en buenas condiciones y completas a la obra. Antes del traslado de las estructuras, se adquirió una póliza de Seguro contra todo riesgo, por un monto equivalente al costo total de la estructura, vigentes por el periodo de traslado hasta la llegada a obra, incondicional y de ejecución automática, expedida por una Compañía de Seguros reconocida por la Superintendencia de Banca y seguros.

Para el transporte, se obtuvieron previamente las autorizaciones y permisos correspondientes, seleccionando los vehículos de tal manera que garanticen un traslado óptimo de las estructuras y con la anticipación necesaria a la ejecución de los trabajos, siendo su responsabilidad hacer un previo reconocimiento de los caminos a circular y de tomar las precauciones del caso. Los vehículos de transporte estarán libres de cuñas, apoyos forzados etc. que puedan someter a las estructuras a esfuerzos que deterioren todo o parte de algún elemento.

#### **4.6.7.5 Almacenamiento en Obra**

Para el almacenamiento de las estructuras en obra, se preparó un terreno designándose áreas de depósito, áreas de acarreo y maniobras. Los elementos menores se depositarán en recintos cerrados y seguros.

Los elementos de las estructuras de acero se almacenaron sobre tacos de madera de tal manera de que las estructuras no estén en contacto con el suelo las cuales se mantuvieron limpias y secas.

Las vigas principales fueron colocadas en forma recta con sus debidos soportes temporales (puntales).

Figura N° 94.- Descarga de elementos en obra y ubicación de vigas sobre tacos y puntales de soporte.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

#### **4.6.8 Fase VII: Empalme y Lanzamiento de las Vigas Metálicas**

A continuación mostramos el proceso de empalme y lanzamiento que se empleó para las vigas metálicas del puente catarata, indicando que el método usado no es el único, existiendo otros quedando a libre disposición el empleo de estos métodos al fabricante de acuerdo a la experiencia, recursos, materiales y equipos con los que cuente.

#### **4.6.8.1 Actividades Previas**

##### **➤ Plan de Empalme y Lanzamiento**

Antes del inicio de los trabajos en obra, se presentó a la supervisión para su aprobación un plan de empalme y lanzamiento donde se indicaron todas las actividades a ejecutarse una vez que llegaran las vigas a obra.

En este se detallaba los pasos para el empalme, secuencia de soldadura, tipos de ensayos no destructivos a emplearse, cálculos para el lanzamiento, es decir toda una secuencia pasos hasta llevar las vigas a su posición final. Este procedimiento desde luego fue aprobado por el supervisor de obra para su ejecución.

##### **➤ Trabajos Preliminares**

Antes de la llegada de las vigas metálicas a obra se prepara la zona donde las vigas van a ser recibidas de la unidad de transporte y donde se van a iniciar los trabajos de empalme. Dicha zona fue nivelada a la altura del parapeto del estribo y en un largo aproximada de 60 m.

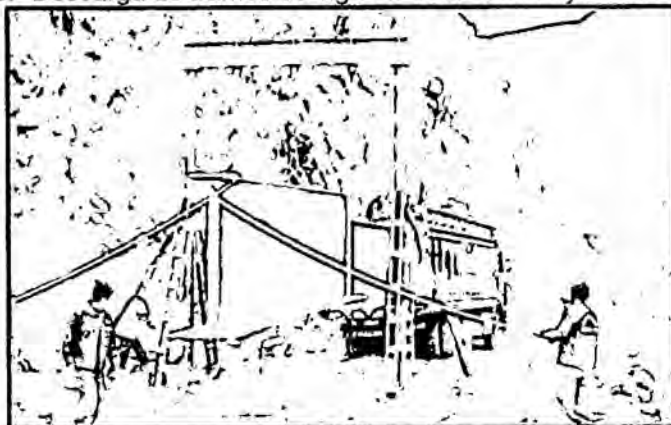
#### **4.6.8.2 Empalme**

La secuencia para las actividades de empalme de las vigas metálicas en obra fue la siguiente:

##### **I. Descarga de las estructuras en obra.**

La descarga de los elementos en obra fue realizada con la ayuda de un pórtico tal como se muestra (figura N° 95). Este sirvió de mucha ayuda que cada segmento de viga pesaba aproximadamente 4.5 ton. La descarga siguió una secuencia la cual fue prevista al momento en que los segmentos de viga fueron cargados en taller.

Figura N° 95.- Descarga de tramos de viga en obra con la ayuda de un pórtico.

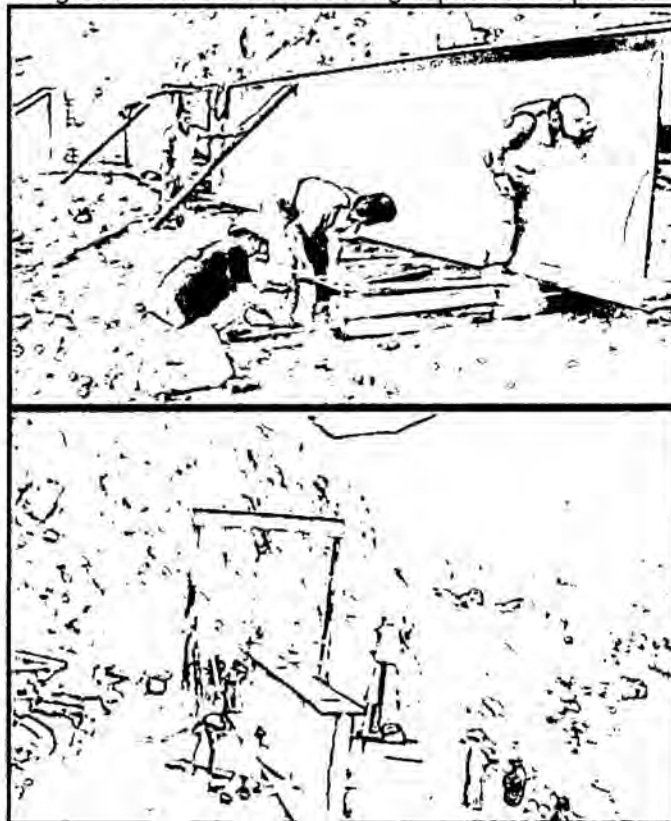


Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

## II. Ubicación de las vigas para su empalme.

Tras la descarga de los segmentos de vigas estas fueron alineadas una tras otra hasta conformar su longitud total. Para su nivelación estas se colocaron sobre tacos de madera permitiendo un mejor alineamiento (figura N° 96).

Figura N° 96.- Ubicación de vigas para su empalme.

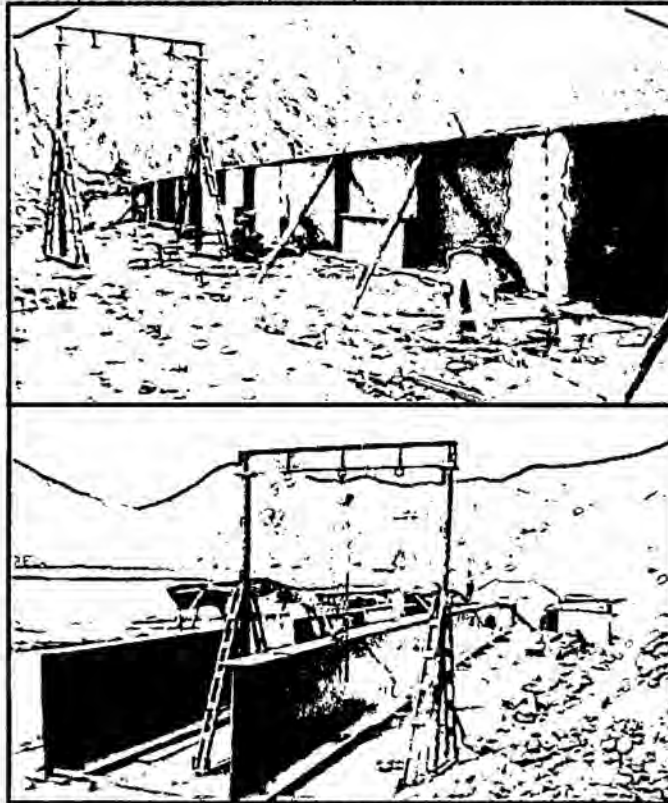


Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

### III. Trazo de la contraflecha y apuntalamiento.

Una vez ubicados todos los segmentos de viga se procedió a trazar la contraflecha a toda la viga, la que se realiza con la ayuda del teodolito. Dada la contraflecha y la separación en las juntas de empalme se procede a apuntalar cada junta (figura N° 97).

Figura N° 97.- Apuntalado de vigas después de la nivelación de contraflecha.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

### IV. Proceso de soldadura de los empalmes.

Terminado con el apuntalado se procedió con el proceso de soldadura para los empalmes. La secuencia de soldeo fue la siguiente:

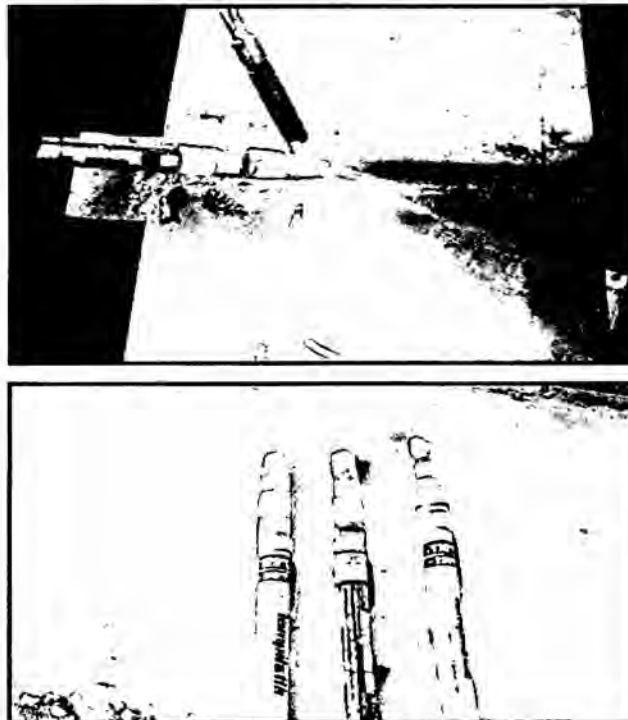
- 1° Ala superior en posición plana.
- 2° Ala Inferior en posición sobrecabeza.
- 3° Ala superior en posición sobrecabeza.
- 4° Ala inferior en posición plana.
- 5° Alma en posición vertical descendente.

Todas las soldaduras en obra fueron a través de proceso SMAW y con electrodos del tipo E-7018. Estos fueron adecuadamente almacenados y conservados en hornos y termos respectivamente.

Así mismo indicar que antes de iniciar el proceso de soldadura las juntas a soldar fueron precalentadas con la ayuda de calentadores hasta la temperatura de precalentamiento establecida según el WPS de obra: estas temperaturas fueron medidas con la ayuda de tizas térmicas en función a la temperatura establecida, cada tiza es para una temperatura específica.

Al igual como los trabajos de soldadura en taller se contó con un WPS para los trabajos en obra, en vista a que se emplearon juntas precalificadas y el proceso SMAW no se realizaron ensayos mecánicos por lo que solamente se generó el documento visado por un inspector certificado de soldadura.

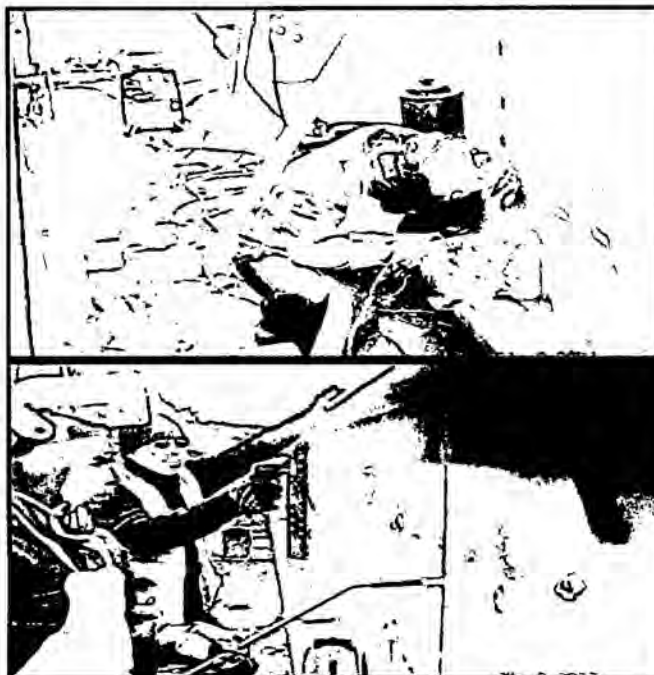
Figura N° 98.- Precalentamiento en una junta a soldar, para verificar la temperatura de precalentamiento se emplearon tizas térmicas.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

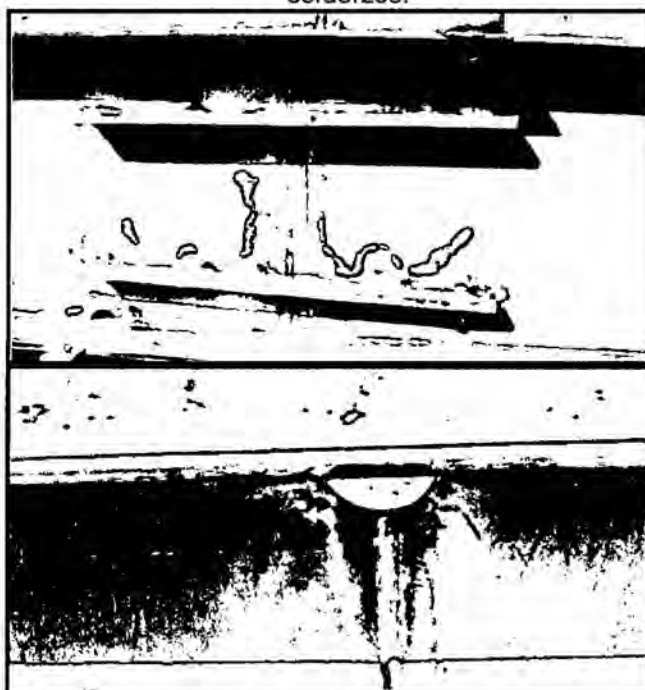


Figura N° 99.- Proceso de soldeo en una junta del ala inferior y proceso de precalentamiento en la junta del alma utilizando para su medición un pirómetro.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Figura N° 100.- Instalación de refuerzos a una junta del alma para evitar deformaciones extremas por el calor aplicado. A su derecha se muestra la aplicación de los agujeros de acceso a fin de evitar intersección en los cordones de soldadura y concentradores de esfuerzos.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A

## V. Instalación de diafragmas

Terminado con el empalme de las vigas se procedió con la instalación de los diafragmas según ubicación en los planos de fabricación; una vez ubicados y colocados se procedió a soldarse.

Figura N° 101.- Instalación y soldadura de diafragmas.



Fuente: INVERSIONES METAALICAS S.A.

## VI. Inspección visual a las uniones soldadas.

Acabado el proceso de soldadura primeramente se inspecciono visualmente todas las juntas con la ayuda de instrumentos de medición como el bridge cam gauge. Los parámetros de medición de las continuidades visuales fueron las indicadas en la norma AWS D1.5-2008.

Figura N° 102.- Verificación dimensional de la sobremonta en los cordones del ala y alma. Verificación del tamaño del cateto para las juntas de filete.

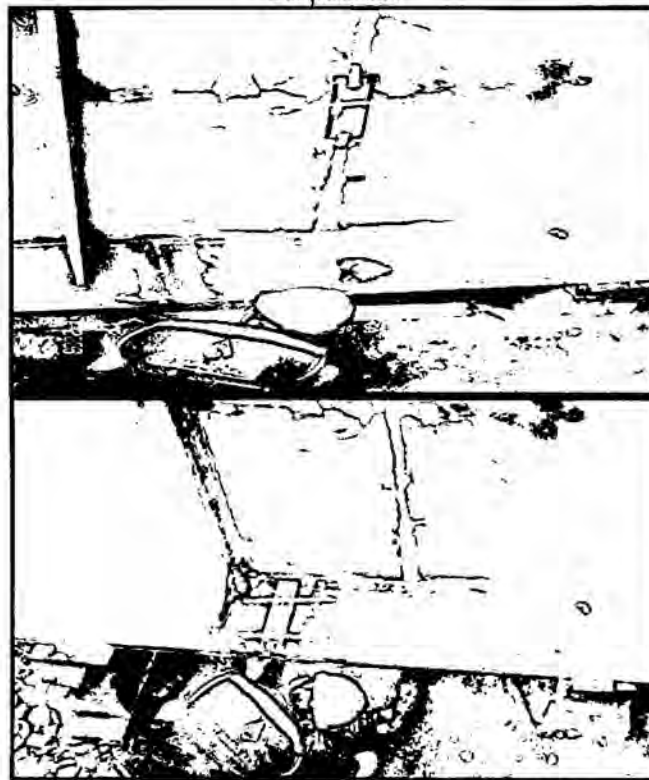


Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

## **VII. Inspección a las uniones soldadas con ensayos no destructivos.**

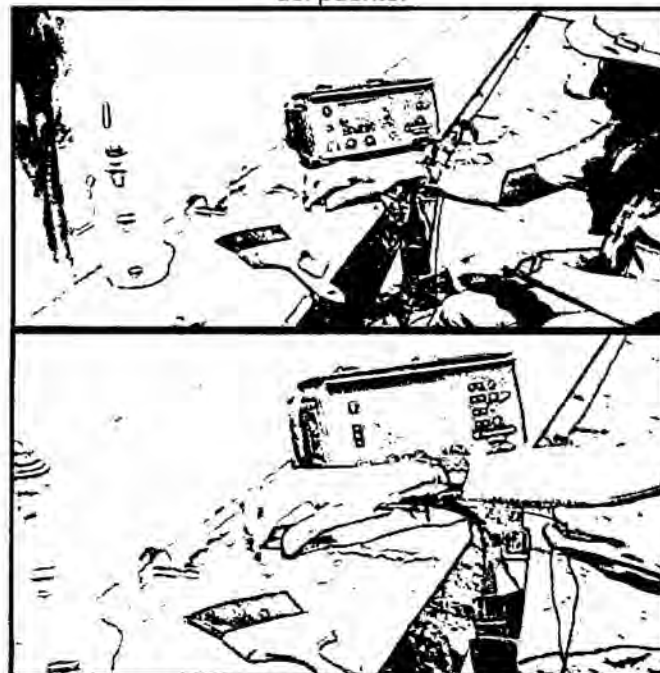
Completado los trabajos de soldadura y luego de la inspección visual se procedió a los ensayos no destructivos RX y UT.

Figura N° 103.- Aplicación de los ensayos radiográficos al alma y ala de una de las vigas del puente.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Figura N° 104.- Aplicación de los ensayos de ultrasonido al ala inferior a una de las vigas del puente.

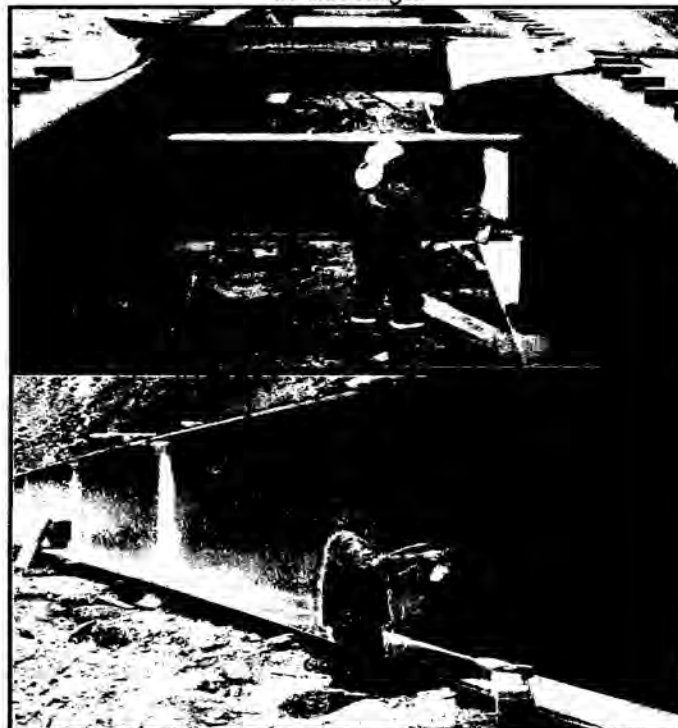


Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

### **VIII. Resanes de pintura**

Después de realizar los trabajos de soldadura se resanaron las zonas afectadas por la soldadura con la aplicación de pintura, la aplicación será empleando el mismo sistema de pintura empleado para toda las vigas en taller.

Figura N° 105.- Aplicación de pintura en las zonas dañadas por la soldadura y maniobras de descarga.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

#### **4.6.8.3 Lanzamiento**

El lanzamiento del puente Catarata fue realizado empleando unos de los métodos de lanzamiento para puentes como es el de cables como huellas, dicho procedimiento fue aprobado por la supervisión para su ejecución.

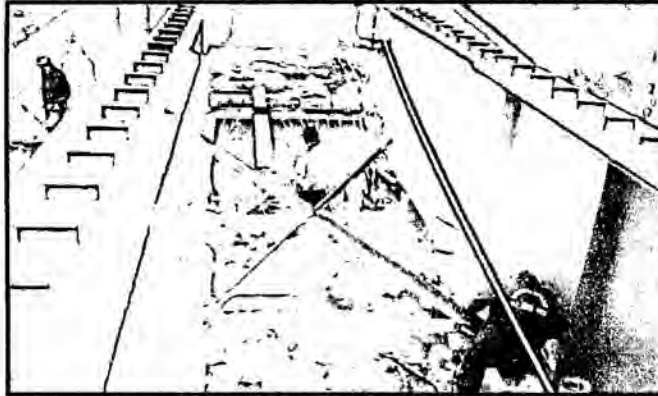
Este método se empleó en vista a la crecida del río la cual no permitió el uso de apoyos intermedio que era la primera opción de lanzamiento teniéndose que optar por el método de cables como huella.

A continuación detallamos cada etapa del proceso de lanzamiento:

## I. Arriostre de vigas

Al realizar el lanzamiento para las dos (02) vigas, previamente se tuvo que arriostar estas para que el avance de las dos sea uniforme por ambos cables.

Figura N° 106.- Arriostramiento entre vigas con la ayuda de perfiles angulares.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

## II. Instalación de rodillos de lanzamiento

Para facilitar las labores de traslación se colocó las vigas metálicas sobre rodillos de lanzamiento, rodillos de lanzamiento basculante al inicio de las vigas próximos al estribo y de rodillos fijos para para el resto de su longitud distanciados 6m aproximadamente entre sí.

Figura N° 107.- Instalación de los rodillos de lanzamiento.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

### III. Tendido de cables

Se procedió a tender los cables entre los estribos, estos fueron anclados en cámaras previamente preparadas. Adicionalmente y como ayuda se realizaron unas perforaciones en el estribo pasando los cables por estos.

El tendido de los cables es de estribo a estribo dejando tres líneas de cables para cada viga. El cable de acero empleado fue del tipo cobra 6x19 de 1" de diámetro con una resistencia mínima de rotura de 37.92 Ton.

Figura N° 108.- Trabajos de perforación en los estribos para instalación de los cables de lanzamiento.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Figura N° 109.- Tendido de cables entre los estribos.



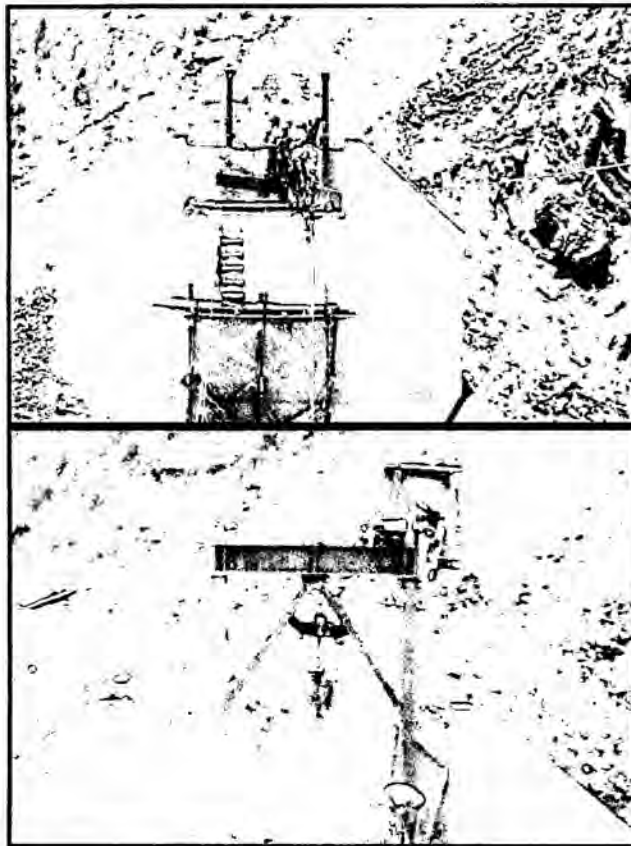
Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

#### **IV. Montaje del pórtico de llegada**

En el estribo de llegada se preparó y armó un pórtico constituido por vigas, el cual ayudara a izar a las vigas en el estribo de llegada.



Figura N° 110.- Montaje de pórtico en el estribo de llegada.

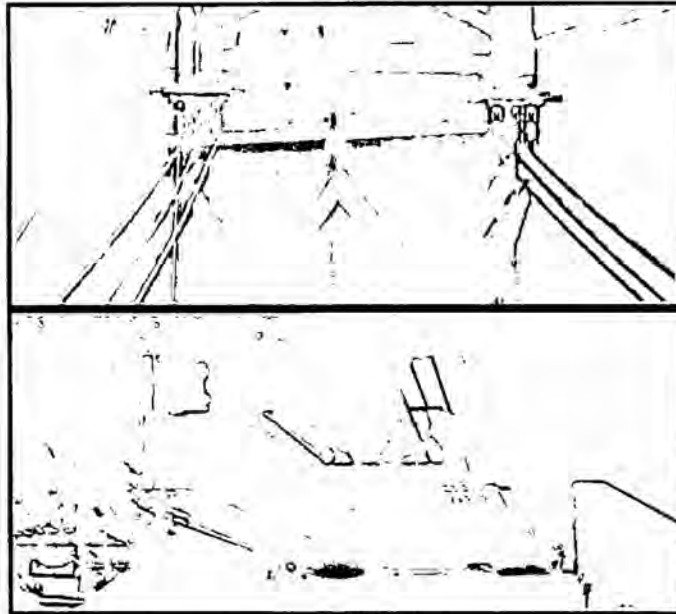


Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

## V. Proceso del lanzamiento

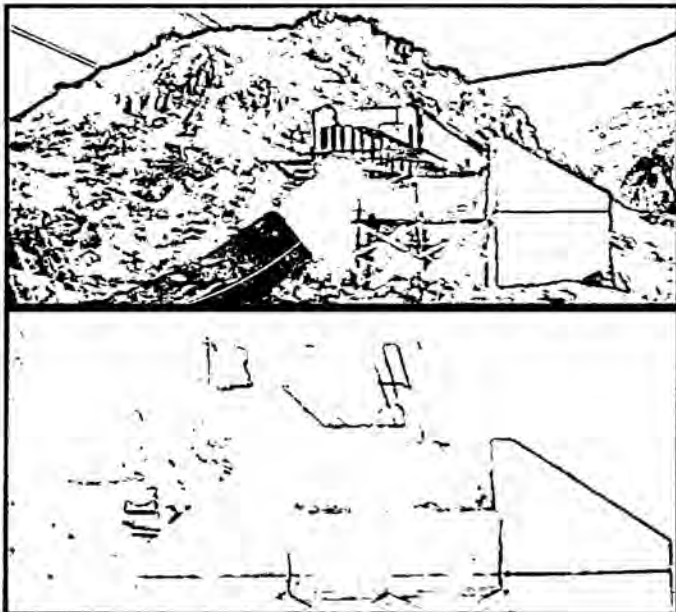
Tendido los cables y asegurados, como del montaje del pórtico de llegada, se dio inicio al lanzamiento de las vigas metálicas las cuales son trasladadas por los cables (03 huellas de cables por cada viga) con la ayuda de equipos de arrastre como los tirfor y de dispositivos de traslación colocados al inicio de cada una de las vigas lo cual permitieron su movimiento por los cables de acero. Primeramente se aproximan las vigas lo más próximo al estribo hasta que estas puedan descender lentamente sobre los cables de acero y seguir su recorrido hasta el otro estribo. Por seguridad se instala una retenida.

Figura N° 112.- Visualización de los dispositivos de traslación en la parte inferior de cada viga.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Figura N° 113.- Proceso de lanzamiento de las vigas metálicas del puente "Catarata".





Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

## **VI. Trabajos en el pórtico de llegada**

Siguiendo la secuencia de lanzamiento llegamos a un punto en que las vigas metálicas tienen que ser elevadas para poder seguir con las maniobras de lanzamiento, ya que los cables llegan un punto máximo de tensión. Este izaje se realiza con la ayuda de teclees fijados al pórtico de llegada.

Figura N° 113.- Trabajos en el estribo de llegada para izar la viga al nivel del estribo de llegada.

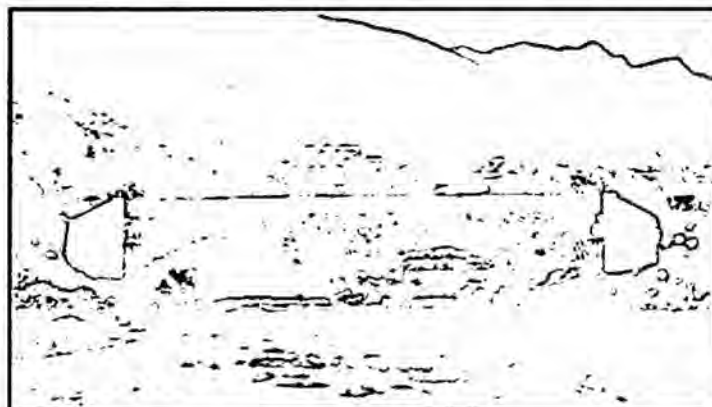


Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

## VII. Montaje final

Con la ayuda del pórtico de llegada logramos que las vigas se ubiquen en su posición final entre los estribos, terminando el trabajo de lanzamiento del puente.

Figura N° 114.- Instalación final de las vigas metálicas sobre sus estribos.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

## V. EVALUACION TECNICO – ECONOMICA

La elaboración de los costos estimados para la ejecución de un determinado proyecto son de gran importancia ya que de estos depende una buena conclusión y la rentabilidad deseada por la empresa, para lo cuál se debe de tener en consideración todos los parámetros que influyen en estas actividades de tal manera que estos sean los más reales y actuales posibles.

La evaluación de los costos en nuestro proyecto se realizó para siguientes etapas:

1. Para la fabricación en taller.
2. Para el transporte de las estructuras a obra.
3. Para el empalme y lanzamiento realizado en obra.

### 5.1 COSTOS DE FABRICACION

Dentro de los costos de fabricación se consideraron los siguientes:

- **Costos por materiales:** Planchas, perfiles y barras de acero.
- **Costo por consumibles:** Soldadura, oxígeno, gases, disco de desbaste, discos de corte, pintura, diluyente, escobillas, porta electrodos, pernos, arandelas, tuercas, brocas, líquidos penetrantes, guantes, mandiles, caretas, tiza de calderero, combustible, apoyos de neopreno, boquillas para corte, etc.
- **Costos por mano de obra:** Para habilitado de materiales, pre-armado de partes, armado de secciones de vigas, soldadura de vigas, limpieza mecánica de vigas, pintado igualmente para las barandas, junta de dilatación, diafragmas, apoyos, conectores.
- **Costos por servicios:** Por corte y doblado de planchas, arenado, control de calidad para soldadura (END – Ensayo No Destructivo).
- **Costo por energía eléctrica:** De acuerdo a la cantidad de equipos a utilizarse, potencia de cada uno y tiempo de funcionamiento.
- **Costo por equipos:** De acuerdo a la depreciación de cada empresa.

- **Costo por transporte:** Por movilización interna de los materiales y/o servicios.

En resumen el cuadro de costos quedara constituido por lo siguiente:

- **Costo de fabricación (CF):** Es la suma de los costos: Materiales, insumos, servicios, mano de obra, energía eléctrica, equipos, transporte interno.
- **Costo por gastos generales (GG):** Varía entre el 5 y el 10% dependiendo del tipo de empresa en estos están incluidos los gastos por carta fianza, letras, pagares, seguros y gastos administrativos.
- **Costo de producción (CP):** Es la suma de los costos de fabricación y los gastos generales (CF + GG).
- **Utilidad:** Varía de acuerdo a cada empresa, en nuestro caso la utilidad considerada para este proyecto fue del 25%.
- **Valor venta:** Será la suma de todos los costos CF+GG+CP+Utilidad.

El presupuesto por fabricación ascendió a US\$ 158,903.64 más IGV que dividiéndolo entre el peso neto de la estructura de 62.61 Ton, nos da un factor de venta de fabricación de 2.54 US\$/Kg + IGV (para estructuras similares el factor oscila entre 2.50 – 2.70 US\$/Kg. + IGV con un tipo de cambio de S/3.15 a la fecha de fabricación); la variación de este factor dependerá principalmente de la mano de obra, y tiempo de fabricación. Los costos de fabricación del puente "Catarata" se muestran en la tabla N° 20.

Respecto al presupuesto de fabricación podemos concluir los siguientes porcentajes por partida respecto a los costos de fabricación: materiales 60.03%, consumibles 17.16%, mano de obra 10.85%, servicios 2.24%, ensayos no destructivos 1.37% y otros (equipos-herramientas-energía eléctrica) 8.35%.

Tabla N° 20.- Hoja de presupuesto por la fabricacion del puente "Catarata".

**HOJA DE PRESUPUESTO**

Proyecto : Fabricacion Puente Catarata		Fecha : 01/11/2011					
Area : 705.00 m²		Peso Estructura : 672.80.00 kg					
		Area Pintura : 705.00 m²					
ITEM	CONCEPTO	UND.	CANT.	Peso (kg)	P. UNIT. (M\$)/kg	SUB TOTAL (M\$)	TOTAL (M\$)
<b>1.00</b>	<b>MATERIALES</b>						
1.01	PLANCHAS A-572 de 32x240x6000	und	3.00	17,356.56	0.92	11,855.64	
1.02	PLANCHAS A-572 de 32x240x6000	und	4.00	14,465.12	0.92	15,311.59	
1.03	PLANCHAS A-572 de 32x1800x6000	und	1.00	2,717.96	0.92	2,493.92	
1.04	PLANCHAS A-572 de 32x1500x6000	und	1.00	2,240.80	0.92	2,079.94	
1.05	PLANCHAS A-572 de 25x1500x6000	und	2.00	3,539.50	0.92	3,249.90	
1.06	PLANCHAS A-572 de 20x1500x6000	und	2.00	2,826.00	0.92	2,599.92	
1.07	PLANCHAS A-572 de 16x240x6000	und	18.00	32,535.60	0.92	29,951.08	
1.08	PLANCHAS A-572 de 12.5x1500x6000	und	1.00	863.13	0.92	812.45	
1.09	PLANCHAS A-572 de 9.5x1500x6000	und	4.00	2,684.20	0.92	2,469.92	
1.10	CANAL U DE 4" x 5" B (plan 6000mm)	und	8.00	398.00	0.93	376.10	
1.11	BARRA DE 1 1/2" x 6000 mm	und	1.00	53.20	1.00	53.20	
1.12	NEOPRENOS	und	4.00		350.00	1,400.00	
							<b>MATERIALES : 70,658.18</b>
<b>2.00</b>	<b>CONSUMIBLES</b>						
2.01	Soldadura	kg	1,125.00		3.25	4,200.00	
2.02	Orquero	m²	784.00		3.00	2,352.00	
2.03	Cola	Bolsa	8.00		55.00	440.00	
2.04	Disco	und	126.00		3.20	403.20	
2.05	Pintura						
	Esmalte (Zinc Inorg.) - 3 mils	lit	62.00		62.00	4,216.00	
	Diluyente	lit	25.00		15.00	375.00	
	Intermedio (Epoico) - 5 mils	lit	130.00		28.00	3,640.00	
	Diluyente	lit	40.00		13.00	520.00	
	Acabado (Poluretano) - 3 mils	lit	60.00		54.00	3,240.00	
	Diluyente	lit	15.00		13.00	195.00	
2.06	Otros	%				238.25	
							<b>CONSUMIBLES : 30,199.94</b>
<b>3.00</b>	<b>MANO DE OBRA</b>						
3.01	Oxibrick						
	15	25 dias	d-h	375.00	27.00	10,125.00	
3.02	Supervisor						
	1	25 dias	d-h	25.00	45.00	1,125.00	
3.03	Control Calidad						
	2	25 dias	d-h	50.00	30.50	1,525.00	
3.04							
		dias	d-h	0.00	0.00	0.00	
							<b>MANO DE OBRA : 12,775.00</b>
<b>4.00</b>	<b>SERVICIOS</b>						
4.01	Arendado	m²	705.00		3.50	2,467.50	
4.02	Polvado	und	8.00		20.00	160.00	
4.03	---	kg	0.00		0.00	0.00	
							<b>SERVICIOS : 2,627.50</b>
<b>5.00</b>	<b>ENSAYOS</b>						
5.01	Proteccion	pie	65.00		12.00	816.00	
5.01	Líquidos Penetrantes	ml	50.00		3.00	150.00	
5.02	Partículas Magnéticas	cm	30.00		10.00	300.00	
5.03	Ultrasonido	cm	1.00		350.00	350.00	
							<b>ENSAYOS : 1,616.00</b>
<b>6.00</b>	<b>EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y OTROS</b>						
6.01	Equipos					2,817.45	
6.02	Mantenimiento					998.15	
6.03	Energía Eléctrica					1,577.42	
6.04	Transporte Interno					1,565.25	
6.05	Otros (Incertidumbre)					2,130.50	
							<b>EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y OTROS : 9,091.77</b>

COSTO TOTAL FAB. (US\$)	117,706.40
I.G. + 41%	35%
VALOR VENTA (US\$)	158,903.64

max 100% FACTOR : 2.54

## **5.2 COSTOS DE TRANSPORTE**

Los costos de transporte dependen del peso de las estructuras, largo máximo, ubicación y accesibilidad de la obra. Así mismo para la elección de la unidad se debe visitar los accesos a obra a fin de determinar el tipo de unidad idónea para su traslado ya que al no hacerlo podríamos incurrir en gastos de transbordo.

El número de unidades de transporte dependerá del número de segmentos de viga y peso de cada una.

Para el traslado de las vigas del puente Catarata se empleo cuatro (04) unidades, cada una llevando tres (03) segmentos de vigas.

El costo en lo que es transporte se mide por tonelada, para nuestra movilización este costo fue de S/. 250 por tonelada.

## **5.3 COSTO DE EMPALME Y LANZAMIENTO**

Igual que en la fabricación en taller, se debe de considerar los mismos costos agregando los costos por trabajos preliminares que es la preparación de todo lo que se necesite para el empalme de viga y el lanzamiento. La evaluación de los costos mucho depende del tipo de lanzamiento que se va a realizar, decidido este se verá la necesidad de adquirir: cables, fabricación de pórticos, equipos de arrastre, etc.

El factor por empalme de vigas y lanzamiento para las vigas del puente "Catarata" fue de 0.44 US\$/Kg con un presupuesto total de US\$ 27,244.35 más IGV, el factor para estos trabajos varía entre 0.40 – 0.50 US\$/Kg).

La variación de este factor dependerá del grado de dificultad para su ejecución dependiendo principalmente de su ubicación geografía y condiciones climáticas. Por eso es importante hacer una visita técnica a la obra con el personal técnico encargado de estas labores y puedan analizar todas las ocurrencias para estos trabajos como los riesgos que puedan presentarse durante su ejecución, el detalle de estos costos se muestran en la tabla N° 21.



Tabla N° 21.- Hoja de presupuesto por el empalme y lanzamiento del puente "Catarata".

**HOJA DE PRESUPUESTO**

Proyecto : Montaje y Lanzamiento Puente Catarata	Fecha : 01/12/2007
Area : 735.00 m <sup>2</sup>	

Peso Estructura : 22.210.00 kg  
 Area Pictura : 735.00 m<sup>2</sup>

ITEM	CONCEPTO	UNID.	CANT.	Peso (Kg)	P. UNIT. (US\$/Kg)	SUB TOTAL (US\$)	TOTAL (US\$)
<b>1.00 CONSUMIBLES</b>							
1.01	Soldadura	kg	180.00		3.75	675.00	
1.02	Oxígeno	m <sup>3</sup>	20.00		3.00	180.00	
1.03	Gas	Bombas	1.00		55.00	55.00	
1.04	Disco	und.	20.00		3.20	192.00	
1.05	Finura						
	Sale (Zinc Negro) - 3 ml	Ch	1.00		22.00	22.00	
	Esmeralda	Ch	1.00		13.00	13.00	
	Esmeralda (Especial) - 2 ml	Ch	2.00		28.00	56.00	
	Esmeralda	Ch	1.00		13.00	13.00	
	Acabado (Poluxeranol) - 2 ml	Ch	2.00		54.00	108.00	
	Esmeralda	Ch	1.00		13.00	13.00	
1.05	Otros	%				437.50	
						<b>CONSUMIBLES :</b>	<b>1.204.50</b>
<b>2.00 MANO DE OBRA</b>							
2.01	Ingeniero Regente						
	1	15	das	dh	15.00	115.00	1.725.00
2.02	Maestro Montador						
	1	25	das	dh	25.00	110.00	2.750.00
2.03	Soldadores						
	2	15	das	dh	30.00	50.00	1.500.00
2.04	Ayudantes Armado						
	3	15	das	dh	45.00	15.00	675.00
2.05	Ayudantes Lanzamiento						
	5	15	das	dh	75.00	20.00	1.500.00
2.06	Obrajes Calidad						
	1	15	das	dh	15.00	40.00	600.00
						<b>MANO DE OBRA :</b>	<b>8.750.00</b>
<b>3.00 VIATICOS</b>							
3.01	Pasajes	Cabot	1.00		1.000.00	1.000.00	
3.02	Alimentación	Cabot	1.00		800.00	800.00	
3.03	Alimentación	Cabot	1.00		800.00	800.00	
						<b>SERVICIOS :</b>	<b>2.400.00</b>
<b>4.00 ENSAYOS</b>							
4.01	Podología	plc	58.00		15.00	870.00	
4.02	Medidas Penetración	ml	30.00		3.00	90.00	
4.03	Ferulitas magnéticas	ml	30.00		10.00	300.00	
4.04	Ultrasonido	Cd	1.00		350.00	350.00	
						<b>ENSAYOS :</b>	<b>1.610.00</b>
<b>5.00 EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y OTROS</b>							
5.01	Equipos					1.875.30	
5.02	Energía Eléctrica					929.15	
5.03	Transporte Material					626.10	
5.04	Otros (Insumos)					1.252.20	
						<b>EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y OTROS :</b>	<b>4.692.75</b>

<b>COSTO TOTAL FAB. (US\$) :</b>	<b>19.460.25</b>
<b>C.C. - UTIL. 40% :</b>	<b>7.784.10</b>
<b>VALOR VENTA (US\$) :</b>	<b>27.244.35</b>
	max IGV

FACTOR : 0.44 US\$/kg

#### **5.4 COSTOS DE CALIDAD**

Los costos de calidad son los costos relacionados a la preparación de procedimientos, inspecciones, ensayos no destructivos y del personal empleado para garantizar el cumplimiento de los parámetros de calidad establecidos en este proyecto en conjunto con el plan de calidad preparado.

De la experiencia en la fabricación de puentes se ha podido estimar que dichos costos están aproximadamente entre el 3% - 5% del costo total del proyecto, dependiendo de las exigencias se aproximara a cada uno de estos valores. En nuestro proyecto solo en fabricación los costos de calidad representaron aproximadamente el 3% del costo de fabricación haciendo un total de US\$ 3,531.19. Así mismo los costos de no calidad que reúnen los costos por reprocesó, productos no conformes y reparaciones representan aproximadamente entre el 5% - 15% del costo del proyecto. Haciendo una comparación solo en los costos de fabricación los costos de no calidad estarían entre US\$ 5,885.32 – US\$ 17,655.96.

#### **5.5 CRONOGRAMA DE EJECUCION**

El cronograma de ejecución de este proyecto se dividió en dos uno para la etapa de fabricación en taller y otro para las labores de montaje y lanzamiento en obra.

El tiempo de ejecución programado para todo el proyecto fue de 45 días de los cuales 25 estaban destinados a fabricación, 05 días para las labores de transporte de las estructuras de taller a obra y 15 días para las labores de montaje y lanzamiento en obra.

Al haber realizado la fabricación con este procedimiento y empleado en los trabajos de soldadura procedimientos mecanizados (SAW) y semiautomáticos (GMAW) el tiempo de fabricación fue optimizado de 25 días según la programación a 21 días.

Las labores de fabricación iniciaron formalmente el 06 de diciembre del 2007 concluyéndose el 26 de diciembre del 2007, el inicio del transporte

de las estructuras hacia obra no empezó inmediatamente en vista a las constantes lluvias presentes en la zona iniciándose recién el día 16 de enero del 2008, con los caminos accidentados por las lluvias las estructuras llegaron el día 20 de enero del 2008, los trabajos de empalme y lanzamiento se desarrollaron del 21 de enero del 2008 al 04 de febrero del 2008.

Las figuras N° 115 y N° 116 se muestran los cronogramas presentados al proyecto el primero correspondiente al de fabricación con sus actividades y el segundo al montaje y lanzamiento.

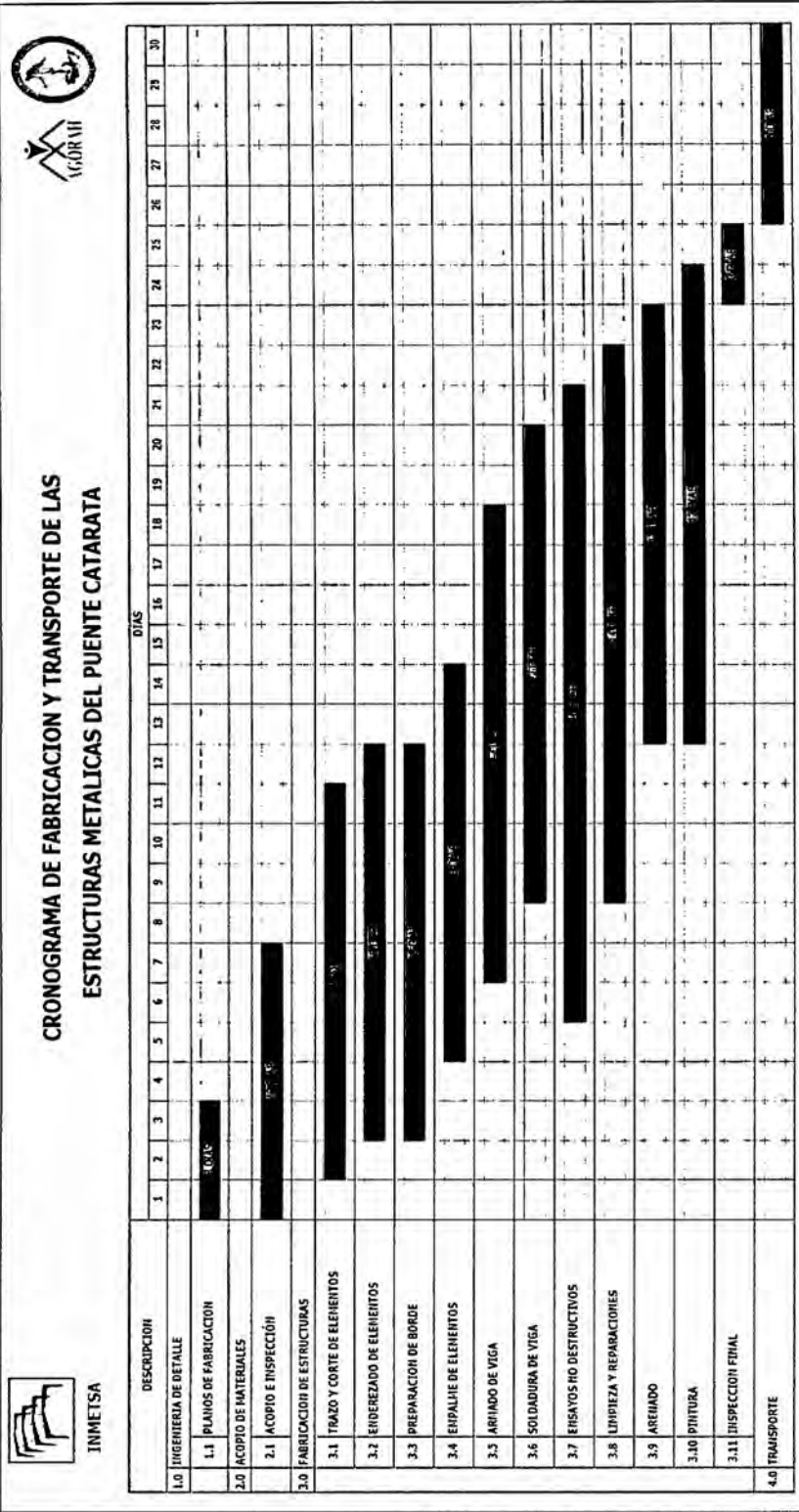
## **5.6 CURVA “S” DE COSTOS**

La curva “S” de costos presentadas a continuación ha sido preparada en base a los costos acumulados en el eje de las ordenadas y el tiempo en el eje de las abscisas para las etapas de fabricación como de montaje y lanzamiento.

La figura N° 117 preparada para los costos de fabricación muestran que los costos reales de fabricación estuvieron por debajo de los costos programados según el presupuesto del proyecto, en vista a los ahorros en la compra de materiales de un 7%, disminución del tiempo de fabricación de 25 a 21 días y la optimización en los procesos de soldadura, generando un ahorro en los costos de fabricación del 7.7% muy aparte de la utilidad establecida.

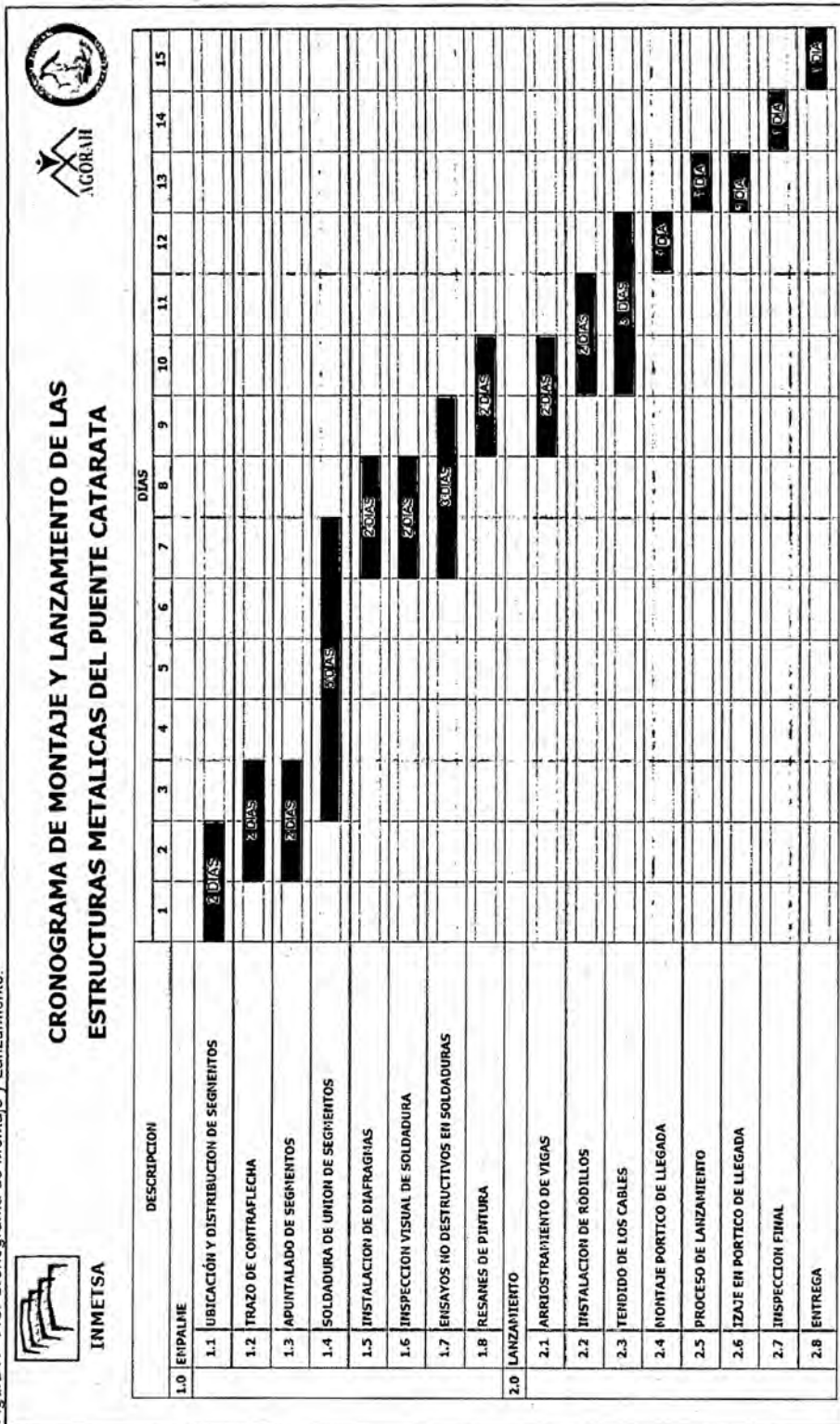
La figura N° 118 muestra la curva “S” para los costos de montaje y lanzamiento, estas curvas mantienen mucha similitud ya que en esta parte del proyecto como se mencionó en el capítulo IV se tuvo que cambiar el método de lanzamiento de apoyos intermedio al de cables como huellas originando que en los costos de montaje solo un ahorro de un 2% del presupuesto total.

Figura N° 115. Cronograma de fabricación y transporte.



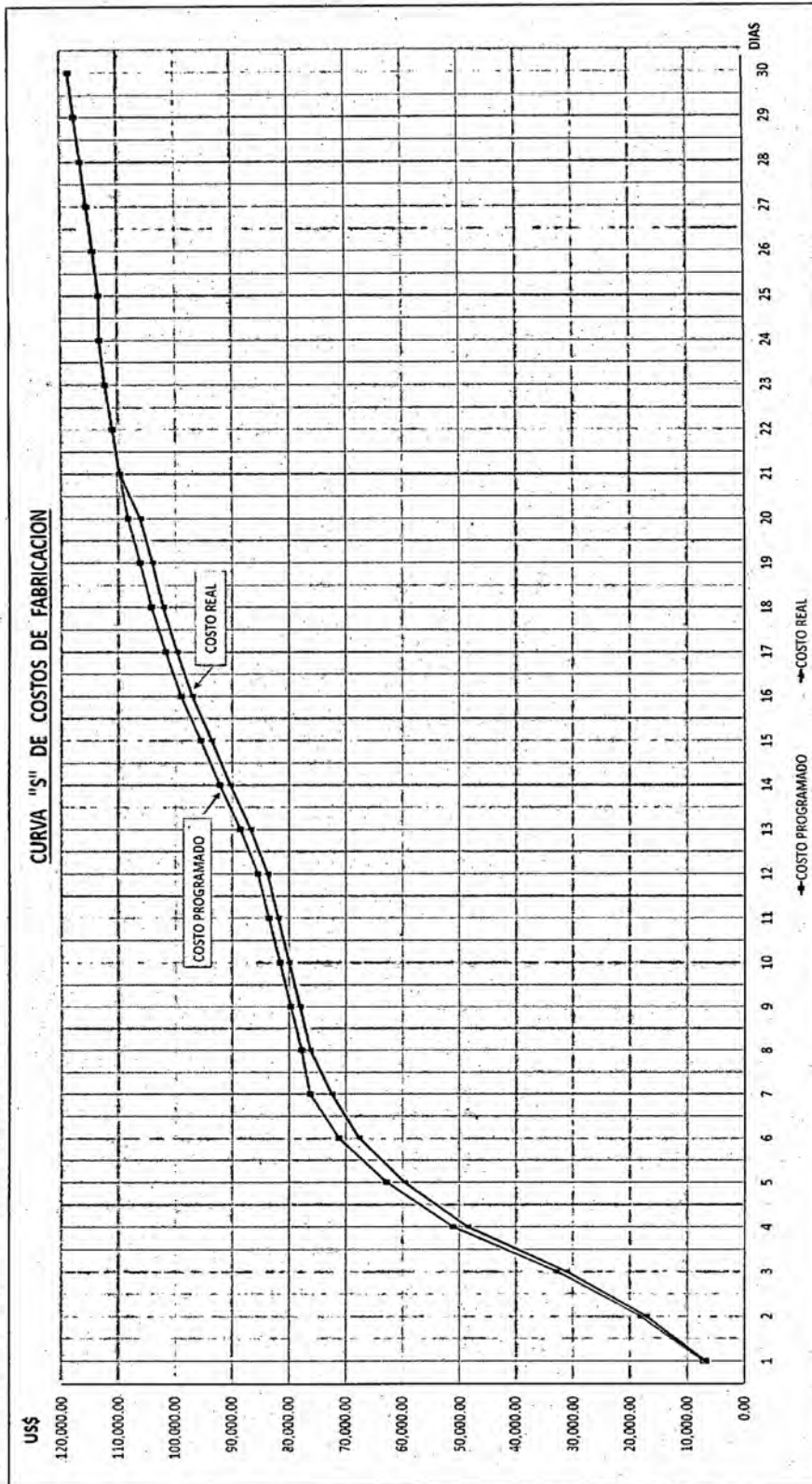
Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Figura N° 116. Cronograma de Montaje y Lanzamiento.



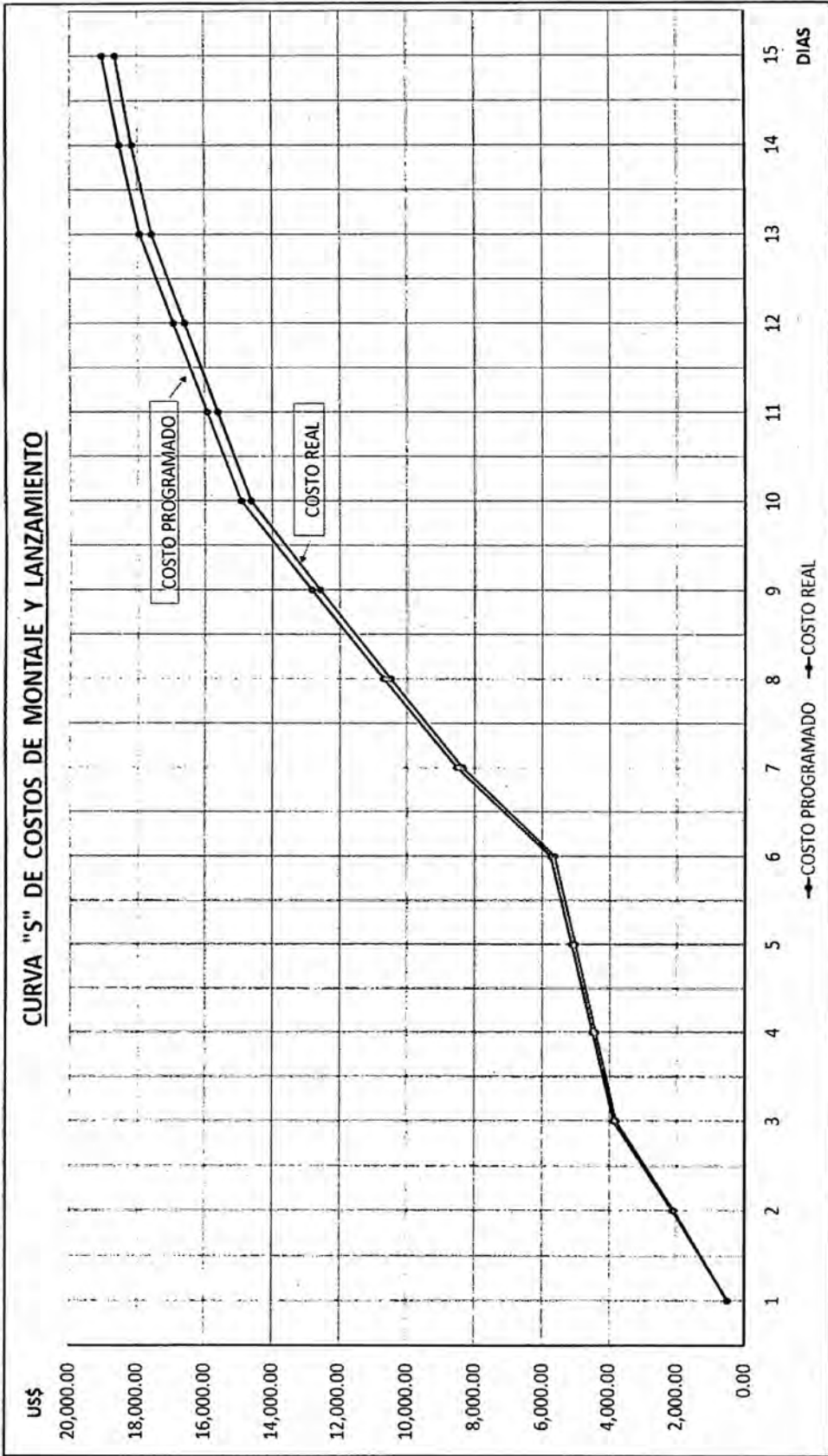
Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A

Figura N° 117.- Curva "S" de costos de fabricación del puente Catarata.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

Figura N° 118. Curva "S" de costos de montaje y lanzamiento del puente Catarata.



Fuente: INVERSIONES METALICAS S.A.

## **VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **6.1 CONCLUSIONES**

- a. La aplicación de procedimientos y normativas internacionales (ASTM, AWS D1.5 y SSPC) en los procesos de fabricación, empalme y lanzamiento para las estructuras metálicas del puente Catarata cumplieron el objetivo de reducir los costos y ofrecer una producción de calidad.
  
- b. La fabricación de las estructuras metálicas del puente Catarata con el empleo del procedimiento presentado con actividades de forma ordenada y secuencial permitieron maximizar los recursos de mano de obra y de reducir los costos en soldadura por la aplicación de procesos mecanizados y semiautomáticos favorecieron notablemente en los tiempos y costos. Esto significó al proyecto reducir los plazos de fabricación de 25 días a 21 días y los costos de soldadura en un 12%.
  
- c. La aplicación de normas internacionales en las diferentes etapas de fabricación, empalme y lanzamiento de las estructuras metálicas para puente como: ASTM para determinar los materiales y pruebas mecánicas, AWS D1.5 para los controles antes, durante y después del proceso de soldadura y SSPC para el tratamiento y protección superficial; garantizaron estructuras de calidad y durables.
  
- d. Para las estructuras metálicas del puente Catarata se empleó uno de los tres métodos más usados en puentes como es el método de lanzamiento de cables como huella, procedimiento que fue seleccionado en vista a la alta crecida del río Cuellumayo que no permitió la instalación y uso de apoyos intermedios que fue el método inicial seleccionado.



e. La aplicación y cumplimiento del plan de calidad en las etapas de fabricación, montaje y lanzamiento para las vigas metálicas del puente Catarata garantizaron estructuras de calidad y durables. Se calcula que el tiempo para el primer gran mantenimiento de este puente sea en un periodo no menor a 15 años así mismo no considerar planes o controles de calidad habrían ocasionado gastos aproximadamente entre 5%-15% del costo total del proyecto (costos de no calidad).

## **6.2 RECOMENDACIONES**

a. Se deben establecer procedimientos para todas las actividades de fabricación, montaje y lanzamiento en la construcción de puentes metálicos con el uso de normas, códigos y estándares garantizando la calidad y la durabilidad en estas estructuras.

b. El desarrollo de un procedimiento durante la etapa de fabricación de puentes metálicos como de cualquier otra estructura es muy fundamental ya que establece una serie de pasos, actividades y secuencia que nos ayudara a lograr los principales objetivos de producción como lo son el tiempo, costos, calidad y confiabilidad.

c. El empleo de códigos y normas para los diferentes tipos de estructuras metálicas como los puentes debe ser de uso obligatorio ya que garantizan con su aplicación estructuras de calidad y durables.

d. Para la selección del método de lanzamiento se deben realizar visitas a lugar de la obra, revisar los periodos de lluvias de la zona, revisar los accesos, revisar la zona de maniobra posible a pie de la obra ya que estas inspecciones definirán exactamente el método de lanzamiento a utilizar.

e. Todas las empresas metalmeccánica más aun la de puentes deben de contar con un plan de calidad para cada una de sus etapas garantizando la calidad del producto entregado como su durabilidad. Así mismo contar con un plan de calidad permite no incurrir en sobrecostos ya sea por los reprocesos, productos no conformes o reparaciones.

## VII. REFERENCIALES

AISC. **Manual of Steel Construction – Load & Resistance Factor Design**. Estados Unidos. 2da. Edición. 1994.

AISC. **Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges**. Estados Unidos. 2000.

AMERICAN WELDING SOCIETY (AWS). **AASHTO/AWS D1.5M/D1.5:2008 BRIDGE WELDING CODE**. Estados Unidos. 5ta. Edición. 2008.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO) - NATIONAL STEEL BRIDGE ALIANCE (NSBA). **S2.1 Steel Bridge Fabrication Guide Specifications**. Estados Unidos. 2da. Edición. 2002.

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS (AASHTO) - NATIONAL STEEL BRIDGE ALIANCE (NSBA). **S4.1 Steel Bridge Fabrication QC/QA Guide Specifications**. Estados Unidos. 2da. Edición. 2002.

ANDRADE ROMERO MANUEL / DOMINGUEZ TAMARA RAFAEL / PINZON OLARTE WILMER. **Aplicación del Código AASHTO/AWS D1.5 2002 en la Soldadura de Puente Vehiculares**. Tesis para Obtención de Título Profesional. Bucaramanga – Colombia. Universidad Industrial de Santander – Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencias de Materiales. 2004.

ANSI/AWS. **Standard A3.0: Standard Welding Terms and Definitions**. Estados Unidos. 1985.

ASTM. **Standard A6/A6M: Standard Specification for General Requirements for Rolled Structural Steel Bars, Plates Shapes and Sheet Piling**. Estados Unidos. 2001.

ASTM. **Standard A36/A36M: Standard Specification for Carbon Structural Steel**. Estados Unidos. 2005.

ASTM. **Standard A370: Standard Test Method and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products**. Estados Unidos. 2005.

ASTM. **Standard A572/A572M: Standard Specification for High-Strength Low-Alloy Columbium-Vanadium Structural Steel**. Estados Unidos. 2001.

ASTM. **Standard A4414: Standard Practice for Measurement of Wet Film Thickness by Notch Gages**. Estados Unidos. 2001.

ASTM. **Standard E165: Standard Test Method for Liquid Penetrant Examination**. Estados Unidos. 2002.

CAMPOVERDE NARANJO HARRY JEAN PIERRE. **Estudio de Fabricación de un Puente de Estructuras de Acero Soldadas utilizando el Código AWS D1.5**. Tesis para Obtención de Título Profesional. Guayaquil – Ecuador. Escuela Superior Politécnica del Litoral – Facultad de Ing. Mecánica. 2006.

CARDENAS PICHUCHO DANNY JAVIER. **Diseño y Fabricación de los Rodillos y Malacate para el Lanzamiento del Puente Metálico de Vigas Continuas sobre el Rio Cebadas de 60 metros de Longitud y Procedimiento de Lanzamiento**. Tesis para Obtención de Título Profesional. Sangolqui – Ecuador. Escuela Politécnica del Ejército – Facultad de Ing. Mecánica. 2012.

CARRERA CABRERA ELSA. **CURSO: DISEÑO DE PUENTES**. Disponible en: <http://es.slideshare.net/freddyramirofloresvega/diseo-de-puentes-44677649>. Consultado el 14 de febrero del 2015.

CLEMCO INDUSTRIES. **Guía para un Chorreado con Abrasivo Eficiente y Seguro (Blast Off)**. Estados Unidos. 2da Edición. 2002.

CLEMCO INDUSTRIES. **Prácticas de Seguridad para el Chorreado con Abrasivo**. Estados Unidos. 2da Edición. 2008.

CLEMCO. **Catálogo General Clemco 2012**. Disponible en: [www.clemco.es/wp-content/uploads/2012/09/Catalogo-General-Clemco-2012.pdf](http://www.clemco.es/wp-content/uploads/2012/09/Catalogo-General-Clemco-2012.pdf). Consultado el 10 de Diciembre 2013.

COATING. **Catálogo de Productos Industriales Sherwin Williams**. Chile. 2006.

COMBRI. **Parte II: Estado de Arte y Diseño Conceptual de Puentes Mixtos de Acero y Hormigón**. Unión Europea. Research Fun for Coal and Steel. 1era. Edición. 2008.

CPPQ. **Informativo Técnico Virtual N° 7 “Control de Calidad e Inspección en Recubrimientos” - 1era Parte**. Disponible en: [www2.cppq.com.pe/novedades.htm](http://www2.cppq.com.pe/novedades.htm). Consultado el 25 de Febrero del 2014.

CPPQ. **Informativo Técnico Virtual N° 8 “Control de Calidad e Inspección en Recubrimientos” - 2da Parte.** Disponible en: [www2.cppq.com.pe/novedades.htm](http://www2.cppq.com.pe/novedades.htm). Consultado el 25 de Febrero del 2014.

CPPQ. **Informativo Técnico Virtual N° 11 “Medición de Espesores de Película Seca”.** Disponible en: [www2.cppq.com.pe/novedades.htm](http://www2.cppq.com.pe/novedades.htm). Consultado el 25 de Febrero del 2014.

CUSCOFACE. **Q'eswachaka.** Disponible en: [http://cuscoface.com/otros\\_destinos/canas\\_puente\\_qeswachaca.php](http://cuscoface.com/otros_destinos/canas_puente_qeswachaca.php). Consultado el 07 de Mayo de 2014.

DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. **Guía para Inspección de Puentes.** Perú. 2006.

DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES DEL MINISTERIO DE TRANSPORTE Y COMUNICACIONES. **Manual de Diseño de Puentes.** Perú. 1ra. Edición. 2003.

DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES - MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. **Especificaciones Técnicas de Calidad de Pintura para Obras Viales.** Perú. 1998.

GALLEGOS, H. **Los puentes colgantes en el viejo Perú.** Revista Puente, pp. 10-15, 2012.

INDURA. **Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura.** Chile. Editorial Ograma. 2007.

JACK MC CORMAC. **Diseño de Estructuras de Acero Método LRFD.** México. Alfa Omega. 2da. Edición. 2002.

MARTINEZ JAENZ PEDRO –MANZANARES BERROTERAN JOSE. **Diseño de Puentes con la Norma AASHTO LRFD 2005 – Unidad I: Elementos de un Puente.** Disponible en: [http://es.slideshare.net/edwincruzasilla/monografia-puentes-aashto-lrfd-2007-ing-salvador-y-pedro?qid=19451c8c-a3e9-4392-8204-8483616ad20d&v=&b=&from\\_search=1](http://es.slideshare.net/edwincruzasilla/monografia-puentes-aashto-lrfd-2007-ing-salvador-y-pedro?qid=19451c8c-a3e9-4392-8204-8483616ad20d&v=&b=&from_search=1). Consultado el 24 de mayo del 2014.

MAZA SILUPU GUILLERMO. ***Fabricación, Montaje y Lanzamiento de Puentes Metálicos Tipo Alma Llena.*** Informe Profesional para Obtención de Título Profesional. Lima – Perú. Universidad Nacional de Ingeniería – Facultad de Ing. Mecánica. 2002.

MORALES LAGONES RAUL ANTONIO / SAPALLANAY VALENZUELA RUBEN. ***Diseño de Superestructuras Puente de Sección Compuesta.*** Peru. 1er. Edición. 2001.

OERLIKON. **Manual de Soldadura y Catálogo de Productos.** Lima. 7° Edición. 2005.

RESEARCH COUNCIL ON STRUCTURAL CONNECTIONS COMMITTEE A.1. ***Specification for Structural Joints Using.*** Estados Unidos. 2004.

SANTOS VILLACRES ALEJANDRO FRANCISCO. ***Desarrollo e Implementación de un Sistema de Control de Soldadura con el uso de Ensayos No Destructivos en Puentes Metálicos utilizando AWS D1.5.*** Tesis para Obtención de Título Profesional. Quito – Ecuador. Escuela Politécnica Nacional – Facultad de Ing. Mecánica. 2012.

SSPC. **Standard SSPC-SP-5: White Metal Blast Cleaning.** Estados Unidos. 2004.

SSPC. **Standard SSPC-VIS1: Guide and Reference Photographs for Steel Surfaces Prepared by Dry Abrasive Blast Cleaning.** Estados Unidos. 2004.

SSPC. **Standard SSPC-PA2: Paint Application Specification N°2 – Measurement of Dry Coating Thickness with Magnetic Gages.** Estados Unidos. 2004.

TORRES SOLANO JOSE ABRAHAM. ***Aplicación del Proceso de Soldadura en Puentes Vehiculares.*** Tesis para Obtención de Título Profesional. México Distrito Federal. Instituto Politécnico Nacional – Escuela Superior de Facultad de Ing. Mecánica. 2013.

## **VIII. ANEXOS**

# **ANEXO A**

## **Memoria de Cálculo del Puente Catarata**



INVERSIONES METALICAS Ing. José YECKLE MONTALVO	Diseño de Vigas de Acero Puente Catarata	Documento	BD06-2007.ETD02		
		Especialidad	Estructuras		
		Volumen N°	01	Revisión	0

## PUENTE CATARATA

### DISEÑO DE VIGAS DE ACERO

#### 1. INTRODUCCIÓN

Con la finalidad de proceder con la ejecución de la fabricación de las vigas de acero del Puente CATARATA se plantea, en este informe, fabricar las vigas del proyecto utilizando un proyecto alternativo con acero grado 345 (grado 50).

#### 2. OBJETIVOS

Determinar mediante el análisis y diseño estructural, la suficiencia de las alternativas de vigas metálicas para el puente, teniendo como base el esquema del proyecto original.

#### 3. ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL

##### 3.1 Descripción del Sistema Estructural

Para la viga analizada ( $L = 50.0$  m), se distinguen tres etapas de carga:

La primera etapa en donde actúan el peso propio de las vigas y el peso de la losa y que son resistidos únicamente por la viga metálica.

Una segunda etapa en donde las cargas muertas son resistidas por una sección compuesta parcial; y

Una tercera etapa de carga, en donde la carga viva es resistida por la sección compuesta total.

##### 3.2 Especificaciones de Diseño

En general se ha utilizado las siguientes especificaciones:

- Standard Specifications for Highway Bridges AASHTO 1,996.
- American Institute of Steel Construction: Manual of Steel Construction ASD 1,989.
- ANSI/AASHTO/AWS D1.5 Bridge Welding Code 1,996.

##### 3.3 Métodos de Cálculo

El cálculo de esfuerzos y deformaciones para los distintos estados de carga y sus combinaciones, se ha realizado utilizando modelos estructurales simples y con verificaciones manuales en hojas de calculo.

##### 3.4 Análisis de la Estructura Principal

INVERSIONES METALICAS Ing. José YECKLE MONTALVO	Diseño de Vigas de Acero Puente Catarata	Documento	BD06-2007.ETD02		
		Especialidad	Estructuras		
		Volumen N°	01	Revisión	0

Para el análisis y verificación de la estructura se han considerado las siguientes cargas:

#### Peso Propio:

Peso propio estructura metálica = 1.314 t/m/puente

Peso propio de la losa de concreto = 2.728 t/m/puente

- El peso de la estructura metálica se ha extraído de la viga propuesta y cuyas dimensiones se muestran en el plano que se adjunta.
- Para el peso de la losa se ha considerado un espesor de 0.215 m y un ancho transversal al eje del puente de 5.10 m.

#### Peso Muerto:

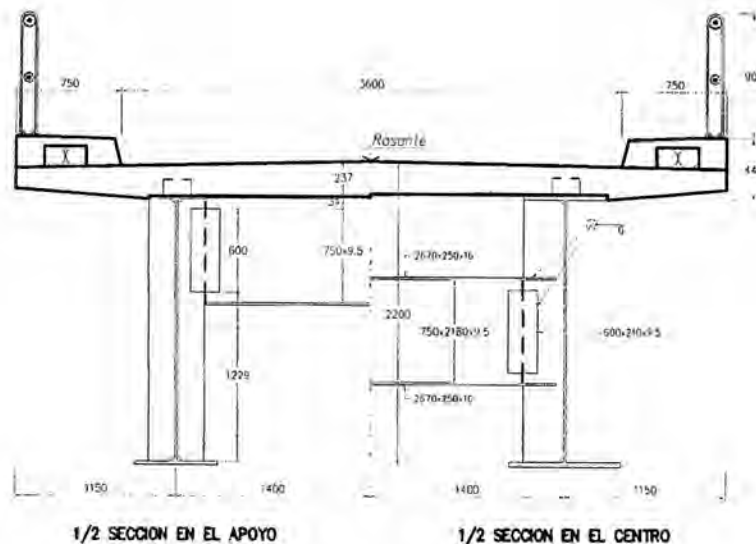
Peso de veredas y barandas = 0.610 t/m/puente

Peso del asfalto = 0.378 t/m/puente

\* Se han considerado dos veredas de 0.75 m de ancho y espesor medio de 0.14 m.

\* Se ha considerado un peso de barandas de 0.05 t/m por vereda.

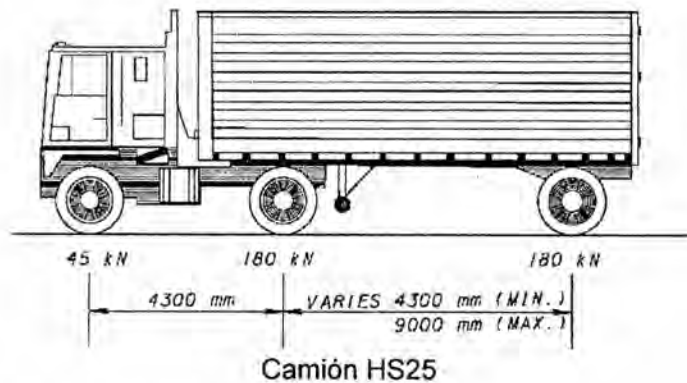
\* Para el asfalto se ha considerado un espesor de 0.05 m.



#### Carga Viva:

El análisis por carga viva ha sido realizado aplicando la carga HS25 (HS20 + 25%) incrementada, en cada viga, por los siguientes factores, según la Norma AASHTO, que se muestra en las figuras adjuntas:

INVERSIONES METALICAS Ing. José YECKLE MONTALVO	Diseño de Vigas de Acero Puente Catarata	Documento	BD06-2007.ETD02		
		Especialidad	Estructuras		
		Volumen N°	01	Revisión	0



$$FAD = 1 + 15.24/(38+Luz) = 1.173$$

Para el caso mas critico, Viga Interior:

$$FD = (2.6+0.8)/2.8 = 1.214$$

### 3.5 Diseño y Verificación

El diseño se ha realizado según las consideraciones de la Sección 10 Structural Steel de las especificaciones estándar de la AASHTO de acuerdo al método de resistencia en servicio (ASD). Se ha realizado el diseño y verificación para la viga interior y la viga exterior, resultando el caso más desfavorable el de la viga interior, por la forma como se han dispuesto las vigas en la sección transversal.

Para la sección crítica (centro de luz) de la viga interior se tiene lo siguiente:

Momentos

$$M_{pp} = 631.25 \text{ t-m /viga}$$

$$M_{cm} = 154.69 \text{ t-m /viga}$$

Para los momentos por carga viva estos se han obtenido siguiendo las recomendaciones de la norma AASHTO, el que se detalla a continuación:

$$M_L = 499.95 \text{ t-m /vía}$$

Para propósitos de la verificación se ha considerado utilizar el método simplificado por ser más conservador. Entonces el momento por Viga será:

$$M_{L+I} = F.D. / 2 \times M_L \times (1+FAD)$$

$$M_{L+I} = 356.05 \text{ t-m/viga}$$

Propiedades:

Viga Metálica

$$H_1 = 1.976 \text{ m}$$

$y_{b1}$ m	$A_1$ $m^2$	$I_{xx1}$ $m^4$	$S_{b1}$ $m^3$
0,868	0,0867	0,06072056	0,069916

INVERSIONES METALICAS Ing. José YECKLE MONTALVO	Diseño de Vigas de Acero Puente Catarata	Documento	BD06-2007.ETD02		
		Especialidad	Estructuras		
		Volumen N°	01	Revisión	0

Sección Compuesta/3n	$y_{b2}$ m	$A_2$ $m^2$	$I_{xx2}$ $m^4$	$S_{b2}$ $m^3$
$H_2 = 2.191$ m	1,087	0,10583	0,08386577	0,077130

Sección Compuesta/n	$y_{b3}$ m	$A_3$ $m^2$	$I_{xx3}$ $m^4$	$S_{b3}$ $m^3$
$H_3 = 2.191$ m	1,351	0,14395	0,11182515	0,082762

Verificación de Esfuerzos de Flexión:

$$\begin{aligned}
 f_{b1} &= 9,028.69 \text{ t/m}^2 \\
 f_{b2} &= 2,005.55 \\
 f_{b3} &= 4,302.09 \\
 f_b \text{ total} &= \frac{\quad}{\quad} 15,336.33 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Si se utiliza en toda la viga  
acero Grado 345  $F_y = 3,500$   
 $\text{Kg/cm}^2$

$$f_b \text{ total} \leq 0.55F_y = 19,250 \text{ t/m}^2$$

#### Verificación por Fatiga:

Según AASHTO se debe verificar que la diferencia entre el máximo esfuerzo menos el mínimo esfuerzo en la viga sea menor que los valores mostrados en la tabla 10.3.1.A correspondiente al ítem 10.3 REPETITIVE LOADING AND TOUGHNESS CONSIDERATIONS.

Si conservadoramente consideramos que el puente tendrá 2'000,000 Ciclos de carga, y siendo la estructura un viga de planchas soldadas sujeta a Flexión, le corresponde la categoría B y B' con esfuerzos resistentes de 18 Ksi (1,267  $\text{Kg/cm}^2$ ) y 14.5 Ksi (1,020.37  $\text{Kg/cm}^2$ ) respectivamente.

De acuerdo a los esfuerzos calculados se tiene lo siguiente:

$$\begin{aligned}
 f_b \text{ máx} &= 15,336.33 \text{ t/m}^2 \\
 f_b \text{ mín} &= 11,034.23 \\
 f_b \text{ fatiga} &= \frac{\quad}{\quad} 4,302.09 \text{ t/m}^2
 \end{aligned}$$

Cuyo valor es menor que los esfuerzos indicados en la norma, con lo que se cumplen satisfactoriamente los esfuerzos mínimos exigidos.

#### Verificación por Resistencia Última

Adicionalmente al diseño en servicio ASD, se ha previsto su verificación por el método LFD, en donde se tiene el siguiente valor de momento ultimo actuante:

$$M_{u,a} = 1793.164 \text{ t-m /vía}$$

INVERSIONES METALICAS Ing. José YECKLE MONTALVO	Diseño de Vigas de Acero Puente Catarata	Documento	BD06-2007.ETD02		
		Especialidad	Estructuras		
		Volumen N°	01	Revisión	0

Siendo la sección analizada del tipo compacta se tiene el siguiente Momento resistente:

$$M_{u,r} = 2,796.352 \quad \text{t-m /vía}$$

Por lo tanto el diseño de la sección es satisfactoria pues  $M_{u,r} > M_{u,a}$

#### Verificación por Corte en el Apoyo:

$$\begin{aligned} V_{pp} &= 50.50 \text{ t/viga} \\ V_{cm} &= 12.38 \\ V_{L+i} &= 31.72 \end{aligned}$$

Esfuerzos de Corte:

$$\begin{aligned} f_{v \text{ pp}} &= 1622.75 \text{ t/m}^2 \\ f_{v \text{ cm}} &= 397.65 \\ f_{v \text{ L+i}} &= \frac{1,019.20}{3,039.60} \end{aligned}$$

Si se utiliza en toda la viga  
acero Grado 345  $F_y = 3,500$   
 $\text{Kg/cm}^2$

$$f_b \text{ total} \leq 0.33F_y = 11,550 \text{ t/m}^2$$

Los rigidizadores transversales pueden ser omitidos solamente si se cumple la siguiente relación indicada en AASHTO 10.34.4

$$F_v = \frac{7.33 \times 10^7}{(D/t_w)^2} \leq \frac{F_y}{3}$$

y cuando los rigidizadores sean requeridos, el esfuerzo de corte no puede exceder del valor mostrado en la siguiente ecuación:

$$F_v = \frac{F_y}{3} \cdot \left[ C + \frac{0.87 \cdot (1-C)}{\sqrt{1+(d_o/D)^2}} \right]$$

Donde:

D: Peralte entre alas.

d<sub>o</sub>: Separación de rigidizadores intermedios.

Y C puede ser calculado como se indica a continuación:

$$C=1 \quad D/t_w < 6000 \times \sqrt{k}/\sqrt{F_y}$$

$$C=6000 \times \sqrt{k}/(\sqrt{F_y} \times (D/t_w)) \quad 6000 \times \sqrt{k}/\sqrt{F_y} < D/t_w < 7500 \times \sqrt{k}/\sqrt{F_y}$$

$$C=4.5 \times 10^7 \times k / (F_y \times (D/t_w)^2) \quad D/t_w > 7500 \times \sqrt{k}/\sqrt{F_y}$$

INVERSIONES METALICAS Ing. José YECKLE MONTALVO	Diseño de Vigas de Acero Puente Catarata	Documento	BD06-2007.ETD02		
		Especialidad	Estructuras		
		Volumen N°	01	Revisión	0

$$Y = k=5+5/(d_o/D)^2$$

Para la separación de los rigidizadores transversales mostrada en el proyecto original, se obtiene que el esfuerzo resistente al cortante para una viga es 10,881.708 t/m<sup>2</sup>, valor mayor que el esfuerzo actuante en la zona crítica. Aun así es necesario el uso de rigidizadores del alma en los primeros 3.0 m para cumplir con los requerimientos de la ecuación 10.34.4.1 de la especificaciones AASHTO.

### Diseño de los Conectores de Cortante

Para el cálculo de los conectores se ha tomado en cuenta el diseño por fatiga y por resistencia. El conector de corte considerado es un canal de 4"x5.4 lb/pie (100x8.04 Kg/m)

### 3.6 Deflexiones

El valor máximo de deflexión en el centro de Luz producto de la carga viva vehicular es de 23.75 mm. El reglamento AASHTO permite deflexiones por carga viva en puentes urbanos de L/1000 (50 mm) y en puentes carreteros de L/800 (62.5 mm)

## 4. CONCLUSIONES

- Vistos los resultados de la verificación esfuerzos por flexión de la sección en el centro de luz y esfuerzos de corte en la sección extrema de vigas, se puede concluir que la viga propuesta con acero A709 grado 345 ó A572 grado 50 cumple satisfactoriamente con los requerimientos indicados en la especificación AASHTO para las cargas establecidas en el proyecto.
- La fabricación y Supervisión y Control de esta debe ceñirse a las siguientes especificaciones:
  - Standard Specifications for Highway Bridges AASHTO 1,996 Division II Construction Secciones 11 y 13.
  - ANSI/AASHTO/AWS D1.5 Bridge Welding Code

# **ANEXO B**

## **Planos del Proyecto**

# **ANEXO C**

**Registro de Calificación de Procedimiento**

**Proceso GMAW**





# S.P.I. GAMMA SAC

Supervision Pruebas e Inspecciones Industriales

- \* ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS
- \* ANALISIS DE MATERIALES
- \* SUPERVISIONES
- \* ASESORIA EN SOLDADURA
- \* ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)  SÍ  
 PRECALIFICADO  CALIFICACION POR ENSAYOS   
 REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO (PQR)  SÍ

Identificación N°: 005/PQR/07  
 Revision: 0 Fecha: 07/01/2008 Por: Jaime Chavez Echevarria  
 Autorizado por: Guillermo Maza Fecha: 04/12/2007  
 Tipo: Manual  Semiautomatico  Automatico   
 Maquina

Nombre de la Compañía: Inversiones Metalicas SAC  
 Proceso de Soldadura: GMAW  
 PQR de Soporte N°: 005/PQR/07

### DISEÑO DE JUNTA UTILIZADO

Tipo: "V"  
 Simple  Doble   
 Backing: Si  No   
 Material del Backing: ASTM A572 Gr. 50  
 Abertura de Raiz: 8 mm Dimension de la cara de Raiz: ---  
 Angulo de Ranura: 60° Radio (J-U): ---  
 Jack Gouging: Si  No  Metodo: ESMERILADO

### METAL BASE

Material Spec.: ASTM A-372  
 Tipo o Grado: Gr. 50  
 Espesor: Ranura: 25mm Filete: ---  
 Diametro (Probeta): ---

### METAL DE APORTE

Especificacion AWS: A5.18  
 Clasificacion AWS: E70S6

### PROTECCION

Fuente: No Gas: Mezcla Ar + CO2  
 Composicion: 80% Ar + 20% CO2  
 Calificacion: --- Flujo: ---  
 Electrodo - Fuente: Gas: ---

### RECALENTAMIENTO

Temp. Pre calentamiento: Min 100 °C  
 Temp. Entre Pasadas: Min 100 °C Max 230 °C

### POSICION

Posicion de Bisel: 1G Filete: ---  
 Progresion Vertical: Ascendente  Descendente

### CARACTERISTICAS ELECTRICAS

Modo de Transferencia (GMAW): Corto Circuito   
 Globular:  Spray:  Pulsado:   
 Corriente: AC  DCEP  DCEN   
 Otros: ---  
 Electrodo Tungsteno (GTAW):  
 Tamaño: ---  
 Tipo: ---

### TECNICA

Cordon Rectilineo u oscilante: Recto  
 Multipases o Pase Simple (Por lado): Multipase  
 Numero de electrodos: 1  
 Separacion de electrodos: Longitudinal: ---  
 Lateral: ---  
 Angulo: ---

Tubo de contacto para trabajo a distancia: ---  
 Martilleo: ---  
 Limpieza entre pasadas: Escobilla y Disco Amoladora

### TRATAMIENTO TERMICO POST-SOLDADURA

Temperatura: ---  
 Tiempo: ---

### PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Pasada	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltaje (volt)	Velocidad de Avance (in-min)	DETALLE DE JUNTA
		Clasif.	Diam. (mm)	Tipo & Polaridad	Amperaje (Amp)			
1	GMAW	ER70S6	1.0	DCEP	220-230	27-28	10-15	
2	GMAW	ER70S6	1.0	DCEP	220-230	27-28	12-18	
3	GMAW	ER70S6	1.0	DCEP	220-230	27-28	11-17	
4	GMAW	ER70S6	1.0	DCEP	220-230	27-28	12-15	
5	GMAW	ER70S6	1.0	DCEP	220-230	27-28	10-14	
6	GMAW	ER70S6	1.0	DCEP	220-230	27-28	10-15	
7	GMAW	ER70S6	1.0	DCEP	220-230	27-28	12-15	
8	GMAW	ER70S6	1.0	DCEP	220-230	27-28	11-17	
9	GMAW	ER70S6	1.0	DCEP	220-230	27-28	12-18	
10	GMAW	ER70S6	1.0	DCEP	220-230	27-28	12-18	



# **ANEXO D**

**Registro de Calificación de Procedimiento**

**Proceso SAW**



- \* ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS
- \* ANALISIS DE MATERIALES
- \* SUPERVISIONES
- \* ASESORIA EN SOLDADURA
- \* ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS) Si   
 PRECALIFICADO  CALIFICACION POR ENSAYOS   
 REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO (PQR) Si

Identificacion N°: 006/PQR/07  
 Revision: 0 Fecha: 07/01/2008 Por: Jaime Chavez Echevarria  
 Autorizado por: Guillermo Maza Fecha: 04/12/2007  
 Tipo: Manual  Semiautomatico  Automatico   
 Mecanico

Nombre de la Compañia: Inversiones Metalicas SAC  
 Proceso de Soldadura: SAW  
 PQR de Soporte N°: 006/PQR/07

POSICION  
 Posicion de Bisel: --- Filete: 2F  
 Progresion Vertical: Ascendente  Descendente

DISEÑO DE JUNTA UTILIZADO  
 Tipo: " X "  
 Simple  Doble   
 Backing: Si  No   
 Material del Backing: ---  
 Abertura de Raiz: 0 mm Dimension de la cara de Raiz: 3 mm  
 Angulo de Ranura: 60° Radio (J-U): ---  
 Back Gouging: Si  No  Metodo: ESMERILADO

CARACTERISTICAS ELECTRICAS  
 Modo de Transferencia (GMAW): Corto Circuito   
 Globular:  Spray:  Pulsado:   
 Corriente: AC  DCEP  DCEN   
 Otros: ---

METAL BASE  
 Material Spec.: ASTM A-572  
 Tipo o Grado: Gr. 50  
 Espesor: --- Ranura: --- Filete: Según grafic.  
 Diametro (Probeta): ---

Electrodo Tungsteno (GTAW):  
 Tamaño: ---  
 Tipo: ---

METAL DE APORTE  
 Especificacion AWS: A5.17  
 Clasificacion AWS: EL-12

TECNICA  
 Cordón Rectilíneo u oscilante: Recto  
 Multipases o Pase Simple (Por lado): Multipase  
 Numero de electrodos: 1  
 Separacion de electrodos: Longitudinal: ---  
 Lateral: ---  
 Angulo: ---

PROTECCION  
 Fuente: Si Gas: ---  
 Composicion: Aglomerado Activo  
 Calificacion: F7A0-EL12 Flujo: POP 185  
 Electrodo - Fuente: Gas: ---

Tubo de contacto para trabajo a distancia: ---  
 Martilleo: ---  
 Limpieza entre pasadas: Escobilla y Disco Amoladora

PRECALENTAMIENTO  
 Temp. Pre calentamiento: Min 110 °C  
 Temp. Entre Pasadas: Min 110 °C Max 160 °C

TRATAMIENTO TERMICO POST-SOLDADURA  
 Temperatura: ---  
 Tiempo: ---

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

Pasada	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Voltaje (volt)	Velocidad de Avance (in-min)	DETALLE DE JUNTA	
		Clasif.	Diam. (mm)	Tipo & Polaridad	Amperaje (Amp)				
1° LADO									
1	SAW	EL-12	3.15	DCEP	430-490	26-28	16 - 20	<p>T1 = 16 mm T2 = 25-32 mm CATETO = 6 mm</p>	
2	SAW	EL-12	3.15	DCEP	460-520	28-32	16 - 20		
2° LADO									
1	SAW	EL-12	3.15	DCEP	460-520	28-32	16-20		



# **ANEXO E**

**Especificación de Procedimiento de  
Soldadura**

**Proceso GMAW**

ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

N° 012-M



SPI GAMMA S.A.C

PRECALIFICADO

CALIFICADO POR ENSAYOS

REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO (PQR)

IDENTIFICACION:

REVISION: 0

FECHA: 07/12/2007

Por: Ing. Felipe Yanez Coz

AUTORIZADO POR:

Inversiones metalicas SAC

FECHA: 07/12/2007

PROCESO DE SOLDADURA: GMAW TIPO: MANUAL  SEMI-AUTOMATICO  AUTOMATICO   
 PQR DE RESPALDO N°: 005/PQR/07 MECANICO

DISEÑO DE UNION UTILIZADA  
 TIPO: SIMPLE  DOBLE   
 BACKING: Sí  No   
 MATERIAL DEL BACKING: ASTM A572 Gr. 50  
 SEPARACION PLANCHAS: 8 mm TALON: 0 mm  
 ANGULO DE RANURA: 60°  
 BACKGOUING & BACWELD: Sí  No  METODO: CSM  
 DESIGNACION DE JUNTA: B-U2a-GF

POSICION DE PRUEBA  
 POSICION DE BISEL: 1G FILETE: ---  
 PROGRESION VERTICAL: ASCENDENTE   
 DESCENDENTE

TECNICA  
 Corda: Rectilíneo u oscilante: Recto  
 PASADAS (POR LADO): MULTIPLE  SIMPLE   
 NUMERO DE ELECTRODOS: 1  
 SEPARACION DE ELECTRODOS: LONGITUDINAL: ---  
 INCLINACION: ---  
 LIMPIEZA ENTRE PASADAS: Escobilla / Disco amoladora

METAL BASE  
 ESPECIFICACION: ASTM A572  
 TIPO O BRILLO: Gr. 50  
 ESPESOR: 25mm FILETE: ---

CARACTERISTICAS ELECTRICAS  
 MODO DE TRANSFERENCIA (GMAW): CORTO CIRCUITO:   
 GLOBULAR  SPRAY   
 CORRIENTE: AC  DCEP  DCEN  PULSAR   
 OTROS: ---  
 ELECTRODO TUNGSTENO (GTAW):  
 TAMAÑO: ---  
 TIPO: ---

METAL DE APORTE  
 ESPECIFICACION AWS: A5.18  
 CLASIFICACION AWS: E70S6

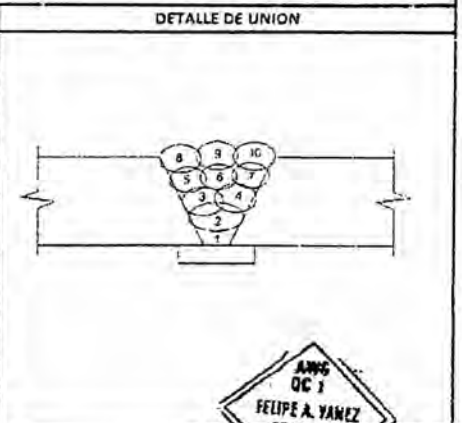
PROTECCION  
 FUNDENTE: No GAS: Argon + CO2  
 COMPOSICION: 80%Ar + 20% CO2  
 FLUJO: ---  
 CLASIFICACION ELECTRODO - FUNDENTE: ---

PRECALENTAMIENTO  
 TEMP. DE PRECALENTAMIENTO: MINIMA: 100 °C  
 TEMP. ENTRE PASADAS: MIN: 100°C MAX: 230°C

OBSERVACIONES:  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

TRATAMIENTO TERMICO POST-SOLDADURA  
 TEMPERATURA: ---  
 TIEMPO: ---

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA							
ASADA	PROCESO	METAL DE APORTE		COPRIENTE TIPO/POL	AMPERAJE (A) / VEL. ALIM. DEL ALAMBRE (in/min)	VOLTAJE (Volt)	AVANCE (in/min)
		CLASIF.	DIAM. (mm)				
1	GMAW	ER70S6	1.0	DCEP	220-230	27-28	10-15
2	GMAW	ER70S6	1.0	DCEP	220-230	27-28	12-18
3	GMAW	ER70S6	1.0	DCEP	220-230	27-28	11-17
4	GMAW	ER70S6	1.0	DCEP	220-230	27-28	12-15
5	GMAW	ER70S6	1.0	DCEP	220-230	27-28	10-14
6	GMAW	ER70S6	1.0	DCEP	220-230	27-28	10-15
7	GMAW	ER70S6	1.0	DCEP	220-230	27-28	12-15
8	GMAW	ER70S6	1.0	DCEP	220-230	27-28	11-17
9	GMAW	ER70S6	1.0	DCEP	220-230	27-28	12-18
10	GMAW	ER70S6	1.0	DCEP	220-230	27-28	12-18



AUTORIZADO POR: Inversiones Metalicas S.A.C REALIZADO POR: Felipe Yanez Coz

AMS  
 QC 1  
 FELIPE A. YANEZ  
 9909491  
 CWI

# **ANEXO F**

**Especificación de Procedimiento de  
Soldadura**

**Proceso SAW**



ESPECIFICACION DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS)

N° 013-M



SPI GAMMA S.A.C

PRECALIFICADO

CALIFICADO POR ENSAYOS

REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO (PQR)

IDENTIFICACION:

REVISION: 0

FECHA: 07/12/2007

Por: Ing. Felipe Yanez Coz

AUTORIZADO POR:

Inversiones metalicas SAC

FECHA: 07/12/2007

PROCESO DE SOLDADURA: SAW TIPO: MANUAL  SEMI-AUTOMATICO  AUTOMATICO

PQR DE RESPALDO N°: 006/PQR/07 MECANICO

DISEÑO DE UNION UTILIZADA

TIPO: SIMPLE  DOBLE

BACKING: SI  No

MATERIAL DEL BACKING: ---

SEPARACION PLANCHAS: 0 mm TALON: 3 mm

ANGULO DE RANURA: 60°

BACKGOUGING & BACWELD: SI  No  METODO: ESM

DESIGNACION DE JUNTA: TC-US-S

POSICION DE PRUEBA

POSICION DE BISEL: -- FILETE: 2F

PROGRESION VERTICAL: ASCENDENTE   
DESCENDENTE

TECNICA

Cordon Rectileneo u oscilante: Recto

PASADAS (POR LADO): MULTIPLE  SIMPLE

NUMERO DE ELECTRODOS: 1

SEPARACION DE ELECTRODOS: LONGITUDINAL: ---

INCLINACION: ---

LIMPIEZA ENTRE PASADAS: Escabilla / Disco amoladora

CARACTERISTICAS ELECTRICAS

MODO DE TRANSFERENCIA (GMAW): CORTO CIRCUITO:

GLOBULAR  SPRAY

CORRIENTE: AC  DCEP  DCEN  PULSAR

OTROS: ---

ELECTRODO TUNGSTENO (GTAW):

TAMAÑO: ---

TIPO: ---

PRECALENTAMIENTO

TEMP. DE PRECALENTAMIENTO: MINIMA: 110 °C

TEMP. ENTRE PASADAS: MIN: 110°C MAX: 150°C

TRATAMIENTO TERMICO POST-SOLDADURA

TEMPERATURA: ---

TIEMPO: ---

METAL BASE

ESPECIFICACION: ASTM A572

TIPO O GRADO: Gr. 50

ESPESOR: --- FILETE: Según grafico

METAL DE APORTE

ESPECIFICACION AWS: A5.17

CLASIFICACION AWS: EL-12

PROTECCION

FUNDENTE: Si GAS: ---

COMPOSICION: Aglom. Activo

FLUJO: POP 185

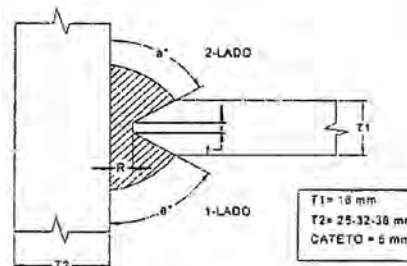
CLASIFICACION ELECTRODO - FUNDENTE: F7AQ-EL12

OBSERVACIONES:

PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

PASADA	PROCESO	METAL DE APORTE		CORRIENTE TIPO/POL	AMPERAJE (A)/VEL. ALIM. DEL ALAMBRE (in/min)	VOLTAJE (Volt)	AVANCE (in/min)
		CLASIF.	DIAM.(mm)				
1° LADO							
1	SAW	EL-12	3.15	DCEP	430-490	2E-28	16-20
2	SAW	EL-12	3.15	DCEP	460-520	28-32	16-20
2° LADO							
1	SAW	EL-12	3.15	DCEP	460-520	28-32	16-20

DETALLE DE UNION



T1 = 10 mm  
T2 = 25-32-38 mm  
CARETO = 5 mm

AUTORIZADO POR: Inversiones Metalicas S.A.C. REALIZADO POR: Felipe Yanez Coz

AWC  
QC 1  
FELIPE A. YANEZ  
99098491  
CWI

# **ANEXO G**

## **Calificación de Soldadores**



# S. P. I. GAMMA SAC

## Supervisión Pruebas e Inspecciones Industriales

- \* ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS
- \* ANALISIS DE MATERIALES
- \* SUPERVISIONES
- \* ASESORIA EN SOLDADURA
- \* ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

### EXPEDIENTE DE CALIFICACION Y OPERACION DEL SOLDADOR (WPQ) - N° 011-IM/07

Nombre del Soldador: Carlos Soto Panduro Identificación N° GSP-IM

Tipo de Soldadura:  Manual  Semi-automática  Automática

Procedimiento: 1G

Rango de Calificación (Filete):

<input checked="" type="checkbox"/> Vertical Asc. (3G)	<input type="checkbox"/> Sobrecabeza (4G)	<input type="checkbox"/> Plano (1F)	<input checked="" type="checkbox"/> Vertical (3F)	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/> Vertical Des. (3G)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/> Horizontal (2F)	<input checked="" type="checkbox"/> Sobrecabeza (4F)	<input type="checkbox"/>

Formalidad con WPS N°: WPS/012/IM

Calificación de Material: ASTM A-572 Gr.50

Espesor que Califica: 3 mm - Ilimitado

### METAL DE APORTE

Clasificación N°: A 5.18 Clasificación: E70S6 F N°: F6

Usado Backing: Si, Backing Metalico

Tipo del Metal de Relleno y Nombre Comercial: Carbofil 1.0 mm Flujo para SAW o Gas para GMAW o FCAW-G: Argon 80% - CO2 20%

### INSPECCION VISUAL (6.26.1)

Deficiencia: Aceptable Socavacion Ninguna Porosidad tubular Ninguna

### RESULTADO DE LA PRUEBA DE DOBLEZ

Tipo	Resultado	Tipo	Resultado
-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----

Realizada Por: \_\_\_\_\_ Prueba de Laboratorio N°: \_\_\_\_\_

Por: \_\_\_\_\_ Fecha de Prueba: \_\_\_\_\_

### RESULTADO DE PRUEBA DE MATERIAL

Deficiencia: \_\_\_\_\_ Tamaño de Filete: \_\_\_\_\_

Deficiencia de fractura de Penetración de la Raiz: \_\_\_\_\_ Macrotech: \_\_\_\_\_

Realizada Por: \_\_\_\_\_ Prueba de Laboratorio N°: \_\_\_\_\_

Por: \_\_\_\_\_ Fecha de Prueba: \_\_\_\_\_

### RESULTADO DE PRUEBA RADIOGRAFICA

Identificación de Film	Resultado	Observaciones	Identificación de Film	Resultado	Observaciones
P-1/4G-P1	Aceptable	Ninguna	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----	-----	-----

Realizada Por: Jaime Chavez Echevarria Reporte N°: 001/WPQ-PI-IM/07

Fecha: 09/01/2008 Firma: \_\_\_\_\_

Este documento, certificamos que los datos en el siguiente documento son correctas y que la soldadura fue preparada y probada en conformidad con el código AASHTO/AWS D 1.5M/D1.5 2008 Bridge Welding Code.

**SPI GAMMA S.A.U.**  
**JAIME CHAVEZ E.**  
 GERENTE GENERAL

Fabricante o Contratista: Inversiones Metalicas SA

Autorizado Por: Guillermo Maza

Fecha: 10/12/2007



# S. P. I. GAMMA SAC

Supervisión Pruebas e Inspecciones  
Industriales

- \* ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS
- \* ANALISIS DE MATERIALES
- \* SUPERVISIONES
- \* ASESORIA EN SOLDADURA
- \* ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

## EXPEDIENTE DE CALIFICACION Y OPERACION DEL SOLDADOR (WPQ) – N° 012-IM/07

Nombre del Soldador: Javier Huaroto Yaguillo Identificación N° JHLL-IM  
Proceso de Soldadura:  Manual  Semi-automática  GMAW  Automática  
Posición: 1G  
Rango de Calificación (Canal):  Vertical Asc. (3G)  Sobrecabeza (4G)  
Horizontal (2G)  Vertical Des. (3G)  Plano (1F)  Vertical (3F)  
Horizontal (2F)  Sobrecabeza (4F)  
(Plano, horizontal, sobrecabeza, vertical ascendente, vertical descendente)  
En conformidad con WPS N°: WPS/012/IM  
Especificación de Material: ASTM A-572 Gr.50  
Rango de espesor que Califica: 3 mm – Ilimitado

### METAL DE APORTE

Especificación N°: A 5.18 Clasificación: E70S6 F N°: F6  
Si es Usado Backing: Si, Backing Metalico  
Diámetro del Metal de Relleno y Nombre Comercial: 1.0 mm Carbofil  
Flujo para SAW o Gas para GMAW o FCAW-G: Argon 80% - CO2 20%

### INSPECCIÓN VISUAL (6.26.1)

Deficiencia: Aceptable Socavación: Ninguna Porosidad tubular: Ninguna

### RESULTADO DE LA PRUEBA DE DOBLEZ

Tipo	Resultado	Tipo	Resultado
-----	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----

Prueba Conducida Por: ----- Prueba de Laboratorio N°: -----  
Por: ----- Fecha de Prueba: -----

### RESULTADO DE PRUEBA DE MATERIAL

Deficiencia: ----- Tamaño de Filete: -----  
Prueba de fractura de Penetración de la Raiz: ----- Macrotech: -----

Prueba Conducida Por: ----- Prueba de Laboratorio N°: -----  
Por: ----- Fecha de Prueba: -----

### RESULTADO DE PRUEBA RADIOGRAFICA

Identificación de Film	Resultado	Observaciones	Identificación de Film	Resultado	Observaciones
<u>JHLL-1/1G-P1</u>	<u>Aceptable</u>	<u>Ninguna</u>	-----	-----	-----
-----	-----	-----	-----	-----	-----

Prueba Conducida Por: Jaime Chavez Echevarria Reporte N°: 002/WPQ-PI-IM/07  
Fecha: 09/12/2007 Firma: -----

En el presente documento, certificamos que los datos en el siguiente documento son correctas y que la soldadura fue preparada y probada en conformidad con el Código AASHTO/AWS D 1.5M/D1.5.2008 Bridge Welding Code.

**SPI GAMMA S.A.C.**  
**JAVIER HUAROTO YAGUILLO**  
GERENTE GENERAL

Fabricante o Contratista: Inversiones Metalicas SA  
Autorizado Por: Guillermo Maza  
Fecha: 10/12/2007

# **ANEXO H**

## **Especificación Técnica de Calidad para Obras Viales**

INDICE

- I. PINTURA DE TRAFICO BASE AGUA
  - I.1 GENERALIDADES
  - I.2 ESPECIFICACIONES
- II. PINTURA DE TRAFICO COLOR BLANCO Y AMARILLO
  - II.1 GENERALIDADES
  - II.2 ESPECIFICACIONES
- III. PINTURA DE TRAFICO COLOR NEGRO
  - III.1 GENERALIDADES
  - III.2 ESPECIFICACIONES
- IV. PINTURAS PARA ESTRUCTURAS DE ACERO
  - IV.1 ESTRUCTURA NUEVA
  - IV.2 ESTRUCTURA EN MANTENIMIENTO
  - IV.3 ESTRUCTURA GALVANIZADA Y ALUMINIO
- V. PINTURA PARA ESTRUCTURA DE CONCRETO
  - V.1 ESTRUCTURA EN NUEVA
  - V.2 ESTRUCTURA EN MANTENIMIENTO
- VI. PINTURA PARA ESTRUCTURA DE MADERA
  - VI.1 3 CAPAS DE PROTECCION

**ESPECIFICACIONES TECNICAS DE CALIDAD  
DE PINTURAS PARA OBRAS VIALES**

R.D-851-98-MTC/15.17 (98-12-14)

Lima - 1998

## INTRODUCCION

La Oficina de Control de Calidad de la Dirección General de Caminos como ente regulador y normativo del Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, ha visto la necesidad de cubrir el vacío existente de Especificaciones Técnicas de pinturas a nivel nacional, lo que redundará en la calidad, seguridad, tiempo de permanencia (servicio) y Economía de la Obra.

Los avances tecnológicos en la fabricación de pinturas han conducido al desarrollo de muchas formulaciones para fabricar nuevos tipos de pintura que puedan satisfacer requerimientos específicos y condiciones ambientales, lo cual ha motivado la necesidad de establecer los requerimientos de calidad a utilizar en nuestro medio.

La formulación de las Especificaciones Técnicas de Calidad de Pintura para Obras Viales destinadas a normar su utilización es considerada como Vital por el Ministerio de Transportes, Comunicaciones, Vivienda y Construcción, en vista de la importancia que representan dichos materiales empleados como Marcas en el Pavimento (pinturas acrílicas base agua, pinturas de caucho clorado - alquídico); revestimientos en estructuras de acero, concreto y madera, que tienen la función de proteger dicha estructura y/o facilitar al conductor su visibilidad para su seguridad.

Estas especificaciones como regla general están basadas en las Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes de la "Oficina de Carreteras Públicas" de los Estados Unidos de Norte América (Standard Specifications for Construction of Roads and Bridges on Federal Highway Projects FP-96), adaptadas para su uso en el Perú, tomando en consideración las condiciones existentes y los métodos de Construcción.

Queda establecido que estas Especificaciones Técnicas de Calidad de Pintura para Obras Viales se actualizarán periódicamente en consideración a los Acuerdos últimos de avances de los adelantos de la Técnica Vial y establecer los reajustes pertinentes en la Calidad de la Pintura.

Las Especificaciones Técnicas han sido distribuidas en el siguiente orden:

- I. Pintura de Tráfico a Base de Agua 100% Acrílica.
- II. Pintura de Tráfico color blanco y amarillo.
- III. Pintura de Tráfico color negro.
- IV. Pintura para Estructura de Acero.
- V. Pintura para Estructura de Concreto.
- VI. Pintura para Estructura de Madera.

## MARCAS EN EL PAVIMENTO

### PINTURA DE TRAFICO A BASE DE AGUA 100% ACRILICA

Deberá ser una pintura de secado convencional a base de agua y Polímero Acrílico al 100% en dos colores Blanco y Amarillo que están de conformidad a Especificaciones Internacionales de Obras Viales, cuya propiedad principal será ofrecer una película impermeabilizada de rápido secado y alta visibilidad.

**USOS**.- Se usará sobre pavimentos (secos y fraguados) asfálticos y concreto con cemento "Portland".

También para áreas de Parqueo, Despacho, Recepción, Almacén de Fábrica, Instituciones, Colegios, Centros Comerciales, etc.

### APLICACION.-

- Las superficies deben estar limpias y secas y libre de polvo, grasa, aceite, arena, asfaltos.

- Si la superficie presenta craqueado aplicar capa más delgada (7 milis húmedo).

- Si necesita adigazarlo, hágalo con agua, no se exceda de 1/16 de agua por galón.

- Si la superficie presenta sellador de concreto ó eflorescencia de concreto nuevo, puede perjudicar la adhesión y puede ser secado con el medio ambiente el agua ó algún abrasivo.

- No debe aplicarse en tiempo de lluvias ó lloviznas.

- **DEBE APLICARSE SOLAMENTE EN LA COSTA** y previo ensayos de calidad en Laboratorio antes de ser aplicado para asegurar la durabilidad, visibilidad, resistencia al desgaste por abrasión, resistencia química, lo que permitirá que la pintura permanezca inalterable por mucho mayor tiempo, hasta que exista una difusión adecuada de las características y propiedades de las pinturas acrílicas base agua para el uso y aplicación correcta.

- No deberá ser aplicada a espesores altos por encima de lo especificado, si se desea reforzar la resistencia de abrasión se aplicará una segunda capa, luego de secado total de la primera capa.

- No deberá aplicarse en zonas de cruces peatonales ya que cuando se humedece se

vuelve resbaladizo.

## II. PINTURA DE TRAFICO COLOR BLANCO Y AMARILLO.

Será formulada a base de Resinas de Caucho Clorado y Resinas Alquídicas de alta calidad, debidamente balanceadas y con la pigmentación adecuada, que permitan buena visibilidad, resistencia a la abrasión y gran durabilidad.

De fácil aplicación y secado rápido, para que puedan circular los vehículos después de 30 minutos de pintado, sin mostrar huellas de llantas. En climas fríos normalmente requieren mayor tiempo para secado total.

**USOS.**- Debe ser usado tanto para marcas de tráfico, como para demarcar áreas de Parqueo, Despacho, Recepción, Almacenaje de Fábricas, Instituciones, Colegios, Centros Comerciales, etc.

### APLICACION .

- Los factores primordiales que deberá tenerse en cuenta serán: Medio ambiente, tipo de substrato, apariencia del acabado deseado y experiencia del personal involucrado en la operación de pintado.
- Deberá obtenerse la máxima performance de la pintura mediante la selección de un equipo para la aplicación.
- La limpieza y el pre tratamiento de la superficie deberá ser efectuado antes del pintado y dentro los límites de tiempo especificados.
- La temperatura de la superficie y el medio ambiente deberá estar entre 70°C a 35°C. La pintura deberá ser mantenida a una temperatura de 18°C a 29°C durante todo el tiempo. La pintura no debe aplicarse cuando la temperatura está cerca al punto de rocío.

## III. PINTURA TRAFICO COLOR NEGRO

La pintura de tráfico de color negro será formulada a base de Resinas de Caucho Clorado y Resinas Alquídicas de buena calidad.

**USOS.**- Sirve para borrar marcas de señalización en pavimentos asfálticos.

Página 5 de 20

Prohibida la reproducción Total o Parcial sin la autorización del MTC.

Página 6 de 20

Prohibida la reproducción Total o Parcial sin la autorización del MTC.



**IV. PINTURA PARA ESTRUCTURA DE ACERO**

IV.1. ESTRUCTURA NUEVA.- Deberá ceñirse al siguiente esquema de pintado:

Capa Primera	Zinc Rich Inorgánico
Capa Intermedia	Esmalte Epoxi
Capa Acabado	Esmalte Poliuretano

IV.2. ESTRUCTURA EN MANTENIMIENTO.- Deberá ceñirse al siguiente esquema de pintado.

Capa Primera	Zinc Rich Inorgánico
Capa Intermedia	Esmalte Epoxi
Capa Acabado	Esmalte Poliuretano

IV.3. ESTRUCTURA GALVANIZADA Y DE ALUMINIO.-

Capa Primera	Wash Primer Vinílico
Capa Intermedia	Esmalte Epoxi
Capa Acabado	Esmalte Poliuretano

**V. PINTURA PARA ESTRUCTURA DE CONCRETO**

Deberá ceñirse al siguiente esquema:

Superficie Nueva	3 capas 1 capa de imprimación 2 acabado
------------------	---

Superficie Mantenimiento : 2 capas de pintura Látex Acrílico Emulsionado.

**VI. PINTURA PARA ESTRUCTURA DE MADERA**

Deberá ceñirse al siguiente esquema:

Capa Primera	Según Norma TT-P-256
Capa Acabado	Según Norma TT-P-19D

Nota.- La preparación de superficie para cada tipo de estructura, se elegirá de acuerdo al estado.

de substrato, según la Tabla N° 1

**TABLA N° 1  
PREPARACION DE SUPERFICIES SEGUN SSPC  
(STEEL STRUCTURE PAINTING COUNCIL)**

ESPECIFICACION	DESCRIPCION
SSPC-SP-1-63 Limpieza con Solventes	Eliminación de Aceite, grasa, tierra, sales y demás suciedades por medio de lavado con solventes, vapor alcalis.
SSPC-SP-2-63 Limpieza Manual	Eliminación de óxido suelto, escoria (mill scale), pintura suelta por medio de raspado, lijado ó cepillado manual.
SSPC-SP-3-63 Limpieza Mecánica	Eliminación de óxido suelto, escoria (mill scale), pintura suelta por medio de raspado, lijado ó cepillado mecánica.
SSPC-SP-4-63 Limpieza con Soplete de fuego	Eliminación de óxido, escoria (mill scale), por medio de soplete de fuego seguido por una limpieza con cepillo metálico.
SSPC-SP-5-63 Arenado a Metal Blanco	Equivalente Sa 3 en la escala sueca o NACE N° 1, eliminación de todo el óxido y escoria (Mill scale) pintura y demás suciedades visibles por medio de arenado, este método debe ser usado en donde la corrosión sea muy severa y el alto costo de este método sea factible.
SSPC-SP-6-63 Arenado Comercial	Equivalente a Sa 2 en la escala sueca o NACE N° 3, Arenado de las superficies hasta por lo menos 2/3 partes la superficie estén perfectamente libres de todo residuo visible. Método para ser usado en condiciones severas de corrosión.
SSPC-SP-7-63 Arenado Simple	Equivalente a Sa 1 en la escala sueca o NACE N° 4, Arenado para remover todos los residuos de óxido, escoria y pintura suelta, permitiéndose áreas sin arenar donde la pintura antigua y la escoria estén firmemente adheridas.
SSPC-SP-8-63 Lavado con Acido	Eliminación del óxido y la escoria (Mill Scale) por medio de ácidos fuertes en tanques de inmersión y enjuague posterior con agua limpia.
SSPC-SP-9-63	Exposición a la intemperie para remover todo ó parte de la escoria (Mill Scale) seguida de arenado a cualquiera de los grados de limpieza deseada.
SSPC-SP-10-63 Equivalente a Sa 2 1/2 en la escala sueca NACE N° 2	Arenado al metal casi blanco, eliminando óxido, escoria, pintura suelta, hasta que por lo menos el 95% de la superficie este libre de todos los residuos visibles. Método usado en ambientes muy húmedos, marinos ó corrosivos.

**MARCAS EN EL PAVIMENTO**

**1.0. PINTURA DE TRAFICO BASE AGUA**

1.1. GENERALIDADES.- La pintura de tráfico para señalización de pavimentos asfálticos y concreto con Cemento Portland deberá ser una pintura compuesta por sólidos de resina de polímero acrílico al 100%.

1.2. ESPECIFICACIONES.- La formulación de esta pintura debe obedecer los siguientes:

0.1	PIGMENTOS (%)	45-55
0.2	NO VOLATIL SOBRE EL TOTAL DEL VEHICULO (%)	40 mínimo
0.3	PLOMO, CROMO, CADMIO, BARIO (%)	0
0.4	COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES (g/litro)	250 máximo
0.5	DENSIDAD (kg/litro)	1.44 mínimo
0.6	VISCOSIDAD (KU)	75 - 90
0.7	SECADO "NO PICK-UP" (minutos)	10 máximo
0.8	FLEXIBILIDAD (mandril cónico 1/2 pulg)	Sin marcas ó escamas
0.9	OPACIDAD (contraste a 0.25mm)	0.96 mínimo
10.0	COLOR Blanco Amarillo	Estándar para carreteras Federal Standard 595 patrón N° 33538
11.0	REFLECTANCIA DE LUZ DEL DIA (%) Blanco Amarillo	84 relativo al Óxido de Magnesio Standard 55 relativo al óxido de Magnesio Standard
12.0	SANGRADO	0.96 mínimo
13.0	RESISTENCIA A LA ABRASION HUMEDA (Ciclos / minuto)	300 mínimo

14.0 ESTABILIDAD DE CONGELADO Y DESCONGELADO  
Cambio en la viscosidad (ku)  
Disminución en la resistencia de restregado (%)

± 5 máximo  
-10 máximo

15.0 ESTABILIDAD DE ALMACENAJE

Sin asentamiento excesivo  
corteza ó incremento en la viscosidad, consistencia de fácil agitación para su uso.

**11.0. PINTURA DE TRAFICO BLANCO Y AMARILLO**

- 11.1. GENERALIDADES.- La pintura de tráfico para señalización de pavimentos asfálticos y concreto con Cemento Portland deberá ser una pintura compuesta por sólidos de resina de Caucho Clorado-Alquídico, con la formulación exacta de la Norma TT-P-115F.
- 11.2. ESPECIFICACIONES.- La formulación de esta pintura debe obedecer los siguientes:

	TIPO I	TIPO II
0.1 PIGMENTOS (%)		
Blanco	54 mínimo	57 mínimo
Amarillo	54 mínimo	57 mínimo
0.2 VEHICULOS NO VOLATILES DEL TOTAL DEL VEHICULO (%)	31 mínimo	41 mínimo
0.3 HUMEDAD (%)	1.0 máximo	1.0 máximo
0.4 ARENILLA Y PIEL (%)	1.0 máximo	1.0 máximo
0.5 VISCOSIDAD (ku)	70 - 80	70 - 80
0.6 SECO "NO PICK-UP" (minuto)	30 máximo	5 máximo
0.7 SANGRADO	0.90 mínimo	0.90 mínimo
0.8 GRADO DE FINEZA (Hegman)	2 mínimo	2 mínimo
0.9 REFLECTANCIA DIRECCIONAL (%)		
Blanco	85 mínimo	85 mínimo
10.0 CUBRIMIENTO		
Blanco	0.96 mínimo	0.96 mínimo
Amarillo	0.96 mínimo	0.96 mínimo
11.0 RESISTENCIA A LA ABRASION (Secado al horno) (litros/arena)		
Blanco	35 mínimo	35 mínimo
Amarillo	30 mínimo	30 mínimo
12.0 RESISTENCIA A LA ABRASION (Secado a la intemperie) (Litros/arena)		
Blanco	26 mínimo	26 mínimo
Amarillo	23 mínimo	23 mínimo

**13.0 COLOR**  
Blanco  
Amarillo

Estándar para Carretera 595  
Estándar N° 33538

**14.0. CONDICION EN EL ENVASE**

La pintura no debe tener excesivo asentamiento en un envase destapado y lleno y debe mezclarse bien con una espátula. La pintura no debe presentar coágulos, terrones, piel ó separación del color.

**15.0. PIEL**

La pintura no debe presentar piel después de 48 horas en un envase lleno hasta las 3/4, tapado y cerrado.

**16.0. ESTABILIDAD EN ALMACENAMIENTO**

Sin asentamiento excesivo corteza ó incremento en la viscosidad, consistencia de fácil agitación para su uso.

**17.0. FLEXIBILIDAD Y ADHESION**

La pintura no debe presentar cuarteado, escamas ó pérdida de adhesión.

**18.0. RESISTENCIA AL AGUA**

La pintura no debe presentar ablandamiento, ampollamiento, cambio de color, pérdida de adhesión ó cualquier otro deterioro

**19.0. ESTABILIDAD DILUIDA**

La pintura diluida debe estar uniforme y no debe presentar separación, coágulos ó precipitación después de ser diluido en proporción de 8 partes por volumen de la pintura por una parte de un thinner apropiado.

**20.0. PROPIEDADES DE PULVERIZADO**

La pintura tal como viene ó diluida no más en la proporción de 8 partes por volumen debe tener propiedades satisfactorias cuando se aplica con soplete (tendido en posición horizontal) a un espesor húmedo de aproximadamente 381 micrones (0.015 pulgadas).

21.0 APARIENCIA

La pintura sopleada debe secar y quedar una película suave uniforme libre de asperezas, arenilla u otra imperfección de la superficie.

22.0 APARIENCIA DESPUES DE UN CLIMA ACELERADO

Las planchas preparadas y probadas deben evaluarse en primer lugar en la prueba de abrasión para ver la apariencia y cambio de color. La pintura blanca no debe presentar más allá de una ligera de coloración, la pintura amarilla deberá estar dentro de los límites especificados.

III.0. PINTURA DE TRAFICO NEGRO

III.1. GENERALIDADES.- La pintura de tráfico para borrar marcas de señalización en pavimentos asfálticos y concreto con cemento "Portland", deberá ser una pintura compuesta por sólidos de Caucho Clorado-Alquídico, con la formulación exacta de la Norma TT-P-110C.

III.2. ESPECIFICACIONES.- La formulación de esta pintura debe obedecer lo siguiente:

	TIPO I	TIPO II
0.1 PIGMENTOS (%)	40 - 50	40 - 50
0.2 VEHICULOS NO VOLATILES DEL TOTAL DEL VEHICULO (%)	31 mínimo	31 mínimo
0.3 VISCOSIDAD (ku)	70 - 82	77 - 95
0.4 SECO "NO PICK-UP" (minuto)	30 máximo	10 máximo
0.5 GRADO DE FINEZA (Hegman)	3 mínimo	3 mínimo
0.6 RESISTENCIA A LA ABRASION SECA (Litros / Arena)	20 mínimo	30 mínimo
0.7 COLOR	Estándar para Carreteras N° 585-37088	

0.8. CONDICION EN EL ENVASE

La pintura no debe tener excesivo asentamiento en un envase deslizado y lleno, debe mezclarse bien con una espátula. La pintura no debe presentar coágulos, terrenos piel ó separación del color.

0.9. PIEL

La pintura no debe presentar piel después de 48 horas en un envase lleno hasta las 3/4 partes, tapado y cerrado.

10.0. ESTABILIDAD EN ALMACENAMIENTO

Sin asentamiento excesivo, corteza ó incremento en la viscosidad, consistencia de fácil agitación para su uso.

11.0. FLEXIBILIDAD Y ADHESION

La pintura no debe presentar cuarteado, escamas ó pérdida de adhesión.

12.0. RESISTENCIA AL AGUA

La pintura no debe presentar ablandamiento, ampollamiento, cambio de color, pérdida de adhesión ó cualquier otro deterioro.

13.0. ESTABILIDAD DILUIDA

La pintura diluida debe estar uniforme y no debe presentar separación, coágulos ó precipitación después de ser diluido en proporción de 8 partes por volumen de la pintura por una parte de un thinner apropiado.

14.0. PROPIEDADES DE PULVERIZADO

La pintura tal como viene ó diluida no más en la proporción de 8 partes por volumen debe tener propiedades satisfactorias cuando se aplica con soplete (tendido en posición horizontal) a un espesor húmedo de aproximadamente 381 micrones (0.015 pulgadas).

15.0. APARIENCIA

La pintura sopleteada debe secar y quedar una película suave, uniforme, libre de asperezas, arenilla ó otra imperfección de la superficie.

16.0. APARIENCIA DESPUES DE UN CLIMA ACELERADO

Las planchas preparadas y probadas deben evaluarse en primer lugar en la prueba de abrasión para ver la apariencia y cambio de color, no presentando más allá de una ligera decoloración.

IV.0 ESPECIFICACIONES TECNICAS DE PINTURA PARA ESTRUCTURAS DE ACERO

IV.1. ESTRUCTURAS NUEVAS

ESQUEMA DE PINTADO	PRODUCTO	ESPECIFICACION SISTEMA	Nº DE CAPAS	AMBIENTE (EXPOSICIÓN)	
				MODERADO	SEVERO
PRIMER	ZINC RICH	SSPC - PAINT 20 ó AASHTO M-300 TIPO II	1	2 - 3 MILS	2-3 MILS
INTERMEDI ó	ESMALTE EPOXY	SSPC - PAINT 22 ó MIL-P-24441	1 - 2	2 - 4 MILS	2 - 4 MILS
ACABADO	ESMALTE POLIURETAN ó	USPC-C-644-A	1	2 - 3 MILS	2 - 3 MILS
			TOTAL	8 MILS MINIMO ó 200 MICRONES	12 MILS MINIMO ó 300 MICRONES

IV.3. ESTRUCTURAS GALVANIZADAS Y DE ALUMINIO

ESQUEMA DE PINTADO	PRODUCTO	ESPECIFICACION SISTEMA	Nº DE CAPAS	AMBIENTE (EXPOSICIÓN)	
				MODERADO	SEVERO
PRIMER	WASH PRIMER VINILICO	MIL - P - 15328 Ø SSPC - PAINT 27	1	0,5 MILS	0,5 MILS
INTERMEDI Ø	ESMALTE EPOXY	SSPC - PAINT 22 Ø MIL-P-24441	1 - 2	2 - 4 MILS	2 - 4 MILS
ACABADO	ESMALTE POLIURETAN Ø	USPC-C-644-A TIPO I	1	2 - 3 MILS	2 - 3 MILS
			TOTAL	8 MILS MÍNIMO Ø 200 MICRONES	12 MILS MÍNIMO Ø 300 MICRONES

NOTA:  
EN AMBIENTE MODERADO : Ubicación y servicio de las estructuras, en zonas rurales y alejados del ambiente marino (costa).

EN AMBIENTE SEVERO : Ubicación y servicio de las estructuras en zonas con alto grado de corrosión, originados por cercanía al mar, zonas desérticas con alto grado de abrasión por efecto de la arena.

IV.2. MANTENIMIENTO DE ESTRUCTURAS DE ACERO (EN SERVICIO)

ESQUEMA DE PINTADO	PRODUCTO	ESPECIFICACION SISTEMA	Nº DE CAPAS	AMBIENTE (EXPOSICIÓN)	
				MODERADO	SEVERO
PRIMER	ZINC RICH EPOXY	E-303 b	1	3 - 4 MILS	3 - 4 MILS
INTERMEDI Ø	ESMALTE EPOXY	SSPC - PAINT 22 Ø MIL-P-24441	1 - 2	2 - 4 MILS	2 - 4 MILS
ACABADO	ESMALTE POLIURETAN Ø	USPC-C-644-A TIPO I	1	2 - 3 MILS	2 - 3 MILS
			TOTAL	8 MILS MÍNIMO Ø 200 MICRONES	12 MILS MÍNIMO Ø 300 MICRONES

## RECOMENDACIONES

Se recomienda que estas Especificaciones Técnicas de Calidad de Pinturas para Obras Viales se actualice periódicamente en consideración a los acuerdos últimos de avances de los adelantos de la Técnica Vial, para establecer reajustes en la Calidad de la Pintura.

### V. ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA ESTRUCTURAS Y SUPERFICIES DE CONCRETO

CONFORME A LA ESPECIFICACION : TT-P-19 D  
Pintura a Base de Látex Acrílico  
Emulsionado

I. SUPERFICIE NUEVA : 3 CAPAS - 1 Capa de imprimación - 2 Acabado.

II. SUPERFICIE EN SERVICIO : 2 CAPAS


### VI. ESPECIFICACIONES TECNICAS PARA ESTRUCTURAS DE MADERA

VI.1. PRIMER : CONFORME A ESPECIFICACION TT-P-  
25E 1 capa

VI.2. ACABADO : CONFORME A ESPECIFICACION PAINT  
LATEX TT-P-18D 2 Capas

**ANEXO I**  
**Plan de Calidad**



PC-PTEVIG-001 REV: 01 FECHA: Diciembre 2007	 <p><b>INVERSIONES METALICAS S.A.</b></p> <p>PLAN DE CALIDAD FABRICACION Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA</p>
PAGINA 1 DE 23	

PC-PTEVIG-001 REV: 01 FECHA: Diciembre 2007	 <p><b>INVERSIONES METALICAS S.A.</b></p> <p>PLAN DE CALIDAD FABRICACION Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA</p>
PAGINA 2 DE 23	

### PRESENTACION

Los Planes de Aseguramiento de Calidad de Inversiones Metalicas S.A.C. (INMETSA) forman parte de su Sistema de Gestión de Calidad, el cual está basado en la Norma ISO 9001:2000 y comprenden los métodos, prácticas y medios de los que hará uso INMETSA para asegurar a sus Clientes que la ejecución de todos los procesos a llevarse a cabo en cada Proyecto, se realizan bajo control y de acuerdo a las Normas y los requisitos de Calidad aplicables a dichos procesos.

Todos los procesos se realizan bajo el marco de la Política y los Objetivos de Calidad de INMETSA que forman parte de la Documentación de nuestro Sistema de Gestión de Calidad y de este Plan de Aseguramiento de Calidad que presentamos a continuación.

### PLAN DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD

#### PROYECTO DE FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA

El Plan de Aseguramiento de Calidad para el "PROYECTO DE FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA", se llevará a cabo en todos los procesos de nuestro Sistema de Gestión de Calidad que están directamente relacionados con el cumplimiento de los requisitos para el Proyecto mencionado.

INMETSA ha elaborado Procedimientos de Inspección, Planes de Puntos de Inspección e Instrucciones Técnicas Complementarias para la ejecución del presente Plan de Aseguramiento de Calidad en los procesos mencionados. Dichos documentos son complementados con Registros de Calidad, con la finalidad de dejar evidencia objetiva del cumplimiento de dicho Control. Todos estos documentos forman parte del Plan de Aseguramiento de Calidad para este Proyecto.

El contenido de todos estos documentos permitirá dar la confiabilidad a nuestro Cliente, de que los trabajos que ejecute INMETSA serán concordantes con lo establecido en las Normas y Especificaciones Técnicas correspondientes.

INMETSA entregará, al finalizar el Proyecto o en entregas parciales de requerirse, el Dossier de Calidad del Proyecto con toda la información de Calidad correspondiente a éste, así como con los Certificados y Registros que evidenciarán el cumplimiento de las Especificaciones y Requisitos establecidos para este Proyecto.

PC-PTEVIG-001 REV: 01 FECHA: Diciembre 2007	 <b>INVERSIONES METALICAS S.A.</b>
PAGINA 3 DE 23	<b>PLAN DE CALIDAD FABRICACION Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA</b>

**INDICE**

- 1 PROPOSITO
- 2 ALCANCE
- 3 DOCUMENTACION DE REFERENCIA
- 4 RESPONSABILIDADES
- 5 SISTEMA DE GESTION DE CALIDAD
- 6 DOCUMENTACION DEL PLAN DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD
  - 6.1 POLITICA Y OBJETIVOS DE CALIDAD
  - 6.2 PLAN DE CALIDAD
  - 6.3 PROCEDIMIENTOS DE INSPECCION
  - 6.4 PLANES DE PUNTOS DE INSPECCION
  - 6.5 INSTRUCCIONES TECNICAS COMPLEMENTARIAS
  - 6.6 REGISTROS DE CALIDAD
- 7 RESPONSABILIDAD DE LA DIRECCION
- 8 GESTION DE LOS RECURSOS
  - 8.1 RECURSOS MATERIALES
  - 8.2 RECURSOS HUMANOS
  - 8.3 INFRAESTRUCTURA
- 9 PLANIFICACION DE LA REALIZACION DE LOS PROCESOS
- 10 COMPRAS
- 11 VERIFICACION DE LOS PRODUCTOS COMPRADOS
- 12 CONTROL DE LOS PROCESOS

PC-PTEVIG-001 REV: 01 FECHA: Diciembre 2007	 <b>INVERSIONES METALICAS S.A.</b>
PAGINA 4 DE 23	<b>PLAN DE CALIDAD FABRICACION Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA</b>

12.1 CONTROL DEL DISEÑO

12.2 AUTORIZACION PARA INICIO DE FABRICACION Y MONTAJE

12.3 CONTROL EN LA EJECUCION DE LOS PROCESOS

13 VALIDACION DE LOS PROCESOS DE FABRICACION

14 IDENTIFICACION Y TRAZABILIDAD

15 PROPIEDAD DEL CLIENTE

16 PRESERVACION DEL PRODUCTO

17 CONTROL DE LOS DISPOSITIVOS DE MEDICION

18 SEGUIMIENTO Y MEDICION DE LOS PROCESOS Y PRODUCTOS

18.1 CONTROL DE CALIDAD POR PROCESOS

18.2 CONTROLES E INSPECCIONES

18.2.1 EN LA RECEPCION DE MATERIALES Y SUMINISTROS

18.2.2 EN LAS ETAPAS PREVIAS A LA FABRICACION

18.2.3 DURANTE LOS PROCESOS DE FABRICACION


18.2.4 LIBERACION DE ESTRUCTURAS PARA DESPACHO

18.2.5 DURANTE LOS PROCESOS EN OBRA

18.2.6 CONTROL FINAL PARA ENTREGA AL CLIENTE

18.3 REGISTROS DEL CONTROL DE CALIDAD

19 CONTROL DEL PRODUCTO NO CONFORME

PC-PTEVIG-001 REV: 01			<b>INVERSIONES METALICAS S.A.</b>
FECHA: Diciembre 2007			
PAGINA 5 DE 23		<b>PLAN DE CALIDAD FABRICACION Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA</b>	

**1. PROPOSITO**

El propósito del presente documento es describir la forma específica en que INMETSA ha realizado la Planificación de la Calidad para asegurar el cumplimiento de los requisitos establecidos por nuestro Cliente, para el Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA".

**2. ALCANCE**

Este documento está elaborado para el Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA" y es aplicable desde la Ingeniería de Detalle, recepción de materiales para la fabricación, hasta la liberación de estructuras para el despacho, para continuar con el Montaje de las Estructuras Metálicas, a realizarse en el lugar de la Obra.

**3. DOCUMENTACION DE REFERENCIA**

- Planos de Detalle o Fabricación
- Especificaciones Técnicas del Cliente.
- Normas ASTM
- Código AWS D1.5m/D1.5 Bridge Welding Code
- Normas SSPC
- Normas ISO 9000 versión 2000.
- Normas ISO 9001 versión 2000.

**4. RESPONSABILIDADES**

Las responsabilidades para el presente Proyecto están definidas en la documentación que conforma parte de este Plan.

**5. SISTEMA DE GESTION DE LA CALIDAD**

INMETSA no cuenta con Certificación ISO 9001, pero tiene establecido un Sistema de Gestión de Calidad basado en la Normas ISO 9000 versión 2000.

En base a este Sistema de Gestión de Calidad INMETSA ha identificado plenamente los procesos críticos para el Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA" y ha determinado la secuencia e interacción de éstos, así como los criterios, métodos, recursos e información para la correcta ejecución, seguimiento, medición y control de dichos procesos, con el fin de asegurar el cumplimiento de los requisitos de nuestro Cliente para este Proyecto y conseguir su plena satisfacción.

PC-PTEVIG-001 REV: 01			<b>INVERSIONES METALICAS S.A.</b>
FECHA: Diciembre 2007			
PAGINA 6 DE 23		<b>PLAN DE CALIDAD FABRICACION Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA</b>	

Siendo el Control de Calidad el proceso que nos confirmará el cumplimiento de los requisitos de nuestro Cliente para este Proyecto, el presente Plan también está dirigido a describir los criterios, métodos y actividades para el Control de Calidad en el Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA" dentro del marco del Sistema de Gestión de Calidad de INMETSA el cual resumimos en sus puntos más importantes.

**6. DOCUMENTACION DEL PLAN DE ASEGURAMIENTO DE CALIDAD**

La documentación del Plan de Aseguramiento de Calidad para el Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA", está elaborada en el marco de la Política y los Objetivos de Calidad de INMETSA los cuales se han adjuntado al presente Plan.

La documentación del Plan incluye:

- Política de Calidad y Objetivos de Calidad de TM.
- Plan de Aseguramiento y Control de Calidad.
- Procedimientos de Inspección.
- Planes de Puntos de Inspección.
- Instrucciones Técnicas Complementarias.
- Registros de Calidad.

**6.1 POLITICA Y OBJETIVOS DE CALIDAD**

La Política y los Objetivos de Calidad son los documentos que contienen las declaraciones de la gerencia de INMETSA acerca de la orientación de la empresa con respecto a la Calidad y a su Sistema de Gestión de Calidad. Se presenta la última versión de estos documentos.

**6.2 PLAN DE ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE CALIDAD**

El Plan de Aseguramiento y Control de Calidad tiene como finalidad proporcionar la confianza a nuestro Cliente de que INMETSA cumplirá con sus requisitos de Calidad. Para esto incluye, mediante los documentos que lo componen, las actividades requeridas de Control e Inspección a través de los procesos del Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA", así como los criterios de aceptación de las mismas para asegurar el cumplimiento de los requisitos de nuestro Cliente para este Proyecto.

PC-PTEVIG-001 REV: 01 FECHA: Diciembre 2007	 <b>INVERSIONES METALICAS S.A.</b>
PÁGINA 7 DE 23	<b>PLAN DE CALIDAD FABRICACION Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA</b>

#### 6.3 PROCEDIMIENTOS DE CONTROL E INSPECCION

Los Procedimientos de Control e Inspección (PRO) determinan, para cada proceso definido para el presente Proyecto, el alcance, fundamentos, actividades a realizarse y responsabilidades para el Control y la Inspección de los productos resultantes del proceso. Indican, además, todos los documentos aplicables en el Control e Inspección de dicho proceso.

#### 6.4 PLANES DE PUNTOS DE INSPECCION

Los Planes de Puntos de Inspección (PPI) establecen, también para cada proceso, las etapas en las cuales se va a controlar e inspeccionar, las características críticas, el método de inspección, los documentos que contienen los criterios de evaluación (Normas, Especificaciones, etc.) y los registros aplicables en cada etapa.

#### 6.5 INSTRUCCIONES TECNICAS COMPLEMENTARIAS

Las Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) detallan actividades que, por su alto contenido técnico, tienen que ser descritas con una mayor precisión. Para este Proyecto se han elaborado Instrucciones Técnicas para las Calificaciones requeridas para el proceso de Soldadura, para las Inspecciones que se realizarán en INMETS A en este proceso, así como para la instalación y Ajuste de pernos. También hacen referencia a los registros aplicables para presentar los resultados correspondientes.

#### 6.6 REGISTROS DE CALIDAD

Los Registros de Calidad son los documentos que proporcionarán evidencia objetiva de que los controles e inspecciones se han cumplido y de que los resultados se ajustan a las especificaciones o requisitos establecidos para el Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA".

Cada Procedimiento de Inspección, Plan de Puntos de Inspección e Instrucción Técnica Complementaria, indican los Registros en los que consignarán los resultados obtenidos en los controles e inspecciones ejecutadas.

Los Certificados de Calidad de los materiales a utilizarse en el Proyecto, también son considerados como Registros de Calidad.

Los documentos, incluyendo los Registros, han sido elaborados de acuerdo al Procedimiento de Elaboración y Control de Documentos y Registros.

PC-PTEVIG-001 REV: 01 FECHA: Diciembre 2007	 <b>INVERSIONES METALICAS S.A.</b>
PÁGINA 8 DE 23	<b>PLAN DE CALIDAD FABRICACION Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA</b>

Si nuestro Cliente lo requiere, INMETS A entregará con la frecuencia que se determine los Registros de Calidad de los procesos ejecutados en ese periodo. En todo caso, al final del Proyecto, INMETS A entregará un Dossier de Calidad conteniendo toda la Documentación de Calidad correspondiente a éste. INMETS A conservará un ejemplar del Dossier por espacio de tres años, manteniéndolo identificado, protegido y fácilmente recuperable durante ese periodo.

Como un ejemplo de esta documentación, se adjunta el listado con algunos de los Documentos del Plan de Control de Calidad para el Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA" en el Anexo 1 del presente Plan.

#### 7. RESPONSABILIDAD DE LA DIRECCION

La Alta Dirección de Inversiones Metalicas S.A.C. tiene establecido su compromiso con el desarrollo del presente Plan de Aseguramiento de Calidad mediante:

- Las declaraciones de la Política y los Objetivos de Calidad, en cuyo marco se ha elaborado el presente Plan.
- Su permanente enfoque hacia la satisfacción del Cliente, basado en el cumplimiento de sus requisitos.
- Su participación activa en la Planificación del Proyecto.
- El aseguramiento de la disponibilidad de los recursos requeridos para el presente Proyecto y de la eficacia de los medios de comunicación interna.
- La designación de una organización específica para el Proyecto, con responsabilidades y autoridades definidas y con un Representante que lo mantendrá informado acerca del desarrollo del Proyecto.
- La evaluación del desempeño del Proyecto para asegurar el cumplimiento de los requisitos de nuestro Cliente.

#### 8. GESTION DE LOS RECURSOS

##### 8.1 RECURSOS MATERIALES

Inversiones Metalicas S.A.C. ha determinado los recursos necesarios para el desarrollo del Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA" y los irá asignando de acuerdo a lo planificado para asegurar el cumplimiento de los requisitos de nuestro Cliente.

PC-PTEVIG-001 REV: 01	 <b>INVERSIONES METALICAS S.A.</b>
FECHA: Diciembre 2007	
PAGINA 9 DE 23	<b>PLAN DE CALIDAD</b> <b>FABRICACION Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA</b>

### 8.2 RECURSOS HUMANOS

El personal designado por Inversiones Metalicas S.A.C. para la realización de los procesos que afectarán la calidad en el presente Proyecto, incluido el staff de Control de Calidad, es competente para el trabajo a realizar ya que ha sido seleccionado bajo el criterio principal de contar con profesionales, técnicos y personal operativo de excelente capacidad y experiencia.

Se mantendrá la evidencia objetiva de la calificación del personal. Para el caso del personal operativo que realizará los procesos de soldadura, éste ha sido calificado previamente mediante pruebas que aseguran su eficiente desempeño. INMETSA mantiene los registros que acreditan esa competencia. El Procedimiento para la Calificación se encuentra detallado en el Plan de Puntos de Inspección IM/PP-03 Actividades Previas a la Soldadura, así como en la Instrucción Técnica Complementaria IM/ITC-01.

### 8.3 INFRAESTRUCTURA

Inversiones Metalicas S.A.C. ha determinado la infraestructura necesaria para el desarrollo del Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA" la cual incluye los espacios de trabajo, el hardware y software correspondiente, la maquinaria y equipo para los procesos, los medios de comunicación, etc. Dicha infraestructura está mantenida por los procesos de apoyo correspondientes.

## 9. PLANIFICACIÓN DE LA REALIZACIÓN DE LOS PROCESOS

Inversiones Metalicas S.A.C. ha realizado la Planificación de los procesos necesarios para el "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA".

En esta Planificación, INMETSA ha determinado:

- Los requisitos que deberá cumplir el "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA"
- Los procesos de realización de la Ingeniería y Construcción de la Edificación.
- Los recursos materiales, humanos y la documentación necesarios.
- La maquinaria y equipo para la ejecución de los procesos, incluyendo el hardware y software correspondiente.

PC-PTEVIG-001 REV: 01	 <b>INVERSIONES METALICAS S.A.</b>
FECHA: Diciembre 2007	
PAGINA 10 DE 23	<b>PLAN DE CALIDAD</b> <b>FABRICACION Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA</b>

- Las actividades de Control de Calidad y los criterios de aceptación.
- Los registros para el control de los procesos y de los productos de éstos.

Uno de los resultados de esta Planificación es el presente Plan de Aseguramiento de Calidad para el Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA".

## 10. COMPRAS

Inversiones Metalicas S.A.C. realizará las compras de los bienes o servicios que suministrará para el presente Proyecto, a proveedores evaluados y aprobados por INMETSA para cada bien o servicio específico, lo que garantizará el cumplimiento de las Normas y Códigos aplicables señalados en las especificaciones técnicas de nuestro Cliente.

Inversiones Metalicas S.A.C. verificará que los requisitos de compra para los bienes o servicios a adquirir así como la descripción de éstos, estén claramente especificados en los documentos de compra correspondientes, para asegurar el cumplimiento de los requisitos y especificaciones técnicas aplicables.

## 11. VERIFICACION DE LOS BIENES COMPRADOS


Los bienes comprados para el Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA" serán controlados a su llegada a la Planta de INMETSA, para verificar el cumplimiento de las especificaciones técnicas indicadas en los documentos de compra.

Para los materiales o productos que así lo requieran, deberá verificarse la presentación de los Certificados de Calidad correspondientes. Estos Certificados deberán ser entregados por los proveedores junto con los materiales o productos a recibir y deberán mostrar, de acuerdo al material o producto del que se trate:

- Identificación del material o producto.
- Propiedades físicas, químicas y mecánicas, según sea el caso.
- Otras especificaciones aplicables.

Se verificará que los valores se encuentren dentro de los rangos establecidos en la Norma o Código aplicable.

Asimismo se verificarán los demás requisitos que deban cumplir dichos materiales o productos.

<b>INVERSIONES METALICAS S.A.</b>	
	
PC-PTEVIG-001 REV: 01 FECHA: Diciembre 2007	
<b>PLAN DE CALIDAD FABRICACION Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA</b>	
PAGINA 11 DE 23	

Igual tratamiento recibirán los equipos que deban adquirirse, los cuales deberán llegar acompañados de sus Garantías de Calidad y documentación complementaria correspondiente como Planos de Instalación, Manuales de Operación, Mantenimiento, etc. según sea el caso.

Sólo serán recepcionados y podrán ser utilizados en los procesos respectivos, los bienes que cumplan con la documentación y las especificaciones técnicas de nuestro Cliente y de INMETSA.

Los procedimientos para la Inspección en la Recepción de Materiales y Equipos para este Proyecto, se encuentran detallados en el Procedimiento IM-CC/PRO-01 y en el Plan de Puntos de Inspección IM/PPI-01.

## 12. CONTROL DE LOS PROCESOS


Inversiones Metalicas S.A.C. llevará a cabo todos los procesos para el Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA" bajo condiciones controladas. Estas condiciones controladas incluyen:

- La disponibilidad de la información de entrada y las especificaciones técnicas correspondientes en los puntos en que sean requeridos.
- El uso de la maquinaria y equipo adecuado para cada uno de los procesos, incluyendo el hardware y software correspondientes de acuerdo al proceso..
- El uso de dispositivos de seguimiento y medición para los procesos que lo requieran.
- La ejecución de las actividades de liberación y entrega.
- Procedimientos e Instrucciones para las actividades de operación y/o control, para los casos en que sea necesario.

En el marco de estas condiciones, detallamos algunos puntos relevantes de los controles a realizarse:

### 12.1 CONTROL DEL DISEÑO

En el desarrollo de la Ingeniería de detalle del Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA", INMETSA identificará claramente todos los datos de entrada necesarios para la ejecución del proceso.

<b>INVERSIONES METALICAS S.A.</b>	
	
PC-PTEVIG-001 REV: 01 FECHA: Diciembre 2007	
<b>PLAN DE CALIDAD FABRICACION Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA</b>	
PAGINA 12 DE 23	

La información de salida (planos, especificaciones técnicas, etc.) incluirá la revisión y verificación de los datos con el fin de que éstos satisfagan los requisitos iniciales y los criterios de aceptación establecidos.


Todos los planos y especificaciones técnicas a ser utilizados en el Proyecto, deberán ser aprobados por el Cliente y deberán estar marcados como "Aprobados para Construcción".

Si surgiera alguna modificación posterior en el diseño del Cliente, ésta será identificada, registrada y deberá recibir la aprobación del Cliente.

### 12.2 AUTORIZACION PARA INICIO DE FABRICACIÓN Y MONTAJE

La autorización para el inicio de las actividades de Construcción del Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA" debe seguir las siguientes etapas:

- La fabricación se iniciará cuando se cuente y disponga de los Planos revisados y aprobados por el Cliente, además del Cronograma general y detallado de fabricación.
- El proceso de fabricación se iniciará cuando el Jefe del Proyecto de INMETSA cuente con toda la documentación de respaldo de los materiales que serán incorporados para la fabricación de las estructuras metálicas y con la programación correspondiente. Esta programación será exigida según el Cronograma general del Proyecto.
- El Plan de Aseguramiento de Calidad deberá estar aprobado y deberá estar hecha la designación completa de las personas que asumirán las funciones detalladas de acuerdo al Organigrama del Proyecto.
- El proceso de montaje se iniciará cuando el Cliente emita la autorización correspondiente que asegure que se han realizado todos los trabajos de obra civil, precedentes a la ejecución de dicho montaje, así como que dichos trabajos han sido aprobados por el Cliente.
- Para el inicio del proceso de montaje de las estructuras metálicas, deberá contarse con la revisión y aprobación de los Planos de Montaje por parte del Cliente, así como del Procedimiento Ejecutivo de Montaje que será presentado oportunamente.
- Las actividades previas al inicio del montaje, definidas en los Planes de Ejecución y Procedimientos respectivos, y que incluyen las correspondientes a Seguridad,

PC-PTEVIG-001 REV: 01 FECHA: Diciembre 2007	 <b>INVERSIONES METALICAS S.A.</b>
PAGINA 13 DE 23	<b>PLAN DE CALIDAD FABRICACION Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA</b>

deberán estar cumplidas, controladas y verificadas para empezar los procesos mismos de montaje.

### 12.3 CONTROL EN LA EJECUCIÓN DE LOS PROCESOS

En la ejecución de los procesos se aplicarán los controles establecidos en los Procedimientos, instructivos, o Planes de Puntos de Inspección aprobados. Estos documentos definen los controles y pruebas que se deben realizar a través de todos los procesos, quedando constancia de las inspecciones realizadas en los respectivos Registros de Calidad indicados en dichos documentos.

### 13. VALIDACION DE LOS PROCESOS

Los procesos en los cuales los productos resultantes no puedan verificarse mediante actividades de seguimiento o medición posteriores, deben validarse. Esto incluye a cualquier proceso en el que las deficiencias se hagan aparentes únicamente después de que el producto resultante esté siendo utilizado o el servicio haya sido prestado.

La resistencia de la soldadura no puede garantizarse sólo por los resultados de las inspecciones. Para conocer la resistencia de la soldadura se necesita destruirla, por lo que se requiere la validación de los procesos de soldado, así como la calificación del soldador que va a ejecutar dichos procesos. La validación o calificación demostrará la capacidad de los procesos de soldadura para alcanzar las resistencias requeridas.

Inversiones Metalicas S.A.C. ha evaluado los procesos de soldadura que se llevarán a cabo en el Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA" y ha determinado los procedimientos a ejecutarse, los cuales se encuentran ya calificados de acuerdo al Código AWS D1.5 aplicable a este Proyecto.

Inversiones Metalicas S.A.C. contará, previamente al inicio de los procesos de fabricación, con estos procedimientos pre-calificados a utilizarse en el Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA".

Para asegurar la correcta ejecución de dichos procedimientos, INMETSA calificará a los soldadores que ejecutarán dichos procesos.

El detalle para las Calificaciones se encuentra en el Plan de Puntos de Inspección para las Actividades previas a la Soldadura IM/PP-03 y en la Instrucción Técnica Complementaria IM/ITC-01. Los resultados de las Calificaciones se registrarán en los Formatos IM/PP-03-01, IM/PP-03-02 y IM/PP-03-03.

PC-PTEVIG-001 REV: 01 FECHA: Diciembre 2007	 <b>INVERSIONES METALICAS S.A.</b>
PAGINA 14 DE 23	<b>PLAN DE CALIDAD FABRICACION Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA</b>

### 14. IDENTIFICACION Y TRAZABILIDAD

Todos los productos resultantes de cada proceso, serán identificados para uso exclusivo del Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA". Especial tratamiento recibirán las estructuras metálicas que conformarán el Edificio Metálico mencionado.

Inversiones Metalicas S.A.C. identificará las estructuras del Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA" mediante su codificación respectiva, a través de todos los procesos de construcción.

INMETSA identificará las estructuras que sean inspeccionadas y que presenten alguna No Conformidad, para evitar su uso no intencionado.

Para facilitar la trazabilidad, Inversiones Metalicas S.A.C. controlará y registrará la identificación única de cada estructura del Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA".

Todos los registros de construcción, así como los de Control de Calidad, harán referencia a la identificación o codificación de cada estructura.


### 15. PROPIEDAD DEL CLIENTE

Toda la información, documentación y bienes que reciba Inversiones Metalicas S.A.C. para el Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA" y que sean suministrados por el Cliente, recibirán el tratamiento de bienes de propiedad del Cliente.

INMETSA salvaguardará la confidencialidad de la información y documentación y cuidará los bienes mientras estén bajo su control. Inversiones Metalicas S.A.C. identificará, verificará, protegerá y salvaguardará los bienes que lo requieran. Si alguno de estos bienes se deteriora o de algún modo se considera inadecuado para su uso, será registrado y comunicado a nuestro Cliente.

### 16. PRESERVACION DEL PRODUCTO

Inversiones Metalicas S.A.C. preservará la conformidad de los productos resultantes de los procesos, hasta el destino de los mismos. Esta preservación incluirá la identificación, manipulación, embalaje, almacenamiento y protección, según sea el caso.

PC-PTEVIG-001 REV: 01 FECHA: Diciembre 2007	 <b>INVERSIONES METALICAS S.A.</b>
PAGINA 15 DE 23	<b>PLAN DE CALIDAD FABRICACION Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA</b>

#### 17. CONTROL DE LOS DISPOSITIVOS DE MEDICIÓN

Inversiones Metalicas S.A.C. determinará los dispositivos de medición necesarios para proporcionar la evidencia de la conformidad de los productos resultantes de los procesos con los requisitos establecidos.

Inversiones Metalicas S.A.C. tiene establecida la calibración de los dispositivos de medición para asegurarse de que se cumple con los requisitos de medición.

Para el Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA", los equipos de medición deberán:

- Tener Certificado de Calibración del fabricante en caso de ser nuevos o tener Certificado de Calibración vigente en el caso de no serlo;
- Ajustarse o reajustarse según sea necesario;
- Identificarse para poder determinar el estado de calibración;
- Protegerse contra ajustes que pudieran invalidar el resultado de la medición;
- Protegerse contra los daños y el deterioro durante la manipulación, el mantenimiento y el almacenamiento.


En caso que se detecte que algún equipo de medición no está conforme con los requisitos, se deberá evaluar y registrar la validez de los resultados de las mediciones anteriores. Técnicas Metalicas Ingenieros S.A.C. deberá tomar las acciones apropiadas sobre el equipo y sobre cualquier producto afectado.

Los Certificados de Calibración serán los registros del Control de los Equipos de Medición.

#### 18. SEGUIMIENTO Y MEDICION DE LOS PROCESOS Y PRODUCTOS

El seguimiento y medición de los procesos para el Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA" que se ejecutarán en la Planta de Inversiones Metalicas S.A.C. en Lima, será llevado a cabo por el proceso de Planeamiento y Control de Operaciones de INMETS.A.

El seguimiento y medición de los procesos que se ejecutarán en Obra, será llevado a cabo en el lugar por el profesional que designe la Gerencia de Operaciones de Lima, la cual será informada permanentemente del desarrollo de dichos procesos.

PC-PTEVIG-001 REV: 01 FECHA: Diciembre 2007	 <b>INVERSIONES METALICAS S.A.</b>
PAGINA 16 DE 23	<b>PLAN DE CALIDAD FABRICACION Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA</b>

El seguimiento y medición de los productos, para el Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA", será ejecutado a través del Control de Calidad que detallamos a continuación.

#### 18.1 CONTROL DE CALIDAD POR PROCESOS

Para el Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA", Inversiones Metalicas S.A.C. ha establecido métodos apropiados para el seguimiento y medición, mediante el Control de Calidad de los productos resultantes de los procesos, de manera que se verifique que se cumplen los requisitos y especificaciones técnicas establecidas para el Proyecto.

Este Control de Calidad se realizará en las etapas apropiadas de cada proceso, definidas por el impacto de éstas en el cumplimiento de los requisitos de nuestro Cliente.

El Control de Calidad en los procesos para el Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA" constará de los controles e inspecciones que resumimos a continuación y que se ejecutarán desde la recepción de los materiales, productos y equipos a utilizarse, hasta las instalaciones que se realizarán en el Edificio mencionado.


#### 18.2 CONTROLES E INSPECCIONES

Los controles e inspecciones serán ejecutados durante los procesos siguientes:

- En la recepción en los materiales y suministros que ingresarán a los procesos en Planta y Obra.
- En las etapas previas a la fabricación de las estructuras.
- En los procesos de fabricación de las estructuras.
- Liberación de estructuras para su despacho a Obra.
- En los procesos de montaje de estructuras.
- Control final para entrega al Cliente.

Los controles e inspecciones serán ejecutados de acuerdo a los Procedimientos, Instructivos, Planes de Puntos de Inspección e Instrucciones Técnicas Complementarias elaboradas para este fin.



PC-PTEVIG-001 REV: 01 FECHA: Diciembre 2007	 <b>INVERSIONES METALICAS S.A.</b>
PAGINA 17 DE 23	<b>PLAN DE CALIDAD FABRICACION Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA</b>

Todos los resultados de estos controles e inspecciones serán registrados en los Formatos diseñados para cada uno de ellos y que se indican en cada uno de los documentos antes señalados.

#### 18.2.1 EN LA RECEPCION DE MATERIALES Y SUMINISTROS

Los controles se realizarán en Planta u Obra, según sea el caso, a la llegada de los materiales y suministros para el Proyecto FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA, para verificar el cumplimiento de las especificaciones técnicas.

Tendrá especial importancia la presentación de los Certificados de Calidad correspondientes a los materiales y suministros que así lo requieran. Estos Certificados serán entregados por los proveedores, pero emitidos por los fabricantes. Los Certificados deberán mostrar, de acuerdo al material o producto:

- Identificación del material o suministro.
- Propiedades físicas, químicas y mecánicas, según sea el caso.
- Cumplimiento de cualquier otra especificación establecida por nuestro Cliente.

Los documentos para la ejecución de estos controles son:

- Procedimiento de Inspección en la Recepción de Materiales Productos y Equipos IM-CC/PRO-01.
- Plan de Puntos de Inspección en la Recepción de Materiales, Productos y Equipos IM/PPI-01.

#### 18.2.2 EN LAS ETAPAS PREVIAS A LA FABRICACIÓN

Se realizarán las Calificaciones aplicables a los procedimientos de los procesos de soldadura que se utilizarán en el Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA", así como la Calificación del personal que realizará dichos procesos, de acuerdo al Procedimiento, Plan de

PC-PTEVIG-001 REV: 01 FECHA: Diciembre 2007	 <b>INVERSIONES METALICAS S.A.</b>
PAGINA 18 DE 23	<b>PLAN DE CALIDAD FABRICACION Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA</b>

Puntos de Inspección e Instrucción Técnica Complementaria elaboradas para este fin.

Los documentos para la ejecución de estas Calificaciones son:

- Plan de Puntos de Inspección para las Actividades Previas a la Soldadura IM/PPI-03
- Instrucción Técnica Complementaria para la Calificación de Procedimientos Y Soldadores IM/ITC-01

#### 18.2.3 DURANTE LOS PROCESOS DE FABRICACION

Se realizarán los controles e inspecciones definidos en los Procedimientos, Planes de Puntos de Inspección e Instrucciones Técnicas Complementarias correspondientes a cada proceso del Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA".

Para el caso de Ensayos No Destructivos a la Soldadura como son el Ensayo por Gammagrafía, el Ensayo por Ultrasonido y el Ensayo de Partículas magnéticas, INNETSA realizará estos Ensayos con una empresa de servicios acreditada, incluida entre sus proveedores calificados

Los controles a realizarse en los procesos de fabricación y su documentación correspondiente son:


##### Inspección del Habilitado.

- Procedimiento de Inspección en el Habilitado de Elementos IM-CC/PRO-02
- Plan de Puntos de Inspección para el Habilitado de Elementos IM/PPI-02

##### Inspección Visual de Soldadura.

Se realizarán las inspecciones al 100% de las soldaduras.

- Procedimiento de Inspección en la Soldadura de Elementos IM-CC/PRO-03

PC-PTEVIG-001 REV: 01 FECHA: Diciembre 2007	 <b>INVERSIONES METALICAS S.A.</b>
PAGINA 19 DE 23	<b>PLAN DE CALIDAD FABRICACION Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA</b>

- Plan de Puntos de Inspección para la Soldadura de Elementos IM/PPI-04
- Instrucción Técnica Complementaria para la Inspección Visual de Soldadura IM/ITC-02

**Ensayos No Destructivos.....**

**Ensayo por Gammagrafia.-**

Se realizaran dichos ensayos de acuerdo al código AASHTO/ AWS D1.5: 2008 ACÁPITE 6.7 Nondestructive Testing..

**Ensayo por Ultrasonido.-**

Se inspeccionará por Ultrasonido al 100% de las juntas a tope por penetración total en las alas inferiores de las vigas

**Ensayo por Partículas Magnéticas.-**

Se realizarán dichos ensayos por muestreo a las juntas de penetración parcial y soldadura filete en elementos principales (vigas) según código AASHTO/ AWS D1.5: 2008 ACÁPITE 6.7 Nondestructive Testing.

La documentación a utilizarse será la siguiente:

- Procedimiento de Inspección en la Soldadura de Elementos IM-CC/PRO-03
- Plan de Puntos de Inspección para la Soldadura de Elementos IM/PPI-04
- Procedimientos de Ensayos del proveedor de servicios de Ensayos No Destructivos.

**Inspección del Estructurado.**

- Procedimiento de Inspección en el Estructurado IM-CC/PRO-06
- Plan de Puntos de Inspección para el Estructurado IM/PPI-06

**Inspección del Limpieza Superficial (Arenado).**

- Procedimiento de Inspección en el Arenado de Elementos y Estructuras IM-CC/PRO-04

PC-PTEVIG-001 REV: 01 FECHA: Diciembre 2007	 <b>INVERSIONES METALICAS S.A.</b>
PAGINA 20 DE 23	<b>PLAN DE CALIDAD FABRICACION Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA</b>

- Plan de Puntos de Inspección para el Arenado y Pintado de Elementos y Estructuras IM/PPI-05

**Inspección del Pintado.**

- Procedimiento de Inspección en el Pintado de Elementos y Estructuras IM-CC/PRO-05
- Plan de Puntos de Inspección para el Granallado y Pintado de Elementos y Estructuras IM/PPI-05

**18.2.4 LIBERACION DE ESTRUCTURAS PARA DESPACHO A OBRA**

Antes del despacho a Obra se realizará el Control Final en Planta, que comprenderá:


- La verificación documentaria de la realización de todos los controles e inspecciones definidos para cada estructura, así como de la conformidad de dichos controles e inspecciones.
- La inspección integral de los elementos a despachar.
- La Liberación de las estructuras para su despacho.

Los documentos para la ejecución de este Control final son:

- Procedimiento de Inspección para la Liberación de Elementos IM-CC/PRO-07
- Plan de Puntos de Inspección para la Liberación de Elementos IM/PPI-07

**18.2.5 DURANTE LOS PROCESOS EN OBRA**

El Control de Calidad en los procesos correspondientes a Obra, en el Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA" estará a cargo de personal especializado y contará con documentación específica para dichos procesos, que se realizarán en el lugar de la Obra.

PC-PTEVIG-001 REV: 01 FECHA: Diciembre 2007	 <b>INVERSIONES METALICAS S.A.</b>
PAGINA 21 DE 23	<b>PLAN DE CALIDAD FABRICACION Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA</b>

Para el caso de Ensayos especializados como los Ensayos No Destructivos a la soldadura que sean requeridos, éstos serán ejecutados por empresas de servicios acreditadas y evaluadas por Inversiones Metalicas S.A.C. en las cantidades que se determinarán a partir de los Planos de Montaje aprobados.

A continuación, presentamos un extracto con lineamientos generales del Manual de Control de Calidad en Obra.

#### A) EN LOS PROCESOS DE MONTAJE

Se realizarán las siguientes inspecciones:

- Replanteo Topográfico Preliminar.
- Recepción e Inspección.
- Ubicación de Soldadura en Obra.
- Inspección Visual de Soldadura en Obra.
- Inspección de Ajuste de Pernos.
- Verificación y Control dimensional.
- Control Topográfico de Montaje.
- Inspección General en Obra.
- Control Final de Montaje.

Adicionalmente, sobre la soldadura en Obra se realizará:

- Ultrasonido.
- Gammagrafía

#### 18.2.6 CONTROL FINAL PARA ENTREGA AL CLIENTE

Antes de la entrega al Cliente, Inversiones Metalicas S.A.C. realizará un control final físico y documental, para verificar el cumplimiento de todos los requisitos de nuestro Cliente.

PC-PTEVIG-001 REV: 01 FECHA: Diciembre 2007	 <b>INVERSIONES METALICAS S.A.</b>
PAGINA 22 DE 23	<b>PLAN DE CALIDAD FABRICACION Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA</b>

El control final documentario incluye la presentación del Dossier de Calidad del Proyecto, detallado en el siguiente acápite.

TM realizará la entrega del Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA", de acuerdo a las estipulaciones del Cliente.

#### 18.3 REGISTROS DEL CONTROL DE CALIDAD

Todos los Procedimientos, Instructivos, Planes de Puntos de Inspección e Instrucciones Técnicas Complementarias que forman parte del Plan de Aseguramiento de Calidad para el Proyecto de Ingeniería y Construcción del Proyecto "FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA", hacen referencia a los registros en los que se dejará evidencia de los controles realizados y de la conformidad con los requisitos establecidos por nuestro Cliente.

Dichos registros indican la(s) persona(s) que autoriza(n) la liberación de los materiales, productos o equipos en sus diferentes procesos y en el control final.


Al finalizar el Proyecto, Inversiones Metalicas S.A.C. entregará un Dossier de Calidad conteniendo toda la Documentación de Calidad correspondiente a éste, incluidos los Registros de Calidad. Si nuestro Cliente lo requiere, INMETSA entregará con la frecuencia que se determine, los Registros de Calidad de los procesos ejecutados en ese periodo. INMETSA conservará un ejemplar del Dossier de Calidad por espacio de tres años, manteniéndolo identificado, protegido y fácilmente recuperable durante ese periodo.

#### 19. CONTROL DEL PRODUCTO NO CONFORME

Inversiones Metalicas S.A.C. tiene establecida la metodología para el Control de los Productos No Conformes.

Con esta metodología se asegura de que el producto que no sea conforme con los requisitos, se identifica y controla para prevenir su uso y entrega no intencional. Los controles, las responsabilidades y autoridades relacionadas con el tratamiento del producto no conforme están definidos.

Para el Proyecto de FABRICACIÓN Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA, Inversiones Metalicas S.A.C. aplicará este tratamiento a las estructuras del Proyecto que no cumplan con algún requisito establecido:

PC-PTEVIG-001 REV: 01		<b>INVERSIONES METALICAS S.A.</b>
FECHA: Diciembre 2007		
PAGINA 23 DE 23	<b>PLAN DE CALIDAD FABRICACION Y MONTAJE DEL PUENTE CATARATA</b>	

- Tomando acciones para eliminar la no conformidad detectada.
- Autorizando su uso, liberación o aceptación bajo concesión por una autoridad pertinente y la aprobación de nuestro Cliente.
- Tomando acciones para impedir su uso o aplicación originalmente previsto.

Se mantendrán registros de la naturaleza de las no conformidades y de cualquier acción tomada posteriormente, incluyendo las concesiones que se hayan obtenido.

Cuando se corrija una no conformidad, deberá someterse a una nueva verificación para demostrar su conformidad con los requisitos.

Los registros del Tratamiento de No Conformes serán realizados en el Formato:

- Formato para Informe de No Conformidad IM/PLC-01

# **ANEXO J**

## **Plan de Mantenimiento**

**PLAN DE MANTENIMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS METÁLICAS DEL "PUENTE CATARATA"**

ITEM	TIPO DE MANTENIMIENTO	FRECUENCIA	PERSONAL ENCARGADO	ACTIVIDADES
1	MANTENIMIENTO RUTINARIO	12 meses	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Ingeniero Inspector.</li> <li>·Técnicos de mantenimiento.</li> <li>·Ingeniero de seguridad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Revisar señalizaciones, pintura, alumbrado, etc.</li> <li>·Limpieza de acotamientos drenes, lavaderos, estribos.</li> <li>·Limpieza y rehabilitación del cauce.</li> <li>·Recarpelido de los accesos del puente.</li> <li>·Protecciones contra socavaciones en los esribos.</li> <li>·Reacondicionamiento de parapetos dañados.</li> <li>·Limpieza o rehabilitación de las juntas de dilatación.</li> <li>·Limpieza o protección de los apoyos.</li> <li>·Limpieza superficial de las estructuras metálicas.</li> <li>·Inspección a las juntas soldadas.</li> <li>·Reparación de zonas o puntos de corrosión.</li> <li>·Medición de la contra flecha.</li> </ul>
2	MANTENIMIENTO PERIODICO	15 años	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Ingeniero Inspector.</li> <li>·Técnicos de mantenimiento.</li> <li>·Técnico montajista.</li> <li>·Ingeniero de seguridad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Cambio de los apoyos.</li> <li>·Cambio de las juntas de dilatación.</li> <li>·Limpieza y pintado de las estructuras metálicas.</li> </ul>
3	MANTENIMIENTO POR EMERGENCIA	Ante la presencia de derrumbes, inundaciones, terremotos, sobrecargas, etc.	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Ingeniero Inspector.</li> <li>·Técnicos de mantenimiento.</li> <li>·Técnico montajista.</li> <li>·Fabricante de estructuras metálicas.</li> <li>·Ingeniero de seguridad.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>·Dependiendo del acontecimiento un reforzamiento, un cambio de elementos o la reposición parcial o total de la estructura.</li> </ul>