



---

---

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

## FACULTAD DE INGENIERÍA

### “RECONSTRUCCIÓN DEL PUENTE SAN CRISTÓBAL, EN EL ESTADO DE CHIAPAS”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

**GARCÍA PÉREZ DANIEL**

DIRECTOR DE TESIS:

ING. CARLOS MANUEL CHÁVARRI MALDONADO



MÉXICO, D.F. CIUDAD UNIVERSITARIA 2007.



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE  
MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DIRECCIÓN  
FING/DCTG/SEAC/UTIT/047/06

Señor  
DANIEL GARCÍA PÉREZ  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. CARLOS MANUEL CHÁVARRI MALDONADO, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

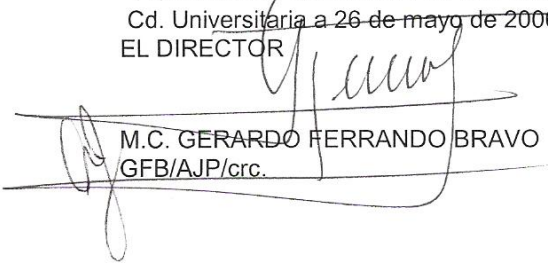
**"RECONSTRUCCIÓN DEL PUENTE SAN CRISTÓBAL, EN EL ESTADO DE CHIAPAS".**

- INTRODUCCIÓN
- I. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO
- II. CONSTRUCCIÓN DE LA PILA
- III. CONSTRUCCIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA DE ACERO
- IV. PROGRAMA DE OBRA
- CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 26 de mayo de 2006  
EL DIRECTOR

  
M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO  
GFB/AJP/crc.

## **AGRADECIMIENTOS**

**El proyecto más importante de mi vida, mi carrera profesional, el ser Ingeniero Civil, hoy se completa; muchos factores influyeron para consolidarse, otros tantos para bloquearse, y otros para reafirmar si mi decisión era la adecuada. Si, si lo fue.**

**Gracias:**

**A mi alma máter, la Universidad Nacional Autónoma de México, la mejor escuela de este país y del mundo, que no sólo me formó como profesional, también como ser humano, como hombre de principios y valores.**

**A todos mis profesores, que de alguna manera u otra colaboraron en mi aprendizaje, que sin duda fue el mejor que se puede tener.**

**A todos mis compañeros de aula, y sobretodo a los que se convirtieron en amigos, confidentes, colegas (Alfredo, Alejandro, Lemus, Chucho, Jorge Alonso, Carmen, Octavio, Silvia, Liz, Mónica, Daniel Zapata, Arturo, ...., ), gracias a todos por lo que vivimos en clase y en los viajes, nunca lo olvidaré.**

**A las personas que me facilitaron información para la elaboración de este documento (Ing. Carlos de la Mora, Ing. Sandra Merchan, Ing. Araceli Ramírez, Ing. Walter Morales, etc).**

**A mis amigos especiales, factores fundamentales por su apoyo y sus consejos (Arq. Gisela Castellanos, Ing. Ricardo García, Lic. Mariana Bautista, Arq. Beatriz Casas, ...).**

**Por supuesto un agradecimiento muy en especial a mi director de tesis, Ing. Carlos M. Chávarri Maldonado, por sus grandes consejos, apoyo, y sobretodo su amistad.**

**Y los más importantes:**

**Gracias infinitas a mis padres por haberme dado la vida, por educarme y guiarme hacia un buen camino, por apoyarme en los momentos buenos y malos todo este tiempo. Cimentando mi vida, y dejando las bases con su buen ejemplo, y el amor tan grande que se tienen, para convertirme en un hombre de bien, comprometido con su país, y con los grandes retos que vienen de aquí en adelante.**

**Gracias Lic. Cecilia García, por todo, hermanita.**

**Y gracias hasta el cielo a dos personas de una calidad humana inigualable, y que con gran cariño llevo en mi mente y corazón:**

**Don Víctor Menera, querido amigo,**

**Y a mi queridísima tía Socorro Pérez ( Tía Coco), que tu sabes allá arriba la falta tan grande que me haces.**

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	4
CAPÍTULO I: DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	7
CROQUIS DE LOCALIZACIÓN	9
CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DEL PROYECTO	10
CAPÍTULO II: CONSTRUCCIÓN DE LA PILA	16
II.1 DEMOLICIÓN DE LA PILA DAÑADA	17
OBJETIVO Y DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO	18
RECURSOS	25
SECUENCIA DE DEMOLICIÓN (GRÁFICO)	26
IMÁGENES	35
LIMPIEZA DE BARRANCA	42
OBJETIVO Y DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO	42
II.2 CONSTRUCCIÓN DE LA NUEVA PILA	45
DIMENSIONES	48
GEOMETRÍA	50
DETALLES DEL CABEZAL	51
TRATAMIENTO PREVIOS PARA TALUDES	53
CAPITULO III: CONSTRUCCIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA DE ACERO	58
III.1 FABRICACIÓN DE DOVELAS	58
OBJETIVO, ALCANCE Y DEFINICIONES	58
DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO	59
HABILITADO DE PARTES	59
FABRICACIÓN DE PIEZAS INDEPENDIENTES O PANELES	59
PATÍN CENTRAL SUPERIOR	62
PATÍN SUPERIOR LATERAL	65
ALMAS	68
III.2 ARMADO DE DOVELAS	70
OBJETIVO Y DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO	70
SECCIÓN TRANSVERSAL CON PISO ORTOTRÓPICO	73
SECCIÓN TRANSVERSAL CON PISO DE CONCRETO	74
III.3 EMPUJADO DE DOVELAS	76
OBJETIVO Y ALCANCE	76
DEFINICIONES Y DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO	77

III.4 CONTROL DE CALIDAD	83
OBJETIVO	83
INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURAS	83
RECEPCIÓN DE PLACAS Y MATERIAL PARA SOLDADURA	86
MANTENIMIENTO DE ELECTRODOS Y FUNDENTES	87
APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO	90
DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO	92
IMÁGENES	94
CAPITULO IV: PROGRAMA DE OBRA	99
PROGRAMA	100
IMÁGENES	104
CONCLUSIONES	118
BIBLIOGRAFÍA	121

# **INTRODUCCIÓN**



## **INTRODUCCIÓN**

El siguiente documento es una recopilación de los procedimientos que dieron lugar a la reconstrucción del puente San Cristóbal en el Estado de Chiapas.

El puente San Cristóbal es parte de la autopista que une las ciudades de Tuxtla Gutiérrez y San Cristóbal de las Casas. Ambas ciudades del Estado de Chiapas, con una importancia grande por sus atractivos turísticos. Existe una carretera federal vieja, que recorre parte de la sierra del estado, y la cual ha resultado muy peligrosa a lo largo de los años, causando innumerables accidentes, por lo cerradas que son sus curvas, los desgajamientos de los cerros, y que permitía llegar de una ciudad a otra en aproximadamente dos horas.

Dadas estas problemáticas, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, resolvió construir una autopista que fuera mucho más segura, con curvas mas suaves, de una velocidad de 110 km/hr, es decir, rápida, y que optimizara tiempos de recorrido, reduciendo el trayecto de 2 horas a solo 45 minutos.

El proyecto se planteó con varias opciones, dado que el lugar presenta muchas fallas geológicas, y fue un cierto problema el decidir el trazo adecuado. La autopista cuenta con varios puentes, entre ellos, el más importante es éste, el Puente San Cristóbal, dada su magnitud, localización y diseño.

De entre varias rutas, se decidió una que contemplaba el cruzar a través de una cañada de dimensiones considerables, y con el puente en curva horizontal, con un peralte e inclinación muy singulares. Con 324 metros de longitud, y la cañada de 192 metros de profundidad máxima. El puente sería de acero (14 toneladas) a base de dovelas, sostenido o soportado por dos pilas de concreto, ambas apoyadas en los macizos rocosos de la zona.

El proyecto tenía un buen avance en su construcción, sólo que por motivos geológicos, colapsó cuando estaba por terminarse la etapa de montaje de las dovelas. Esto ocurrió el 24 de octubre de 2004. por lo cual hubo un cambio en la empresa encargada de su construcción, decidiendo la SCT otorgarle el proyecto por su experiencia e historia en grandes construcciones a la empresa Ingenieros Civiles Asociados, quien sería la encargada de la reconstrucción.

Los daños importantes debido al colapso fueron afectaciones en la pila del lado Tuxtla Gutiérrez, y una reconstrucción total en la estructura de acero de ese margen, mientras que del lado San Cristóbal, se reforzó la estructura, además de tener un previo proceso de limpieza de corrosión.

El colapso en parte fue ocasionado por sismos locales de intensidad 5 grados richter, y en gran parte a una mala calidad en las soldaduras de las dovelas, las cuales no resistieron estar varios días en volado, y fallaron.

Este documento es una recopilación de los procesos constructivos que llevó a cabo la empresa, para la demolición de la pila dañada, la construcción de la nueva pila 2, y la reconstrucción de la estructura de acero. Se hace énfasis en el capítulo de Control de Calidad, para conocer las medidas que se tomaron en la construcción de cada una de las dovelas, a fin de garantizar una calidad optima en los materiales, soldaduras, equipos, y mano de obra de estos procesos.

## **I. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

## **I. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.**

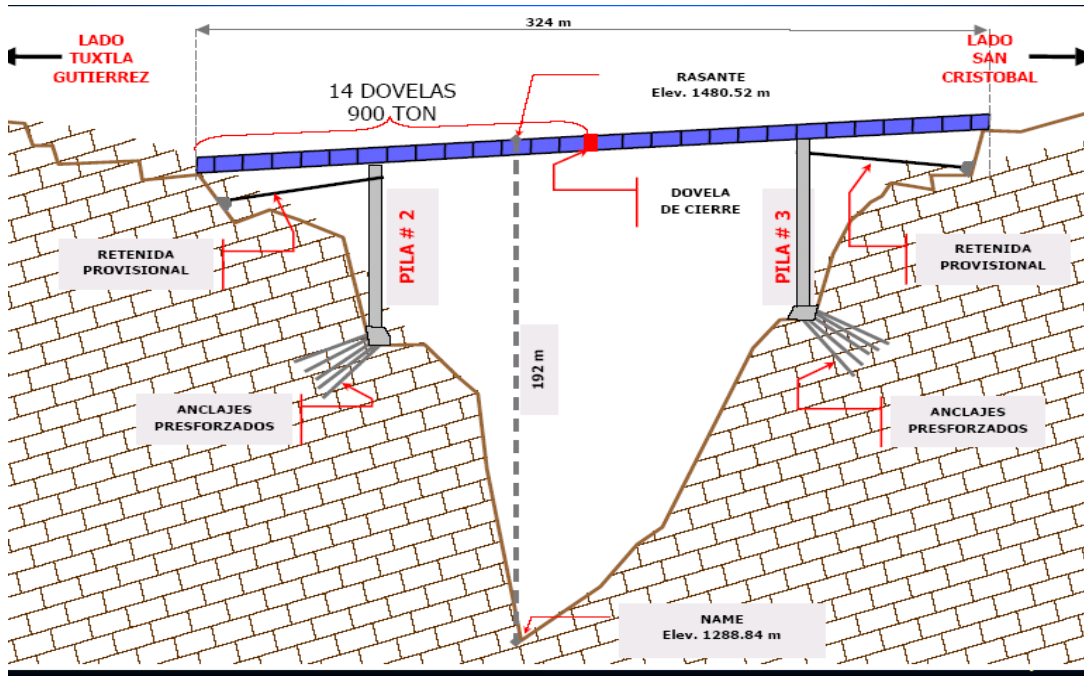


Fig.1

En la figura 1, se puede observar a detalle el puente. Éste puente pertenece a una carretera de velocidad entre 90 km/hr y 110 km/hr; contempla una curva horizontal, además tiene un radio de curvatura grande, y una curvatura pequeña.

Éste tiene una longitud en la estructura de 324 m, como ya se mencionó, y es parte de una curva. El puente está sobre una cañada de 192 m de profundidad máxima. La cañada principalmente es de roca maciza, lo cual más adelante se va a detallar en los aspectos geológicos.

El puente es de acero, y se compone de 14 dovelas en cada margen (lado San Cristóbal y lado Tuxtla Gutiérrez), que tiene un peso, aproximado de 900 toneladas en cada lado, con una dovela de cierre, que como sucede en éste tipo de puentes, no cumplió con las dimensiones calculadas, y fue fabricada en campo, de acuerdo al levantamiento posterior al montaje de ambos márgenes, para un ajuste final.

Está apoyado en sus extremos en estribos, y sobre dos pilas de concreto, de resistencia  $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ . Ambas pilas tienen aproximadamente 60 m de altura. Éstos estribos tienen acero de refuerzo, y se utilizó una cimbra llamada "trepadora", dada la altura de cada una.

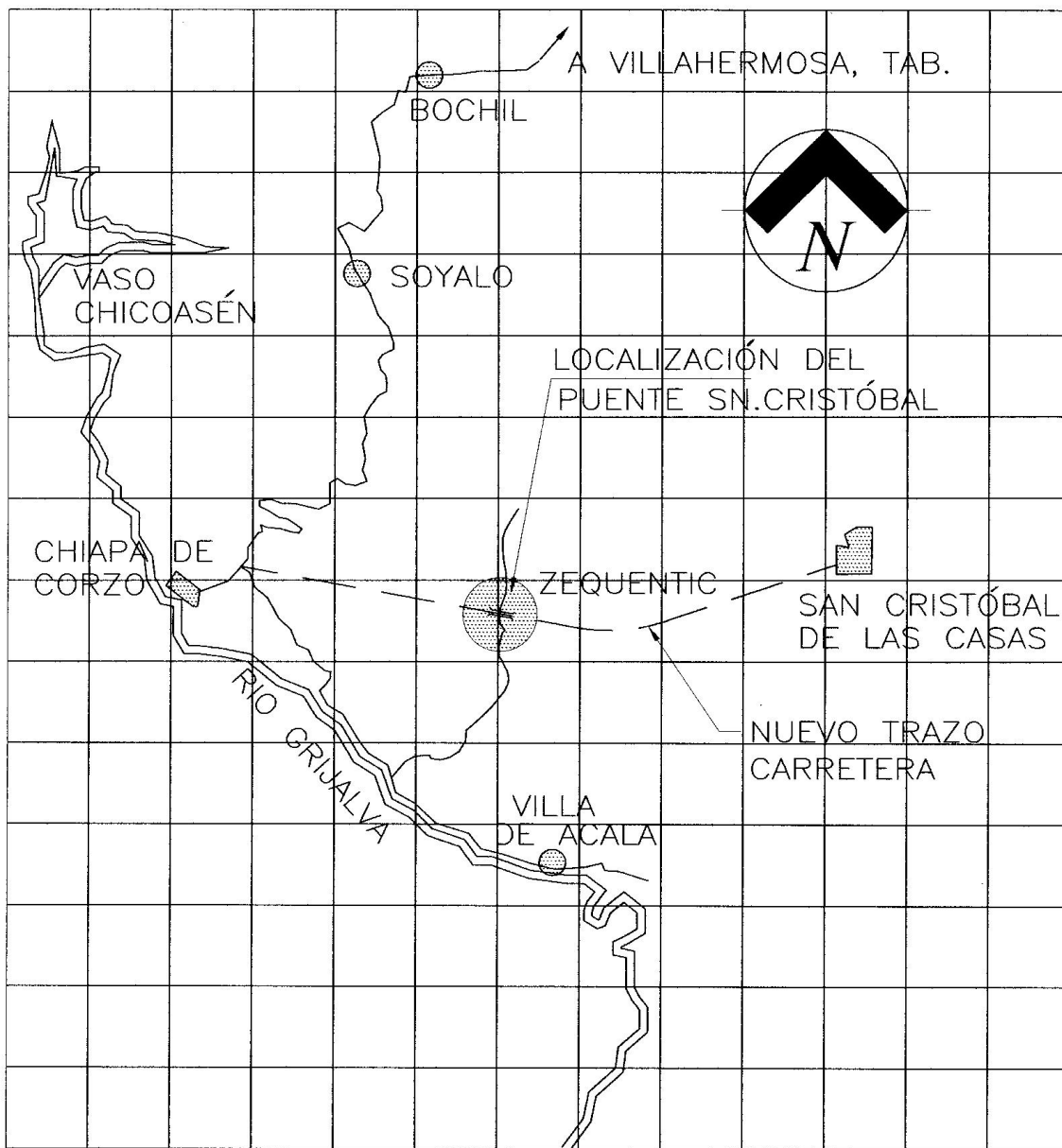
La cimentación del puente es por medio de zapatas desplantadas sobre la roca, y ancladas con cables de preesfuerzo cada una.

Debido al colapso ocurrido con el lado Tuxtla, ya cuando prácticamente estaba por concluirse el proceso de empujado de las dovelas, se encargó a la empresa ICA después del análisis hecho por el Instituto de Ingeniería, la reconstrucción de la pila No. 2 y de la estructura de acero. Se fabricó totalmente la estructura del lado Tuxtla, y se revisó el lado San Cristóbal, el cual fue reforzado, ya que éste no sufrió daños con el colapso.

Para esto, se regresó la estructura del lado San Cristóbal, y además de reforzarse, se hizo limpieza interior y exterior de las placas, para quitar el posible oxido en ellas. Interiormente se limpió con pulidoras, en forma manual, y exteriormente con el método de Sant Blast, con chorros de arena sílica.

La reconstrucción contempló la fabricación de la pila dañada, y el retiro de la chatarra propia del colapso y de la misma voladura.

La fabricación de las dovelas, el armado, el empujado y los métodos para control de calidad de soldaduras y materiales, son parte importante de éste documento, y están contemplados más adelante.



## CROQUIS DE LOCALIZACIÓN

Fig. 2

## **CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS DEL PROYECTO**

### **OBJETIVO**

El objetivo de éste trabajo fue el de conocer las condiciones geológicas de detalle de las zonas que se anotan enseguida, su grado de estabilidad, y, en caso requerido, las recomendaciones y tratamientos necesarios para garantizar su seguridad a largo plazo. Las tres áreas objeto del estudio fueron:

- a) En general toda la ladera derecha del puente, entre la cota 1500 y el nivel del arroyo Chentic y abarcando un ancho que va desde aproximadamente 100 m aguas arriba del puente hasta el Cantil Sur localizado a 200 m aguas abajo el mismo.
- b) Apoyo de la pila No. 2
- c) Talud del cuerpo izquierdo de la autopista, desde el estribo No. 1 (km 24+ 767.5) hasta aproximadamente el km 24+500.

### **ESTUDIOS DE GABINETE Y CAMPO**

Para cumplir con los objetivos del estudio se realizaron varias actividades de gabinete y de campo, con el objeto de contar con la información geológica y geotécnica necesaria para realizar los análisis de estabilidad y concluir las recomendaciones y tratamientos requeridos.

#### Actividades de gabinete

Recopilación de información

Análisis geológico de las fotos aéreas

Análisis de la información geológica y geotécnica recopilada y ejecución de los análisis de estabilidad

Elaboración del informe técnico

#### Actividades de campo

Toma de fotografías aéreas (avioneta)

Estudio geofísico de sísmica de refracción en la zona de la pila No. 2.

Levantamientos geológicos de detalle en la ladera derecha del puente, pila No. 2 y el talud del cuerpo izquierdo de la autopista, zona del estribo No. 1.

## GEOLOGÍA GENERAL

### Litología y estructura.

En la región donde se ha construido la autopista, afloran rocas sedimentarias calcáreas Mesozoicas (Kcz), y arcillosas terciarias.

Las rocas calizas (Kcz), ocupan generalmente la parte topográfica alta y presentan planos de estratificación bien definidos, con espesor variable desde gruesos (mayores de 2m), hasta delgados (5cm), con una inclinación constante hacia el sur que forma un gran pliegue monoclinal. En general son de color crema claro en muestra fresca y de color café rojizo o de óxido en las superficies con interperismo. Presentan en general desarrollo incipiente a moderado de carsticidad formando cavidades de disolución a lo largo de los planos de discontinuidad, como fallas y fracturas.

Las rocas arcillosas o lutitas están localizadas en la parte topográfica mas baja del área y se caracterizan por su estratificación delgada y color café. Aunque también presentan una inclinación general hacia el sur, con frecuencia muestran localmente estructuras de plegamiento más complejas.

### Agua en el subsuelo.

La carsticidad que se observa en las rocas calcáreas y que se ha desarrollado en el macizo rocoso a través de las discontinuidades verticales ha evitado que se generen niveles de agua subterránea altos y cercanos a las laderas donde afloran éstas rocas calizas.

El agua de lluvia que se infiltra en el terreno en las partes altas de la montaña y rápidamente desciende, a través de la red cárstica, hacia las zonas bajas donde afloran las lutitas. Ésta condición de flujo de agua es muy favorable para la estabilidad de los cantiles que se han desarrollado en las rocas calizas.

### Sismicidad.

La localización de los epifocos indica que la mayor actividad se ha desarrollado al sur del estado de Chiapas, en el borde continental y la zona del Océano Pacífico y hacia el Este en el territorio de Guatemala. Esta región se considera de alta intensidad sísmica.(Manual de diseño de obras civiles de la CFE).



Riesgo por deslizamiento.

De acuerdo con la regionalización de la República Mexicana por riesgo de deslizamiento, el área se clasifica como de alto riesgo, clasificación que considera los parámetros siguientes: topografía, clima, sismicidad y geología de la región.

GEOLOGÍA DE LA LADERA DERECHA DEL PUENTE Y DEL TALUD DEL CUERPO IZQUIERDO DE LA AUTOPISTA

Morfología de las laderas en la zona del cruce del puente.

El puente se ubica en la zona alta montañosa de la sierra central de Chiapas y cruza la barranca labrada por el arroyo Chentic en el km 24+950 de la autopista. Aquí predominan totalmente las rocas calizas (Kcz).

El arroyo desciende de la montaña con dirección hacia el sur, con un rumbo NE 12 SW. En esta zona se han creado unos cantiles de más de 200 m de altura, si se considera que el cauce del río se encuentra a la elevación de 1285 m y el nivel de la rasante del puente en la elevación 1475 m.

La sección transversal de la barranca es asimétrica. La ladera derecha, entre el fondo del cauce y la cota 1380 m, se presenta un cantil con pendiente 80 grados de inclinación, a partir de ésta cota y hasta la zona donde se localiza el estribo No. 1 en la cota 1470 m, la pendiente reduce gradualmente de 53 a 30 grados.

La ladera izquierda presenta una pendiente más suave, prácticamente desde el fondo del cauce y hasta la elevación donde se localiza el estribo 4 es del orden de los 60 grados.

El arroyo Chentic en esta zona, ha labrado su cauce aprovechando principalmente el sistema de discontinuidades Norte-Sur, y en menor medida el sistema NE-SW.

Es notable la influencia que han tenido las discontinuidades que presenta el macizo rocoso calcáreo en la forma de las laderas, un ejemplo es el cantil que se observa en la parte baja de la ladera derecha asociado al sistema Norte-Sur.

Aguas abajo del puente en la margen derecha y aproximadamente a 200 m, una discontinuidad del sistema, produjo un cambio en la dirección del arroyo, propiciando la formación del Cantil Sur, éste se desarrolló en la parte alta de la ladera entre las cotas 1300 m y 1400 m, por debajo de la primera cota del terreno deja de ser acantilado y el arroyo actualmente sigue un curso rectilíneo con dirección SE 12 grados, paralelo a la dirección de buzamiento de los estratos de caliza.

Este cantil es muy importante desde el punto de vista de la estabilidad general de la ladera derecha, porque deja sin continuidad las capas de roca caliza que presentan su buzamiento hacia el sur. En esta ladera, las capas de caliza en su parte más superficial, presentan una morfología típica de movimiento por reptación o fluencia (creep), creada por el deslizamiento de las capas a través de los planos de estratificación.

La ladera izquierda del puente no muestra esta característica, debido a que las capas de caliza no pierden su continuidad.

La morfología del terreno se observa con un desarrollo incipiente de carsticidad, esto al menos en el sitio de estudio. En los cantiles de las laderas se observan solo algunas cavidades de disolución en posición horizontal, sin embargo, en los nuevos cortes realizados para los caminos de acceso a la obra y para alojar las zapatas de los apoyos No. 2 y No. 3, es posible apreciar que la carsticidad se desarrolló preferentemente en sentido vertical, aprovechando los sistemas de fracturas de origen tectónico, debido a esto, es poco frecuente ver carsticidad horizontal.

*"RECONSTRUCCIÓN DEL PUENTE SAN CRISTÓBAL, EN EL ESTADO DE CHIAPAS"*



En la fotografía se observa el talud de roca, y por la vegetación se sabe de una presencia de humedad muy notoria.



Se observa el talud del lado San Cristóbal

## **II. CONSTRUCCIÓN DE LA PILA**

## **II. CONSTRUCCIÓN DE LA PILA**



Debido al colapso ocurrido el 24 de octubre de 2004, la empresa ICA es contratada para realizar la reconstrucción. Como primera etapa, después de varias evaluaciones, se decide demoler la pila de concreto dañada por el desplome de una parte de la estructura. Los daños en la pila fueron muy graves, lo que se observa en la fotografía 1.

Un poco más abajo en la barranca se encontraba la estructura metálica inservible, la cual había golpeado a la pila.

Este capítulo se divide en dos partes importantes:

La primera, consta de los trabajos realizados para la demolición de la pila inservible, sus preparativos, los métodos utilizados para proteger la roca, y que ésta no sufriera daños en ninguna zona de los taludes y la limpieza de la barranca posteriormente, y

La segunda parte, se refiere a la construcción de la nueva pila, sus dimensiones, y procedimientos.

## II.1 - DEMOLICIÓN DE LA PILA DAÑADA



Para la demolición de la pila dañada se requiere una preparación de la zona, con protecciones adecuadas para que la roca no sea dañada por los explosivos, y la zona de desplante de la nueva pila quede intacta.

## OBJETIVO

Mediante este procedimiento, se establecen los lineamientos que se siguieron para realizar la demolición de la pila No. 2 y de la superestructura de la margen derecha del puente San Cristóbal, considerando el diseño de la voladura y monitoreo de la misma, con el propósito de evitar dañar la parte del puente de la margen izquierda, así como la parte que servirá de arranque para la reconstrucción de la columna y zapata de la pila No. 2, este procedimiento no considera la remoción del fondo de la barranca, del producto de la voladura.

## DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

1.1 Con la información obtenida en campo y con los planos del proyecto ejecutivo, se diseñó la voladura controlada.

1.2 El Gerente de proyecto y el superintendente de construcción, dan su visto bueno y aprueban el diseño de la voladura controlada.

1.3 En forma paralela a la aprobación del diseño de la voladura y la perforación de los barrenos del contrapeso, se realiza la protección de la zapata de cimentación a base del material arcilloso extraído de bancos aledaños a la obra, que cubrirá con este material 5 m por arriba del nivel superior de la zapata. Para confinar el material de protección, se construye un muro perimetral a base de costales rellenos de material arcilloso, que eviten el derrame del material que es vaciado a volteo desde el nivel del camino de acceso de llegada a la pila No. 2.

1.4 El principio general de la demolición es que la estructura sea derribada con explosivos, colocados en perforaciones previas a realizar en la zona sana de la pila No. 2, sobre la elevación 1417 m, ésta falla en la columna, causa que la pila caiga en forma similar a como caen los árboles al ser talados. Para crear una distribución más favorable del peso sobre el tablero de la superestructura, el concreto del contrapeso es tronado para remover parte de él al fondo del tablero y así distribuir el peso del concreto remanente en capas delgadas dentro de la estructura. Los cables de preesfuerzo que soportan parte de la losa, se cortan antes de la voladura, para liberar el tablero.

1.5 La actividad se inicia con el visto bueno y la aprobación por parte del Cliente, del diseño de la voladura, el cual contiene, entre otros datos

como se menciona antes, la ubicación de los puntos en donde se van a realizar las perforaciones.

1.6 Se ubican y señalan topográficamente, los puntos en los cuales se realizan las perforaciones, de acuerdo a lo indicado en el proyecto del diseño de la voladura. Para realizar las perforaciones en las caras de la pila No. 2, se habilita plataforma de trabajo a base de andamio tubular desplantada en la parte superior del relleno que se construye para la protección de la cimentación y la parte sana del concreto de la pila No. 2.

1.7 Las perforaciones se realizan en el concreto reforzado que forma el contrapeso de la superestructura de la margen derecha y en el cuerpo de concreto reforzado de la pila No. 2, en zona en la cual no interfiera el remanente de la losa de concreto y que cuelga pegada al cuerpo de la pila mediante el acero de preesfuerzo.

1.8 Se ubica y fija el equipo de perforación mediante taquetes de acero introducidos en barrenaciones de 5 cm de profundidad y  $\frac{5}{8}$ " de diámetro, en los sitios previamente marcados en el concreto,. La barrenación para los taquetes se realizan con equipo manual (taladro), al cual se conectan las herramientas propias para barrenar (broca para concreto), una vez barrenado se introduce a presión el taquete y se monta la estructura de soporte del equipo para la barrenación.

1.9 Las perforaciones se realizan con perforadora eléctrica DD200 HILTI que cuenta con extensiones de 30 cm que se van colocando a medida que avanza la perforación.

1.10 La perforación se realiza en longitud (profundidad) máxima de 4.26 m, en la pila No. 2, y de 1.50 m., en el cuerpo del contrapeso de la superestructura de la margen derecha.

1.11 El diámetro de las perforaciones de la pila son de  $2 \frac{1}{2}$  " en forma constante en la longitud indicada por el diseño a las cuales una vez terminadas se les coloca una tubería de P.V.C. de 2" de diámetro cedula 80 que tiene un diámetro exterior de 60.3 mm y un diámetro interior de 48.6 mm y los barrenos de contrapeso son de  $2 \frac{1}{2}$  " en forma constante.

1.12 Primero se realizan las perforaciones de los barrenos correspondientes a las 3 líneas de barrenación, correspondientes al contrapeso de la superestructura de la margen derecha, posteriormente se inicia con las perforaciones de los barrenos de la línea A,



posteriormente la línea B, a continuación la C, la D y finalmente la E y F, correspondientes a la pila 2, según el diseño de voladura.

1.13 Terminada la perforación de cada barreno, se mide con flexómetro la longitud real de la perforación, procediendo a hacer los ajustes necesarios para cumplir con la longitud de perforación indicada en el proyecto del diseño, se limpia el barreno y se protege provisionalmente con un tapón de cartón en su extremo exterior, para evitar se contamine, en tanto se termina la totalidad de los barrenos.

1.14 Una vez realizada la totalidad de los barrenos, se procede al retiro de los equipos de construcción que ya no se requieren, tales como los propios de la barrenación, quedando únicamente los andamios de acceso.

1.15 En forma simultánea, se procede a la colocación de los sensores (sismógrafos), los cuales se ubican: Uno en la pila No. 3, Uno en la zapata de la pila No. 2 a demoler, colocados bajo el relleno de tierra que sirve como protección y un tercer sismógrafo en la base del estribo No. 1.

1.16 Se realiza prueba a los sismógrafos, lo cual consiste en inducir corriente y medir la resistividad del suelo, mediante el tiempo de transmisión a través del estrato.

1.17 Se procede a realizar la carga del barreno, lo cual consiste en introducir en el mismo, la cantidad de cartuchos de alto explosivo de 1 ¼ ", indicada en el proyecto del diseño.

1.18 Los explosivos y detonadores a usar son marca DYNO, ASA o similar, provistos por un proveedor local.

1.19 Los explosivos y detonadores son suministrados al sitio del puente, por el proveedor del material, el día que son colocados y cargados.

1.20 El vehículo de transporte de los materiales explosivos, permanece en el sitio del puente en tanto se cargan los barrenos del contrapeso y de la pila.

1.21 Los explosivos y detonadores no utilizados son regresados al polvorín del proveedor, después de realizada la carga.

1.22 No se almacena material explosivo en el sitio del puente.

1.23 La supervisión de la carga y detonación, es supervisada directamente por el encargado del proyecto del diseño de la voladura.

1.24 El material ALTO EXPLOSIVO, para la carga de los barrenos, es del tipo emulsión DYNO 42, en cartuchos de 1 ¼ " de diámetro por 16 " de largo.

1.25 CARGA Y DETONACION DEL CONTRAPESO DE LA SUPERESTRUCTURA: Para la detonación del contrapeso de la superestructura de la margen derecha, todas las cargas son iniciadas mediante el uso de NONEL DETONADOR No. 1, de 25 milisegundos, insertado en el primer cartucho colocado en cada uno de los barrenos.

1.26 En el contrapeso de la superestructura, la longitud total del barreno es rellena con material EMULSIÓN ALTO EXPLOSIVO.

1.27 Se conectan los noneles únicamente a los cartuchos indicados en el proyecto del diseño.

1.28 Los noneles son conectados a cordón detonador. La primera detonación se hace con dos detonadores eléctricos con cero retardador, conectados a la línea principal.

1.29 Dos líneas de cordón detonador se extienden desde la zona de explosión a la línea principal de tronado.

1.30 CARGA Y DETONACION DE LA PILA No. 2: Los barrenos para la demolición de la pila No. 2, son perforados en las paredes de concreto de la pila.

1.31 Los barrenos inferiores se ubican a partir de la elevación 1417.8 m.

1.32 Los barrenos están espaciados a cada 60 cm, verticalmente.

1.33 Por ubicación real del acero de refuerzo existente en la pila, los barrenos pueden reposicionarse hasta 5 cm, para librar el acero de refuerzo, el cual se encuentra espaciado a cada 30 cm, dentro de las paredes de concreto de la pila.

1.34 El material a emplear es emulsión ALTO EXPLOSIVO, para la carga de los barrenos, del tipo emulsión DYNO 42, en cartuchos de 1 ¼ " de diámetro por 16 " de largo.

1.35 Los barrenos en las paredes de la pila, denominados B y D, son llenados completamente con explosivo.

1.36 Los barrenos en las paredes frontal y trasera (lado San Cristóbal y lado Tuxtla), se rellenan con explosivo, de acuerdo a lo indicado en el proyecto del diseño de la voladura controlada.

1.37 Todas las cargas son iniciadas mediante el uso de NONEL DETONADOR No. 14, de 500 milisegundos, insertado en el cartucho colocado en cada uno de los barrenos.

1.38 Se usan dos detonadores para asegurar que todas las cargas se detonan tal como se planea.

1.39 El factor de carga para la demolición de la pila No. 2, es de 5.04 kg/m<sup>3</sup>. La concentración de la carga es alta con el propósito de asegurar que todo el concreto se fragmente en el área de la barrenación y que se separe del acero del refuerzo.

1.40 Aproximadamente un segundo después de la voladura, la pila y la superestructura comienzan a caer debido a la abertura de la pila.

1.41 Todas las cargas se conectan en circuito cerrado formado por el cordón detonante E-Cord, similar al utilizado para la voladura del contrapeso de la superestructura de la margen derecha.

1.42 Esta línea principal, se conecta a las dos líneas de cordón detonante E-Cord que vienen del final del circuito del contrapeso.

1.43 Todas las cargas, se detonan a 500 milisegundos, lo cual permite que la pila se detone medio segundo después de la voladura del contrapeso, es volada con detonadores de 25 milisegundos.

1.44 Cuando la pila se ha inclinado 20 grados con respecto a la vertical, la carga única denominada B1, colocada en la cara extrados de la pila 2, se detona para completar la separación de la torre.

1.45 Una línea aparte de cordón detonante es conectada a la línea de carga, la cual detona un detonador eléctrico disparado por un switch manual, colocado entre la batería de fuego y dos detonadores eléctricos, conectados a la línea de accionamiento de carga.

1.46 Todos los extremos exteriores de los noneles, se conectan al cordón detonante E-Cord, para lo cual se utiliza el ganchillo ex profeso que tiene en su extremo, el cual viene de fábrica.

1.47 El cordón detonante se prolonga en la longitud de 500 m, hasta donde se ubica la caja de detonación.

1.48 No se conecta el cordón detonante a la caja de detonación, hasta momentos antes de la detonación.

1.49 Se procede al retiro de los andamios de seguridad y demás equipos auxiliares en la zona circundante a la pila.

1.50 Las Recomendaciones de Seguridad, deben ser extremas, por tratarse de una actividad en la cual se utiliza material explosivo.

1.60 Es importante mencionar el alto grado de riesgo que implica esta actividad.

1.61 Por tratarse de actividades en las cuales se utiliza explosivo.

1.62 Por el volumen de concreto a demoler y por la altura de la pila existente.

1.63 Por lo tanto, es necesario que el equipo y maquinaria para la operación de esta actividad reúna los estándares y requisitos de seguridad estrictos y suficientes que garanticen la efectividad de los trabajos y la integridad de los trabajadores.

1.64 Previo a la voladura, se verifica que no exista material, equipo y personal en un radio de 200 m., a la redonda y que no tiene una función específica en los trabajos.

1.65 Finalmente, se conecta el cordón detonante a la caja de detonación y se conectan las baterías.

1.66 Se hace sonar 3 veces la sirena con intervalos de 60 segundos y con duración de 30 segundos.

1.67 Al término de la tercera alarma, se detona la carga.

1.68 Se procede a tomar las lecturas de los sismógrafos, y se procede a la caga de los datos de campo obtenidos para su proceso electrónico.

1.69 Se procede a la revisión física de la condición del remanente de la pila No. 2, producto de la voladura.

1.70 COMPACTO DE LA VOLADURA EN LA CIMENTACION EXISTENTE DE LA PILA No. 2.

1.71 La energía producto de la voladura de la demolición, impacta la cimentación de la pila 2 en dos formas: 1) Por la vibración transmitida por la voladura a través del concreto y 2) Por el impacto de la caída de los escombros (detritos).

1.72 Para la cuantificación de la vibración transmitida, se consideran las condiciones de distancia de caída menor a 15 mts., y concreto con edad mayor a 10 días. Para estas condiciones, la máxima intensidad de vibración en la cimentación, según el proyecto de diseño de la voladura, no excede los 292 mm/seg. Por lo que es muy probable no causar daño por los efectos de la vibración.

1.73 La vibración en la arena o suelo causada por la caída de objetos cuando se conoce la altura de caída y peso, se estima de acuerdo a lo indicado en el proyecto del diseño anexo.

1.74 El esfuerzo causado por estas condiciones de intensidad del movimiento, se considera no causa daño a la cimentación.

1.75 Aún así, el peso de la superestructura en su caída hacia la parte inferior de la pila, puede ocurrir que dañe la pila y la cimentación, la factibilidad de que esto ocurra, es muy baja, porque se prevé que la superestructura se aleja de la cimentación por la explosión.

## **RECURSOS**

### **MAQUINARIA.**

Compresor portátil 250 PCM  
Perforadora HILTI DD200  
Planta de luz de 5.6 KVA  
Camioneta redilas F-350  
Ambulancia

### **MANO DE OBRA**

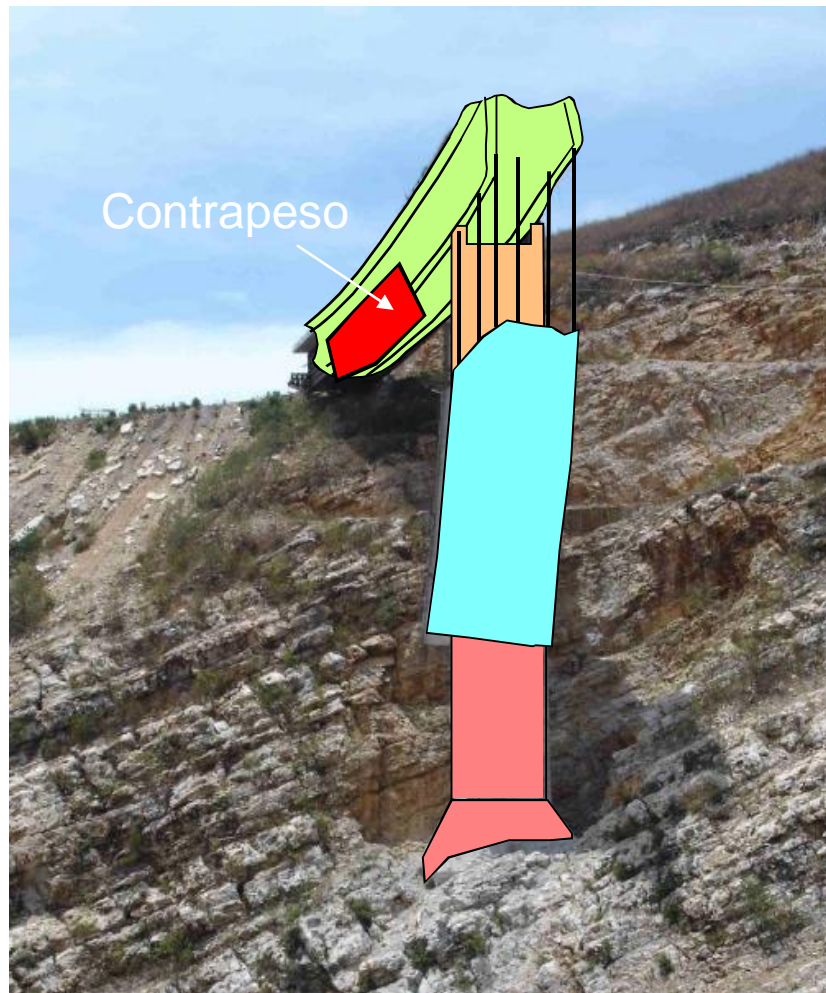
Operador de compresor  
Operador de perforadora  
Maniobrista  
Poblador  
Cabo de línea  
Ayudante general  
Oficial electricista  
Asesor en carga y detonación de explosivos  
Supervisor de seguridad  
Señaleros

### **MATERIALES.**

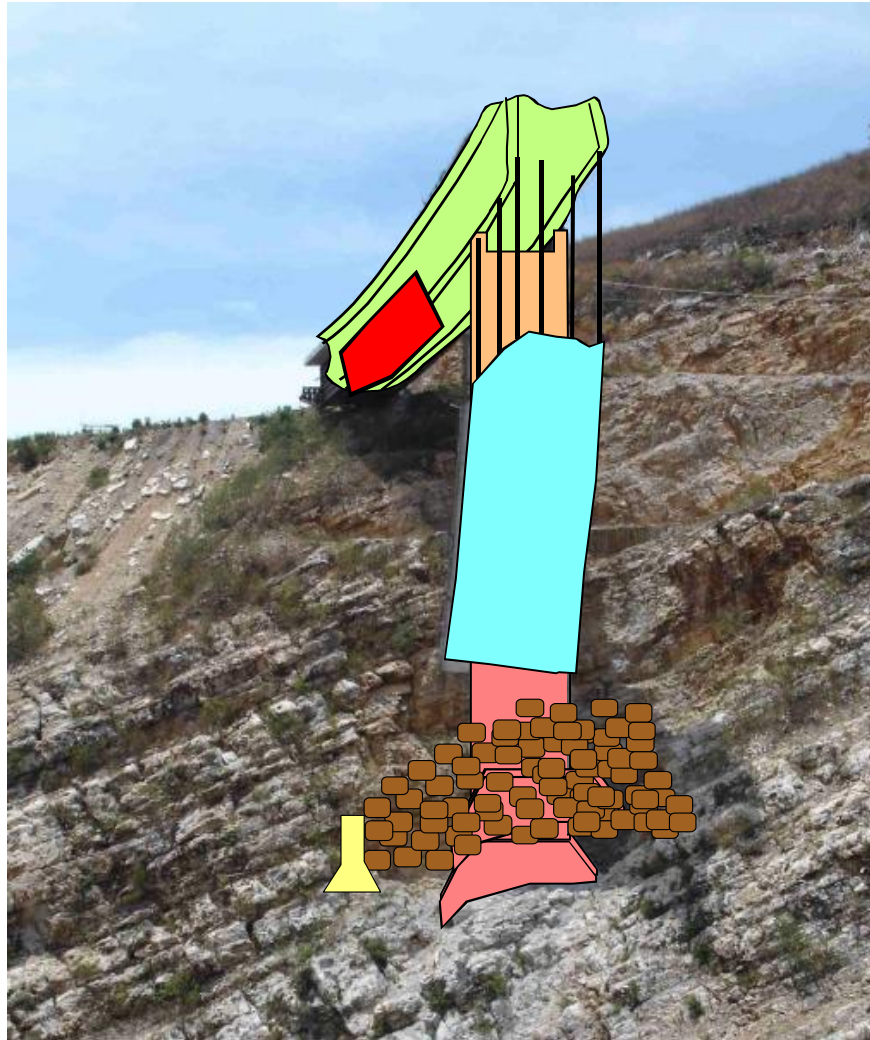
Cable de acero de 1"Ø  
Broca de diamante de 2 ½ " x 17"  
Taquete metálico de 5/8"  
Grillete galvanizado de 1 ½"  
Cabo polipropileno de 1" Ø  
Alto explosivo DYN0 42 (Emulsión)  
Nonel # 1 de 25 milisegundos de 2 m de longitud.  
Nonel # 14 de 500 milisegundos de 5 m de longitud.  
Cordón detonante E-Cord de 5.3 g/m  
Retardadores eléctricos  
Batería de 6 volts  
Alambre de conexión calibre 20  
Sirena de alarma  
Radios de comunicación  
Sismógrafo  
Galvanómetro.  
Perfil estructural (Para plataforma de trabajo)  
Andamios tubulares

## SECUENCIA DE DEMOLICIÓN (GRÁFICO).

### CONDICIÓN ANTES DE LA VOLADURA

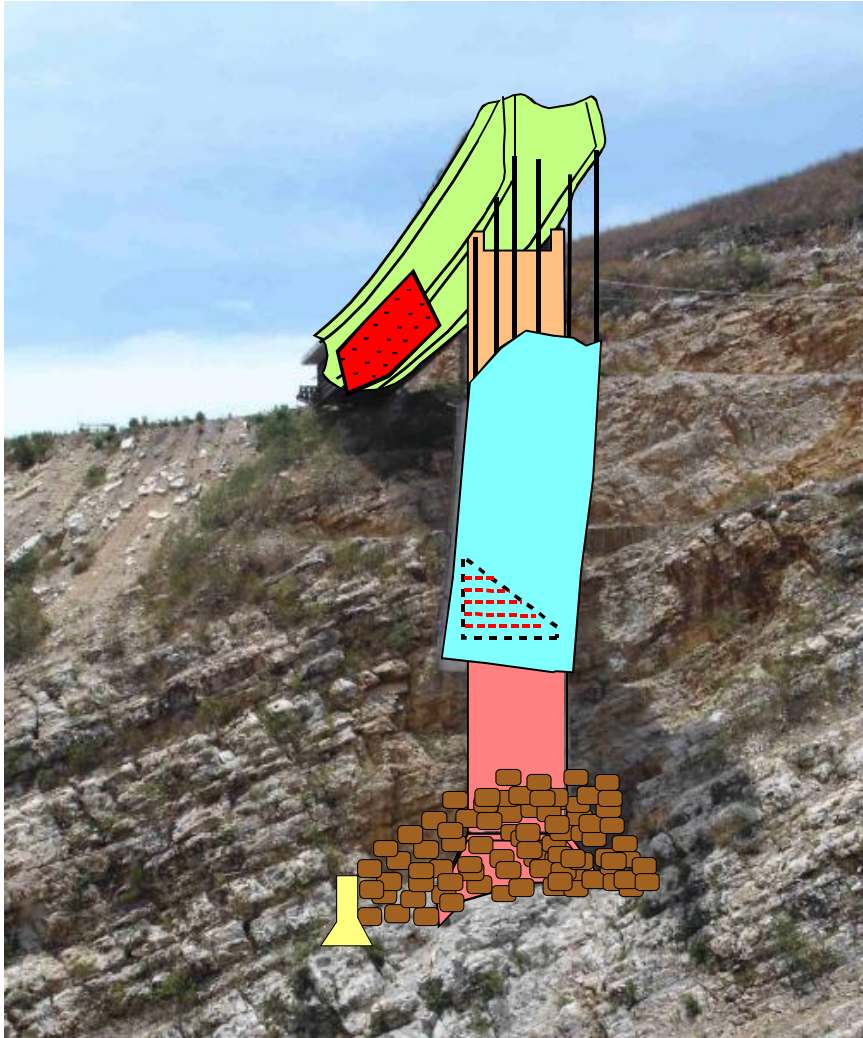


PROTECCIÓN DE LA CIMENTACIÓN.

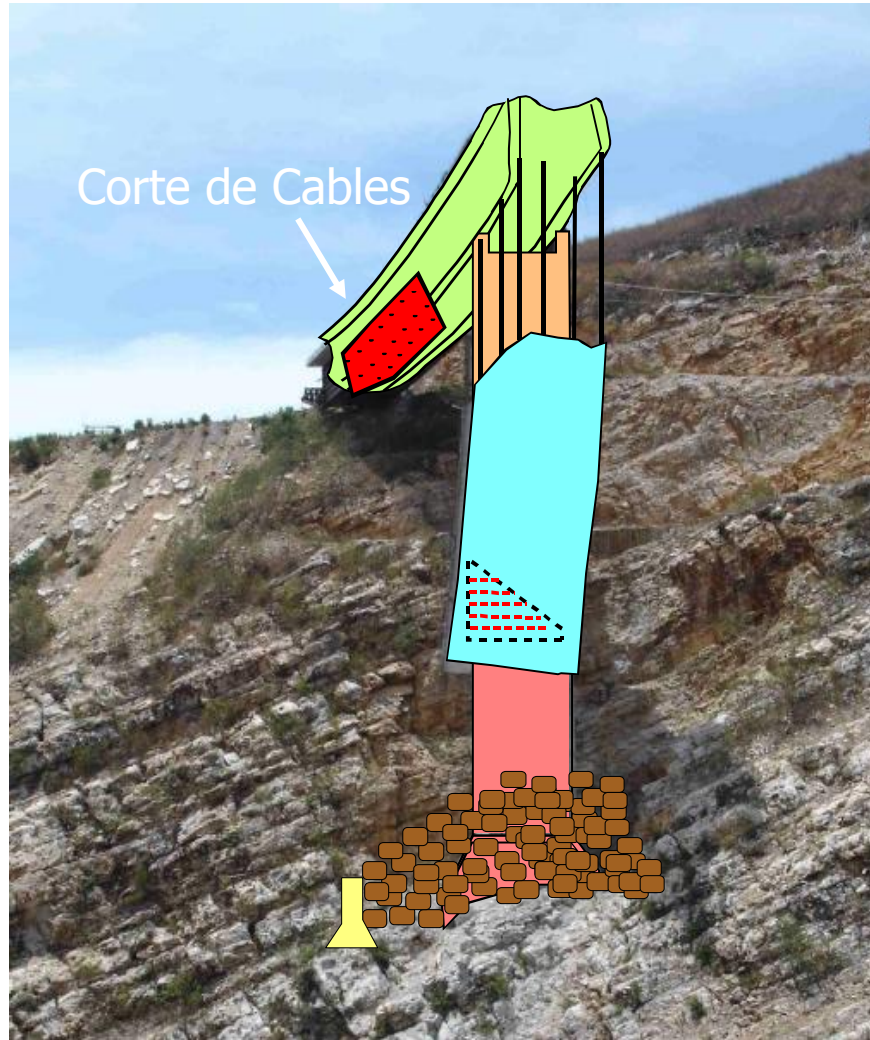




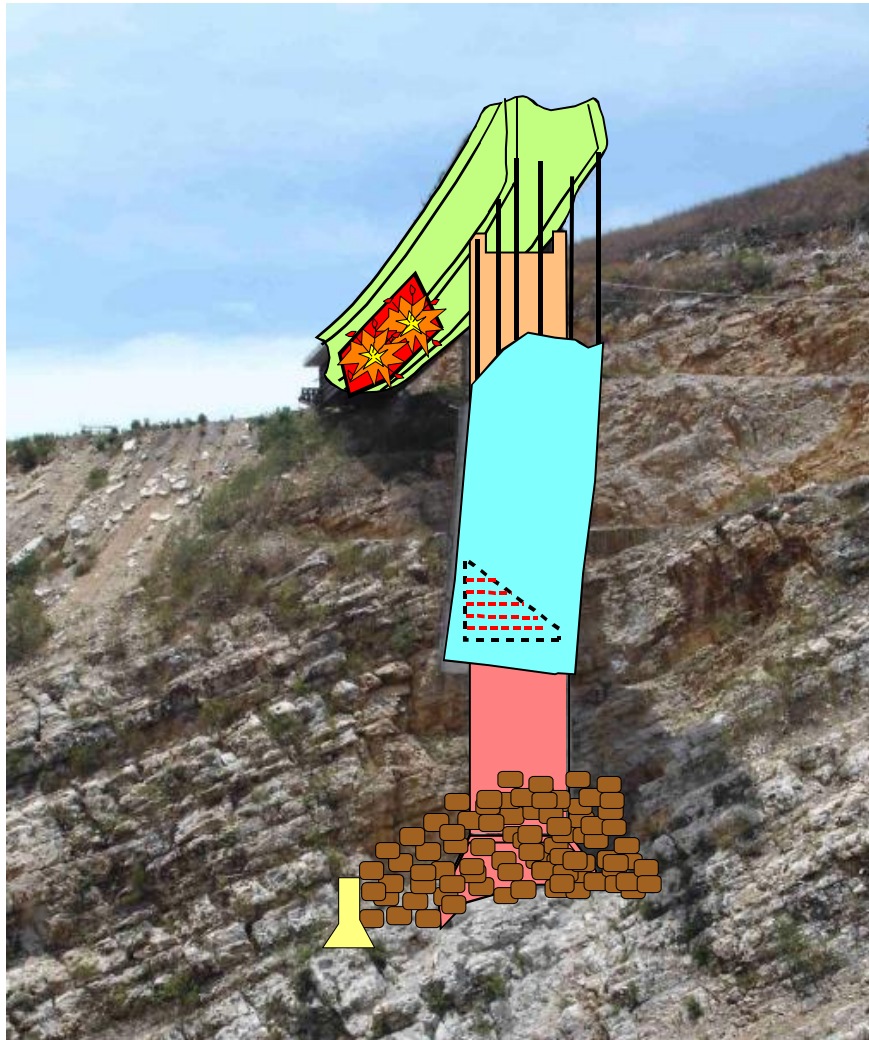
BARRENACIÓN Y CARGA DE CONTRAPESO Y PILA.



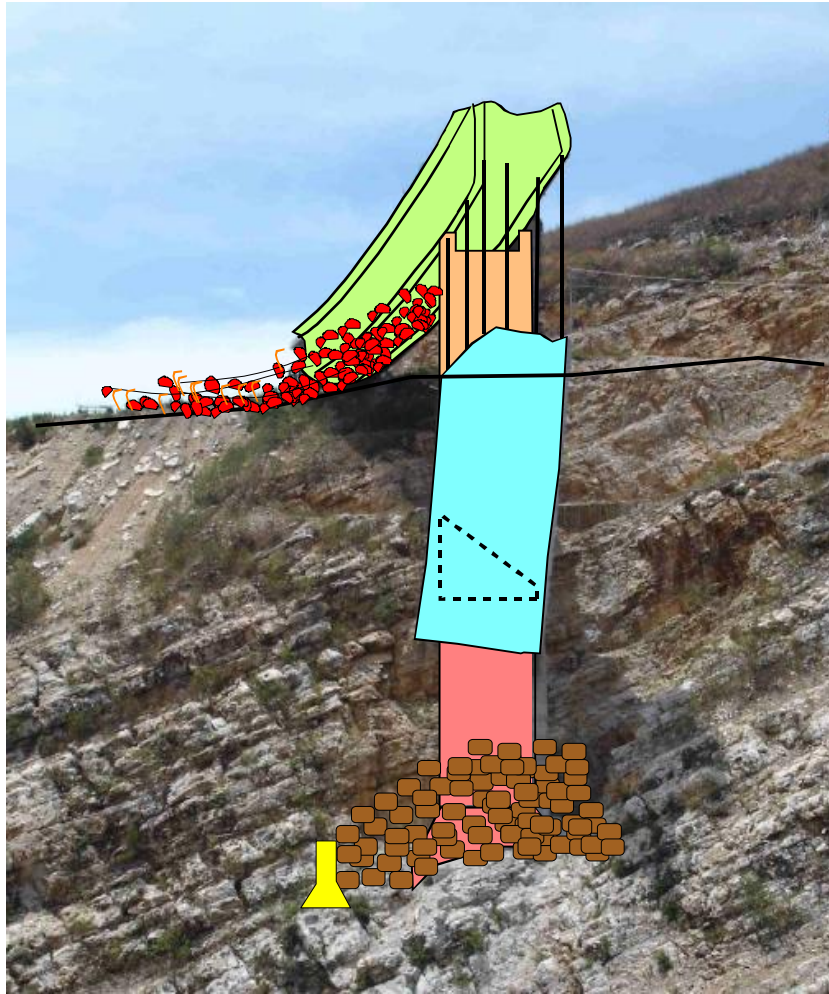
CORTE DE CABLES DE PREESFUERZO.



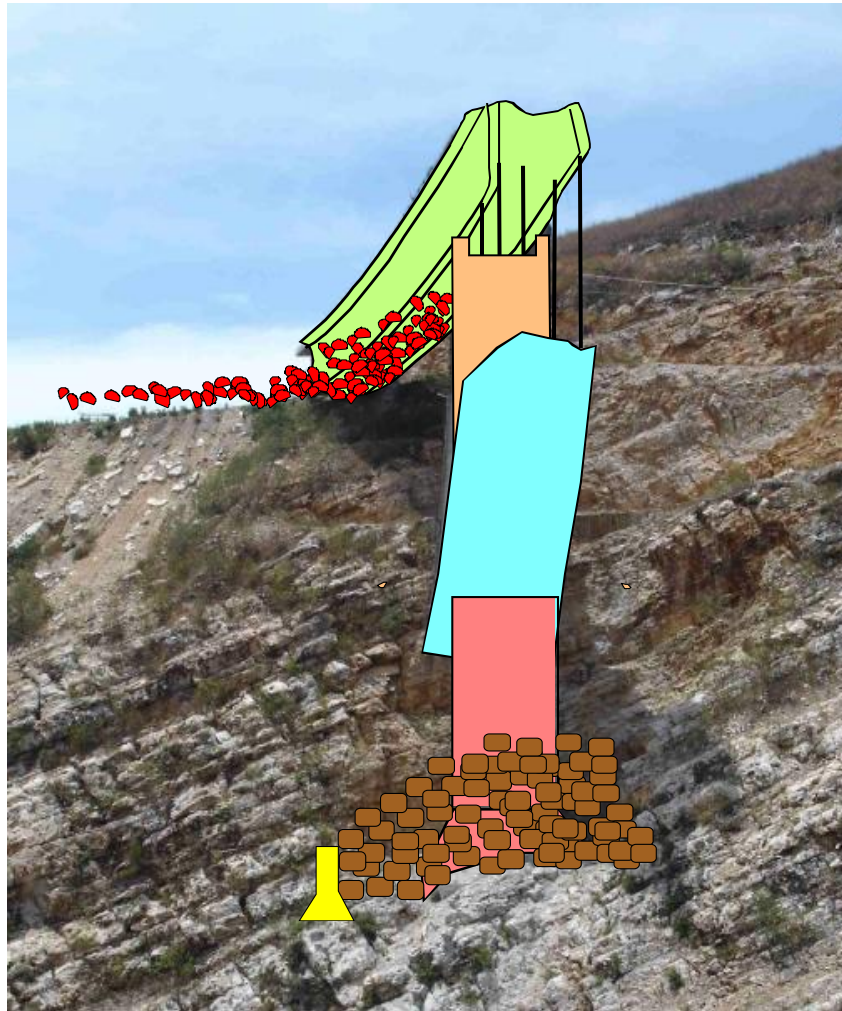
VOLADURA DE CONTRAPESO.



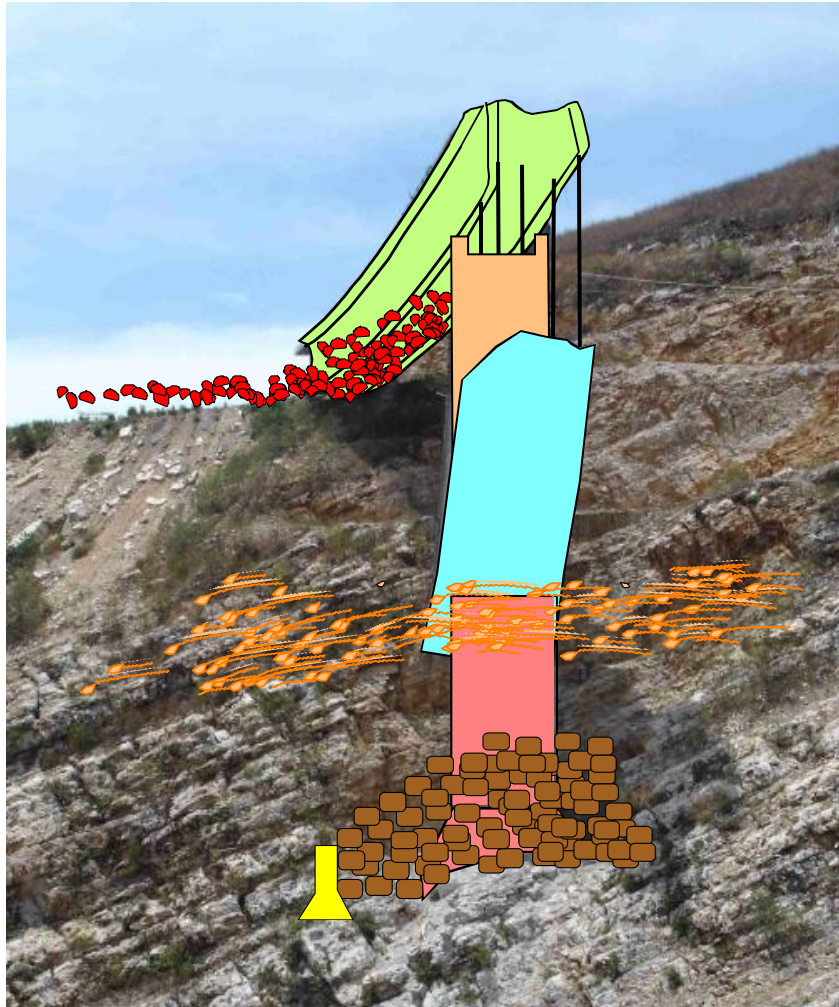
VOLADURA DE PILA.



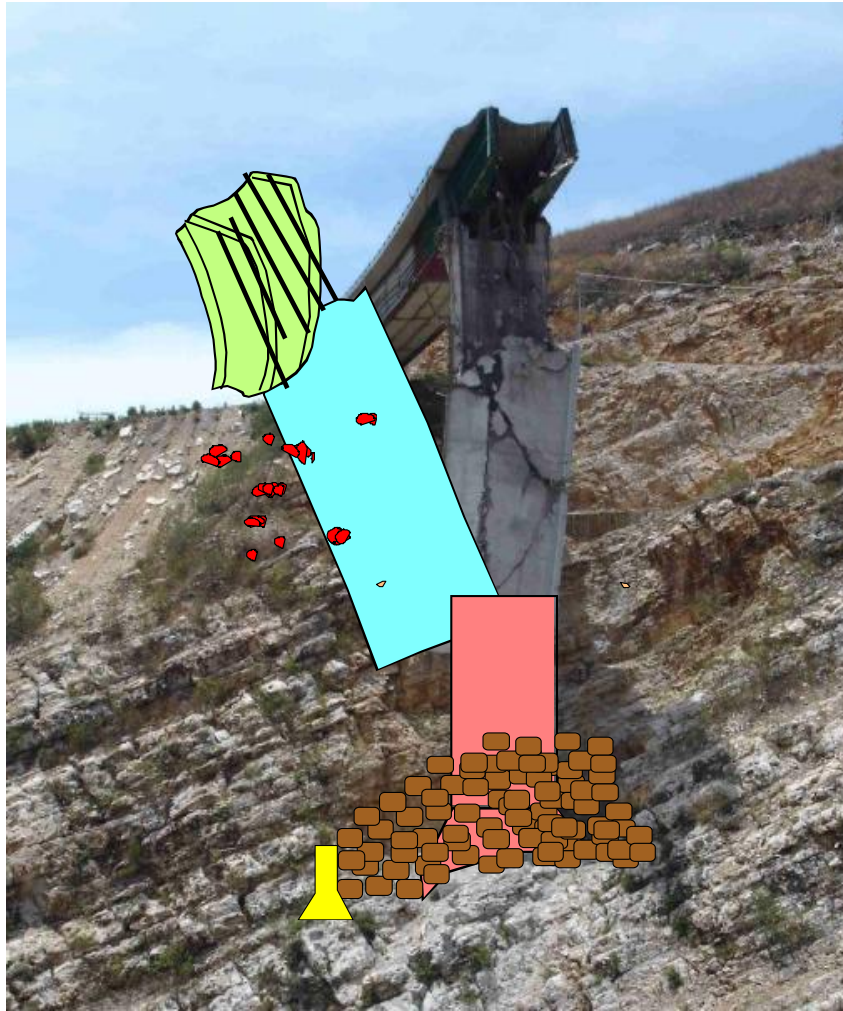
ROTACIÓN DE LA PILA.



VOLADURA, PUNTO DE ROTACIÓN DE LA PILA.



COLAPSO DE PILA Y ESTRUCTURA METÁLICA.



## IMÁGENES



VISTA DEL LADO TUXTLA, ANTES DE LA DEMOLICIÓN



LA PILA DAÑADA DESDE ATRÁS (DESDE SU BASE)





A LA IZQUIERDA, LA PILA DAÑADA  
A LO LEJOS, EL LADO SAN CRISTÓBAL DEL PUENTE



PERFORACIONES PREVIAS EN EL CUERPO DE LA PILA DAÑADA,  
PARA LA COLOCACIÓN DE LOS EXPLOSIVOS



COLOCACIÓN DE LOS EXPLOSIVOS



EXPLOSIVOS



GAVIONES COLOCADOS EN LA BASE DE LA PILA  
PARA LA PROTECCIÓN DEL TALUD



ARMADO Y COLOCACIÓN DE MUROS GAVIONES



RESTOS DE LA PILA DESPUÉS DE LA EXPLOSIÓN



CHATARRA EN EL FONDO DE LA BARRANCA



VISTA DEL TALUD, DESPUÉS DE LA VOLADURA, SE PUEDE OBSERVAR QUE NO HUBO DAÑOS A LA ROCA, DEBIDO A LA ADECUADA PROTECCIÓN CON GAVIONES, Y AL PROCESO CONTROLADO DE EXPLOSIVOS



VISTA CERCANA DE LA CIMENTACIÓN DESPUÉS DE LA VOLADURA, SE OBSERVALA ZAPATA Y LOS GAVIONES QUE LA PROTEGIERON



OTRA VISTA DE LA VOLADURA, SE OBSERVA LA ZAPATA

## II.1.1 – LIMPIEZA DE LA BARRANCA

### OBJETIVO

Establecer las actividades que integran el proceso relativo a la limpieza de la barranca del puente " San Cristóbal" ubicado en el km 24 + 921 de la Autopista Tuxtla Gutiérrez – San Cristóbal de las Casas, Chiapas. Incluyendo tres etapas de ejecución: el seccionamiento de la estructura metálica del fondo de la barranca, la extracción de la misma estructura seccionada y la demolición y desalojo de elementos de concreto armado.

	<b>Acción</b>
II.1.1	<b>SECCIONAMIENTO DE LA ESTRUCTURA METÁLICA</b>
II.1.1.1	La estructura metálica fabricada con diseño de dovelas que pertenecía a la mitad del puente " San Cristóbal" apoyada en el estribo no. 1 y pila no. 2 que se desplomo a 200 m. De profundidad al fondo de la barranca del claro por salvar, yace fraccionada y en partes traslapada de forma tal que para realizar el corte de las placas es necesario dar inicio por las partes superiores y en elementos que no estén presionados por otras estructuras para evitar la perdida de apoyo y disminuir el riesgo de deslizamientos.
II.1.1.2	Se realizará el corte de las placas utilizando equipo de oxicorte equipados con manómetros, combinando oxígeno y gas butano y utilizando en los cortadores manuales boquillas del no. 3 y 4 dependiendo de los espesores de las mismas. Las dimensiones serán dadas en consideración de que representen volúmenes y pesos que no sean mayores a 2,000.00 kg. Para que sean manejables y así poder maniobrar con seguridad.
II.1.1.3	Los suministros de oxígeno se realizarán con la ayuda de equipo mecánico como lo es el tractor con malacate, con capacidad de 50 toneladas y serán transportadas las cargas en par en un dispositivo diseñado en forma de cápsula metálica para protección de los tanques y se deslizarán por una rampa de estructura metálica para guiarlos en el talud del perfil del terreno.
II.1.1.4	Los recursos humanos se implementarán en categorías de oficiales, medios oficiales, maniobristas, operadores, ayudantes calificados y ayudantes generales, a los que se les

	proporcionará todo el equipo de seguridad industrial necesario para el buen desempeño de sus actividades.
<b>II.1.1.2</b>	<b>EXTRACCIÓN DE ESTRUCTURA METÁLICA:</b>
II.1.1.2.1.	Las placas producto del corte de las dovelas serán extraídas izándolas a 150 m. de altura sobre el lado derecho de la pila no. 3 en donde existe un acceso para llegar al lugar del desplante de la misma. El equipo que se utilizará, será un malacate con capacidad de 50 toneladas montado y accionado por un tractor d8, el cable será calibre ¾" con alma de acero que se lubricara para evitar el desgaste del mismo con el trabajo mecánico.
II.1.1.2.2.	Debido al perfil que presenta el terreno elegido para las maniobras de izaje será necesario diseñar y fabricar una estructura que cumpla su función como rampa para alojar elementos mecánicos que eviten la fricción directa del cable de acero con las rocas y un mejor deslizamiento de las placas. Ya que el equipo que se utilizara para la extracción será ubicado en dirección al frente de la misma estructura y será necesario realizar la limpieza del terreno en toda el área de maniobra para retirar las rocas sueltas que representen peligro de deslizamiento.
II.1.1.2.3	Previamente en el fondo de la barranca se realizaran maniobras de las placas para acercarlas al área de izaje y prepararlas realizándoles cortes que permitan la sujeción con estobos y grilletes.
II.1.1.2.4	Las placas serán desalojadas y almacenadas en el sitio indicado por la Secretaria de Comunicaciones y Transportes (SCT).
<b>II.1.2.3</b>	<b>DEMOLICIONES</b>
II.1.2.3.1	Estos trabajos se realizarán previamente en zonas en donde los elementos de concreto armado estén sobre la estructura metálica y serán realizados con herramienta manual, equipos neumáticos y apoyados con equipos de oxicorte para retirar los elementos de acero de refuerzo. Se utilizara un compresor 185 que se ubicara a 50 m en el lado derecho del nivel de desplante de la pila no. 3 y se instalará una línea de aire a base de tubería metálica estructural de 1 ½ " de diámetro de 150 m. De longitud, la cual llegará al fondo de la barranca y a un repartidor de aire con salida para dos mangueras de alta presión en las que se instalarán dos martillos neumáticos.
<b>II.1.2.4</b>	<b>LIBERACIÓN FINAL</b>
	Ésta se refleja en una bitácora de obra y es el resumen del



	control de cada uno de los procesos utilizados.
<b>II.1.2.5</b>	<b>CONTROL OPERACIONAL</b>
	Para los requerimientos de calidad, seguridad y medio ambiente, se tendrán las siguientes consideraciones.
	Contar con el equipo mínimo de seguridad establecidos en la análisis de riesgo del procedimiento
	Todas las instalaciones que intervengan para esta actividad, tales como escaleras, señalamientos de seguridad e instalaciones generales provisionales.
	Dar cumplimiento a las medidas establecidas en la identificación de aspectos e impactos ambientales del procedimiento.
	Se contará con el equipo necesario contra incendio en caso de ocurrencia.

## II.2 CONSTRUCCIÓN DE LA NUEVA PILA.

Después de la demolición de la pila No. 2 dañada, y de la limpieza de barranca, se procede a la preparación de la construcción de la nueva pila.



A partir de la zapata, la cual fue protegida por los muros de gravedad (gaviones), se hace una limpieza con maquinaria, y se procede a colocar los armados y la cimbra para la nueva pila.





DESPUÉS DE LA VOLADURA SE RETOMÓ EL ARMADO



REHABILITACIÓN DE ARMADO

Las especificaciones para el concreto y el acero de refuerzo fueron:

#### CONCRETO

Se usará concreto de  $f'c = 300 \text{ kg/cm}^2$ , cuya portunamente no será menor de 0.80, con revenimiento de 5 a 10 cm y agregado grueso con tamaño máximo de 4cm. Se vibrará al colocarlo en caso de se requiera usar aditivos para el concreto. Deberá justificar portunamente la calidad y dosificación de estos productos, presentando al residente pruebas satisfactorias de su empleo, con los agregados y el cemento que se vayan a emplear.

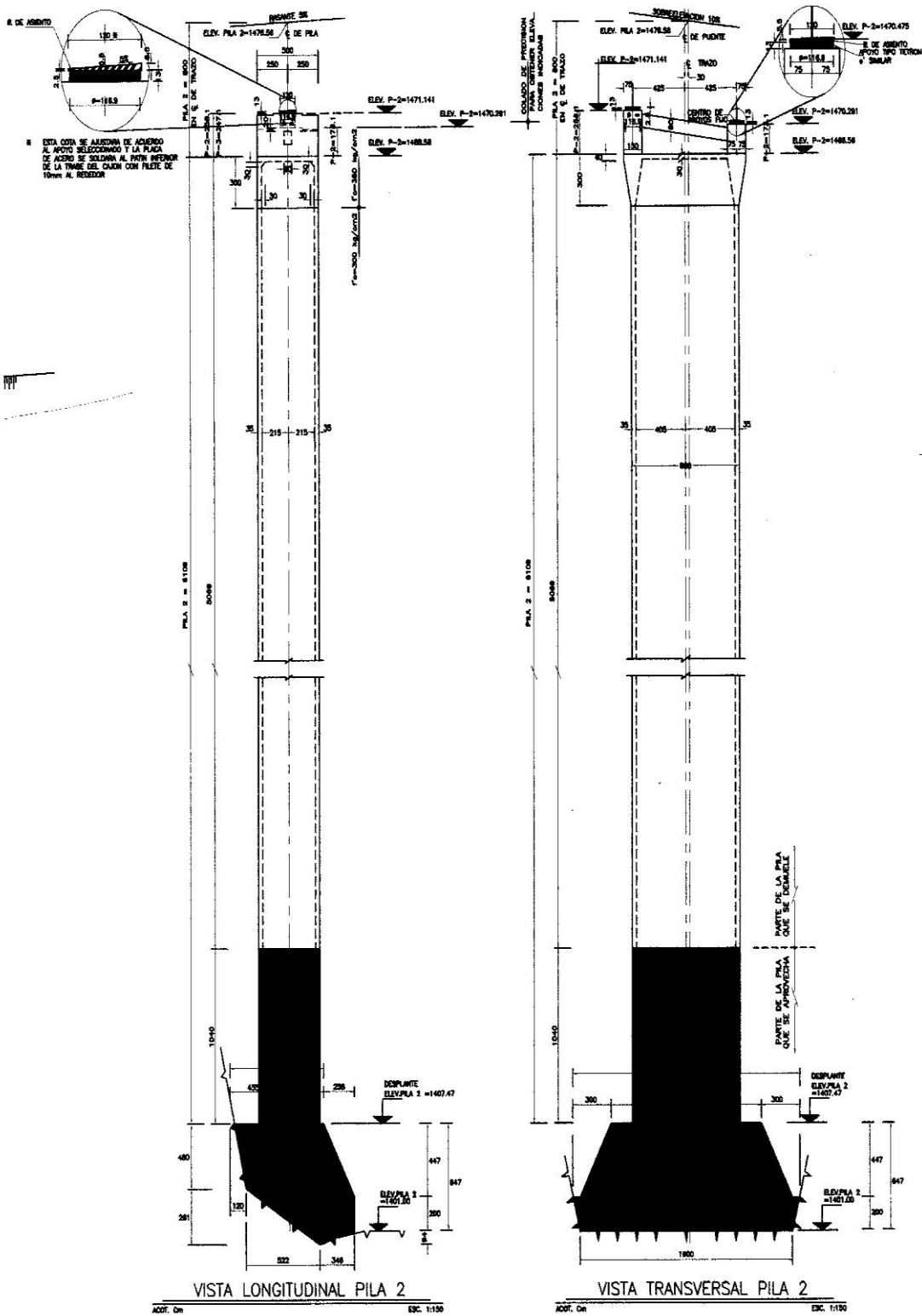
#### ACERO DE REFUERZO

Se tendrá especial cuidado en la limpieza de las varillas, para evitar que tengan óxido suelto antes de depositar el concreto. Los empalmes serán traslapados o soldados, y se localizarán port convenga, procurando en lo posible, que queden cuatrapeados, si se desea utilizar otro sistema de empalme, se consultará portunamente a la dirección de obras.



Se observa el armado, el concreto y la cimbra, que en éste caso se llama: cimbra trepadora, la cual se fue subiendo poco a poco, de acuerdo a los tiempos de fraguado del concreto y de adquisición de su resistencia máxima.

Fig.1 Detalles de la pila No. 2



En la Figura podemos observar el cuerpo de la pila, con 61 m de altura; las partes en negro son las que se aprovecharon de la pila anterior, y el resto se demolió.

Se observa la nueva pila, ya avanzando en su construcción.



La empresa Cemex aportó el concreto, con alta calidad, como se especificaba en el proyecto.

Geometría de la pila:

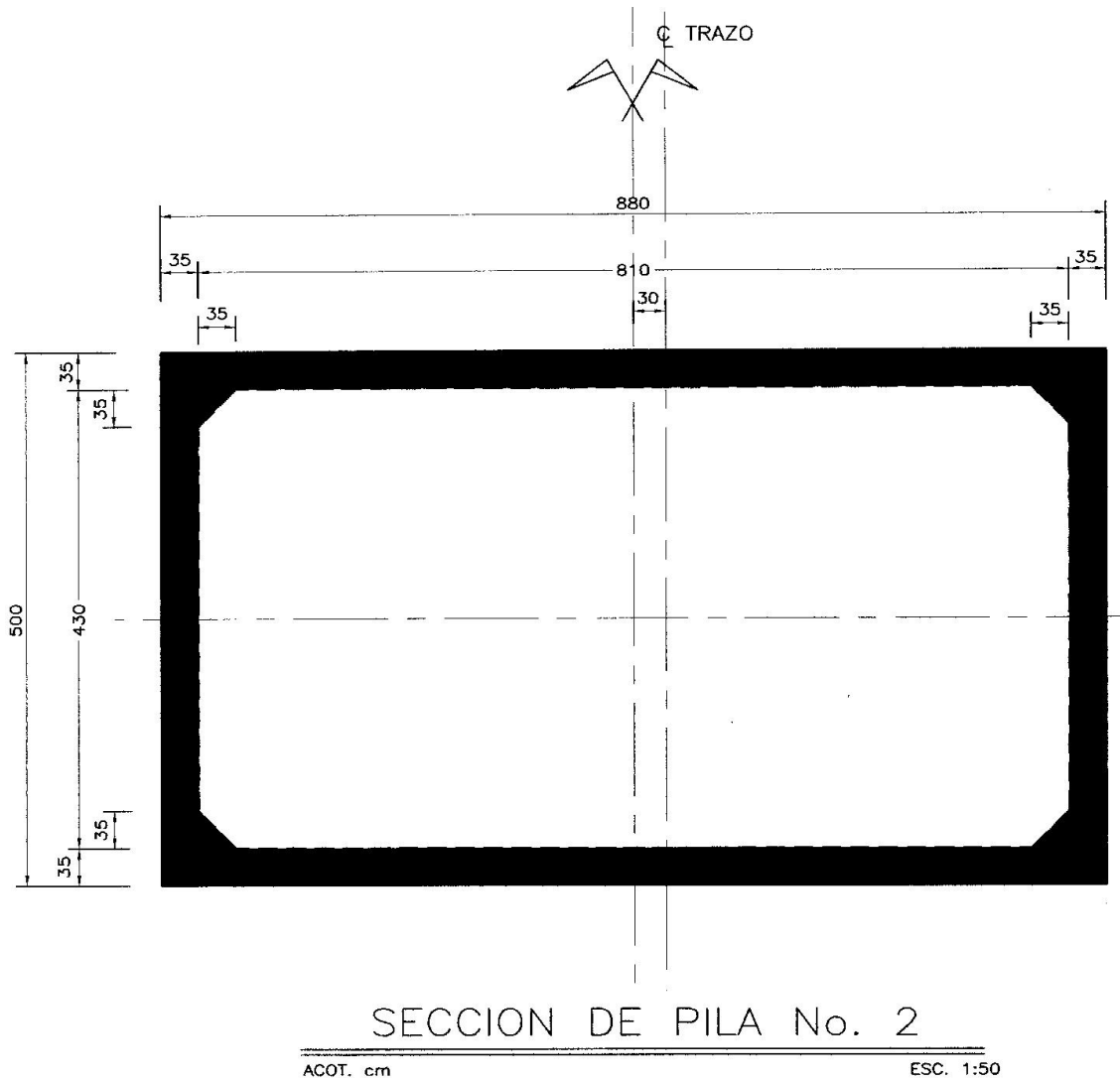


Fig. 2. De 8.8 m de largo y de 5 m de ancho.

Detalles del cabezal, muy importantes para la recepción de la estructura metálica:

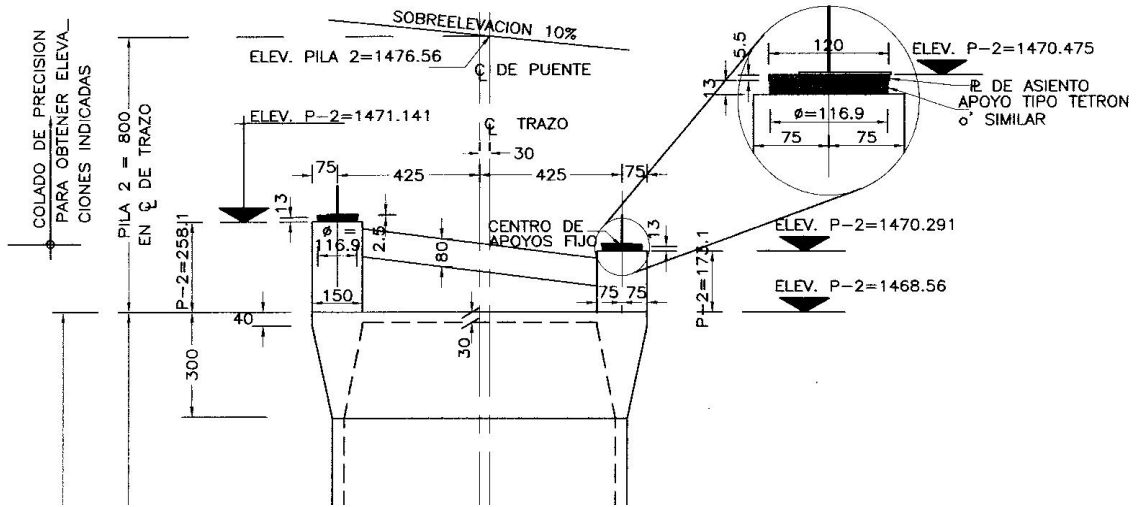
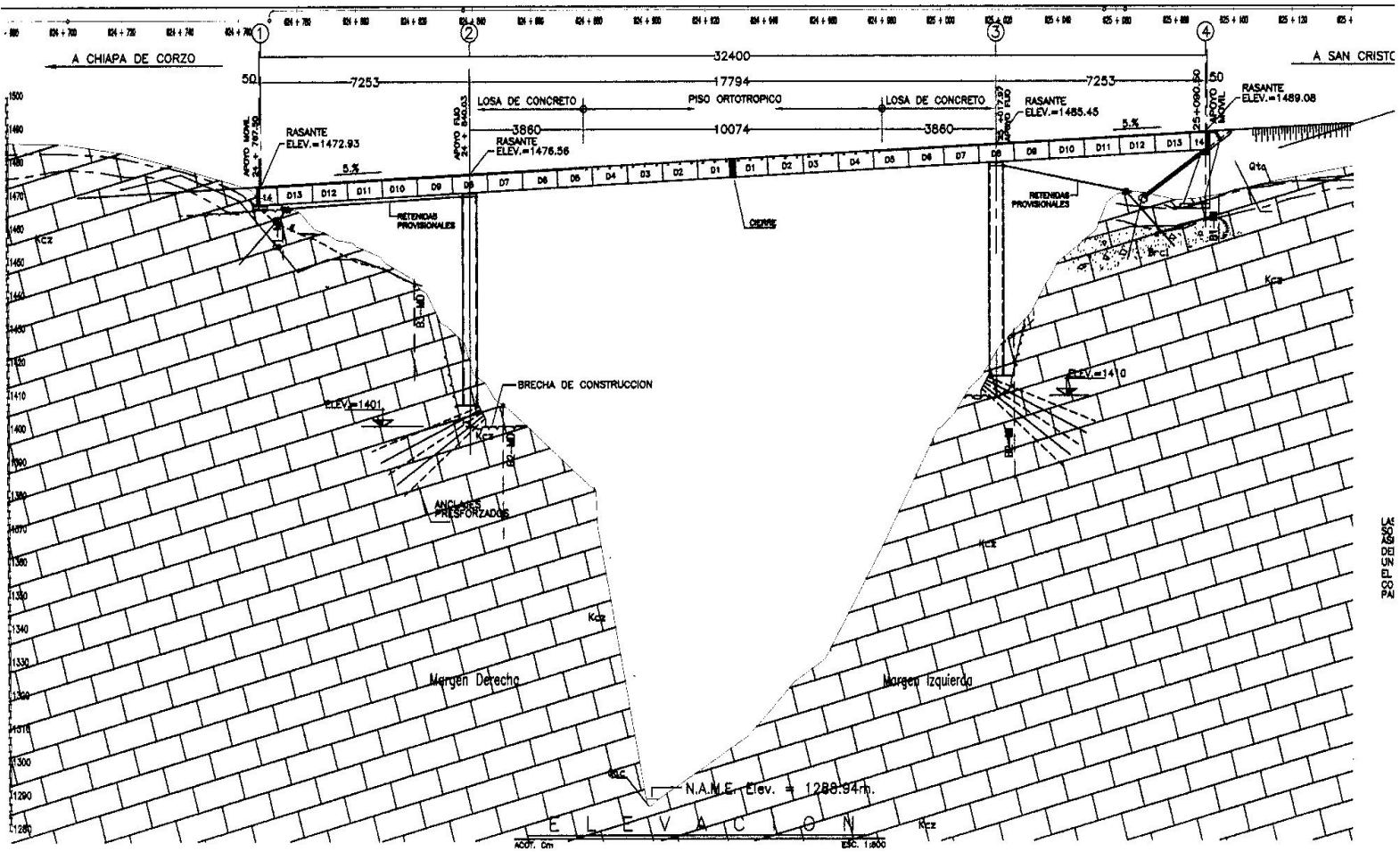


Fig. 3. Cabezal



A continuación una vista de perfil



## **TRATAMIENTOS PREVIOS PARA TALUDES.**

Estos tratamientos se llevaron a cabo como preparación de la zona, para la construcción del puente. Se considera importante mencionarlos, ya que es la etapa previa a los trabajos propios del puente, y sirvieron como apoyo, o ayuda en la construcción.

### **AMACIZE**

Esta actividad consistió en el retiro de bloques y fragmentos de roca sueltos que se localizaban sobre la superficie del talud, por medio de barretas, pico u otro elemento de tipo manual. El material desprendido del talud fue retirado al sitio de depósito de rezaga.

### **ANCLAS DE FRICCIÓN**

Constituídas de varilla corrugada de 1" ó 1 ½" de diámetro, según la zona, de acero de  $F_y = 4,200 \text{ kg/cm}^2$ , e inyectadas con mortero de cemento de  $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$ . La longitud fue de 4.5 m, 6 m y 9 m según la zona.

El extremo exterior del ancla tiene cuerda estándar con 8" de longitud y placa de acero de 8" x 8" x ½" de espesor para las anclas de 1" y de 10" x 10" x ½" para las anclas de 1 ½", la placa quedó sujeta contra la roca por medio de una tuerca. El patrón de separación entre las anclas fue de 2.5 m x 2.5 m.

La dirección de las anclas fue normal al rumbo del talud y con inclinación según se indica en cada caso.

Las anclas llevaron centradores constituidos por cuatro tramos de 10 cm de longitud de varilla de acero de ¼" de diámetro soldados a lo largo de la varilla con separación de 2 m.

El ancla llevó un par de mangueras para asegurar la inyección completa del barreno. La manguera que se utilizó en la inyección del mortero, fue de plástico flexible de 16 mm de diámetro interior y de 80 cm de longitud, mientras que la manguera testigo o de retorno del mortero fue de 8 mm de diámetro interior y de longitud un poco mayor a la de ancla, ésta última estuvo sujeta a lo largo del ancla por medio de alambre o cinta de plástico tipo abrazadera.

El diámetro de perforación fue igual o mayor de 2 ¼" para las anclas. Antes de introducir el ancla en el barreno, éste se lavó con agua y aire a

presión mediante la introducción de un tubo cuyas boquillas o perforaciones estaban orientadas en dirección perpendicular al eje del barreno, la presión debía ser tal, que permitiera la salida del material producto de la perforación, de caídos de roca y de cualquier material que se encontraba rellenando las grietas hasta que el agua retornara limpia a la superficie y el barreno estuviera libre de obstrucciones en toda su longitud. Esta actividad fue independiente del sopleteo o lavado que se hizo durante el proceso de barrenación.

Para la inyección de las anclas se utilizó una bomba manual hidroneumática, especial para la inyección de morteros en barrenos para anclaje, ya que permitía tener un control adecuado de la presión y el gasto durante la inyección.

La inyección se ejecutó en una sola operación, en forma continua, desde el inicio hasta el llenado total del barreno, utilizando para tal efecto la manguera corta de inyección.

Cuando el mortero de inyección salía por la manguera testigo, ésta se llenaba, continuando la inyección hasta que se alcanzaba una presión de  $0.5 \text{ kg/cm}^2$  y el consumo de mezcla fuese nulo, en ese momento se daba por terminada la inyección del ancla.

El mortero de inyección para las anclas, tenía las siguientes especificaciones: la resistencia a la compresión simple a 28 días era de  $f'c = 180 \text{ kg/cm}^2$  como mínimo.

Se propuso la siguiente dosificación: agua 27 litros, cemento 50 kg, arena 26 kg.

La ejecución de los anclajes de la roca se programó durante el avance de las excavaciones a cielo abierto, aprovechando los niveles de cada banqueo para su realización.

Drenes. Los drenes tienen por objeto captar el agua subterránea para eliminar y/o abatir la presión hidrostática del macizo rocoso para asegurar su estabilidad. El sistema de drenaje está formado por drenes transversales de 3" de diámetro con longitud de 6 m.

En todos los casos las perforaciones fueron normales al rumbo del talud con inclinación ascendente de 10 grados respecto a la horizontal y dispuestas en un patrón de 6.0 x 6.0m. en ningún caso se usaron tubos de P.V.C. ranurado.

Malla de acero para protección contra caídos de bloques.

El talud del cuerpo izquierdo de la autopista fue protegido para evitar la caída y rodamiento de fragmentos y bloques de roca de la parte alta hacia la zona del camino. Se empleó malla hexagonal a doble torsión tipo 8 x 8, sujeta a la parte superior del talud por medio de anclas cortas verticales de 0.75 m de longitud y separación horizontal a cada 2 m.

El diámetro del alambre de la malla fue de 2.2 mm, reforzando los bordes con alambre de 2.7 mm de diámetro. La malla debe ser de acero dulce recocido de acuerdo con las especificaciones British Standard 1052/1980 con esfuerzo de ruptura medio de 38 a 50 kg/mm<sup>2</sup>.

Concreto lanzado.

Con el fin de evitar la erosión, interperismo de la roca y diversos problemas de estabilidad asociados con zonas de alto fracturamiento en el talud, éste se protegió superficialmente con concreto lanzado con malla de acero electrosoldada.

El método de colocación del concreto lanzado fue vía seca o húmeda, utilizando un tamaño máximo de agregado de 19mm y reforzándolo con una o dos capas de malla de acero electrosoldada, según se indica en el proyecto.

En toda la superficie cubierta con concreto lanzado, se perforaron drenes cortos. La estructura formada por el conjunto del anclaje y el concreto lanzado reforzado, formó el soporte definitivo del terreno, para su estabilidad a largo plazo.

Se realizó un muestreo aleatorio y selectivo de los componentes empleados en los procesos de producción y/o construcción de concreto lanzado con pruebas de laboratorio.

Malla de acero para refuerzo de concreto lanzado.

La malla de refuerzo o malla de alambre electrosoldada es una red metálica formada por una trama cuadrada de alambres soldados en su intersección, que se utiliza para el refuerzo del concreto lanzado. Cumple con las normas DGN B-252 y ASTM A-185 y al tener una resistencia a la tensión de 5,250 kg/cm<sup>2</sup>. Para la utilización como refuerzo del concreto lanzado debe, además, estar libre de óxido, no

tener adherido material de rebote del mismo concreto lanzado ni otra sustancia que disminuya la adherencia.

El habilitado de la malla de refuerzo consiste en preparar los lienzos o tramos de malla, cortándolos con las dimensiones adecuadas al sitio donde se van a colocar y limpiándolos previo a su utilización para que estén libres de óxido, de aceite y de otras sustancias que disminuyan su adherencia al concreto lanzado. En esta actividad se debe incluir el transporte y el almacenamiento en el sitio de colocación.

Colocación de la malla.

La malla de refuerzo se coloca pegada al terreno y siguiendo sus irregularidades, sujetándola con anclas cortas y/o clavos de impacto. Cada unión de lienzos de malla se debe traslapar por lo menos con una retícula y deben amarrarse con alambre recocado de la misma forma que se sujeta la malla al clavo y/o ancla; es necesario que para colocar la malla sobre superficies rocosas, primeramente sea colocada una capa de concreto lanzado con un espesor de 3cm en estricto apego a lo que indica el proyecto. En esta actividad se incluyen los traslapes, descalibre de la malla, las anclas cortas, los clavos y todos los desperdicios que se consideren necesarios para la ejecución. Una vez colocada la malla, se continuó colocando el concreto hasta completar el espesor indicado en el diseño, quedando completamente cubierta la malla.

Drenaje corto.

Los drenes consisten en perforaciones de 1½" a 2" de diámetro, perforados exclusivamente en las zonas que han sido tratadas con concreto lanzado y cuya longitud se limita a penetrar 0.3m en la roca. Esto tiene por objeto evitar la acumulación de presión hidrostática en la zona del contacto concreto lanzado – roca para asegurar la estabilidad del concreto. Las perforaciones de drenaje corto se realizaron en patrón de 2 m x 2 m de separación vertical y horizontal.

### **III. CONSTRUCCIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA DE ACERO**

### **III. CONSTRUCCIÓN DE LA SUPERESTRUCTURA DE ACERO**

#### **III.1 – FABRICACIÓN DE DOVELAS**

##### **OBJETIVO**

Establecer las actividades que integran el proceso de fabricación de los elementos independientes de las dovelas de la superestructura, paneles, con el fin de optimizar cada una de las etapas del proceso de trabajo.

##### **ALCANCE**

Aplica a todas las actividades propias del proceso de fabricación de dovelas dentro de las diferentes áreas del taller de fabricación.

##### **DEFINICIONES**

- DOVELA.- Se define a la dovela como un segmento de superestructura en forma de cajón metálico ortotrópico, compuesto por una placa inferior, 2 placas almas, y una placa superior y como elementos rigidizadores y secundarios bulbos, diafragmas y atiezadores.
- ORTOTRÓPICO.- Se dice que es ortotrópico cuando se hace referencia a un Cajón y los patines de este son parte estructural de la sección.
- BULBOS.- Es un atiezador en forma piramidal cuya función es rigidizar la placa inferior y la placa superior.
- CARTELAS.- Son elementos de rigidización locales.
- ATIEZADORES.- Son elementos de rigidización continuos.
- DIAFRAGMAS. Son elementos compuestos en forma de "T", que refuerzan en forma perimetral en la parte interior de la dovela.
- SMAW = Shielded Metal Arc Welding
- FCAW = Flux Cored Arc Welding

P. S. = Proceso de Soldadura  
 SAW Submerged Arc Welding

## DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO

### FABRICACIÓN DE PIEZAS INDEPENDIENTES

	<b>Acción</b>
<b>III.1.1</b>	<b>HABILITADO DE PARTES.</b>
III.1.1.1	Las placas principales de los paneles, patines inferiores, patines superiores, volados y almas, se habilitan haciendo los cortes y biseles interiores de las placas que forman las placas totales principales, dejando pendientes los cortes perimetrales para su ajuste final cuando ya se hayan realizado las soldaduras entre las placas y los ensambles y las soldaduras de bulbos, diafragmas y atiesadores, sobre las placas que pudieran ocasionar deformaciones por el efecto de estas soldaduras.
III.1.1.2	El habilitado de todos los componentes se realizará al tomar en cuenta que la siguiente fase se hará al ensamblar la dovela en 8 secciones, por lo que se consideran los siguientes componentes de cada dovela: <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Patín inferior en dos partes.</li> <li>2. Almas, intrados y extrados completas.</li> <li>3. Patín superior en 4 partes.</li> <li>4. Patines superiores central intrados, central extrados; lateral intrados, lateral extrados.</li> </ol>
III.1.1.3	El habilitado de todas las piezas, que componen cada dovela, se programa para producir, en manera secuencial, todos los componentes de cada dovela, para asegurar que se puedan producir todos los componentes de los paneles que se utilizarán en la siguiente fase del ensamblado de los paneles y se puedan embarcar las dovelas completas al área de empujado.
<b>III.1.2</b>	<b>FABRICACIÓN DE PIEZAS INDEPENDIENTES Ó PANELES</b>
III.1.2.1	<b>PATÍN INFERIOR.</b>
III.1.2.2	En el área de habilitado se preparan y cortan las placas inferiores, considerando las preparaciones para las juntas internas, longitudinales y transversales entre las



	placas, de acuerdo a los planos de taller, <b><u>dejando pendientes</u></b> los cortes que corresponden al perímetro de la placa ya armada en su totalidad, para dar el ancho total de la placa (4.876 m y 2.438 m) y los biseles de preparación de la junta de continuidad entre dovelas anterior y posterior, en los extremos de la longitud de 12 m.
III.1.2.3	Se fabricarán mesas de trabajo en las que se llevará a cabo el preensamble y armado total de la placa inferior, sobre estas se colocan las placas que formarán la placa inferior total, según la dovela de que se trate, para su armado y aplicación de soldadura, la cual se llevará a cabo mediante el proceso de arco sumergido (SAW), haciendo la preparación de biseles de la junta para realizarla por un solo lado y solamente trabajar la raíz del otro lado para aplicar soldadura con proceso semiautomático (SMAW) si no es posible dar vuelta a las placas que se estén uniendo, en caso de ser posible esta maniobra, se dará vuelta a las placas y se aplicará el proceso SAW. Estos procesos de soldadura se calificarán antes de iniciar los trabajos correspondientes.
III.1.2.4	Una vez que se han preensablado y armado las placas y preparado las juntas de acuerdo a los planos de taller, previo a la aplicación de la soldadura; éstas juntas se refuerzan con elementos rigidizadores en forma transversal a la junta, para evitar su deformación local en esta dirección.
III.1.2.5	Se inicia con las juntas transversales para dar la longitud total de la dovela, para el caso de dovelas que requieran de varias placas para completar el largo total. Hechas las preparaciones de refuerzo para prevenir las deformaciones transversales de la junta, se aplican los procesos de soldadura, a las juntas transversales como se mencionó en el punto anterior. Resultando cuatro o dos placas de un poco más de 12 m de largo, para el caso de dovelas que solo requieran de cuatro o dos placas se continúa con el punto siguiente.
III.1.2.6	Con las placas formadas de más de 12 m, se arman para formar el ancho de 4.876 m y 2.438 m, en el caso de requerirse cuatro placas se arman en dos pares y luego se arma la junta central de la placa, que nos dará un ancho un poco mayor de los 4.876 m y 2.438 m requeridos.
III.1.2.7	Durante todo el proceso de soldadura se monitorean las

	deformaciones por efectos de la misma y equilibrando éstas mediante el volteo de las placas y se alternan los cordones de la soldadura a un lado y otro de la placa con la secuencia necesaria, de acuerdo al monitoreo, para ir contrarrestando estos efectos y prevenir la falta de planicidad de la placa al terminar el proceso de soldadura.
III.1.2.8	Realizado el proceso de soldadura y formado la placa total del patín, se procede a determinar los ejes longitudinal y transversal, a partir de los cuales se hace el trazo de atiezadores longitudinales y diafragmas, indicando también el trazo correspondiente al largo y ancho sin realizar los cortes todavía.
III.1.2.9	Realizadas las soldaduras se procede a su inspección y aprobación por el área de control de calidad, generándose los registros de inspección correspondiente.
III.1.2.10	Aprobada la placa del patín, el paso siguiente es la colocación de atiezadores longitudinales, de acuerdo al plano de taller, para esta actividad se traza partiendo de los ejes de la pieza.
III.1.2.11	El armado de los atiezadores longitudinales para completar su longitud de proyecto, se puede hacer previo a su colocación en la placa del piso o se puede hacer directamente en el proceso de ensamble sobre la placa utilizando placa de respaldo para las juntas entre los segmentos de los atiezadores.
III.1.2.12	Por otra parte, en el área de habilitado, se fabrican los elementos del diafragma, atiezadores longitudinales patín y alma y se sueldan en forma de "T" en su longitud total, para su integración al patín inferior como se indica a continuación.
III.1.2.13	Colocados, armados, conformados y verificada la ubicación de atiezadores, se da inicio con el proceso de soldadura de los atiezadores longitudinales con la placa patín utilizando los procedimientos de soldadura calificados con antelación a su aplicación.
III.1.2.14	Durante todo el proceso de aplicación de soldadura a los atiezadores longitudinales se van monitoreando las deformaciones que se presenten y afecten la planeidad de la placa y se va corrigiendo éstas para evitar acumulación de deformaciones y solución más difícil.
III.1.2.15	Después de realizar la soldadura de los atiezadores

	longitudinales, se verifica la planeidad de la placa y atezadores longitudinales y se revisan los trazos correspondientes a los ejes de diafragmas, verificando las dimensiones de largo y ancho de la pieza, para realizar los ajustes a los trazos que así lo requieran.
III.1.2.16	Se procede a armar los diafragmas y cartabones de acuerdo a los planos de taller, verificando nuevamente la ubicación de los ejes con respecto a los ejes principales de la placa, hecha esta verificación, se arman los diafragmas, verificando su perpendicularidad con respecto a la placa del patín.
III.1.2.17	Realizado el armado de los diafragmas se aplica la soldadura de los diafragmas a la placa de patín y atezadores longitudinales con el proceso de soldadura asignado.
III.1.2.18	Se realiza la liberación de la pieza de los elementos de fijación utilizados durante la fabricación del elemento, mesa de trabajo y vigas transversales. En ésta etapa se verifica el grado de deformación remanente de la pieza y se procede a corregir según se requiera.
III.1.2.19	Finalmente, con respecto a los ejes transversal y longitudinal de la placa, se hace la verificación de las dimensiones del patín, ya armado y soldado, para realizar el corte correspondiente al ancho del patín inferior y los biseles en los extremos de la placa correspondientes a la junta de continuidad entre dovelas.
III.1.2.20	Se verifican todos los accesorios correspondientes a éste elemento que deben acompañarlo para su ensamble con las demás piezas, que en conjunto formarán la dovela completa. (junta de continuidad se biselará durante el proceso de ensamble).
<b>III.1.3</b>	<b>PATÍN CENTRAL SUPERIOR.</b>
III.1.3.1	En el área de habilitado se preparan las placas superiores central izquierda y derecha.
III.1.3.2	Las placas superiores se habilitan, se preparan y cortan considerando las preparaciones para las juntas internas, longitudinales y transversales entre las placas, de acuerdo a los planos de taller, <b>dejando pendientes</b> los cortes que corresponden al perímetro de la placa ya armada en su totalidad, es decir, se deja pendiente la preparación de la junta longitudinal con el patín superior de la placa alma y los biseles de preparación de la junta de continuidad entre dovelas anterior y posterior, en los

	extremos de la longitud de 12 m.
III.1.3.3	En la mesa que se llevará a cabo el preensamble y armado de la placa inferior, se colocan las placas que formarán la placa superior total del patín, las cuales se armarán por mitad tomando en cuenta el eje longitudinal de la dovela o patín superior, es decir formando dos placas de 2.5 m x 12 m, para su preensamble y armado.
III.1.3.4	Esta pieza se armará de forma invertida, para colocar los bulbos y diafragmas sobre la placa, de tal manera que al invertirla quede como se indica en los planos de taller.
III.1.3.5	Una vez que se han preensamblado y armado las placas y preparado las juntas de acuerdo a los planos de taller, previo a la aplicación de la soldadura estas juntas se refuerzan con elementos rigidizadores en forma transversal a la junta, para evitar su deformación local en esta dirección
III.1.3.6	Se inicia con las juntas transversales para dar la longitud total de la dovela, para el caso de dovelas que requieran de dos o más placas para dar el largo total de la placa. Hechas las preparaciones de refuerzo para prevenir las deformaciones transversales de la junta, se aplican los procesos de soldadura, SAW y/o FCAW, a las juntas transversales como se mencionó en el punto anterior. Resultando dos placas de un poco mas de 12.00 m de largo x 2.50 m de ancho, generalmente estas piezas son de una sola placa.
III.1.3.7	Realizado el proceso de soldadura, cuando este fue requerido, y formado las dos placas izquierda y derecha del patín, se arman en el centro de la dovela con puntos de soldadura suficientemente fuertes, sin realizar la soldadura, y se procede a determinar los ejes longitudinal y transversal, a partir de los cuales se hace el trazo de bulbos y diafragmas, indicando también el trazo correspondiente al largo y ancho de la pieza, sin realizar los cortes y biseles todavía.
III.1.3.8	Con las placas formadas de un poco más de 12 m de largo, se arman para formar el ancho de 5.00 m, sin realizar la soldadura de la junta central del elemento, solo armada con puntos de soldadura suficientemente firmes para asegurar su posición.
III.1.3.9	El paso siguiente es la colocación de bulbos, de acuerdo al plano de taller.

III.1.3.10	Se realiza la colocación y fijación de los bulbos de acuerdo a los detalles de preparación de la junta de bulbo-placa aprobado anteriormente y de acuerdo a lo indicado en los planos de taller.
III.1.3.11	En el área de habilitado se fabrican los elementos del diafragma, patín y alma, y se sueldan en forma de "T", en su longitud total, para su integración al patín inferior como se indica a continuación.
III.1.3.12	Se da inicio con el proceso de soldadura, SAW y/o FCAW aprobado, de los bulbos con la placa patín utilizando los procedimientos de soldadura calificados con antelación a su aplicación, en esta fase los equipos de SAW correrán por la parte superior de los bulbos aumentando las boquillas de los equipos para llegar hasta la junta y aplicar la soldadura en la base de los bulbos con la placa patín.
III.1.3.13	Durante todo el proceso de aplicación de soldadura a los bulbos se van monitoreando las deformaciones que se presenten así como ir corrigiendo estas para evitar su acumulación y solución más difícil.
III.1.3.14	Después de realizar la soldadura de los bulbos, se revisan los trazos correspondientes a los ejes de los diafragmas y a las dimensiones de largo y ancho de la pieza, para realizar los ajustes que correspondan.
III.1.3.15	Para ensamblar la segunda placa del patín en el diafragma, ensamblada la primera placa en forma horizontal, se procede a levantar la segunda placa, ya con los bulbos instalados y soldados, hasta la posición que determina el alma del diafragma, quedando con esta inclinación la pendiente del proyecto a cada lado del eje longitudinal de la placa superior.
III.1.3.16	Realizado el armado de los diafragmas y de las dos placas superiores con sus bulbos, se refuerza la junta central longitudinal, que estaba armada solo con puntos de soldadura, con un cordón de soldadura de fondeo, mediante el proceso de SMAW y/o FCAW, posteriormente aplicar la soldadura de los diafragmas con la placa de patín y los bulbos con el proceso de soldadura semiautomática FCAW, o el proceso SMAW, donde no sea posible el acceso para el método FCAW. Se verificará contar con éstos procedimientos de soldadura calificados previo a su utilización.
III.1.3.17	Se gira la pieza 180° para colocarla en posición normal,

	y en esta posición se realiza el trabajo de la raíz de la soldadura y aplica la soldadura en la junta central longitudinal del patín, mediante el proceso SAW, terminando con ésta aplicación la soldadura total del patín central superior.
III.1.3.18	Finalmente se verifican con respecto a los ejes transversal y longitudinal de la placa, las dimensiones del patín, ya armado y soldado, para realizar los biseles de preparación de la junta con los patines superiores laterales a 2.50 m del centro de la dovela y los biseles en los extremos de la placa, correspondientes a la junta de continuidad entre dovelas, de acuerdo a lo indicado en los planos de taller. (la junta de continuidad se biselara durante el proceso de ensamble).
III.1.3.19	Se verifican todos los accesorios correspondientes a este elemento que deben acompañarlo para su ensamble con las demás piezas que en conjunto formarán la dovela completa.
<b>III.1.4</b>	<b>PATÍN SUPERIOR LATERAL</b>
III.1.4.1	En el área de habilitado se preparan y cortan las placas superiores como pieza superior derecha e izquierda de 2.50 m de ancho, generalmente de una sola placa cada una, las que se van a preensamblar y armar en pareja en la misma mesa, considerando las preparaciones para las juntas longitudinales de acuerdo a los planos de taller, <b><u>dejando pendiente</u></b> el corte que corresponde al perímetro de la placa, es decir se deja pendiente la preparación de la junta longitudinal con el patín central superior, a 2.50 m del eje del extremo de la dovela y los biseles de preparación de la junta de continuidad entre dovelas anterior y posterior, en los extremos de la longitud de 12.00 m.
III.1.4.2	En la mesa en que se llevará a cabo el preensamble y armado total de la placa, se colocan las placas en forma horizontal, sobre las cuales se armarán los bulbos y diafragmas tomando en cuenta el eje longitudinal de la dovela o patín superior, es decir armando las dos placas de 2.50 m x 12.00 m, en forma plana y horizontal, para el armado de bulbos en forma invertida, a como se indica en los planos de taller.
III.1.4.3	Se inicia con las juntas transversales, (cuando estas se requieran), para dar la longitud total de la dovela, en el caso de dovelas que requieran de dos o más placas con el propósito de dar el largo total de la placa. Hechas las

	preparaciones de refuerzo para prevenir las deformaciones transversales de la junta, se aplican los procesos de soldadura, SAW y/o FCAW, a las juntas transversales.
III.1.4.4	Con las placas formadas de un poco más de 12.00 m, se arman horizontalmente para formar el ancho de 5.00 m.
III.1.4.5	Durante todo el proceso de soldadura se van monitoreando las deformaciones por efectos de la misma y se van equilibrando éstas mediante el alternando los cordones de la soldadura a un lado y otro de la placa con la secuencia necesaria, de acuerdo al monitoreo, para ir contrarrestando estos efectos y prevenir la falta de planicidad de la placa al terminar el proceso de soldadura.
III.1.4.6	Realizado el proceso de soldadura, cuando éste fue requerido, y formado las dos placas izquierda y derecha del patín, se arman en el centro de la dovela sin soldar, solo con puntos de soldadura, y se procede a determinar los ejes longitudinal y transversal, a partir de los cuales se hace el trazo de bulbos y diafragmas, indicando también el trazo correspondiente al largo y ancho sin realizar los cortes y biseles todavía.
III.1.4.7	El paso siguiente es la colocación de bulbos, de acuerdo al plano de taller.
III.1.4.8	La colocación y fijación de bulbos se hace de acuerdo a los detalles de preparación de la junta de bulbo-placa aprobado y de acuerdo a lo indicado en los planos de taller. Es importante hacer notar que los bulbos tienen, en su sección transversal, ramas de diferente largo y que su orientación debe respetarse de acuerdo a los planos de taller.
III.1.4.9	En el área de habilitado se fabrican los elementos del diafragma, patín y alma, y se sueldan en forma de "T", en su longitud total para cada sección lateral, para su integración al patín inferior como se indica a continuación.
III.1.4.10	Previo al inicio de este proceso, se debe reforzar la placa del patín transversalmente por la parte inferior para prevenir deformaciones por efectos de la soldadura. (vigas estructurales de acero)
III.1.4.11	Realizado lo indicado en el punto anterior, se da inicio con el proceso de soldadura SAW de los bulbos con la placa patín utilizando los procedimientos de soldadura calificados con antelación a su aplicación, en esta fase

	los equipos de SAW correrán por la parte superior de los bulbos, aumentando las boquillas de los equipos para llegar hasta la junta y aplicar la soldadura en la base de los bulbos con la placa patín.
III.1.4.12	Durante todo el proceso de aplicación de soldadura a los bulbos se van monitoreando las deformaciones que se presenten e ir corrigiendo estas para evitar su acumulación y solución más difícil.
III.1.4.13	Después de realzar la soldadura de los bulbos, se revisan los trazos correspondientes a los ejes de los diafragmas y a las dimensiones de largo y ancho de la pieza, para realizar los ajustes que correspondan.
III.1.4.14	Se procede a armar los diafragmas y cartabones de acuerdo a los planos de taller, verificando nuevamente la ubicación de los ejes con respecto al centro de la placa, hecha esta verificación, se arman los diafragmas correspondientes verificando su perpendicularidad respectivamente a las placas, izquierda o derecha.
III.1.4.15	Se sueldan los diafragmas centrales y se arman los atezadores longitudinales, del centro a los extremos, es decir hacia los diafragmas adyacentes, se realiza la soldadura de los atezadores longitudinales y posteriormente se verifica la posición de los diafragmas adyacentes, para absorber las posibles deformaciones en la zona de las vigas longitudinales. Para evitar las deformaciones por contracción de la soldadura.
III.1.4.16	Posteriormente se aplica la soldadura de los diafragmas con placa de patín, bulbos y almas de los atezadores longitudinales a los diafragmas, con el proceso de soldadura semiautomática FCAW, o el proceso SMAW, donde no esté accesible para el método FCAW. Se verificará contar con estos procedimientos de soldadura calificados previo a su utilización.
III.1.4.17	Finalmente se verifican con respecto a los ejes transversal y longitudinal de la placa, las dimensiones del patín, ya armado y soldado, para realizar los biseles de preparación de la junta con los patines superiores laterales y los biseles en los extremos de la placa, correspondientes a la junta de continuidad entre dovelas, de acuerdo a lo indicado en los planos de taller.( La junta de continuidad se biselara durante el proceso de preensamble)
III.1.4.18	Se verifican todos los accesorios correspondientes a este elemento que deben acompañarlo para su ensamble con



	las demás piezas que en conjunto formarán la dovela completa, como son los elementos de continuidad con las dovelas anterior y posterior.
<b>III.1.5</b>	<b>ALMAS</b>
III.1.5.1	Para la fabricación de las almas de las dovelas, se tomará en cuenta la siguiente fase de ensamble, por lo que se consideran dos paneles o almas , Intrados y Extrados, de manera similar al proyecto original, cambiando solamente los biseles de la junta horizontal entre los paneles de las almas.
III.1.5.2	Para el habilitado de las placas se considera el corte de las placas solo en la medida correspondiente a la altura de 3048 mm, sin cortar los extremos que corresponden a la geometría para dar la contraflecha de la superestructura, y que se realizará al final del proceso cuando todas las soldaduras ya hayan sido efectuadas y se pueda garantizar la geometría de la pieza.
III.1.5.3	En la mesa de trabajo se colocan las placas del alma y sobre esta se trazan los ejes de los diafragmas, central y adyacentes a la medida que nos indican los planos del proyecto, sobre estos trazos se arman los diafragmas.
III.1.5.4	De igual manera se traza la posición de los atiesadores longitudinales y se realiza su ensamble.
III.1.5.5	Previo a la aplicación de la soldadura de los diafragmas y atiesadores, se refuerza con elementos que rigidicen las juntas de los filetes de soldadura, por el lado del alma, para prevenir deformaciones locales por efecto de la soldadura de filete y posteriormente se aplica la soldadura por el proceso de SAW o FCAW, según la accesibilidad para su aplicación, preferentemente el de SAW.
III.1.5.6	Realizada la aplicación de soldadura y verificado que no existen deformaciones fuera de los criterios de aceptación, se realiza el trazo de los extremos de las almas y se realiza el ajuste dimensional de acuerdo a los planos de taller y preparación de los biseles requeridos para la junta de continuidad. .( La junta de continuidad se biselará durante el proceso de preensamble)
<b>III.1.6</b>	<b>CONTROL DE SOLDADURAS.</b>
III.1.6.1	LIBERACION DE JUNTAS.- Esta actividad se realiza una vez concluida la liberación topográfica utilizando los

	formatos correspondientes.
<b>III.1.7</b>	<b>LIBERACIÓN FINAL</b>
III.1.7.1	Esta se refleja en el formato y es el resumen del control de cada uno de los procesos utilizados.
<b>III.1.8</b>	<b>BOLETINES DE CAMPO</b>
III.1.8.1	Esta actividad es responsabilidad del área de construcción apoyada por el departamento de ingeniería y control de calidad. Los boletines de campo reflejan los cambios de proyecto y se elaboran antes de iniciar la actividad que reflejan.
<b>III.1.9</b>	<b>CONTROL OPERACIONAL</b>
III.1.9.1	Para los requerimientos de calidad, seguridad y medio ambiente, se tendrán las siguientes consideraciones.
III.1.9.2	Contar con el equipo mínimo de seguridad establecidos en la análisis de riesgo del procedimiento
III.1.9.3	Todas las instalaciones que intervengan para esta actividad, tales como escaleras, señalamientos de seguridad e instalaciones generales provisionales.
III.1.9.4	Dar cumplimiento a las medidas establecidas en la identificación de aspectos e impactos ambientales del procedimiento.
III.1.9.5	Se contará con el equipo necesario contra incendio en caso de ocurrencia.

## III.2 – ARMADO DE DOVELAS

### OBJETIVO

Establecer las actividades que integran el proceso de armado y montaje de los paneles independientes de las dovelas de la superestructura, con el fin de optimizar cada una de las etapas de este proceso de trabajo.

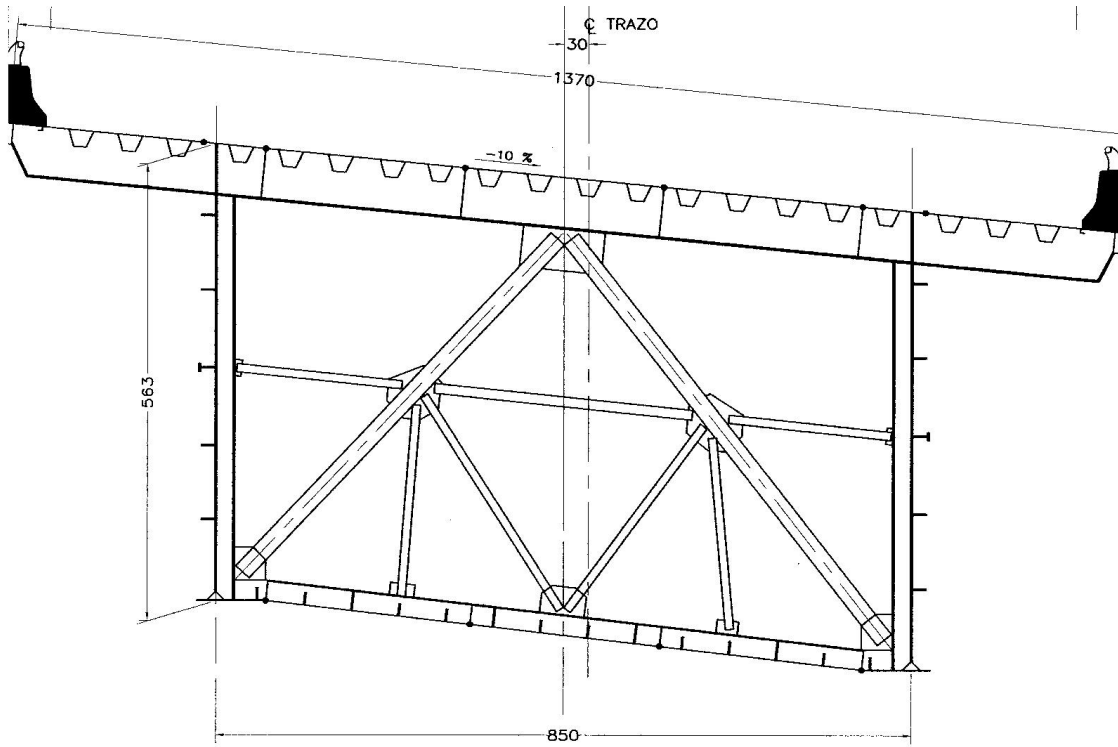
### DESARROLLO DEL PROCEDIMIENTO

	<b>Acción</b>
<b>III.2.1</b>	<b>MONTAJE DE PANELES</b>
III.2.1.1	Placa Inferior
	Se colocarán las placas inferiores, izquierda y derecha en la cama de armado (niveladas en similitud de dimensiones y niveles indicados en los planos del proyecto), teniendo las secciones en la cama procedemos a alinear, unir, nivelar, armar y conformar las secciones, terminados estos trabajos se procede a su inspección dimensional, para su aprobación y liberación, liberada la sección, procedemos a la aplicación de soldadura mediante procedimientos SMAW, FCAW y/o SAW, con personal calificado. Terminado este proceso, se realiza una inspección visual y las pruebas no destructivas correspondientes.
<b>III.2.1.2</b>	<b>MONTAJE DE PLACAS LATERALES</b>
III.2.1.2.1	Placa Laterales con Placa Inferior
	Coloca las secciones sobre la plataforma de armado, procediendo a efectuar los trabajos de unión, alineación, nivelación, plomeo, armado y conformado de placas laterales con placa inferior, contraventeando las placas laterales en ambos sentidos de tal forma que no haya interferencia con los centros de los marcos de rigidez. Terminados estos trabajos se procede a la inspección dimensional, para su aprobación y liberación. Liberada las secciones, se procede a la aplicación de soldadura mediante los

	procedimientos, SMAW, FCAW Y/O SAW con personal calificado en estos procedimientos. Terminado el proceso de soldadura, se inspecciona visualmente, para proceder a las pruebas no destructivas.
III.2.1.2.2.	Contra venteo interno
	De acuerdo a los planos constructivos se realiza una plantilla de campo, la cual debe cumplir con las dimensiones reales, esta plantilla será trazada en un área plana, el trazo de la plantilla será visible y se colocarán testigos, después de esto se colocarán las piezas de los contraventeos en la plantilla para armado y conformado, ya terminados los trabajos de armado y conformado, y verificando adimensionalmente y geoméricamente las medidas de acuerdo al WPS aplicable, solo se quedaran sueltos los elementos que se localizan a media altura de las placas laterales, colocando estos después de montada la placa superior
III.2.1.2.3	Montaje de diafragmas
	Los diafragmas se montarán con las placas superiores
III.2.1.2.4	Montaje de la placa superior
	El montaje de esta placa será en tres partes para facilitar las actividades propias del montaje, ya colocadas las piezas continuamos con los trabajos de alineación, nivelación , armado y conformado de las piezas, terminados estas actividades, inspeccionamos dimensionalmente y geoméricamente la sección ( placa superior), liberada la pieza procedemos a la aplicación de soldadura mediante procedimientos en SMAW, FCAW y/o SAW, de acero al WPS asignado y con personal calificado en el proceso, terminando los trabajos de soldadura, se inspecciona visualmente para inspeccionar con pruebas no destructivas.
<b>III.2.1.3</b>	<b>CONTROL DE SOLDADURAS</b>
III.2.1.3.1	Liberación de juntas.- Esta actividad se realiza una vez concluida la liberación topográfica utilizando los formatos correspondientes
III.2.1.3.2	Control de proceso.- Una vez liberada la junta para iniciar la aplicación de soldaduras se inicia el control del proceso de aplicación de soldadura hasta la liberación visual.
III.2.1.3.3	Inspección de pruebas no destructivas.- De acuerdo al formato de jerarquización, frecuencia y tipo de pruebas no destructivas, de la SCT, Dirección

	General de Carreteras Federales, Puente San Cristóbal, Superestructura, se procede a la inspección por medio de la técnica de pruebas no destructivas aplicable (radiografía, ultrasonido o partículas magnéticas) registrando los resultados, Control de técnica correspondiente y al final, esto permite revisar la condición de las soldaduras en un solo formato.
<b>III.2.1.4</b>	<b>LIBERACIÓN FINAL</b>
	Es el resumen de control de cada uno de los procesos utilizados
<b>III.2.1.5</b>	<b>BOLETINES DE CAMPO</b>
	Esta actividad es responsabilidad de construcción apoyada por el departamento de ingeniería y control de calidad. Los boletines de campo reflejan los cambios de proyecto y se elaboran antes de iniciar la actividad que reflejan.

"RECONSTRUCCIÓN DEL PUENTE SAN CRISTÓBAL, EN EL ESTADO DE CHIAPAS"

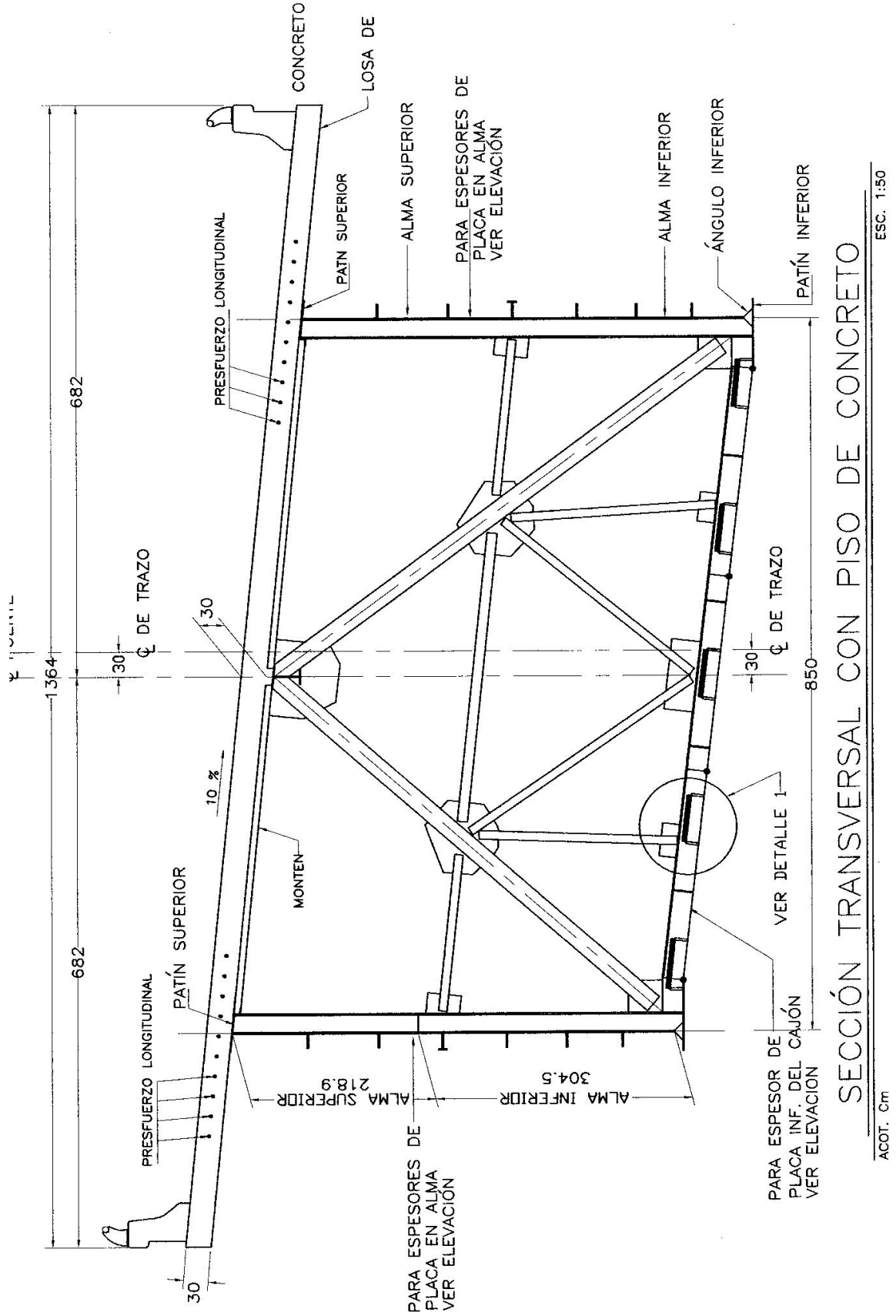


SECCIÓN TRANSVERSAL CON PISO ORTOTRÓPICO

ACOT. Cm

( SE OMITE CARPETA ASFÁLTICA )

ESC. 1:50



SECCIÓN TRANSVERSAL CON PISO DE CONCRETO

ACOT. Cm

ESC. 1:50

INTERIOR DE UNA DOVELA YA MONTADA EN EL PUENTE





### **III.3 – EMPUJADO DE LAS DOVELAS**

#### **OBJETIVO.**

Definir y describir a detalle la secuencia del procedimiento, para el control topográfico, y el conocimiento tanto físico como geométrico en todo momento durante el proceso de empujado de las dovelas del "Puente San Cristóbal".

#### **ALCANCE.**

Este procedimiento aplica a todos los procesos que involucren actividades topográficas para el conocimiento físico y geométrico en cada una de las secciones del Puente San Cristóbal durante, todo el proceso de empujado de la superestructura, así como también el posicionamiento correcto de las dovelas en cada una de las pilas.

Verificar: monitorear, posicionar y emitir datos que sean requeridos tanto por el cliente (SCT) como por los encargados del empujado de dovelas del Puente.

## **DEFINICIONES.**

**PILA:** Elemento estructural de concreto coronado en la parte superior por un cabezal en donde se apoyará la superestructura del puente.

**DOVELA:** Sección estructural de acero que conformará el puente.

**MONITOREO:** actividad de verificación del comportamiento de la estructura por medio de equipo y dispositivos topográficos.

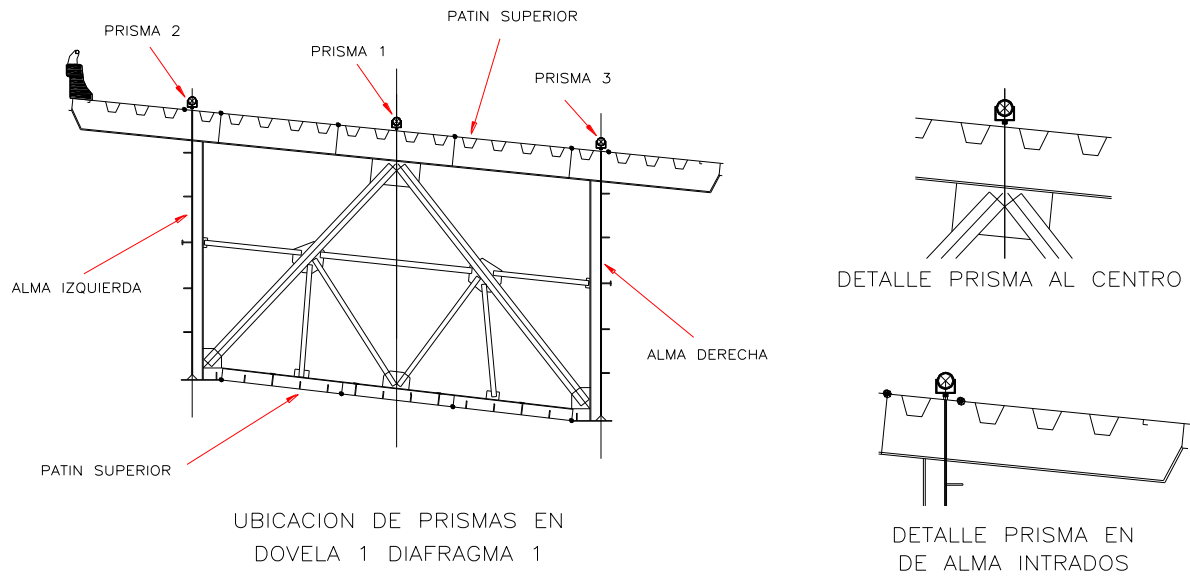
**NIVELACIÓN:** verificación vertical del estado en el que se encuentran las dovelas que conforman el Puente en cada una de las secciones empujadas.

**VASTAGO O BULON:** Perno metálico que en un extremo se fijará sobre una base sólida quedando vertical y al otro extremo se la fijará un reflector, utilizado para que los equipos topográficos puedan realizar la lectura de ubicación exacta del elemento en observación.

**PRISMA:** Dispositivo de cristal prismático cuya función es reflejar el rayo infrarrojo que emite la estación total y por medio de este sistema se calcula la posición del punto en donde se encuentra ubicado este dispositivo reflector.

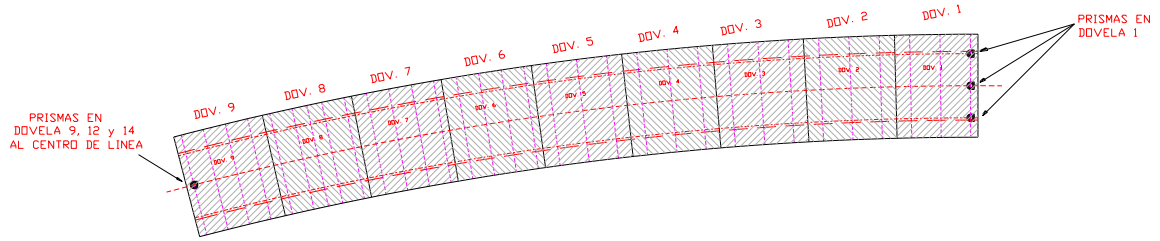
## **DESCRIPCION DEL PROCEDIMIENTO.**

1. Se colocarán puntos de control previamente ligados para la verificación y chequeo del empujado.
2. Se colocaran estos puntos (monumentos o mojoneras) en lugares visibles para que no nos afecte algún obstáculo y así tener un mejor control topográfico (definición de resultados).
3. Se colocarán vástagos en el diafragma 1 de la dovela numero 1, 3 pzas, para alojar prismas, uno en el eje de proyecto y 2 en la intersección del eje de almas con el eje del diafragma 1 dovela 1, para monitorear y obtener coordenadas de posición ( x, y, z ) ; con el fin de determinar la ubicación real de esta estructura con respecto a los ejes de proyecto, estos prismas serán el nº 1, 2 y 3 en la secuencia de la toma de lecturas y su ubicación se ilustra en la figura nº F1.



**FIGURA F1**

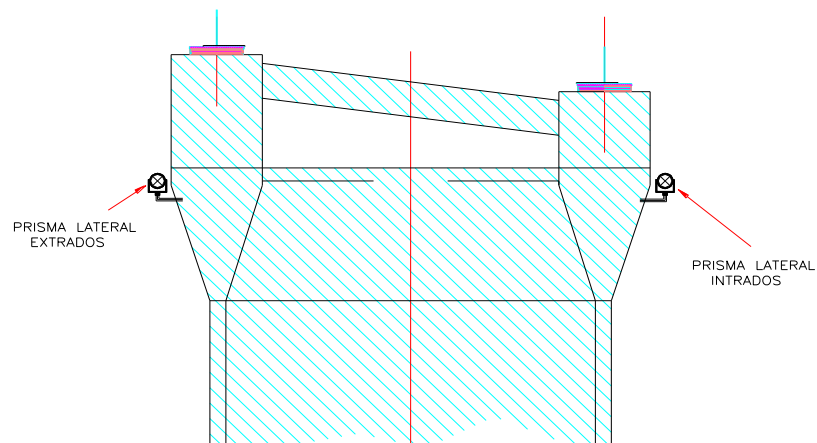
- 3.1 En la figura 2 se muestra la ubicación del prisma reflector en el diafragma 3 de la dovela 9, para el control de las desviaciones que pueda tener el tren de dovelas con respecto al eje de proyecto o detectar giros con respecto al eje de empujado.



UBICACION DE PRISMAS EN EL PATIN SUPERIOR DE LA SUPERESTRUCTURA

**Figura 2**

3.2 Es importante el monitoreo de los cabezales de pila a fin de detectar movimientos, giros o empujes causados por el empujado, por lo que se ubicarán 2 prismas reflectores por cada pila a fin de contar con elementos para detectar cualquier desviación como lo indica la figura 3.



UBICACION DE PRISMAS EN CABEZAL DE PILA

**FIGURA 3**

4. Una vez colocados los vástagos en los cuales se alojan prismas reflectores para el control de las diversas estructuras del puente como se ha indicado, se inicia el procedimiento de monitoreo y control del empujado para la superestructura del puente San Cristóbal.
5. Antes de iniciar los trabajos de empujado se tomaran monitoreos de todos los prismas y testigos con el fin de tener una referencia de arranque, la cual nos servirá de patrón, tomando a su vez la hora de inicio y temperatura ambiente.
6. El orden para la toma de lecturas será de manera secuencial en cada etapa de empujado de 12 metros o cuando el tiempo entre ciclos de empujado así lo permita, ya que se deberán leer como mínimo 12 prismas, por lo que en cada ciclo o gateo de 0.50 m , solo se leerá el prisma 1 para el seguimiento de la superestructura y los prismas de los cabezales se observaran en monitoreo constante durante el propio movimiento del empujado.
7. La secuencia de observación de los dispositivos de control será repetitiva conforme avancen las diversas etapas del empujado y será iniciar siempre con el prisma 1 en dovela 1, y terminando con los cabezales de pila, previendo en estos últimos el contar con los dispositivos de control justo antes de la llegada de la superestructura al cabezal para determinar las desviaciones que puedan ocurrir.
8. Al terminar cada fase o etapa de empujado, se deberá realizar un levantamiento de nivelación a todo lo largo del tren ya empujado, a fin de conocer el comportamiento de la estructura en condiciones diferentes a cuando fue armado sobre apoyos, este levantamiento será en cada uno de los marcos y serán 3 perfiles, uno al centro y otro por cada eje de alma intrados y extrados.
9. Se debe prever que los dispositivos de control del empujado tengan instalada iluminación nocturna a fin de no interrumpir el empujado por falta de visibilidad de éstos.
10. Acopio de información y emisión de resultados.
11. Las observaciones para efectuar el monitoreo del empujado se llevarán a cabo con un equipo topográfico de precisión del tipo estación total y ubicado en un lugar estratégico, (mojoneras y

puntos de control previamente ubicados) donde le permita al operador (Topógrafo), una amplia visibilidad durante el proceso.

12. Se deberá contar con mojoneras y puntos de control distribuidos en las laderas y partes altas de la zona de influencia del puente, y que tienen coordenadas de ubicación UTM con respecto al eje del puente previamente establecidas.
13. Al iniciar la actividad, el topógrafo anotará y grabará datos generales como son: nombre del operador, fecha y hora de inicio de actividades, ubicación del equipo de control (x,y,z), características del equipo topográfico, condiciones generales ambientales , etc.
14. El topógrafo que estará ubicado con la estación total en alguna de las mojoneras de control deberá estar dotado de equipo de telecomunicación eficiente para la transmisión de datos al centro de acopio de información y además contar con comunicación a sus auxiliares distribuidos estratégicamente en los sitios a monitorear.
15. Para el inicio de la toma de lecturas de monitoreo, el operador grabará y anotará: la hora exacta (reloj sincronizado con el resto del equipo topográfico y de control del empujado), el número de evento, el nº de prisma y sus coordenadas observadas (monitoreo) en el momento que el puente dejó de avanzar en el proceso del empujado, y así continuara emitiendo información de cuantos prismas se tengan que monitorear.
16. El sitio de ubicación de la estación total deberá estar resguardado de las inclemencias del tiempo y de cualquier eventualidad atmosférica, así como estar dotado de energía eléctrica.
17. En el centro de acopio de información se debe contar con equipo de comunicación alámbrica a la mojonera de control en donde se encuentran los topógrafos ubicados con la estación total, y a través de esta comunicación se obtendrán los datos de control que emite cada estación total y que serán capturados en la computadora, generando un archivo en el cual se anotaran los datos de campo y a su vez se calcularán las desviaciones y/o comportamiento general de la estructura, para contar con la información de manera inmediata y disponible a quienes intervienen en el empujado de la estructura y a su vez generar datos para el cliente.

- 18.El cliente tendrá a su disposición el archivo electrónico de datos de control, para contar con la información en el momento que la requiera y además podrá solicitar durante el transcurso del empujado, se modifiquen datos, se adicionen, o se le informe en determinado tiempo o situación la información que se está generando.
- 19.El centro de acopio de información estará ubicado donde determine el encargado del empujado y ubicado de tal modo que se pueda tener comunicación con la estación total, el topógrafo y el personal auxiliar de control, con la intención de disponer de la información del comportamiento de la estructura en el instante, etapa o paso que se requiera.
- 20.La información recopilada en la computadora estará disponible y se estará proporcionando de manera verbal o impresa en el momento que sea requerida y en cualquier etapa del empujado al personal encargado de esta actividad.
- 21.Las actividades descritas en este procedimiento son generales y aplican para cualquier etapa de empujado desde el estribo 1 hacia la pila nº 2, margen derecha y del estribo 4 hacia la pila 3 margen izquierda, uniéndose las dos estructuras en el centro geométrico del puente, para que posteriormente se construya la dovela de ajuste, dando por terminado así la etapa de empujado.
- 22.Al final del empujado se obtendrá una nivelación de perfil general de la estructura, para proceder a la colocación de los apoyos definitivos en cada una de las pilas, y el descenso a estos de la superestructura.
- 23.Al final del empujado, se ubicará el nivel correspondiente a cada apoyo definitivo, demoliendo antes los apoyos provisionales para el empujado de la estructura, la cual se sostendrá con gatos de acuerdo al procedimiento de construcción y posteriormente descenderla a su ubicación final de proyecto.

### **III.4 – CONTROL DE CALIDAD**

#### **OBJETIVO**

Los materiales y personas encargados de las soldaduras, fueron seleccionados de manera estricta, y se llevaron a cabo procedimientos de mantenimiento especiales, para los electrodos, los fundentes, las fuentes de poder, con el objetivo primordial de evitar problemas como el que les antecede, y por el cual se reconstruyó el puente: el colapso.

#### INSPECCIÓN VISUAL DE SOLDADURAS

##### DESARROLLO

Toda inspección visual de soldadura se debe realizar de forma directa preferentemente, es decir a una distancia de 30cm máximo de distancia y a un ángulo visual de 30grados máximo, si es válido utilizar magnificadores visuales (lupas) para la interpretación de indicaciones.

##### Antes de la soldadura

Se debe verificar:

Toda la superficie a soldar esté limpia y no contenga pinturas, zinc, óxido u otros agentes contaminantes.

Los soldadores estén debidamente calificados tanto para el proceso de soldadura a utilizar así como para la posición de soldadura a aplicar.

Exista y se respeten las especificaciones del procedimiento de soldadura.

Se precalienten superficies a unir como lo requiere el procedimiento.

Las máquinas a utilizar estén debidamente verificadas.

Los materiales de aporte sean los adecuados y que el manejo de éstos sea el adecuado, sobretodo para el manejo de electrodos y fundentes, el cual se menciona más adelante.

El alineamiento entre las superficies sea el adecuado 3mm ó 10% del espesor más delgado a unir.



La preparación "ranura" cumpla con lo requerido por planos de taller y/o con preparaciones indicadas en el procedimiento.

El ensamble de las piezas a unir sea el indicado en planos buenos para construcción.

Que el metal de respaldo que se aplica, esté bien unido a metal base la máxima separación es de 2mm.

Durante la soldadura.

A intervalos el inspector debe verificar que:

Las temperaturas de precalentamiento y temperatura entre pasos sea la adecuada en acuerdo al procedimiento.

La técnica de soldadura de cada soldador u operador de máquina soldadora.

La limpieza entre pasos de soldadura.

Los electrodos y fundentes sean utilizados en la posición tipo de soldadura, corriente y amperaje y polaridad correcta.

El avance de soldadura Ascendente en posición 3g, no se acepta descendente en ningún caso.

Los gases y fundentes sean los requeridos.

La limpieza entre pasos subsecuentes de soldadura sea suficiente.

La correcta utilización del respaldo.

Los amperajes, voltajes, velocidad de avance y progresión de soldadura sean los indicados.

Tamaño y longitud de la soldadura cumpla con lo establecido en planos, procedimiento y código.

Posterior a la soldadura.

Se debe inspeccionar que:

La limpieza de superficies y soldadura sean los adecuados y que el chisporroteo sea eliminado.

La dimensión de soldadura sea necesaria.

El perfil y acabado de soldadura cumpla con lo exigido por código.

Refuerzo de soldadura emerja suavemente y no sea mayor a 3mm ó 10% del espesor más delgado de metales unidos.

El alineamiento de superficies unidas sea de 3mm ó 10% del espesor más delgado.

La soldadura sea identificada ó sea llenada carpeta de inspector para saber el nombre ó estampa de soldadores que intervinieron en la unión soldada.

Que el tamaño y longitud de la soldadura cumplan con lo establecido en planos, procedimiento y código.

La soldadura sea correcta en base al criterio de aceptación.

Criterio de aceptación:

No se considera aceptable ninguna soldadura que durante su proceso de elaboración incumpla con los parámetros a verificar antes, durante y posterior a la soldadura y el inspector visual debe detener cualquier trabajo que así sea.

Si todo lo anterior cumple la soldadura se aceptará siempre y cuando esté conforme a los requerimientos siguientes:

La soldadura no debe tener grietas o fisuras.

La soldadura no contiene faltas de fusión entre pasos de soldadura ó entre soldadura y metal base.

Se eliminaron mediante esmeril todos los cráter de la sección de soldadura, solo en filetes de soldadura intermitente se aceptarán cráter siempre y cuando éstos (cráter) se presenten por fuera de la longitud mínima exigida por planos.

La frecuencia de porosidad en un filete de soldadura no debe ser superior a un poro en 100mm de longitud de soldadura ó 6 poros en 1200mm de soldadura. Y el diámetro máximo de un poro es de 2.4mm.

Un filete de soldadura puede ser de tamaño menor a lo indicado solo en 2mm (es decir se requiere filete de 8mm es aceptable filete de 6mm), pero sólo en un 10% de la longitud del filete. En uniones de almas y patines de vigas no se aceptan filetes de dimensión menor a la especificada a los extremos de la unión, en una longitud de dos veces el ancho del patín.

Juntas de penetración completa con eje de soldadura perpendicular a eje de puente (tensión principal de puente) no se acepta porosidad alguna. Para otras juntas de ranura la frecuencia de porosidad no debe de exceder un poro en 100mm de longitud de soldadura ni tampoco es aceptable poros mayores a 2.4mm.

#### RECEPCIÓN DE PLACAS Y MATERIAL PARA SOLDADURA.

El procedimiento es el siguiente:

Llegada de suministro de placas, perfiles, material para soldadura.

Almacén avisa a control de calidad obra o taller.

Verificación de certificados de material y correspondencia con suministro necesario.

Inspección visual, dimensional y documental de suministro.

Toma de decisión de aceptación de suministro, se marca con pintura de color verde las partes de suministro.

Control de calidad llena recepción de suministro, firmando de aceptado certificado de material y archivando documentos.

Se acepta y por control de calidad y almacén procede a la recepción de suministro dando entrada a suministro de acuerdo a su sistema.

El área de almacén procede a mantener en condiciones apropiadas los suministros administrando hasta que construcción requiera su uso.

## CALIFICACIÓN DE SOLDADORES Y OPERADORES DE MÁQUINAS SOLDADORAS.

Éste procedimiento lleva todo un protocolo de selección, en donde se realizan varias pruebas a los posibles candidatos, con el fin de obtener personal capaz para el puesto, que conozca las técnicas para soldado, limpieza, esmerilado, sin grietas, etc. El procedimiento es muy minucioso, y requiere supervisores de alta calidad, para una correcta evaluación de los candidatos.

## MANTENIMIENTO DE ELECTRODOS Y FUNDENTES.

Su objetivo es establecer el control de los electrodos durante su almacenaje y el control del suministro de los materiales durante las etapas de aplicación de soldadura en las dovelas de la superestructura del puente.

Algunas definiciones importantes para este proceso:

Fundente o recubrimiento de electrodo revestido. Es un material instalado en el electrodo que debido a sus características hidrocópicas debe ser almacenado en condiciones de temperatura y humedad controlada.

Secado. Operación referida al retiro de la humedad del recubrimiento de electrodos por medio de calentamiento en un horno durante un tiempo definido y una temperatura controlada.

Cuarto seco. Área destinada para almacenar los electrodos para soldadura y fundentes, donde ésta área específica de almacén debe contar con piso de madera para que mantenga separado del suelo y muros al menos a 10cm de distancia.

Responsabilidades.

Jefe de almacén de obra. Tiene la responsabilidad de mantener los materiales de soldadura en las condiciones aquí descritas, desde la recepción hasta la entrega al almacenista del frente para su entrega al responsable de distribuir los electrodos.

Almacenista de frente. Responsable de mantener en condiciones secas y en las dotaciones adecuadas los electrodos para su entrega al responsable de su distribución.

Responsables de distribución de electrodos. Personal de producción que lleva el control de distribución de los electrodos a los soldadores, de acuerdo con el avance de producción y las indicaciones del jefe de producción.

Soldadores. Tienen la obligación de apegarse a los cuidados de los electrodos mencionados en este instructivo para el adecuado control de los electrodos.

Jefe de producción. Responsable directo de llevar a cabo estas instrucciones.

Inspector de control de calidad. Su responsabilidad es vigilar el cumplimiento de este instructivo y notificar cualquier desviación al coordinador.

Representante de aseguramiento de calidad. Es responsable de verificar el cumplimiento de éste instructivo, a través de las revisiones aleatorias a las actividades y procesos establecidos en este documento.

Instrucciones.

Recepción. Al recibir de los subproveedores los materiales de soldadura, el jefe de almacén revisa que los electrodos vengan en sus empaques originales de fábrica sin ninguna alteración. Cuando se detecten algunos empaques con alteración se deberá regresar al proveedor para que se realice el cambio correspondiente.

Tipo de control. Para mantener los electrodos en uso, se especifican dos formas de control: En horno de secado y en horno de mantenimiento.

Secado. Los electrodos deben estar almacenados en sus empaques de fabrica, en caso de no traer protector impermeable(de plástico), se debe aplicar antes de uso, las siguientes consideraciones: los identificados como a5.1 deben someterse a un proceso de secado, manteniéndose dentro del horno a la temperatura entre 230 y 290 grados celsius, en el tiempo mínimo de 2 horas. Y los a5.5 deben ser secados a un tiempo de una hora mínimo, entre 370 y 425 grados.

Mantenimiento. Los electrodos que se extraen del empaque impermeable de fábrica pueden introducirse al horno de mantenimiento a la temperatura mínima de 120 grados Celsius, o bien emplearlos directamente de su empaque cuidando en todo momento de no exceder el tiempo de 4 horas expuestos al ambiente, después de este tiempo deberán reciclarse en el horno de secado lo cual únicamente se puede hacer una vez, después de la cual deberá desecharse.

Vigencia. Todos los electrodos deben ser secados no más de una vez, en el horno de secado( de 230 a 290 grados Celsius).

El fundente por el procedimiento arco sumergido se almacena en cuarto seco en sus empaques impermeables y herméticos por un tiempo máximo de 6 meses.

Los electrodos que se extraen del horno de mantenimiento al de campo, deben de introducirse al horno portátil en las dotaciones que el soldador calcule aplicar.

Las cantidades que no se utilicen, deben ser regresadas al horno de mantenimiento para cumplir y mantener con la especificación de temperatura de 120 grados. Si los electrodos estuvieron expuestos al medio ambiente por más de 4 horas, los mismos podrán secarse en el horno de secado sólo una vez para utilizarse, cualquier electrodo que ya fue secado no puede volver a ser secado.

Para el control de uso de electrodos se debe contar con personal de producción capacitado en este instructivo, para que colabore con el monitoreo y tiempo de vigencia o caducidad en el uso de estos materiales.

## APLICACIÓN DEL RECUBRIMIENTO ANTICORROSIVO DE LA ESTRUCTURA.

### Objetivo.

Describir los métodos, materiales y parámetros necesarios para lograr un sistema de protección anticorrosiva a nivel primario, con una duración en servicio de 20 años mínimo y escribir la secuencia ordenada de las actividades necesarias para su correcta aplicación en acero al carbón del cajón ortotrópico formado basándose en placa de acero del puente San Cristóbal 24+921.

### Alcance.

Este capítulo incluye la descripción general y específica de los sistemas de recubrimiento por aplicar y de los materiales necesarios hasta el grado primario. Incluye también los procedimientos para la preparación de la superficie de acero, los procedimientos para la aplicación de los productos especificados en proyecto y procedimientos de inspección necesarios hasta la capa de primario.

Aplicable a los trabajos que se realicen en un patio de pintura o en un taller de fabricación de los elementos estructurales, al nivel de piso en las inmediaciones del sitio, y/o sobre la estructura ya colocada.

Los sistemas de recubrimiento aquí especificados son aplicables a las superficies exteriores del cajón, expuestos directamente al ambiente, y sobre las superficies interiores del cajón que conforma el túnel interno de las dovelas y en general en todas aquellas áreas de acero que tengan diferentes niveles de accesibilidad ya sea durante o después de la fabricación de las dovelas.

## Definiciones.

Elastomérico. Dícese la acción de aplicar productos químicos con propiedades ahuladas para la protección de superficies de acero contra la acción del interperismo y el medio ambiente.

Desbaste. Es la acción de aplicar reducciones a un elemento metálico.

Sand – Blast. Limpieza con chorro de arena, entiéndase como chorro de arena el material granular de sílice "arena" proyectado mediante aire a presión sobre metal.

## Descripción General del Sistema de Recubrimiento.

Sistema de recubrimiento anticorrosivo en las áreas expuestas de la superestructura, incluye limpieza o preparación de la superficie y la aplicación de 1 capa de recubrimiento, según se indica a continuación.

Limpieza. Todas las superficies metálicas serán preparadas de acuerdo a la especificación de la Steel Structure Painting Council (SPSC). Limpieza con chorro de arena cercano a metal blanco PSC-SP-10. La superficie debe cumplir con los requerimientos de rugosidad del perfil de anclaje especificado en el estándar aplicable, su apariencia debe ser uniforme, con algunas pequeñas sombras o véticas de color. El chorro limpia hasta que por lo menos un 95% de la superficie esté libre de todo residuo visible y su color será similar en toda la superficie.

Durante la limpieza se usa arena sílica limpia de impurezas como tierra, materiales vegetales u otro que no sea sílice por lo tanto, se usa tamaño de grano entre mallas 10M y 24M el cual corresponde a la NOM-B-231. la arena sílica debe estar limpia, seca y libre de contaminantes. Este tamaño permite obtener perfil de anclaje promedio de 1 a 2.5mm de profundidad.

Es recomendable que antes del montaje de las dovelas, las superficies de acero ya estén recubiertas con el primario, posteriormente se completarán las capas del sistema que aun no hayan sido aplicadas y se realizará la reparación de daños que sufra el recubrimiento durante el montaje y la colocación de los materiales que sobre áreas críticas. Es deseable finalmente se aplique la segunda y ultima capa general de acabado en la estructura ya montada.



## Descripción del proceso

Limpieza. Previa a la limpieza del acero, se recomienda realizar una limpieza mecánica manual, para eliminar la posible oxidación gruesa que pudiese estar presente y los residuos, que no estén firmemente adheridos al metal, seguida de una limpieza con trapo limpio y con solventes o detergentes biodegradables, para eliminar la grasa residual si existiese.

Se aplicará sobre el área tratada con el chorro de arena, misma que control de calidad verificó cuando y que está almacenada en un lugar seco y protegido de la lluvia.

Todas las superficies metálicas serán preparadas de acuerdo a la especificación de la SSPC. Limpieza con chorro de arena cercano a metal blanco.

Control de calidad verifica aleatoriamente que:

\*La superficie debe cumplir con los requerimientos de rugosidad del perfil de anclaje especificado en el estándar aplicable, su apariencia debe ser uniforme, con algunas pequeñas sombras o vetas de color. El chorro limpia hasta que por lo menos un 95% de la superficie esté libre de todo residuo visible y su color será uniforme en toda la superficie.

\*El uso de arena sílica limpia de impurezas como tierra, materiales vegetales u otro que no sea sílice por lo tanto, se usa tamaño de grano entre mallas 10M y 24M, el cual corresponde a la NOM-B-231. La arena sílica debe estar limpia, seca y libre de contaminantes. Este tamaño de grano permite obtener perfil de anclaje promedio de 1 a 2.5mm de profundidad.

\*Se está realizando sistemáticamente el control y medición de humedad relativa y temperatura así como el cumplimiento de tiempos entre limpieza y recubrimiento y el respectivo llenado de reportes de medición de espesores secos.

Aplicación de recubrimientos anticorrosivos.

Durante la aplicación se deberá tener una humedad relativa menor o igual a 90% y la temperatura del sustrato deberá estar a 2.8 grados arriba del punto de rocío como mínimo. Todas las superficies limpiadas deberán de ser recubiertas antes de que transcurran 4 horas a partir de haber terminado la limpieza con arena.

Los productos son dos componentes, que deberán mezclarse y homogeneizarse perfectamente, utilizando la proporción indicada por el fabricante.

Una vez homogeneizada la mezcla, el recubrimiento será bombeado del recipiente de pintura, con el equipo Airless de aplicación, mediante una bomba con relación de bombeo motor-piston igual o mayor a 30:1 regulando presión y orificio de salida del recubrimiento de acuerdo a sus características, o bien la mezcla podrá ser aplicada mediante un sistema de aspersión con aire a alta presión convencional.

Debido a que la reacción química del recubrimiento es exotérmica deberá tenerse especial cuidado en su tiempo de vida útil(4 horas), ya que si este se sobrepasa al especificado, se puede endurecer dentro del equipo e inutilizarlo.

Inmediatamente después de terminar la aplicación, el equipo deberá limpiarse perfectamente con solvente.

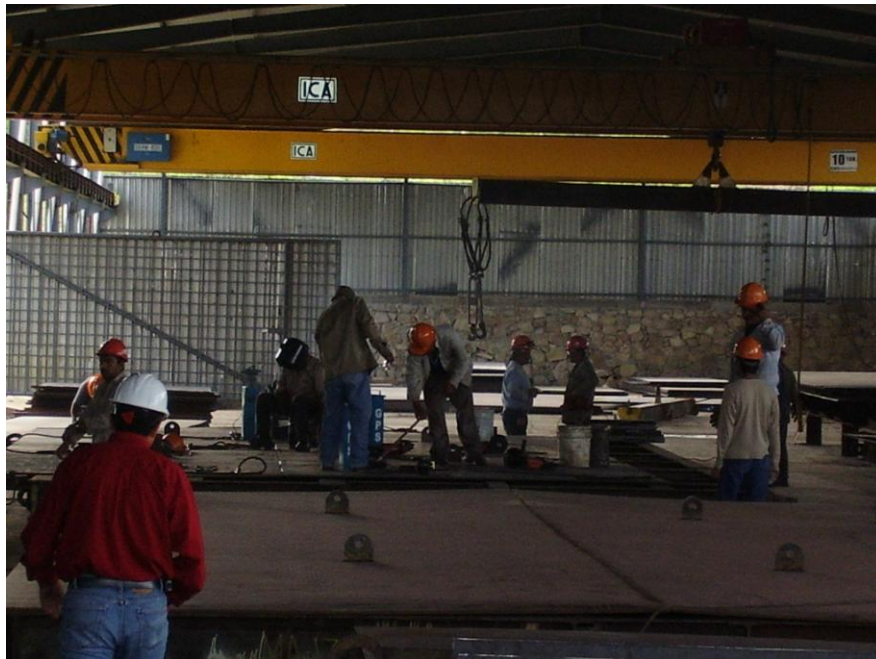
El personal de aplicación deberá contar con equipo de protección visual (goggles y gafas) y cuando se utilice solventes para la limpieza del equipo deberá prestar protección respiratoria contra gases y vapores orgánicos.

Para evitar la dispersión de la pintura y polvos del sistema de sand blast, colocar mamparas en los extremos de las dovelas que se estén pintando. Colocar extractores de humos para minimizar la contaminación dentro de las áreas de trabajo confinadas por las mamparas.

## IMÁGENES



TALLER DE FABRICACIÓN



SE OBSERVAN LAS GRÚAS, EL PERSONAL Y LOS EQUIPOS DE SOLDADO, REALIZANDO DETALLES EN UNA DE LAS PLACAS



PERSONAL SOLDANDO



"RECONSTRUCCIÓN DEL PUENTE SAN CRISTÓBAL, EN EL ESTADO DE CHIAPAS"



EL PERSONAL EQUIPADO CON CASCO, GANTES Y MASCARILLA PARA SOLDAR.



INTERIOR DEL TALLER

"RECONSTRUCCIÓN DEL PUENTE SAN CRISTÓBAL, EN EL ESTADO DE CHIAPAS"



TAMAÑO DE LAS PLACAS



## **IV. PROGRAMA DE LA OBRA**

#### **IV. PROGRAMA DE LA OBRA**

##### OBJETIVO

En este capítulo, se presenta de manera breve, el programa de la obra, en sí, las actividades, sus respectivos periodos de inicio y término procedimiento en su conjunto, incluyendo el armado de las dovelas, sus refuerzos, todos los procedimientos para llevarlas al puente y colocarlas; así como las actividades para la revisión estructural y física del puente; las terracerías; el empujado; las obras civiles; la limpieza de la barranca; tratamientos y retenidas; pavimentos; sistema anticorrosivo de dovelas; hidrodemolición y finalmente señalización.

Al final del programa, se hace una referencia breve a cada una de las actividades, a manera de descripción, lo cual puede servir a familiarizar a las personas que lean este documento con los conceptos que aquí se mencionan.



**PROGRAMA DE LA OBRA**

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>Duración</b>	<b>Inicio</b>	<b>Fin</b>
<b><u>DOVELAS</u></b>			
<b>SUMINISTRO ACERO ESTRUCTURAL</b>			
Sum. Acero Estruc. Dovelas	60	28-Jun-05	5-Sep-05
Sum. Tubería p/dovelas	54	28-Jun-05	29-Ago-05
<b>FABRICACION DOVELAS TALLER</b>			
Habil. Dovelas en taller	102	8-Ago-05	3-Dic-05
Armado Dovelas en taller	119	23-Ago-05	7-Ene-06
Habil. Tuberías en taller	108	5-Sep-05	7-Ene-06
Armado tubería en taller	107	6-Sep-05	7-Ene-06
Flete de dovelas	102	23-Nov-05	21-Mar-06
<b>ARMADO DOVELAS TALLER</b>			
Armado y confo. Dovelas en obra	89	15-Dic-05	28-Mar-06
Armado y conf.de tubería en obra	89	15-Dic-05	28-Mar-06
Pernos cortante en obra	89	15-Dic-05	28-Mar-06
Tapas extremas de dovelas en obra	89	15-Dic-05	28-Mar-06
<b>CONTROL DE CALIDAD</b>			
Control de calidad	109	3-Sep-05	7-Ene-06
<b><u>REVISIÓN ESTRUCTURAL Y FISICA PTE.</u></b>			
<b>REVISIÓN ESTRUCTURAL PTE.</b>			
Rev. Estructural	46	1-Sep-05	24-Oct-05
Inspección de dovelas lado San Cristóbal	46	1-Sep-05	24-Oct-05
<b><u>REFUERZO DOVELAS SAN CRISTOBAL</u></b>			
Refuerzo lado San Cristóbal de las Casas	58	26-Sep-05	1-Dic-05
<b><u>TERRACERÍAS</u></b>			
Retiro de terraplén	26	11-Jul-05	9-Ago-05
Terraplén de relleno	12	28-Feb-06	13-Mar-06

EMPUJADO

Protecc. Anticorr. Cables Presf.	6	2-Sep-05	8-Sep-05
Tensado Cables Presf. Marg. Izq.	27	15-Nov-05	15-Dic-05
Empujado de puente	61	15-Dic-05	28-Feb-06
Placas de neopreno	14	25-Ene-06	9-Feb-06
Apoyos fijos	14	19-Ene-06	3-Feb-06
Apoyos Unidireccionales	14	24-Feb-06	11-Mar-06
Juntas de dilatación	14	24-Feb-06	11-Mar-06

OBRA CIVIL

DEMOLICION PILA 2

Protección de zapata pila 2	68	14-Jul-05	30-Sep-05
Demolición pila 2	42	13-Ago-05	30-Sep-05
Limpieza para iniciar reconstrucción	24	3-Sep-05	30-Sep-05

CONSTRUCCIÓN PILA 2

Acero rfzo. Cpo. Pila 2	49	29-Sep-05	24-Nov-05
Concreto Cpo. Pila 2	49	6-Oct-05	1-Dic-05
Acero Cabezal Pila 2	7	1-Dic-05	8-Dic-05
Concreto Cabezal Pila 2	6	3-Dic-05	9-Dic-05
Presfuerzo Cabezal Pila 2	4	9-Dic-05	13-Dic-05

CONSTRUCCION ESTRIBO 1

Acero Refuerzo Estribo 1	4	18-Feb-06	22-Feb-06
Concreto estribo 1	2	22-Feb-06	23-Feb-06
Mampostería estribo 1	4	23-Feb-06	27-Feb-06

CONSTRUCCION ESTRIBO 4

Acero Refuerzo Estribo 4	4	18-Feb-06	22-Feb-06
Concreto estribo 4	2	22-Feb-06	23-Feb-06
Mampostería estribo 4	4	23-Feb-06	27-Feb-06
Losa protecc. Estribo 4	6	22-Feb-06	28 FB 06

LOSA DE CALZADA

Acero refuerzo losa calzada	49	29-Nov-05	24-Ene-06
Concreto losa calzada	46	5-Dic-05	26-Ene-06
Presfuerzo long. Losa calzada	47	9-Dic-05	1-Feb-06

CONTRAPESO

Concreto en contrapeso	8	12-Ene-06	20-Ene-06
------------------------	---	-----------	-----------

LOSAS ACCESOS

Concreto losa acceso	5	13-Mar-06	17-Mar-06
Acero refuerzo losa acceso	4	13-Mar-06	16-Mar-06
Cartón asfaltado losa acceso	2	16-Mar-06	17-Mar-06

GUARNICION EN DOVELAS

Acero refzo. Guarnición extrados	50	29-Nov-05	25-Ene-06
Concreto guarnición estrados	50	29-Nov-05	25-Ene-06
Acero refzo. Guarnición intrados	85	29-Nov-05	7-Mar-06
Concreto guarnición intrados	49	29-Nov-05	24-Ene-06

TRABAJOS DIVERSOS

Parapeto	26	7-Mar-06	5-Abr-06
Concreto guarn. Y postes acceso	4	18-Mar-06	22-Mar-06
Acero rfzo. Guarn. Y postes acceso	4	18-Mar-06	22-Mar-06
Lavaderos de concreto	12	23-Mar-06	5-Abr-06
Zampeados de mampostería	12	23-Mar-06	5-Abr-06

LIMPIEZA DE BARRANCA

Limpieza fondo de barranca	58	11-Oct-05	16-Dic-05
----------------------------	----	-----------	-----------

TRATAMIENTOS Y RETENIDAS

TRATAMIENTOS DE TALUDES

Concreto lanzado	28	14-Dic-05	14-Ene-06
Malla triple torsión	28	14-Dic-05	14-Ene-06
Anclas fricción	28	14-Dic-05	14-Ene-06
Drenes	28	14-Dic-05	14-Ene-06
Amacice de taludes	28	14-Dic-05	14-Ene-06

RETENIDAS

Retenida provisional	20	14-Dic-05	5-Ene-06
Anclajes para retenidas	20	14-Dic-05	5-Ene-06

PAVIMENTOS

Sub base y base	2	23-Mar-06	24-Mar-06
Carpeta asfáltica	3	25-Mar-06	28-Mar-06
Carp. Asf. S/piso ortotropico	3	25-Mar-06	28-Mar-06
Riego de sello	2	29-Mar-06	30-Mar-06

SISTEMA ANTICORROSIVO DOVELAS

Sistema anticorrosivo en taller	58	16-Sep-05	22-Nov-05
Sistema anticorrosivo en obra	40	1-Mar-06	15-Abr-06

HIDRODEMOLICIÓN

Hidrodemolición de losa	28	29-Oct-05	30-Nov-05
-------------------------	----	-----------	-----------

SEÑALIZACION

Defensa Metálica	6	29-Mar-06	4-Abr-06
Señalamiento horizontal	4	5-Abr-06	8-Abr-06
Señalamiento vertical	6	29-Mar-06	4-Abr-06
Violetas	4	10-Abr-06	13-Abr-06

**IMÁGENES**



RETIRO DE MATERIAL



ESTRUCTURA ANTES DE DEMOLERSE



CAMINOS DE ACCESO A LA ZONA



ESTRIBO

*"RECONSTRUCCIÓN DEL PUENTE SAN CRISTÓBAL, EN EL ESTADO DE CHIAPAS"*



MAQUINARIA



LADO TUXTLA ANTES DE LA DEMOLICION

"RECONSTRUCCIÓN DEL PUENTE SAN CRISTÓBAL, EN EL ESTADO DE CHIAPAS"



LADO SAN CRISTÓBAL



DESPUÉS DE LA DEMOLICIÓN





CABLES DE REFUERZO EN LOSAS



DOVELAS

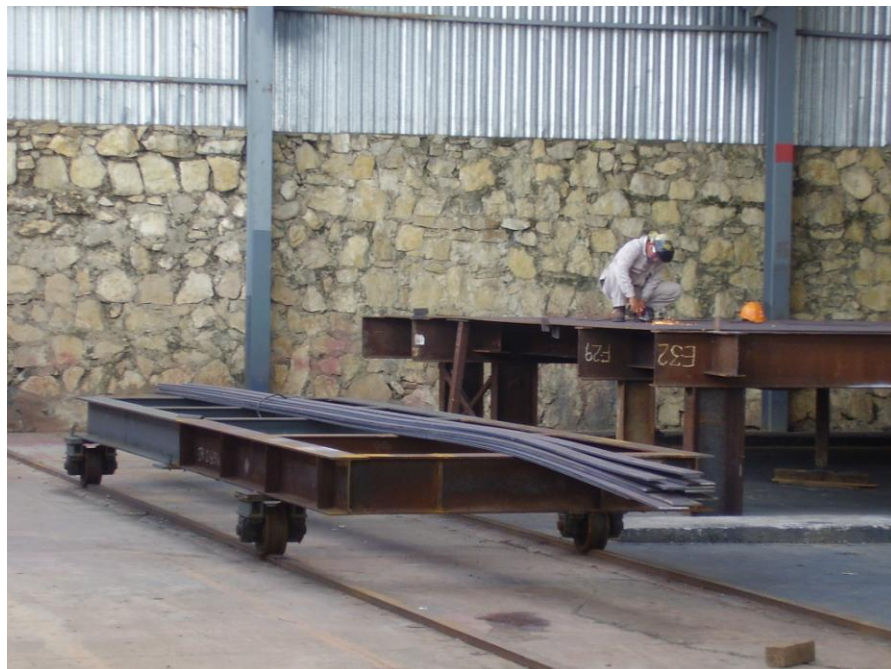


DESPUES DE LA VOLADURA, ASI QUEDÓ LA PILA,  
Y EN EL FONDO SE OBSERVA LA CHATARRA



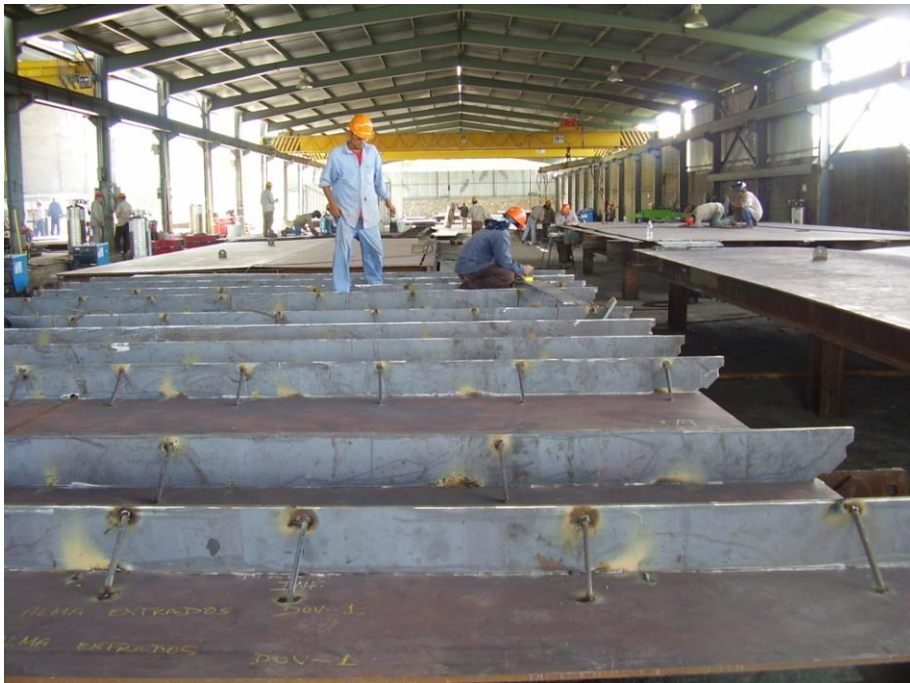
PARA RETENIDAS

IMÁGENES DEL TALLER





PLACAS Y GRÚA



MATERIAL EN OBRA



CAMAS DE ACERO Y BODEGA



HABILITADO



ZONA TUXTLA, ANTES DEL ARMADO Y MONTAJE DE SUS RESPECTIVAS DOVELAS



TRANSPORTE DE GRÚA, AL SITIO

PUENTE TERMINADO



LEVANTAMIENTO PARA DIMENSIONES DE DOVELA DE CIERRE



ÚLTIMAS ETAPAS





*"RECONSTRUCCIÓN DEL PUENTE SAN CRISTÓBAL, EN EL ESTADO DE CHIAPAS"*



## **CONCLUSIONES**

## **CONCLUSIONES**

De acuerdo a lo mostrado en este documento, se puede concluir que ha sido para mí muy enriquecedor recopilar y mostrar al lector, un trabajo donde se pueden apreciar a detalle, algunos de los procesos que forman parte de la construcción de un puente, que no era fácil concebir desde su diseño, y que causó problemas serios en determinado momento, debido a mínimos detalles que en su momento no fueron considerados de la manera como debían.

La primera empresa pasó por alto estos detalles, y pudieron ser de consideraciones catastróficas, no sólo económicas, sino humanas, en caso de que el puente hubiese fallado o colapsado en un momento distinto al ocurrido, por ejemplo en plena operación.

Contamos con la suerte de que eso no ocurrió, pero se dejaron ver los errores, que por falta de experiencia, o precaución, o negligencia, como suele ocurrir en varios proyectos en nuestro país, al no haber un adecuado control de calidad, en materiales, procesos, mano de obra, etc.

La empresa que reconstruyó el puente (ICA), cuenta con muchos años de experiencia, y siendo éste un factor importante para ser considerada por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, tuvo a bien el encargo de esta gran obra.

El puente, que desde un inicio mostraba una forma peculiar, por ser una estructura de acero en forma de curva, apoyada sobre los macizos rocosos simplemente, es decir una cimentación muy sencilla, vino a reflejar quizá, que otro tipo de trazo en otra zona, hubiese sido una mejor opción. El colapso apoyó estas teorías.

Pero sin duda, ICA, nos muestra una vez más que es una empresa que no tiene imposibles, y con un adecuado programa de obra, un buen control de calidad, tanto para la selección de los materiales, los equipos, la mano de obra, pudo concluir de forma satisfactoria esta gran obra.

A mí me deja mucho aprendizaje, el conocer a detalle los procedimientos para la construcción de la superestructura, ya que en mi corta experiencia profesional no había tenido la oportunidad de verlo.

Los procesos de armado, ensamblado, empujado, conllevan un gran número de procesos pequeños, que todos unidos dan forma a este gran concepto: el puente San Cristóbal.

Uniando todas las piezas, se puede llegar a lograr lo que sea, y a superar obstáculos, tan grandes, como ese aviso: el colapso. Donde se prendieron los focos rojos, y parecía que éste proyecto no llegaría a término. Una corrección en el diseño tuvo que ser necesaria.

Curioso, el saber de los habitantes de la zona, que por sus creencias, inventan cosas, como que estaba maldito el puente, o la naturaleza no quería que se construyera. Pero de nueva cuenta la ingeniería civil mexicana, nos muestra que está al nivel de cualquier país del mundo, y supera con conocimientos físicos, químicos, matemáticos, de planeación, constructivos, a cualquier falacia o impedimento geográfico (Zona y sismos).

## **BIBLIOGRAFÍA.**

## **BIBLIOGRAFÍA.**

- Comisión Federal de Electricidad, Diseño por sismo Manual de Diseño de Obras Civiles, CFE y IIE, México, 1993.
- Herrera, S. C., "Regionalización de los deslizamientos en México", Memorias Reunión Nacional de Mecánica de Suelos, Querétaro, Qro. Noviembre 2002
- "Informe final sobre los trabajos de exploración geológica y geofísica y análisis geotécnico realizados en el sitio donde se construirá el puente San Cristóbal de la autopista Tuxtla Gutiérrez-San Cristóbal de las Casas en el Estado de Chiapas". Elaborado por: Geotecnia, S. C., Octubre, 1999.
- "Análisis de estabilidad y comportamiento sísmico de las pilas 2 y 3 del puente San Cristóbal". Elaborado por: Ingenieros Asociados en Geotecnia y Supervisión, S. A. De C. V. Agosto, 2002.
- Instructivos para control de calidad, ICA Construcción Civil, ICA Chiapas.
- Plan de arranque, ICA Construcción Civil, ICA Chiapas.
- Plan de ejecución, ICA Construcción Civil, ICA Chiapas.
- Programa de Obra, ICA Construcción Civil, ICA Chiapas.
- Demolición, ICA Construcción Civil, ICA Chiapas.