

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: MARTÍN ROMO
GUZMÁN

FECHA: 08-Enero-2004

FIRMA: [Firma]



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ACATLÁN

**PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL
PUENTE CHIAPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO**

**MEMORIA DE DESEMPEÑO PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN
INGENIERO CIVIL**

PRESENTA:

MARTÍN ROMO GUZMÁN



Asesor Ing. Dario Rivera Vargas.

MÉXICO D.F.

2004

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

ACATLÁN

COORDINACIÓN DEL PROGRAMA DE INGENIERÍA

NOMBRE DEL ALUMNO:

ROMO GUZMÁN MARTÍN

NO. DE CUENTA:

8954900-3.

GENERACIÓN:

89 - 93.

DOMICILIO:

**CALLE TETOYUCÁN NO. 22
LA CONCEPCIÓN TULTITLÁN
ESTADO DE MÉXICO.**

TELÉFONO:

5 - 8 7 0 - 2 3 - 8 2

**MEMORIA DE DESEMPEÑO PROFESIONAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE LICENCIADO EN INGENIERO CIVIL**

MÉXICO D.F.

2003.

DEDICO ESTE TRABAJO

A MI ESPOSA MIS PADRES MIS HERMANOS

Mi más profundo agradecimiento a las personas antes mencionadas ya que ellos me impulsaron y motivaron durante todo el ciclo de estudios a dar mi mayor esfuerzo.

A mis padres por sus desvelos, preocupaciones y a la confianza brindada de poder salir adelante, no me queda más que sentirme orgulloso de ellos, y dar gracias a Dios por la oportunidad brindada de llegar al término de mis estudios.
Así mismo dedico esta obra a mi esposa por su comprensión cariño y amor brindado.

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

A TODOS LOS PROFESORES Y PERSONAS QUE HACEN POSIBLE LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO, LES REITERO MI MÁS PROFUNDO AGRADECIMIENTO, Y EN ESPECIAL AL MAESTRO DARÍO RIVERA VARGAS.

“PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIAPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO”

Introducción.....1

Objetivo general.....4

CAPÍTULO 1 ASPECTOS GENERALES DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIAPAS 1

1.1	Descripción general del puente.....	6
1.2	Definición de puente ortotrópico.....	8
1.3	Consideraciones de diseño.....	9
1.4	Contraflechas y deflexiones del puente.....	19
1.5	Requisitos geométricos.....	24
1.6	Calidad del acero.....	29
1.7	Tolerancias dimensionales.....	31

CAPÍTULO 2 ESPECIFICACIONES DE UNIONES DE SOLDADURA APLICABLES A LA CONSTRUCCIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA

2.1	Especificaciones y clasificación de uniones de soldadura.....	37
2.2	Prioridades en la ejecución de soldaduras y tipo metal de aporte utilizado....	44
2.3	Procesos y procedimientos de soldadura.....	50
2.4	Calificación de soldadores.....	60
2.5	Certificación en la inspección de soldaduras.....	63

CAPÍTULO 3 PROCEDIMIENTO DE ENSAMBLE Y EMPUJADO DE DOVELAS

3.1- Fosa de ensamble y armado.....	68
3.2- Estructuras auxiliares en la superestructura.....	70
3.3- Proceso de ensamble de dovelas.....	77
3.4- Proceso de empujado de los ciclos de armado de dovelas.....	86

CAPÍTULO 4 CONTROL DE CALIDAD DE SOLDADURAS EN EL ENSAMBLE DE LA SUPERESTRUCTURA

4.1- Control de calidad de la unión de elementos a base de soldadura	
4.1.1- Control de calidad.....	100
4.1.2- Defectos de soldadura.....	101
4.1.3- Proceso de soldadura y control de almacenaje de electrodos.....	115
4.2 - Jerarquización y tipo de uniones de soldadura.....	116
4.3 - Hojas de control en la inspección de equipos, personal y variables de soldadura.....	127

CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES

Apéndice

Fotografías del proceso constructivo del puente "Chiapas 1"

Referencias

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se ha realizado con la finalidad de mostrar las experiencias adquiridas en el proceso constructivo de la superestructura del puente "Chiapas 1", el cual se construirá con base en una estructuración poco común en el país, por lo que será interesante presentar los aspectos constructivos y las especificaciones técnicas que se emplearán en este proyecto.

La construcción del Puente "Chiapas" se encuentra ubicada en el embalse de la presa Nezahualcoyotl, mejor conocida como Malpaso, y formará parte del tramo carretero Las Choapas-Ocozocuahtla, de la carretera Cosoleacaque-Tuxtla Gutiérrez; su objetivo es comunicar en forma directa a los estados de Veracruz y Chiapas, mediante una ruta que atraviesa la accidentada orografía de la Sierra Chiapaneca.

Así mismo, esta vía permitirá complementar la vía nacional más corta para cruzar el país en dirección sur-norte, convirtiéndose en el principal centro intercambiario terrestre de carga con los Estados Unidos.

Cabe destacar que el proyecto general representa una obra de ingeniería de gran trascendencia para el país, particularmente la construcción del Puente "Chiapas 1", lo que se traduce en la recuperación de la ingeniería mexicana en la escala mundial, ya que los procedimientos constructivos que se describirán a lo largo de este trabajo son innovadores para elementos de acero así como estructuras a base de cajón con placas ortotrópicas, formado por 102 dovelas cuya estructura de apoyo es de columnas metálicas tipo "jackets"; usados en plataformas marinas, cabe destacar que el 100% de la construcción del puente es de acero.

Este es un proyecto impresionante y especial, en el que se utilizan procedimientos nunca antes usados en México y en el mundo; basados en la ingeniería de plataformas marinas, adaptada a la construcción del puente.

La superestructura del puente "Chiapas 1", estará formada por una estructura metálica, sección cajón de placa ortotrópica de 1,208 m de longitud; en dovelas de secciones de 12.0 m. prefabricadas en taller a base de 10 elementos para poder ser ensamblados en campo, constituido por ocho claros entre apoyos: cinco de ellos de 168 m, y tres mas de 152 m, 124 m, y 92 m.

La estructura de las dovelas será constituida de un acero A572 GRADO-50, el cajón tendrá un peralte constante de 5.5 m, en cuyo patín superior se depositará una capa de concreto asfáltico de 5 cm de espesor.

La construcción del puente se desarrollará en dos etapas, en la primera de ellas se construirán elementos de 10.0 m de ancho, para alojar dos carriles de circulación, y con base en la demanda de tránsito se podrá ampliar a 16 m para alojar 4 carriles.

El procedimiento constructivo de la superestructura consistirá en el ensamble, armado y empujado de los elementos prefabricados en el taller, el cual se desarrollará en un cajón de concreto con una longitud de 340 m de longitud; se utilizará una nariz de empuje con una longitud de 44 m y un peso de 102 t, además de un mástil de 42 m de altura y un peso de 109 t el cual servirá de apoyo para tensar la estructura volada durante el proceso de empujado; el peso total de la superestructura será de 9,000 t.

La subestructura del puente estará constituida por 7 apoyos y 2 estribos de concreto reforzado, los apoyos y pilas tendrán alturas entre los 27 y 89 m desde el fondo del embalse hasta el nivel de apoyo de la superestructura; el acero empleado será un A-36, conformados a base de una estructura de plataformas tipo marina, formados cada uno de ellos por cuatro tubos verticales de 2.77 m de diámetro exterior, separados entre sí de eje a eje 10 m y 18 m longitudinal y transversalmente, respectivamente con excepción de las pilas 2 y 8, las cuales tendrán secciones de 10 x 10 m.

Estos tubos trabajarán como "patas" de pila ligados mediante contraventeos horizontal y vertical con tubo de menor diámetro. La subestructura se construirá en un patio de armado ubicado a 6.5 km de la posición final de la subestructura, desde donde se botarán a la presa y se transportarán hasta el lugar de su posición final de acuerdo al proyecto; el peso total de la subestructura será de 5,700 t.

Este trabajo se enfocará directamente a las especificaciones y actividades de armado, así como del ensamble y etapas de empuje de la superestructura del Puente "Chiapas 1", mencionando únicamente los datos generales de la subestructura en esta introducción.

El proceso constructivo del puente "Chiapas 1" se divide en tres partes:

La primera es la construcción de la subestructura hasta la condición del izaje de las pilas. La segunda implica la construcción de la cimentación de las pilas y cabezales de apoyo para la superestructura. Mientras que la tercera es el ensamble, armado y empujado de la superestructura. Es importante señalar que a diferencia de una obra tradicional en la que normalmente se inicia por la cimentación, luego se colocan apoyos o columnas y finalmente la estructura principal, en el puente primero se harán las pilas, después se procederá a la perforación para la construcción de la cimentación profunda, concluyendo con la fabricación y lanzamiento de la superestructura.

Objetivo general:

El presentar los aspectos más relevantes del ensamble y armado de dovelas de acero en sitio, del Puente "Chiapas 1", radica en describir las experiencias adquiridas en relación a las consideraciones y procesos de ingeniería implementadas en el primer puente de estas características que se construirá en el país.

Además de analizar y describir las posibles dificultades que se presentarán en el ensamble y armado de la estructura considerando los aspectos de tolerancias dimensionales para asegurar que las secciones especificadas de proyecto cumplan con todos los requerimientos geométricos que se presentan en los planos de armado.

Así mismo el considerar las características y las propiedades más significativas de los materiales que se utilizarán en el proceso constructivo y con el cual se diseñaron, ya que al tratarse de una superestructura con claros libres de 162 m, apoyados simplemente; y los aspecto de calidad de los materiales y los trabajos a realizarse se vuelven fundamentales para poder finalizar los trabajos en los programas establecidos.

De esta forma se busca que el trabajo sirva como una fuente de información en relación a los métodos, y normas aplicables a un proyecto de esta magnitud.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ENEP ACATLÁN**

TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIAPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO.				
No. de Sección:	PÁGINA:	ELABORÓ:	REVISÓ	FECHA.
Capítulo 1	5	Martín Romo G.	Ing. Darío Rivera Vargas	29/09/03

CAPÍTULO 1

ASPECTOS GENERALES DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIAPAS 1

1.1-	Descripción general del puente	6
1.2-	Definición de puente ortotrópico	8
1.3-	Consideraciones de diseño.....	9
1.4-	Contraflechas y deflexiones del puente.....	19
1.5-	Requisitos geométricos.....	24
1.6-	Calidad del acero.....	29
1.7-	Tolerancias dimensionales.....	31

1.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PUENTE

El puente "Chiapas 1" es uno de los dos puentes que cruzarán la presa Nezahualcóyotl, como parte de la carretera Las Choapas-Ocozocoautla. El puente posee características poco comunes por sus dimensiones, su sistema estructural y su procedimiento de construcción. El puente tiene una longitud total de 1,208 m con ocho claros; uno de 124 m, cinco de 168 m, uno de 152 m y uno de 92 m; en la figura 1.1.1 se muestra el eje de trazo del puente. El puente es tangente y sin curvatura vertical. Sus apoyos extremos son de concreto reforzado; las pilas intermedias son tipo "jacket" con cabezales de concreto, y tienen alturas que superan los 100 m y tirantes de agua del orden de 60 m.

El puente proporcionará un gran aporte en el ámbito socioeconómico ya que será parte del corredor comercial de enlace con Panamá, beneficiando a las poblaciones de Chiapas, Veracruz y Tabasco principalmente.



Fig. 1.1.1 Ubicación del puente

La superestructura está formada por una trabe-cajón ortotrópico de acero con patines a base de placas, con un peralte de 5.50 m y un ancho de 5.40 m. El patín superior, que sirve a su vez de superficie de rodamiento, tiene un ancho de 10 m en su fase inicial, para dos carriles de tránsito. El diseño prevé que en el futuro la superestructura se pueda ampliar a cuatro carriles de tránsito, con la incorporación de una sección adicional de 3.00 m a cada lado, con lo cual aumentará el ancho del patín superior a 16 m (Ver Fig. 1.1.2 y 1.1.3.). La trabe se ensamblará

dentro de un cajón de empujado, ubicado en uno de los extremos del puente, y estará formada por 102 dovelas de 12 m de longitud. Sobre el patín superior se colocará una superficie de rodamiento de 5 cm de asfalto.

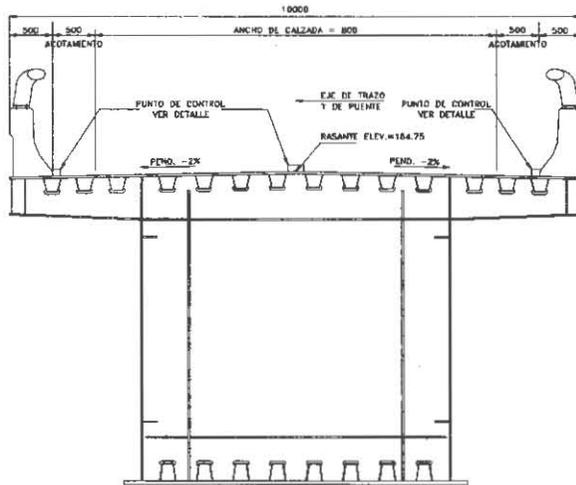


Fig. 1.1.2 Sección transversal, 1ª etapa- 2 carriles

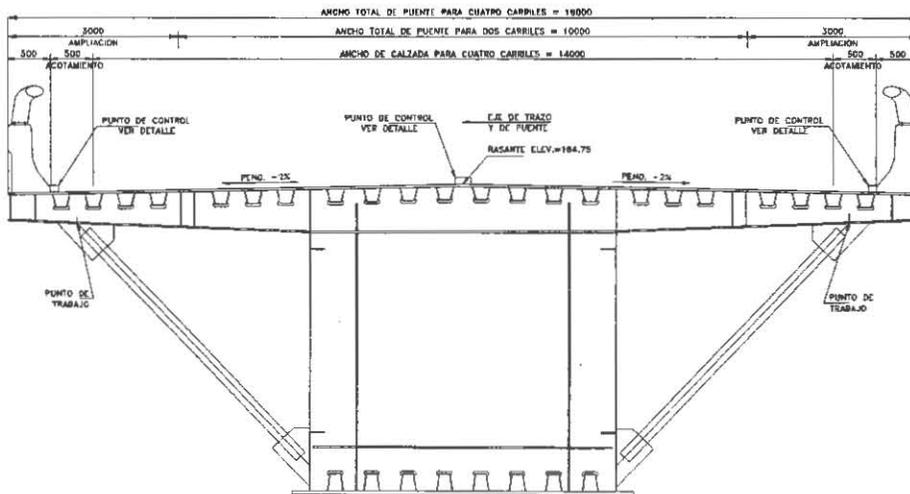


Fig. 1.1.3 Sección transversal, 2ª etapa- 4 carriles

Lo que hace a este puente especial es el procedimiento constructivo de la superestructura, ya que las dovelas una vez ensambladas en el cajón, son empujadas por un sistema de gatos hidráulicos hacia las pilas, que avanzan progresivamente en voladizo, deslizándose sobre apoyos recubiertos de teflón, hasta cubrir toda la longitud del puente. Aunque el sistema de empujado se ha empleado en varias ocasiones en México y en otros países, no hay antecedentes del empleo de este sistema para claros del tamaño de los de este puente. Las solicitaciones que se inducen durante el empujado representan una condición crítica para el diseño del puente. Para reducir dichas solicitaciones el proyecto prevé la colocación de un sistema de mástil y tirantes.

1.2 DEFINICIÓN DE PUENTE ORTOTRÓPICO

Desde 1946, en el diseño de puentes se ha adoptado la construcción de grandes travesaños armados a base de placas con ancho completo de calzada que a su vez hace las veces de patín de compresión. A este tipo de estructura para puente se le denomina puente **“ortotrópico”** o de placas **“ortotrópicas”**.

La construcción de puentes **“ortotrópicos”** se inicia después de la segunda guerra mundial como resultado de la necesidad de puentes de caminos con grandes claros por salvar.

Los puentes de placas ortotrópicas consisten en tableros ortotrópicos que actúan integralmente en un emparrillado de soporte, formado por travesaños, vigas y atiesadores que para el caso del proyecto los denominaremos bulbos de rigidez, estos se colocarán en una sola dirección en el sentido longitudinal del puente, lo suficientemente cercanos entre ellos para poder desarrollar los procesos de soldadura, y tomando en cuenta que para el diseño únicamente se considera una rigidez promedio por unidad de ancho de la sección de la placa, de 6.0 m en patín inferior y 10.0 m en patín superior como se muestra en la figura 1.2.1.

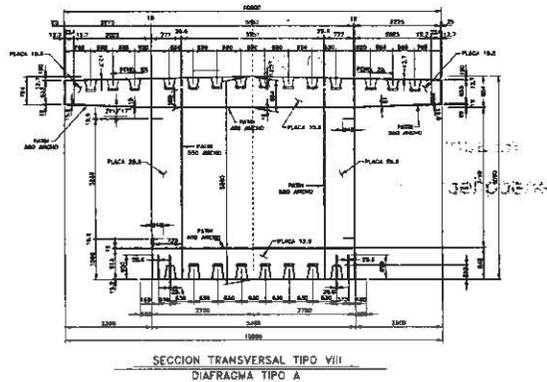


Fig. 1.2.1 Sección transversal de dovela tipo

Existen dos tipos diferentes de tableros o placas de tipo “ortotrópico”; los primeros son tableros torsionalmente “suaves”, que consisten en placas que trabajan como atiesadores abiertos, tales como ángulos, soleras, y secciones estructurales en “T”; los segundos son tableros torsionalmente rígidos que consisten en placas con atiesadores cerrados como son los bulbos inferiores y superiores de las placas de forma trapezoidal, tal como se ilustra en la figura 1.2.1.

1.3 CONSIDERACIONES DE DISEÑO

En lo que sigue se hará una revisión superficial de las consideraciones de diseño puesto que no es objetivo del trabajo profundizar en esta temática sin embargo, se considera pertinente hacer esta revisión como parte de los aspectos generales considerados en su proceso constructivo.

El proceso de la superestructura envolvió una revisión detallada en su diseño, y como en la mayoría de los proyectos surgieron consideraciones posteriores al proyecto final, siendo objeto de diversas versiones y modificaciones. Para la licitación de la superestructura se empleó un juego de 144 planos, que posteriormente fue ampliado y detallado para dar lugar a la llamada “revisión cero” de los planos, con la que se inició la construcción y elaboración de los planos de taller. A esta versión se hicieron modificaciones durante el procedimiento de empujado, consistiendo principalmente en la reducción de la longitud de la “nariz” que antecede al puente y por consiguiente en el refuerzo del patín inferior, así como la división de 10 elementos por dovela.

En las figuras 1.3.1, y 1.3.2 se presenta el esquema general del proyecto "Puente Chiapas 1", visualizando los claros antes mencionados en el punto 1.1. El tipo de apoyos que conformará la subestructura son tipo "jacket", formados por tubos de acero estructural A-36, los niveles hidrológicos que se presentan en el embalse de la presa "Netzhualcoyoti", y en la figura 1.3.3; se muestra un croquis de la rasante del puente en la que se observa los casi 100 m a los que se desplantará la subestructura.

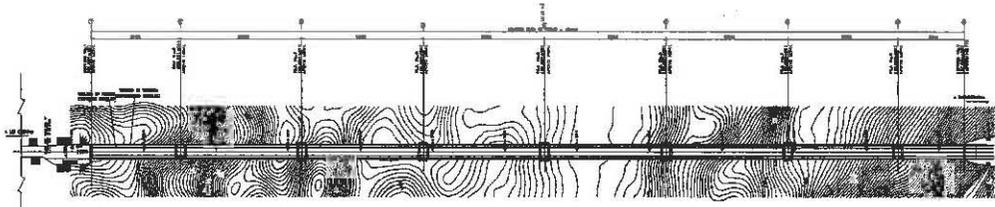


Fig. 1.3.1 Vista en planta del Puente

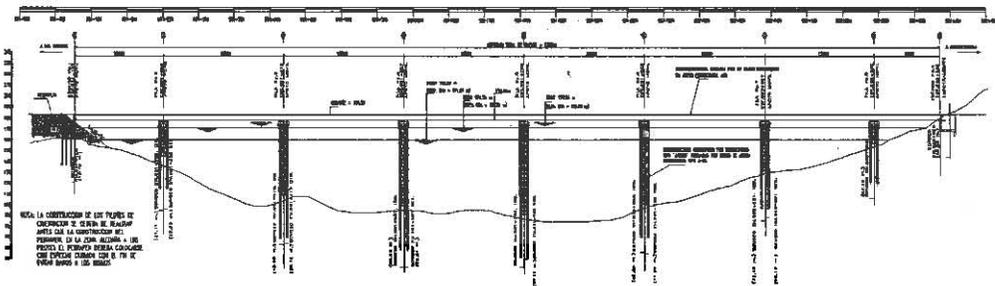


Fig. 1.3.2 Vista de elevación del Puente

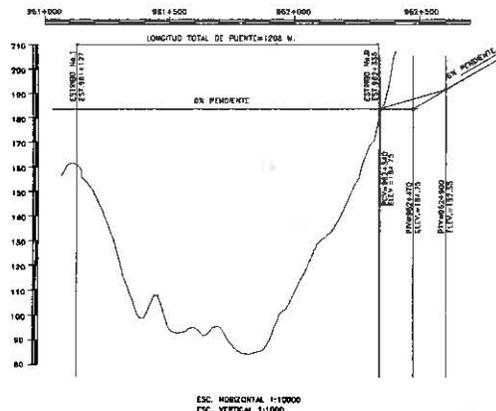


Fig. 1.3.3 Croquis de rasante del puente

Los criterios de diseño que estableció el proyectista se consideraron adecuados; fueron aceptados por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, y no han sido objetados por ninguno de los consultores que revisaron la seguridad del puente.

De acuerdo con los criterios de cálculo se adoptaron las normas AASHTO en su versión de 1996. En particular el diseño se desarrolló con el método de esfuerzos permisibles que ha sido ampliamente usado en el diseño de estructuras metálicas de puentes.

Sin embargo se usó la versión 2000 de las normas AASHTO para una nueva revisión de la seguridad del puente en sus condiciones actuales, considerando la necesidad de modificar algunos refuerzos integrales en las almas de las dovelas por considerarles insuficientes en el diseño por cortante.

Las acciones consideradas en el diseño del puente “Chiapas 1”, fueron todas aquellas cuya combinación tenga una probabilidad no despreciable de ocurrir simultáneamente. Así con el objeto de formar combinaciones de diseño de acuerdo con la duración e intensidad máxima de aplicación sobre la estructura, se establece la siguiente clasificación.

CLASIFICACIÓN

1.- Acciones permanentes

Son aquellas sollicitaciones que de forma continua aplican sobre la estructura y en la que su intensidad se considera que no varía con el tiempo, considerando las siguientes:

- a) **Carga muerta.-** La carga muerta es el peso neto de los elementos de la superestructura, como todos aquellos materiales que de forma inicial o posterior ocupen una posición fija y permanente en la construcción. En la tabla 1.3.1 se ilustran cargas muertas de los materiales que intervendrán en la construcción del puente.

SUBESTRUCTURA	
LIMPIEZA DEL FONDO DEL EMBALSE DE LA PRESA	7 PILA
EXCAVACION PARA ESTRUCTURAS	
EXCAVACION CUALQUIERA QUE SEA SU CLASIFICACION O	11640 M ³
PROFUNDIDAD EN ESTRIBO No 9	
RELLENOS	
DE EXCAVACIONES PARA ESTRUCTURAS CON MATERIAL CLASIFICADO COMPACTADO AL 95% DE LA PRUEBA PROCTOR	1755 M ³
CONCRETO HIDRAULICO	
PILOTES COLADOS EN EL LUGAR DE 150 M. DE DIAMETRO DENTRO DE UNA PERFORACION PREVIA EN CUALQUIER TIPO DE MATERIAL UTILIZANDO	
CONCRETO f'c=250 kg/cm ² COLADO EN AGUA Y/O SECO	787 M ³
PILOTES COLADOS EN EL LUGAR DE 250 M. DE DIAMETRO DENTRO DE UNA PERFORACION PREVIA EN CUALQUIER TIPO DE MATERIAL UTILIZANDO	
CONCRETO f'c=300 kg/cm ² COLADO EN AGUA	4463 M ³
PILOTES COLADOS EN EL LUGAR DE 250 M. DE DIAMETRO DENTRO DE UNA PERFORACION PREVIA EN CUALQUIER TIPO DE MATERIAL UTILIZANDO	
CONCRETO f'c=400 kg/cm ² COLADO EN AGUA	2293 M ³
CONCRETO HIDRAULICO COLADO EN SECO:	
DE f'c=250 KG/CM ² EN CABEZAL, TOPES Y DIAPHRAGMAS DE CABALLETE No 1	574 M ³
DE f'c=250 KG/CM ² EN CUERPO DE ESTRIBO No. 9	2321 M ³
DE f'c=250 KG/CM ² EN ZAPATA Y DENTELON DE ESTRIBO No. 9	672 M ³
DE f'c=250 KG/CM ² EN LOSAS DE ACCESO	95 M ³
DE f'c=250 KG/CM ² EN PARAPETOS SOBRE ESTRIBOS	39 M ³
ACERO PARA CONCRETO HIDRAULICO	
ACERO DE REFUERZO VARILLAS DE LIMITE ELASTICO IGUAL O MAYOR A 4000 KG/CM ²	796509 KG
ESTRUCTURAS DE ACERO	
ACERO ESTRUCTURAL EN PILASA-26 Y A-53 GRADO B)	
PILA No.2	393108 KG
PILA No.3	501625 KG
PILA No.4	7056218 KG
PILA No.5	1126166 KG
PILA No.6	1051937 KG
PILA No.7	644935 KG
PILA No.8	267034 KG
RECUBRIMIENTO DE PROTECCION ANTICORROSIVA	45696 M ²
CONECTORES DE CORTANTE TIPO MELLEN O SIMILAR DE ACERO ASTM A-108 DE 180 CM DE ALTURA Y 19 CM DE DIAMETRO	56516 PZA
APUYSOS ESPECIALES DE NEOPRENO REFORZADO DE DUREZA SHORE 60	10 DR

SUPERESTRUCTURA	
ACERO ESTRUCTURAL EN CAJON ORTOSTATICO FORMADO A BASE DE PLACAS	
NETALIAS DE ACERO ASTM A309 GRADO 50	990000 KG
RECUBRIMIENTO DE PROTECCION ANTICORROSIVA	15492 M ²
CONECTORES DE CORTANTE TIPO MELLEN O SIMILAR DE ACERO ASTM A-108 DE 180 CM DE ALTURA Y 19 CM DE DIAMETRO	866 PZA
BARRA DE SOLACION METALICA BENTADA DE 19 METROS DE LONGITUD Y QUE PERMITA DESPLAZAMIENTOS DE 2500 MM	1 PZA
APUYSOS ESPECIALES UNIDIRECCIONALES PARA ESTRIBO No.1 DE 400 TON. DE CAPACIDAD VERTICAL Y DE 120 TON. DE CAPACIDAD TRANSVERSAL CADA UNO Y CON CAPACIDAD PARA ABSORBER DESPLAZAMIENTOS LONGITUDINALES DE ± 50 CM Y GROS DE ± 800 RADIANES	2 PZA
APUYSOS ESPECIALES UNIDIRECCIONALES PARA PILAS 2 Y 6 DE 1200 TON. DE CAPACIDAD VERTICAL Y DE 350 TON. DE CAPACIDAD TRANSVERSAL CADA UNO Y CON CAPACIDAD PARA ABSORBER DESPLAZAMIENTOS LONGITUDINALES DE ± 70 CM Y GROS DE ± 100 RADIANES	1 PZA
APUYSOS ESPECIALES UNIDIRECCIONALES PARA PILA 3, 4 Y 5 DE 1200 TON. DE CAPACIDAD VERTICAL Y DE 300 TON. DE CAPACIDAD TRANSVERSAL CADA UNO Y CON CAPACIDAD PARA ABSORBER DESPLAZAMIENTOS LONGITUDINALES DE ± 80 CM Y GROS DE ± 100 RADIANES	6 PZA
APUYSOS ESPECIALES UNIDIRECCIONALES PARA PILA No.7 DE 1200 TON. DE CAPACIDAD VERTICAL Y DE 350 TON. DE CAPACIDAD TRANSVERSAL CADA UNO Y CON CAPACIDAD PARA ABSORBER DESPLAZAMIENTOS LONGITUDINALES DE ± 40 CM Y GROS DE ± 800 RADIANES	2 PZA
APUYSOS ESPECIALES UNIDIRECCIONALES PARA PILA No.8 DE 1200 TON. DE CAPACIDAD VERTICAL Y DE 300 TON. DE CAPACIDAD TRANSVERSAL CADA UNO Y CON CAPACIDAD PARA ABSORBER DESPLAZAMIENTOS LONGITUDINALES DE ± 40 CM Y GROS DE ± 800 RADIANES	2 PZA
BRUNES DE PLASTICO BUNDELIX "P" O SIMILAR DE 76 MM DE DIAMETRO Y 250 MM DE LONGITUD	590 PZA
CONCRETO f'c=250 KG/CM ² EN GUARNICION	590 M ³
ACERO DE REFUERZO LE-4000 KG/CM ² EN GUARNICION	12915 KG
ACERO ESTRUCTURAL A-36 EN PARAPETOS Y PILASTRAS	4106 KG
CAPA DE RODAMIENTO DE 5 CM DE ESPESOR	10881 M ²
SISTEMA DE LIGA DE CARPETA ASFALTICA CON EL ACERO	12090 M ²
RIEGO DE SELLO CON MATERIAL 3C	12881 M ²
Puerta METALICA DE ACCESO AL TABLERO POR EL ESTRIBO No.1	1 PZA
ACCESOS	
PEDRAPLEN	91600 M ³
BASE HIDRAULICA	798 M ³
BASE ASFALTICA	318 M ³
DEFENSA DE LAMINA DE ACERO GALVANIZADA DE TRES CRESTAS	506 M
CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO COMPACTADA AL 95% DUREZTA 1	246 M ²
FINCO POR CIENTO	298400 M ³
EXCAVACION EN PARQUE DE FABRICACION DE BOVELAS	29748 M ³
RELLENO EN PARQUE DE FABRICACION DE BOVELAS	

Tabla 1.3.1 Cargas muertas que intervendrán en la construcción del puente

b) **Empuje estático de líquidos.**-La presión de los tirantes de agua es otra de las sollicitaciones permanentes a considerar en la subestructura. En la figura 1.3.4 se muestran los niveles de agua en el embalse a partir de 1964, en el cual se aprecia que la tendencia ha sido la de elevar los niveles de agua, aspecto que se considera para el diseño de la estructura.

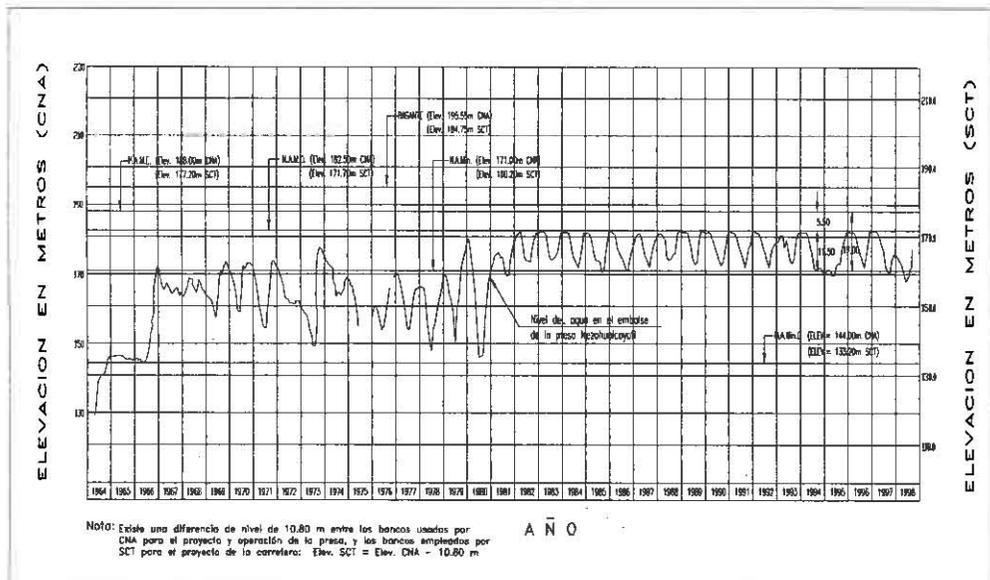


Fig. 1.3.4 Niveles del embalse

2.- Acciones variables

Son todas aquellas solicitaciones que actúan sobre la estructura con una intensidad variable con respecto a la vida de trabajo de la estructura, considerando las siguientes.

- a) **Carga viva.-** La carga viva es el peso neto de los elementos que se aplican en la construcción de la estructura y que no tienen carácter de permanente.
- b) **Efectos de temperatura.-** Para este caso se debe tomar en consideración el gradiente de temperatura que predomina en la zona. Para la estructura del puente se considera un diferencial de temperatura y un gradiente entre patín superior e inferior de 15° C de diseño, el cual es estimado de los valores máximos y mínimos promedio de temperatura en la ciudad de Tuxtla Gutiérrez Chiapas; 32.2 máxima y 16.4 como mínima.

Para evaluar los efectos por cambio de temperatura en los patines superiores he inferiores de la estructura en una dovela del puente, se devén considerar las propiedades térmicas y grados de exposición de la estructura en función de las siguientes expresiones:

$$\Delta L_{21} = CL_1 (\Delta T_{21})$$

$$\Delta K_{21} = C (\Delta G_{21})$$

Donde:

ΔL_{21} = Cambio total de longitud de un miembro al cambiar su temperatura media entre un valor T1 y T2,.

L1= Longitud del miembro a la temperatura media T1.

ΔT_{21} = $.875 \times T_2 - T_1$, incremento de temperatura media.

c= Coeficiente térmico de expansión lineal, para el acero = $.0000120 (1/^{\circ}C)$.

ΔK_{21} = Cambio total en curvatura de un miembro

ΔG_{21} = $\Delta G_2 - \Delta G_1$, incremento de gradiente medio de temperatura, considerar $.18$

De estas fórmulas se deduce que el cambio total de longitud para un patín es de 2.16 cm, y el cambio total de curvatura es de $.02$ cm.

(Diseño de estructuras de acero Bresler 1982)

- c) **Efectos de carga de operación.-** son todas aquellas fuerzas que se inducen en la estructura por efectos de vibraciones, impacto, frenaje y aceleración. En la figura 1.3.5 se indican los vehículos tipo que se emplearán con carga viva de 46 t totales y 10.8 t por eje del camión en el diseño de la superestructura, de acuerdo a las normas AASHTO (1996).

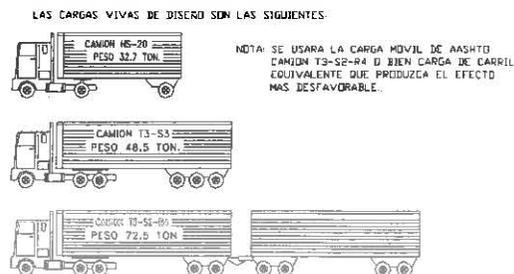


Fig. 1.3.5 Cargas vivas de diseño de acuerdo a las normas AASHTO

3.- Acciones accidentales

Estas solicitaciones son debidas a efectos de tipo natural, las cuales no intervienen en el funcionamiento directo de la estructura, y pueden alcanzar valores significativos en lapsos pequeños, y se consideran las siguientes:

- a) **Sismo.**-Tomando en cuenta la más reciente información geológica y tectónica del país, así como también datos estadísticos sobre magnitudes e intensidades sísmicas registrados desde principio del siglo, se trazaron las curvas de intensidad sísmica correspondientes a períodos de recurrencia. A partir de estas curvas se regionalizó la república Mexicana como se muestra en la figura 1.3.6, en cuatro zonas siendo la zona "A" la de menor intensidad sísmica y la zona "D" la de mayor intensidad sísmica. (Manual de diseño sísmico CFE.)



Fig. 1.3.6 Regionalización sísmica

De acuerdo con su rigidez, los terrenos se clasifican en tres tipos:

- Tipo 1. Terreno firme:** Son aquellos suelos como el tepetate, arenisca medianamente cementada, arcilla muy compactada o suelos con características similares.

Tipo 2. Suelo de baja rigidez: Son arenas no cementadas o limos de mediana o alta compacidad, arcillas de mediana compacidad o suelos similares.

Tipo 3. Arcillas blandas muy compresibles: Son suelos saturados con contenidos de humedad altos.

En la siguiente tabla se indican los valores que definen los espectros de diseño para los diferentes tipos de terreno y zonas sísmicas de la republica mexicana.

ZONA SÍSMICA	TIPO DE TERRENOS Y VALORES														
	TERRENO 1					TERRENO 2					TERRENO 3				
	c	a0	Ta	Tb	r	c	a0	Ta	Tb	r	c	a0	Ta	Tb	r
A	.08	.03	.3	.08	½	.18	.06	.4	1.7	2/3	.84	.08	.06	3.9	1
B	.16	.05	.2	.08	½	.36	.12	.3	1.7	2/3	.45	.15	.6	3.9	1
C	.36	0	0	.08	½	.64	0	0	1.4	2/3	.64	0	0	1.9	1
D	.50	0	0	.08	½	.86	0	0	1.2	2/3	.86	0	0	1.7	1

De esta forma la estructura del puente se encuentra en una zona tipo "C" terreno tipo 2.

En la figura 1.3.7 se muestra un espectro de diseño para un periodo de recurrencia de 500 años; Observando diferencia en la ordenada máxima espectral entre el espectro de diseño de CFE, y el considerado en el diseño del puente; Se atribuye a que esté último se obtuvo a partir de un espectro de peligro sísmico del sitio, lo cual da como resultado una ordenada espectral menos conservadora que la que presenta la CFE; A pesar de que el espectro de diseño se maneja con un $T_r=500$ años.

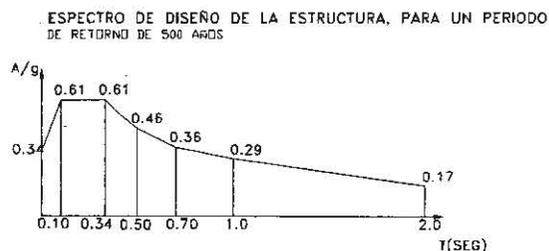


Fig. 1.3.7 Espectro sísmico del puente

- b) **Viento.**-Para efectuar el diseño por viento es necesario basarse en el mapa de regionalización eólica de la República Mexicana que propone el manual de obras civiles de la CFE, con objeto de establecer la velocidad regional correspondiente al lugar donde se ubica la construcción (Fig. 1.3.8).

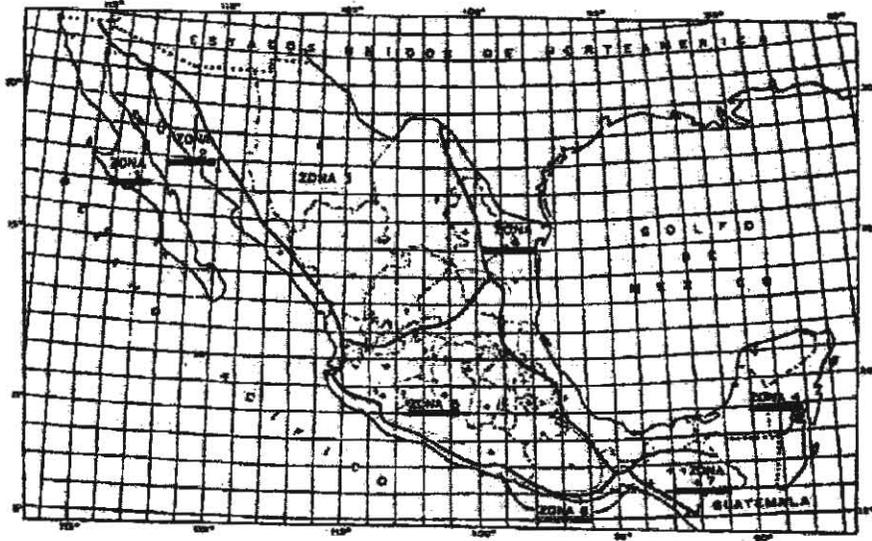


Fig. 1.3.8 Regionalización eólica

La tabla 1.3.3 muestra los valores de las velocidades regionales, para periodos de recurrencia "TR", de 50 y 200 años.

ZONA EÓLICA	VELOCIDAD REGIONAL (KM/H)		
	Estructuras del grupo A	Estructuras del grupo B	Estructuras del grupo C
	TR= a 200 años	TR= a 50 años	No se requiere diseño por viento.
1	105	90	
2	150	125	
3	125	115	
4	185	160	
5	90	80	
6	170	150	
7	95	80	

Tabla 1.3.3 Velocidades regionales

Los factores aplicables por el código AASHTO, para los esfuerzos permisibles por flexión y cortante se observan dentro de un mayor índice de seguridad a los considerados por los manuales para estructuras de mediana importancia, en los que comúnmente se emplea el 0.6 y 0.40 de F_y respectivamente.

1.4 CONTRA FLECHAS Y DEFLEXIONES DEL PUENTE

1.4.1 Contra flechas

El cálculo de las deflexiones que se presentan en condiciones de operación da como resultado que, para dos carriles, las flechas reproducen de manera inversa la configuración de contraflechas que se dan en el diseño para ser aplicadas en el proceso de fabricación de la estructura, lo que indica que dichas contraflechas fueron elegidas de manera correcta; Pero están holgadamente dentro de valores aceptables.

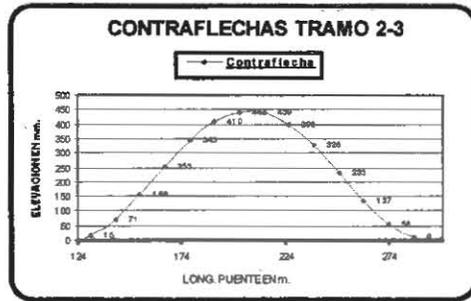
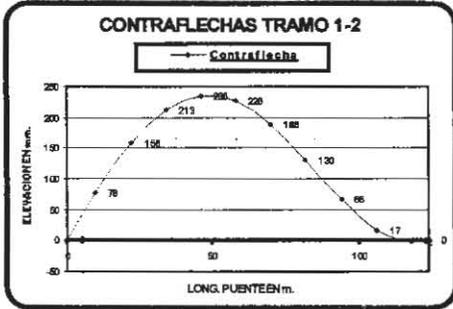
De acuerdo con las especificaciones de manuales de diseño, como el manual IMCA para elementos con claros mayores de 25 m se deberá determinar la contraflecha, la cual se traduce en la deformación que sufre la estructura por las consideraciones de carga permanente y carga provisional de manera que la flecha máxima no exceda del valor de $l/360$, según el manual de acero I.M.C.A; considerando que el claro mayor del puente será de 168 m la contraflecha máxima para este claro será de 46.6 cm.

En las gráficas 1.4.1 se muestran las gráficas de Contraflechas para cada uno de los tramos del puente.

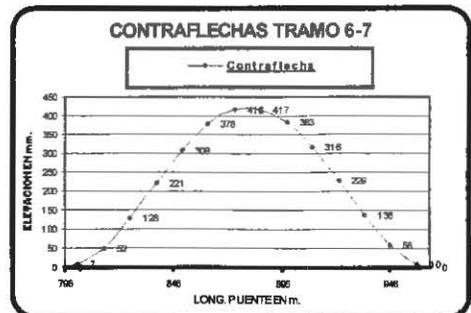
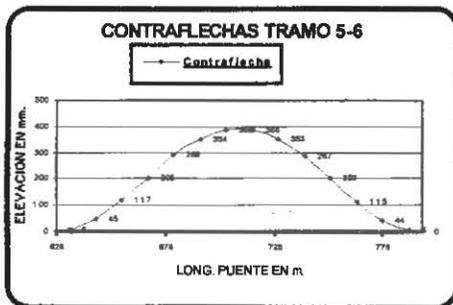
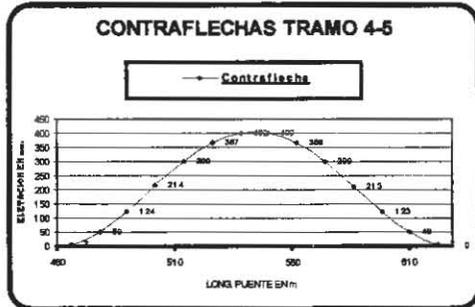
En dichas gráficas se muestran los valores de las contraflechas que se ajustarán en los elementos estructurales. De aquí se determina que los elementos que cumplirán la función de ajuste en el proceso constructivo de ensamble de dovelas serán las almas, las cuales dependiendo del valor de la contraflecha que aplique a cada 12 m, se realizarán recortes en el sentido transversal del alma para poder ser ajustadas en la fosa de armado por medio de bancos niveladores de altura, ver figura 1.5.1.

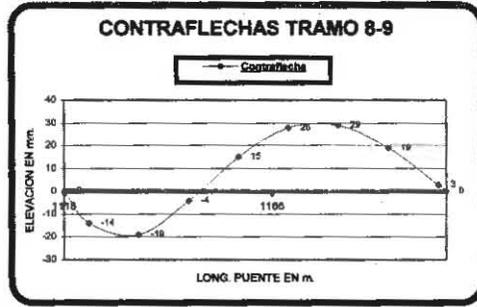
Graficas 1.4.1 Contraflechas en diversos tramos del puente

Valores de Contraflechas de los primeros 2 ciclos de empujado:



Valores de Contraflechas en los claros 3 al 7 de mayor longitud en el puente.





Valores de Contraflechas de los últimos 2 tramos.

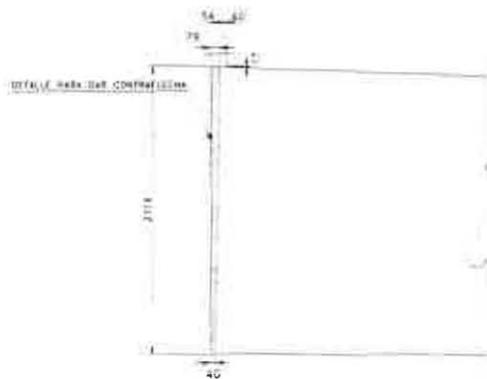
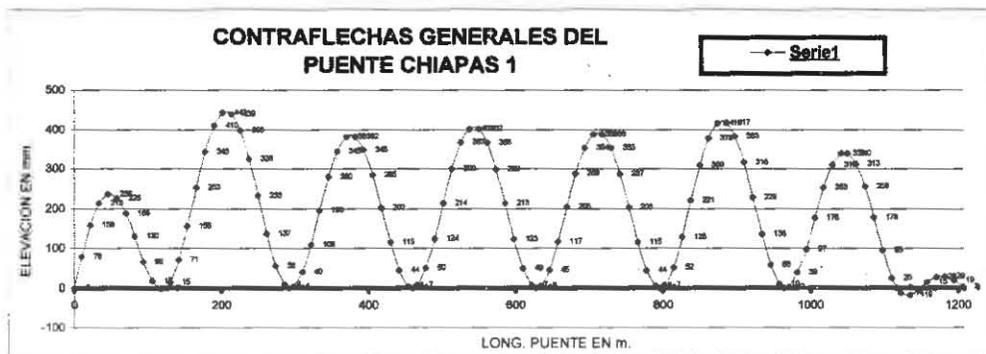


Fig. 1.4.1 Recorte de almas para ajuste de Contraflechas

4
6
3
5

5
7
4
6

VISTA GENERAL DE ENSAMBLE DE DOVELAS TRAMOS TIPO DEL 3 AL 7

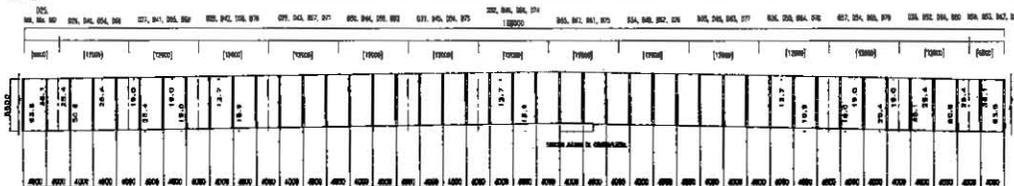


Fig. 1.4.1a Sección de Contraflechas en un tramo del puente

La figura 1.4.1 representa las secciones de contraflecha entre apoyos, y un ejemplo del recorte aplicables a las almas en función del valor de contraflecha que deberá realizarse para poder ejecutar el ensamble de elementos de continuidad entre las dovelas.

1.4.2 Deflexiones en el proceso de empujado

Las deflexiones permisibles de los volados, dentro del proceso de empujado del puente, estarán en función de la carga de las dovelas en volado (incluyendo la nariz de lanzado), del volado máximo a considerar, el modulo de elasticidad y de la sección transversal de la dovola considerada en la longitud de volado; en el caso de que las deflexiones consideradas del diseño pudieran rebasar los valores calculados, se podrían generar distorsiones en las uniones de dovelas, fisuras o evidencias de falta de rigidez. El A.I.S.C proporciona una ecuación para calcular las deflexiones de los volados en el proceso de empujado, la cual esta dada por:

$$\Delta = K_w f l^2 / d$$

Donde:

Δ = deflexión en cm.

K_w = coeficiente de carga considerar 0.6

f = esfuerzo en ton/cm²

L = longitud en metros

d = peralte en cm

En la tabla 1.4.2. Se muestra un resumen de los esfuerzos obtenidos para algunas longitudes de voladizo, se observa que los valores obtenidos en la superestructura superan el valor de los esfuerzo permisible de flexión y que las deflexiones en la punta de la nariz es muy cercana al valor máximo de 2.790 m para el claro de mayor longitud durante el ciclo de empuje.

Tabla 1.4.2 Resumen de esfuerzos (en kg/cm²) y deflexión (en m). para el ciclo de empujado.

Condición de análisis	Nariz de lanzamiento		Tablero		Deflexión en la punta de la nariz de lanzamiento.
	flexión	cortante	Flexión en patin inferior	cortante	
Voladizo de 36 m desde el estribo 9	658	123	28-D9	44-D9	-0.14
Voladizo de 84 m desde el estribo 9	783*	83*	884-D3	205-D3	-0.512
Nariz apoyada en la pila 8	499*	107	469-D4	159-D4	0
Voladizo de 32 m desde pila 8 con mástil	658*	162	409-D7	179-D7	-0.052
Voladizo de 96 m desde pila 8 con mástil	783*	83*	1281-D4	2491-D4	-0.0843
Voladizo de 112 m desde pila 7 con mástil	783*	77*	2208-D6	409-D6	-1.379
Voladizo de 132 m desde pila 7 con mástil	783*	77	2538-D7	553-D7	-2.09
Voladizo de 60 m desde pila 6 con mástil	783*	77	1723-D6	38-D6	-0.51
Voladizo de 160 m desde pila 6 con mástil	783*	77	2561-D9	6931-D9	-1.37

* En unión con la superestructura

fb= 1933 kg/cm²

fv= 1160 kg/cm²

La revisión del empujado se realizó para la sección de dos carriles; se incluyó la nariz de lanzamiento, el mástil y los tirantes provisionales. El efecto de los cables o atirantamiento provisional se simuló aplicando a los cables una fuerza de preesfuerzo y considerando el cambio del módulo de elasticidad de los tirantes debido a la fuerza axial en cada uno de ellos.

El proceso de empujado del puente en diferentes posiciones de avance se simuló mediante el programa sap-2000 para llegar a los valores antes mostrados.

Se realizaron análisis tanto para la condición de peso propio, como incluyendo los efectos de temperatura y viento. Se tomó en cuenta una sobrecarga del 5% de la carga muerta teórica para considerar el peso adicional por el descalibre y soldadura, y una carga de 14.5 t de los dispositivos para recuperación de la flecha en la nariz de lanzamiento. Esta última carga se aplicó en la punta de la misma nariz y su magnitud comprende el peso del dispositivo, del personal técnico y de las bombas para accionar gatos. (Martínez Romero 2002)

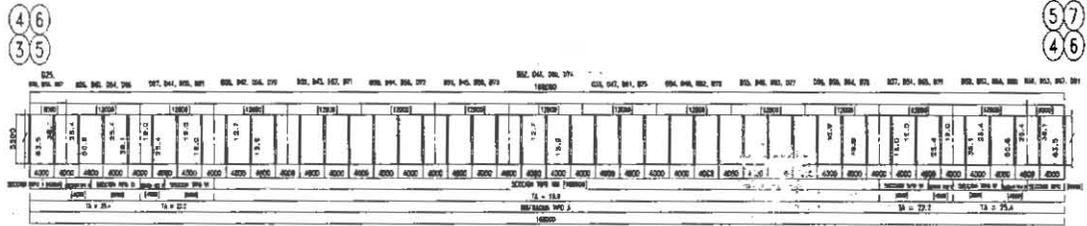
1.5 REQUISITOS GEOMÉTRICOS

Cada uno de los 12 tipos de secciones que componen el puente se muestran en la tabla 1.5.1, en dichas secciones se revisó que sus elementos satisfacen los requisitos de relaciones de esbeltez y resistencia indicados en el reglamento AASHTO 1996 (en su sección correspondiente a esfuerzos admisibles); Dicha revisión se muestra en los elementos indicados en la Tabla 1.5.2, mostrando los aspectos geométricos de las secciones transversales en las dovelas, así como los pesos y los esfuerzos admisibles.

TS = ESPESOR DE PLACA SUPERIOR
TA = ESPESOR DE PLACA ALMA
TP = ESPESOR DE PLACA INFERIOR

TIPO	TS	TA	TP
S-I	38.1	25.4	63.5
S-II	25.4	25.4	50.8
S-III	25.4	25.4	38.1
S-IV	19.0	22.2	28.6
S-V	19.0	22.2	25.4
S-VI	19.0	22.2	19.0
S-VII	12.7	22.2	19.0
S-VIII	12.7	19.0	15.9
S-IX	12.7	15.9	15.9
S-X	12.7	19.0	19.0
S-XI	19.0	25.4	25.4
S-XII	19.0	25.4	19.0
S-XIII	12.7	25.4	19.0
S-XIV	15.9	19.0	15.9

Tabla. 1.5.1. Tipos de secciones que componen el puente.



TRAMOS INTERMEDIOS [TIPO] - PILA 3 A PILA 4, PILA 4 A PILA 5, PILA 5 A PILA 6 Y PILA 6 A PILA 7

Fig. 1.5.1. Secciones en el sentido longitudinal de los tramos 3 al 7

En la figura 1.5.1. Se observan las secciones en el sentido longitudinal de los tramos 3 al 7 presentando la distribución de dovelas y diafragmas a cada 12 m y 4 m, en la que se aprecian como varían las secciones a lo largo de los tramos de mayor claro y las cuales resistirán perfectamente las consideraciones de carga consideradas por diseño. En la tabla 1.5.2, se presenta una revisión geométrica de las dovelas y sus capacidades estructurales.

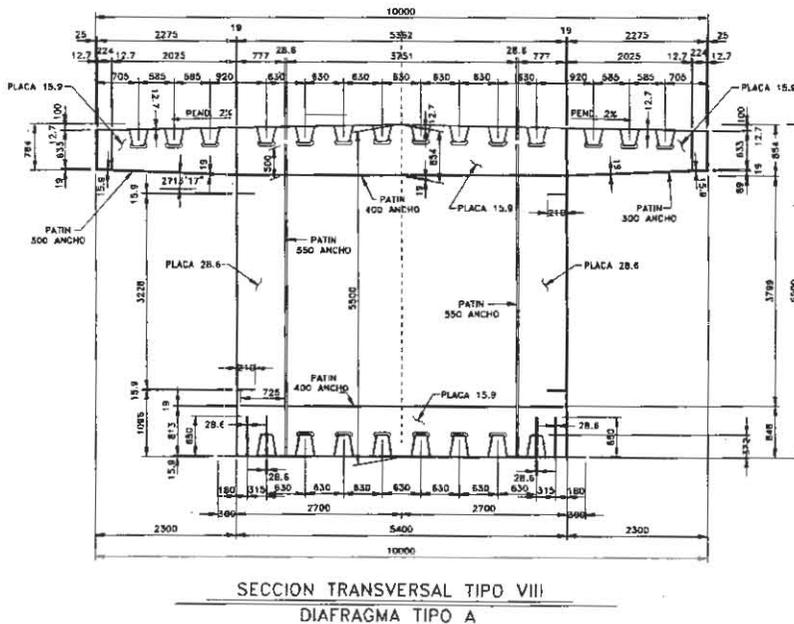


Fig. 1.5.2. Sección transversal de una dovela tipo

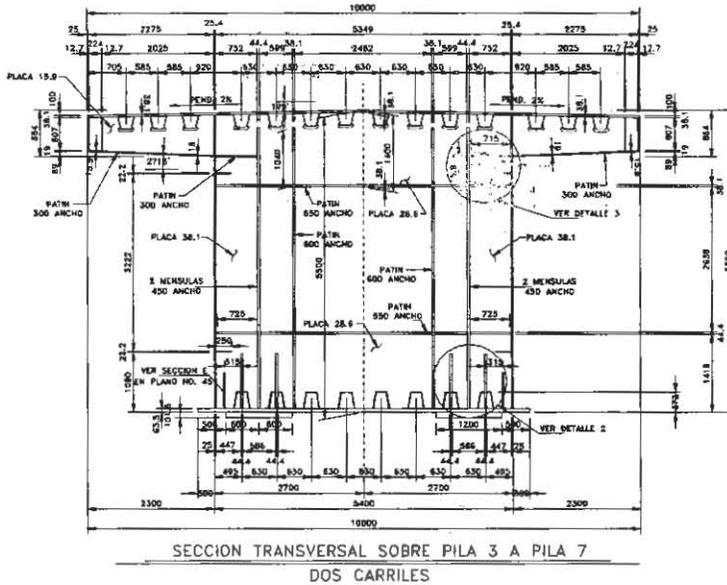


Fig. 1.5.3. Sección transversal de una dovela de pila reforzada

Las figuras 1.5.2 y 1.5.3. muestran la sección transversal de una dovela tipo y una dovela reforzada de pila, los cuales presentan una gran cantidad de elementos de rigidez para absorber la carga vertical de 2000 t que resistirán las pilas, la variante principal que se presentará en las dovelas tipo es el cambio de espesores en los elementos a flexión y cortante como lo son patines y almas, respectivamente. La tabla 1.5.3 desglosa los tipos de diafragmas utilizados para la fabricación en taller de los elementos individuales para su ensamble posterior en el campo. Cabe comentar que los atiesadores o bulbos son elementos fundamentales en la sección, los cuales cumplen con las funciones descritas en el punto 1.2.

TABLA 1.6.2. Revisión Geométrica de Dovelos y Capacidades.

DATOS GEOMÉTRICOS (Obtenidos de Planos 42 y 43 (Rev. 0))										
Altura Total	H:	5000 mm	Pendiente total de alma				Distancia	6440 mm		
Ancho Patín Sup.	B _{sup} :	10000 mm	Dist. entre Diáfragma				Distancia	4000 mm		
Ancho Patín Inf.	B _{inf} :	6000 mm	Pendiente patín superior				pendi ^o	2 %		
Dist. entre Almas	Distancia	5400 mm	Esfuerzo de fluencia				F _y	3515 kg/cm ²		
SECCIÓN		DIÁFRAGMAS A								
Diáfragma		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
		A	A	A	A	A	A	A	A	
DATOS GEOMÉTRICOS										
ESPESES DE PLACAS PRINCIPALES										
Espece Patín Superior	TPS (mm)	38.1	25.4	25.4	19	19	19	12.7	12.7	
Espece Patín Inferior	TPi (mm)	33.5	50.8	38.1	28.6	25.4	19	10	15.9	
Espece Alma	TA (mm)	25.4	25.4	25.4	22.2	22.2	22.2	22.2	19	
ATERAZADORES EN ALMAS (mm)										
1 Espece acesador	e1 (mm)	22.2	22.2	22.2	19	19	19	15.9	15.9	
2 Ancho total acesador	b1 (mm)	250	250	250	230	230	230	210	180	
3 Dist. al patín inferior	d1 (mm)	1000	1000	1000	1063	1063	1063	1063	938	
4 Dist. entre acesadores	e2 (mm)	222	222	222	325	325	325	325	328	
DIÁFRAGMAS VERTICALES (En Almas)										
5 Espece alma diáfragma	avch (mm)	28.6	28.6	28.6	28.6	28.6	28.6	28.6	28.6	
6 Espece patín diáfragma	avchp (mm)	28.6	28.6	28.6	28.6	28.6	28.6	28.6	28.6	
7 Ancho placa de alma	avchb (mm)	771	771	771	774	774	774	774	780	
8 Ancho placa de patín	avchpb (mm)	550	550	550	550	550	550	550	550	
DIÁFRAGMAS HORIZONTALES (En Patines)										
9 Espece alma diáfragma	avch (mm)	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	15.9	
10 Espece patín diáfragma	avchp (mm)	10	10	10	10	10	10	10	10	
11 Ancho placa de alma	avchb (mm)	705	778	700	800	800	800	815	815	
12 Ancho placa de patín	avchpb (mm)	400	400	400	400	400	400	400	400	
13 Ancho pl. de patín vacío	avchpbv (mm)	300	300	300	300	300	300	300	300	
PROPIEDADES PRINCIPALES GEOMÉTRICAS										
Área	A (m ²)	1.251	1.052	1.052	0.822	0.8136	0.772	0.7158	0.694	
Centro de X	x _c (m)	5	5	5	5	5	5	5	5	
Centro de Y	y _c (m)	2.797	2.820	2.870	2.821	2.8466	2.862	2.822	2.701	
Inercia Ix	I _x (m ⁴)	7.4466	5.0400	5.0400	4.968	4.4072	4.0623	3.7115	3.4025	
Inercia Iy	I _y (m ⁴)	8.1222	8.8863	8.8878	5.7257	5.0700	4.682	5.0514	4.7250	
Inercia Polar J	J _c (m ⁴)	15.5688	12.9272	12.1837	10.2856	10.0772	9.6408	9.7630	9.1875	
Módulo de sección sup	S _x (m ³)	2.7551	2.1437	2.0653	1.7421	1.7280	1.6886	1.4176	1.3886	
Módulo de sección inf	S _y (m ³)	2.6822	2.0524	1.9103	1.5824	1.4967	1.3311	1.2678	1.1056	
Ar-Di Y	Ar _{DY} (m ²)	0.2787	0.2767	0.2767	0.2418	0.2418	0.2418	0.2418	0.2099	
Ar-Di X	Ar _{DX} (m ²)	0.7820	0.5988	0.4826	0.3616	0.3424	0.3040	0.2410	0.2224	
PEBOS										
Dovelería	tw	9.85	8.32	7.24	6.63	6.39	6.10	5.82	5.18	
Diáfragma Vertical	tw	2.35	2.34	2.33	2.32	2.31	2.31	2.31	2.31	
Diáfragma Horizontal	tw	2.32	2.35	2.37	2.39	2.39	2.41	2.41	2.41	
Peso Diáfragma	W	4.58	4.68	4.89	4.71	4.71	4.71	4.71	4.72	
REVISIÓN POR EFUERZOS ADMISIBLES ASIENTO 08										
CAPACIDAD A MOMENTO (EN CARGA ASUM.)										
Momento Resistido	M _r (kN.m)	51,466.25	41,442.70	38,620.65	30,581.51	28,915.43	25,577.95	24,886.74	22,537.55	
CAPACIDAD A CORTANTE										
Límite D ₁₀	277.53	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	
Ancho limo acesador	mm	250	250	250	230	230	230	210	180	
Límite D ₁₀ acesador	13.57	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	
Rigidez inercia acesador	cm ⁴	10,638.72	10,574.82	10,544.27	7,014.77	7,009.71	6,960.59	6,889.60	4,378.79	
Inercia del Aterazador	cm ⁴	11,502.50	11,502.50	11,502.50	7,705.77	7,705.77	7,705.77	7,705.77	4,908.33	
Coefficiente de pandeo	K	13.92	14.01	14.05	14.11	14.12	14.14	14.16	14.17	
Coef. de resistencia	C	0.2834	0.2924	0.2919	0.2949	0.2948	0.2947	0.2945	0.2970	
Resist. Patón	F _v (kg/cm ²)	816.85	917.50	917.83	894.81	884.82	885.12	885.33	879.26	
Resist. 2 almas	W _{max} (ton)	2,499.21	2,502.87	2,500.82	2,144.77	2,140.29	2,149.33	2,152.32	1,901.82	
INTERACCIÓN CORTANTE-MOMENTO										
Corteo h/2 (F _v)		F _v = 0.75A(0.34 hF _v /F _y)								
ASIENTO 200										
Límite D ₁₀ acesador	11.83	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	ok	
CAPACIDAD DE CARGA DIÁFRAGMAS										
Almas (diáfragma)	Peso (ton)	1,830.94	1,850.94	1,830.94	1,543.82	1,543.82	1,543.82	1,543.82	1,689.77	

TABLA 1.5.3 Distribución de tipos de secciones de diafragmas de dovelas a lo largo del puente.

TRAMO 1-2																			
124 m																			
X inicio	0.5	10	22	34	46	58	70	82	94	102	108	114	118						
Tipo	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9A	D9B	D10A	D10B	D11						
Long. (m)	10.5	12	12	12	12	12	12	12	8	8	8	8	8						
Tipo	V8	V8	V8	V8	V8	V8	X	X	V	V	V	V	V						
Diafragma	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B						
Refuerzo						R1													
TRAMO 2-3																			
188 m																			
X inicio	124	130	134	142	146	154	166	178	188	202	214	228	238	250	262	270	274	282	286
Tipo	D11	D12A	D12B	D13A	D13B	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23A	D23B	D24A	D24B	D25
Long. (m)	6	4	8	4	8	12	12	12	12	12	12	12	12	12	8	4	8	4	8
Tipo	I	II	III	XI	XI	XII	VI	VI	X	V8	V8	V8	V8	V8	VI	V	II	J	I
Diafragma	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	A	A	A	A	A
Refuerzo						R3	R3	R3	R3	R3	R1	R1	R1	R1	R2				
TRAMO 3-4, 4-5, 5-6, 6-7																			
168 m																			
X inicio	292	298	306	310	318	322	334	346	358	370	382	394	408	418	430	438	442	450	454
Tipo	D25	D26A	D26B	D27A	D27B	D28	D29	D30	D31	D32	D33	D34	D35	D36	D37A	D37B	D38A	D38B	D39
Long. (m)	6	8	4	8	4	12	12	12	12	12	12	12	12	12	8	4	8	4	8
Tipo	I	II	III	V	VI	V8	VI	V	II	J	I								
Diafragma	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Refuerzo																			
TRAMO 3-4, 4-5, 5-6, 6-7																			
188 m																			
X inicio	450	456	474	478	486	490	502	514	526	538	550	562	574	586	598	608	610	618	622
Tipo	D39	D40A	D40B	D41A	D41B	D42	D43	D44	D45	D46	D47	D48	D49	D50	D51A	D51B	D52A	D52B	D53
Long. (m)	6	8	4	8	4	12	12	12	12	12	12	12	12	12	8	4	8	4	8
Tipo	I	II	III	V	VI	V8	VI	V	II	J	I								
Diafragma	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Refuerzo																			
TRAMO 3-4, 4-5, 5-6, 6-7																			
168 m																			
X inicio	628	634	642	646	654	658	670	682	694	706	718	730	742	754	766	774	778	786	790
Tipo	D53	D54A	D54B	D55A	D55B	D56	D57	D58	D59	D60	D61	D62	D63	D64	D65A	D65B	D66A	D66B	D67
Long. (m)	6	8	4	8	4	12	12	12	12	12	12	12	12	12	8	4	8	4	8
Tipo	I	II	III	V	VI	V8	VI	V	II	J	I								
Diafragma	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Refuerzo																			
TRAMO 3-4, 4-5, 5-6, 6-7																			
168 m																			
X inicio	790	802	810	814	822	828	836	850	862	874	886	898	910	922	934	942	946	954	958
Tipo	D67	D68A	D68B	D69A	D69B	D70	D71	D72	D73	D74	D75	D76	D77	D78	D79A	D79B	D80A	D80B	D81
Long. (m)	6	8	4	8	4	12	12	12	12	12	12	12	12	12	8	4	8	4	8
Tipo	I	II	III	V	VI	V8	VI	V	II	J	I								
Diafragma	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Refuerzo																			
TRAMO 7-8																			
152 m																			
X inicio	964	972	974	982	986	994	1002	1014	1026	1038	1050	1062	1074	1086	1098	1110			
Tipo	D81	D82A	D82B	D83A	D83B	D84	D85	D86	D87	D88	D89	D90	D91	D92	D93	D94			
Long. (m)	6	4	8	4	8	8	12	12	12	12	12	12	12	12	12	6			
Tipo	I	II	III	V	VI	VI	V8	IV											
Diafragma	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A			
Refuerzo																			
TRAMO 8-9																			
88 m																			
X inicio	1116	1122	1134	1146	1158	1170	1182	1194	1206	1218									
Tipo	D94	D95	D96	D97	D98	D99	D100	D101	D102										
Long. (m)	6	12	12	12	12	12	12	12	6										
Tipo	IV	V8	XV																
Diafragma	A	A	A	A	A	A	A	A	A										
Refuerzo																			

LEGENDA



Cambiar espesor de alme (Dovelas Tipo X)



Registrar espesor longitudinal (Dovelas tipo VII y X)

1.6 CALIDAD DEL ACERO

Propiedades mecánicas del acero

Las propiedades mecánicas de los metales son las cualidades que determinan su comportamiento cuando se aplica una carga; indican si el metal se dobla fácilmente o si es duro, quebradizo, etc.

Entre las propiedades mecánicas de los metales se incluyen las siguientes:

- 1.- Resistencia a la tensión: Es la capacidad de resistir las fuerzas de tensión que tienden a dividirlo.
- 2.- Elasticidad: Propiedad en virtud de la cual, tiende a recobrar sus medidas y forma original después de la deformación.
- 3.- Ductilidad: Es la propiedad de un metal para ser deformado, sin sufrir fracturas.
- 4.- Maleabilidad: Es la característica de los metales que les permite deformaciones plásticas bajo compresión sin rupturas.
- 5.- Tenacidad: Es la capacidad de un metal para resistir el choque repentino de una carga aplicada con movimiento rápido.
- 6.- Dureza: Es la capacidad de un metal a ser penetrado por otro cuerpo.
- 7.- Resistencia a la fatiga: Es la capacidad de un metal de resistir, sin fracturarse la aplicación de fuerzas variadas y alternadas dentro de un ciclo determinado.

Calidad del Acero A572-Gr50

La calidad del acero al carbón tipo A572-Gr50, empleado en la fabricación de la superestructura del puente, cumple con las propiedades mecánicas mencionadas previamente, además la composición química es la adecuada para resistir las solicitaciones de diseño contempladas en el proyecto.

La variación en el contenido de carbón permite cambiar las propiedades mecánicas del acero, de esta forma es posible aumentar la resistencia a la tensión, fatiga y dureza, disminuir la ductibilidad, además de dificultar la aplicación de la soldadura y disminuir la elongación.

Los resultados de los ensayos realizados al acero utilizado para el puente arrojan una resistencia promedio a la fluencia de 4372 kg/cm², o sea casi 25% superior al valor especificado de 3515 Kg/cm², y con poca dispersión en los resultados. La relación entre el esfuerzo resistente promedio y el nominal es superior a la que normalmente se encuentra en el acero estructural y a la que está implícitamente considerada en las normas. El acero tiene un 0.25% de contenido de carbono y una deformación unitaria a la ruptura cercana a 35%; estas propiedades inciden favorablemente en la resistencia a la fatiga, en la soldabilidad y en la sensibilidad al trabajo mecánico.

Los siguientes valores del acero A572-Gr50, fueron obtenidos del manual de aceros AHMSA, y en la gráfica esfuerzo deformación se pueden observar la diferencia que existe entre un acero A-36 comercial, utilizado en la construcción de la subestructura y en la mayoría de las obras con estructuras de mediana resistencia, con valores de $F_y =$ a los 2530 kg/cm², y del acero A572 considerado para la superestructura.

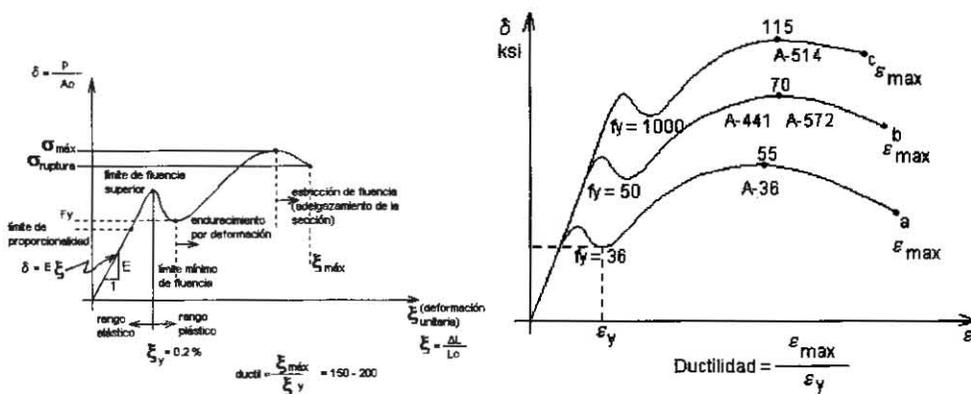


Fig. 1.6.1. Gráfica esfuerzo deformación de diferentes calidades de acero

Especificación	% de carbón	% manganeso	Lim. Elástico min. (kg/cm ²)	Resistencia a la tensión (kg/cm ²)	Elongación min. En 8" (%)
ASTM	0.23	1.31	3515	4569.5	18

Tabla. 1.6.1. Propiedades de acero A-572.

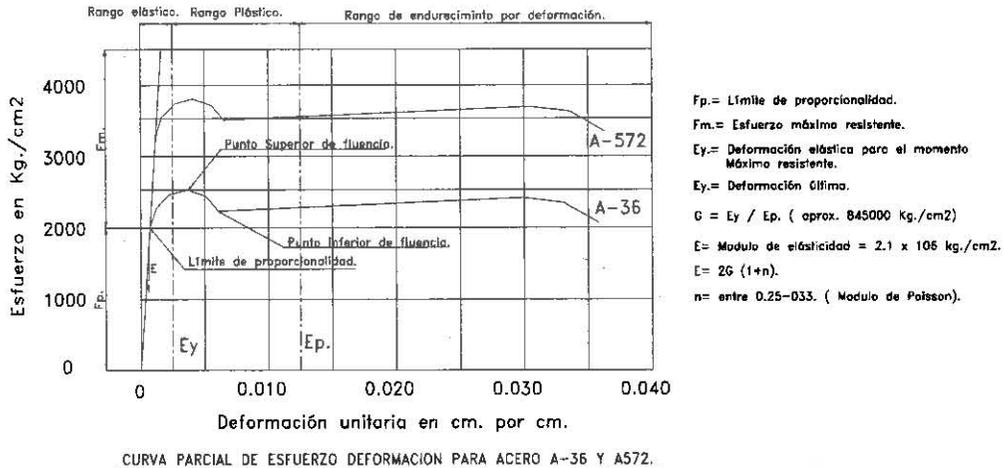


Fig. 1.6.1a Grafica esfuerzo deformación en acero A-36 Y A-572

1.7 TOLERANCIAS DIMENSIONALES

Se puede decir que las tolerancias de armado y montaje consideradas en la superestructura son las que por muchos años han sido aceptadas para la elaboración de estructuras, y sin embargo el criterio para establecer las tolerancias se basa en la premisa de que la exactitud final de la localización de cualquier punto particular de la estructura deberá estar sujeto a las combinaciones inherentes por los procesos de fabricación en los que intervendrá las tolerancias de laminaciones, fabricación y montaje, descalibres de elementos, la definición de puntos de trabajo y líneas de trabajo que rigen las medidas reales de la estructura ya montada.

En años recientes se han implementado tendencias que han llevado a que se establezcan especificaciones exageradamente estrictas en cuanto a las tolerancias, las cuales en ocasiones no son congruentes con los efectos combinados de cargas, variaciones de temperaturas entre otros factores, de esta manera en la figura 1.7.1 y 1.7.2 se observan las

principales distorsiones que se han presentado en el proceso de fabricación en taller y durante el ensamble de dovelas en el campo, y para las cuales se definieron las tolerancias que deberán regir para la construcción en la superestructura.

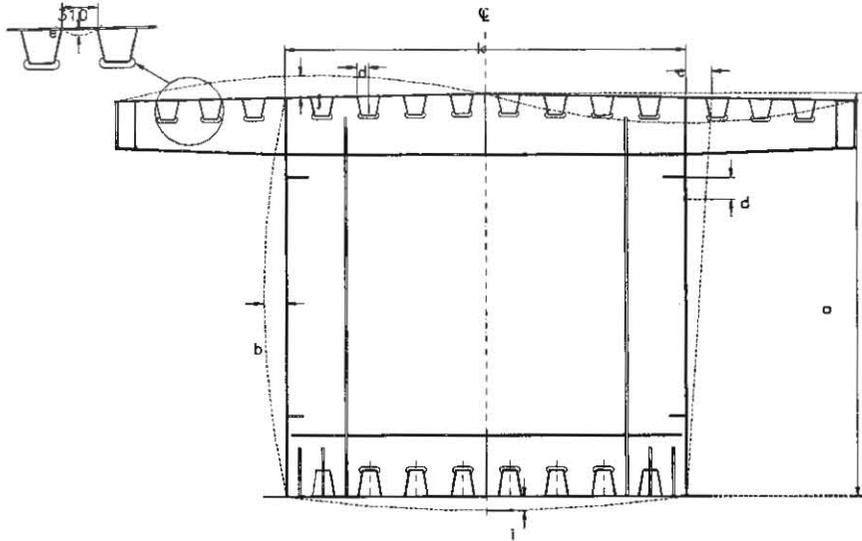


Fig. 1.7.1. Principales distorsiones geométricas de dovela

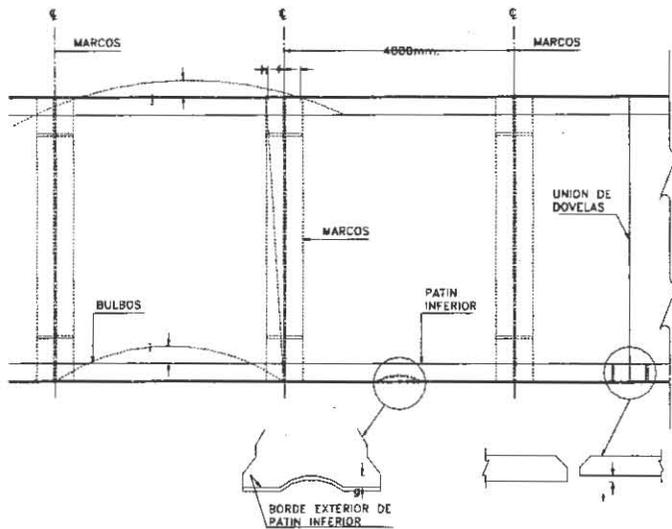


Fig. 1.7.2. Principales distorsiones geométricas longitudinales de dovela

Las figuras muestran las zonas en las cuales se han observado distorsiones considerables que deberán corregirse y adecuarse para cumplir con las tolerancias generales conciliadas por varias empresas en el lugar de armado y que se enlistan en la tabla 1.7.1, así mismo en la tabla 1.7.2. Se calculan las tolerancias de planeidad según el código AASHTO que deberán cumplir todos los elementos principales como son las almas laterales y los patines superiores e inferiores para los diferentes tipos de secciones.

Las tablas antes mencionadas se adjudican bajo la consigna de tener un amplio criterio en la aplicación de dichas tolerancias ya que la aplicación incorrecta de estas podría acarrear distorsiones geométricas considerables las cuales dificultarían el proceso de ensamble, armado y soldadura, además de Propiciar aberturas de uniones de soldadura con aberturas excesivas, desfasamientos y excentricidades en la unión de diafragmas y continuidades de dovelas.

TABLA 1.7.1 Comparación de tolerancias conciliadas en campo												
Tipo	Descripción	INTERPRETACIÓN T.Y. LM / ICA				INTERPRETACIÓN BBT / ICA			TOLERANCIA A UTILIZAR			NOTAS
		Tolerancia	Tolerancia	Referencia	Difere de contrato	Tolerancia	Referencia	Difere de contrato	Tolerancia	Referencia	Difere del contrato	
A	Tolerancia en el perfil de la doweles	+8 mm -4 mm	+8 mm -5 mm	AWS 3.5.1.8	Si	+8 mm -5 mm	AWS 3.5.1.8	No	+8 mm -5 mm	AWS 3.5.1.8	No	Ninguna
B	Tolerancia máxima de planicidad vertical en almas.	15 mm	35 mm max. 28 mm min.	AASHTO 11.4.13.2	Si	40.25 mm	AWS 9.19.2	Si	15 mm (long) 3/16" ó D144 SQRT (T)	AASHTO 11.4.13.2 (transv.)	No	Nota 1
B1	Tolerancia de planicidad vertical en almas, entre atisadores longitudinales.		28 mm max. 22 mm min.	AASHTO 11.4.13.2	Si	40.25 mm	AWS 9.19.2	Si	3/16" ó D144 SQRT (T)	AASHTO 11.4.13.2	No	Nota 2
C	Desplome de almas.	15 mm		No especificado en el reglamento, 15 mm es	Si		No especificado en el reglamento, 15mm es aceptable.	Si	15 mm	No incluido en Reglamento.	No	Nota 3
D	Desplazamiento de bulbos y atisadores longitudinales entre diazgramas.	8 mm	8 mm	AASHTO 11.4.13.3		8 mm	AASHTO 11.4.13.3		8 mm	AASHTO 11.4.13.3	No	Ninguna
E	Tolerancia máxima de planicidad de los patines.	5 mm	5 mm	AASHTO 11.4.13.2	Si	5 mm	AASHTO 11.4.13.2	No	5 mm	AASHTO 11.4.13.2	No	Ninguna
F	Tolerancia para la ubicación de los diazgramas transversales.	20 mm		No especificado en el reglamento, 20 mm es	Si		No especificado en el reglamento, 20mm es aceptable.	Si	20 mm	No incluido en Reglamento.	No	Nota 3
G	Deformación local máxima del borde de los patines.	3 mm	6 mm	AWS 3.5.1.7	Si	5 mm	AWS 3.5.1.7	Si	6 mm	AWS 3.5.1.7	Si	Ninguna
H	Desplome de los diazgramas transversales.	15 mm		No especificado en el reglamento, 15 mm es	Si		No especificado en el reglamento, 15mm es aceptable.	No	15 mm	No incluido en Reglamento.	No	Ninguna
I	Tolerancia máxima de planicidad del patín inferior.	10 mm	35 mm max. 28 mm min.	AASHTO 11.4.13.2	Si	35 mm max. 17 mm min.	AASHTO 11.4.13.2	Si	10 mm (long) 3/16" ó D144 SQRT (T)	AASHTO 11.4.13.2 (transv.)	No	Nota 4
J	Tolerancia máxima de planicidad del patín superior.	10 mm	38 mm max. 23 mm min.	AASHTO 11.4.13.2	Si	38 mm max. 17 mm min.	AASHTO 11.4.13.2	Si	10 mm (long) 3/16" ó D144 SQRT (T)	AASHTO 11.4.13.2 (transv.)	No	Nota 4
K	Tolerancia de la distancia entre almas.	15 mm		No especificado en el reglamento.	Si		No especificado en el reglamento, 15mm es aceptable.	No	15 mm	No incluido en Reglamento.	No	Ninguna
L	Tolerancia para la unión entre doweles (almas).	Min: 0/10 and 3 mm	Min: 0/10 and 3 mm	AWS 3.3.3	No	Min: 0/10 and 3 mm	AWS 3.3.3	No	Min: 0/10 y 3 mm	AWS 3.3.3	No	Ninguna
M	Tolerancia de planicidad de placas de almas y patines de los diazgramas en toda.	3 mm	Max of 6 mm and b/100	AWS 3.5.1.7	Si	Max entre 6 mm y b/100	AWS 3.5.1.6 y 7.8.10.1	Si	Max entre 6 mm y b/100	AWS 3.5.1.6 y 7.9.10.1	Si	Ninguna
N	Excentricidad de unión entre partes de diazgramas de almas y patines.	6 mm	6 mm	AWS 3.5.1.5	-	6 mm	AWS 3.5.1.5	No	6 mm	AWS 3.5.1.5	No	Ninguna
O	Alineación de almas con respecto al eje de trazo del	7.5 mm		No especificado en el reglamento.	Si	10 mm	AWS 3.5.1.2	Si	10 mm	AWS 3.5.1.2	Si	Ninguna
R	Contraflecho del puente.	10 mm	+40 mm. -3 mm en apoyos intermedios	AWS 3.5.1.3	Si	+40 mm. -3 mm en apoyos intermedios	AWS 3.5.1.3	Si	+40 mm. -3 mm en apoyos intermedios	AWS 3.5.1.3	Si	Ninguna

NOTAS:

- El alisador longitudinal debe cumplir con AASHTO 11.4.13.3, por lo que longitudinalmente la placa en esa zona también debe cumplir. Se respeta el valor de 15 mm indicado por el proyectista, que es mayor a los 8 mm que se obtendría de aplicar la fórmula correspondiente. Transversalmente debe aplicarse AASHTO 11.4.13.2 y no AWS 9.19.2 por tratarse de un elemento estructural principal. Para este caso, D se tomará como 157.48" (4 m).
- Para este caso debe aplicarse AASHTO 11.4.13.2 y no AWS 9.19.2 por tratarse de un elemento estructural principal. El valor de D se tomará como 125.98" (3.2 m).
- Aunque el valor no está especificado en los reglamentos, se ha marcado como que no constituye un cambio a los documentos contractuales para ambas revisiones del contratista lo marcan como razonable o aceptable.
- Los bulbos deben cumplir con AASHTO 11.4.13.3, por lo que longitudinalmente las placas que conforman los patines también deben cumplir con ese reglamento. Se respeta el valor de 10 mm indicado por el proyectista, que es mayor a los 8 mm que se obtendría de aplicar la fórmula correspondiente. Transversalmente debe aplicarse AASHTO 11.4.13.2.

TABLA 1.7.2. Tolerancias de planeidad

CÁLCULO DE LAS TOLERANCIAS DE PLANEIDAD PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE SECCIONES DE DOVELAS											
DISTANCIA ENTRE ATIESADORES Y DIAFRAGMAS			D=4.0 m			D=3.22 m			D=2.70 m		
DOVELAS	NO. DE PZS.	TIPO	PATIN INFERIOR		TOLERANCIA	ALMA		TOLERANCIA	PATIN SUPERIOR		TOLERANCIA
			ESPESOR			ESPESOR			ESPESOR		
			Pulgadas	mm	mm	Pulgadas	mm	mm	Pulgadas	mm	mm
1,2,3,4,5,6,16,19,20,21,22,28,29,30,31,32,33,34,35,36,42,43,44,45,46,47,48,49,50,56,57,58,59,60,61,62,63,64,70,71,72,73,74,75,76,77,78	47	S-VIII	5/8	15.9	35	3/4	19	26	5/8	12.7	24
7,8,17	3	S-X	3/4	19	32	3/4	19	26	1/2	12.7	27
9,23,27,37,41,51,55,65,69,79,83	11	S-V	1	25.4	28	7/8	22.2	24	3/4	19	22
		S-VI	3/4	19	32	7/8	22.2	24	3/4	19	22
10,12,24,26,38,40,52,54,66,68,80,82	12	S-II	2	50.8	20	1	25.4	22	1	25.4	19
		S-III	1 1/2	38.1	23	1	25.4	22	1	25.4	19
11,25,39,53,67,81	6	S-I	2 1/2	63.5	18	1	25.4	22	1 1/2	38.1	15
13	1	S-XI	1	25.4	28	1	25.4	22	3/4	19	22
		S-XII	3/4	19	32	1	25.4	22	3/4	19	22
14	1	S-XIII	3/4	19	32	1	25.4	22	1/2	12.7	27
15,16,63,95	4	S-VII	3/4	19	32	7/8	22.2	24	1/2	12.7	27
65,66,67,68,69,90,91,92,96,97,98,99,100,1	15	S-IX	5/8	15.9	35	5/8	15.9	28	1/2	12.7	27
94	1	S-IV	1 1/8	28.6	26	7/8	22.2	24	3/4	19	22
102	1	S-XIV	5/8	15.9	35	3/4	19	26	5/8	15.9	24

TOTALES

102

FÓRMULA UTILIZADA PARA DETERMINAR LAS TOLERANCIAS DE PLANEIDAD SEGÚN EL AASHTO= $D/144 \times (T)^{1/2}$

D= DISTANCIA ENTRE DIAFRAGMAS O PUNTOS RIGIDOS DE DONDE SE DEBERAN DE APOYAR PARA MEDIR LA PLANEIDAD

T= ESPESOR DE LA PLACA



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ENEP ACATLÁN**

TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIAPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO.				
No. de Sección:	PÁGINA:	ELABORÓ:	REVISÓ:	FECHA:
Capítulo 2	36	Martín Romo G.	Ing. Darío Rivera Vargas	29/09/03

CAPITULO 2

ESPECIFICACIONES DE UNIONES DE SOLDADURA APLICABLES A LA CONSTRUCCIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA

2.1-	Especificaciones y clasificación de uniones de soldadura.....	37
2.2-	Prioridades en la ejecución de soldaduras y tipo metal de aporte utilizado....	44
2.3-	Procesos y procedimientos de soldadura.....	50
2.4-	Calificación de soldadores.....	60
2.5-	Certificación en la inspección de soldaduras.....	63

2.1 ESPECIFICACIONES Y CLASIFICACIÓN DE UNIONES DE SOLDADURA

Las uniones a soldarse en el proyecto del Puente "Chiapás 1", han sido clasificadas en función de su índice de severidad o del tipo de trabajo que se realice en la estructura, tal como se describe a continuación.

SOLDADURAS CLASE 1

Son aquellas soldaduras que unen elementos estructurales sujetos a tensión, así como a esfuerzos reversibles de tensión y/o compresión. Los elementos unidos por estas soldaduras son de importancia primordial para mantener la estructura en su posición de servicio.

Este tipo de soldadura comprende las siguientes juntas de la superestructura:

a).- Cajón longitudinal (Dovelas de ensamble).

Constituye las uniones del patín superior e inferior y de alma con alma, así como los bulbos localizados en ambos patines, las conexiones de piezas de puente y diafragmas con el cajón longitudinal en las uniones de los patines inferiores y superiores, las conexiones de piezas de puente y diafragmas con el cajón longitudinal en las uniones alma con alma.

b).- Columnas principales de pilas (No comprendidas en este trabajo)

Comprende las uniones entre paredes de tubo, así como las placas de conexión de diagonales y horizontales a las columnas principales.

SOLDADURAS CLASE 2

Son aquellas soldaduras que unen a los elementos cuya sollicitación principal son los esfuerzos cortantes. Los elementos unidos por estas soldaduras son de importancia para mantener la estructura en su posición de servicio, al igual que la soldadura clase 1.

Este tipo de soldaduras está comprendido en el cajón longitudinal, todas las uniones del patín inferior o superior con el alma y la unión alma con alma.

SOLDADURAS CLASE 3

Son aquellas soldaduras que unen los elementos secundarios para proporcionar rigidez a la estructura.

Comprende todas las uniones de atiesadores verticales y horizontales, así como conectores de cortante.

Las especificaciones de la American Institute of Steel Construccion (AISC) y el código (AWS D1.5) para soldaduras en puentes, serán aplicadas al proceso de unión en elementos de la superestructura del puente "Chiapas 1", ya que en ellos se califican uniones y procedimientos para lograr que el metal depositado sea sano y con propiedades mecánicas apropiadas, siempre que el trabajo ejecutado esté de acuerdo a las disposiciones que a continuación se describen:

La mayor parte de las uniones precalificadas de filete y de ranura que presenta el código AWS, en su capítulo 3, serán aplicables a las uniones de diseño de la superestructura, que son normalmente aplicables a puentes por las características de espesores mayores en sus elementos. Todas aquellas uniones que no cubran las variables esenciales especificadas en este capítulo tendrán que ser calificadas de acuerdo con las geometrías y detalles de los planos de diseño.

Las uniones de soldadura especificadas para el proyecto del puente "Chiapas 1", se indican en el capítulo 4 de este trabajo.

La calificación de uniones de soldadura comprende las posiciones de depósito de soldadura, tal como se comenta a continuación.

Posiciones estándar de soldadura:

Normalmente la posición de la unión determina la posición de soldadura que deberá adoptar el soldador, debido a que las soldaduras pueden tener una infinidad de posiciones, el código AWS establece 4 posiciones estándar para la aplicación de soldadura:

PLANA.- Es la posición más recomendada para el depósito de soldadura y se simboliza con la letra "P". Para su aplicación el soldador coloca el metal que ha de soldar enfrente de él como si fuera un libro abierto sobre un escritorio, lo que permite una eficaz aplicación ya que se obtienen velocidades muy altas de adición de metal. Esto significa que el metal se deposita más rápido bajo esta posición en comparación con otras, por consiguiente es la posición que más se aplicará en las uniones de ensamble de elementos de la superestructura (ver figura 2.1.1).

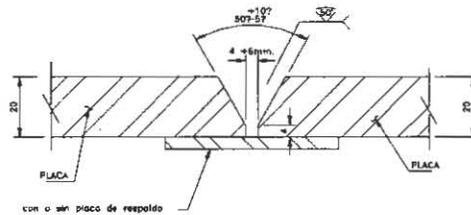


Fig. 2.1.1 Posición plana de soldadura

VERTICAL.- Soldar una placa en posición vertical es una de las pruebas en la que más se califica la habilidad del soldador y se simboliza con la letra "V", en donde el charco fundido es fluido y tiende a escurrir, al principio es difícil controlarlo pero con la práctica se logra hacerlo con calidad; Esta posición se aplicará principalmente en la unión de almas de diafragmas y continuidad de las dovelas de la superestructura del puente en estudio, (ver figura 2.1.2).

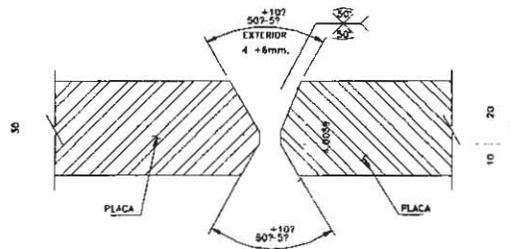


Fig. 2.1.2 Posición vertical de soldadura

HORIZONTAL.- Soldar en posición horizontal requiere de mayor pericia que soldar en posición plana y se simboliza con la letra “H”; Se aplica principalmente en la unión longitudinal de las almas, (ver figura 2.1.3).

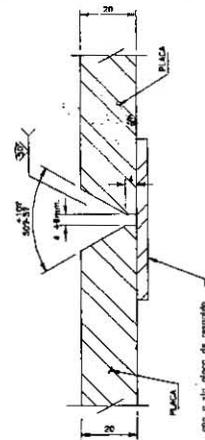


Fig. 2.1.3 Posición horizontal de soldadura

SOBRE CABEZA.- La posición elevada o sobre cabeza es la más difícil de trabajar, ya que exige mucha práctica y es físicamente agotadora, generando cansancio en los brazos del soldador que aplica en esta posición, se simboliza con la letra “OH”; Esta posición se adoptará principalmente en la unión de placas superiores-almas (ver figura 2.1.4).

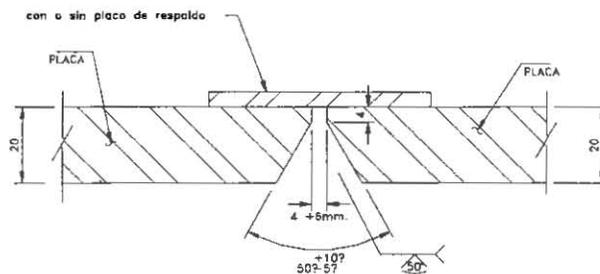


Fig. 2.1.4 Posición sobre cabeza de soldadura

La figura 2.1.5 muestra uniones de soldaduras aplicables en la superestructura del “puente Chiapas 1”.

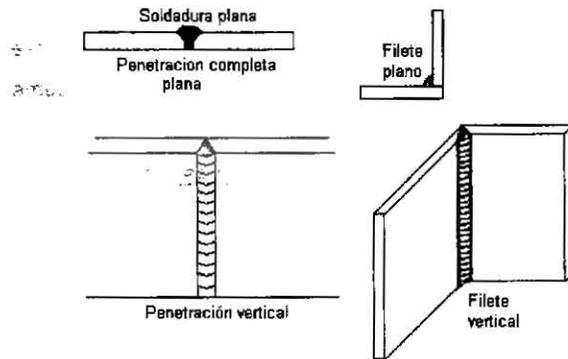


Fig. 2.1.5 Posición aplicables a la superestructura

Una vez definidas las posiciones de aplicación de soldadura se definirá el tipo de uniones y preparaciones que se aplicarán en el proceso de armado de una dovela.

La preparación de los extremos en los elementos que se soldarán es de gran importancia para poder dar las condiciones de una junta que cumple con los aspectos mecánicos calificados por el código AWS.

Las uniones más comunes que se realizarán para el armado de elementos de la superestructura se muestran en la figura 2.1.6.

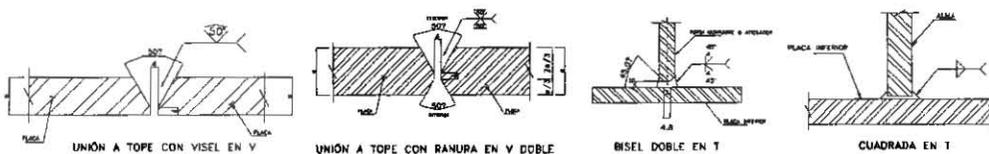


Fig. 2.1.6 Uniones comunes en la superestructura

El diseño de las uniones mostradas en la Fig. 1.2.1, es muy importante, especialmente en cuanto a costos y tiempos de elaboración, ya que por ser del tipo de uniones más populares y con preparaciones mínimas de biselés estas uniones son baratas, siempre y cuando, no se salga de su especificación geométrica.

Las uniones en doble "V" se usarán principalmente en uniones con espesores mayores de 16.0 mm, ya que la experiencia en la soldadura de elementos mayores de este espesor implica la aparición de distorsión y pandeo por efectos de temperatura, y la forma de compensar los esfuerzos que producen la distorsión y de reducir el pandeo es la aplicación de soldadura por ambos lados alternándola.

Simbología de las soldaduras aplicable a la superestructura

Para un soldador es importante el conocimiento de la simbología de la soldadura, ya que la misma proporciona información breve que describe el proceso, el tipo y tamaño de la soldadura, el tipo de metal de aporte e información complementaria para poder realizar una unión con las consideraciones de diseño.

Entender los símbolos de soldadura representa una gran ventaja en la aplicación y desarrollo de los procesos de soldadura. Para lograrlo se requiere estudio y práctica por lo que se presenta un resumen con los aspectos más importantes a considerar en la simbología aplicable a la superestructura del puente "Chiapas1".

La primera razón de peso es la lectura de los símbolos en los planos de armado para proporcionar la información adecuada en relación a:

- 1.- Tipo de soldadura
- 2.- Posición en la que se debe soldar
- 3.- Proceso que se debe de emplear
- 4.- Preparación de la unión
- 5.- Tipo y método de acabado
- 6.- Dimensiones
- 7.- Tipo de metal de aporte

La simbología básica empleada en las uniones de soldadura se muestra en la figura 2.1.7, en ella se ilustra los siguientes aspectos:

- 1.- Línea de referencia
- 2.- Flecha
- 3.- Símbolos básicos de soldadura
- 4.- Símbolos del acabado
- 5.- Cola de flecha

La flecha deberá señalar el punto de la ubicación de la soldadura y el lado de la preparación de la unión que se va a soldar, estos son algunos símbolos aplicables sobre la línea de referencia.

En la figura 2.1.7 se muestran los símbolos básicos combinados en los dibujos de planos de diseño y de taller de cualquier tipo de proyecto.

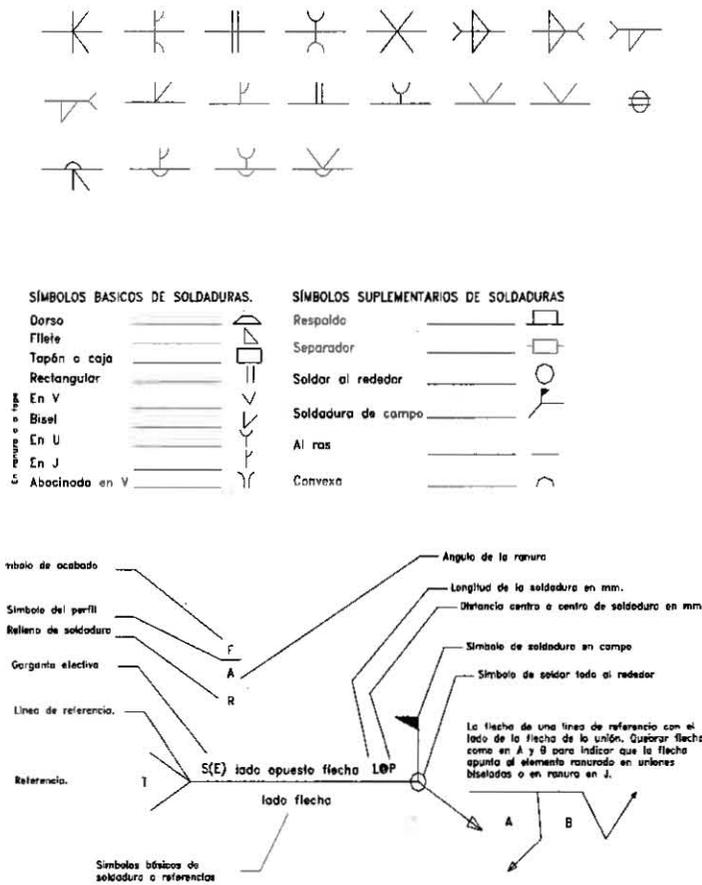


Fig. 2.1.7 Símbolos básicos de soldadura

Como requisito general de la aplicación de soldadura se recomienda que el tamaño y la longitud de todas las soldaduras no deben ser menores a las especificadas en los planos de diseño y taller, además de que la ubicación de las uniones soldadas no deberán cambiarse sin la autorización del proyectista, la modificación de alguna unión que no se integre dentro de los procedimientos calificados del AWS, tendrá que calificarse para asegurar que la unión cubrirá todos las propiedades mecánicas.

2.2 PRIORIDADES EN LA EJECUCIÓN DE SOLDADURAS Y TIPO DE METAL DE APORTE UTILIZADO

Todos los puntos que a continuación se describen deberán cumplirse en la ejecución e inspección de ensamble de la superestructura del puente "Chiapas 1", para poder cumplir con las pruebas de inspección que se describirán en el capítulo 4.

La soldadura no deberá efectuarse por ningún motivo para los siguientes casos: cuando la temperatura ambiente es menor de -18°C , cuando las superficies están húmedas o expuestas a la lluvia, nieve o vientos de altas velocidades, o cuando los soldadores estén expuestos a condiciones inclementes.

Preparación del metal base

Todas las superficies a soldar deben de tener un acabado uniforme y estar libres de desgarres, deslaminaciones, fracturas o cualquier otra discontinuidad que afecte adversamente la calidad y resistencia de la unión soldada.

Todos los cortes que se utilicen empleando métodos térmicos deben presentar un acabado terso con rugosidad que sea igual o menor a las tolerancias establecidas en el artículo 3.2.2 del capítulo 3 del código AWS, no rebasando las $25\ \mu\text{m}$ para materiales hasta de 102 mm de espesor y $50\ \mu\text{m}$ para materiales mayores a 102 mm y hasta 203 mm de espesor.

Si durante el proceso de corte y preparación de los materiales, se detectan discontinuidades tales como porosidades, laminaciones o cualquier otra discontinuidad paralela al plano de laminación, se puede reparar cumpliendo las disposiciones mínimas de diseño de las juntas.

Ensamble

Durante la preparación de los ensambles de las partes a ser unidas por soldadura, la separación entre los componentes para soldaduras a tope de unión completa, y filete no deben de exceder las tolerancias establecidas en el artículo 3.3 del código AWS.

Las aberturas de raíz no deberán exceder de 5 mm, excepto en los casos que involucre perfiles o planchas de 76 mm o de mayor espesor; Si después del enderezado de los elementos la abertura e raíz no puede cerrarse lo suficiente para cumplir con esta tolerancia, en tal caso se acepta una abertura máxima de raíz de 8 mm, siempre que sea usada una soldadura de respaldo adecuada, además de que las aberturas de raíz mayores que las indicadas no rebasen los 19 mm. Pueden corregirse por soldadura antes de unir las partes.

Las soldaduras de punteo o armado deben efectuarse con materiales de aporte de la misma calidad a la que se empleará en la soldadura final. Las soldaduras de punteo o armado deben de cumplir las condiciones y requisitos establecidos en los párrafos del Artículo. 3.3.7 del código AWS.

Las soldaduras de armado están sujetas a los mismos requisitos de calidad que las soldaduras finales excepto que, el precalentamiento no es obligatorio para soldaduras de armado de un solo paso, las cuales son fundidas e incorporadas en soldaduras continuas de arco sumergido.

Discontinuidades tales como socavados, cráteres sin rellenar y porosidades, no necesitan removerse antes de la soldadura de arco final.

Los cordones de soldadura depositados en uniones a tope con cualquier preparación y de filete deben de cumplir las condiciones y presentar los perfiles y dimensiones que se establecen en los planos de diseño de juntas de soldaduras del puente.

Cualquier deficiencia o defecto que sea detectado durante el proceso de fabricación o durante la inspección de aceptación, deberá ser corregido o reparado siguiendo las indicaciones y cumpliendo con las condiciones que se establecen en el párrafo del Art. 3.7 del código AWS.

Metal de aporte

El metal de aporte es el que comúnmente se le denomina electrodo, siendo el elemento fundamental para la aplicación de la soldadura manual ya que mantiene el arco eléctrico y al consumirse, produce la aportación del metal que, unido al material fundido del metal base, va a constituir el material soldado.

El electrodo está básicamente constituido por un alambre, de composición similar al del metal base, con o sin revestimiento que lo envuelve, en el caso del proceso SMAW que es el que se aplicará como proceso principal del depósito de soldadura en el ensamble del Puente "Chiapas 1", se utilizan electrodos revestidos.

Los electrodos revestidos están formados por una varilla de sección circular uniforme, denominada alma, de composición similar a la del metal base que, para los aceros, suele tener una composición standard de acero suave, con un 0.1 % de carbono, un 0.4 % de manganeso y con contenidos de azufre y fósforo inferiores a un 0.04 % cada uno de ellos.

El revestimiento es un cilindro que envuelve el alma, concéntrico con ella y de espesor uniforme, constituido por una mezcla de compuestos que caracterizan el electrodo y que cumple varias funciones, dentro de las cuales evitan los inconvenientes del electrodo desnudo; estabilizar el arco produce gases que protegen a este, el material de aporte y las escorias que recubren el metal fundido evitan la contaminación debidas a los componentes de la atmósfera.

Los electrodos tienen longitudes normalizadas de 30, 40 y 60 cm, un extremo del alma sin cubrir de revestimiento de 30 mm de longitud, Para la inserción del mismo en la pinza porta electrodo.

Tabla 2.2.1 Principales componentes y funciones de revestimientos de electrodos

COMPONENTES	FUNCIÓN PRINCIPAL	FUNCIÓN SECUNDARIA
Celulosa	Gas protector	————
Carbonato cálcico	Gas protector	Fluidificador
Espato fluor	Generador de escoria	Fluidificador
Dolomita	Gas protector	Fluidificador
Rutilo	Generador de escoria	Estabilizador de arco
Titanio potásico	Estabilizador de arco	Generador de escoria
Feldespató	Generador de escoria	Estabilizador de arco
Mica	Extrusión	Estabilizador de arco
Carbonato cálcico	Extrusión	Generador de escoria
Sílice	Generador de escoria	————
Amianto	Generador de escoria	Extrusión
Oxido de manganeso	Generador de escoria	Aleante
Oxido de hierro	Generador de escoria	Tasa de deposición
Polvo de hierro	Tasa de deposición	Soldadura de contacto
Ferro sílicona	Desoxidante	————
Ferro manganeso	Aleante	Desoxidante
Silicato sódico	Aglutinante	Fluidificador

Los electrodos por su revestimiento se clasifican en delgados, medios y gruesos, comprendidos entre el 4 y 10 % del diámetro del alma, entre el 10 y el 40 % y más del 40 % del mismo, respectivamente. Los electrodos de revestimiento grueso tienen en su utilización todas las ventajas que ofrecen los componentes citados en la tabla anterior, permitiendo alcanzar las mejores condiciones y cualidades físicas y químicas del metal soldado.

Funciones básicas de un revestimiento

Dentro de las principales funciones del revestimiento de electrodos se encuentran las siguientes:

- 1) Asegurar la estabilización el arco
- 2) Proteger el metal fundido de su contacto con el aire
- 3) Eliminar o reducir las impurezas en el interior de la soldadura, mediante el barrido de las mismas
- 4) Aportar elementos aleantes a la soldadura
- 5) Asegurar el enfriamiento suave de la soldadura

Este tipo de electrodo también conocido como electrodo de bajo hidrógeno, tiene como componentes principales del revestimiento carbonato cálcico y otros carbonatos también básicos, además tiene contenidos importantes de manganeso, silicio y de otros elementos reductores, que dan un carácter marcadamente básico a la escoria.

El único contenido de hidrógeno que aportan los electrodos se debe al agua de cristalización de sus componentes. Sin embargo, son muy higroscópicos, por lo que es necesario mantenerlos en paquetes herméticamente cerrados y conservarlos en recintos adecuados para mantenerlos perfectamente secos.

Estos electrodos pueden ser utilizados en todas la posiciones, con corriente continua y polaridad positiva, su gran tenacidad los hace recomendables para soldar grandes espesores, estructuras muy rígidas que se presentan en el puente.

Los electrodos, en particular, tienen su propio código en todas las agencias que los clasifica y que los hace identificables de manera específica, el código más usado para la identificación de electrodos y que probablemente sea el mas popular en Latino-América, convirtiéndose en la referencia más común, es el código AWS A5.1 para los electrodos de acero "dulce" o de relleno, y el AWS A5.5 para los electrodos de aleación de acero (alto contenido de carbón), muchos los identifican, separándolos erróneamente como "Electrodos de Bajo Hidrógeno y Electrodos de Alto Hidrógeno" respectivamente, pero algunas variaciones de los electrodos en ambas clasificaciones contienen en sus fundentes altas o bajas cantidades de Hidrógeno que los excluye de esa referencia.

Clasificación AWS para los metales de aporte de acuerdo a la especificación A5.5, electrodo cubierto de baja aleación de acero el cual será usado en el puente "CHIAPAS 1"

E - X X X X - XX
 (1) (2) (3) (4) (5) (6)(7)

donde:

(1) Lo identifica como electrodo

(2) y (3) Dos primeros dígitos indican su resistencia a la tensión x 1000 kg/cm²(4) Indica la usabilidad del electrodo, Ej.: tipo de corriente y tipo de fundente, en algunos casos, tercer y cuarto dígito son muy significativos

(5) Indica la posición que se debe usar para optimizar la operación de este electrodo

(6) y (7) Composición química del material después de depositado

Ejemplo: E-7018

E = Electrodo cubierto

70 = 70 X 1000 PSI = 70.000 PSI de fuerza tensil.

1 = Cualquier posición, (de piso, horizontal, vertical y sobre cabeza)

8 = AC o DCEP Corriente Alterna o Corriente Directa con electrodo positivo"+"

Ver la tabla 2.2.2 para más detalles de los dos últimos dígitos.

Clasf.	Corriente	Arco	Penetración	Fundente y Escoria
EXX10	DCEP	Penetrante	Profunda	Celuloso - Sodio (0 - 10% de polvo de Hierro)
EXXX1	AC o DCEP	Penetrante	Profunda	Celuloso - Potasio (0% de Polvo de Hierro)
EXXX2	AC o DCEN	Mediano	Mediana	Titanio - Sodio (0 - 10 % de Polvo de Hierro)
EXXX3	AC o DCEN o DCEP	Suave	Ligera	Titanio - Potasio (0 - 10% de Polvo de Hierro)
EXXX4	AC o DCEN o DCEP	Suave	Ligera	Titanio - Polvo de Hierro (25 - 40% de Polvo de Hierro)
EXXX5	DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrógeno - Sodio (0% de Polvo de Hierro)
EXXX6	AC o DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrógeno - Potasio (0% de Polvo de Hierro)
EXXX8	AC o DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrógeno - Polvo de Hierro (25 - 40% de Polvo de Hierro)
EXX20	AC o DCEN	Mediano	Mediana	Oxido de Hierro - Sodio (0% de Polvo de Hierro)
EXX22	AC o DCEN o DCEP	Mediano	Mediana	Oxido de Hierro - Sodio (0% de Polvo de Hierro)
EXX24	AC o DCEN o DCEP	Suave	Ligera	Titanio - Polvo de Hierro (50% de Polvo de Hierro)
EXX27	AC o DCEN o DCEP	Mediano	Mediana	Oxido de Hierro - Polvo de Hierro (50% de polvo de Hierro)
EXX28	AC o DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrógeno - Polvo de Hierro (50% de polvo de Hierro)
EXX48	AC o DCEP	Mediano	Mediana	Bajo Hidrógeno - Polvo de Hierro (25 - 40% de Polvo de Hierro)

DCEP - Corriente Directa Electrodo Positivo DCEN - Corriente Directa Electrodo Negativo

Nota: El porcentaje del polvo de Hierro está calculado en base al peso del fundente

Tabla 2.2.2 Características de los fundentes

2.3 PROCESOS Y PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA

Existe una amplia clasificación de los procesos de soldadura y corte clasificados en función de sus características, tales como: medios de aporte térmico, materiales de aporte, medios de protección, características eléctricas etc. El código AWS maneja una carta maestra de clasificación de procesos de soldadura y corte, la cual se muestra en la figura 2.3.1.

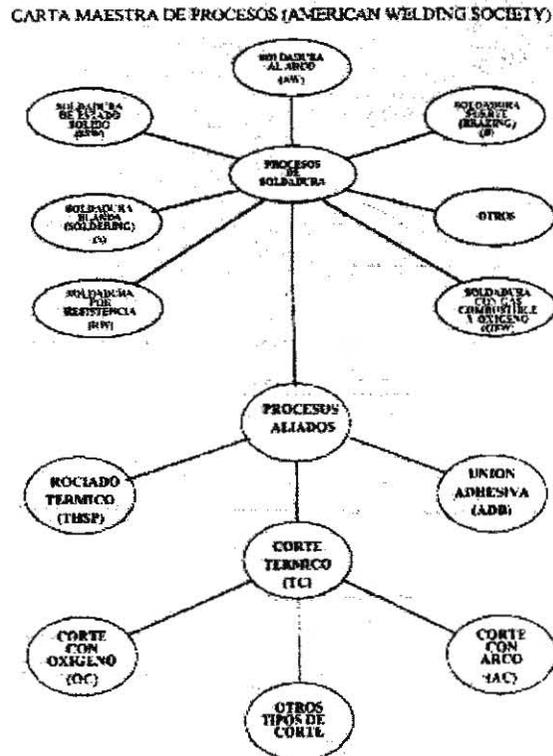


FIGURA 1: CARTA MAESTRA DE PROCESOS

Fig. 2.3.1 Carta maestra de procesos de soldadura y corte

Dentro de la gran variedad de procesos de soldadura que existen nos enfocaremos al proceso “SMAW”, tomando en cuenta que este proceso predomina de manera unánime en la aplicación de soldadura.

El término "SMAW" está referido en inglés a las palabras "Shielded Metal Welding" es decir soldadura de arco metálico protegido. También conocida como soldadura con electrodo revestido y soldadura manual de arco eléctrico.

El proceso "SMAW" es un proceso manual en el que la fusión del metal se produce por el calor generado en un arco eléctrico establecido entre el extremo de un electrodo revestido y el metal base de una unión a soldar. La soldadura manual es el más extendido entre todos los procedimientos de soldadura por arco, debido fundamentalmente a su versatilidad, aparte que el equipo necesario para su ejecución es muy sencillo de fácil transportación y más barato que otros equipos.

Así, la soldadura manual puede ser utilizada en cualquier posición, además puede aplicarse en cualquier localización que sea alcanzada por el electrodo.

Por otra parte, la soldadura manual es aplicable en casi todos los tipos de aceros: al carbón, débilmente aleados, inoxidable, resistentes al calor, etc.

En esencia el proceso "SMAW" consiste en el establecimiento de un circuito eléctrico cerrado que requiere un generador de corriente adecuada con dos terminales, uno de ellos conectado por medio de un cable a un porta electrodo, en cuyas pinzas se sujeta un electrodo revestido, la otra terminal se conecta a su vez a un cable de retorno y una pinza de mesa a la pieza. El circuito se cierra a través del arco que salta entre el extremo del electrodo y el punto de soldadura en la pieza.

En la figura 2.3.2, se indica en forma general el procedimiento de soldadura mediante el proceso "SMAW", mientras que en la figura 2.3.3, se indican algunas características que se presentarán en el proceso de aplicación de soldadura en los elementos de la superestructura del puente "Chiapas1", las cuales deberán de cuidarse para obtener menos defectos, que al final repercuten en el costo directo de la obra.

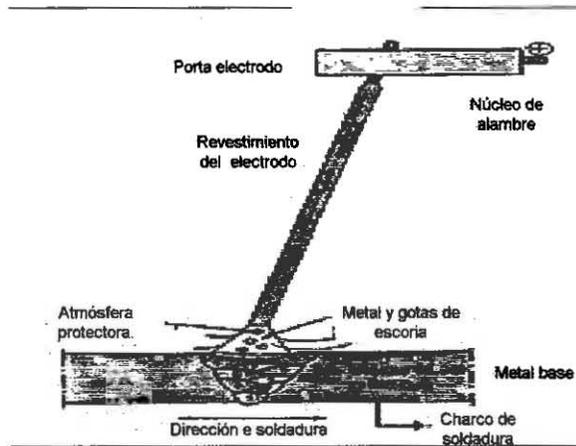


Fig. 2.3.2 Esquematación del proceso de soldadura "SMAW"

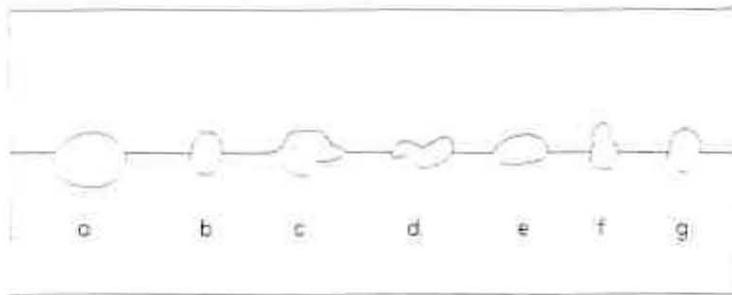


Fig. 2.3.3 Características del cordón de soldadura cuando se modifican las variables del proceso "SMAW"

Descripción de indicaciones de soldadura de acuerdo con la figura 2.3.3.

- a) Soldadura correcta con parámetros adecuados
- b) Soldadura con intensidad demasiado baja, no hay calor suficiente, escasa penetración y cordón abultado
- c) Corriente excesiva, sobrecalentamiento, mordedura, cordón ancho, plano e irregular.
- d) Arco muy corto, potencia pequeña y cordón irregular.

- e) Arco demasiado largo; Pierde fuerza y dispersa el material que aporta, originando falta de protección que provoca porosidades, el cordón es ancho, plano y con muchas proyecciones.
- f) Velocidad de soldadura corta, poca penetración, el material depositado se amontona, el cordón obtenido es abultado.
- g) Velocidad de soldadura excesiva, baja la penetración por falta de calor.

Especificaciones de un proceso de soldadura (WPS)

La especificación de un proceso de soldadura EPS o WPS, abreviación en inglés "Welding Procedure Specification", como su nombre lo indica es un documento en donde se establecen las variables principales, reglas y alcances de una soldadura que se pretende llevar a cabo. Todas las uniones aplicables en el proyecto del puente "Chiapas1", deberán de estar calificadas ya sea mediante los procesos precalificados que presenta el código (AWS), mediante el cual se calificarán todos los aspectos que tengan que ver con soldadura en la construcción del puente "Chiapas 1", y todas aquellas soldaduras que no se apeguen a las especificaciones del código (AWS D1.5) deberán someterse a la calificación del proceso que se pretenda aplicar, llevando un control de los procesos calificados.

Así mismo, las uniones que no estén especificadas en los procedimientos precalificados deberán someterse a las pruebas mecánicas para demostrar que la soldadura cumple con las propiedades requeridas de resistencia, ductilidad y sanidad.

El resultado de esta calificación se registra en un documento llamado Registro de Calificación de Soldadura (RCS) o (PQR), del cual se hablará un poco más adelante. El procedimiento de soldadura no podrá sufrir cambios a menos que sea permitido por personal calificado para decidir.

Todas las uniones soldadas se deben efectuar siguiendo un procedimiento de soldadura (Welding Procedure Specification WPS) previamente calificado, estas calificaciones deben de tener no más de un año de haberse realizado y deberán de estar certificadas por un inspector de soldadura calificado por la AWS.

Las uniones soldadas se pueden realizar empleando uno o más procesos de soldadura, los cuales pueden estar calificados en un solo procedimiento o bien en procedimientos independientes.

Todos los WPS, deben contener las variables esenciales y no esenciales del proceso de soldadura, de acuerdo con el Art. 4.6 para electrodo recubierto (SMAW) de AWS D1.5.

Todos los procesos deben realizarse empleando equipos de soldadura que puedan ser controlados y estén debidamente calibrados conforme a lo establecido en los Art. 4.27 y 4.28 de AWS.

Variables esenciales de un procedimiento

Como ya se mencionó, un procedimiento de soldadura deberá ser recalificado cuando alguna de las variables esenciales cambie. Una variable esencial es aquella cuyo cambio altera las propiedades mecánicas del material de soldadura. En resumen, un procedimiento de soldadura deberá incluir la información y variables mínimas requeridas establecidas por el código AWS D1.5, que es el que se aplica.

Las variables esenciales que se consideran en un procedimiento, y cuyo cambio requiere que éste sea calificado son las siguientes:

Proceso: El proceso o combinación de procesos usados deben ser identificados. El uso de un proceso manual, semiautomático o automático debe ser especificado.

Diseño de junta: La especificación deberá incluir los principales datos relacionados con el diseño de la unión, tales como: tipo de ángulo de bisel, abertura de raíz etc., Esta parte generalmente se acompaña de un croquis de diseño de la unión. En caso de utilizar placa de respaldo, se deberá indicar el tipo de material a emplear.

Material base: Los materiales base considerados en el procedimiento deberán ser identificados indicando la especificación, composición química y propiedades mecánicas generales, quedando claramente indicados.

Espesor y diámetro: Los rangos de espesor y diámetro deberán de ser especificados.

Metal de aporte y número de cordones: Se definirán las características del metal de aporte empleado en el procedimiento.

Posición y progresión: La especificación deberá indicar la posición de la soldadura y progresión en caso de aplicar.

Pre calentamiento y tratamiento térmico de la junta: Se indicará la temperatura mínima de pre calentamiento, y máxima de interpasos.

Características eléctricas: En el procedimiento deberán indicarse los parámetros eléctricos, tales como: tipo de corriente, polaridad, rango de amperaje, y rango de voltaje.

Técnica: Finalmente, la especificación del procedimiento deberá contener datos relacionados con la técnica de aplicación dependiendo de los procesos empleados. Dentro de estos datos se tienen los siguientes: técnica de aplicación de cordón (recto u oscilado), método de saneamiento de raíz, método y herramienta de limpieza empleados en los interpasos de soldadura.

En la figura 2.3.4, se muestra un ejemplo de un procedimiento que se emplea en la construcción del puente Chiapas 1, conforme a los requerimientos del código AWS.

Título:	SUPERESTRUCTURA PUENTE CHIAPAS ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA EN PLANTA WPS			Codificación : PQR - PCH-PRC-105Q
Fecha de emisión: 04/NOV/99	Elaboró: R/JH	Revisó/aprobó: ROD	Autorizó: ROD	No. de sección: HOJA 1 DE 2
Revisión: 0				

Identificación No.: PCH-PRC-105 Tipo: _____
 Procedimiento de Soldadura: SMAW Manual Semiautomático _____
 Soporte del PQR: _____ Maquina _____ Automático _____

DISEÑO DE LA JUNTA USADA **POSICIÓN**
 Tipo: Unión a tope de ranura en doble "V" Posición de ranura 1-G Filete: N/A
 Sencillo: N/A Soldadura doble: Progresión vertical: Arriba N/A Abejo N/A
 Respaldo: Si No N/A
 Material de respaldo: Barra de cobre **CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS**
 Abertura de raíz: 4 mm Hombro: 3 mm
 Angulo de ranura: 50° Apéndice: N/A Modo de transferencia (GMAW) Corto circuito
 Apoyo: Si N/A No N/A Método: N/A Globular: N/A Puverizado: N/A
 Corriente: AC: DCEP: X DCEN: Pulsado

METAL BASE Otro: N/A
 Especificación: ASTM A-572
 Tipo o grado: G-50 Electrodo de tungsteno (GTAW)
 Espesores: Ranura: Variable Diámetro: N/A
 Filete: N/A Tipo: N/A
 Diámetro del tubo: N/A

METAL DE APORTE **TÉCNICA**
 Especificación/AWS: A 5.1 Costura o en serie: Serie
 Clasificación AWS E-7018 Pasos sencillos o múltiples (por lado): Múltiples
 Número de electrodos: Varios
ESPACIAMIENTO ENTRE JUNTA Y ELECTRODO

PROTECCIÓN Longitudinal: N/A
 Fuente: N/A Gas: N/A Lateral: N/A Angular: N/A
 Composición: N/A Tubo de contacto a la distancia del trabajo: N/A
 Clase de fuente del electrodo Veloc. de flujo: N/A Martilleo: N/A
N/A Tamaño de la copa: N/A Limpieza entre pasos: Cepillo de alambre, cincal y martillo
Y Pulidora

PRECALENTAMIENTO **TRATAMIENTO TÉRMICO POST-SOLDADURA**
 Temperatura de precalentamiento mínima: 65° C Temperatura: N/A
 Temperatura de interpasos: min.: 110° C Máx.: 300° C Tiempo: N/A

Fig. 2.3.4. Especificación de procedimiento de soldadura

Título:	SUPERESTRUCTURA PUENTE CHIAPAS ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA EN PLANTA WPS				Codificación : PCH-PRC-105
					Trazabilidad: PCH-PRC-100 R.1
Fecha de emisión: 15/12/2002	Elaboró: R.J.H.	Revisó/aprobó: ROD	Autorizó: ROD	No. de sección: 3	
Revisión: 1	R.J.H.	ROD	ROD	HOJA 2 DE 2	

PROCESO DE SOLDADURA

No. de Cordón	Proceso	Metal de aporte		Corriente		Voltaje	Velocidad de viaje mm/min	Detalle de La junta
		Diámetro.		Polaridad	Amps.			
		Clasificación	mm					
1°	SMAW	E7018	3.1	CDEP	110-130	14-16	Variable	Fondeo
2°	SMAW	E7018	3.9	CDEP	140-180	16-18	Variable	Relleno
3°	SMAW	E7018	3.9	CDEP	140-180	16-18	Variable	Vista

1°	SMAW	E7018	3.9	CDEP	110-130	14-16	Variable	Raíz
2°	SMAW	E7018	3.9	CDEP	140-180	16-18	Variable	Relleno
3°	SMAW	E7018	3.9	CDEP	140-180	16-18	Variable	Vista

CONFORME A LOS REQUERIMIENTOS DE AWS D1.5 EDICIÓN 1996

PRESENTACIÓN GRÁFICA DE PROCEDIMIENTO

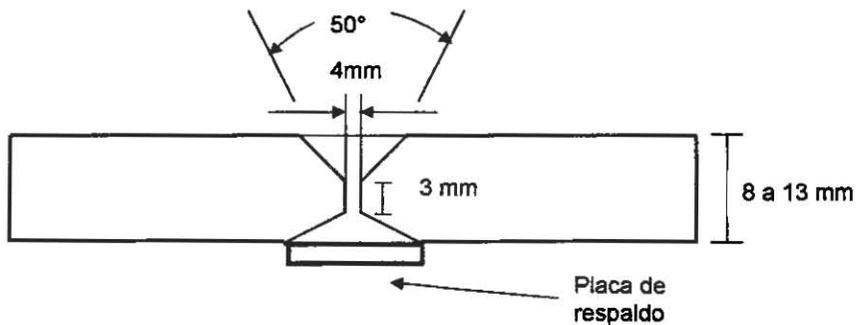


Fig. 2.3.4. Especificación de procedimiento de soldadura

Registro de calificación de soldadura (RCS) ó (PQR)

Una vez que se ha diseñado la especificación del procedimiento de soldadura éste debe ser calificado mediante pruebas mecánicas, dando lugar a un documento denominado Registro de Calificación de Soldadura (RCS) ó (PQR), abreviación en inglés de " Procedure Qualification Record", en el cuál se registra básicamente la información general relacionada con el procedimiento calificado, los valores específicos de las variables y parámetros empleados durante la elaboración de la probeta para calificar el procedimiento y los resultados de las pruebas mecánicas que avalan la calificación del procedimiento.

Para la calificación de un procedimiento de soldadura será necesario preparar una probeta conforme a los lineamientos del código (AWS D1.5), teniendo como variables principales, el material, espesor y diámetro, con los cuales queda amparado el alcance de dicho procedimiento.

En términos generales, las pruebas mecánicas que normalmente se aplican para calificar un procedimiento de soldadura a tope son resistencia a la tensión y dobléz.

Para el caso de calificación de soldadura de filete, normalmente se realizan pruebas de fractura y metalografías. La tabla 2.3.1. muestra los rangos de espesor para la calificación de un procedimiento de soldadura de ranura conforme al código (aws d1.5)

ESPESOR DEL CUPÓN DE PRUEBA SOLDADO	RANGO DE ESPESOR CALIFICADO	
	MÍNIMO	MÁXIMO
20 MM.	3 MM.	38 MM.
> 38 MM. T < 60 MM.	38 MM.	ILIMITADO

Tabla 2.3.1. Rangos de espesores de probetas de calificación de soldaduras

En la figura 2.3.5, se da un ejemplo del tipo de registro de calificación de soldadura empleado en el puente Chiapas 1.

Título: SUPERESTRUCTURA PUENTE CHIAPAS REPORTE DE CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO SOLDADURA EN PLANTA PQR				Codificación : PQR - PCH-PRC-105Q	
Fecha de emisión: 04/NOV/99		Elaboró: RJH	Revisó/aprobó: ROD	Autorizó: ROD	No. de sección: HOJA 1 DE 1
Revisión: 0		RJD	ROD	ROD	HOJA 1 DE 1

PROCESO: SMAW (MANUAL) **METAL DE APORTE:** SI

POSICIÓN: 1 G **DISEÑO DE UNIÓN:** A TOPE EN DOBLE "V" CON RESPALDO DE COBRE REMOVIBLE

DESIGNACIÓN DEL ELECTRODO: LINCON-JET WELD LH78RH **CLASIFICACIÓN AWS:** E 7018

	DIÁMETRO	CORRIENTE	VOLTAJE	CORRIENTE Y POLARIDAD
ELECTRODO				
(1)	3.2 mm	120 A	25 V	CD/INVERTIDA
(2)	4.7 mm	220 A	28 V	CD/INVERTIDA
(3)	4.7 mm	220 A	28 V	CD/INVERTIDA
(1)	4.7 mm	220 A	28 V	CD/INVERTIDA
(2)	4.7 mm	220 A	28 V	CD/INVERTIDA
(3)	4.7 mm	220 A	28 V	CD/INVERTIDA

VELOCIDAD DE AVANCE: 178 mm. /min.

ENTRADA DE CALOR: PASO 1.- 26 KJ/pulg. PASOS 2, 3, 4, 5 y 6.- 53 KJ/pulg.

METAL BASE ESPECIFICACIÓN Y ESPESOR: ASTM A 572-50 / 19 mm (Se anexa certificado)

TEMPERATURA DE PRECALENTAMIENTO: 65° C **TEMPERATURA DE INTERPASOS:** MIN. 65.°C MAX. 300°C

TIPO DE ESPÉCIMEN	RESULTADO DE PRUEBAS				
PROBETA DE TENSIÓN DE SOLD.	ESFUERZO A LA TENSIÓN (psi):	82,673			
	LIMITE ELÁSTICO (psi):	70,862			
	ELONGACIÓN (%):	28			
	REDUCCIÓN DE ÁREA (%):	28			
DOBLEZ LATERAL	1.- SIN DISCONTINUIDAD	2.- SIN DISCONTINUIDAD	3.- SIN DISCONTINUIDAD	4.- SIN DISCONTINUIDAD	
PROBETAS DE TENSIÓN A SECCIÓN REDUCIDA (Transversal a la soldadura)	ESFUERZO A LA TENSIÓN	1.- 76,946 psi	LOCALIZACIÓN DE LA FALLA	1.- METAL BASE	
		2.- 79,066 psi		2.- METAL BASE	
PROBETA DE IMPACTO CON ENTALLA EN "V"	65 Lbf-Ft *	10 Lbf-Ft *	15.5 Lbf-Ft	42 Lbf-Ft	47 Lbf-Ft
	PROMEDIO (Lbf-Ft): 34 @ 0 *F				
	Se descartan el máximo y mínimo valor				
	PRUEBA GUIADA POR: ING. FABIÁN GONZÁLEZ DÍAZ COMPAÑÍA: NOVO CONTROL ASESORES, S.A. DE C.V.				
	REVISO RESULTADO: ING. RAFAEL JACINTO HDZ. RESULTADO: ACEPTABLE FECHA: 04/NOV/99				

Fig. 2.3.4. Reporte de calificación de procedimiento de soldadura

2.4 CALIFICACIÓN DE SOLDADORES

Solo los soldadores que han sido calificados de acuerdo a la parte "C" del capítulo. 5 de AWS D1.5, están autorizados para realizar cualquier aplicación de soldadura en la superestructura. La calificación del soldador debe ser por medio de las pruebas que más adelante se mencionarán.

La calificación de los soldadores deberá ser basada en los procedimientos precalificados y calificados bajo las normas descritas por el código AWS D1.5 y asignados para el proyecto de la superestructura del puente "Chiapas1", y haya sido aprobada por la supervisión de la obra.

Cualquier trabajo de soldadura que se realice mediante un procedimiento debidamente calificado deberá complementarse con la calificación del soldador que lo ejecute.

El propósito de la calificación de un soldador es determinar su habilidad para ejecutar soldaduras sanas a tope o de filete bajo los procedimientos previamente especificados.

De igual manera una especificación de procedimiento de soldadura y el registro de calificación del procedimiento mostrado en las figuras 2.3.4 y 2.3.5, la calificación de un soldador deberá estar avalada por un documento, el cuál se denominará registro de calificación del soldador (RCS) ó (WPQ), la abreviación en inglés es, Welding Performance Qualification. De acuerdo a lo anterior, antes de cualquier aplicación de soldadura en los elementos de la superestructura, se deberá cubrir el requisito de la calificación del soldador, de no ser así el soldador no podrá depositar soldadura.

Cabe aclarar que la calificación de soldadores se ratificará mediante la aprobación de la inspección visual de la soldadura y la aplicación de un examen radiográfico. Un ejemplo del registro de calificación del soldador se ilustra en la Fig. 2.4.1.

Finalmente, es importante mencionar que en relación a la vigencia de un soldador, el código AWS D1.5 en su capítulo 4, indica que un soldador quedará fuera de vigencia si deja de soldar en procedimiento calificado, por más de 6 meses o la habilidad del soldador está en duda a consecuencia de una deficiente calidad de aplicación de soldadura.

Título:	REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE SOLDADOR	Codificación: PCH-PRC-120
----------------	---	------------------------------

DATOS GENERALES

NOMBRE DEL SOLDADOR/ PUNTEADOR ABRAHAM JUÁREZ ÁLVAREZ IDENTIFICACIÓN AJA
 PROCESO DE SOLDADURA SMAW MANUAL X SEMIAUTOMÁTICO ----- AUTOMÁTICO -----
 POSICIÓN PLANA (1G) / (4G)
 CON BASE EN EL PROCEDIMIENTO No. WPS PCH-PRC-154
 ESPECIFICACIÓN DEL MATERIAL ASTM A-572 GRADO 50
 ESPESOR Y TIPO DE PROBETA PLACA 1 1/8" (PROBETA DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO)
 RANGO DEL ESPESOR CALIFICADO ILIMITADO

METAL DE APORTE

ESPECIFICACIÓN No. E-7018 CLASIFICACIÓN AWS A 5.1 N°. F. 4
 PLACA DE RESPALDO SI No. -----
 DIÁMETRO DEL ELECTRODO 5/32" Y 1/8" MM NOMBRE COMERCIAL LINCOLN LH-78RH
 FLUX (SMAW) N/A GAS (FCAW) N/A

RESULTADOS DE INSPECCIÓN VISUAL

APARIENCIA: ACEPTABLE SOCAVADOS: SIN SOCAVADOS POROSIDAD VERMICULAR: SIN POROSIDAD

RESULTADOS DE PRUEBA DE DOBLEZ

	TIPO DE PROBETA	RESULTADO		TIPO DE PROBETA	RESULTADO
1	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>	3	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>
2	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>	4	<u>N/A</u>	<u>N/A</u>

PRUEBA CONDUCTA POR: ING. ANTONIO RIVERA ORTEGA PRUEBA DE LABORATORIO No. N/A
 LABORATORIO: NOVO CONTROL ASESORES FECHA DE LA PRUEBA: 03-OCT-2000

Establecemos que lo indicado en este reporte es correcto y que las probetas de soldadura fueron realizadas y ensayadas en acuerdo a lo establecido en AWS D1.5 ED. 96. Código de fabricación de puentes.

FABRICANTE: IMET
 AUTORIZADO POR: ING. JOSÉ TRINIDAD VALTIERRA C.
 FECHA: 03-OCTUBRE-2002

Fig. 2.4.1 Resultados de prueba de calificación de soldador

Se debe presentar una lista actualizada semanalmente de los soldadores calificados, para corroborar la acreditación del procedimiento, la posición de las soldaduras que deben de efectuar, y su número de identificación y estampa. Solamente los soldadores de la lista estarán dispuestos para la supervisión de la obra, el formato de estas listas se presentará en el capítulo 4 de este trabajo.

En la tabla 2.4.1, se desglosan las posiciones calificadas por soldador y para soldaduras de ranura, ratificando que al calificar a un soldador a partir de una soldadura de ranura también permite calificar una soldadura de filete de acuerdo a las posiciones que se apliquen.

TIPO DE SOLDADURA DEL CUPÓN DE PRUEBA	POSICIÓN DEL CUPÓN DE PRUEBA.	TIPO DE SOLDADURA Y POSICIÓN DE SOLDADURA CALIFICADA.	
		Soldadura de ranura *	Soldadura de filete *
Soldadura de ranura en placa F	1G	F	F,H
	2G	F,H	F,H
	3G	F,H,V	F,H,V
	4G	F,O,H	F,H,OH
	3G Y4G	Todas	Todas

* F = plana / H = Horizontal / V = Vertical / OH = Sobre cabeza.

Tabla 2.4.1 Posiciones y acreditación de aplicación de soldadura

2.5 CERTIFICACIÓN EN LA INSPECCIÓN DE SOLDADURAS

En nuestros días se da gran énfasis al control de calidad, en el Puente "CHIAPAS 1", no será la excepción por la importancia y la magnitud de esta obra, ya que su construcción repercutirá en la economía, por lo que hay que garantizar su seguridad para aplicar la adecuada implementación de un proceso de fabricación a una estructura nueva en su tipo, en nuestro país.

La inspección juega un papel muy importante para la obtención y el éxito en cualquier programa de calidad, y en este caso la inspección de soldaduras del Puente "Chiapas 1", será determinante.

Muchas personas participan en la obtención de un producto soldado de calidad, sin embargo, el inspector de soldadura es la persona que está al frente para verificar que todas las operaciones así como la fabricación sean efectuadas correctamente. Para efectuar este trabajo en forma efectiva, el inspector de soldaduras necesita una gran variedad de conocimientos y habilidades, ya que la inspección no reside en simplemente observar soldaduras terminadas.

En el caso del puente "Chiapas 1" la calidad de soldaduras se iniciará desde antes de usar el primer electrodo, contemplando que todos los inspectores calificados de soldaduras deberán estar familiarizados con todos los aspectos del proceso de fabricación. Al iniciar un proceso de soldadura, el inspector deberá supervisar directamente todas las etapas del proceso para asegurar que son efectuadas en forma apropiada, estas etapas del proceso y control de calidad se presentan en el capítulo no. 4.

Inspector de soldaduras

En términos generales el inspector de soldaduras es un representante responsable involucrado en la determinación de la calidad de las soldaduras de acuerdo con el código o especificaciones aplicables al proyecto, que en el caso del Puente "Chiapas1" se regirá en función del código AWS D1.5, aplicable para soldaduras en puentes.

Certificación del inspector de soldaduras AWS

Actualmente, la Sociedad Americana de Soldaduras o "American Welding Society" (AWS) tiene implementado un programa de certificación de inspectores de soldadura, el cual se ha mantenido durante varios años. Este programa está regido por la certificación AWS QC-1, que marca los lineamientos para alcanzar la certificación como inspector de soldadura AWS. Este requisito será integrado al grupo de inspección del Puente "Chiapas 1".

Para ser calificado como inspector de soldaduras AWS, básicamente se deberá evaluar a los candidatos a través de tres modalidades de examinación complementarias, cumpliendo previamente con los siguientes requisitos:

- a) Actitud profesional
- b) Buena condición física
- c) Habilidad para interpretar dibujos y especificaciones
- d) Experiencia en inspección
- e) Conocimientos de soldadura
- f) Conocimientos de métodos de inspección
- g) Habilidad para recibir adiestramiento
- h) Habilidad para llenar y mantener registros de inspección

El inspector de soldaduras debe actuar con completa honestidad e integridad. Su trabajo es de mucha importancia y responsabilidad, sus decisiones no deberán estar nunca basadas en su asociación con gente deshonesto o en el ofrecimiento de beneficios económicos, sus decisiones deben estar basadas en los requerimientos del trabajo, sin importar quien lo realizó. Este punto es muy importante de visualizar ya que en el proceso de fabricación del puente los inspectores de soldaduras cometen actos deshonestos a su ética profesional tratando de obtener beneficios a través de las empresas contratistas, fundamentados en el poder que se les atribuye.

Modalidad (a) Examen teórico de fundamentos

Consiste en un examen de conocimientos generales con 160 preguntas, las cuales deberán de ser contestadas sin el auxilio de documentación alguna

Modalidad (b) Examen práctico

Durante este examen el aspirante deberá contestar 46 preguntas y resolver problemas de aspectos de diseño de soldaduras, así como analizar especificaciones de procedimientos de soldadura y registros de calificación. Así mismo el aspirante será provisto con probetas simulando soldaduras y discontinuidades con la finalidad de determinar sus características y si son aceptables y rechazables.

Modalidad (c) Examen a libro abierto

Finalmente, el aspirante presentará un examen a libro abierto que consta al igual que el examen práctico de 46 preguntas, para lo cual deberá previamente haber escogido un código. Con el auxilio de este código el aspirante deberá contestar una serie de preguntas referidas al mismo.

De acuerdo con lo anterior, el resultado de aprobación para convertirse en inspector certificado de soldadura estará condicionado a cumplir con una calificación mínima del 82% en cada uno de los exámenes descritos, es decir que en caso de fallar en uno de ellos no podrá alcanzarse dicha certificación.

Por otra parte, el esquema de certificación establece que en el caso de que el aspirante no cumpla con la calificación mínima en los tres exámenes para acreditarse como inspector de soldaduras, certificado "Certified Welding Inspector" (CWI), pudiendo fallar en uno, dos o incluso los tres, podrá tener la opción de conseguir la acreditación como inspector de soldadura asociado certificado "Certified Associated Welding Inspector" (CAWI), siempre y cuando su calificación en los tres exámenes no sea menor del 60%.

Dentro de este contexto se puede entender que el inspector de soldadura asociado deberá trabajar bajo la supervisión de un inspector de soldaduras calificado (CWI).

Otra de las modalidades de certificación de (AWS) es la de "Señor Welding Inspector" (SWI) y "Certified Welding Educador" (CWE), El primero de ellos representa la mayor autoridad dentro del esquema de certificación, mientras que el segundo está enfocado a certificar el personal como educador del área de soldaduras.

El inspector de soldaduras responsable puede contar con asistentes debidamente capacitados y con la experiencia necesaria para que efectúen inspecciones específicas y a los cuales debe de monitorear el CWI en forma periódica.

Otra de las certificaciones importantes que se deben de cubrir para la inspección de soldaduras, es la certificación de personal de pruebas no destructivas, incluyendo la inspección visual de soldaduras, de acuerdo a la norma "SNT-TC-1A".

Los conceptos básicos de esta norma son los siguientes y deberán de ser aplicados en cada uno de los procesos de aplicación y depósito de soldadura de acuerdo a la Jerarquización de soldaduras autorizada para este proyecto.

Existen 3 niveles básicos de calificación para la inspección de pruebas:

Aprendiz

Nivel I: Es un operador, maneja los principios básicos del método, el equipo y los procedimientos de inspección.

Nivel II: Es el responsable de la inspección, además maneja la tecnología de los materiales y elabora los reportes.

Nivel III: Es una persona calificada para establecer métodos y procedimientos de inspección, y es la adecuada para llevar el control y verificación de todas las pruebas aplicables al proyecto.

Solo los inspectores de nivel II están autorizados para realizar las interpretaciones de los resultados de la inspección, así como para firmar como responsables, designados por el nivel III, los reportes de resultados de las inspecciones que aplicarán en el puente "Chiapas 1" serán reportes de inspección visual, inspección por partículas magnéticas, inspección por ultrasonido e inspección por radiografía.

Todos los inspectores deben aprobar un examen de agudeza visual conforme a los requisitos del párrafo 6.1.3.7 del Capítulo 6 del código AWS.

- a) La agudeza visual cercana debe permitir leer como mínimo letras del tipo Snellen 20/30 o equivalente, por lo menos de un ojo con o sin prótesis correctiva (anteojos).
- b) La agudeza visual lejana debe permitir leer como mínimo letras del tipo Jaeger no. 2 o equivalente, a una distancia de 30 cm.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ENEP ACATLÁN**

TÍTULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIÁPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO.				
No. de Sección:	PÁGINA:	ELABORÓ:	REVISÓ:	FECHA:
Capítulo 3	67	Martín Romo G.	Ing. Darío Rivera Vargas	29/09/03

nos baso en

CAPÍTULO 3

PROCEDIMIENTO DE ENSAMBLE Y EMPUJADO DE DOVELAS

3.1-	Fosa de ensamble y armado.....	68
3.2-	Estructuras auxiliares en la superestructura.....	70
3.3-	Proceso de ensamble de dovelas.....	77
3.4-	Proceso de empujado de los ciclos de armado de dovelas.....	86

En esta figura se aprecia claramente lo que será la principal área de trabajo, en la cual se realizan los procesos necesarios, tanto de corte, ensamble, armado y soldadura de todos los elementos que comprenderán la construcción de la superestructura del "Puente Chiapas 1", en la figura 3.1.2, se observa la planta y un perfil de la fosa de armado, en la fotografía 3.1.1 se muestra la sección del cajón de ensamble ya terminado. El cajón de armado, con una longitud de 336 m permitirá poder conformar 2 ciclos de armado y la nariz de empuje, esto con la finalidad de que durante el proceso de empujado del tren de dovelas, se pueda continuar con el ensamble y armado de un nuevo ciclo.

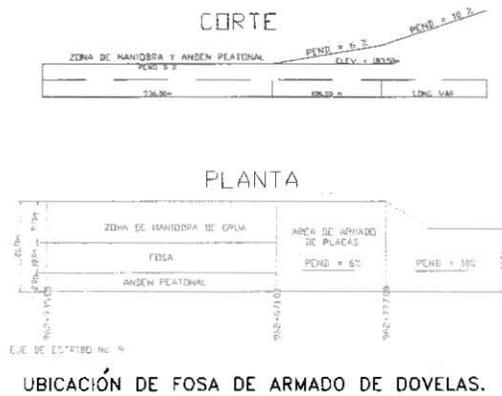


Fig. 3.1.2 Planta y corte esquemático de fosa de armado de dovelas



Fotografía 3.1.1 Vista de fosa de armado

En la figura 3.1.2 y la fotografía 3.1.1, se muestran las áreas destinadas a los trabajos de maniobras y ensamble de elementos individuales, ubicadas respectivamente en zonas aledañas a la fosa. Cabe comentar, que se cuenta con una franja de acceso peatonal por el cual circulará todo el personal que realiza trabajos en el interior de la fosa o cajón de armado de dovelas.

3.2 ESTRUCTURAS AUXILIARES EN LA SUPERESTRUCTURA

Nariz de empuje

La nariz de empuje es una estructura auxiliar fabricada en acero A-36, está constituida por 2 vigas de sección "I" variable, con una longitud de 44.06 m, ligadas a través de venteos de ángulo separados estos cada 4 m.

La función primordial de la nariz de empuje es la de guiar el ensamble de la superestructura en forma lineal hasta alcanzar cada uno de los apoyos definitivos del puente.

El ensamble de la nariz de empuje se realizará directamente en el cajón de ensamble, inicialmente la longitud de las vigas por ensamblar estaba dividida en 5 tramos con una longitud de 56.0 m, pero por presentar deflexiones mayores a las consideradas por peso propio en el diseño, se redujo a 4 tramos con una longitud total de 44.6 m y cuyo peso total es de 109 t.

El ensamble inicia con la colocación de dos tramos "NETR5" de 12.0 m, sobre las vigas de concreto de la fosa de armado y ligándolas de forma provisional mediante los venteos horizontales y verticales que se muestran en la figura 3.2.1, de acuerdo con los detalles mostrados en la misma. La nariz se encuentra a 6.0 m del eje del estribo número 9, o apoyo final, ya que el sentido de empujado será de forma inversa a la numeración de los trenes de empujado de las dovelas.

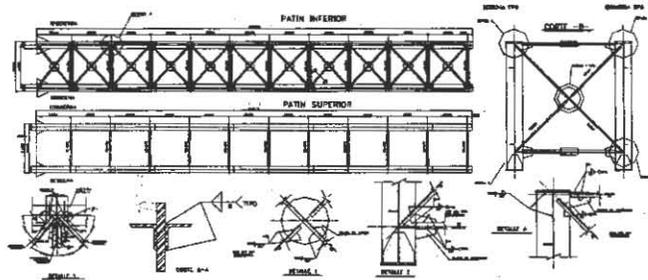
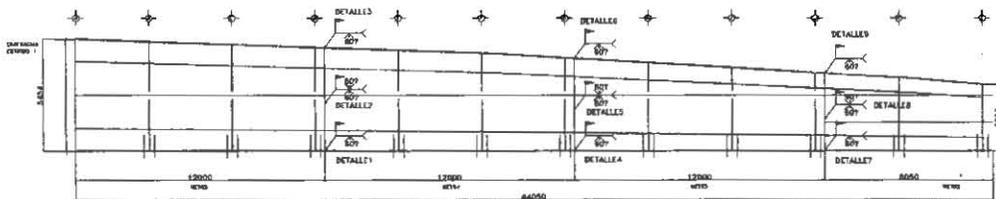


Fig. 3.2.1 Secciones y detalles de nariz de empuje

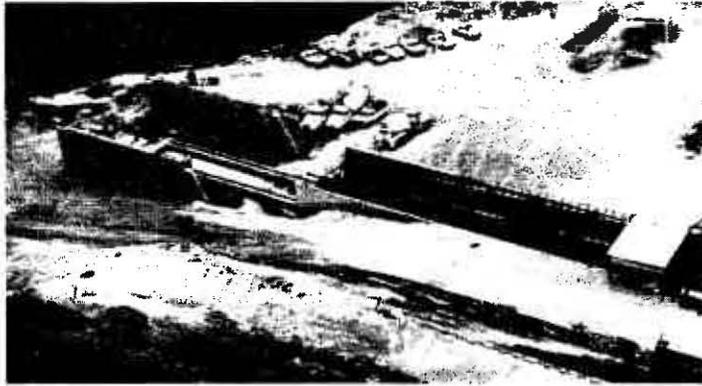
Una vez ensamblado el primer tramo, se alinean las vigas del tramo "NETR4" de la misma manera sin ligarse entre ellos. Posteriormente se procede a la instalación de los venteos horizontales y verticales de manera provisional para ensamblar los siguientes tramos. Concluida la actividad del armado de los cuatro tramos se alinean y se ensamblan de manera definitiva para iniciar con el proceso de soldadura, ligando el primer tramo "NETR5 al NETR4" y así sucesivamente hasta alcanzar la longitud total de los cuatro tramos, finalmente se fijan los venteos definitivamente. En la figura 3.2.2, se muestra la elevación completa de la nariz de empuje.



ELEVACIÓN DE NARIZ DE LANZAMIENTO.

Fig. 3.2.2 Elevación de nariz de lanzamiento

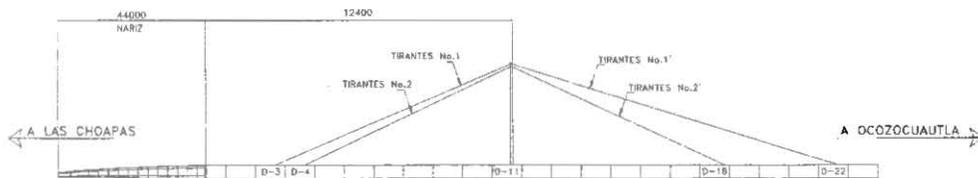
El inicio de la nariz de empuje se ligará a la superestructura mediante el primer diafragma de la dovela 1 en toda la sección transversal de las vigas de tres placas de la nariz de empuje, esto se realizará una vez terminado el ensamble del primer ciclo de empujado, la fotografía 3.2.1, muestra una vista del ensamble de la nariz terminada.



Fotografía 3.2.1 Ensamble de nariz con dovela 1

Mástil

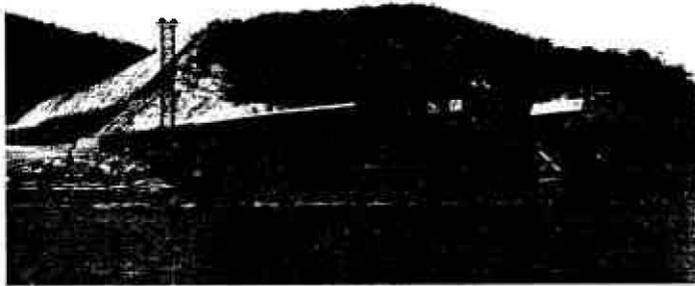
El mástil al igual que la nariz de empuje es una estructura auxiliar construida con un acero A-36, el cual será desplantado como un apoyo articulado sobre el diafragma central de la dovela 11, el peso aproximado de esta estructura es de 105 t y tendrá una altura de 42 m. La función principal del mástil será la de proveer una fuerza de tensión equilibrada entre las dovelas 3, 4, 18 y 22 como se muestra en la figura 3.2.3.



DETALLE DE MÁSTIL P/TENSADO

Fig. 3.2.3 Detalle de ubicación del mástil

Los tensores 1 y 2 se ligarán a las dovelas mencionadas integradas en las almas a través de unas placas de 3 pulgadas de espesor denominándose "OREJAS", las cuales sobresalen del patín superior de la dovela, las secciones de las orejas se aprecian en la figura 3.2.4, y en la fotografía 3.2.2, se muestran los detalles del segundo ciclo de empujado.



Fotografía 3.2.2 Vista de mástil durante el proceso de empuje

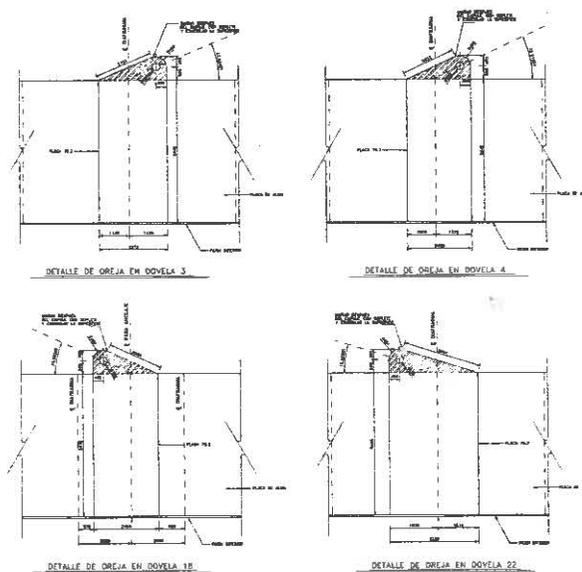
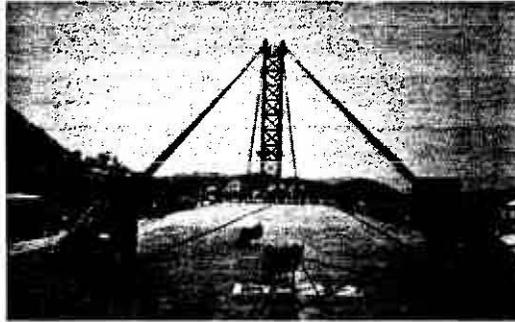


Fig. 3.2.4 Detalle de orejas para ajuste de tensores de mástil

La estructura del mástil se armará en 6 tramos de longitudes variables a base de 2 columnas cuadradas y ligadas entre sí por medio de crucetas de ángulo, el desplante se realizará mediante placas de 2 pulgadas de espesor, y en la parte superior se colocarán los dispositivos para la fijación de los tensores 1 y 2, en la figura 3.2.5, se presentan las secciones principales

del mástil de tensado y en la fotografía 3.2.3 se muestran los tensores ligados a las orejas de las dovelas 18 y 22.



Fotografía 3.2.3 Detalle de unión de orejas con el mástil de tensado

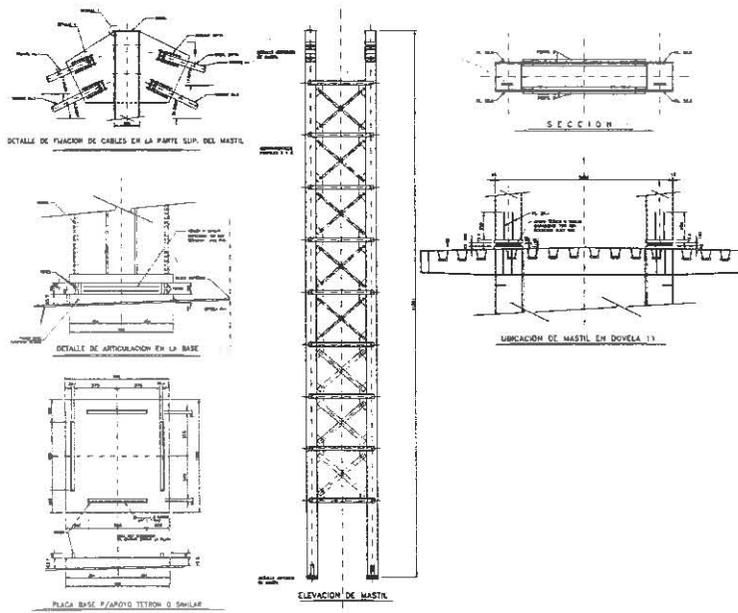


Fig. 3.2.5 Secciones principales del mástil de tensado

La unión entre la parte superior del mástil y las orejas de fijación se realizará mediante dispositivos de fijación, a los cuales se ligarán los cables de los tensores, y ayudados por un equipo de tensado se proveerá de la tensión necesaria para soportar los ciclos de empuje en sus longitudes de volado, el cable asignado para realizar esta función es del tipo 25T15, esto quiere decir que está constituido por 25 alambres de diámetro de 5/8" con una resistencia de 16.3 t por cable para soportar esfuerzos de tensión de más de 350 t, siendo este miembro flexible cuya principal función es la de resistir fuerzas de tensión, y formado por uno o más grupos de alambres también denominados torones, mostrándose en la figura 3.2.6, algunos de estos.



Fig. 3.2.6 Secciones y tipos de torones

Los dispositivos que se ajustarán en las orejas y el mástil se muestran en la figura 3.2.7.

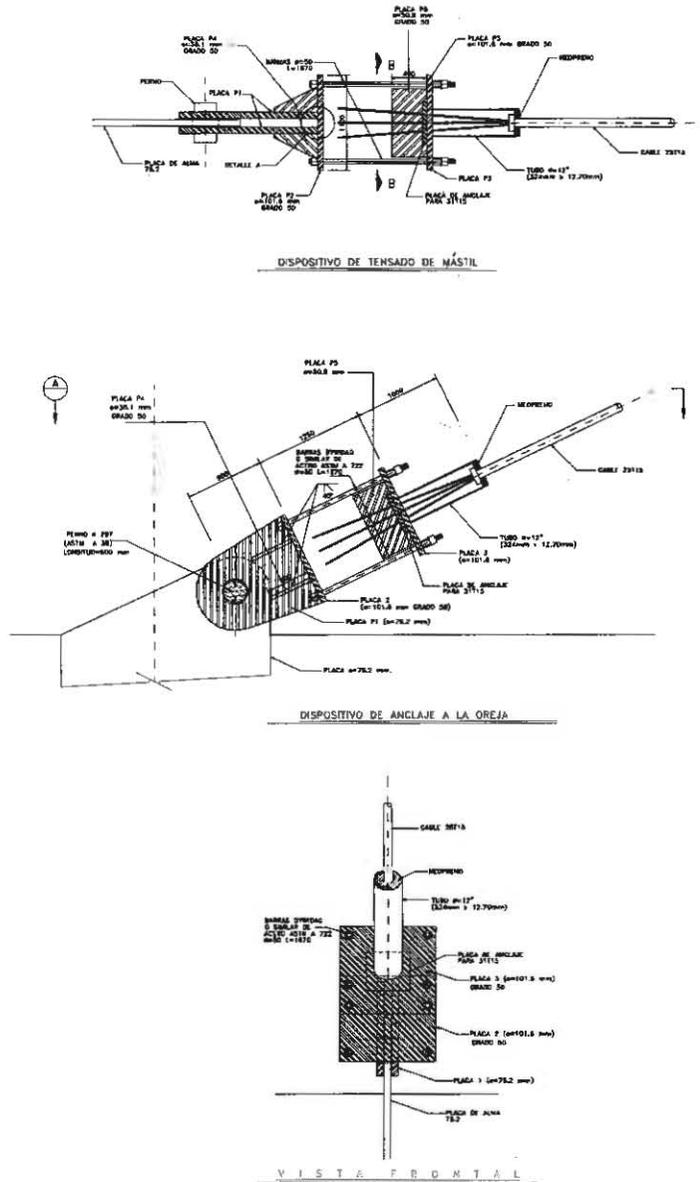


Fig. 3.2.7 Dispositivos y detalles de ajuste de tensores en orejas y mástil

3.3 PROCESO DE ENSAMBLE DE DOVELAS

Lo que hace que este puente sea especial es el procedimiento constructivo de la superestructura y muy en especial el ensamble de los elementos individuales, los cuales fueron prefabricados en un taller central para posteriormente ser embarcados al lugar de la fosa de ensamble.

La estructura completa constará de 1020 piezas. Para el preensamble se construirán las 102 dovelas que conformarán los 1206 m de la longitud total del puente; una dovela estará constituida por 10 elementos, los cuales serán prearmados en mesas ubicadas en zonas aledañas a la fosa de armado.

En la tabla 3.3.1, se muestra la nomenclatura de los 10 elementos que comprenden una dovela tipo, así como los pesos aproximados de cada elemento, observando que el peso total de la dovela es de 77,357 kg, es importante mencionar que las dovelas más pesadas serán las siguientes, 11, 25, 39, 53, 67, 81,94, con un peso aproximado de 144 t, correspondiendo a las dovelas que se ubicarán exactamente en los apoyos del puente.

Partida no.	Cantidad	Nomenclatura	Nombre	Peso unitario Kg.
1	1	PID	PLACA INFERIOR DERECHA	9572.22
2	1	PII	PLACA INFERIOR IZQUIERDA	9572.22
3	1	PAID	PLACA ALMA INFERIOR DER.	8161.29
4	1	PAII	PLACA ALMA INFERIOR IZQ.	8161.29
5	1	PASD	PLACA ALMA SUPERIOR DER.	6891.49
6	1	PASI	PLACA ALMA SUPERIOR IZQ.	6891.49
7	1	PSCD	PLACA SUPERIOR CENTRAL DER.	6550.72
8	1	PSCI	PLACA SUPERIOR CENTRAL IZQ.	6550.72
9	1	PSLD	PLACA SUPERIOR LATERAL DER.	7502.83
10	1	PSLI	PLACA SUPERIOR LATERAL IZQ.	7502.83
PESO TOTAL DE DOVELA TIPO 77357.1 KG.				

Fig. 3.3.1 Nomenclatura y pesos por elementos de una dovela tipo

El proceso inicial del ensamble de las dovelas inicia con el armado de los dos patines inferiores, denominados "PID y PII" en las zonas de armado, las cuales llegan al campo prearmadas con 4 bulbos de sección cerrada en la longitud total de la placa, y los tres diafragmas constituidos a base de una viga de dos placas en sección "T", los cuales tendrán una separación entre ellos de 4.0 m en toda la longitud del puente, las dimensiones finales de los 2 elementos serán de 12.0 m de longitud por 6.0 m de ancho, tal como se mostró en las secciones transversales descritas en el capítulo 1.

Concluido el ensamble del patín inferior se procede al armado de las placas almas, derecha e izquierda denominadas "PAID, PASD, PAII, PASI", las cuales llegan al campo prearmadas únicamente con los tres diafragmas a base de la viga de dos placas en sección "T", y tres atiesadores que se ubican en la longitud de las almas, estos elementos presentan las mismas dimensiones finales de los patines inferiores en el sentido longitudinal y 5.4 m de ancho.

Finalmente, el ensamble de los patines centrales superiores denominados "PSCD y PSCI", su ensamble es de forma similar al descrito para los patines inferiores, contando con los mismos elementos, pero con la diferencia que el ensamble deberá ajustarse a un 2% de pendiente para el bombeo final de la superficie de rodamiento, la longitud de la pieza armada es la misma del patín inferior, y el ancho de los 2 elementos ensamblados es de 5.0m.

Las placas superiores laterales denominadas "PSLD y PSLI" no requieren de ningún proceso previo al ensamble de la dovela dentro del cajón. En la figura 3.3.2, se muestran los ensambles de cada una de las partes de las dovelas, así como el tipo de unión de junta de soldadura clase 1 que deberá aplicarse durante todo el proceso constructivo de armado.

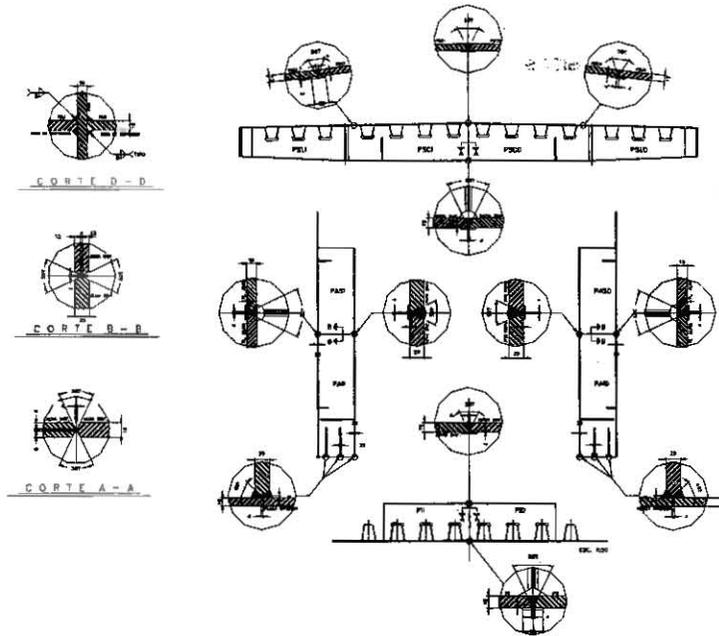


Fig. 3.3.2 Ensamblados de elementos de la dovela

Una vez terminadas las actividades de ensamble y aplicación de soldadura de cada uno de los elementos de la dovela según lo indicado en la figura 3.1.1, se procede al ensamble de elementos dentro del cajón de armado de acuerdo con las siguientes etapas:

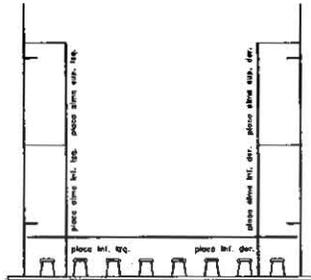
Etapa 1.- Se coloca el patín inferior dentro de la fosa de armado, nivelándose por medio de los bancos, para ubicar la pieza con el nivel requerido de contraflecha; ver figura A.



1a Etapa de ensamble

Fig. A Ensamble de patines inferiores de dovela

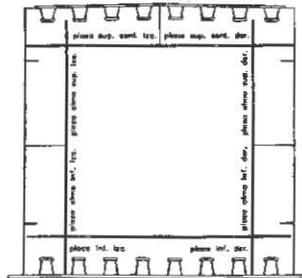
Etapa 2.- Se ensamblan y alinean las placas almas, verificando que los 3 diafragmas del patín inferior coincidan sin exceder las tolerancias previamente descritas en el capítulo 1, el ensamble se realizará de manera provisional, sin aplicar hasta este momento soldaduras definitivas; ver figura B.



2a Etapa de ensamble.

Fig. B Ensamblaje de placas alma con patín inferior

Etapa 3.- Se coloca el patín central superior sobre las almas, de la misma forma que se verificó el patín inferior, además se deberán verificar que los tres diafragmas del patín superior coincidan con los diafragmas de las almas. En esta etapa de ensamble es de gran importancia verificar la dimensión entre paños exteriores de las almas, la cual deberá ser de 5.4 m, sin exceder de 3 mm, ya que un desfase en mayor dimensión trae consigo problemas de alineamiento de uniones transversales entre doveilas; ver figura C.



3a Etapa de ensamble

Fig. C Ensamblaje de cajón sin aleros

Una vez ensamblados los elementos del cajón se dará inicio al proceso de soldadura dando prioridad a las uniones de soldadura en los diafragmas extremos de los patines inferiores y superiores con las almas. La finalidad es distribuir la temperatura por aplicación de soldadura en toda la longitud de la dovela y de esta forma evitar distorsiones y torcimientos de la misma. En la figura 3.3.3, se muestran los tipos de uniones de soldadura clase 2 y 3, que deberán aplicarse siguiendo los procesos y especificaciones descritos en el capítulo 2.

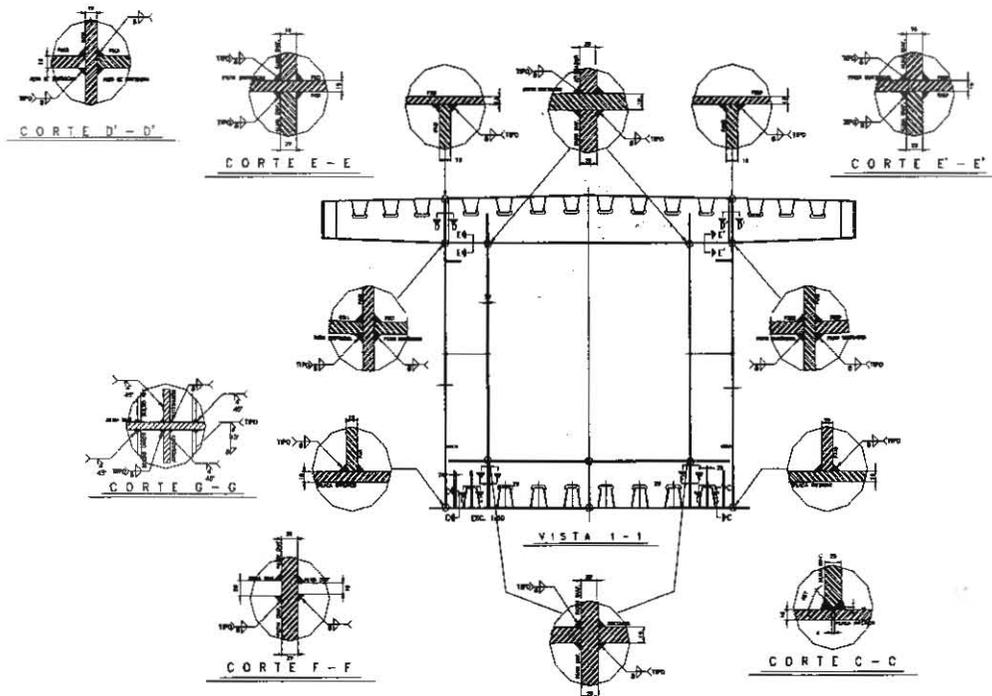


Fig. 3.3.3 Uniones típicas de soldadura para una dovela

Etapa 4.- El ensamble final de una dovela consiste en la colocación de las placas superiores laterales, una vez que se finalizó con el depósito de soldadura para el ensamble de los 3 diafragmas; ver figura D.

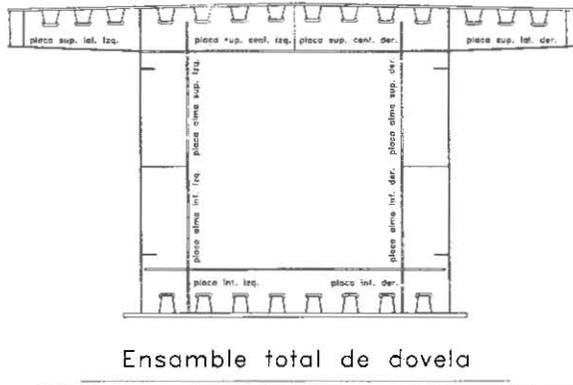
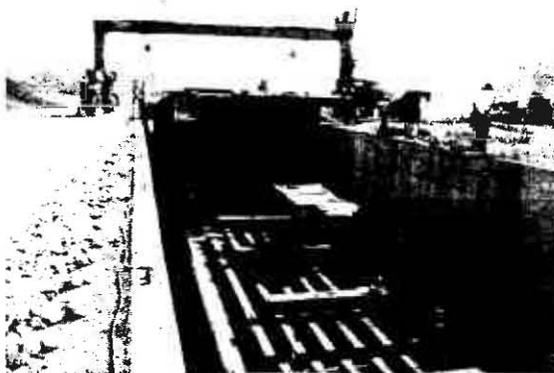


Fig. D Ensamble completo de la dovela

La fotografía 3.3.1, muestra el inicio del ensamble de los elementos de la dovela 1 y algunas otras placas inferiores ya colocadas dentro del cajón de ensamble y apoyadas sobre los bancos niveladores, también se puede observar como quedan alineados los diafragmas del alma con el patín inferior y la utilización de la grúa que se deslizará a través de todo el cajón.



Fotografía 3.3.1 Inicio de ensamble de dovelas en el interior del cajón de armado

En las figuras 3.3.4 a ,b , c. se visualiza en planta y en elevación el acomodo definitivo de cada uno de los elementos de la dovela al ser ensamblados dentro del cajón, apreciándose de mejor forma la ubicación de elementos de la fotografía 3.3.1.

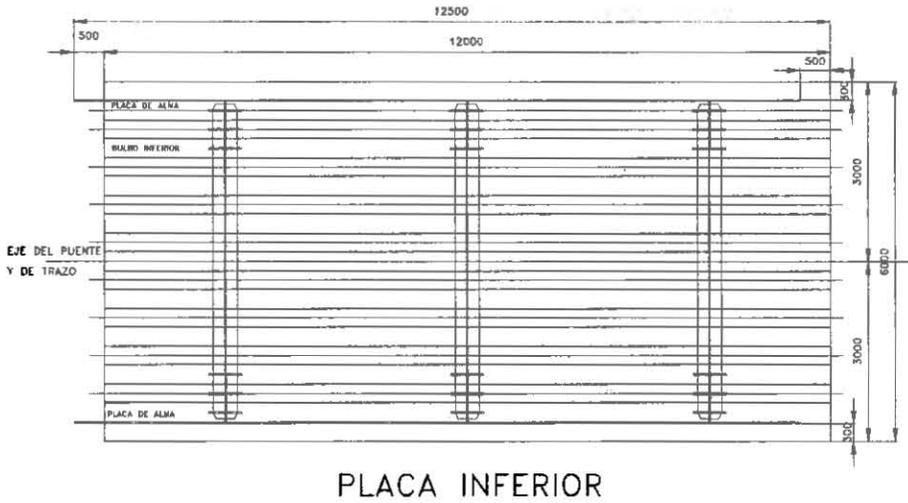


Fig. 3.3.4a Ensamble de placas inferiores de dovela

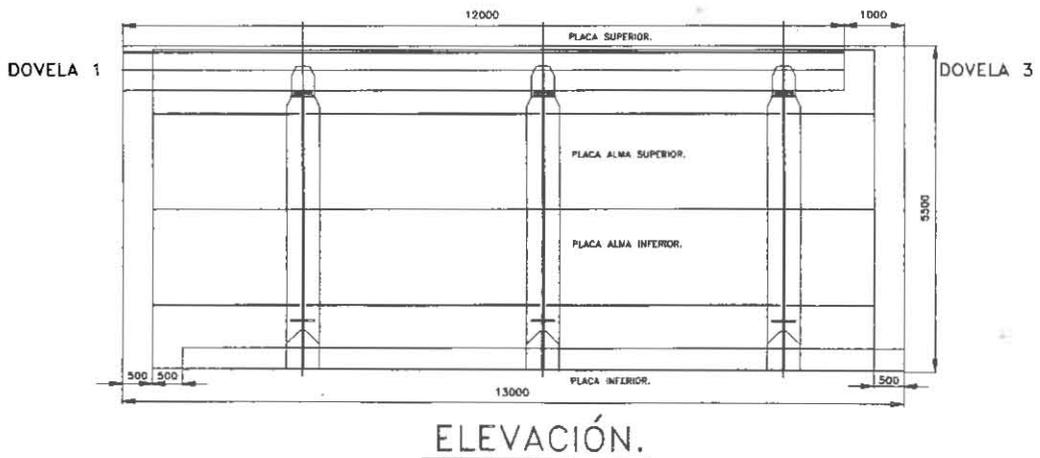


Fig. 3.3.4b Ubicación de elementos de dovela en elevación

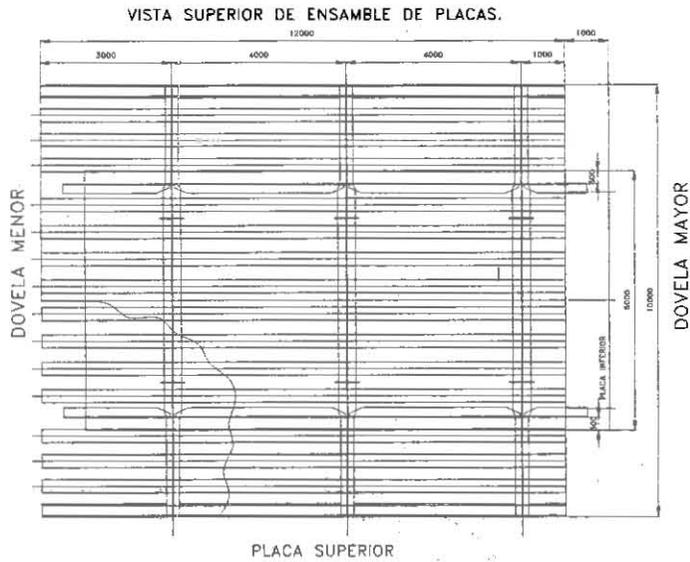


Fig. 3.3.4c Ensamble de placas superiores de dovela

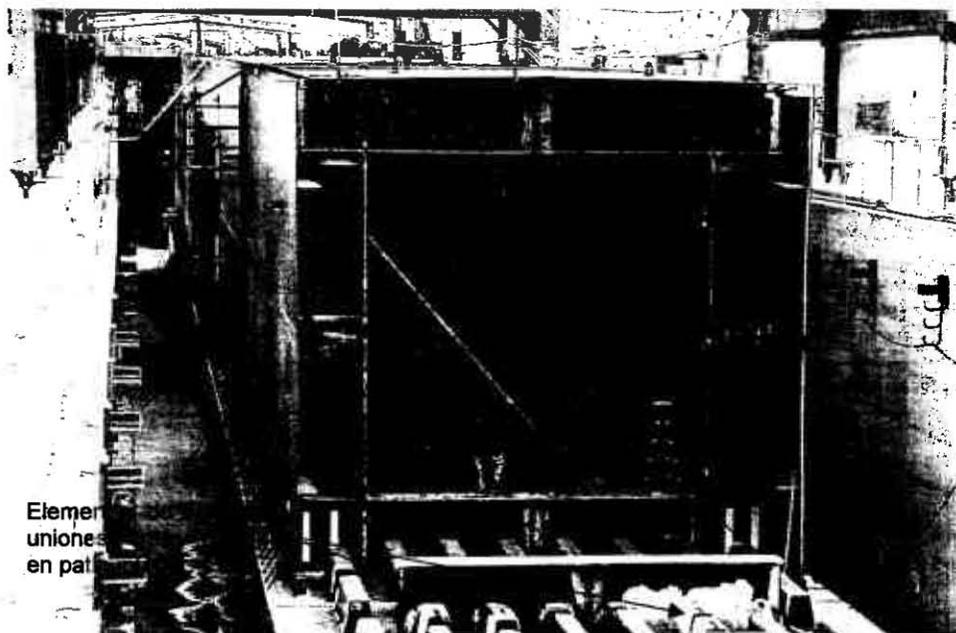
Concluido el depósito de soldadura en las uniones clase 2, indicadas en la figura 3.3.3, se procede a la aplicación de uniones clase 3 para atiesadores, cartelas y todos aquellos elementos cuya función principal será darle rigidez a los diafragmas de las dovelas.

En la fotografía 3.3.2, se muestra este tipo de uniones que se aplica para la colocación de elementos de rigidez en los diafragmas interiores de las dovelas.



Fotografía 3.3.2 Detalle de colocación de elementos de rigidez en el interior de la dovela

Durante los procesos de ensamble, armado, y soldadura se registraron todos los datos necesarios de la geometría de la dovela con la finalidad de que el ensamble de la siguiente dovela a unir coincida con los elementos de la dovela terminada, y así evitar desfases y excentricidades que afecten la condición estructural del puente. En cada unión entre dovelas existirán elementos de ajuste los cuales permitirán la continuidad entre las dovelas, estos elementos se ligarán una vez que las dos dovelas por unirse cumplan con todos los requisitos de unión y geometría; en la fotografía 3.3.3, se muestran las uniones y la secuencia de avance de ensambles de los elementos de las dovelas.



Fotografía 3.3.3 Apuntalamiento y ensamble de la fase 3

El proceso de ensamble de las dovelas se vuelve repetitivo para cada uno de los 8 ciclos de empujado, el primero se realizará de la dovela 1 a la dovela 15, en la cual las principales características de este ciclo es la de contar con estructuras provisionales de apoyo para el proceso de empujado como son la nariz de empuje y el mástil de tensado, los demás ciclos no presentan ninguna característica diferente y estarán ensamblados de la siguiente manera:

Primer ciclo de empujado, dovela 1 a la dovela 15, 124m con un peso de 1600 t

Primer ciclo de empujado, dovela 1 a la dovela 15, 124m con un peso de	1600 t
Segundo ciclo de empujado, dovela 16 a la dovela 28, 168m con un peso de	1226 t
Tercer ciclo de empujado, dovela 29 a la dovela 40, 168m con un peso de	1100 t
Cuarto ciclo de empujado, dovela 41 a la dovela 53, 168m con un peso de	1100 t
Quinto ciclo de empujado, dovela 54 a la dovela 66, 168m con un peso de	1100 t
Sexto ciclo de empujado, dovela 67 a la dovela 79, 168m con un peso de	1100 t
Séptimo ciclo de empujado, dovela 80 a la dovela 92, 152m con un peso de	995 t
Octavo ciclo de empujado, dovela 93 a la dovela 102, 94m con un peso de	600 t

Como se puede observar en esta relación, el peso considerado para cada uno de los ciclos es uno de los factores importantes y principales que se consideran para el estudio de las deflexiones en función de la longitud del empujado.

3.4 PROCESO DE EMPUJADO DE LOS CICLOS DE DOVELAS

Para dar inicio al empujado de un ciclo de dovelas se deberán seguir las siguientes consideraciones:

- a.- Será condición fundamental concluir totalmente el empujado de un tramo una vez iniciado, por lo tanto previamente se deberá haber cumplido el ciclo de dovelas con todas las liberaciones y requerimientos especificados por la supervisión y el proyectista.
- b.- En el caso de que no se pueda lograr por cualquier causa, deberá de regresarse la estructura hasta que la máxima longitud de voladizo sea la nariz, es decir 44 m, y que el apoyo coincida con el diafragma de la dovela correspondiente al apoyo.
- c.- Será condición fundamental no colocar ningún elemento adicional de construcción (herramienta equipo varilla etc.) sobre las placas superiores, excepto el mástil, tirantes y equipo para tensado y destensado.
- d.- Únicamente se permitirá la estancia de 2 personas como máximo por cada tirante del mástil durante el tiempo en el que se realicen las fases de tensado y destensado de los mismos, cuyos anclajes estarán ubicados en la superestructura.
- e.- El empuje se hará 20cm arriba del nivel de la rasante.
- f.- Al final del empuje se descenderá el tablero al nivel de los apoyos definitivos, o bien el descenso se podrá realizar pila por pila.

- g.- El mástil deberá ser ubicado centrado con respecto al diafragma central de la dovela 11 que quedará en posición definitiva de la superestructura con el eje de los apoyos de la pila 2.
- h.- El equipo de tensado que se utilice en la obra deberá ser calibrado bajo el procedimiento recomendado por la supervisión y en el diseño.
- i.- En el caso de que se presente un incremento en la fuerza de empujado sin que se avance lo estimado de 2 m por hora o bien se presenten deformaciones excesivas en las pilas, se deberá suspender el empujado de la superestructura para verificar la causa, si el problema se corrige y la pila recupera su deformación se podrá continuar con el empujado, en caso de no ser así se deberá regresar la estructura hasta una distancia después de los 60 m del eje del apoyo inmediato anterior al que se presente el problema.
- j.- La flecha máxima esperada en el extremo de la nariz al aproximarse al siguiente apoyo durante el proceso de empujado (flecha debida al peso propio del tablero mástil y nariz) fluctuará entre las elevaciones 178.36 m y 180.36 m, elevaciones medidas en el lecho bajo de la punta de la nariz, estas elevaciones podrán ser menores por 50 cm debido al efecto térmico máximo.

A continuación se describen todas las fases de empujado realizadas para transportar la superestructura en su longitud total. (Martínez Romero, 2002)

FASE 1: La estructura será empujada desde el estribo no. 9 a un nivel de 20 cm por encima del nivel definitivo del proyecto, por lo tanto los estribos 1 y 9 deberán construirse aproximadamente hasta este nivel en la primera etapa del empujado; en la figura 3.4.1 se muestra la ubicación del estribo 9, el cual será el punto de partida para el inicio del empujado.

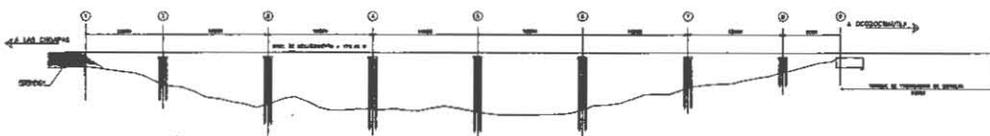


Fig. 3.4.1 Ubicación de estribos y pilas

FASE 2: Se realizará el armado de la dovela 1 a la 15 dentro de la fosa de armado como se puede ver en la figura 3.4.2, con una longitud de 178.5 m, así como la nariz de

lanzamiento con una longitud de 44 m, de acuerdo a lo descrito en el apartado 3.3, cuidando en todo momento los niveles de contraflecha.

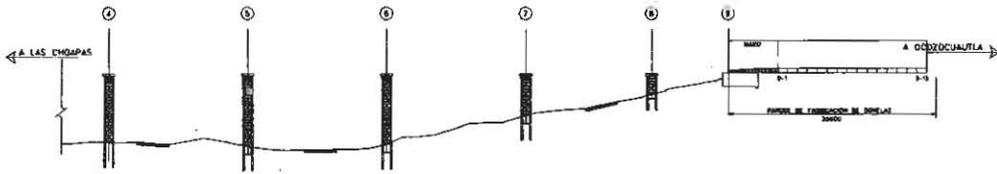


Fig. 3.4.2 Ensamble de nariz y primer ciclo de dovelas

FASE 3: Se empuja el claro 8-9 desde el estribo no. 9, como se aprecia en la figura 3.4.3, utilizando equipo de gatos neumáticos con la capacidad suficiente para empujar 10000 t de peso, una vez realizado lo anterior se podrá iniciar el ensamble de la dovela D16 a la dovela D28 con una longitud de 156 m, sin conectarse con la dovela D15 que se está empujando, se contará con un equipo adicional para ir jalando las dovelas de los ciclos posteriores que vayan armándose.

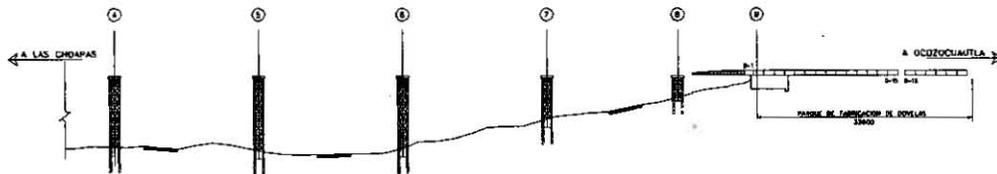
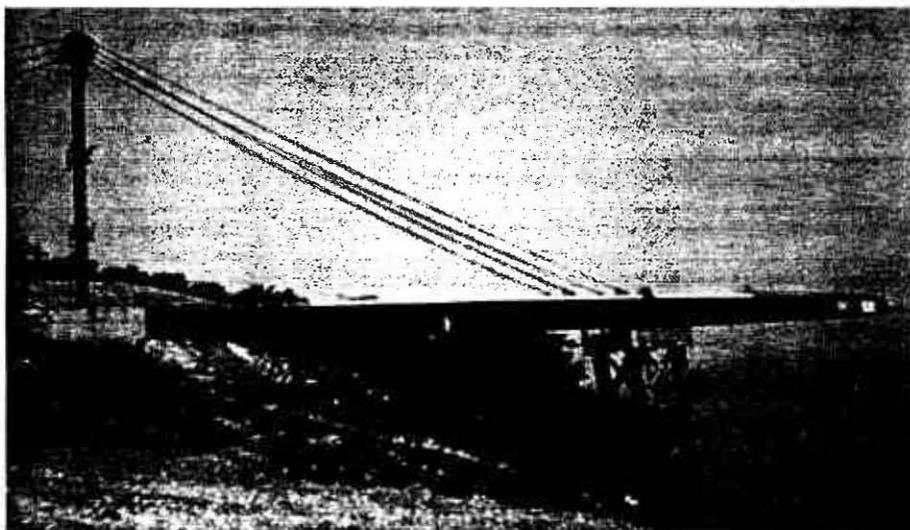


Fig. 3.4.3 Desplazamiento inicial de nariz

FASE 4: Una vez que la nariz de lanzamiento pase en su totalidad el eje de la pila no. 8 se concluirá el ciclo de armado de las dovelas D16 a la D28, y se conectarán las dovelas D15 y D16 entre sí. Se iniciará el conformado y armado del mástil para ser ensamblado sobre el diafragma central de la dovela no. 11 en su posición definitiva de la superestructura, con el eje de los apoyos de la pila 2, con sus tirantes provisionales a tensión mínima para que se mantenga en pie. En la figura 3.4.4, se muestra que los tirantes los tirantes 1 y 1' se anclarán en las dovelas D3 y D22, mientras que los tirantes 2 y 2' se fijarán a las dovelas D4 y D18.

Fig. 3.4.4 Conclusión del primer ciclo de empuje e izaje de mástil

En la fotografía se muestra el avance físico de la nariz de empuje en la pila no. 8



FASE 5: Una vez que la superestructura alcanzó el eje de la pila no. 8 se dará lugar a los desplazamientos continuos a cada metro, para alcanzar ciclos de 4 m y apoyarse, considerando que es la distancia que existe entre los diafragmas de cada dovela y que deberá coincidir en toda la longitud del puente con los ejes de cada pila, esta secuencia se realizará para todos los ciclos, la estructura para su deslizamiento se auxiliará de placas de teflón y cuatro gatos de capacidad suficiente para permitir el deslizamiento como se muestra en la figura 3.4.5.

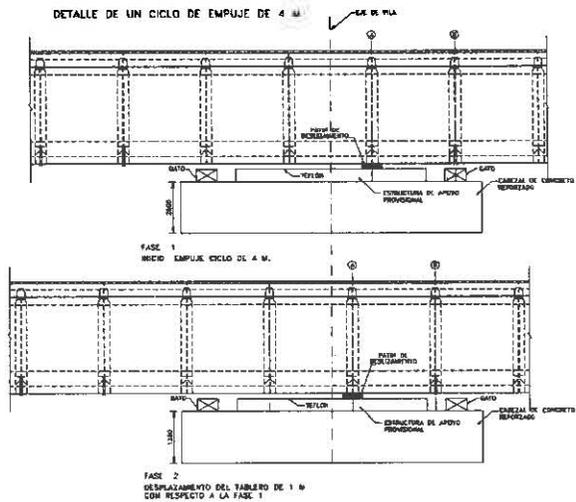


Fig. 3.4.5 Fase de desplazamiento sobre pilas de apoyo

Adicionalmente a cada de 4 m se deberá verificar la medición de deformaciones en el cabezal de las pilas, esta medición se verificará por medio de un distanciómetro ubicado en tierra en la parte final, para esta medición se colocan marcas en el cabezal de la pila, tal como se ilustra en la figura 3.4.6.

PILA	DESPLAZAMIENTO LONGITUDINAL MAXIMO EN CABEZAL DE PILA (cm)
2	12
3	25
4	25
5	30
6	25
7	15
8	12

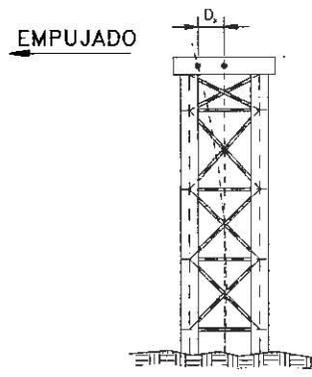


Fig. 3.4.6 Medición de los desplazamientos longitudinales sobre el cabezal de la pila

simultáneo de los tirantes no. 1 con una fuerza de 340 t cada uno, y los tirantes no. 1' serán tensados con una fuerza de 320 t cada uno, en los anclajes ubicados en las orejas de las dovelas D3 y D22, para dar inicio al ensamble del ciclo de dovelas, de la D29 a la D40, de 144m de longitud, sin conectarse con la dovela D28 la cual se encontrará en el proceso de empujado; ver figura 3.4.7.

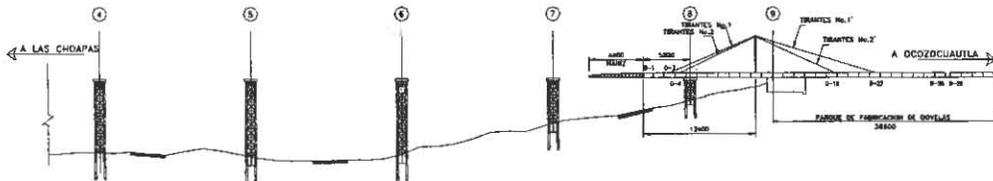


Fig. 3.4.7 Ubicación de nariz a 96 m del eje de la pila

En la fotografía se muestra físicamente la etapa 6 del empujado del puente



FASE 7: Se continúa con el lanzado del tramo 7 y 8, y una vez alcanzada la longitud de volado desde la pila no.8 incluyendo la nariz, cuya longitud será de 136 m, se procederá al tensado simultáneo de los tirantes no. 2 con una fuerza de 280 t cada uno, mientras que los tirantes no. 2' se tensarán con una fuerza de 260 t cada uno. Dichos tirantes se ligarán con las orejas de las dovelas D4 y D18, como se muestra en la figura 3.4.8.

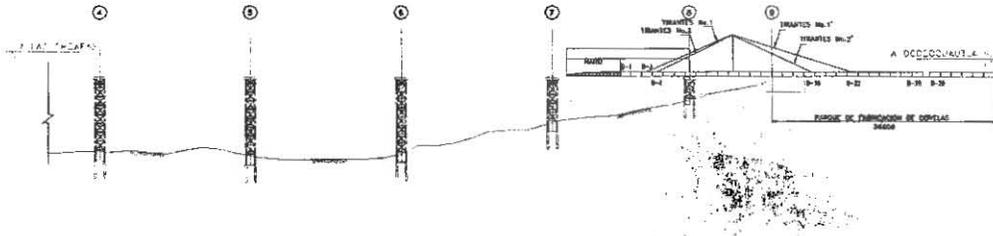


Fig. 3.4.8 Ubicación de nariz a 136 m del eje de la pila

FASE 8: Una vez que la punta de la nariz se ha desplazado 20 m del eje de la pila no. 7 se procederá al destensado simultáneo de los tirantes 2 y 2' y se continuará con el proceso de lanzado y ensamblado del siguiente ciclo de dovelas, ver figura 3.4.9.

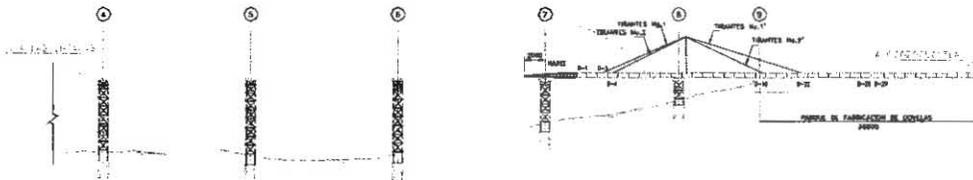


Fig. 3.4.9 Llegada de la nariz a la pila 7

FASE 9: Se procede con el desplazamiento de la nariz hasta alcanzar los 44.0 m del eje de la pila no.7 como se aprecia en la figura 3.4.10, se procederá al destensado de los tirantes 1 y 1' a una tensión mínima para mantener en posición el mástil, y se procederá a concluir el ensamble del siguiente ciclo de dovelas de la D29 a la D40, para proceder con la conexión de continuidad de la superestructura entre las dovelas D28 y D29.

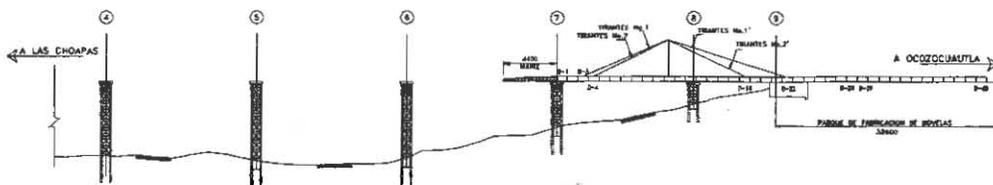
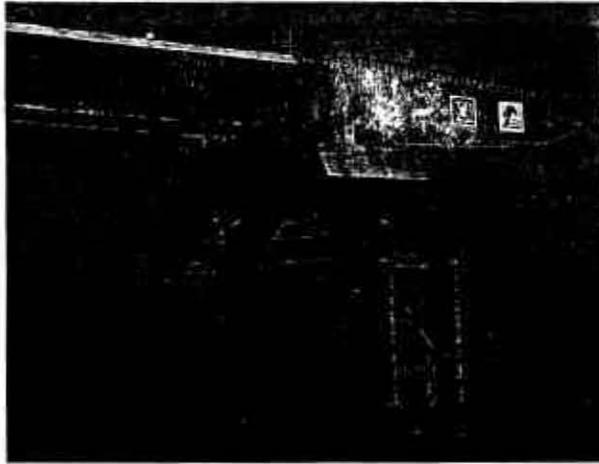


Fig. 3.4.10 Ubicación de nariz a 44 m del eje de la pila 7

La fotografía muestra la fase 9 donde llega la nariz de lanzamiento a la pila no. 7.



FASE 10: Una vez desplazada la nariz 96.0 m del eje de la pila no. 7, se procederá al tensado simultáneo de los tirantes 1 y 1' con una fuerza de 140 t cada uno, se continuará con el proceso de lanzado, dando inicio al ensamble del siguiente ciclo de dovelas, D41 a la D53 con una longitud de 156m, sin conectarse con la dovela D40 que se encuentra en el proceso de empujado, ver figura 3.4.11.

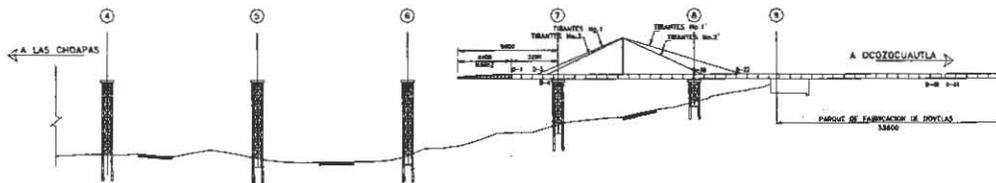


Fig. 3.4.11 Ubicación de nariz a 96 m del eje de la pila 7

FASE 11: Después que la nariz se desplace 120.0 m del eje de la pila no. 7 tal como se muestra en la figura 3.4.12, se procederá a tensar simultáneamente los tirantes no.2 y 2' con una fuerza de 140 t cada uno, para continuar con el proceso de lanzado y el ensamble de las dovelas D41 a D53.

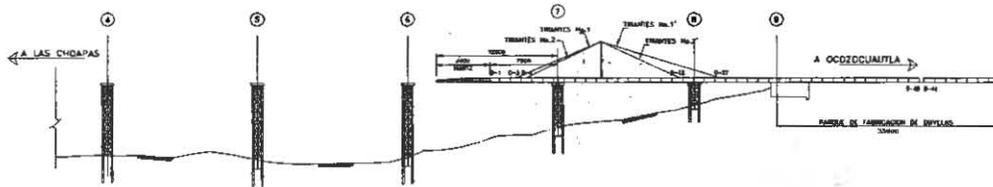


Fig. 3.4.12 Ubicación de nariz a 120 m del eje de la pila 7

FASE 12: Ya que la punta de la nariz se ha desplazado 20 m del eje de la pila no. 6 se procederá al destensado simultáneo de los tirantes 2 y 2', posteriormente se continuará con el proceso de lanzado y ensamble del siguiente ciclo de dovelas D-41 a D-53. (Ver figura 3.4.13)

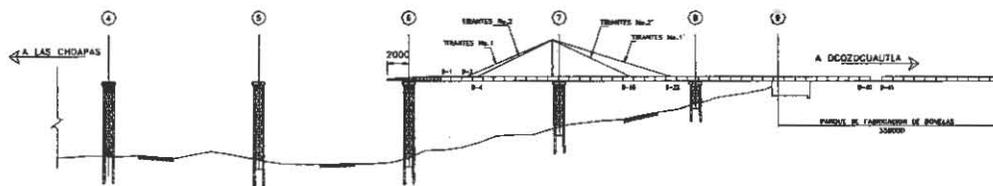


Fig. 3.4.13 Ubicación de nariz a 20 m del eje de la pila 6

FASE 13: Una vez que la nariz ha alcanzado un desplazamiento de 44.0 m del eje de la pila no.6, se procederá al destensado de los tirantes 1 y 1' a una tensión mínima para mantener en posición el mástil, y se procederá a concluir el ensamble del siguiente ciclo de dovelas de la D41 a la D53 con una longitud de 156 m como se puede ver en la figura 3.4.14, para proceder con la conexión de continuidad de la superestructura entre las dovelas D40 y D41.

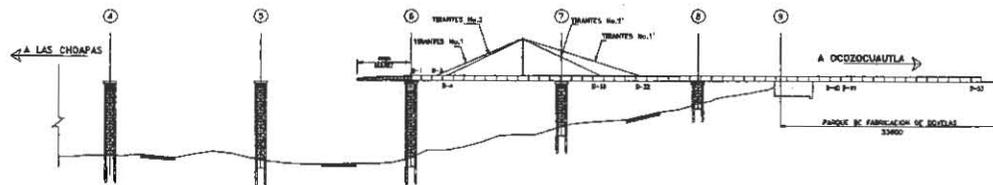


Fig. 3.4.14 Ubicación de nariz a 44 m del eje de la pila 6

FASE 14: Una vez desplazada la nariz 96.0 m del eje de la pila no. 6, 5,4, y 3 se procederá al tensado simultáneo de los tirantes 1 y 1' con una fuerza de 140 t, cada para continuar con el proceso de lanzado, como se puede ver en la figura 3.4.15, así se da inicio al ensamble del siguiente ciclo de dovelas, (D54 a la D66), (D67 a la D79), (D80 a la D 92) con una longitud de 156 m respectivamente, sin conectarse con la dovela final que se encuentra en el proceso de empujado.

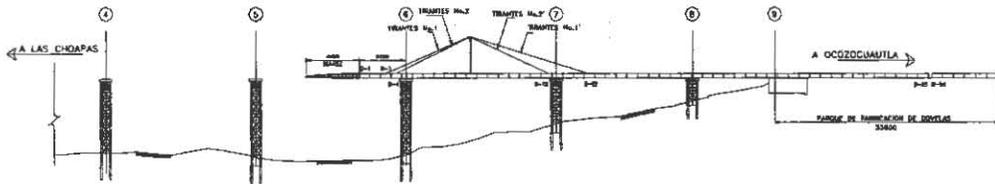


Fig. 3.4.15 Ubicación de nariz a 96 m del eje de la pila 6, 5,4 y 3

FASE 15: La nariz se ha desplazado 120.0 m del eje de la pila no. 6, 5, 4, o 3, y se procederá a tensar simultáneamente los tirantes no.2 y 2' con una fuerza de 160t cada uno, posteriormente se continua el proceso de lanzado y el ensamble de las dovelas de los siguientes ciclos dentro de la fosa de armado sin conectarse con la última dovela que se encuentra en proceso de empujado. Ver figura 3.4.16.

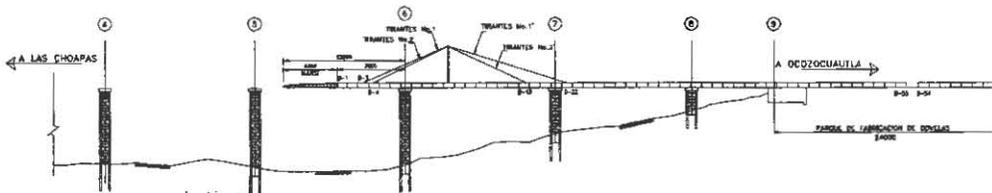


Fig. 3.4.16 Ubicación de nariz a 120 m del eje de la pila 6, 5,4 y 3

FASE 16: Después de que la punta de la nariz se ha desplazado 20 m del eje de la pila no. 5, 4, y 3, se procederá al destensado simultáneo de los tirantes 2 y 2', dejando una tensión mínima, continuando con el proceso de lanzado y ensamble del siguiente ciclo de dovelas. Ver figura 3.4.17

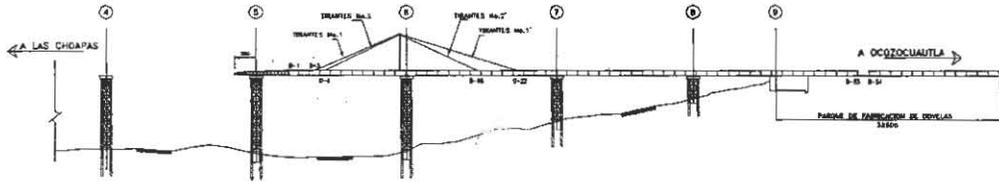


Fig. 3.4.17 Ubicación de nariz a 20 m del eje de la pila, 5,4 y 3

FASE 17: La punta de la nariz ha alcanzado un desplazamiento de 44.0 m del eje de la pila no. 5, 4, y 3, se procederá al destensado de los tirantes 1 y 1', con una tensión mínima para mantener en posición el mástil, con lo cual se procederá a concluir el ensamble del siguiente ciclo de dovelas, para proceder con la conexión de continuidad de la superestructura entre las dovelas D53-D54, D66-D67, y D79-D80, procediendo a continuar con el lanzado en cada caso correspondiente. Ver figura 3.4.17.

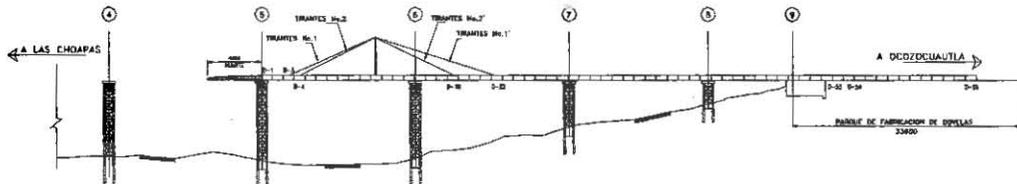


Fig. 3.4.18 Ubicación de nariz a 44 m del eje de la pila, 5,4 y 3

FASE 18: Una vez que la punta de la nariz se ha desplazado 20m del eje de la pila no. 2 se procederá al destensado simultaneo de los tirantes 2 y 2' y se continuará con el proceso de lanzado y ensamble del siguiente ciclo de dovelas D-93 a D-102, cuya longitud es de 116 m, debiéndose conectar entre sí las dovelas D93 a D102, como se muestra en la figura 3.4.19.

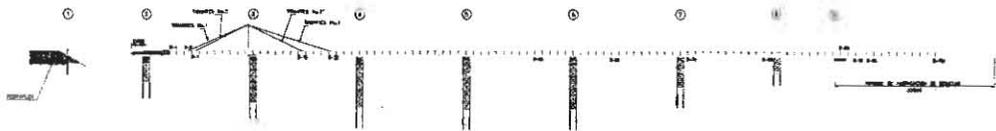


Fig. 3.4.19 Ubicación de nariz a 20 m del eje de la pila 2 y destensado de tirantes tipo 2

FASE 19: Después que la punta de la nariz ha alcanzado un desplazamiento de 44.0 m del eje de la pila no. 2, se procederá al destensado de los tirantes 1 y 1' a una tensión mínima para mantener en posición el mástil, y se continua con el proceso de lanzado hacia el estribo no. 1, ver figura 3.4.20.

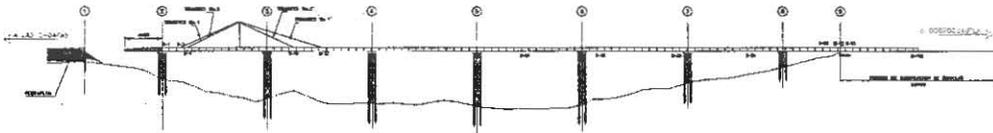


Fig. 3.4.20 Ubicación de nariz a 44 m del eje de la pila 2 y destensado de tirantes tipo 1

FASE 20: Ya desplazada la nariz 96.0 m del eje de la pila no. 2, se procederá al tensado simultáneo de los tirantes 2 y 2' con una fuerza de 140 t, cada uno para continuar con el proceso de lanzado, ver figura 3.4.21

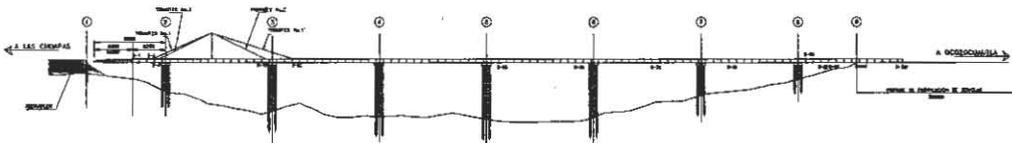


Fig. 3.4.21 Ubicación de nariz a 96 m del eje de la pila 2 y tensado de tirantes tipo 2

FASE 21: Una vez que la punta de la nariz ha alcanzado un desplazamiento de 44.0m del eje de la pila no.1, se procederá al destensado de los tirantes 2 y 2', y se dará inicio al desmontaje de la nariz, mástil, tirantes y orejas provisionales, ver figura 3.4.22

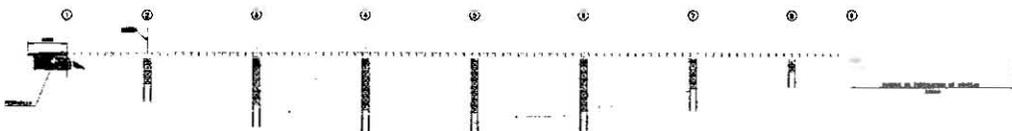


Fig. 3.4.22 Desplazamiento del último ciclo y desmontaje de nariz y mástil

FASE 22: Ya colocada la superestructura en posición longitudinal definitiva se procede a sustituir los apoyos temporales de empuje que se ubicaron en cada pila, para ser sustituidos por los apoyos definitivos y proceder al descenso de la superestructura por medio de gatos, hasta alcanzar el nivel definitivo de la superestructura.

Se concluirá la última etapa de construcción de los estribos no. 1 y 9, se colocarán los terraplenes, así como la sub-base, base, y pavimento en la zona de la fosa de armado de dovelas, y la construcción del pedraplen, terraplén, sub-base, base y pavimento, en el acceso del estribo no. 1, para finalmente concluir con la colocación de la superficie de rodamiento sobre la superestructura como se muestra en la figura 3.4.23.

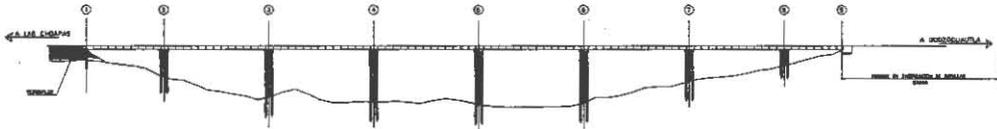


Fig. 3.4.23 Vista general del empujado del puente



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ENEP ACATLÁN**

TÍTULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIAPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO.				
No. de Sección:	PÁGINA:	ELABORÓ:	REVISÓ	FECHA.
Capítulo 4	99	Martín Romo G.	Ing. Dario Rivera Vargas	29/09/03

CAPÍTULO 4

CONTROL DE CALIDAD DE SOLDADURAS EN EL ENSAMBLE DE LA SUPERESTRUCTURA

4.1- Control de calidad de la unión de elementos a base de soldadura	
4.1.1- Control de calidad.....	100
4.1.2- Defectos de soldadura.....	101
4.1.3- Proceso de soldadura y control de almacenaje de electrodos.....	115
4.2 - Jerarquización y tipo de uniones de soldadura.....	116
4.3 - Hojas de control en la inspección de equipos, personal.....	127
y variables de soldadura	

4.1 CONTROL DE CALIDAD DE LA UNIÓN DE ELEMENTOS A BASE DE SOLDADURA

Para el control de calidad del puente "Chiapas1", el fabricante delimitará los procedimientos y alcances necesarios para asegurar que todos los trabajos se realicen apegados a las especificaciones del proyecto, tomando en cuenta los procedimientos de control del fabricante, así como el de los materiales y la mano de obra que deberán ser sometidos en cualquier momento a la supervisión por inspectores calificados que representan los intereses del cliente. Con base en lo anterior se describirán los conceptos que se tomarán en cuenta en los trabajos del Puente "Chiapas1", con la finalidad de obtener resultados satisfactorios al término de los mismos.

4.1.1 CONTROL DE CALIDAD

Se entiende por control de calidad, la técnica de la supervisión antes, durante y después de la fabricación de un producto, para asegurar que lleve en forma continua las cualidades que lo caracterizan. (Manual de soldaduras, Koelhoff 1998)

CONTROL DE CALIDAD EN LA SOLDADURA

Dentro del ciclo de fabricación el control de calidad comprende cuatro etapas, análisis del proceso, control durante el proceso, implantación de un sistema y comprobación periódica.

Las pruebas que se efectúen para el control de calidad en los materiales soldados deben cumplir los siguientes requisitos: exactitud, precisión, repetibilidad, reproducibilidad, y confiabilidad; características fundamentales que se recomiendan en las normas de soldadura.

La selección de muestras de soldadura por lo general es completa o parcial. Para muestreo completo, la totalidad del lote de uniones soldadas o la totalidad de soldaduras en una línea será inspeccionada. Es importante aclarar que no se habla de inspeccionar al 100% cada una de las uniones soldadas. En ciertas ocasiones se requiere muestreo completo con inspección detallada de todas las juntas. Para el caso del "PUENTE CHIAPAS 1", la inspección se realizará conforme a la jerarquización que se comentará más adelante.

En el muestreo parcial, la inspección se realiza en ciertas uniones soldadas, designadas por secuencia o frecuencia de producción o bien, mediante porcentaje del lote. Las partes a inspeccionarse y el tipo de inspección para cada unión soldada que se selecciona, por lo general se especifica claramente por el diseñador o el ingeniero a cargo de la soldadura.

4.1.2 DEFECTOS DE SOLDADURA

Son consideradas como defectos en soldadura aquellas fallas que no cumplen con lo especificado en las normas, independientemente si son dimensionales, discontinuidades estructurales o diferencias en las características de las soldaduras.

Generalmente los defectos en soldaduras son de tres clases: los relacionados con requerimientos dimensionales o de dibujos de fabricación, los relacionados con discontinuidades estructurales en la soldadura y los relacionados con las propiedades de la unión soldada. Las fallas que se observan dentro de esta clasificación se comentan a continuación:

1.- DEFECTOS DIMENSIONALES

Distorsión, preparación incorrecta de

la junta, tamaño incorrecto de la soldadura, dimensiones finales incorrectas.

2.- DISCONTINUIDADES ESTRUCTURALES EN LA SOLDADURA Porosidad, inclusiones de escoria, inclusiones de tungsteno, fusión incompleta, penetración inadecuada, socavados, roturas, irregularidades superficiales, las cuales se describen a continuación.

a) **POROSIDAD.** Se atribuye principalmente a la técnica errónea del soldador al momento del depósito de soldadura, o contaminación con el metal base y/o el electrodo.

La porosidad agrupada ocurre normalmente a la iniciación o terminación del arco. La porosidad cilíndrica o tubular ocurre muy frecuentemente en soldaduras de filete.

b) **INCLUSIONES.** Estas son atrapadas en las soldaduras por una manipulación errónea del electrodo por parte del soldador; generalmente ocurren por un acceso inadecuado en la junta a soldarse.

c) **FALTA DE FUSIÓN.** Generalmente se debe a una corriente inadecuada durante el proceso de soldadura, difícil acceso a la junta o a una mala preparación de la junta.

d). **FALTA DE PENETRACIÓN.** Se presenta como consecuencia de una mala preparación de la junta, cuando el soldador requiere fundir demasiado material en la raíz de la junta.

e). **SOCAVADOS CORONA BAJA O ALTA** Se atribuye a errores por parte del soldador como pueden ser, equipo mal calibrado, velocidad de depósito de soldadura inadecuada, manipulación errónea del electrodo.

f). **FRACTURAS** Por lo regular estas no son causadas por el soldador, y para su prevención se debe tener un cuidado estricto en la limpieza y en la humedad de los electrodos y del metal base. Si estas llegasen a ocurrir quizá sea necesario rediseñar el tipo de junta y cambiar la técnica de soldadura. Aunque siempre se deberá de hacer un estudio completo para determinar el tipo y la causa que origina la fractura. Se puede emplear cualquier tipo de inspección para estas soldaduras.

3.- DEFECTOS DE PROPIEDADES

En el metal base y metal depositado, los cuales para ser identificados se inspeccionan mediante pruebas de tipo Físicas y/o Químicas según se muestra a continuación.

INSPECCIÓN DE SOLDADURAS

Las pruebas de inspección de soldaduras se dividen en dos grandes grupos:

1. Destructivas

Se entiende por pruebas destructivas aquellas que después de ser realizadas, destruyen o inhabilitan la pieza probada.

2. No destructivas

Por pruebas no destructivas no destruyen o inhabilitan la pieza probada.

PRUEBAS DE SOLDADURA:



1. PRUEBAS DESTRUCTIVAS

a) **Pruebas Físicas:** Consisten en observar el comportamiento mecánico de los metales cuando se someten a cargas.

Tensión: El objetivo de esta prueba es determinar la resistencia a la tensión de los materiales seleccionados, así como el límite elástico, punto de cedencia y ductibilidad.

Esta prueba se realiza con dos tipos de máquinas:

Mecánica e hidráulica, siendo esta última la más usada, en ambas la probeta se fija entre dos mordazas, una de las cuales es fija y la otra móvil, se aplica una fuerza axial, de tal manera que las mordazas se separan para provocar un esfuerzo en la probeta.

Al mismo tiempo se puede llegar a conocer la elongación de la probeta; y esto se hace de acuerdo con las ecuaciones descritas en el capítulo 1.

Para medir la deformación elástica se utilizan dos métodos: el extensómetro y el alambre medidor de deformación. Ambos son fijados en la pieza a probarse, el primero mediante mordazas y el segundo con pegamento tipo cemento.

El extensómetro es un medidor de tipo electromecánico que detecta pequeñas deformaciones y los transforma en señales eléctricas que activan una unidad de registro.

El alambre medidor de deformación detecta pequeñas deformaciones mediante cambios en su resistencia eléctrica y es usado en conjunto con un amplificador de señal adecuado.

Para deformaciones plásticas que implican gran elongación normalmente se usan extensómetros de baja magnificación que miden la extensión total de la probeta.

Es posible llegar a los mismos resultados midiendo con calibradores adecuados el diámetro de la probeta en la región de la deformación: también midiendo el incremento longitudinal entre marcas en las probetas hechas con anterioridad a la prueba.

En la figura 4.1.2.1, muestra la probeta estándar de placa de espesor variable para pruebas de tensión.

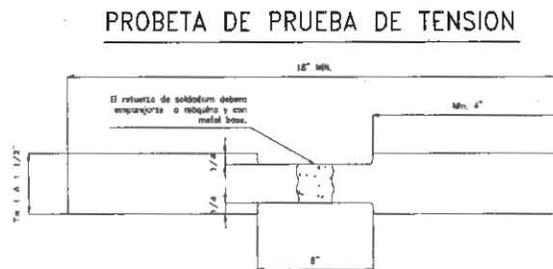
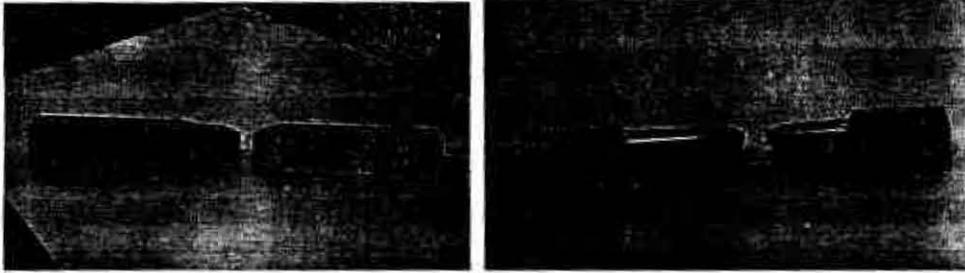


Fig. 4.1.2.1 Probeta Standard de tensión en soldadura



Fotografías 4.1.2.1 Se muestran 2 tipos de pruebas de tensión en soldadura

CURVA DE DEFORMACIÓN TÍPICA

Con base en las pruebas anteriores descritas se traza la curva típica esfuerzo-deformación unitaria. Mediante dicha curva se puede obtener el módulo de elasticidad, la cual se define como la pendiente de la parte lineal de la gráfica y se calcula dividiendo el incremento de esfuerzos entre el incremento de elongación.

Otra propiedad importante es la resistencia a la cadencia, que se define como el esfuerzo a cual una cantidad predeterminada de deformación permanente ocurre, que usualmente es del 2 al millar, y la cual se puede observar en la figura 4.1.2.2, en esta figura se muestra la curva típica para un acero A-36, correspondiente a una probeta de tensión en soldadura indicada en la figura 4.1.2.1, la cual tenderá a presentar la falla en el metal base y no en la unión de soldadura, esto debido a la diferencia de resistencias entre el metal y la soldadura, comprobando de esta manera la sanidad estructural de la soldadura.

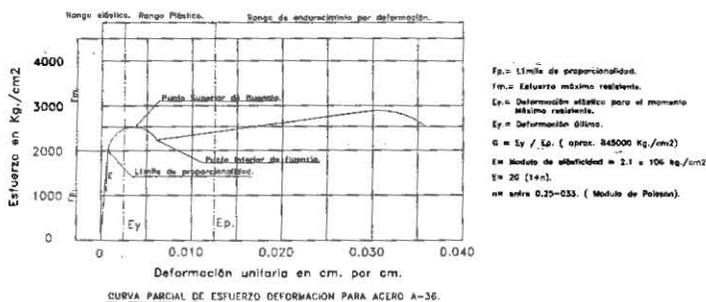


Fig. 4.1.2.2 Gráfica esfuerzo deformación de un acero tipo A-36

Doble: La prueba de doblez se usa para materiales dúctiles o frágiles y es una representación de la ductibilidad del material a prueba.

El doblez del tipo guiado restrictivo, la probeta se martillea con un mazo de la cara no metálica sobre una matriz o troquel, seleccionado de antemano para que adopte la forma de éste, en el reporte los valores que deberán registrarse serán los de la fuerza correspondiente durante la prueba, las fotografías 1 y 2 muestran la probeta de doblez para uniones en "X" y "V". ...



Foto1 Prueba de dureza en unión en "X"



Foto2 Prueba de dureza en unión en "V"

Dureza: Esta prueba se emplea para evaluar la dureza de los materiales en cuanto a su ductibilidad y resistencia.

Existe una relación muy importante entre la dureza y la resistencia a la tensión para aceros al carbón y aceros de baja aleación que han sido tratados térmicamente.

Cuatro clases de prueba de dureza se usan comúnmente:

- a) Dureza por indentación
- b) Dureza al rebote
- c) Dureza a la lima
- d) Dureza al rayado

Siendo los dos primeros los más usuales.

Existen 3 tipos de pruebas de dureza de indentación:

- a) **Brinell**: una prensa hidráulica ejerce presión a una bola de carbono de tungsteno de 10mm de diámetro, con una fuerza de 3000 kg, durante 10 o 15 s, para materiales ferrosos y de 500 kg, durante 30 s para materiales suaves no ferrosos. El número Brinell de dureza se obtiene comparando el diámetro de la marca obtenida contra las tablas apropiadas de comparación, el rango de dureza varía de 50 a 700.
- b) **Rockwell**: La profundidad de la penetración es medida mediante un medidor tipo dial, conectado a un pistón vertical que guía la punta de indentación en el material a probarse. La probeta se coloca en un dispositivo sujetador tipo yunque y es aprisionada contra la punta de indentación hasta que se logra una carga de 10 kg, la indentación se logra con una bola de 1/16 de diámetro y con una carga adicional de 100 kg, para dureza Rockwell B y para el tipo C se utiliza una punta de diamante y una carga adicional de 150Kg

Impacto: Estas pruebas se realizan con el objeto de determinar la disminución en la resistencia a la fractura causada por una carga repentina o la presencia de una muesca. Existen dos métodos fundamentales:

- 1. - Prueba Charpy: Una probeta de tipo rectangular y simplemente soportada con una muesca perfectamente definida es golpeada en forma transversal, la energía que se absorbe al fracturar la probeta es medida como una disminución de energía del péndulo que golpea.
- 2. - La prueba Izod. El principio es el mismo solo que la forma de la probeta y el diseño de la misma es diferente. La muesca tiene un radio agudo en la raíz y esto implica grandes diferencias en valores de energía absorbida entre aceros tenaces y frágiles.

2.- PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

Las pruebas no destructivas detectan discontinuidades en las soldaduras sin alterar la utilidad de las partes sometidas a prueba. Las más usadas para uniones soldadas son las siguientes: inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, radiografía y ultrasonido.

Vale la pena comentar que los métodos de inspección no son competitivos entre sí, sino que se complementan, bajo determinada circunstancia algún método puede ser más apropiado que otro, dependiendo de la sensibilidad, costo, localización de la discontinuidad, accesibilidad o la orientación de la discontinuidad.

La mayoría de las pruebas no destructivas son indirectas ya que se basan en un medio de prueba que cambia si es perturbado por una discontinuidad, de acuerdo a lo siguiente:

- a) Necesidad de una fuente para proveer un medio de prueba
- b) Este medio cambia debido a una discontinuidad en el objeto
- c) Se requiere detectar el cambio en el medio
- d) Necesidad de una indicación o registro de la señal detectada
- e) Proveer de un método de interpretación de las señales

a.-) INSPECCIÓN VISUAL

La inspección visual es, de los métodos no destructivos, el más importante y el más usado. Es fácil de realizar, rápido, económico y no requiere de equipo especial, además proporciona información importante con respecto a la concordancia general de la soldadura de acuerdo a las normas.

Las prácticas de inspección visual se realizan antes, durante y después de soldar. El inspector deberá de estar familiarizado con los documentos aplicables al caso, a los estándares de manufactura y a todas las fases de las prácticas del taller. Por lo general para realizar inspección visual el inspector se auxilia de una lámpara de mano, una lupa, espejos pequeños y calibradores adecuados.

La inspección visual en el pre-soldado empieza con el material a soldarse, en donde cualquier condición superficial dañina deberá detectarse; las laminaciones serias en placas se pueden detectar sobre las orillas que han sido cortadas, las dimensiones de las partes a soldar se deberán verificar y en general se deberá verificar lo siguiente:

- a) La preparación de la junta, dimensiones y acabado
- b) La separación y dimensiones del anillo o placa de respaldo
- c) Alineación y posicionamiento de las piezas a soldarse
- d) Verificación de limpieza

La inspección visual durante la ejecución comprende la verificación de los siguientes puntos:

- a) Proceso de soldadura
- b) Limpieza
- c) Precalentamiento y temperatura de entrepasos
- d) Metal de aporte
- e) Fundente o gas protector
- f) Pulido, desbastado
- g) Control de distorsión
- h) Tratamiento térmico

Para complementar, la inspección visual es importante para la elaboración de soldaduras sanas de acuerdo con lo que se describe en las siguientes observaciones:

Una buena aplicación del cordón inicial de fondeo, la geometría correcta de la junta, el volumen del metal de aporte adecuado, el precalentamiento del metal para evitar la posibilidad de que el arco no se realice en la raíz y el primer cordón se solidifique rápidamente propiciando incrustaciones de escoria o que quede gas atrapado fácilmente y será difícil remover en los siguientes cordones que se apliquen.

El metal solidificado en el primer cordón es particularmente susceptible de fallar, debido principalmente a las tensiones generadas al solidificarse, generando roturas que podrán extenderse a través de los siguientes cordones, por lo cual la importancia de la inspección visual al inicio de las soldaduras.

La inspección del cordón del fondeo ofrece otra oportunidad para inspeccionar laminaciones en el bisel, debido a la tendencia a abrirse por el calor en el momento de soldar. En el caso de soldaduras de doble bisel, la escoria del primer cordón se deposita sobre el lado contrario de donde se suelda, debiendo removerse está escoria atrapada en la junta soldada.

La inspección visual después de soldar comprende lo siguiente:

- a) Precisión dimensional de la pieza soldada
- b) Concordancia con los requerimientos del dibujo
- c) Aceptación de las soldaduras con respecto a su apariencia
- d) La presencia de socavados rupturas o traslapes
- e) Evidencia de excesivo pulido, mal manejo o algunas otras marcas de inspección

Otra parte muy importante de la inspección visual es el marcado correcto de las áreas a repararse que deberá de ser:

- a) Positivo y claro
- b) De acuerdo con los métodos establecidos y entendible por todos los inspectores y por el personal encargado de las reparaciones
- c) De un color distintivo de tal manera que no se confunda con otras marcas
- d) Suficientemente permanente hasta después de que la reparación se realice e inspeccione

En conclusión, el inspector de soldaduras debe verificar que el metal base está libre de laminaciones, la preparación del bisel es la correcta, las dimensiones de la raíz son las adecuadas, el cordón de fondeo se aplicó correctamente, el soldador ha sido calificado y el procedimiento de soldadura se ha seguido cuidadosamente; se podrá juzgar seguramente que la totalidad de la unión soldada se presentará sin defectos con base en los resultados de la inspección visual, y garantizar que la uniones dispuestas para la aplicación de alguno de los otros métodos no presenten discontinuidades internas.

b.-) INSPECCIÓN MEDIANTE LÍQUIDOS PENETRANTES

En el método de líquidos penetrantes se utilizan básicamente tres sustancias para detectar discontinuidades superficiales:

- a) PENETRANTE.- Es un líquido que tiene la propiedad de penetrar en cualquier grieta o discontinuidad abierta a la superficie del material y luego volver a salir. El primer paso del método consiste en aplicar una pequeña capa de este penetrante sobre la superficie (limpia y seca) de la pieza.

- b) REMOVEDOR.- Es algún solvente o agua que tiene la función de eliminar todo el penetrante de la superficie.
- c) REVELADOR.- Es un polvo seco u otra sustancia que ofrece un medio de contraste para la fácil visualización de las indicaciones.

El método es útil para la detección de grietas y otros defectos abiertos a la superficie, casi en cualquier material, y ofrece las siguientes ventajas.

- a) Gran rapidez de resultados
- b) Es muy sencillo, las personas que lo realizan no necesitan entrenamiento especial.
- c) El equipo es portable y a veces no se necesita ninguna fuente externa de energía.

c.-) INSPECCIÓN MEDIANTE PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

El principio del método de partículas magnéticas se puede comprender mediante las líneas del campo magnético que se presentan en el área de inspección, si rociamos pequeñas partículas de fierro sobre la barra, se concentrará en la zona de inspección y en caso de existir discontinuidad ésta se hará visible.

En el caso más común de inspección de soldadura se utiliza un magneto tipo herradura y polvos magnéticos que delinear claramente las líneas del campo magnético y las discontinuidades superficiales.

El método es útil para la detección de grietas y otras discontinuidades superficiales de una discontinuidad del orden de hasta $\frac{1}{2}$ ", solamente se puede utilizar en materiales ferromagnéticos. Con este método se tiene las siguientes ventajas:

- a) Resultados instantáneos
- b) Muy alta velocidad de inspección
- c) Grandes posibilidades de dar automatización de la prueba



Fotografía 4.1.2.3. Inspección de partículas magnéticas

En la fotografía 4.1.2.3, se muestra la técnica de inspección por el método de partículas magnéticas.

d.-) **INSPECCIÓN MEDIANTE ULTRASONIDO**

La prueba ultrasónica consiste básicamente en enviar ondas ultrasónicas al interior del material a prueba, estas ondas al propagarse por el material sufren ciertos cambios que son detectados por el sistema de prueba, lo cual proporciona información sobre el estado interno de las piezas, en la figura 4.1.2.4 se muestra un esquema de este sistema de inspección.

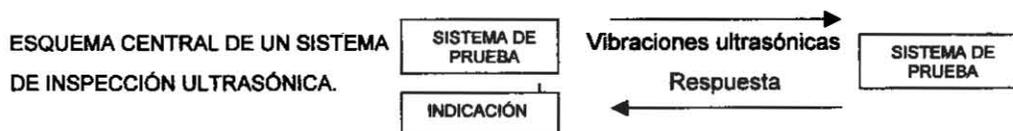


Figura 4.1.2.4 Esquema central del sistema de inspección por ultrasonido

El método se basa en el principio de la cantidad de sonido, es decir que una discontinuidad de cierto tamaño reflejará una cierta cantidad de sonido proporcional al tamaño de la discontinuidad. Los resultados son obtenidos casi siempre en la pantalla del tubo de rayos catódicos de un osciloscopio.

Se pueden inspeccionar por este método soldaduras de cualquier espesor, casi en cualquier configuración. La inspección ultrasónica ofrece las siguientes ventajas:

- a) Resultados instantáneos

- b) Localización de las fallas en tres dimensiones.
- c) El método es útil en cualquier espesor del material.
- d) La inspección es posible desde un solo lado de la pieza.
- e) Gran sensibilidad a defectos pequeños.
- f) Equipo de gran portabilidad sin peligro en su manejo.
- g) Bajo costo comparado con la radiografía.



Fotografía 4.1.2.5 Inspección de ultrasonido

En la fotografía 4.1.2.5, se muestra la técnica de inspección por ultrasonido.

e.-) INSPECCIÓN MEDIANTE RADIOGRAFÍA

Una radiografía es la imagen obtenida en una película radiográfica por medio de la radiación X o gamma que pasa a través del objeto a prueba, como se ilustra en la figura 4.1.2.6.

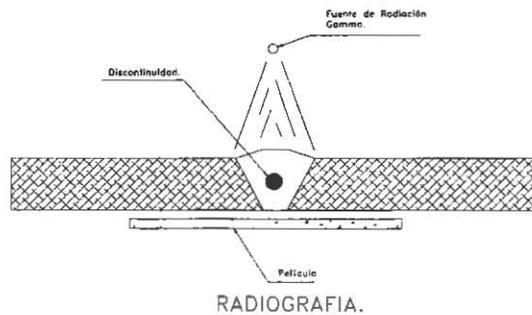


Figura 4.1.2.6 Esquema de inspección mediante radiografía



Fotografía 4.1.2.3. Inspección de partículas magnéticas

En la fotografía 4.1.2.3, se muestra la técnica de inspección por el método de partículas magnéticas.

d.-) **INSPECCIÓN MEDIANTE ULTRASONIDO**

La prueba ultrasónica consiste básicamente en enviar ondas ultrasónicas al interior del material a prueba, estas ondas al propagarse por el material sufren ciertos cambios que son detectados por el sistema de prueba, lo cual proporciona información sobre el estado interno de las piezas, en la figura 4.1.2.4 se muestra un esquema de este sistema de inspección.

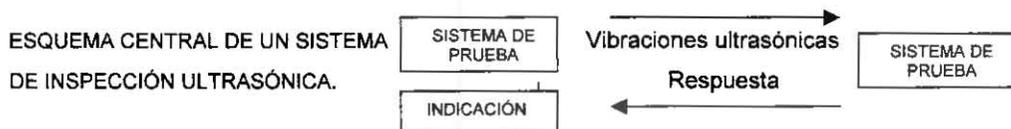


Figura 4.1.2.4 Esquema central del sistema de inspección por ultrasonido

El método se basa en el principio de la cantidad de sonido, es decir que una discontinuidad de cierto tamaño reflejará una cierta cantidad de sonido proporcional al tamaño de la discontinuidad. Los resultados son obtenidos casi siempre en la pantalla del tubo de rayos catódicos de un osciloscopio.

Se pueden inspeccionar por este método soldaduras de cualquier espesor, casi en cualquier configuración. La inspección ultrasónica ofrece las siguientes ventajas:

- a) Resultados instantáneos

- b) Localización de las fallas en tres dimensiones.
- c) El método es útil en cualquier espesor del material.
- d) La inspección es posible desde un solo lado de la pieza.
- e) Gran sensibilidad a defectos pequeños.
- f) Equipo de gran portabilidad sin peligro en su manejo.
- g) Bajo costo comparado con la radiografía.



Fotografía 4.1.2.5 Inspección de ultrasonido

En la fotografía 4.1.2.5, se muestra la técnica de inspección por ultrasonido.

e.-) INSPECCIÓN MEDIANTE RADIOGRAFÍA

Una radiografía es la imagen obtenida en una película radiográfica por medio de la radiación X o gamma que pasa a través del objeto a prueba, como se ilustra en la figura 4.1.2.6.

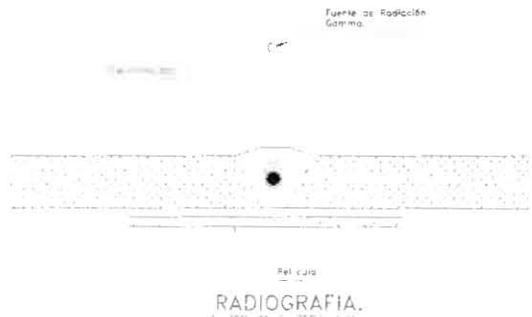


Figura 4.1.2.6 Esquema de inspección mediante radiografía

El método se basa en detectar cualquier discontinuidad que se presente en un espesor uniforme de un material homogéneo, dejando pasar una mayor cantidad de radiación que resultará en un mayor contraste local de la película radiográfica.

Probablemente en lo que más se utiliza la radiografía industrial es en inspección de soldadura para detección de porosidad, inclusiones no metálicas, faltas de fusión, faltas de penetración, grietas, etc. Se considera como el mejor método de inspección para soldadura a tope con espesores delgados, incluyendo que se presenta evidencia de los defectos en las soldaduras.

Entre otras las radiografías ofrecen las siguientes ventajas:

- a) Es el método de inspección no destructiva que mejor revela el estado interno de las soldaduras.
- b) Proporciona una prueba visible y permanente de los resultados.
- c) Con radiografía se puede inspeccionar casi cualquier tipo de material.

La tabla 4.1.2.7, presenta algunos tipos de defecto generados con frecuencia en las uniones de soldadura, y al mismo tiempo se indica el método de prueba adecuado para su inspección:

<u>DEFECTO</u>	<u>MÉTODO DE PRUEBA</u>
1. DIMENSIONES	
1.1 Combadura inspección visual con medidores y dispositivos apropiados	Inspección visual
1.2 Preparación incorrecta de la junta	Inspección visual
1.3 Tamaño incorrecto de la soldadura con medidores y calibradores adecuados	Inspección visual
1.4. Perfil incorrecto de la soldadura	Inspección visual
1.5. Dimensiones finales incorrectas	inspección visual
2. DISCONTINUIDADES ESTRUCTURALES	
2.1 Porosidad	Radiografía, ultrasonido, metalografía en fracturas Igual a 2.1
2.2 Inclusiones de escoria	Radiografía, ultrasonido, microscopía
2.3 Inclusiones de tungsteno	Igual a 2.1
2.4 Fusión incompleta	Igual a 2.1
2.5 Falta de penetración	Igual a 2.1
2.6 Socavación	Radiografía, ultrasonido, inspección visual, dobléz
2.7 Grietas	Radiografía, ultrasonido, inspección visual, dobléz, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, metalografía
2.8 Irregularidades superficiales	Inspección visual, partículas magnéticas

3. DEFECTOS EN PROPIEDADES	
3.1 Baja resistencia a la tensión	Prueba de tensión al metal base, tensión al metal depositado, tensión transversal, prueba de cortante a soldadura de filete
3.2 Bajo punto de cedencia	Igual a 3.1 excepto prueba de cortante
3.3 Baja ductibilidad	Tensión al metal depositado, tensión al metal base, dobléz libre y guiado
3.4 Dureza inadecuada	Pruebas de dureza
3.5 Baja resistencia al impacto	Pruebas de impacto
3.6 Composición química incorrecta	Análisis químico cuantitativo y cualitativo
3.7 Resistencia a la corrosión incorrecta	Pruebas de corrosión

Tabla 4.1.2.7 Defectos de uniones de soldaduras y métodos de inspección

4.1.3 PROCESO DE SOLDADURA Y CONTROL DE ALMACENAJE DE ELECTRODOS

La Soldadura de arco eléctrico colocada de manera manual con electrodo revestido (SMAW), descrito en el capítulo 2, es el proceso que cumple satisfactoriamente las condiciones de aplicación de soldadura en las áreas designadas para el ensamble de la superestructura del puente "Chiapas 1".

En este proceso de soldadura se utiliza el calor de un arco eléctrico entre las piezas a soldarse y el metal del electrodo revestido.

La atmósfera protectora se logra con la descomposición del fundente que cubre el electrodo.

El metal de aporte lo provee el corazón del electrodo, que es un alambre con características similares a la del metal base, y el fundente que contiene aleaciones y polvo de hierro.

Los electrodos pueden operar con corriente alterna o con corriente directa en fase negativo o positivo.

CONTROL Y ALMACENAMIENTO DE ELECTRODOS RECUBIERTOS DE BAJO HIDRÓGENO

Todos los electrodos con recubrimiento de bajo hidrógeno deben comprarse en recipientes herméticamente sellados, o deben secarse por lo menos dos horas a una temperatura entre 230° y 260° centígrados antes de que se usen.

Los electrodos deben secarse antes de su uso, si los recipientes sellados muestran señales de daño, los electrodos no deberán usarse.

Inmediatamente después de abrir el paquete o sacar los electrodos del horno de secado, estos deben almacenarse en hornos portátiles a una temperatura de al menos 120° C.

Después de haber abierto el paquete o de sacar los electrodos de los hornos de secado o almacenaje, la exposición de los electrodos a la atmósfera no debe exceder los tiempos marcados por la siguiente información:

El Periodo aprobado de exposición a la atmósfera del electrodo de la serie E70XX, que es el que se utilizará en el proceso de soldadura es de 4 horas.

Los electrodos expuestos a la atmósfera por periodos menores al mencionado pueden regresarse al horno manteniéndolos a 120° C como mínimo, después de un periodo mínimo de 4 horas en el horno, pueden volver a usarse.

Los electrodos que deban secarse de nuevo, podrán usarse pero no más de una vez, mientras que los electrodos que se mojen no deben usarse.

La capacidad de los electrodos de bajo hidrógeno para prevenir el agrietamiento depende del contenido de humedad del recubrimiento a soldar, la humedad se separa en hidrógeno y oxígeno (gases), el hidrógeno se disuelve en el metal fundido, pudiéndose presentar grietas y poros al solidificarse el metal. Las medidas de control tienen la finalidad de prevenir la absorción de humedad del recubrimiento.

4.2 JERARQUIZACIÓN Y TIPO DE UNIONES DE SOLDADURAS

En el capítulo 2 se mencionó que las uniones a soldarse en el proyecto del Puente "Chiapas 1" han sido clasificadas en función de su índice de severidad o el tipo de trabajo que se realizarán en la superestructura, en donde el cliente, S.C.T., las ha clasificado en tres tipos:

SOLDADURAS CLASE 1

Son aquellas soldaduras que unen elementos estructurales que están sujetos a tensión y esfuerzos reversibles de tensión y/o compresión. Los elementos unidos por estas soldaduras son de importancia primordial para mantener la estructura en su posición de servicio.

Comprenden las siguientes juntas de la superestructura:

a).- Cajón longitudinal (Dovelas de ensamble)

Todas las uniones del patín superior e inferior y de alma con alma, así como los bulbos localizados en ambos patines; las conexiones de piezas de puente y diafragmas con el cajón longitudinal en las uniones patín a patín inferiores y superiores; las conexiones de piezas de puente y diafragmas con el cajón longitudinal en las uniones alma con alma.

b).- Columnas principales de pilas (No comprendidas en este trabajo)

Todas las uniones entre paredes de tubo, así como las placas de conexión de diagonales y horizontales a las columnas principales.

SOLDADURAS CLASE 2

Son aquellas soldaduras que unen a elementos cuya sollicitación principal son los esfuerzos cortantes o de compresión. Los elementos unidos por estas soldaduras son de importancia para mantener la estructura en su posición de servicio.

Comprenden el cajón longitudinal, todas las uniones del patín inferior o superior con el alma, toda la unión alma con alma.

SOLDADURAS CLASE 3

Son aquellas soldaduras que unen elementos secundarios y cuya función principal es dar rigidez.

Comprende todas las uniones de atiesadores verticales y horizontales, así como conectores de cortante.

En las figuras 4.2.1 y 4.2.2, se muestran los porcentajes de inspección y tipos de uniones jerarquizadas por el proyectista de forma general en función de su índice de severidad, ya que en las figuras siguientes se desglosaron en forma particular las características y tipo de inspección que se aplicará para cada unión del ensamble de una dovela.

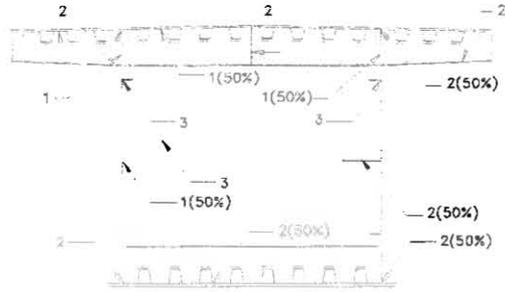


Fig. 4.2.1 Porcentajes de inspección en uniones de elementos de dovela

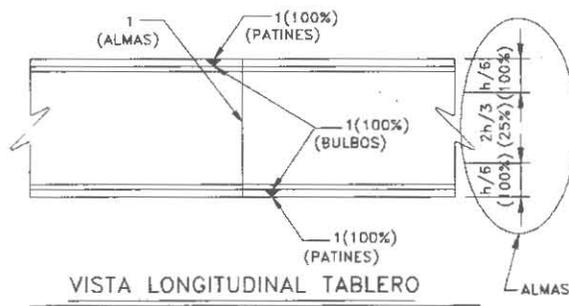


Fig. 4.2.2 Porcentajes de inspección en uniones de dovelas

En las figuras 4.2.3., 4.2.4., 4.2.5, y 4.2.6, se presentan las clases de soldadura de expuestas en párrafos anteriores, así como el tipo de inspección de pruebas no destructivas con su correspondiente porcentaje y el tipo de junta. En las figuras se puede observar la numeración con la cual se controlará cada una de las juntas que intervendrán en el ensamble de los elementos individuales, así como el ensamble general de la dovela dentro del cajón de armado para conocer el estado que guardará cada junta de soldadura.

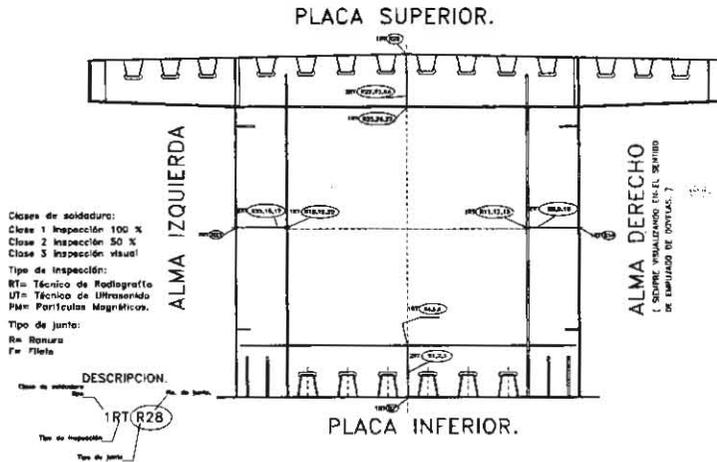


Fig. 4.2.3 Uniones de ensamble de elementos de dovela

En la Figura 4.2.3, se muestran las primeras 28 uniones que contemplan los elementos individuales de la primera etapa de armado, así las juntas de la 1 a la 7 serán para el ensamble de la placa inferior, del mismo modo las juntas de la 8 a la 14 y 15 a la 21 serán para el ensamble de las placas almas derecha e izquierda, y las juntas de la 22 a la 28 para el ensamble de las placas superiores centrales. En esta figura se puede observar que se disponen de uniones clase 1 y 2, de ranura con inspección radiográfica del 50 y 100%.

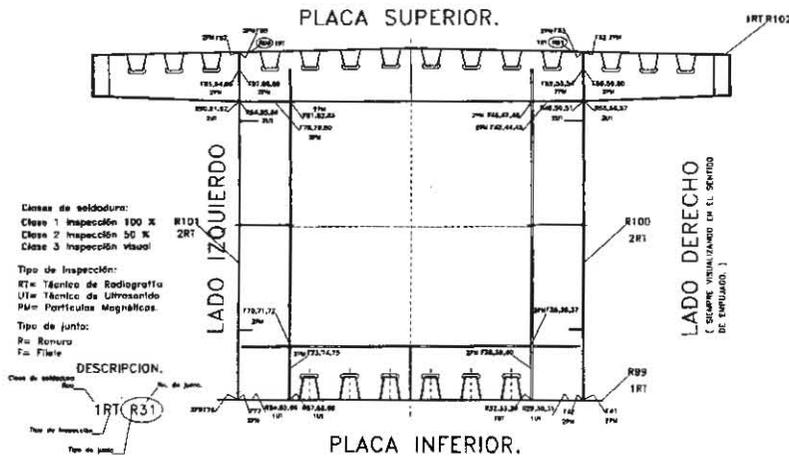


Fig. 4.2.4 Uniones de diafragmas de dovela

La figura 4.2.4, presenta las uniones de la 29 a la 63 y de la 64 a la 98 que contemplan el ensamble de la placa inferior y placa superior con las placas del alma lateral, conectadas con soldaduras clase 1 y 2, con inspección mediante ultrasonido y radiografía, con lo cual se deja precedente de la inspección. Es importante comentar que las uniones en las cuales no se pueda aplicar la inspección radiográfica por no tener los accesos adecuados, se realizará mediante inspección ultrasónica; las juntas en las que se indican 3 números corresponden a cada uno de los diafragmas de la dovela que se encuentran separados a cada 4 m.

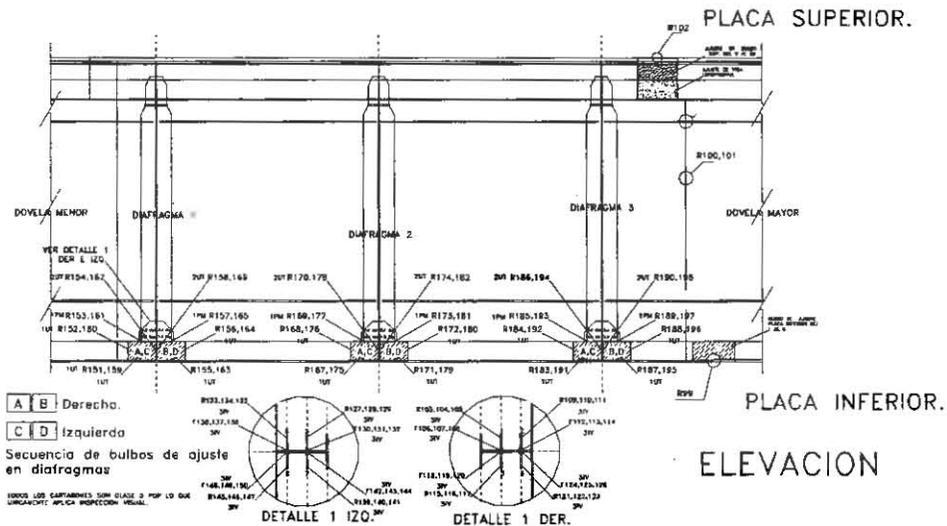


Fig. 4.2.5 Uniones de elementos de rigidez interiores en la dovela

En la figura 4.2.5, se muestran las uniones de la 103 a la 198 que contemplan el ensamble de todos los elementos de ajuste internos como son cartabones y bulbos de 50cm, los cuales se ligarán en cada uno de los diafragmas por ambos lados ubicados como se muestra en la secuencia de ajuste de bulbos y en los detalles derecho 1 y izquierdo1.

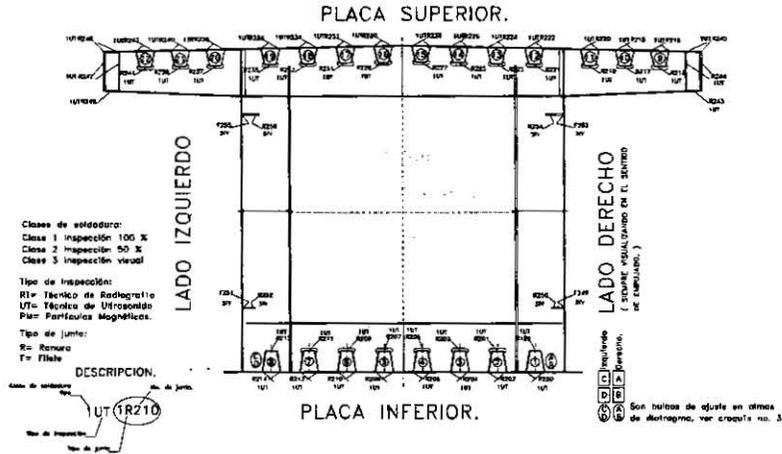


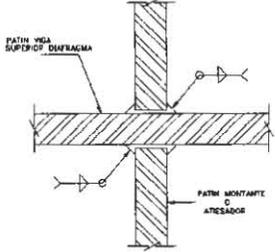
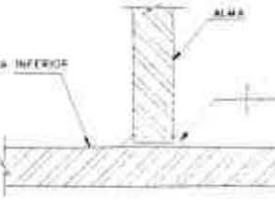
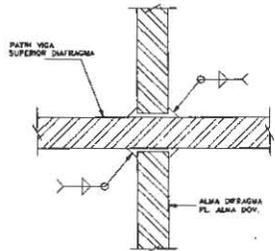
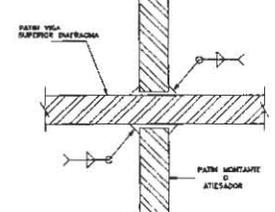
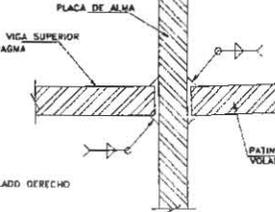
Fig. 4.2.6 Uniones de elementos de ajuste entre dovelas

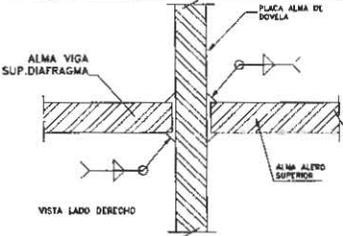
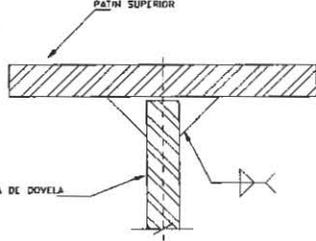
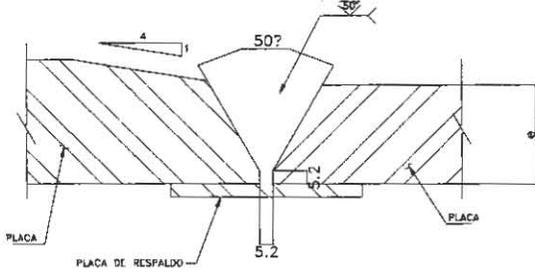
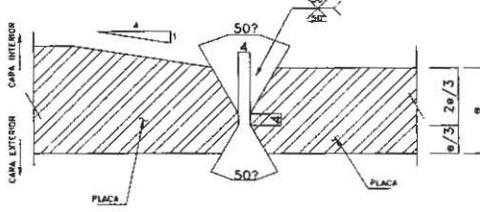
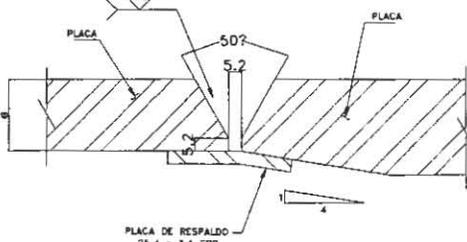
La figura 4.2.6, muestra las uniones de la 199 a la 248, que complementan todas las uniones necesarias para tener completo un ensamble de una dovela, estas uniones consideran el ligar la continuidad entre una y otra dovela a base de los elementos de ajuste como son bulbos y vigas de 40 cm de longitud, y las uniones principales de continuidad en patines superiores, inferiores y almas considerándose las juntas de la 99 a la 102 indicadas en la figura 4.2.5.

En las siguientes figuras de la tabla 4.2.7, se muestran los tipos de uniones así como su número correspondiente de juntas asignado en las figuras anteriores, las cuales muestran la simbología y el detalle geométrico que deberá respetarse en su totalidad, es importante mencionar que todas la preparaciones de la junta fueron realizadas en el taller central al igual que los elementos individuales de cada dovela, por lo cual el control geométrico realizado a las uniones de los elementos fue aprobado en el momento de la liberación en el taller de fabricación, por lo cual en campo únicamente se verificará el alineamiento de uniones.

Tabla 4.2.7 Diagramas y simbología de uniones calificadas

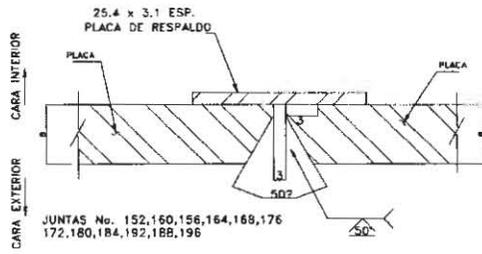
<p>Junta 1 a 3, 8 a 10, 15 a 17 y 22 a 24</p> <p>Unión de ranura en placas almas de diafragmas de patines inferiores, superiores y almas del mismo espesor para elementos individuales.</p>	
<p>Junta 4 a 7, 11 a 14, 18 a 21 y 25 a 28</p> <p>Unión de ranura en placas inferiores, superiores y almas del mismo espesor en la unión longitudinal y patines de diafragmas.</p>	
<p>Junta 29 a 31 y 64 a 66</p> <p>Unión de ranura entre placas inferiores y alma interior de diafragma.</p>	
<p>Junta 32 a 34 y 67 a 69</p> <p>Unión de ranura en placas inferiores con patín interior de diafragma o atiesadores.</p>	
<p>Junta 35 a 40 y 70 a 75</p> <p>Unión de patines y almas interiores de diafragma en esquina a base de filete.</p>	

<p>Junta 46 a 48 y 81 a 83</p> <p>Unión en esquina a base de filete entre patines y almas interiores, superiores de diafragma.</p>	
<p>Junta 41, 42, 76, y 77</p> <p>Unión de placas inferiores y almas en la longitud total de la dovela a base de filete.</p>	
<p>Junta 43 a 45 y 78 a 80</p> <p>Unión a base de filete entre patines y almas interiores superiores de diafragma.</p>	
<p>Junta 46 a 48 y 81 a 83</p> <p>Unión en esquina a base de filete entre patines y almas interiores superiores de diafragma.</p>	
<p>Junta 55 a 57, 49 a 51, 84 a 86 y 90 a 92</p> <p>Unión de patines de diafragma superiores con alma de dovela en esquina a base de filete.</p>	

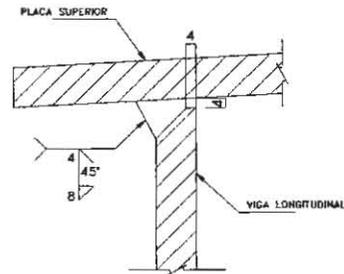
<p>Junta 52 a 54, 58 a 60, 87 a 89 y 93 a 95</p> <p>Unión de almas de diafragma superiores con alma de dovela en esquina a base de filete.</p>	
<p>Junta 61, 62, 96 y 97</p> <p>Unión de placas superiores y almas de dovela sobre la longitud total a base de filete.</p>	
<p>Unión de ranura entre placas inferiores de dovela en transición de cambio de espesor, utilizando placa de respaldo, la cual será retirada al concluir la unión.</p>	
<p>Unión de ranura entre placas almas de dovela en transición de cambio de espesor, utilizando bisel doble con la finalidad de repartir la cantidad de calor inducida por la soldadura hacia ambos lados y evitar distorsiones.</p>	
<p>Unión de ranura entre placas superiores de dovela en transición de cambio de espesor, utilizando placa de respaldo, la cual será retirada al concluir la unión.</p>	

<p>Junta 103 a la 150</p> <p>Unión entre atiesadores y el alma de diafragma mediante filete y las juntas 153, 161, 157, 165, 169, 176, 172, 180, 184, 192, 189 y 197 de bulbos inferiores con almas de diafragmas mediante ranura.</p>	
<p>Junta 151, 153, 157, 165, 169, 177, 173, 181, 185, 193, 189, y 197</p> <p>Unión de atiesadores con placas inferiores mediante ranura.</p>	
<p>Unión de ranura por penetración parcial en bulbos de ajuste en placas inferiores y superiores en diafragmas y continuidades: juntas 151, 159, 155, 163, 167, 175, 171, 179, 183, 191, 187, 195, 200, 202, 240, 266, 208, 210, 212, 214, 216, 218, 220, 222, 224, 226, 228, 230, 232, 234, 236, 238, 240, 242.</p>	
<p>Unión de ranura por penetración parcial en bulbos de ajuste con alma de diafragma correspondientes a las juntas 154, 162, 158, 166, 170, 178, 174, 182, 186, 194, 190 y 198.</p>	

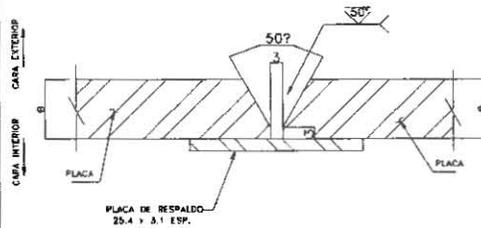
Unión de ranura por penetración completa de bulbos con bulbo: juntas 152, 160, 156, 164, 168, 176, 172, 180, 184, 192, 188, 196, 199, 201, 203, 205, 207, 209, 211, 213, 215, 217, 219, 221, 223, 225, 227, 229, 231, 233, 235, 237, 239, 241, 243.



Unión de ranura a penetración parcial en placas superiores con almas de viga longitudinal de las uniones 245 y 248.



Unión de ranura por penetración completa en placas almas de ajuste de vigas longitudinales para las juntas 243, 244, 246, y 247.



4.3 HOJAS DE CONTROL EN LA INSPECCIÓN DE EQUIPOS Y UNIONES DE SOLDADURA

El registro y control de documentos en una obra de las características del puente "Chiapas 1", es de gran importancia por la magnitud que guarda. En este proyecto se recopilará toda aquella información conveniente para un control adecuado del avance de las distintas actividades que conllevan a la construcción del proyecto.

Dentro del control del proceso constructivo, ensamble y soldadura de dovelas, los siguientes controles son los más importantes.

1. Control dimensional
2. Control de equipos de soldadura
3. Control de personal calificado
4. Control de variables de soldadura

1. Control dimensional En este documento se recopilará toda la información relacionada con los aspectos geométricos, respetando en todo momento las tolerancias dimensionales indicadas en el capítulo 1, en la figura 4.3.1, se muestran algunos reportes dimensionales donde se recopila la información de los ensambles individuales y el ensamble general de la dovela no. 3.

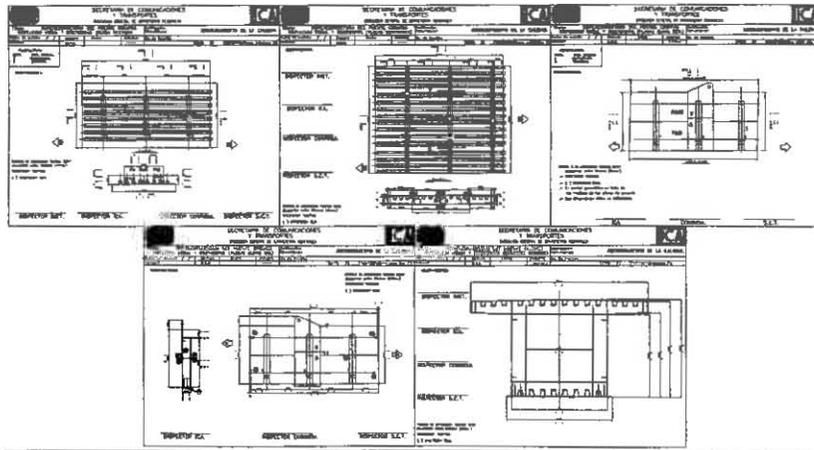


Fig. 4.3.1 Reportes de inspección dimensional

2. control de equipos de soldadura

En este documento básicamente se presenta la información necesaria para la identificación del equipo de soldadura, la zona en la cual se encontrará trabajando, el tipo de equipo de acuerdo con el proceso de soldadura que se realiza, la marca del equipo, el amperaje y voltaje, así como la fecha última de calibración del equipo.

La calibración de los equipos para este proyecto se deberá realizar en forma mensual, el motivo de esta calibración es la de cuidar que los equipos se encuentren en las mejores condiciones para poder desempeñar en forma adecuada la aplicación de soldadura y evitar en lo mínimo la existencia de defectos por variaciones de voltaje y amperaje, ver figura 4.3.2.

No.º ECONÓMICO	UBICACIÓN	TIPO	MARCA	AMPERAJE	VOLTAJE	CALIBRADO	OBSERVACIONES
SIM-1	Cajón	MANUAL	ISSA	400	220/440	03-07-2000	Llegó a obra 24-02-2000
SIM-6	Área 1	MANUAL	ULTRASOLD	400	220/440	03-07-2000	Llegó a obra 24-02-2000
SIM-7	Cajón	MANUAL	LINDE	450	220/440	03-07-2000	Llegó a obra 24-02-2000
SIM-8	Cajón	MANUAL	ISSA	400	220/440	03-07-2000	Llegó a obra 24-02-2000
SIM-10	Área 2	MANUAL	ISSA	400	220/440	03-07-2000	Llegó a obra 24-02-2000
SIM-11	Área 2	MANUAL	ISSA	400	220/440	03-07-2000	Llegó a obra 24-02-2000
SIM-12	Cajón	MANUAL	ISSA	400	220/440	03-07-2000	Llegó a obra 24-02-2000
SIM-16	Cajón	MANUAL	ISSA	400	220/440	03-07-2000	Llegó a obra 24-02-2000
SIM-18	Cajón	MANUAL	ISSA	400	220/440	03-07-2000	Llegó a obra 24-02-2000
SIM-20	Cajón	MANUAL	BAMBOZZI	300	220/440	03-07-2000	Llegó a obra 24-02-2000
SIM-21	Cajón	MANUAL	ISSA	400	220/440	03-07-2000	Llegó a obra 18-05-2000
SIM-25	Cajón	MANUAL	ISSA	400	220/440	03-07-2000	Llegó a obra 18-05-2000
SIM-27	Área 2	MANUAL	ISSA	400	220/440	03-07-2000	Llegó a obra 18-05-2000
SIM-29	Área 2	MANUAL	ISSA	400	220/440	03-07-2000	Llegó a obra 18-05-2000
SIM-50	Área 2	MANUAL	ISSA	400	220/440	03-07-2000	Llegó a obra 18-05-2000
SIM-51	Cajón	MANUAL	ISSA	400	220/440	03-07-2000	Llegó a obra 18-05-2000
SIM-22	Área 2	MANUAL	ISSA	400	220/440	05-07-2000	Llegó a obra 3-06-2000
SIM-19	Cajón	MANUAL	ISSA	400	220/440	05-07-2000	Llegó a obra 3-06-2000
SIM-23	Cajón	MANUAL	ISSA	400	220/440	05-07-2000	Llegó a obra 27-VI-00
SIM-4	Cajón	MANUAL	ISSA	450	220/440	05-07-2000	Llegó a obra 27-VI-00

Fig. 4.3.2 Calibración de equipos de soldadura

3. control de personal calificado

En este documento se relaciona el personal que previamente acreditó su prueba de habilidad para depósito de soldadura en apego a los procedimientos precalificados y calificados con respecto al código AWS de soldadura, que acreditan las uniones indicadas en este capítulo.

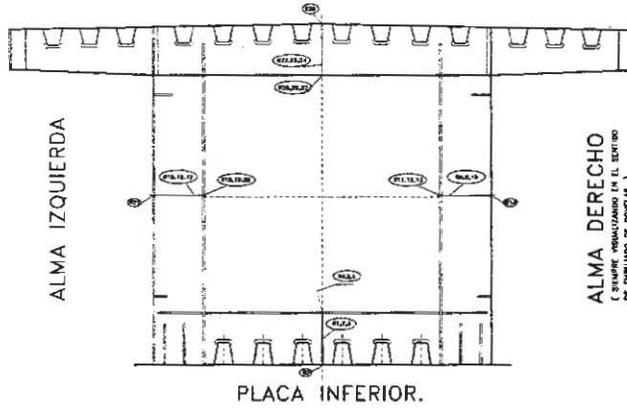
Dentro de los principales datos que contiene el documento son, el nombre completo del soldador, y la clave de identificación conveniente a las uniones de soldadura que llevará a cabo el soldador, con ello se podrá llevar un historial del número de rechazos con respecto al número de uniones realizadas. El soldador únicamente podrá realizar uniones de soldadura que acredite mediante su prueba de habilidad, considerando la especificación del proceso de soldadura WPS. En la figura 4.3.3, se muestran los datos que se recopilan de los soldadores calificados.

No.	NOMBRE	IDENTIFICACIÓN	PROCESO	WPS	POSICIÓN	RANGO DE CALIFICACIÓN
1	ADRIÁN VILLALOBOS SALGADO	AVS1	SMAW	104/105/109/118/151/ 152/153/155/156	3-G Y 4-G	ILIMITADO
2	ALFREDO RODRÍGUEZ LUNA	ARL2	SMAW	104/105/109/118/151/ 152/153/155/156	3-G Y 4-G	ILIMITADO
3	ANICETO SIMÓN ORTIZ PASTEN	ASOP3	SMAW	104/105/109/118/151/ 152/153/155/156	3-G Y 4-G	ILIMITADO
4	DANIEL JORDÁN REYES	DJR4	SMAW	104/105/118/154/155/ 156	1-G Y 4-G	ILIMITADO
5	EVERARDO HERRERA HERNÁNDEZ	EHH5	SMAW	104/105/109/118/151/ 152/153/155/156	3-G Y 4-G	ILIMITADO
6	GUADALUPE SAUCEDO GONZÁLEZ	GSG6	SMAW	104/105/109/118/151/ 152/153/155/156	3-G Y 4-G	ILIMITADO
7	GUILLERMO HERRERA ROMERO	GHR7	SMAW	1104/105/109/118/151/ 152/153/155/156	3-G Y 4-G	ILIMITADO
8	IGNACIO GARCILAZO RAMÍREZ	IGR8	SMAW	104/105/109/118/151/ 152/153/155/156	3-G Y 4-G	ILIMITADO
9	JORGE ÁNGULO LÁZARO	JAL9	SMAW	104/105/118/153	1-G Y 3-G	ILIMITADO
10	ROMEO MAGADAN TOSCANO	RMT10	SMAW	104/105/109/118/151/ 52/153/155/156	3-G Y 4-G	ILIMITADO
11	MIGUEL ÁNGEL MENDIETA MARTÍNEZ	MMM11	SMAW	104/105/109/118/151/ 52/153/155/156	3-G Y 4-G	ILIMITADO
12	MIGUEL ARELLANO GONZALEZ	MAG12	SMAW	104/105/109/118/151/ 52/153/155/156	3-G Y 4-G	ILIMITADO
13	EMILIANO CASTILLO RUIZ	ECR13	SMAW	104/105/109/118/152/ 53/156	3G	ILIMITADO
14	RAFAEL MARTÍNEZ SÁNCHEZ	RMS-14	SMAW	104/105/109/118/151/ 52/153/155/156	3-G Y 4-G	ILIMITADO

Fig. 4.3.3 Lista de soldadores calificados

CONTROL DE VARIABLES DE SOLDADURA.

PLACA SUPERIOR.



AREA DE CONTROL TECNICO AREA DE MANEJO GENERAL UNIDAD DE EJECUCION
 AREA DE PLANTA Y PROYECTO AREA DE ENLACE DE ALMA Y ALAS AREA DE CONTROL DE CALIDAD
 AREA DE PATIN Y PATIN AREA DE SOLDADURA AREA DE CONTROL DE CALIDAD

Nº. INSPECCION	DESCRIPCION DE ELEMENTO DE ENLACE	Nº. DE REFERENCIA DE CALIBRACION APLICABLE	PRELIMINARES		INSPECCIONES EN PROGRESO				INSPECCIONES FINALES		OBSERVACIONES
			ESTADO	TIPO DE SOLDADURA	PREPARACION Y ALINEACION	LIMPIEZA	POSICION DE ELECTRODO	PROFUNDIDAD	DEFECTOS VISUALES	DEFECTOS DE SUPERFICIE	
PATIN INFERIOR											
1	ALMA /ALMA DIAFRAGMA 1	153	7018	AVE1	ACEPTADO	ACEPTADO	ACEPTADO	ACEPTADO	ACEPTADO	R/A/N/A	0 en la inspección regional
2	ALMA /ALMA DIAFRAGMA 2	153									
3	ALMA /ALMA DIAFRAGMA 3	153									
4	PATIN /PATIN DIAFRAGMA 1	104,154,109									
5	PATIN /PATIN DIAFRAGMA 2	104,154,109									
6	PATIN /PATIN DIAFRAGMA 3	104,154,109									
7	SOLDADURA LONGITUDINAL P.I./P.I.D.	104,154,109									

REVISADO POR:

IMPRESIONADO POR:

IMPRESIONADO POR:

IMPRESIONADO POR:

IMPRESIONADO POR:

Fig. 4.3.4 Control de variables de soldadura

4. control de variables de soldadura En la figura 4.3.4 se indican todas las actividades que se realizarán en las uniones de soldadura que contempla el ensamble general, iniciando por la descripción de la junta a soldar, el procedimiento calificado para el depósito de soldadura, el tipo de electrodo, la clave del soldador, aprobación del alineamiento de la junta, precalentamiento de interpasos de soldadura e inicio de aplicación de pruebas no destructivas como son inspección visual, partículas magnéticas, ultrasonido y radiografía. Con lo cual se verificará la aprobación de cada una de las uniones de soldadura que intervienen en el ensamble de la superestructura del puente "Chiapas 1", garantizando la calidad de las uniones y el control de avance de soldaduras durante todo el proceso constructivo.

CAPÍTULO 5.-

CONCLUSIONES.

En esta memoria de desempeño profesional se describieron los principales aspectos técnicos a considerar en el procedimiento constructivo de la superestructura del puente "Chiapas1", como parte de la experiencia que se ha adquirido en la construcción ensamble y montaje de dovelas de acero, la cual fue incorporada como solución a la superestructura de este puente, dicha obra traerá grandes beneficios socioeconómicos para el país, además de representar una innovación en la ingeniería de puentes.

El presente trabajo cumplió con el objetivo general, describiendo en cuatro capítulos el proceso constructivo del ensamble, armado y empujado de la superestructura del puente "Chiapas 1" a base de dovelas de acero.

En la primera parte del trabajo se describieron los antecedentes y consideraciones que debe cumplir un proyecto de las características del puente "Chiapas 1" a base de placas ortotrópicas.

Así mismo se presentaron los conceptos y las características más importantes relacionadas con el desarrollo y aplicación de la soldadura, los cuales tomarán iniciativa fundamental en el desempeño de los procesos que se desarrollarán en la obra, ya que la soldadura cumplirá con la propiedad de ligar los elementos y mantenerlos en posición definitiva. De lo anterior se estima que el buen desempeño de la superestructura dependerá en gran medida del adecuado seguimiento que se le de a los aspectos técnicos descritos en este trabajo, para conformar los ensambles de dovelas de acuerdo a lo proyectado.

También se describe el proceso mediante el cual la superestructura se desplaza a través de cada uno de los apoyos, para ocupar su posición definitiva de trabajo, haciendo notar que los claros de 168 m que existen entre apoyos son de los más largos para un proceso de lanzamiento en este tipo de estructura.

Por lo anterior se concluye que de los aspectos tomados en cuenta para el desarrollo del presente trabajo la soldadura es el parámetro principal por considerar, ya que a través de este proceso, giran todas las actividades principales de la fabricación y armado de los elementos de la estructura, y de la cual se desprenden otras actividades fundamentales como son la inspección geométrica de las dovelas, la inspección y calidad de soldaduras mediante los métodos de prueba indicados, la supervisión y garantías para la realización de los empujados de cada uno de los trenes de dovelas, vinculando de dicha responsabilidad al personal calificado según normas AWS, para garantizar la calidad y la buena ejecución de todos los trabajos realizados en la superestructura del puente " Chiapas 1 ".

Finalmente se espera que este trabajo sirva de apoyo técnico en la aplicación de actividades coincidentes a proyectos de similares características, en cuanto al proceso de ensamble de la superestructura únicamente cabe comentar que la construcción de la subestructura la cual fue terminada con antelación fue realizada por las empresas "ICA-COREY", las cuales presentaron estrategias constructivas muy interesantes, que se resolvieron con gran capacidad por personal encomendado a estos trabajos y a la fecha se tiene un 75% de avance en el empujado del puente.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ENEP ACATLÁN**

TÍTULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIAPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO.				
No. de Sección:	PÁGINA:	ELABORÓ:	REVISÓ	FECHA.
Apéndice	134	Martín Romo G.	Ing. Darío Rivera Vargas	29/09/03

APÉNDICE

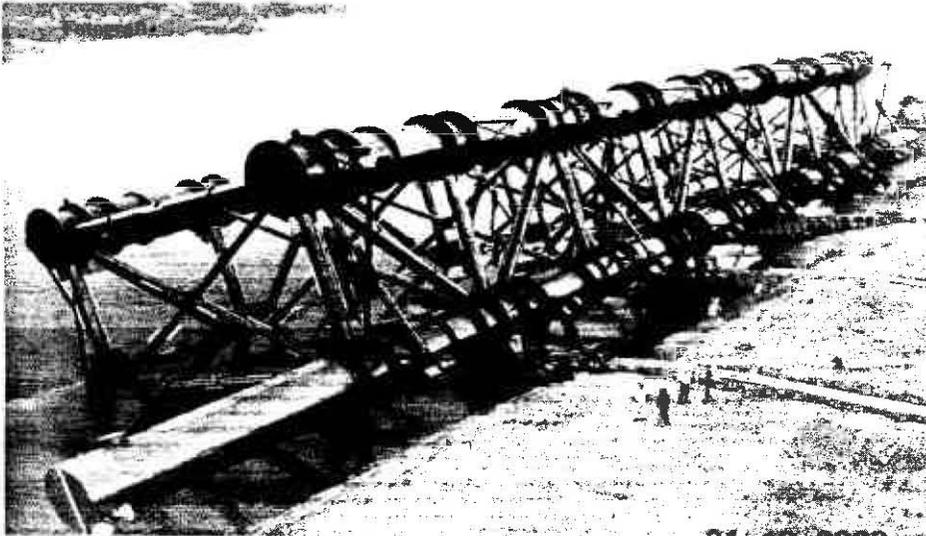
Fotografías del proceso constructivo del “ Puente Chiapas 1”



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ENEP ACATLÁN**

TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIAPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO.			Apéndice	
No. de Sección:	PÁGINA:	ELABORÓ:	REVISÓ	FECHA.
Fotografías.	-	Martín Romo G.	Ing. Darío Rivera Vargas	20/05/03

Fotografía 1



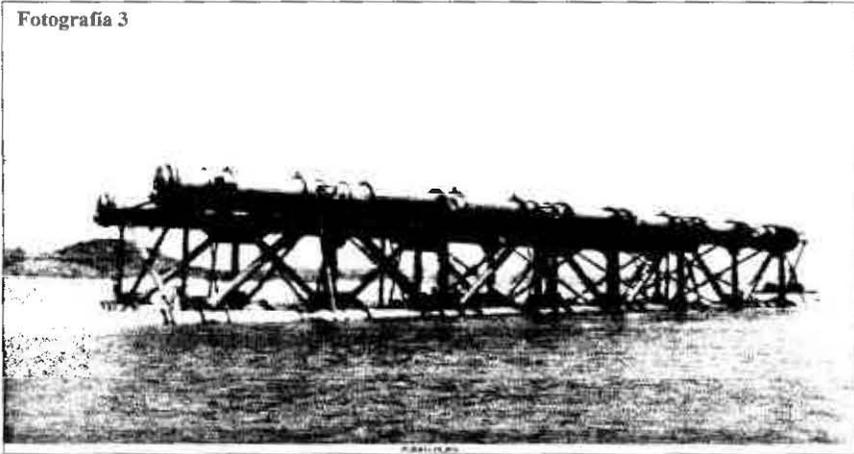
Las fotografías 1 y 2 muestran el momento en el que se inicia el botado de la pila tipo jacket 8 y 9, para posteriormente ser transportada a su lugar de posicionamiento final.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ENEP ACATLÁN**

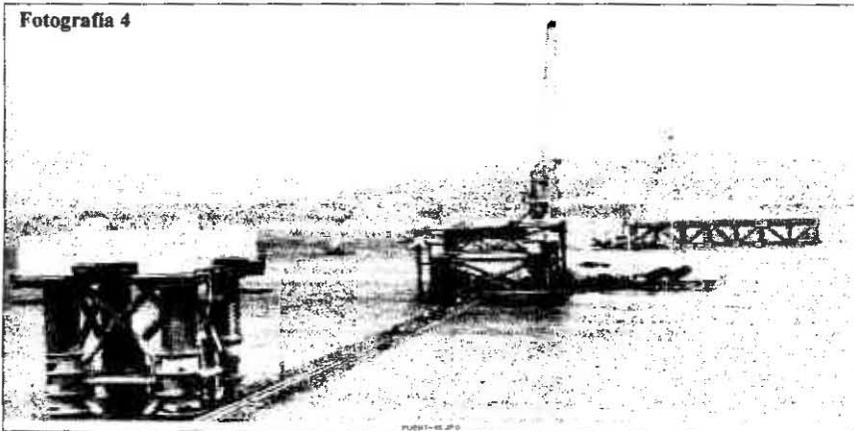
TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIAPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO.				Apéndice
No. de Sección:	PÁGINA:	ELABORÓ:	REVISÓ:	FECHA.
Fotografías.	-	Martín Romo G.	Ing. Darío Rivera Vargas	20/05/03

Fotografía 3



La fotografía número 3 presenta el traslado del jacket 8 para ser posicionado, observándose los flotadores que permiten el traslado del "JAKET" por medio de una plataforma a la zona de su posición definitiva.

Fotografía 4



En la fotografía número 4 se observa la llegada de la pila transportada por una plataforma tipo "Chalán"



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ENEP ACATLÁN**

TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIAPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO.				Apéndice
No. de Sección:	PÁGINA:	ELABORÓ:	REVISÓ:	FECHA.
Fotografías.	-	Martín Romo G.	Ing. Darío Rivera Vargas	20/05/03

Fotografía 5



Fotografía 6



En las fotografías 5 y 6 se puede apreciar el momento en que se destapan los flotadores de extensión, para dar inicio al posicionamiento final de la pila.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ENEP ACATLÁN**

TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIAPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO.				Apéndice
No. de Sección:	PÁGINA:	ELABORÓ:	REVISÓ:	FECHA.
Fotografías.	-	Martín Romo G.	Ing. Darío Rivera Vargas	20/05/03

Fotografía 7



Fotografía 8



Las fotografías 7 y 8 presentan una vista de la subestructura, la cual consta de 7 apoyos metálicos a base de tubo y dos estribos de concreto. En los apoyos centrales se puede observar el cambio de cabezal y el reforzamiento del mismo ya que serán los que reciban las cargas de la superestructura en los claros de mayor longitud.

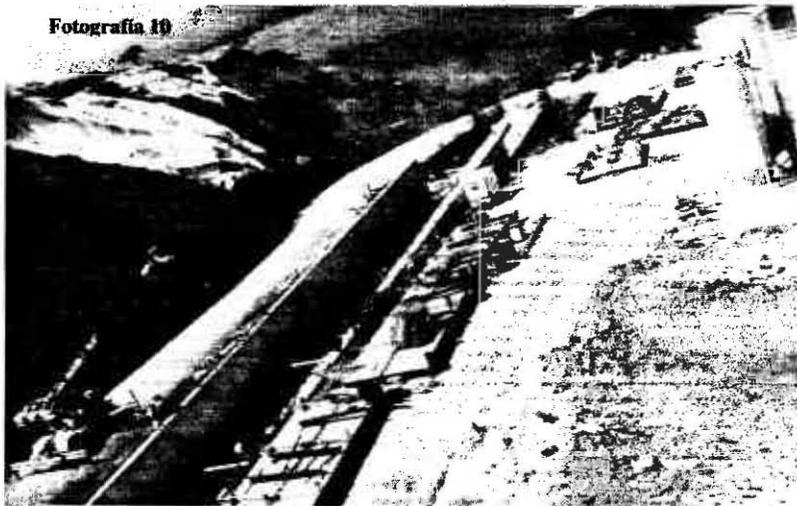


**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ENEP ACATLÁN**

TÍTULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIAPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO.				Apéndice.
No. de Sección:	PAGINÁ:	ELABORÓ:	REVISÓ:	FECHA.
Fotografías.	-	Martin Romo G.	Ing. Dario Rivera Vargas	20/05/03



La fotografía 9 presenta el desarrollo de una de las etapas de la construcción del cajón se ensamble de dovelas.



En la fotografía 10 se presenta una vista superior, dando inicio al ensamble de los elementos de la nariz de empuje.



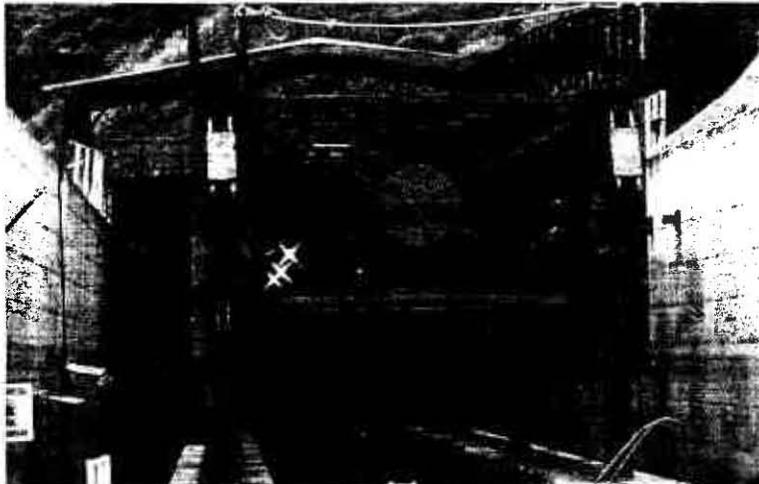
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ENEP ACATLÁN**

TÍTULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIAPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO.				Apéndice.
No. de Sección:	PAGINA:	ELABORÓ:	REVISÓ	FECHA.
Fotografías.	-	Martín Romo G.	Ing. Darío Rivera Vargas	20/05/03

Fotografía 11



La fotografía 11 muestra el ensamble concluido de la nariz e empuje.



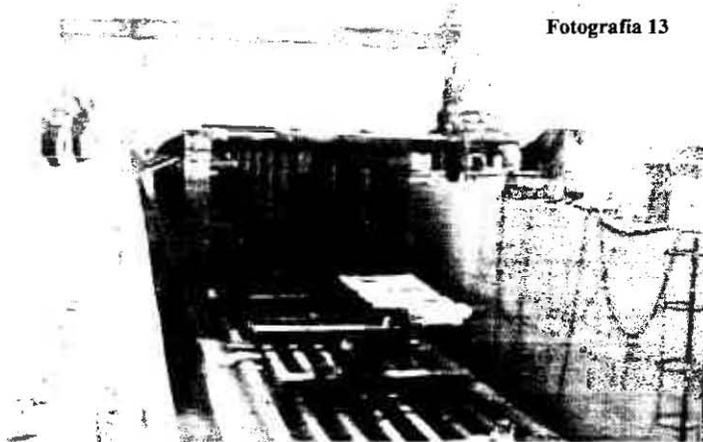
En la fotografía 12 se aprecia el ensamble y unión de la nariz de empuje con la dovela 1, así mismo se muestran los dispositivos de pescante a utilizarse en el proceso de empujado.

C



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ENEP ACATLÁN**

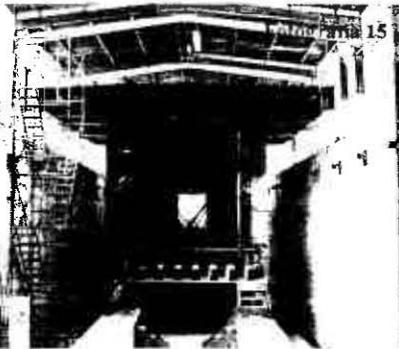
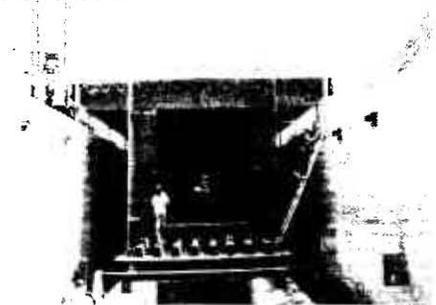
TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIAPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO.			Apéndice	
No. de Sección:	PÁGINA:	ELABORÓ:	REVISÓ:	FECHA:
Fotografías.	-	Martín Romo G.	Ing. Darío Rivera Vargas	20/05/03



Fotografía 13

La fotografía 13 presenta el inicio del ensamble de la dovela 1 con la nariz de empuje, iniciando con el ensamble de los patines inferiores y posteriormente las almas laterales, preensambladas en los patios de soldadura aledaños a la fosa de armado.

Fotografía 14



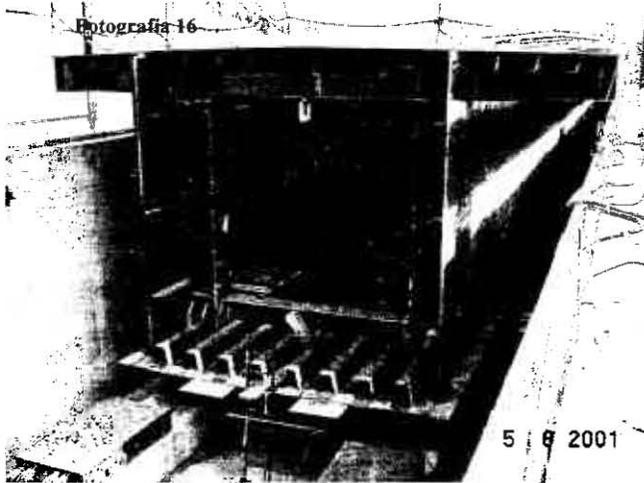
Fotografía 15

Las fotografías 14 y 15 muestran el ensamble general de la dovela las cuales se apoyan en las vigas transversales separadas a cada 4 m, adicionalmente se observan unos bancos niveladores adyacentes al patin inferior los cuales cumplirán la función de nivelar la dovela de acuerdo con la contraflecha de proyecto.

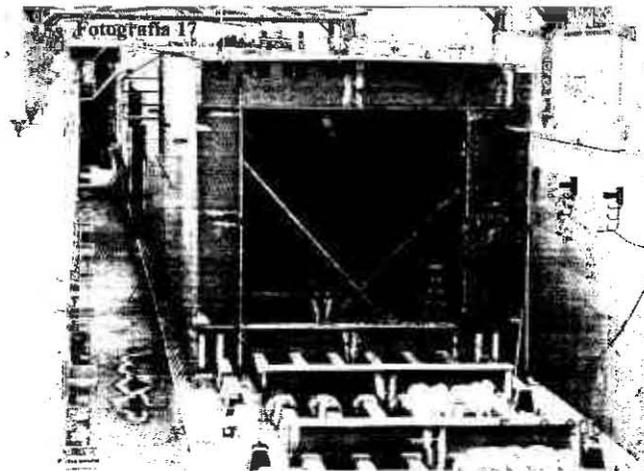


**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ENEP ACATLÁN**

TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIAPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO.				Apéndice
No. de Sección:	PÁGINA:	ELABORÓ:	REVISÓ	FECHA.
Fotografías.	-	Martín Romo G.	Ing. Darío Rivera Vargas	20/05/03



En la fotografía 16 se observan los dispositivos de empuje que se instalarán en la parte inferior de la dovela final del ciclo de empuje.

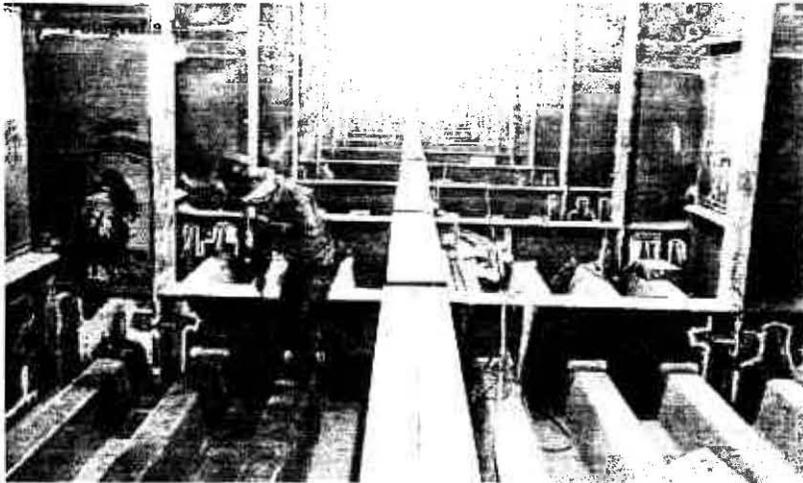


En la fotografía 17 se ve el apuntalamiento aplicado en almas, los bulbos corregidos a base de calor controlado, para adecuar las distorsiones generadas por aplicación excesiva de calor, y de esta manera respetar las tolerancias establecidas en el proyecto.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ENEP ACATLÁN**

TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIAPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO.				Apéndice
No. de Sección:	PAGINA:	ELABORÓ:	REVISÓ	FECHA.
Fotografías.	-	Martín Romo G.	Ing. Darío Rivera Vargas	20/05/03



En la fotografía 18 se aprecia el ensamble interior de diafragmas de la dovela.



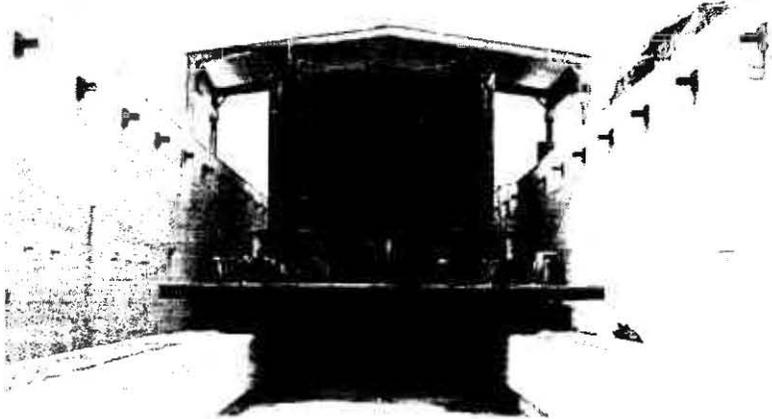
La fotografía 19 detalla la unión de diafragma de placa inferior con alma en la que se puede observar lo reducido de las áreas y la gran cantidad de elementos por soldar.



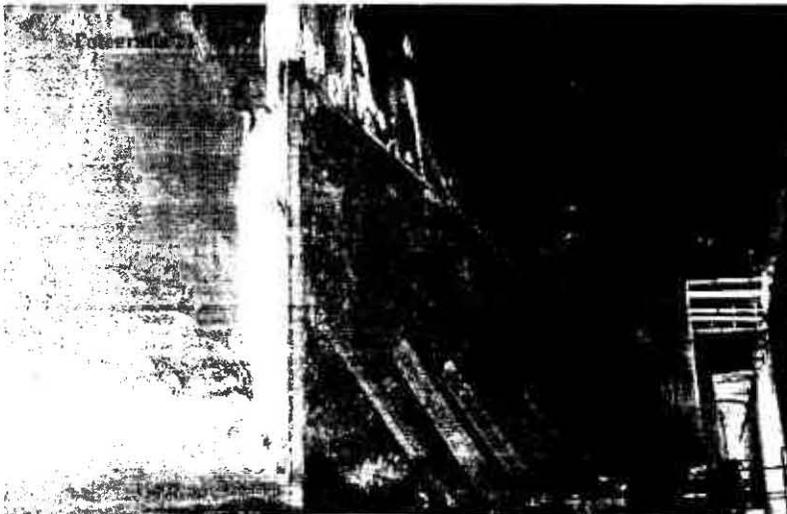
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ENEP ACATLÁN**

TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIAPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO.				Apéndice
No. de Sección:	PÁGINA:	ELABORÓ:	REVISÓ:	FECHA.
Fotografías.	-	Martín Romo G.	Ing. Darío Rivera Vargas	20/05/03

Fotografía 20



fotografía 20 Cubiertas utilizadas para la protección de lluvia y aire durante el depósito de soldadura



La fotografía 21 Apuntalamiento para el enderezado del patin inferior.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ENEP ACATLÁN**

TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIAPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO.			Apéndice	
No. de Sección:	PÁGINA:	ELABORÓ:	REVISÓ:	FECHA:
Fotografías.	-	Martín Romo G.	Ing. Dario Rivera Vargas	20/05/03

Fotografía 22



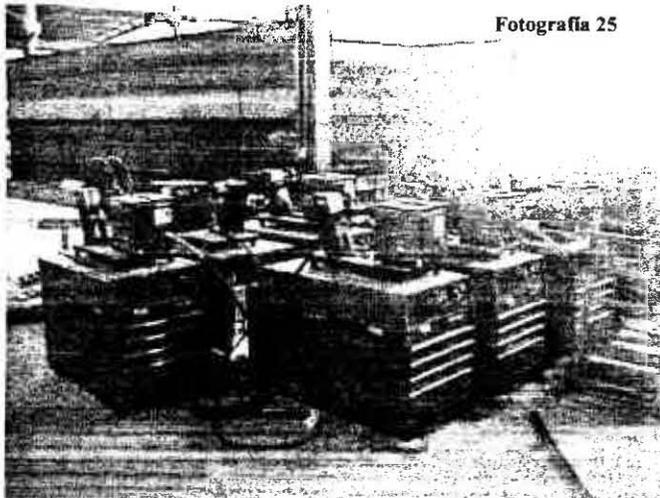
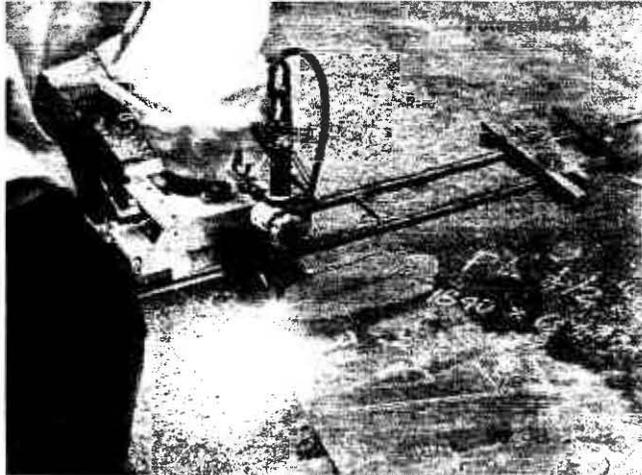
Fotografía 23

Las fotografías 22 y 23 muestran parte de los procesos de corte, limpieza y reforzamiento de algunas dovelas.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ENEP ACATLÁN**

TÍTULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIAPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO.				Apéndice
No. de Sección:	PÁGINA:	ELABORÓ:	REVISÓ	FECHA.
Fotografías.	-	Martín Romo G.	Ing. Darío Rivera Vargas	20/05/03



Fotografía 25

La fotografías 24 y 25 presentan el tipo de equipos utilizados para corte y soldadura.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ENEP ACATLÁN**

TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIAPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO.				Apéndice
No. de Sección:	PÁGINA:	ELABORÓ:	REVISÓ:	FECHA.
Fotografías.	-	Martin Romo G.	Ing. Darío Rivera Vargas	20/05/03

Fotografía 26



Fotografía 27

En las fotografías 26 y 27 se aprecia el proceso de la técnica de inspección por ultrasonido , así como el equipo con el cual se realizan las inspecciones.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ENEP ACATLÁN**

TÍTULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIAPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO.				Apéndice
No. de Sección:	PÁGINA:	ELABORÓ:	REVISÓ:	FECHA.
Fotografías.	-	Martín Romo G.	Ing. Darío Rivera Vargas	20/05/03



En la fotografía 28 se observa una vista superior del ensamblaje de la nariz al primer ciclo de empujado.



La fotografía 29 presenta una vista general de las áreas de trabajo y fosa de armado.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ENEP ACATLÁN**

**TÍTULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA
DEL PUENTE CHIAPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO.** **Apéndice**

No. de Sección:	PÁGINA:	ELABORÓ:	REVISÓ:	FECHA:
Fotografías.	-	Martin Romo G.	Ing. Dario Rivera Vargas	20/05/03



La fotografía 30 presenta una vista de las cubiertas móviles de protección durante el proceso de aplicación de soldadura, instaladas en los corredores laterales de la fosa de armado.



fotografía 31 vista posterior del proceso de ensamble y armado de elementos de dovelas en las áreas designadas.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ENEP ACATLÁN**

TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIAPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO.				Apéndice
No. de Sección:	PÁGINA:	ELABORÓ:	REVISÓ:	FECHA.
Fotografías.	-	Martín Romo G.	Ing. Darío Rivera Vargas	20/05/03



La fotografía 32 presenta una vista general de la línea de ensamble de la superestructura con respecto a los apoyos definitivo, apreciándose que el puente se ubica de forma recta.

Fotografía 33

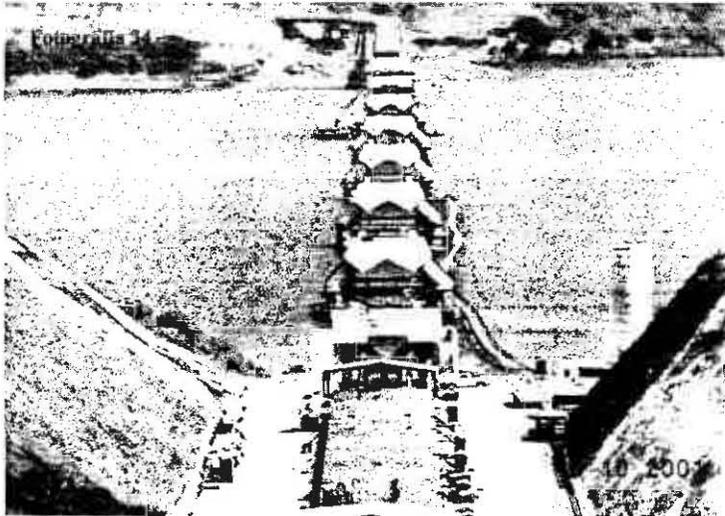


fotografía 33 Vista de lo que será la unión del puente "Chiapas 1" al ligarse en el estribo 1 con la superestructura de otro puente de secciones menores.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ENEP ACATLÁN**

TÍTULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIAPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO.			Apéndice	
No. de Sección:	PÁGINA:	ELABORÓ:	REVISÓ:	FECHA.
Fotografías.	-	Martin Romo G.	Ing. Darío Rivera Vargas	20/05/03



En las fotografías 34 y 35 se aprecian las vistas generales de la ubicación del "Chiapas 1", ubicando el primer ciclo de dovelas en posición para dar inicio al proceso de empujado, así mismo se muestra la estructura del puente "Chiapas 2" con el cual se ligara al momento de concluir el último ciclo de empuje.

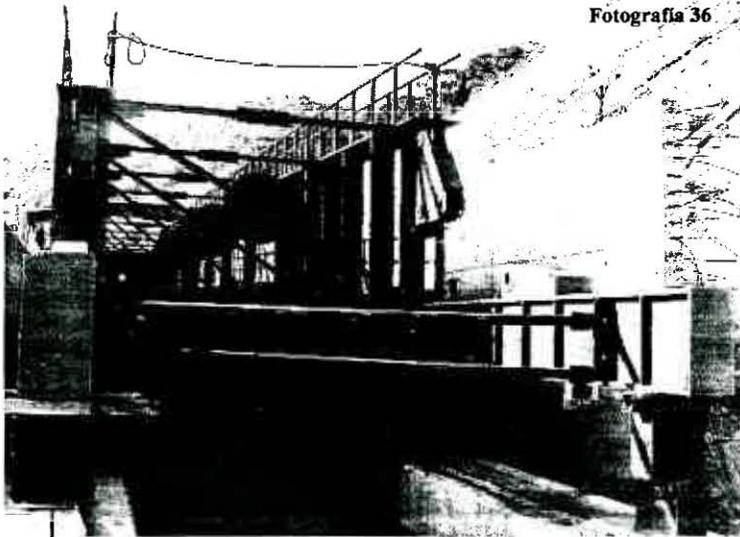
Fotografía 35





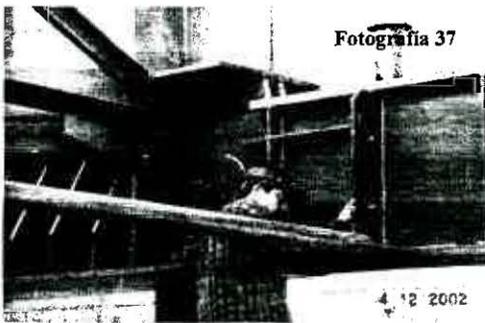
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO ENEP ACATLÁN

TÍTULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIAPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO.				Apéndice
No. de Sección:	PÁGINA:	ELABORÓ:	REVISÓ:	FECHA.
Fotografías.	-	Martín Romo G.	Ing. Dario Rivera Vargas	20/05/03



Fotografía 36

Las fotografías 36, 37 y 38 muestran los dispositivos que serán utilizados en la nariz de empuje como pescante en el momento de acercarse al apoyo, y las caretilas fijadas en la parte inferior del ciclo de dovelas que corresponda empujar desplazándose sobre la placa riel fijada a las traves de concreto del cajón de ensamble.



Fotografía 37

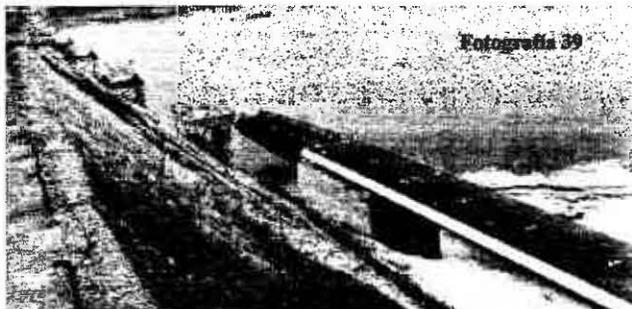


Fotografía 38



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ENEP ACATLÁN**

TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIAPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO.				Apéndice
No. de Sección:	PÁGINA:	ELABORÓ:	REVISÓ:	FECHA.
Fotografías.	-	Martín Romo G.	Ing. Darío Rivera Vargas	20/05/03



Fotografía 39



Fotografía 40



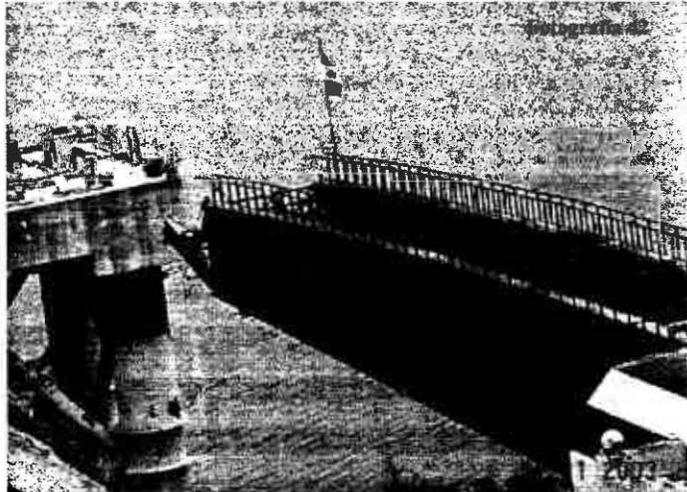
Fotografía 41

Las fotografías 39, 40 y 41 presentan el desplazamiento del primer ciclo de empujado, estribo no. 9 hacia la pila no. 8.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ENEP ACATLÁN**

TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIAPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO.				Apéndice
No. de Sección:	PÁGINA:	ELABORÓ:	REVISÓ	FECHA.
Fotografías.	-	Martín Romo G.	Ing. Dario Rivera Vargas	20/05/03



Las fotografías 42 y 43 esquematizan en forma lateral el desplazamiento del primer ciclo de empuje de dovelas, alcanzando 44m hacia la pila no. 8.

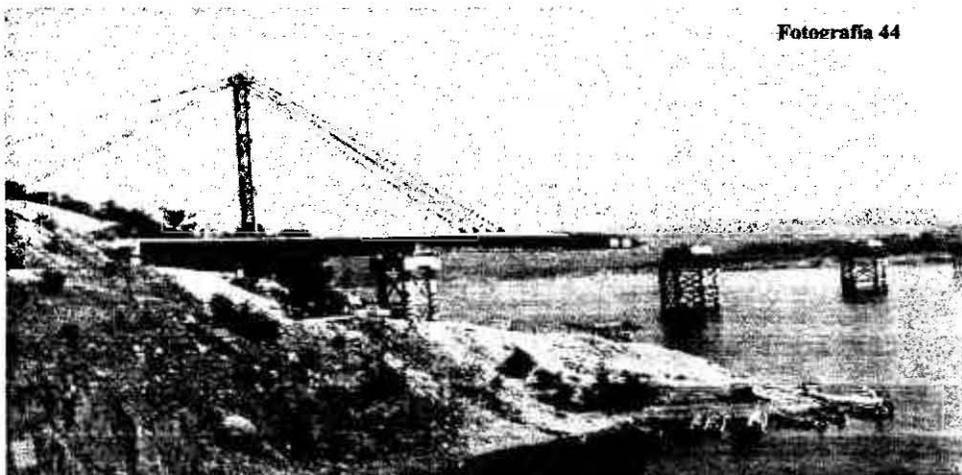
Fotografía 43





**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ENEP ACATLÁN**

TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIAPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO.				Apéndice
No. de Sección:	PÁGINA:	ELABORÓ:	REVISÓ	FECHA.
Fotografías.	-	Martín Romo G.	Ing. Darío Rivera Vargas	20/05/03



Fotografía 44

Las fotografías 44 y 45 muestran la segunda etapa de empujado entre la pila 7 y 8, observando el tensado de los cables mediante el mástil ubicado en la dovela no. 11, y la nariz de empuje como guía de llegada a la pila no. 7 mediante la estructura pescante que se aprecia al inicio de la nariz.



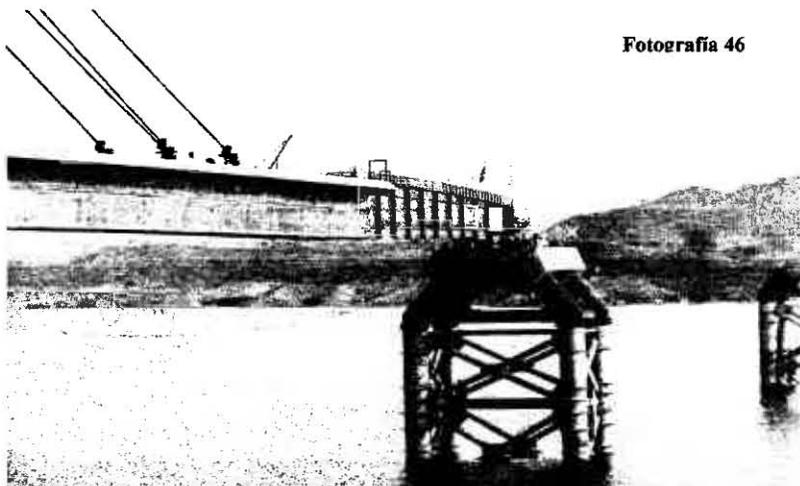
Fotografía 45



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ENEP ACATLÁN**

TITULO: PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO DE LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE CHIAPAS 1 A BASE DE DOVELAS DE ACERO.				Apéndice
No. de Sección:	PÁGINA:	ELABORÓ:	REVISÓ	FECHA.
Fotografías.	-	Martín Romo G.	Ing. Darío Rivera Vargas	20/05/03

Fotografía 46



Las fotografías 46 y 47 presentan el momento de llegada de la nariz de empuje a la pila no. 7, la cual deberá alcanzar 20m. de desplazamiento con respecto al eje de la pila.

Fotografía 47



Referencias:

1.- ANSI/AASHTO/AWS D1.5-88

An American National Standard, Bridge Welding Code, Approved by American National Standards Institute, August 25, 1988.

2.- MANUAL AHMSA PARA CONSTRUCCION CON ACERO.

Altos hornos de México S.A. DE C.V., Edición 1996.

3.- DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO

Bresler, Lin y Scalzi, Editorial Limusa, Primera edición, 1982.

4.-CONSTRUCTIONAL STEEL. DESIGN AN INTERNATIONAL GUIDE

Edited by: Dowling, Harding, BJORHOUE, 1992.

5.- REVISTA OBRAS

Información proporcionada por las empresas participantes en el proceso constructivo del puente Chiapas, Grupo editorial expansión, Enero 2001.

6.- MANUAL DE CONSTRUCCION EN ACERO.

Instituto mexicano de la construcción del acero, A.C. Editorial Limusa, Segunda edición.1990.

7.- MANUAL DE SOLDADURA

Koelhoff-Mans- Hornberger, Colección textos Politécnicos, Editorial Limusa, Primera edición, 1998.

8.- MANUAL DE DISEÑO POR SISMO.

Según reglamento de construcciones para el Distrito Federal, publicación del Instituto de ingeniería de la U.N.A.M.

9.- DISEÑO ESTRUCTURAL

Roberto Meli Piralla, Noriega Editores, Editorial Limusa, Primera edición, 1985.

11.- SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES, PUENTE MALPASA-RAUDALES, CHIAPAS.

Reporte del análisis y recomendaciones relativa a la superestructura del Puente "Chiapas 1, Enrique Martínez Romero, 08-Julio-2002, Revisión 0.

12.- STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGES, EDITION 1996

Adopted and published by the American Association Officials Inc. 1996.