

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA-ENERGÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA**



**“OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE COBERTURA
METÁLICA DEL ANDÉN- PROYECTO METRO DE LIMA LÍNEA 1,
TRAMO 2, AV.GRAU – SAN JUAN DE LURIGANCHO”**

**INFORME DE EXPERIENCIA LABORAL PARA OBTENER EL TÍTULO
PROFESIONAL
DE INGENIERO MECÁNICO**

**PRESENTADO POR:
BACH. JOEL LEONARDO ALVAREZ HINOSTROZA**

**CALLAO, MAYO, 2014
PERÚ**

ACTA PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL
MODALIDAD: INFORME DE EXPERIENCIA LABORAL

Siendo el día VEINTIOCHO del mes de MAYO del dos mil catorce, a las 12.00 horas, se procedió a la instalación del Jurado de Exposición de Informe de Experiencia Laboral de la Facultad de Ingeniería Mecánica - Energía (Resolución Decanal N° 008-2014-D-FIME-J-EXP-IEL), conformado por los siguientes docentes:

- **PRESIDENTE** : DR. OSCAR TEODORO TACZA CASALLO
- **SECRETARIO** : ING. GUSTAVO ORDOÑEZ CÁRDENAS
- **VOCAL** : ING. MARTÍN TORIBIO SIHUAY FERNÁNDEZ
- **ASESOR** : MG. ARTURO PERCEY GAMARRA CHINCHAY

Con el fin de dar inicio a la EXPOSICIÓN DEL INFORME DE EXPERIENCIA LABORAL presentado por el Sr. Bachiller JOEL LEONARDO ALVAREZ HINOSTROZA quien habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de **INGENIERO MECÁNICO**, expondrá el Informe de Experiencia Laboral titulado: "OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DE COBERTURA METÁLICA DEL ANDÉN - PROYECTO METRO LIMA LÍNEA 1, TRAMO 2, AV. GRAU - SAN JUAN DE LURIGANCHO".

Con el quórum reglamentario de Ley se dio inicio a la Exposición de Informe de Experiencia Laboral de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente, luego de las preguntas formuladas y efectuadas las deliberaciones pertinentes, se acordó dar por APROBADO con el calificativo de BUSCO (14) al señor Bachiller JOEL LEONARDO ALVAREZ HINOSTROZA.

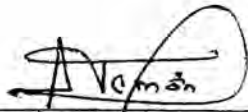
Con lo que se da por cerrada la sesión a las 13.45 horas del día 28 de Mayo del 2014.



Dr. OSCAR TEODORO TACZA CASALLO
PRESIDENTE



Ing. GUSTAVO ORDOÑEZ CÁRDENAS
SECRETARIO



Ing. MARTÍN TORIBIO SIHUAY FERNÁNDEZ
VOCAL



Mg. ARTURO PERCEY GAMARRA CHINCHAY
ASESOR

**Dedico este Informe con cariño a mi esposa Maria,
mi Madre Yolanda, por su paciencia y aliento, a mis
hijos, Karla y Reynaldo, con mi deseo que también
contribuyan a la enseñanza.**

A continuación se mencionan los softwares de ingeniería aplicado para el análisis, diseño y el cálculo optimizado:

- **SAP 2000, Versión 14.1** : Diseño y Análisis de Estructuras
- **Tekla Structures, Versión 17.0** : Diseño y Modelamiento 3D de Estructuras

1.1 CUBIERTA METÁLICA DE ESTACIONES EXISTENTES TRAMO 1, LINEA 1 (AÑO 2011)

En el Tramo 1 de la Línea 1 las Estaciones de Pasajero construidas en el año 2011 están en funcionamiento y haciendo un recorrido total de aprox. 21,48 kilómetros de viaducto elevado que contempla 16 estaciones de pasajeros distribuidos desde **Villa El Salvador hasta la Estación Grau**, y esto empalma proyectado con el siguiente Tramo 2, hasta San Juan de Lurigancho y se estaría concluyendo la Línea 1.

Para efecto del estudio del presente informe se tomara como referencia las características geométricas de la arquitectura de las 02 Estaciones de Pasajeros "**ESTACIÓN GRAU & ESTACION MAYORISTA**", estas estructuras metálicas fueron construidos según diseño del proyecto y se obtuvieron los metrados de materiales de estructura metálica, el cual servirá como una variable y punto de partida para mejorar y optimizar el diseño estructural.

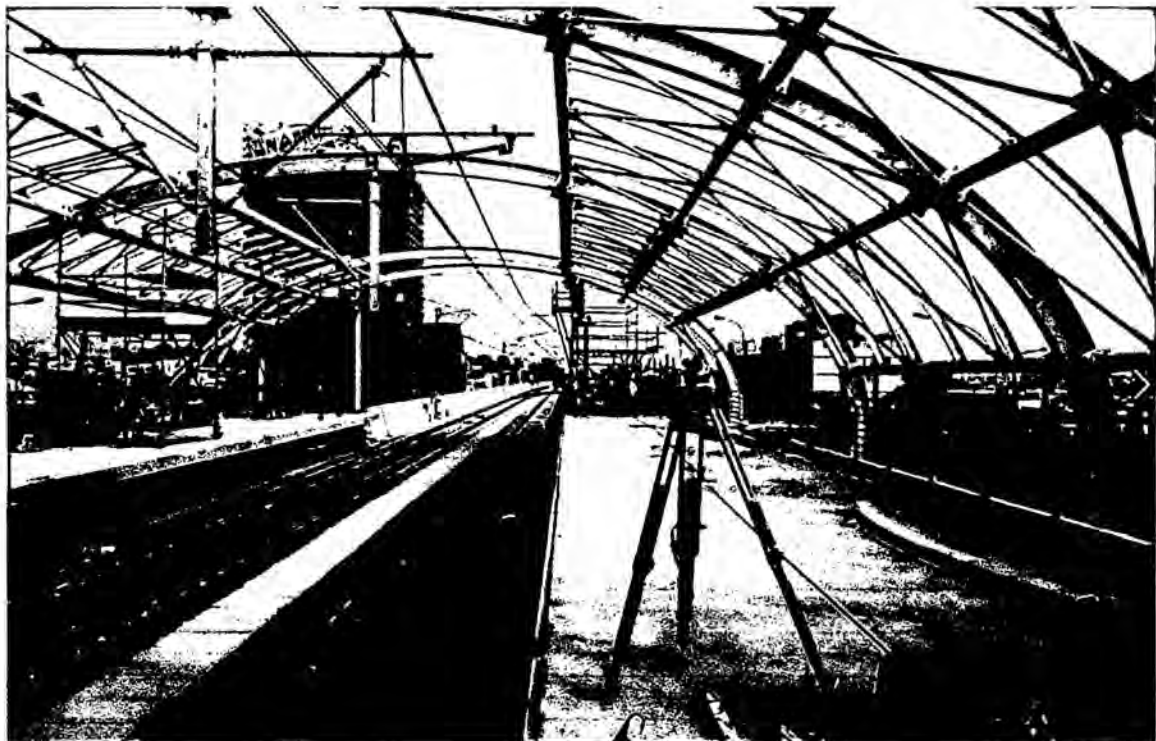


Figura1.1.1 – Foto extraído del Tramo 1 (Cubierta Metálica Estación)

a) En el cuadro se detalla el metrado de materiales de la cubierta metálica **ESTACIÓN GRAU**.

Tabla 01

| METRADO DE CUBIERTA ESTACION GRAU - TRAMO 1, LINEA 1 | | |
|---|--------------------------------|---------------------------------|
| ITEM | DESCRIPCION | PESO SEGÚN PLANOS Kg |
| 1.00 | ARRIOSTRES | 8,842.50 |
| 2.00 | COLUMNAS Y PORTICOS | 53,774.00 |
| 3.00 | CORREAS TIPO C | 9,038.20 |
| 4.00 | PLANCHA DE ANCLAJES | 10,735.20 |
| 5.00 | VIGAS TUBULARES | 51,590.99 |
| 6.00 | ESPARRAGOS | 2,319.43 |
| 7.00 | PERNOS DE CONEXIÓN | 959.58 |
| 8.00 | CUBIERTA ESCALERA MECANICA 3,4 | 7,633.79 |
| PESO TOTAL Kg. | | 144,893.68 |

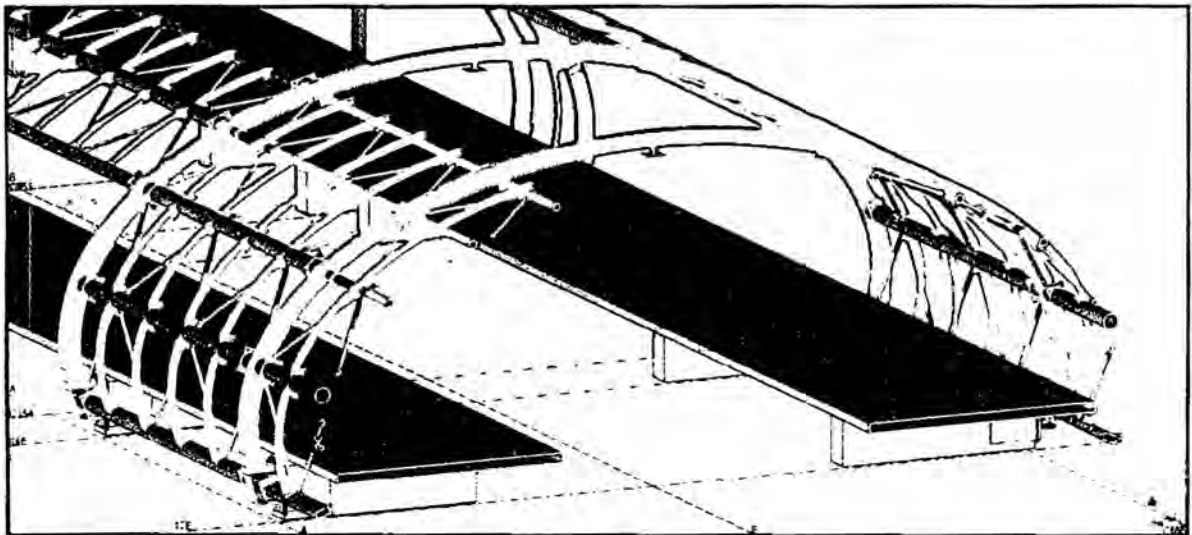


Figura 1.1.2 – Diseño 3D Estructura Estación Grau, Tramo 1 (Fuente: Tekla Estructures)

b) En el cuadro se detalla el metrado total de la cubierta metálica **ESTACIÓN MAYORISTA**.

Tabla 02

| METRADO DE CUBIERTA ESTACION MAYORISTA - TRAMO 1, LINEA 1 | | |
|---|----------------------|-------------------|
| ITEM | DESCRIPCION | PESO PLANOS Kg |
| 1.00 | CORREA TIPO C | 9,826.20 |
| 2.00 | PORTICO TIPO H | 42,857.43 |
| 3.00 | VIGA DE AMARRE TUBOS | 43,922.38 |
| 4.00 | VIGA INFERIOR TUBOS | 48,654.50 |
| 5.00 | DIAGONAL | 6,534.40 |
| 6.00 | MISCELANEO | 28,639.09 |
| 7.00 | PLANCHAS DE ANCLAJES | 1,218.80 |
| 8.00 | ESPARRAGOS | 6,571.77 |
| 9.00 | PERNOS DE CONEXIÓN | 1,472.53 |
| 10.00 | ESCALERAS | 23,875.87 |
| PESO TOTAL Kg. | | 213,572.95 |

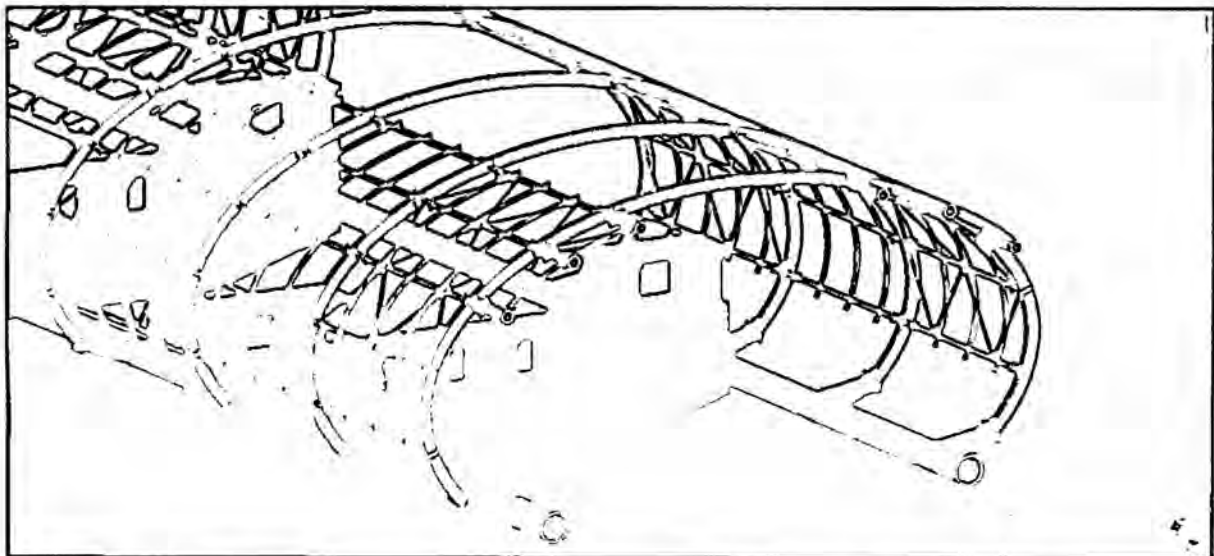


Figura 1.1.3 – Diseño 3D Estructura Estación Mayorista, Tramo 1 (Fuente: Tekla Estructures)



Figura1.1.4 –Fotografía Estación en funcionamiento (Fuente: Tramo 1)

1.2 CUBIERTA DE ESTACIONES CONSTRUIDAS EN EL TRAMO 2 (AÑO 2013 & 2014)

En el proyecto del Tramo 2 de la Línea 1, que abarca el Distrito de San Juan de Lurigancho se dispondrá de 10 Estaciones de Pasajeros que tendrán su cobertura de estructura metálica en el andén, las cuales se denominan en el cuadro en el orden del recorrido del tren.

Las estaciones de pasajeros se encuentran dispuestas a lo largo del tramo 2, en los distritos de Cercado de Lima, El Agustino y San Juan de Lurigancho.

Tabla 03

| Ubicación de las estaciones de pasajeros | | |
|--|-------|------------------------|
| Estaciones | Tramo | Distrito |
| El Ángel | M | Cercado de Lima |
| Presbítero Maestro | N | El Agustino |
| Caja de Agua | O | San Juan de Lurigancho |
| Pirámides del Sol | P | San Juan de Lurigancho |
| Los Jardines | Q | San Juan de Lurigancho |
| Los Postes | R | San Juan de Lurigancho |
| San Carlos | S | San Juan de Lurigancho |
| San Martín | T | San Juan de Lurigancho |
| Santa Rosa | U | San Juan de Lurigancho |
| Bayovar | V | San Juan de Lurigancho |

De acuerdo a las especificaciones del proyecto, las estaciones en su conjunto han sido diseñadas en base a una demanda de pasajeros proyectada al año 2041, en un escenario máximo, en hora punta de la mañana.

a) Primer nivel, estación de pasajeros.

Es el acceso a la estación de pasajeros por la boletería, que se realiza desde la plaza de ingreso, a través de cruces peatonales, semaforización, rampas y otros aspectos de diseño urbano e inserción de las estaciones en el exterior.

Las estaciones típicas cuentan con escaleras públicas y semipúblicas para el ingreso al segundo nivel, 4 escaleras mecánicas y 2 ascensores.

b) Segundo nivel, estación de pasajeros.

En el segundo nivel se encuentra la zona de la plataforma de concreto de los andenes, cada uno de los cuales tiene un espacio libre de circulación de 120.0m x 5.0m. Sobre esta plataforma se ha construido la cobertura de estructura metálica de "FORMA ELÍPTICA" y tiene el techado con planchas de aluzinc tipo TR-4 curvo.

1.2.1 IDEAS Y ACCIONES INCORPORADAS

- ✓ Aplicación del paneles curvos metálico TECNOTECHO TR-4 CURVO para cobertura de techo de las estaciones; es un panel preformado, con radios de curvatura de acuerdo a los requerimientos del proyecto, lo que otorga en un alto valor estético y un excelente comportamiento estructural para cubrir pequeñas y grandes luces; además de ser utilizado como elementos de remate entre cubierta y revestimiento de fachada.

- ✓ A diferencia del tramo anterior, en esta etapa se han eliminado las correas transversales curvas de perfil tipo cana "C" que sirven de apoyo a la cobertura de techo del tramo anterior. Con esto se optimizo el peso de acero y el cambio fue significativo ahorro de costo de material de aprox. 12.0Ton por cada estación, la mejora en el diseño fue plateada modular

las vigas longitudinales de amarre y que también cumplan la función de apoyos en donde se fijan los paneles curvos TR-4.

- ✓ En el diseño optimizado se cambiaron los perfiles longitudinales por cuestión de resistencia, peso y costo de material, y de acuerdo al análisis se optó emplear vigas laminadas estándar tipo "W" que reemplazo las vigas tipo tubular cuadrado y redondo del tramo anterior.

- ✓ Se planteó que la cubierta metálica de andén cubriera el techo de la escalera mecánica, esto ha significado un ahorro de material adicional de acero innecesario para cubierta de escaleras.

- ✓ Los pórticos elípticos fabricados de plancha soldada se diseñaron para ensamblar en tres tramos fijados con pernos galvanizados del tipo ASTM A325.

- ✓ Otra idea incorporada fue optimizar el tiempo de montaje de los pórticos elípticos, se planteó que los pórticos apoyaran sobre una base de concreto horizontal de viga diafragmas tipo ménsula (Cantiléver) en el andén, donde se fijan con pernos de anclajes pre-instalados.

- ✓ En esta etapa del proyecto de ingeniería se implementó realizar la maqueta virtual en 3D de la estación en su conjunto, con el programa de diseño Tekla Structures, para efecto de revisar y anticipar interferencias con las otras especialidades de la parte civil y electromecánica. Esta herramienta de trabajo nos ha permitido filtrar y anticipar interferencias. Con el mismo programa ha permitido controlar el planeamiento del proceso de fabricación y montaje.

En principio, antes de exponer y entrar al detalle del análisis de la estructura, queremos dar un repaso breve en los capítulos 1.3 & 1.4 de algunos conceptos importantes sobre fabricación y montaje y del acero que especifica su comportamiento como material estructural.

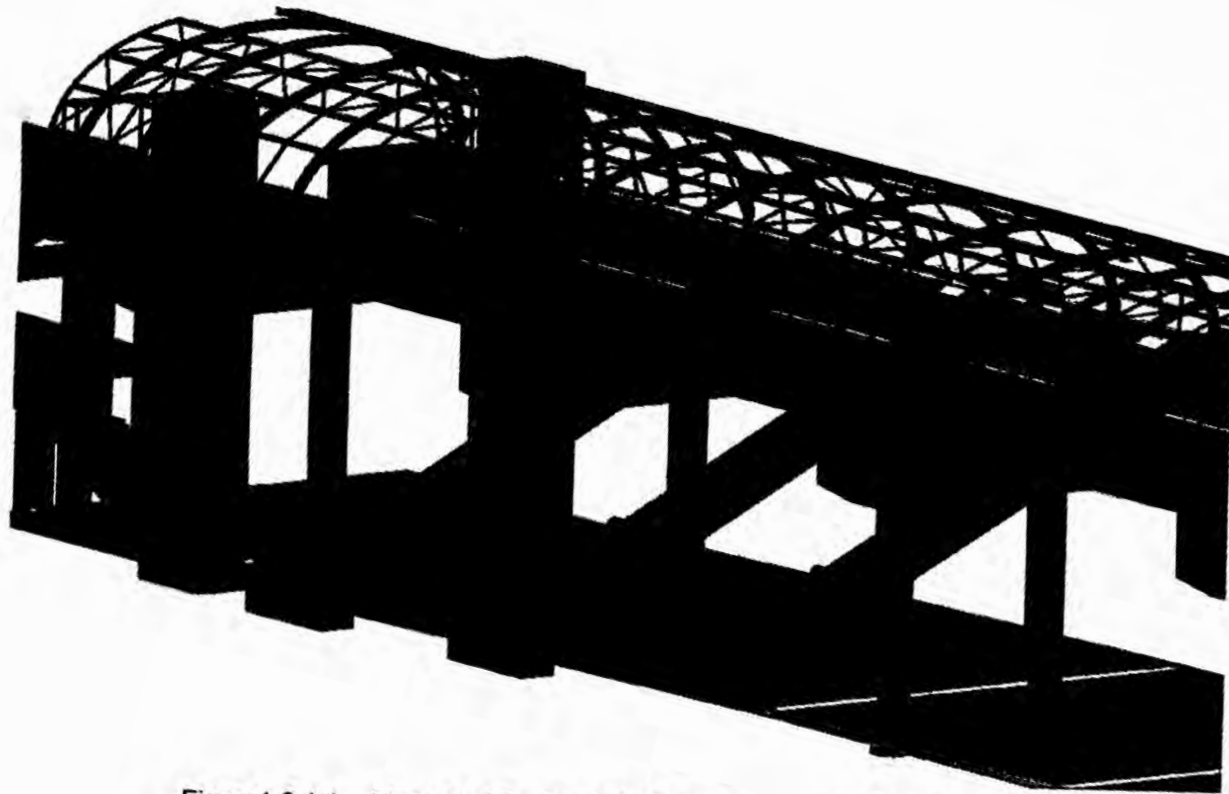


Figura1.2.1.1 – Maqueta 3D - Estación Bayovar (Fuente: Tekla Structures)

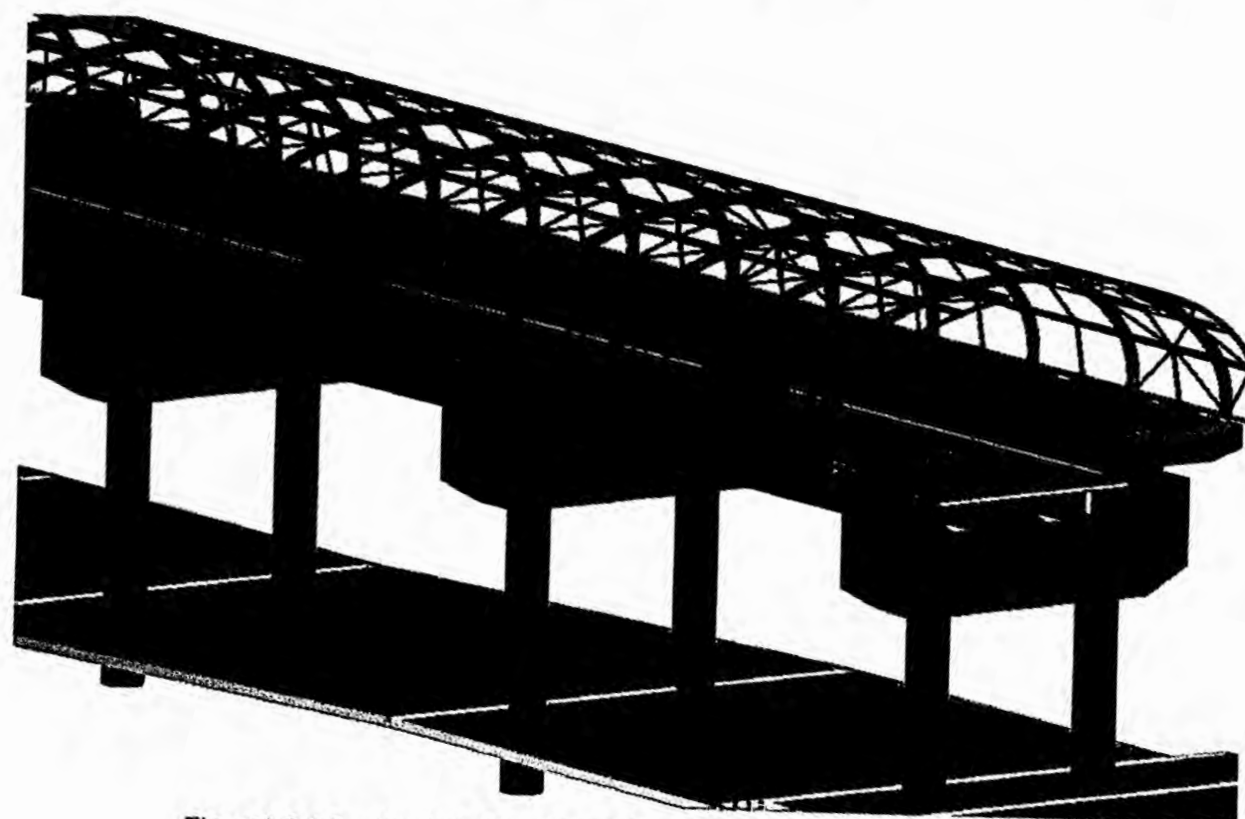


Figura1.2.1.2 – Maqueta 3D - Estación Bayovar (Fuente: Tekla Structures)

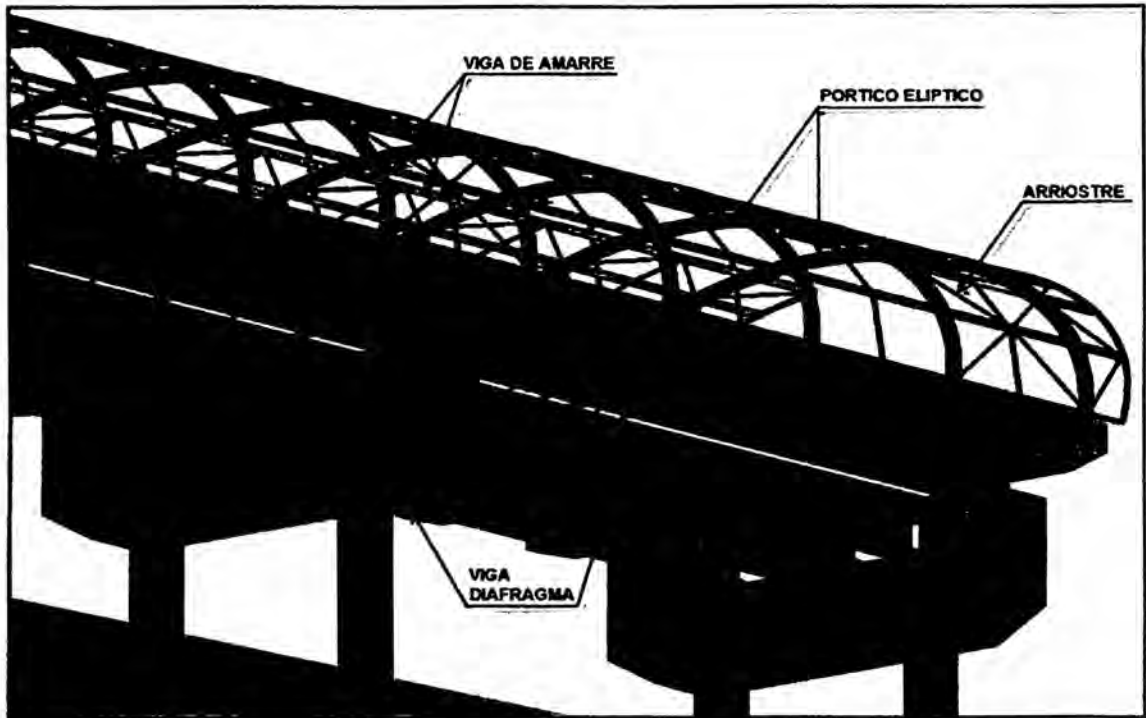


Figura1.2.1.3 – Maqueta 3D Perfiles - Estación Bayovar (Fuente: Tekla Structures)



Figura1.2.1.4 –Fotografía - Instalación de Cubierta de Techo (Fuente: Tramo 2)

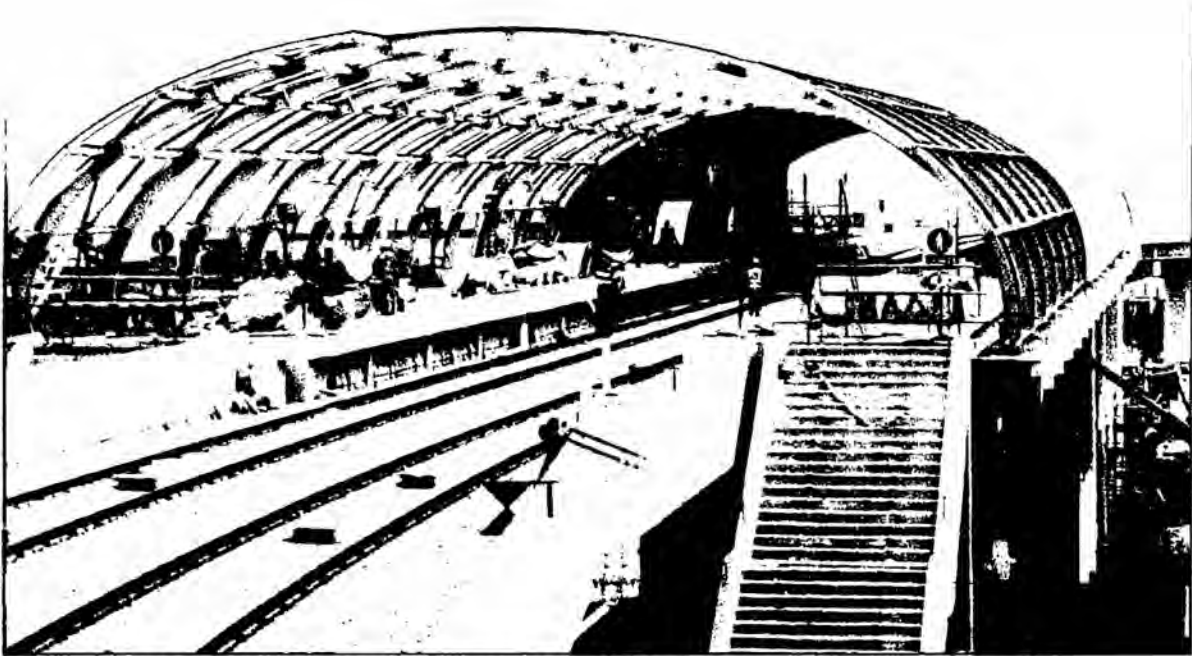


Figura1.2.1.5 –Fotografía - Instalación Cubierta de Techo (Fuente: Tramo 2)

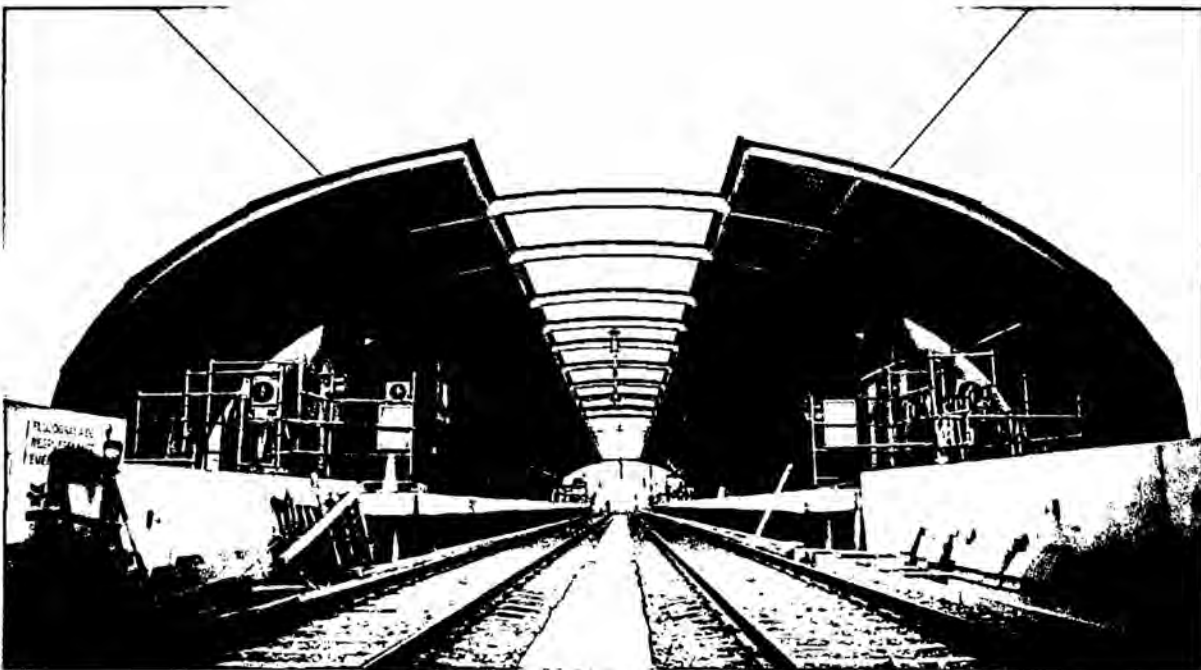


Figura1.2.1.6 – Fotografía – Montaje Finalizado Cubierta de Techo (Fuente: Tramo 2)

1.2.2 DISTRIBUCION GEOMETRICA DE LAS 10 ESTACIONES DE PASAJEROS

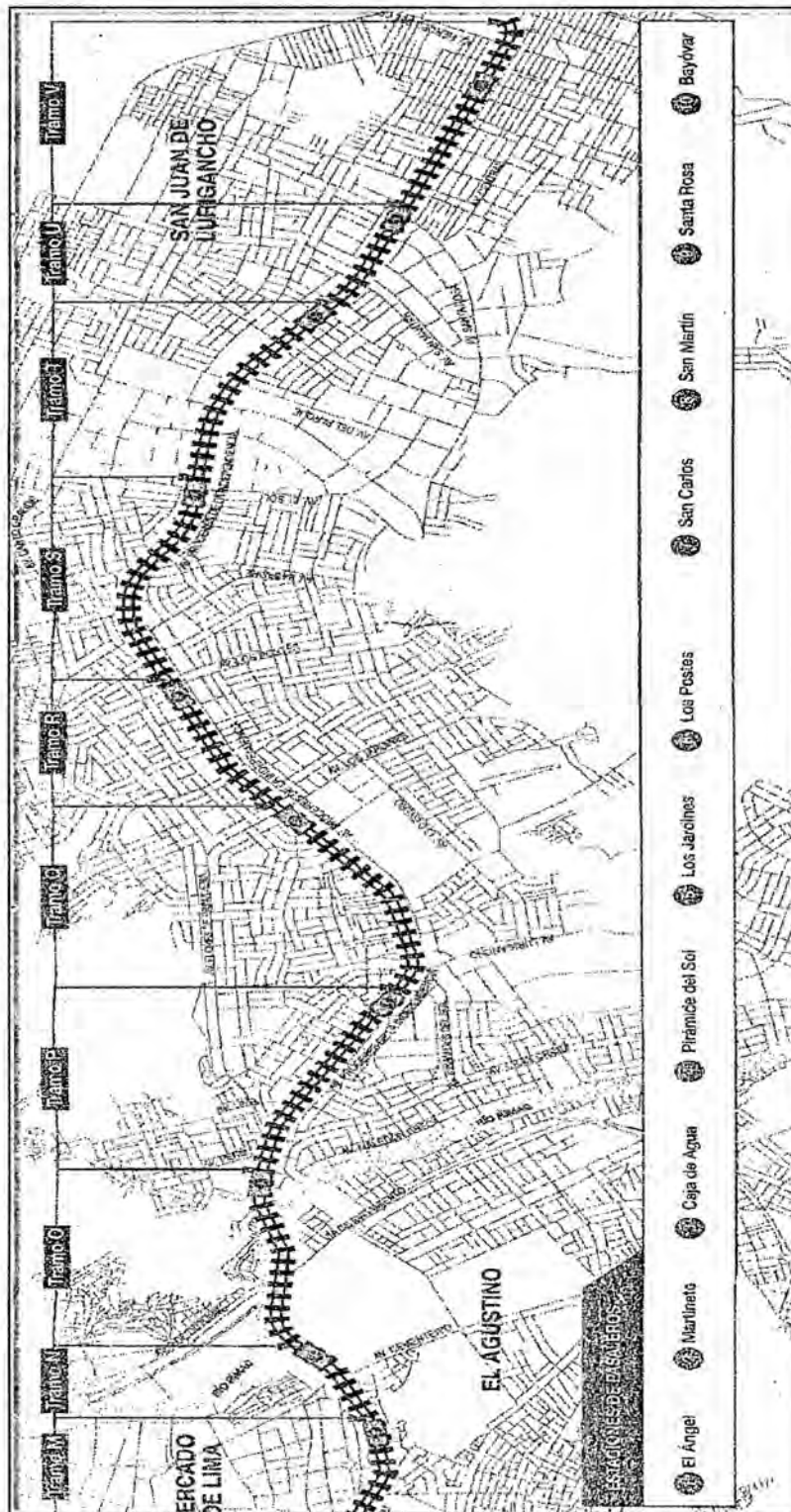


Figura 1.2.2.1 – Distribución de las 10 Estaciones de Pasajeros (Fuente: Tramo 2)

1.2.3 DEFINICIÓN DE ANDEN DE PASAJEROS

Esta zona de la estación es por donde el viajero accede al tren. Dado que el fin de la estación tenga accesibilidad, puede decirse que los andenes son la zona más importante de una estación, por lo que se ha de conseguir que sean funcionalmente eficientes, atractivos y con fáciles accesos, todo ello con los condicionantes propios que imponen las limitaciones de espacios existentes.

La estación de pasajeros está configurada con dos andenes de 120.0m de longitud y presenta 5.0 de ancho y la cubierta del andén se proyecta con material de acero formando pórticos elípticos y arriostradas con vigas longitudinales.

1.3 DEFINICION DE FABRICACION Y MONTAJE

Los diseñadores de estructuras de acero deben familiarizarse no solo con las exigencias de resistencia y capacidad de servicio de las estructuras, sino también con los métodos de fabricación y montaje. Estos pueden determinar si un diseño es práctico y eficiente con relación al costo. Además, la capacidad de carga y estabilidad de una estructura pueden depender de los supuestos de diseño que se haya hecho sobre el tipo y la magnitud de los esfuerzos y deformaciones inducidas durante la fabricación y el montaje.

1.3.1 PLANOS DE DETALLE PARA TALLER

Los planos de detalle son los medios por los cuales el propósito del diseñador se da a conocer al taller. Pueden ser preparados por dibujantes de detalles, empleados del fabricante o por una firma detalladora independiente y contratada por el fabricante de acero. Dichos planos pueden generarse por computadoras con programas desarrollados para este propósito.

El detallador trabaja a partir de los planos de diseño y especificaciones de ingeniería y de arquitectura para obtener los tamaños de los miembros, los grados de acero, las dimensiones que controlan y toda la información pertinente al proceso de fabricación.

Si bien los planos de taller son absolutamente indispensables en la fabricación de acero estructural, se utilizan también por los inspectores para verificar que los miembros se están haciendo tal como se detallaron.

1.3.2 PUNZONADO Y TALADRO

Los agujeros para pernos en el acero estructural se producen por lo general mediante punzonamiento (con limitación de espesor). El American Institute of Steel Construction (AISC) limita el espesor para el punzonamiento al diámetro nominal de perno más 1/8" pulg. El taladro consume mayor tiempo y, por tanto, es más costoso que el punzonamiento. Se utilizan tanto taladradoras de banco como taladros de husillo múltiples y las aletas y las almas pueden ser taladradas de manera simultánea.

1.3.3 MÁQUINA DE CNC

Las máquinas controladas numéricamente por computador (CNC) que ofrecen mayor productividad, se utilizan cada vez más para punzar, cortar y otras operaciones. Su uso puede reducir el tiempo requerido para el manejo y disposición del material, así como para el punzonamiento, corte o cizallamiento. También hay máquinas de CNC para el punzonado o taladrado de perfiles W, recorte con sopletes, preparación de soldadura (biseles y agujeros) para juntas y conexiones de momento y similar. La producción es de gran calidad y exactitud.

1.3.4 EMPERNADO

La mayor parte de las conexiones de campo se hacen mediante empernado, ya sea con pernos de alta resistencia (ASTM A325 o A490) o con pernos de máquina corriente (pernos A307), dependiendo de las exigencias de resistencia. Con frecuencia las conexiones de taller se hacen soldadas pero puede utilizarse en ellas estos mismos tipos de pernos.

Cuando se usan pernos de alta resistencia, las conexiones deben satisfacer los requisitos de la "Specification for Structural Joins Using ASTM A325 or A490 Bolts" del Research Council on Structural Connections (RCSC) of the Engineering Foundation.

1.3.5 SOLDADURA

El uso de soldadura en la fabricación del acero estructural para edificios y puentes está regido por una o más de las siguientes normas: American Welding Society Specifications D1.1, "Structural Welding Code", y D1.5, "Bridge Welding Code", y la Specification for Structural Steel Buildings del AISC. Además de estas especificaciones estándares de agencias o grupos, como los departamentos estatales de transporte.

Los aceros que van a soldarse deben ser de "grado soldable", como los A36, A441, A572, A588 o A514. Estos aceros pueden soldarse mediante uno de varios procesos de soldadura: arco metálico protegido, arco sumergido, arco de metal con gas, arco de núcleo fundente, con escoria conductora, con electrodo y soldadura con esparrago. Sin embargo, algunos procesos se prefieren para ciertos grados y algunos se excluyen, como se indica a continuación.

El código "Structural Welding Code" de la AWS y otras especificaciones, eximen de pruebas y calificaciones a la mayor parte de las uniones soldadas comunes que se utilizan en las estructuras de acero. Los detalles de estas "uniones precalificadas" se muestran en la norma AWS D1.1 en el manual del AISC. Es ventajoso utilizar estas uniones cuando aplicarse para evitar los costos de pruebas de calificación adicionales.

1.3.6 CONTRAFLECHA

La contraflecha es una curvatura dada a propósito a un miembro o estructura de tal manera que cuando se cargue, se deflece con un perfil deseado. Cuando se requiere, la contraflecha puede ser para carga muerta solamente, carga muerta y carga viva parcial, o carga muerta y carga viva total. Quien toma la decisión de dar contraflecha y en qué medida, es el diseñador.

A las vigas esbeltas armadas generalmente se les da la contraflecha cortando la placa del alma con el perfil deseado antes de unir aletas.

1.3.7 PREENSAMBLADO EN TALLER

Quando se completan las principales operaciones en un miembro principal, como punzonamiento, taladrado y corte, y cuando se fabrican las piezas de detalle conectadas a éste, todos los componentes se juntan para ser armados, es decir, ensamblados temporalmente con pernos, prensas o puntos de soldadura. En este momento, el miembro se inspecciona en cuanto a exactitud de dimensiones, cuadratura y, en general, concordancia con los planos de taller y montaje.

1.3.8 SECCIONES LAMINADAS

Las secciones laminadas en caliente mediante trenes de rodillo y entregadas al fabricante, incluyen las siguientes denominaciones: Perfiles Q, que son perfiles de aleta ancha con sus caras prácticamente paralelas; perfiles S, vigas estándar norteamericanas con pendiente de 16

2/3% en las caras interiores de las aletas, perfiles HP, perfiles para pilotes de apoyo (similares a los perfiles W pero con aletas y alma del mismo espesor), Perfiles M (perfiles misceláneos que son semejantes a los perfiles W, S o HP, pero que no corresponden a esta clasificación), perfiles C (perfil canal estándar norteamericano con pendiente de 16 2/3% en las caras interiores), perfiles MC (canal misceláneos similar a los C), perfiles y ángulos L, ST (perfiles estructurales en obtenidos por corte de perfiles W, M o S). Este tipo de material, así como las planchas y barras, recibe la denominación colectiva de **materia prima**.

1.3.9 SECCIONES ARMADAS

Son miembro hecho por un fabricante a partir de dos o más secciones estándar. Los miembros armados son especificados por el diseñador cuando las propiedades o configuración deseadas no pueden obtenerse en un solo perfil laminado en caliente. Las secciones armadas pueden ser empernadas o soldadas. En general, los miembros soldados son menos costosos porque se requieren mucho menos manejo en el taller y en razón de una utilización más eficiente del material. Las líneas limpias de los miembros soldados producen además una mejor apariencia.

1.3.10 LIMPIEZA Y PINTURA

Cuando se requiere pintura, se aplica en taller un recubrimiento que sirve como base para subsiguientes capas de recubrimiento aplicadas en obra. El primero esta destinados a proteger el acero solo durante un periodo corto de exposición.

El acero que va pintarse debe limpiarse de cualquier cascarilla de laminación y óxidos sueltos, de suciedad y otras materias extrañas.

El tratamiento de acero estructural expuesto con fines arquitectónicos difiere un poco del tratamiento de acero en situaciones no expuestas. Ya que la preparación de la superficie es el factor más importante de los afectan el comportamiento de la pintura en la superficie de acero estructural, es común que se especifique limpieza con chorro a presión para el acero que va a ser expuesto como medio de eliminar toda la cascarilla de laminación.

1.3.11 EQUIPOS DE MONTAJE

Los edificios y puentes de acero se montan generalmente con grúas, grúas giratorias de mástil o aparejos especializados. Las grúas de oruga y grúas de camión. Estos diversos tipos de montaje utilizados para la construcción con acero, también se utilizan para la construcción en hormigón prefabricado en obra.

1.3.12 MÉTODOS DE MONTAJE DE EDIFICIOS

La determinación de cómo montar un edificio depende de muchas variables que deben ser estudiados por el ingeniero de montaje mucho antes de que el acero empiece a llegar al sitio del montaje. Es normal y prudente tener esta planeación del montaje desarrollada en planos y en procedimientos escritos. Tales documentos describen el equipo a utilizar, los métodos de soportar el equipo, las condiciones para su uso y la secuencia del montaje. En muchas áreas, este tipo de documentos son exigidos por la ley. El plan de trabajo que se desprende de ellos es importante porque puede dar como resultado economías en el costoso trabajo de campo. Algunos tipos especiales de estructuras pueden exigir planeación extensa para asegurar la estabilidad de la estructura durante el montaje.

1.4 BASE TEÓRICA SOBRE EL ACERO

1.4.1 CONCEPTOS.

Para iniciar este estudio haremos una definición conceptual de los productos siderúrgicos.

- **Hierro.** Elemento químico natural y metálico de gran resistencia mecánica (Fe). Con la denominación Hierro también se designa a los productos férreos de los que, solamente con el carácter de impurezas, pueden formar parte otros elementos.

Productos férreos. Son las aleaciones en las que el elemento químico Hierro es predominante.

- **Arrabio.** Es el producto en estado líquido resultante de la primera fusión, obtenido en un proceso de reducción de minerales férreos o materiales similares y, destinados a una transformación posterior. Contiene más de 4% de Carbono.
- **Acero.** Es un producto férreo generalmente apto para la conformación en caliente. Con excepción de ciertos aceros de alto contenido en Cromo, el contenido de Carbono es igual o inferior al contenido de saturación de la austenita (1.9% C), límite que los separa de las fundiciones. Los distintos elementos de aleación pueden variar este porcentaje.
- **Lingote de acero.** Es el producto obtenido por colada de acero líquido en un molde, y destinado a una laminación o forja posterior.
- **Ferroaleaciones.** Son aquellas aleaciones férreas en bruto, que contengan uno o varios elementos con porcentajes en peso superiores a los incluidos en la siguiente tabla:

Tabla 04

| Elementos | % |
|-----------------|----|
| Fósforo | 15 |
| Silicio | 8 |
| Manganeso | 30 |
| Cromo | 30 |
| Volframio | 40 |
| Otros elementos | 10 |

- **Fundición.** La fundición de metales es el proceso mediante el cual la materia prima es llevada desde un estado sólido a uno líquido por medio del aporte de calor proporcionado por energía eléctrica o combustibles fósiles. A veces son añadidos elementos que cambian

la composición química del metal, dándole nuevas propiedades mecánicas. El metal líquido es vertido (colado) en moldes. Una vez enfriado el metal, la pieza fundida es extraída del molde y limpiada. El molde es reutilizado, reciclado o destinado a botadores, dependiendo de si se trata de molde permanente o no.

- **Laminación.** Proceso de manufactura mediante el cual se transforma el acero en la forma de planchas, material arrollado o barras de sección cuadrada. El proceso en sí consiste en deformar la masa metálica, en nuestro caso el acero, haciéndola pasar entre dos cilindros superpuestos que giran en sentido inverso. El proceso de transformación se lleva a cabo en caliente por lo cual es necesario elevar la temperatura del material en un horno hasta conseguir la temperatura inicial adecuada que puede oscilar entre los 800 °C y los 1,150 °C.

1.4.2 FABRICACION DEL ACERO

Cuando el Hierro se combina con pequeñas cantidades de carbono, se obtiene el acero, y sus propiedades dependen, además de su contenido de carbono de otros elementos de aleación como el Mn, Cr, Si, Al, etc. La materia prima para la fabricación del acero son:

- Mineral de Hierro.
- Coque.
- Caliza.

El mineral de Hierro tiene un color rojizo debido al óxido de hierro. El coque es el producto de la combustión del carbón mineral (grafito) es ligero, gris y lustroso. La piedra caliza es carbonato de calcio de gran pureza que se emplea en la fundición de acero para eliminar sus impurezas.

El primer producto de la fusión del Hierro y el coque se conoce como arrabio, el cual se obtiene aproximadamente a los 1650 0 C. Una vez en el alto horno, los tres componentes se funden a los 1650 0 C, que aviva el fuego y quema el coque, produciendo monóxido de Carbono el cual produce más calor y extrae el oxígeno del mineral de hierro dejándolo puro. La alta temperatura funde también la caliza, que siendo menos densa flota en el crisol combinándose con las impurezas sólidas del mineral formando la escoria, misma que se extrae diez minutos antes de

cada colada. Para obtener una tonelada de arrabio, se requieren aproximadamente las siguientes cantidades de materia prima:

- 1600 Kg de mineral de Hierro.
- 700 Kg de coque.
- 200 Kg de piedra caliza.
- 4000 Kg de aire inyectado gradualmente.

Los hornos de hoyo abierto se cargan con las cantidades indicadas, mismo que se introducen con algo de chatarra para reciclarlo mediante grúas mecánicas. Además se agregan 200 toneladas de arrabio líquido para completar la carga. Dentro del horno, la carga formada por 1/3 parte de chatarra y 2/3 partes de arrabio se refina por calor producido al quemar gas natural o aceite diesel y alcanzar temperaturas mayores a los 1650 °C.

Durante 10 horas se mantiene la mezcla en ebullición eliminando las impurezas y produciendo así acero. Algunos otros elementos como Silicio, Manganeso, Carbono, etc., son controlados en la proporción requerida para el acero a producir.

La caliza fundida aglutina las impurezas de la carga retirándola de acero líquido y formando la escoria que flota en la superficie (figura 1.4.2.1). Mientras tanto se realizan pruebas para verificar la calidad del acero. Cuando la colada alcanza las especificaciones y condiciones requeridas se agregan sustancias para hacer aleaciones con el hierro y dar propiedades especiales. Después de alcanzar las condiciones de salida, la colada se "pica" con un explosivo detonado eléctricamente, permitiendo la salida del acero fundido para recubrirse en ollas de 275 toneladas c/u de donde se vacía a los lingotes de 9 a 20 toneladas.



Figura 1.4.2.1

La laminación del lingote inicia con un molino desbastador, el lingote de acero calentado a 1330°C se hace pasar entre dos enormes rodillos arrancados por motores de gran potencia convirtiéndolo en palanquillas o lupias de sección cuadrada o en planchones de sección rectangular. Ambos son la materia prima para obtener placa laminada, perfiles laminados, rieles, varilla corrugada, alambón, etc. El laminado en caliente es el proceso más común de laminado y consiste en calentar la lupia (o planchón) a una temperatura que permita el comportamiento plástico del material para así extruirlo en la línea de producción de laminado y obtener las secciones laminadas deseadas. El laminado en frío es un proceso que permite obtener secciones con un punto de fluencia más elevado, al extruir el material a temperatura completamente más baja que la del laminado en caliente.

1.4.3 ACERO AL CARBONO

La producción fundamental de la siderurgia es el acero, siendo aproximadamente el 90% del mismo Acero al Carbono. Por lo tanto, el material metálico más importante para la industria es el Acero al Carbono.

El Acero al Carbono de producción industrial es una aleación de composición química compleja. Además de la base –el Hierro, cuyo contenido puede oscilar entre los límites de 97.0 y 99.5 %-hay en él muchos elementos cuya presencia se debe a las peculiaridades tecnológicas de su producción (Manganeso, Silicio), a la imposibilidad de excluirlos totalmente del metal (Azufre, Fósforo, Oxígeno, Nitrógeno, Hidrógeno) o a circunstancias casuales (Cromo, Níquel, Cobre y otros). Sin embargo, un elemento, el Carbono, se introduce especialmente en el Acero al Carbono ordinario.

El Carbono influye mucho en las propiedades del acero, incluso cuando su contenido varía de un modo insignificante. Por esto, cuando el contenido de todas las demás posibles impurezas es pequeño, el elemento principal, por medio del cual pueden hacerse variar las propiedades de una aleación ferrosa, es el Carbono. Como es natural, estas aleaciones (cuando $C < 2\%$) se llaman Aceros al Carbono.

La estructura y las propiedades de las aleaciones metálicas, como ya sabemos, pueden variarse dentro de amplios límites por medio del tratamiento térmico; este tratamiento es especialmente eficaz en el caso del acero. Pero no todas las propiedades varían por este tratamiento. Unas (las propiedades sensibles a los cambios de estructura) dependen de la estructura del metal (la mayoría) y, por consiguiente, cambian con el tratamiento térmico; otras (las no sensibles a los cambios estructurales) no dependen prácticamente de la estructura. A estas últimas pertenecen las características de la rigidez (el módulo de elasticidad normal E).

a) **Influencia del Carbono.** A medida que aumenta el contenido de Carbono, varía la estructura del acero. El acero que contiene el 0.8% de Carbono está constituido únicamente por perlita; en el acero que contiene más del 0,8% de Carbono, además de

perlita, hay cementita secundaria; si el contenido de Carbono es menor que el 0.8% la estructura del acero constará de ferrita y perlita. Pero, ¿cómo influyen en las propiedades del acero las variaciones del contenido de Carbono y de la estructura correspondiente?

El aumento del contenido de Carbono en el acero hace que se eleve su resistencia y que disminuya su plasticidad. Es importante la influencia del Carbono sobre las propiedades de tenacidad. El aumento del contenido de Carbono eleva el umbral de fragilidad en frío y hace que disminuya la resiliencia en la región de tenacidad (es decir, a temperaturas superiores al umbral de fragilidad en frío).

- b) **Influencia de las impurezas constantes en las propiedades del acero.** Se consideran impurezas constantes de los aceros el Manganeso, Silicio, Fósforo, Azufre y ciertos gases (Hidrógeno, Nitrógeno, Oxígeno), que en mayor o menor cantidad están siempre presentes en los tipos técnicos de acero. Por lo general, el contenido de estos elementos está limitado por los siguientes superiores, en %: 0.8 Mn; 0.5 Si; 0.05 P y 0.05 S. Si su contenido es mayor, el acero debe considerarse aleado, tipo en el cual estos elementos se introducen especialmente (de aquí el nombre de acero aleados o especiales). Examinemos la influencia de las impurezas por separado.

- c) **El Manganeso.** Este elemento se introduce en cualquier acero para desoxidarlo,



es decir, para eliminar las impurezas perniciosas de óxido de hierro. El Manganeso elimina también los compuestos sulfurosos del Hierro y se disuelve en el hierro. El Manganeso influye sensiblemente en las propiedades del acero elevando su resistencia en las piezas laminadas en caliente y variando algunas otras propiedades. Pero como en todos los aceros el contenido de Manganeso es casi el mismo, su influencia en el acero de distinta composición no se siente.

- a) **El Silicio.** La influencia de las adiciones iniciales de Silicio es análoga a la del **Manganeso**. El Silicio desoxida el acero por la reacción



El Silicio no se descubre estructuralmente, porque se disuelve por completo en el hierro, excepto aquella parte que en forma de Óxido de Silicio no tiene tiempo de salir a flote en la escoria y queda en el metal formando inclusiones silícicas.

- b) **El Fósforo.** El mineral de Hierro, lo mismo que el combustible y los fundentes contienen cierta cantidad de Fósforo, el cual en el proceso de producción del arrabio permanece en él en mayor o menor grado y después pasa al acero.

Al disolverse en el hierro, el Fósforo eleva bruscamente la temperatura de transición al estado frágil, es decir, provoca la fragilidad en frío del acero. Con un 0.05% de Fósforo, el Hierro a la temperatura ambiente es frágil.

Conviene advertir que, en determinados casos, el Fósforo es conveniente, así, por ejemplo, facilita la mecanización con herramientas de corte y en presencia de cobre eleva la resistencia a la corrosión.

- c) **El Azufre.** En los aceros de alta calidad el contenido de Azufre no debe exceder por lo general de un 0.02 – 0.03%. Para los acero ordinarios se tolera un contenido más alto de Azufre: 0.03 – 0.04%. Tratando el metal líquido con escorias sintéticas puede disminuirse el contenido de Azufre hasta el 0.005%.

1.4.4 NORMAS AISI Y SAE

Según la AISI (American Iron and Steel Institute) y la SAE (Society of Automotive Engineers) podemos clasificar al acero en tres grandes grupos:

- a) **Aceros al Carbono y de Baja Aleación.** Se distinguen con 4 ó 5 números. Además de los números, las especificaciones AISI pueden incluir un prefijo literal para indicar el proceso de manufactura. Las especificaciones SAE emplean las mismas designaciones numéricas que las AISI, pero eliminando todos los prefijos literales,

XX(X) Indica el %C x 100.

Y En el caso de aceros de aleación simple, indica el porcentaje aproximado del elemento predominante de aleación.

Z Tipo de acero o aleación.

Si Z es igual a:

1 : Aceros al Carbono (ordinario).

2 : Aceros al Níquel.

3 : Aceros al Níquel-Cromo.

4 : Aceros al Molibdeno, Cr-Mo, Ni-Mo, Ni-Cr-Mo.

5 : Aceros al Cromo.

6 : Aceros al Cromo-Vanadio, etc.

Ejemplo

AISI 1010

1 : Acero al Carbono.

0 : No aleado.

10: 0.10%C.

b) **Aceros Inoxidables.** Estos aceros tienen aplicaciones resistentes a la corrosión y al calor.

Un sistema de numeración de tres dígitos se utiliza para identificarlos. Los dos últimos números no tienen significado específico, pero el primero indica el grupo como sigue:

Aceros inoxidables austeníticos : 2XX y 3XX (AISI 202, AISI 304).

Aceros inoxidables ferríticos : 4XX (AISI 405, AISI 430).

Aceros inoxidables martensíticos: 4XX y 5 XX (AISI 410, AISI 502).

c) **Aceros para herramientas.** El método de identificación de los aceros para herramientas adoptado por la AISI tiene en cuenta el método de templado, aplicaciones, características particulares y aceros para industrias específicas. Los aceros que más se utilizan se han agrupado en siete grupos y a cada grupo o subgrupo se le ha asignado una letra del alfabeto.

Ejemplo

- Templados en agua : W (AISI W1, AISI W2, AISI W5).
- Resistentes al impacto : S (AISI S1, AISI S2, AISI S5, AISI S7).
- Trabajo en frío : O, templable en aceite (AISI O1, AISI O2).
: A, mediana aleación y templable en aire.
: D, alto carbono y alto cromo (AISI D2, AISI D4).

1.4.5 NORMAS ASTM

La ASTM (American Society for Testing and Materials) es una organización norteamericana encargada del desarrollo de estándares internacionales de materiales, productos, sistemas y servicios. Entre ellos el acero. Los aceros estructurales se agrupan generalmente según varias clasificaciones principales de la ASTM: los aceros de propósito general (A36), los aceros estructurales al carbono (A529), los aceros estructurales de alta resistencia y baja aleación (A441 y A572), los aceros estructurales de alta resistencia, baja aleación y resistentes a la corrosión atmosférica (A242 y A588) y la placa de acero templada y revenida (A514 y A852). El acero A36 con un esfuerzo de fluencia de 2530 kg/cm² (36000 psi) es adecuado para puentes y edificios atornillados, soldados o remachados. Se usa para la gran mayoría de las estructuras en el Perú.

1.5 ACERO COMO MATERIAL ESTRUCTURAL

1.5.1 COMPARACION CON OTROS METALES Y MATERIALES

Después que las condiciones de carga son establecidas y evaluadas para un elemento o una estructura completa, el siguiente paso es seleccionar el material correcto y usar sus propiedades en forma eficiente. Para lograr el uso eficiente, el diseñador usualmente establece el criterio de diseño más importante (esfuerzo o rigidez) y escoge el material con el cual obtendrá de forma económica soluciones a sus requerimientos. Antiguamente los ingenieros experimentaban con probetas de acero diferentes para averiguar si uno de alta resistencia podía resultar en uno más rígido. Grande fue la sorpresa cuando observaron que todas las probetas tenían la misma deflexión para una misma carga. Esto es porque la propiedad del material que describe la rigidez es el módulo de elasticidad, y todos los aceros tienen el mismo módulo de elasticidad, y por tanto la misma rigidez.

El acero tiene mayor resistencia mecánica que cualquier otro material comercialmente disponible. Si se requiere un módulo resistente mayor, puede ser usado un acero aleado de alta resistencia. El acero tiene mayor rigidez que cualquier otro material comercialmente disponible. Esta propiedad es medida en términos del módulo de elasticidad del material. La figura 02 ilustra la rigidez relativa de varios metales comerciales. En todos los casos se tiene la misma sección y están cargados de modo que la deflexión sea la misma. Los pesos relativos en el ejemplo indican cómo los materiales difieren en su rigidez según su módulo de elasticidad.

Conclusión: Peso por peso, el acero es más ligero y económico para rigideces equivalentes.

Aunque en la actualidad hay tipos de aluminio muy resistentes, como el 6061 T6 que tiene un esfuerzo de fluencia $F_y = 35000$ psi, casi igual al acero ASTM A36 ($F_y = 36000$ psi), o el 5186, el problema fundamental sigue siendo su rigidez y el costo de fabricación. Actualmente se usa en la industria de la aviación, y últimamente con más fuerza en las carrocerías, porque aligera su peso, y puede llevar más carga que carrocerías con estructura de acero.

1.5.2 VENTAJAS DEL ACERO COMO MATERIAL ESTRUCTURAL

La supuesta perfección de este metal, tal vez el más versátil de todos los materiales estructurales, parece más razonable cuando se considera su gran resistencia, poco peso, facilidad de fabricación y otras propiedades convenientes. Estas y otras ventajas del acero estructural se analizarán brevemente en los siguientes párrafos.

- a) **Alta resistencia.** La alta resistencia del acero por unidad de peso implica que será poco el peso de las estructuras; esto es de gran importancia en puentes de grandes claros, en edificios altos y en estructuras con malas condiciones en la cimentación.
- b) **Uniformidad.** Las propiedades del acero no cambian apreciablemente con el tiempo como es el caso de las estructuras de concreto reforzado.
- c) **Elasticidad.** El acero se acerca más en su comportamiento a las hipótesis de diseño que la mayoría de los materiales, gracias a que sigue la ley de Hooke hasta esfuerzos bastante altos. Los momentos de inercia de una estructura de acero pueden calcularse

exactamente, en tanto que los valores obtenidos para una estructura de concreto reforzado son relativamente imprecisos.

- d) **Durabilidad.** Si el mantenimiento de las estructuras de acero es adecuado durarán indefinidamente. Investigaciones realizadas en los aceros modernos, indican que bajo ciertas condiciones no se requiere ningún mantenimiento a base de pintura.
- e) **Ductilidad.** La ductilidad es la propiedad que tiene un material de soportar grandes deformaciones sin fallar bajo altos esfuerzos de tensión. Cuando se prueba a tensión un acero con bajo contenido de carbono, ocurre una reducción considerable de la sección transversal y un gran alargamiento en el punto de falla, antes de que se presente la fractura. Un material que no tenga esta propiedad probablemente será duro y frágil y se romperá al someterlo a un golpe repentino. En miembros estructurales sometidos a cargas normales se desarrollan altas concentraciones de esfuerzos en varios puntos. La naturaleza dúctil de los aceros estructurales comunes les permite fluir localmente en esos puntos, evitándose así falla prematura. Una ventaja adicional de las estructuras dúctiles es que, al sobrecargarlas, sus grandes deflexiones ofrecen evidencia visible de la inminencia de la falla.
- f) **Tenacidad.** Los aceros estructurales son tenaces, es decir, poseen resistencia y ductilidad. Un miembro de acero cargado hasta que se presentan grandes deformaciones será aún capaz de resistir grandes fuerzas. Esta es una característica muy importante porque implica que los miembros de acero pueden someterse a grandes deformaciones durante su fabricación y montaje, sin fracturarse, siendo posible doblarlos, martillarlos, cortarlos y taladrarlos sin daño aparente. La propiedad de un material para absorber energía en grandes cantidades se denomina tenacidad.
- g) **Ampliaciones de estructuras existentes.** Las estructuras de acero se adaptan muy bien a posibles adiciones. Se pueden añadir nuevas crujías e incluso alas enteras a estructuras de acero ya existentes y los puentes de acero con frecuencia pueden ampliarse.

h) **Propiedades diversas.** Otras ventajas importantes del acero estructural son: gran facilidad para unir diversos miembros por medio de varios tipos de conectores como son la soldadura, los tornillos y los remaches, posibilidad de prefabricar los miembros, rapidez de montaje, gran capacidad para laminarse en una gran cantidad de tamaños y formas, resistencia a la fatiga, reutilización posible después de desmontar una estructura, posibilidad de venderlo como "chatarra" aunque no pueda utilizarse en su forma presente.

En general el acero también tiene las siguientes desventajas:

- ✓ **Costo de mantenimiento.** La mayor parte de los aceros son susceptibles a la corrosión al estar expuestos al aire y al agua y, por consiguiente, deben pintarse periódicamente. El uso de aceros intemperizados para ciertas aplicaciones, tiende a eliminar este costo.
- ✓ **Costo de la protección contra el fuego.** Aunque algunos miembros estructurales son incombustibles, sus resistencias se reducen considerablemente durante los incendios, cuando los otros materiales de un edificio se queman. Han ocurrido muchos incendios en edificios vacíos en los que el único material combustible era el mismo edificio. El acero es un excelente conductor de calor, de manera que los miembros de acero sin protección pueden transmitir suficiente calor de una sección o compartimento incendiado de un edificio a secciones adyacentes del mismo edificio e incendiar el material presente.
- ✓ **Susceptibilidad al pandeo.** Entre más largos y esbeltos sean los miembros a compresión, mayor es el peligro de pandeo. Como se indicó previamente, el acero tiene una alta resistencia por unidad de peso, pero al usarse como columnas no resulta muy económico ya que debe usarse bastante material, sólo para hacer más rígidas las columnas contra el posible pandeo.
- ✓ **Fatiga.** Otra característica inconveniente del acero es que su resistencia puede reducirse si se somete a un gran número de inversiones del signo del esfuerzo, o bien, a un gran número de cambios de la magnitud del esfuerzo de tensión. En la práctica actual se reducen las resistencias estimadas de tales miembros, si se sabe de antemano que estarán sometidos a un número mayor de ciclos de esfuerzos variables que cierto número límite.

1.6 DISEÑO ESTRUCTURAL EN ACERO

El diseño estructural consiste en distribuir y dimensionar las estructuras y las partes de éstas para que soporten satisfactoriamente las cargas a que quedarán sometidas. Las funciones de un proyectista estructural son: el trazo general de la estructura, el estudio de las formas estructurales posibles, la consideración de las condiciones de carga, el análisis de esfuerzos, deflexiones, etc., el diseño de los elementos y la preparación de los planos. Más precisamente, la palabra diseño se refiere al dimensionamiento de las partes de una estructura después de que se han calculado las fuerzas.

El diseño Estructural es "Una mezcla de Arte y Ciencia que combina los sentimientos intuitivos del ingeniero con los principios de la Estática, Dinámica, Mecánica de los Materiales y el Análisis estructural, para producir una estructura segura que sirva sus propósitos".

El diseño de un miembro estructural de acero implica mucho más que el cálculo de las propiedades requeridas para resistir las cargas y la selección del perfil más ligero que tenga tales propiedades. Aunque a primera vista este procedimiento parece que presenta los diseños más económicos, deben considerarse muchos otros factores. Algunos de éstos son los siguientes:

- a. El proyectista necesita seleccionar los tamaños en que se fabrican los perfiles laminados. Vigas, placas y barras de tamaños poco comunes serán difíciles de conseguir en periodos de mucha actividad constructiva y resultarán caros en cualquier época. Un poco de estudio le permitirá al proyectista aprender a evitar tales perfiles.
- b. En ciertos casos, puede ser un error suponer que el perfil más ligero es el más barato. Una estructura diseñada según el criterio de la "sección más ligera" consistirá en un gran número de perfiles de formas y tamaños diferentes. Tratar de conectar y adaptar todos esos perfiles será bastante complicado y el costo del acero empleado probablemente sea muy alto. Un procedimiento más razonable sería uniformar el mayor número posible de perfiles en cuanto al tamaño y forma aunque algunos sean de mayor tamaño.

- c. Para perfiles más grandes, en particular los armados, el proyectista necesita tener información relativa a los problemas del transporte. Esta información incluye: las máximas longitudes y peraltes que pueden transportarse por camión, las alturas libres bajo puentes y líneas de transmisión situadas en las vías de acceso a la obra y las cargas permitidas sobre los puentes que deberán cruzarse. Es posible fabricar en el taller una armadura de techo de una sola pieza, pero no siempre será posible transportarla y montarla en esa condición.
- d. Deben escogerse secciones que sean fáciles de montar y mantener. Por ejemplo, los elementos estructurales de un puente deben tener sus superficies expuestas, dispuestas de manera que puedan pintarse periódicamente (a menos que se utilice un acero especial resistente a la corrosión).

1.6.1 CONCEPTO DE CARGAS DE DISEÑO

Quizá la tarea más importante y difícil que debe enfrentar un diseñador de estructuras, proyectista, es la estimación precisa de las cargas que recibirá una estructura durante su vida útil. No debe dejarse de considerar cualquier carga que pueda llegar a presentarse. Después de que se han estimado las cargas es necesario investigar las combinaciones más desfavorables que pueden ocurrir en un momento dado. Como veremos en seguida las cargas se clasifican en muertas y vivas.

- a. **Cargas Muertas.** Las cargas muertas son cargas de magnitud constante que permanecen fijas en un mismo lugar. Estas son el peso propio de la estructura y otras cargas permanentemente unidas a ésta. Para un edificio con estructura de acero, algunas muertas se deben a: la estructura en sí, los muros, los pisos, el techo, la tubería, etc. Para diseñar una estructura es necesario estimar los pesos o cargas muertas de sus partes. Los tamaños y pesos exactos de las partes no se conocen hasta que se hace el análisis estructural y se seleccionan los miembros de la estructura. Los pesos, determinados de acuerdo con el diseño, debe compararse con los pesos estimados. Si se tienen grandes discrepancias, será necesario repetir el análisis y efectuar el diseño con una estimación más precisa de las cargas. Una estimación razonable de las cargas en la estructura puede

hacerse con base en las tablas que suministra el Reglamento Nacional de Edificación (RNE).

- b) **Cargas Vivas.** Las cargas vivas son aquellas que pueden cambiar de lugar y magnitud. Dicho simplemente, todas las cargas que no son muertas, son vivas. Las cargas que se mueven bajo su propio impulso como camiones, gente, grúas, etc., se denominan cargas móviles y aquellas que pueden ser desplazadas, como muebles, materiales en un almacén, nieve, etc., se denominan cargas movibles. Otras cargas vivas son aquellas causadas al construir, viento, lluvia, sismo, voladuras, suelos y cambios de temperatura. Algunas de éstas son:
 - c) **Cargas de piso.** El peso mínimo de las cargas vivas que debe usarse en el diseño de pisos de edificios se especifican claramente en el Reglamento Nacional de Edificación (RNE).
 - d) **Cargas de techo.** Cargas por montaje y/o por mantenimiento. También está especificado en el Reglamento Nacional de Edificación.
 - e) **Cargas de viento.** Aún cuando se han llevado a cabo gran cantidad de investigaciones respecto a las cargas de viento, todavía se requiere efectuar mucho trabajo, ya que la estimación de esas fuerzas de ninguna manera puede clasificarse como una ciencia exacta. Las magnitudes de las cargas de viento varían con la localidad geográfica. Generalmente se supone que las presiones del viento se aplican uniformemente a las superficies del edificio y se supone que pueden proceder de cualquier dirección.
 - f) **Cargas sísmicas.** Muchas áreas del mundo son sísmicas y es necesario considerar en ellas las fuerzas sísmicas en el diseño de edificios tanto altos como bajos. Durante un sismo se presenta una aceleración en el terreno, la cual puede descomponerse en sus componentes horizontal y vertical. Generalmente, la componente vertical de la aceleración es insignificante, pero no así la horizontal que puede ser muy intensa. Para calcular esta componente horizontal utilizaremos la ecuación que nos indica la Norma E.030 del Reglamento Nacional de Edificación (RNE).

$$E = \frac{Z \cdot U \cdot S \cdot C}{R} \cdot P$$

El alcance de la Norma es establecer las condiciones mínimas para que las edificaciones diseñadas según sus requerimientos tengan un comportamiento sísmico de acuerdo a los principios señalados en el Artículo 3° de la Norma E.030.

La Filosofía del diseño sismoresistente consiste en:

- Evitar pérdidas vidas
- Asegurar la continuidad de los servicios básicos
- Minimizar los daños a la propiedad

En concordancia con la filosofía se establecen en la Norma los siguientes principios de Diseño:

- La estructura no debería colapsar, ni causar daños graves a las personas debido a los movimientos sísmicos severos que puedan ocurrir en sitio.
- La estructura deberá soportar cargas sísmicas moderados, que puedan ocurrir en el sitio durante su vida servicio, experimentando posibles daños dentro de límites aceptables.

2. OBJETIVO

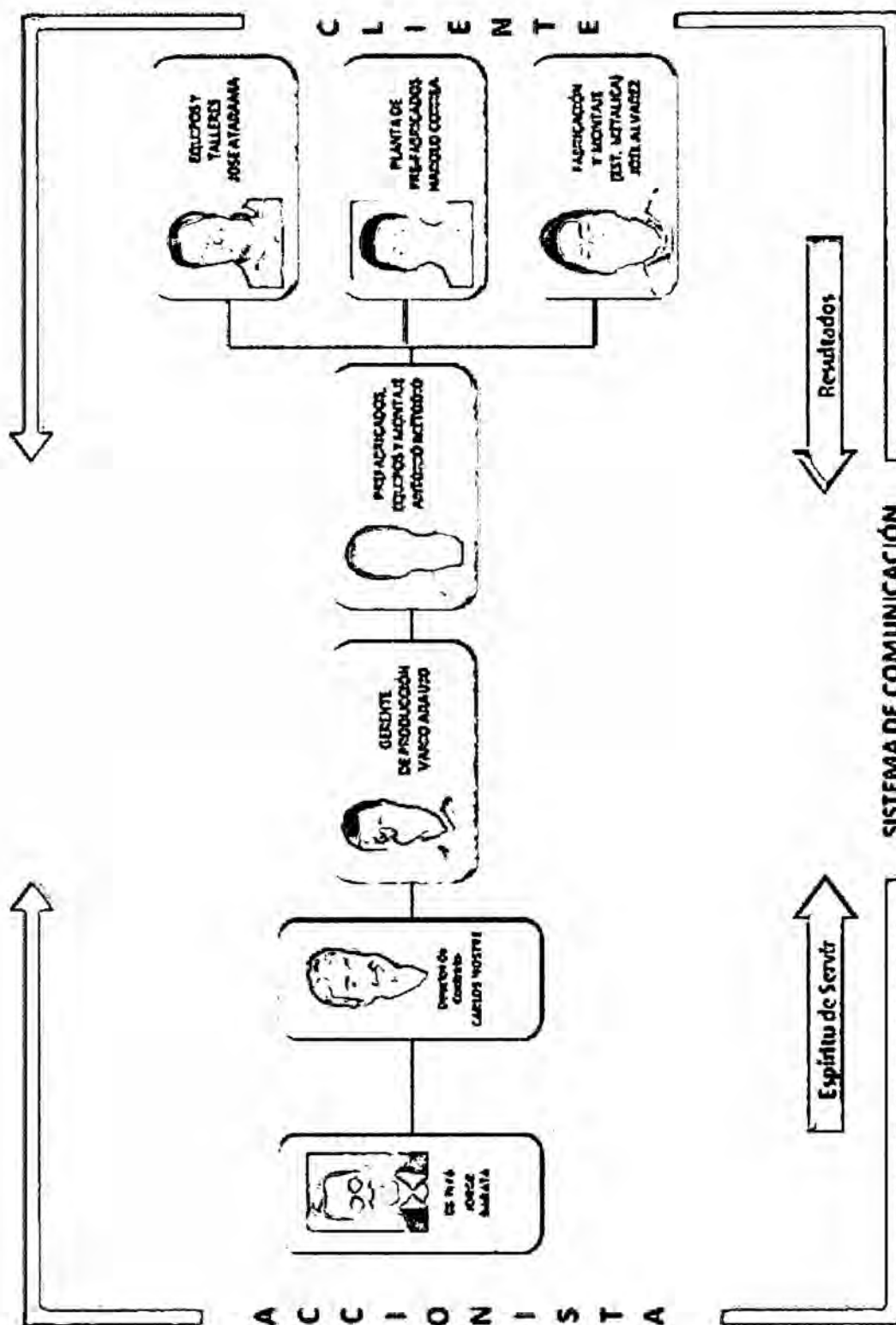
Aportar una guía de diseño al rubro de estructuras metálicas para realizar análisis con el uso de softwares de ingeniería y optimizar tiempos, procesos y costos que sirvan de precedente a futuros proyectos, desde la experiencia señalando que todo proyecto se puede mejorar, rediseñar y optimizar.

- a) Establecer un procedimiento práctico para la Optimización del Diseño Estructural de Cobertura Metálica en el Andén de Pasajeros”, basado en la buena práctica de la ingeniería estructural y uso de Software de ingeniería (Sap 2000 y Tekla Estructures) facilitando el análisis y detallamiento de la estructura.
- b) Optimizar procesos de compra de materiales, tiempos de fabricación y montaje en la obra.
- c) Obtener resultados óptimos en costos y plazos de entrega para la “obra proyecto **Línea 1, Tramo 2 del Metro de Lima-Perú.**”
- d) Este informe tiene como objetivo mostrar y compartir algunas soluciones adoptadas en el desarrollo de la ingeniería y la construcción de la estructura metálica para las 10 Estación de Pasajeros, la experiencia y conocimiento fueron implementadas básicamente para optimizar los procesos de fabricación y montaje y, culminar antes del plazo previsto.

3. ORGANIZACION DE LA EMPRESA O INSTITUCIÓN

El Consorcio Metro de Lima está conformado Por la Constructora Odebrecht y GyM

3.1 ORGANIGRAMA COMO RESPONSABLE DEL PROGRAMA DE FABRICACION Y MONTAJE DE ESTRUCTURA



3.3 COMO ORGANIZACIÓN ODEBRECHT PERÚ SE DESCRIBE:

La Constructora Norberto Odebrecht, empresa holding con más de 65 años de actuación en Brasil, inició su actuación internacional en Perú en 1979 con la construcción de la Central Hidroeléctrica Charcani V en el departamento de Arequipa. Desde 1988, lideró la construcción del Proyecto Especial Chavimochic Etapas I y II que aportó al mejoramiento e incorporación de nuevas tierras para la agricultura, generación de energía eléctrica y abastecimiento de agua para la ciudad de Trujillo y las poblaciones rurales de la zona.

Durante su trayectoria, Odebrecht Perú viene participando en costa, sierra y selva en las principales obras que se ejecutan en el país: Carreteras, plantas de tratamiento de agua y desagüe, alcantarillado sanitario, centrales hidroeléctricas, obras de irrigación, túneles, presas, silos para almacenamiento y montaje electromecánico. Hoy Odebrecht Perú, esta plena y activamente comprometida con la transformación y el bienestar del país: promover el desarrollo sostenible de las comunidades donde actúa, generando riqueza proveniente de la creación de oportunidades de trabajo y del uso racional y consciente de los recursos de la naturaleza, representa su compromiso central.

Es una organización de origen brasileño integrada por negocios diversificados, con actuación y patrones de calidad globales; y llevamos más de 30 años en el Perú. La subsidiaria de Perú, con el objetivo de lograr una total identificación con el país, fue transformada en abril de 2003 en Odebrecht Perú Ingeniería y Construcción S.A.C., constituyéndose en empresa nacional conforme con la legislación peruana habilitada para participar en licitaciones nacionales e internacionales.

4. ACTIVIDADES DESARROLLADAS POR LA EMPRESA O INSTITUCIÓN

Como Organización Odebrecht Infraestructura en Perú se listan los proyectos más importantes desarrollados en nuestro territorio.

02 Organización Odebrecht



Odebrecht

Realización en Perú

74 Contratos en más de 59 Proyectos:

- 2,502 Km de Carreteras Pavimentadas.
- 22 Km. de Sistema de Metro Elevado Urbano.
- 3 Puertos
- 4 Centrales Hidroeléctricas.
- 63 Km de Líneas de Transmisión de Energía.
- 85 Km. de Túneles.
- 3 Proyectos de Desarrollo Minero.
- 148 Puentes y Viaductos.
- 1 Puente Colgante (722 m)
- 4 Represas.
- 242 Km Canales para irrigación (para 60,000 ha).
- 5 Plantas de Tratamiento de Desagüe.
- 3 Plantas de Tratamiento de Agua Potable
- 327 Km. Tuberías de Agua Potable y Desagüe.
- 13 Estaciones Elevadoras de Agua y Desagüe.
- 33,300 Conexiones Domiciliarias con Medidores.



5. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROYECTO DE INGENIERIA

5.1 DESCRIPCION DEL PROYECTO

- a) La ciudad de Lima, capital del país, está pasando por una transformación de su sistema de transporte público, para ello el Estado Peruano mediante la Autoridad Autónoma del Tren Eléctrico (AATE) viene impulsando la construcción de la línea 1 del Metro de Lima en su segundo tramo.
- b) El Tramo 2 de la Línea 1 unirá la Av. Grau con el distrito de San Juan de Lurigancho que es uno de los distritos más poblados de Lima.
- c) Este informe tiene como objetivo mostrar y compartir algunas soluciones adoptadas en el desarrollo de la ingeniería y la construcción de la cobertura metálica para las 10 Estación de Pasajeros, la experiencia y conocimiento fueron implementadas básicamente para optimizar los procesos de fabricación y montaje y, culminar antes del plazo previsto.
- d) Con las lluvias de ideas incorporadas en el desarrollo de la ingeniería del Tramo 2, fue posible reducir el plazos de fabricación y montaje en todas las estaciones de pasajeros, que conlleva a tener un ahorro de tiempo y costo considerable de las 10 estaciones, éste ahorro en tiempo optimizado viabilizara la culminación total del sistema y el funcionamiento de la construcción.
- e) En el presente informe enfocaremos a describir básicamente diseño estructural optimizado de la construcción de una estación construida "BAYOVAR", el cual será modelo de aplicación para las siguientes 9 estaciones del proyecto del Tramo 2 de la Línea 1, en cuestión que tienen las siguientes características y especificaciones:
 - La cubierta de estructura metálica está construida en un área de techada de 125.0m x 19.0m fijados con pernos de anclajes preinstalados, en las vigas diafragmas de la plataforma de concreto del andén lado par e impar de la estación de pasajero.
 - El tipo de cobertura techo optimo que se seleccionó fueron plancha metálicas curvos de aluzinc del tipo TR-4 de Precor.

- La estructura metálica tiene como especificación del proyecto, el recubrimiento superficial; empleado como base y capa intermedia pintura epóxica y como acabado una capa de pintura poliuretano (espesor total de película seca 9 mils).
- Como mejora de la experiencia del tramo anterior, en el diseño se ha previsto que los pórticos se fijen con pernos de anclajes preinstalados en las vigas diafragmas de concreto.

5.2 SITUACIÓN GEOGRAFICA DEL TRAMO II LINEA 1.

Las 10 estaciones forma parte del "Metro de Lima del Tramo 2 de la Línea 1", con una que se encuentran ubicado entre los distritos del Agustino y San Juan de Lurigancho, provincial y departamental de Lima.

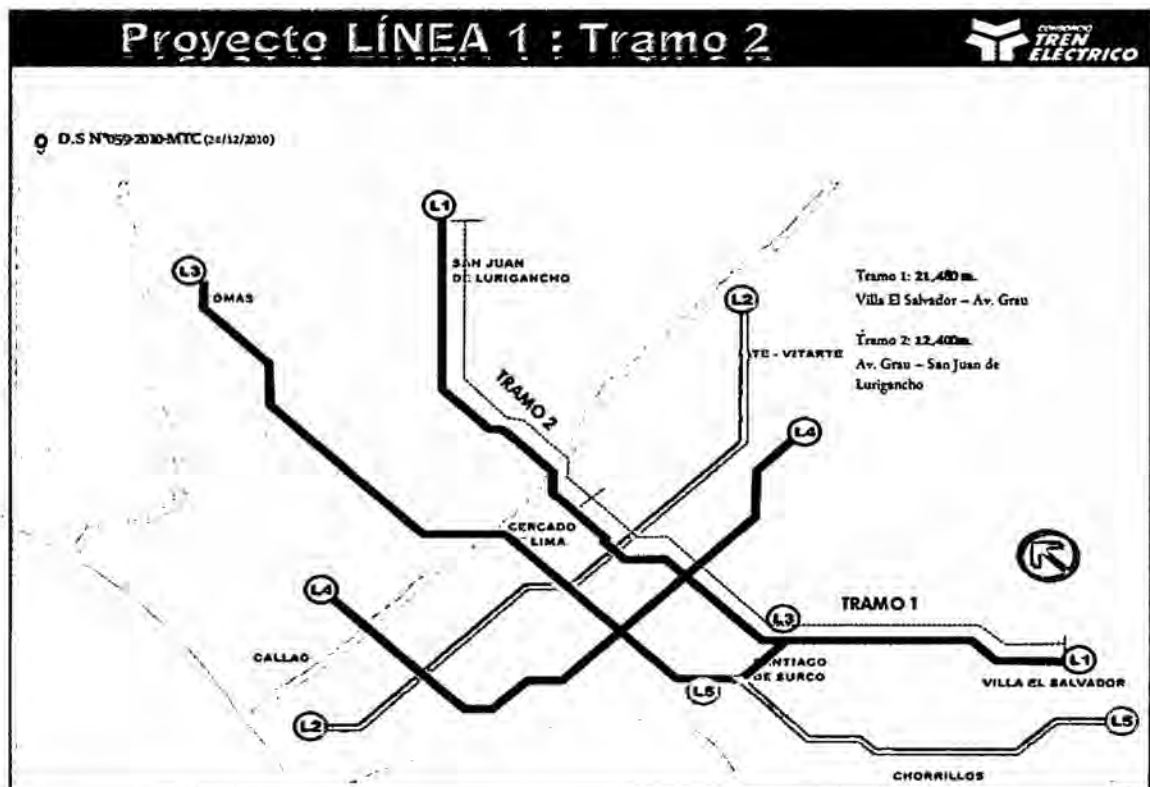


Figura 5.2.1 – Línea 1 Tramo 2, color verde



Figura 5.2.2 – Línea 1 Tramo 2, 10 estaciones

ESTACIONES DE PASAJEROS

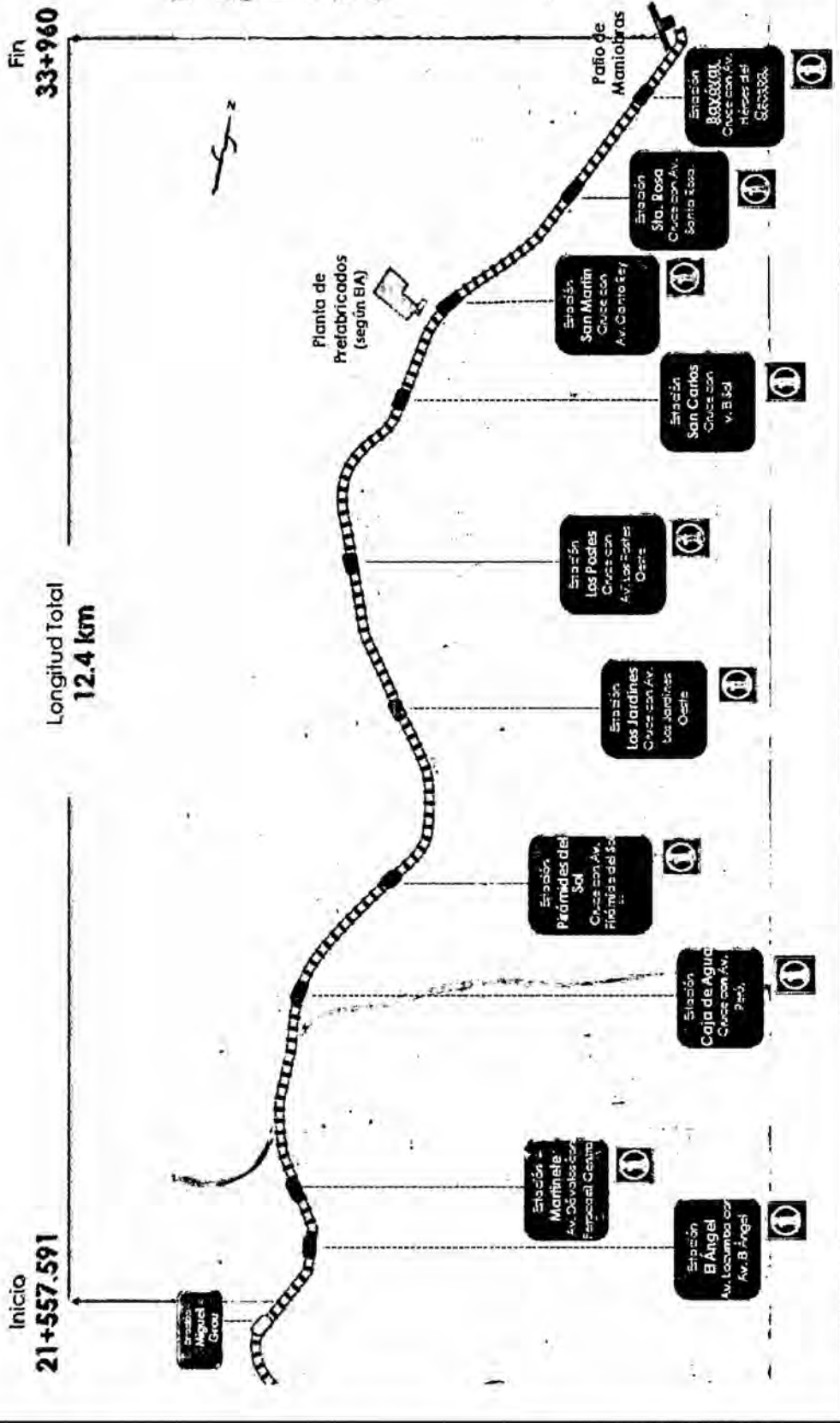


Figura 5.2.3 – Línea 1 Tramo 2, Ubicación de estaciones

5.3 DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA DE LA ESTRUCTURA DEL ANDEN

Las dimensiones del andén de pasajeros es de 120.0m de longitud por 5.15m de ancho en cada lado par e impar del viaducto, y la estructura metálica elíptica construida sobre el andén tiene un área total de techado de 125.0m x 19.0m = **2,375.0m²**.

Sobre la plataforma de concreto del andén se han modulado y fijado los pórticos elípticos en vanos típicos de 4.75m, 6.0m y 6.5m. La modulación y distribución se muestra en la figura 5.3.1.

Para el diseño optimizado se optó usar perfiles y planchas estándar que se comercializan en nuestro mercado local y, siempre pensado que la fabricación y montaje se ejecute de la forma práctica ensamblando todas las piezas pórticos, vigas y arriostres con pernos de conexión tipo ASTM A325 galvanizados. En este diseño las piezas están planteadas 100% empernado en el montaje, no está previsto realizar soldadura en campo y de esta forma la construcción es más eficiente y económica.

Para el diseño y configuración de la estructura metálica se ha partido el inicio con bosquejos y trazos de arquitectura y con las necesidades de cada estación de pasajeros.

En este informe realizaremos el estudio del **“diseño y calculo optimizado de la cubierta metálica del andén de pasajeros”** para la primera estación BAYOVAR que fue como punto de partida para el dimensionamiento de las otras estaciones de pasajero.

Los 22 pórticos elípticos fueron diseñados en 3 tramos que se ensambla con pernos de conexión para efecto de transporte y montaje. Las bases de estos pórticos se apoyan sobre las bases de concreto de las “Vigas Diafragmas” y son fijados con pernos de de anclajes de alta resistencia de calidad ASTM A193 B7. El detalle de los apoyos se muestra en la Figura 5.3.2.

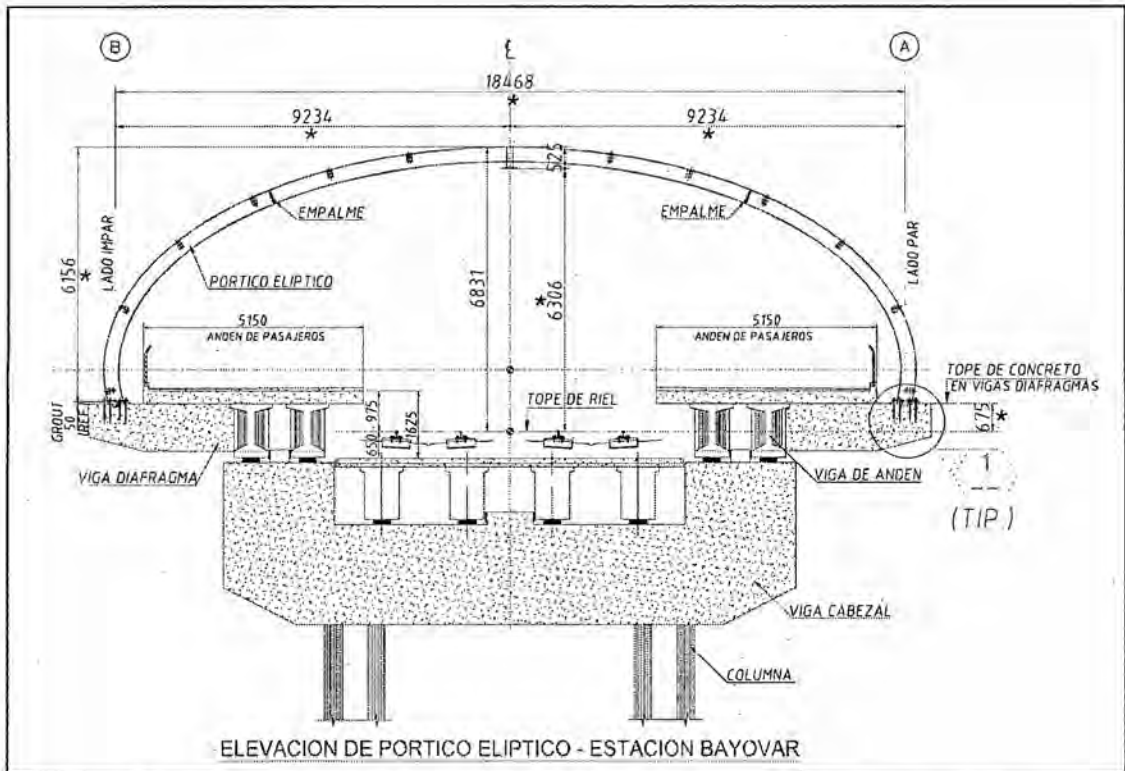


Figura 5.3.1 – Geometría de Pórtico de Cubierta Metálica Andén (Fuente: Tramo 2)

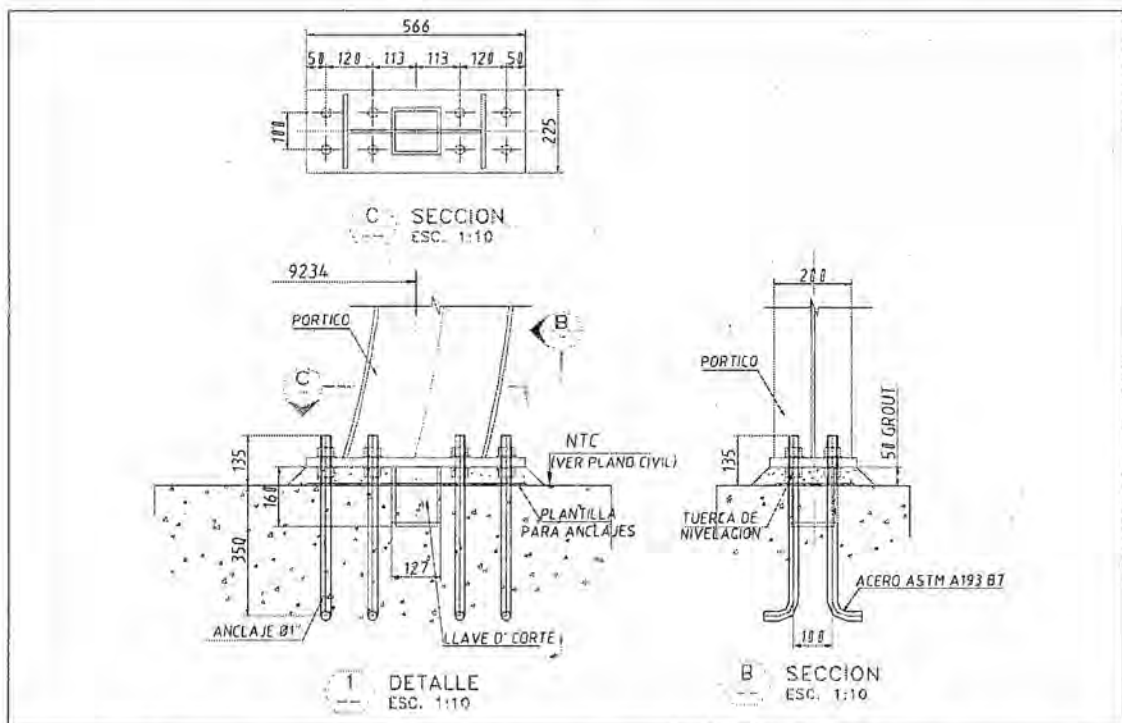


Figura 5.3.2 – Detalle de Pernos de Anclajes Pórticos Elípticos (Fuente: Tramo 2)

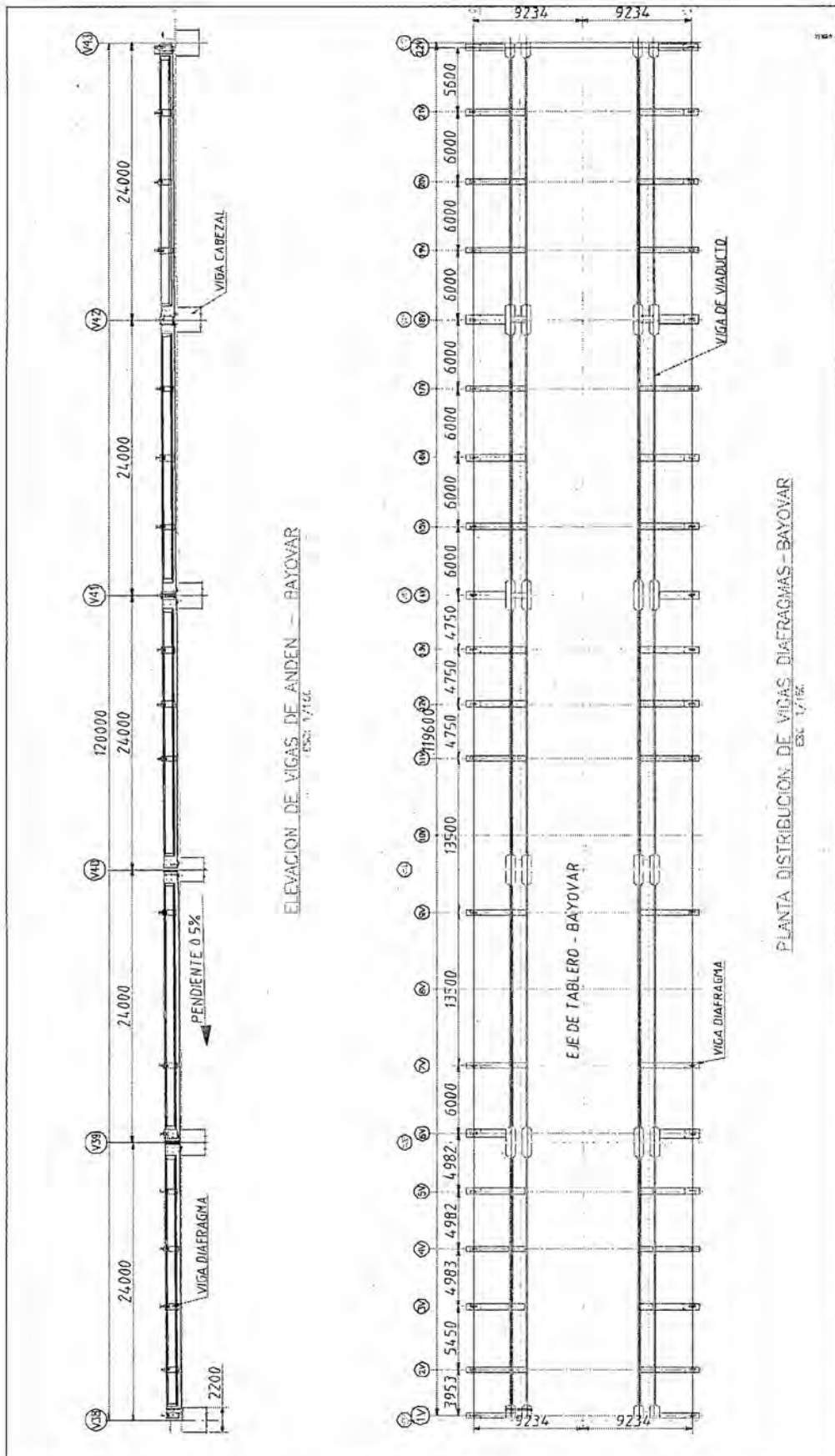


Figura 5.3.3 – Distribución de Vigas Diafragmas (Fuente: Tramo 2)

6. ANALISIS, CÁLCULO Y SELECCIÓN DE PERFILES

La selección de los elementos de la estructura se hizo considerando el **Método de Diseño por Esfuerzos Permisibles**, conocido por sus siglas **ASD** (Allowable Stress Desing). Una herramienta básica fue el Manual del Acero de AISC, el cual contiene los reglamentos, usos y factores para la buena práctica de la ingeniería. Y para agilizar los cálculos de esfuerzos o desplazamientos utilizaremos el software **SAP2000 versión 14.0**.

Los diseños de edificios generalmente son controlados por códigos de construcción el American Institute of Steel Construction (AISC). Además, los diseños deben satisfacer los requisitos y especificaciones del propietario.

Para determinar las acciones internas en los miembros de las estructuras se tienen que analizar las mismas para los efectos de las cargas y sus combinaciones. Toda estructura debe comportarse obedeciendo las leyes de la Mecánica. En la Ingeniería Estructural se conoce dos métodos de análisis: Elástico e Inelástico. El primero de ellos supone que las deformaciones son proporcionales a las cargas aplicadas. En el método inelástico se considera que las deformaciones no son proporcionales a las cargas aplicadas lo que obliga a un seguimiento, paso por paso, para poder definir el comportamiento de la estructura en un instante dado.

Aun cuando la determinación de las cargas debe hacerse después de tener una configuración preliminar de la estructura, empezaremos por ella, para tener una visión rápida y general, pues su investigación multidisciplinaria no va a ser agotada ni mucho menos en este informe, y luego pasaremos de lleno a la selección de los perfiles adecuados para estructura.

Para todos los efectos de cálculo se tomarán las dimensiones iniciales de la cubierta metálica del andén, esto es:

$$\text{Área Proyectada} = 125.0\text{m} \times 19.0\text{m} = 2,375.0\text{m}^2$$

El documento explica el procedimiento utilizado para el diseño estructural de los elementos que componen la edificación.

6.1 DEFINICIONES DE REGLAMENTOS Y CODIGOS

| | |
|------|---|
| RNE | Reglamento Nacional de Edificaciones |
| ASCE | American Society of Civil Engineers |
| IBC | International Building Code |
| AISC | American Institute of Steel Construction |
| AWS | American Welding Society |
| OSHA | Occupational Safety and Health Administration |
| ASTM | American Society for Testing and Materials. |

6.2 DOCUMENTOS DE REFERENCIA

Los documentos de referencia usados en el diseño y análisis son presentados en el siguiente Cuadro.

Tabla 05

| | | |
|--|---------------|--|
| RNE Nacional Edificaciones (2006) | Reglamento de | Norma E.020 Cargas |
| | | Norma E.030 Sismo Resistente |
| | | Norma E.090 Acero Estructural |
| ASCE 7-10 | | Minimum Design Loads for Building and other structures |
| AISC (American Institute of Steel Construction) | | Manual of Steel Construction 14th Edition, 2011 |
| | | Specification for Structural Steel Building - Load and Resistance Factor Design (LRFD), June 2010 |
| | | Specification for Structural joints using ASTM A325 or A490 Bolts |
| | | Code of Standard Practice for Steel Building and Bridges AISC |
| AWS.D1.1/D1.1M | | Structural Welding Code – Steel, American Welding Society |
| OSHA | | Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (Occupational Safety and Health Administration) Título 29 |
| ASTM | | Estándares aplicables para los diferentes materiales de construcción especificados en este Criterio, American Society for Testing and Materials. |

En caso de conflicto con normas locales, la solución conservadora será utilizada.

6.3 CARGAS DE DISEÑO Y COMBINACIONES DE CARGAS

6.3.1 CARGA MUERTA (D)

Es la carga vertical debida al peso propio de los elementos estructurales y no estructurales, incluyendo equipos, tuberías, ductos, conductos eléctricos y elementos fijos a las estructuras.

Cuadro de Cargas Muertas previsto:

Tabla 06

| Material | Cargas | |
|--|------------------------|-------------------------|
| Acero Estructural | 7850 kg/m ³ | 78 kN/m ³ |
| Cubiertas metálicas, panel TR-4 curvo | 5.5 kg/m ² | 0.055 kN/m ² |
| Otras Instalaciones (luminarias y bandejas) | 10 kg/m ² | 0.1 kN/m ² |
| Catenaria (A cada pórtico del eje del andén) | 2 x 550 kg | 11.0 kN |

En el software se configura para que el SAP2000 realice el cálculo del peso de acero que compone la estructura.

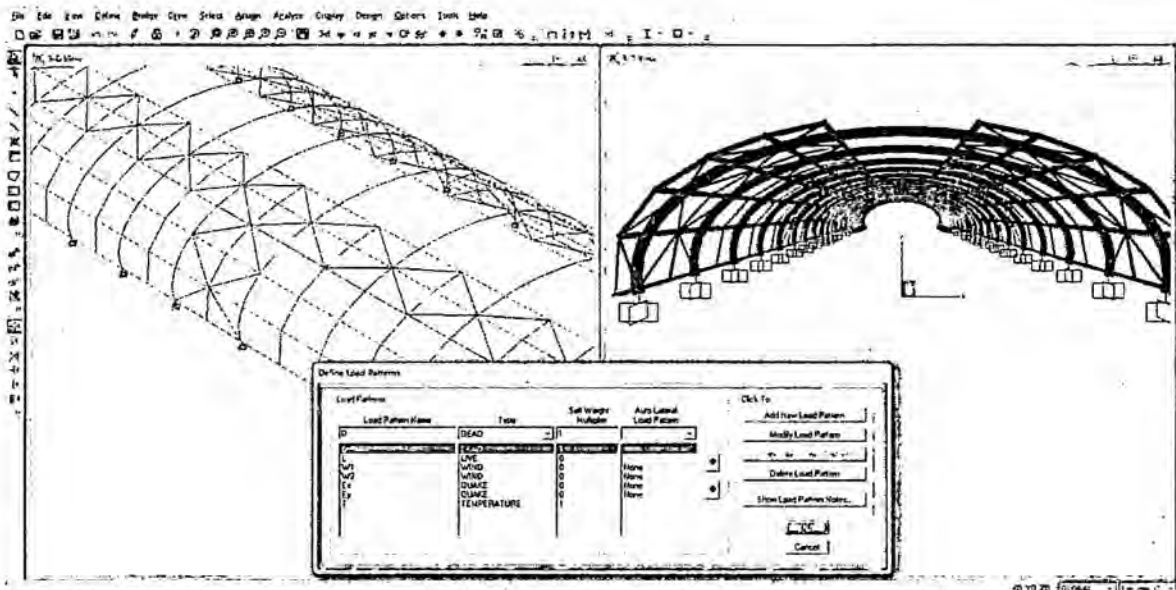


Figura 6.3.1.1 - El peso de perfiles de acero modelados, es considerado por el software (Fuente: SAP2000)

En el siguiente esquema se muestra la Carga Muerta en la Viga Longitudinal, que es calculada considerando un ancho tributario de 2.0m y la Carga distribuida es:

$$w_D = 15.5.0 * 2.0 / 100 = 0.31 \text{ kg / cm}$$

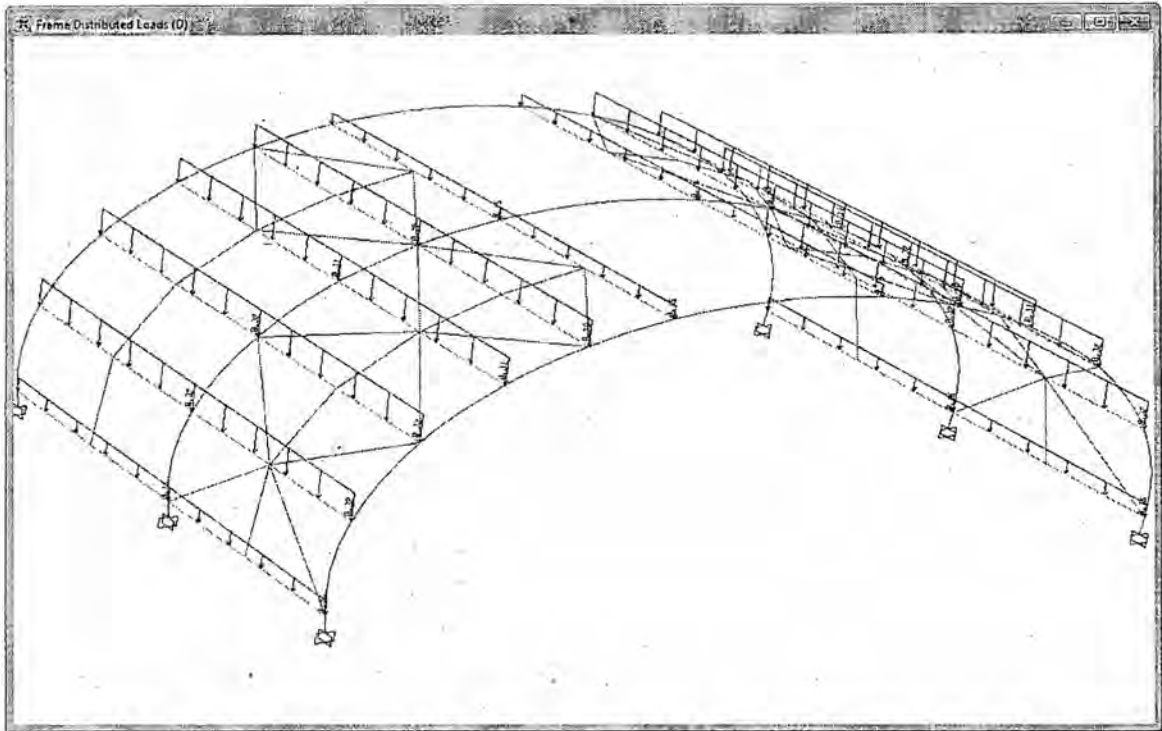


Figura 6.3.1.2 – Carga de Cubiertas Metálicas y Otras Instalaciones, kg/cm (Fuente: SAP 2000)

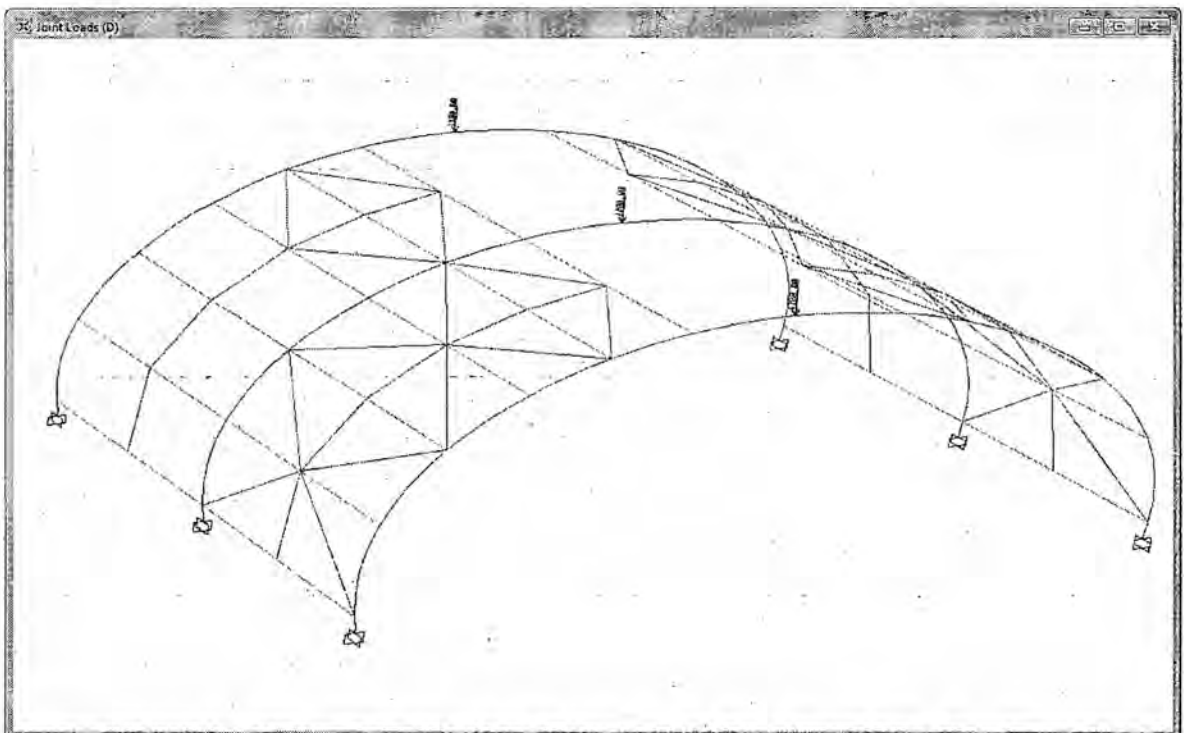


Figura 6.3.1.3 – Carga de Catenaria, kg (Fuente: SAP 2000)

6.3.2 CARGA VIVA (L)

Para el caso de cobertura liviana de planchas onduladas o plegadas, material plástico, etc. La mínima Carga Viva sobre los techos para cualquiera sea su pendiente deberá ser 0.30 kPa (30 kg/m²) de acuerdo a la Norma E.020 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Esta carga se principalmente para cubrir peso de personal en el montaje y mantenimiento.

El ancho tributario de la viga longitudinal del techo es 2.0m, y la carga distribuida es:

$$w_L = 30.0 * 2.0 / 100 = 0.60 \text{ kg / cm}$$

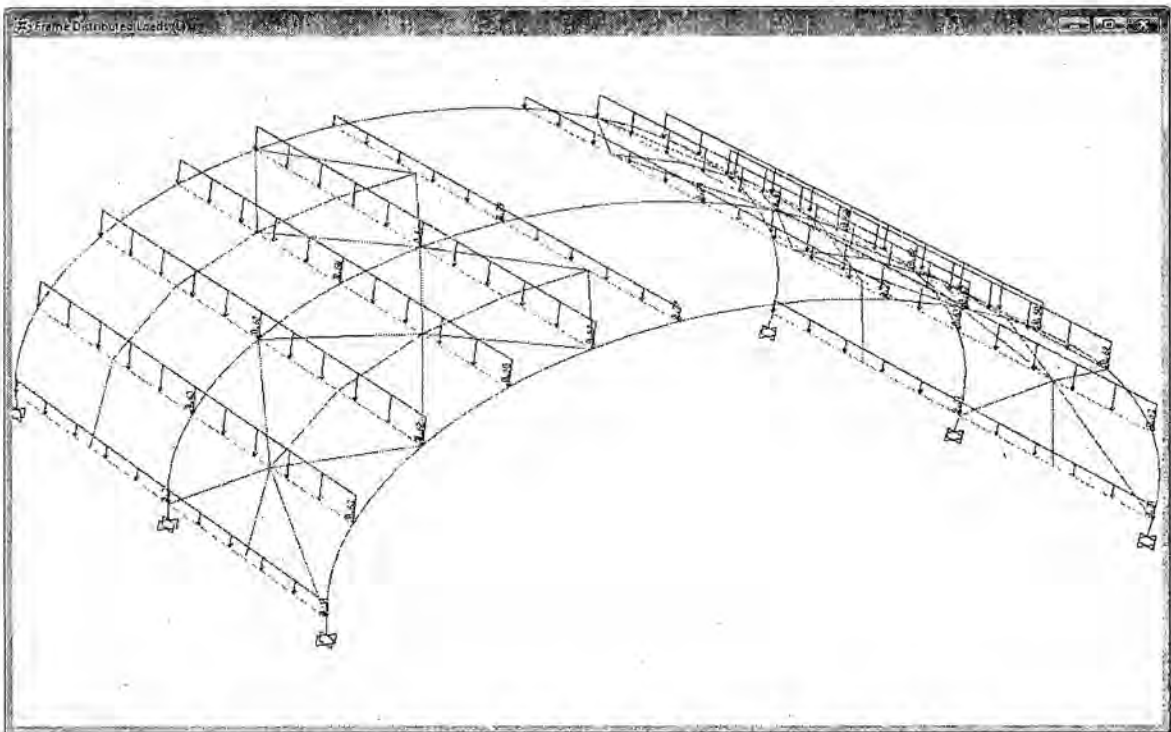


Figura 6.3.2.1 – Carga Viva de Techo, kg/cm (Fuente: SAP2000)

6.3.3 CARGA DE VIENTO (W)

Las consideraciones de la carga de viento exterior (presión o succión) ejercida por el viento se supondrá estática y perpendicular a la superficie sobre la cual actúa, de acuerdo a la Norma E.020 del Reglamento Nacional de Edificaciones. Se calcula mediante la expresión.

$$P_h = 0.005 \cdot C \cdot V_h^2$$

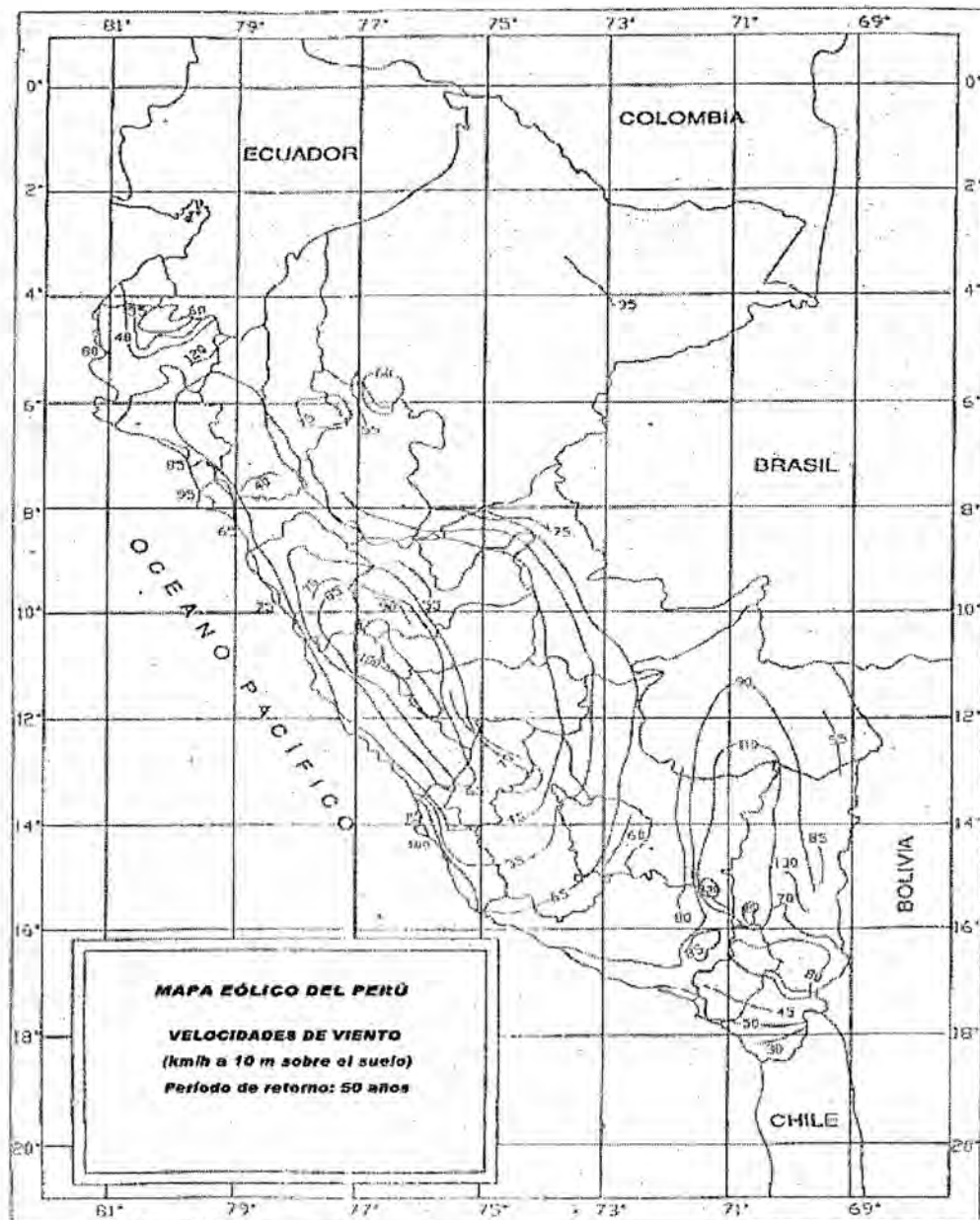


Figura 6.3.3.1 – Mapa Eólico del Perú (Fuente: Norma 0.20, RNE)

Dónde:

Ph: Presión o succión del viento a una altura h en kgf/m²;

C: Factor de forma adimensional según tabla 4, (Artículo 12 del RNE);

Vh: Velocidad de diseño según figura 6.3.3.1, previsto es (75.0 km/h).

Reemplazando valores tenemos la siguiente expresión:

$$P_h = C \cdot 28,0 \text{ kg/m}^2$$

VIENTO ACTUANTE EN PÓRTICOS Y CUBIERTAS CILÍNDRICAS:

Factores de Carga Externas de Viento:

- Barlovento C = +/- 0.8
- Sotavento C = -0.5

Factores de Cargas Internas de Viento C = -0.6

- Caso 1: W1 x (Presión - Succión):

$$\text{Barlovento} \Rightarrow P = (+ 0.8 - (0.6)) \cdot Ph = + 0.2 \cdot Ph, \quad P = 5.6 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Sotavento} \Rightarrow P = (- 0.5 - (0.6)) \cdot Ph = - 1.1 \cdot Ph, \quad P = - 30.8 \text{ kg/m}^2$$

- Caso 2: W2 x (Succión - Succión):

$$\text{Barlovento} \Rightarrow P = (- 0.8 - (0.6)) \cdot Ph = - 1.4 \cdot Ph, \quad P = - 39.2 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Sotavento} \Rightarrow P = (- 0.5 - (0.6)) \cdot Ph = - 1.1 \cdot Ph, \quad P = - 30.8 \text{ kg/m}^2$$

(*) Se aplicara barlovento y sotavento, cuando se tenga cerrado con cobertura los dos costados del techo.

(**) Se aplica Barlovento, cuando se tenga cerrado con cobertura uno de los costados del techo.

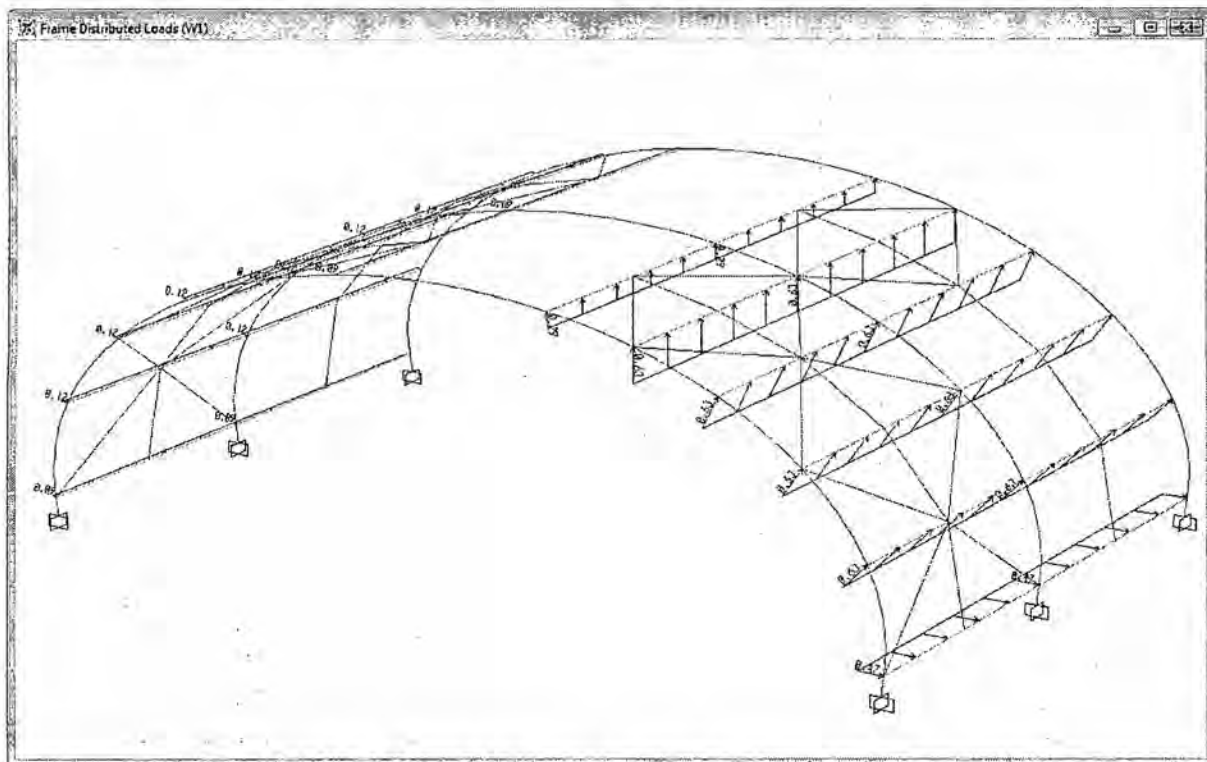


Figura 6.3.3.1 – Carga de Viento W1x, kg/cm (Fuente: SAP 2000)

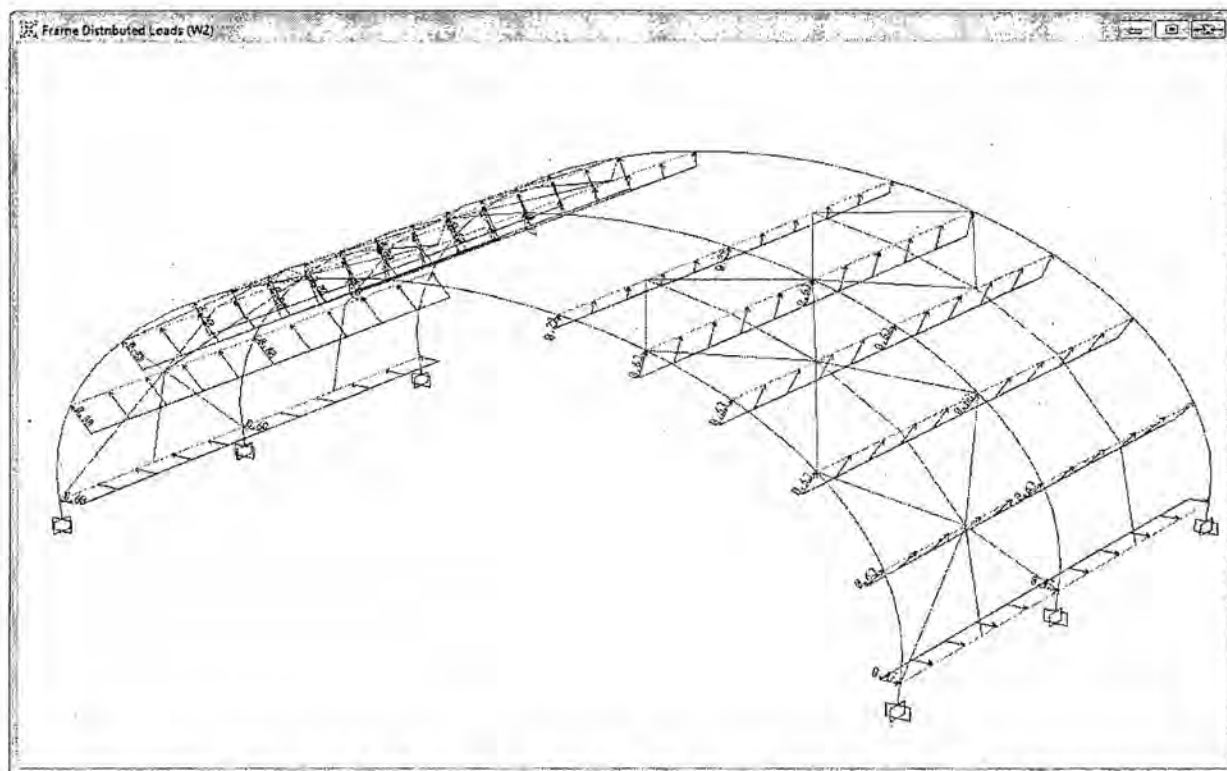


Figura 6.3.3.2 – Carga de Viento W2x, kg/cm (Fuente: SAP 2000)

6.3.4 CARGA DE SISMO (E)

Las cargas sísmicas están basadas en las exigencias de la Norma E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

El sistema estructural principal está analizado y diseñado basado en el procedimiento del sistema estático de carga horizontal.

$$E = \frac{Z * U * C * S}{R} * P_t,$$

Factor de Zona (Z). El territorio nacional se considera dividido en tres zonas como se muestra en la siguiente figura. A cada zona se asigna un factor "Z" según se indica en la siguiente tabla, ese factor se interpreta como la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.

Tabla 07

| Factores de Zona | |
|------------------|--------------------|
| Zona | Factor de Zona "Z" |
| 3 | 0.4 |
| 2 | 0.3 |
| 1 | 0.15 |

De acuerdo a la figura 6.3.4.1, Lima se encuentra en la zona 3, por lo tanto el factor de zona es:

$$Z = 0.4$$



Figura 6.3.4.1 – Mapa de Zonificación "Z" (Fuente: Norma 0.30, RNE)

Coefficiente de Uso e Importancia (U), de acuerdo al uso e importancia cuando ocurre un sismo las construcciones se clasifican de la siguiente forma en:

Tabla 08

| CATEGORIA | DESCRIPCION | FACTOR U |
|-----------------------------------|--|----------|
| A Edificaciones Esenciales | Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después que ocurra un sismo, como hospitales, centrales de comunicaciones, cuarteles de bomberos y policía, subestaciones eléctricas, reservorios de agua. Centros educativos y edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre. También se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, como grandes hornos, depósitos de materiales inflamables o tóxicos. | 1,5 |
| B Edificaciones Importantes | Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas como teatros, estadios, centros comerciales, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos, bibliotecas y archivos especiales. También se considerarán depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento | 1,3 |
| C Edificaciones Comunes | Edificaciones comunes, cuya falla ocasionaría pérdidas de cuantía intermedia como viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios, fugas de contaminantes, etc. | 1,0 |
| D Edificaciones Menores | Edificaciones cuyas fallas causan pérdidas de menor cuantía y normalmente la probabilidad de causar víctimas es baja, como cercos de menos de 1,50m de altura, depósitos temporales, pequeñas viviendas temporales y construcciones similares. | (*) |

(*) En estas edificaciones, a criterio del proyectista, se podrá omitir el análisis por fuerzas sísmicas, pero deberá proveerse de la resistencia y rigidez adecuadas para acciones laterales.

La estructura del andén es un caso esencial de instalaciones públicas de edificación. Por lo tanto el coeficiente a usar es:

$$U = 1.5$$

Factor de Amplificación de Suelo (S). Para los efectos de esta Norma, los perfiles de suelo se clasifican tomando en cuenta las condiciones geotécnicas (propiedades mecánicas de suelo, espesor del estrato, el periodo fundamental de vibración y la velocidad de propagación de las ondas de corte). Los tipos de perfiles de suelos son cuatro, deberá considerarse el que mejor describa las condiciones locales, utilizándose los correspondientes valores de Tp y S, dados en la siguiente tabla.

Tabla 09

| Parámetros de Suelo | | | |
|----------------------------|---|--------------|----------|
| Tipo | Descripción | Tp(s) | S |
| S1 | Roca o suelo muy rígido | 0.4 | 1.0 |
| S2 | Suelos intermedios | 0.6 | 1.2 |
| S3 | Suelos flexibles o con estratos de gran espesor | 0.9 | 1.4 |
| S4 | Condiciones excepcionales | * | * |

(*) Los valores de Tp (periodo Predominante de Vibración) y S para este caso serán establecidos por el especialista, pero en ningún caso serán menores que los especificados para el perfil tipo S3.

De acuerdo a l estudio de suelo realizado para el proyecto se consideró tipo de suelo "S1" y se usó S=1.0

Factor de Amplificación de Sísmica (C). De acuerdo a las características del sitio, se define el factor de amplificación sísmica C por la siguiente expresión

$$C = 2.5 * \left(\frac{T_p}{T} \right)$$

donde; $C = 2.5$

Este coeficiente se interpreta como el factor de amplificación de la respuesta estructural respecto a la aceleración en el suelo. $T_p=0.4$ seg y T(Periodo Fundamental de la Estructura) se obtiene de la siguiente expresión:

$$T = \frac{h_N}{C_T}$$

Donde hn es la altura total de edificio, y Ct=35, 45 ó 60 dependiendo si la estructura es pórtico, mixta o muro de corte, en cualquier caso, el valor de C es superior a 2.5 por lo que tomamos:

$$C = 2.5$$

Coefficiente de Reducción de Fuerza Sísmica (R). Los sistemas estructurales se clasifican según los materiales usados y el sistema de estructuración sismorresistente predominante en cada dirección tal como se indica en la tabla siguiente, según la clasificación que se haga de una edificación se usará un coeficiente de reducción de fuerza sísmica (R) y se tendrá un límite de altura. Esto lo podemos apreciar en la tabla 10.

Tabla 10

| Sistemas Estructurales | | |
|---|------------------------------------|-------------------------|
| Sistema Estructural | Coefficiente de Reducción R | Límite de Altura |
| <p>Pórticos de Acero. Con nudos rígidos y/o sistemas de arriostramiento.</p> <p>Pórticos de Concreto Armado. Sistema en el que las cargas verticales y horizontales son resistidas únicamente por pórticos de concreto armado.</p> <p>Sistema Dual. Sistema en el cual las fuerzas horizontales son resistidas por una combinación de pórticos y muros de concreto armado en adición a la caja de ascensores o escaleras. Los pórticos deberán ser diseñados para tomar por lo menos el 25 % de la fuerza cortante en la base.</p> | 10 | ---- |
| <p>Muros de Concreto Armado. Sistema en el que la resistencia sísmica está dada fundamentalmente por muros de concreto armado.</p> | 7.5 | ---- |
| <p>Albañilería Armada o Confinada. Sistema en el cual los muros de albañilería resisten cargas verticales y horizontales. El sistema puede incluir algunos elementos de concreto armado para resistir estas cargas.</p> | 6 | 15 m |
| <p>Construcciones de Madera.</p> | 7 | 8 m |

Listamos los valores seleccionados extraídos de las tablas N° 07, 08, 09 y 10.

Dónde:

Z = 0.4 (Zona Sísmica 3);

U = 1.5 (Factor de Importancia para estructuras categoría A);

S = 1.0 (Factor del Suelo);

R_x = 6.0 (Estructuras de acero con arriostres en cruz – según RNE);

R_y = 3.25

C = 2.5

P_t = PD + α*PL (Carga permanente sobre la construcción que se calcula adicionando a la carga muerta un cierto porcentaje de la carga viva)

Reemplazando los valores a la ecuación sísmica tenemos los coeficientes sísmicos resultantes en dirección "X" & "Y":

$$E_x = \frac{ZUCS}{R_x} P_t = 0.25 * P_t, \quad E_y = \frac{ZUCS}{R_y} P_t = 0.46 * P_t$$

La carga horizontal se presenta en la Figura No 6.3.4.1 & 6.3.4.2. Presumir la carga vertical sísmica como 2/3 de la dirección de la carga horizontal.

Metrado de Cargas para el Cálculo de P_t (Se analiza para un vano Intermedio de 6.0m)

| | | |
|---|--|---------------------------------|
| Peso de acero de Estructura un vano de 6.0m | = 44.15kg/m ² *(6.0m*18.5m) | = 4900.0 kg |
| Peso de panel curvo TR-4 Precor | = 10.0kg/m ² (6.0*18.5m) | = 1110.0 kg |
| Peso Total (Carga Muerta) | | PD = 6010.0 kg |
| Carga Viva Techo al 25%*L | PL = 0.25*30*6.0*18.5 | = 833.0 kg |
| | | Pt = PD + PL = 6843.0 kg |

La carga sísmica aplicada en un pórtico es como sigue: $E_x = 0.25 * 6843.0 = 1711.0kg$

La carga sísmica aplicada en un pórtico es como sigue: $E_y = 0.46 * 6843.0 = 3148.0kg$

Estos valores "E_x" y "E_y" se aplican en el modelo de estructura proporcionalmente en la cantidad de nudos de cada pórtico.

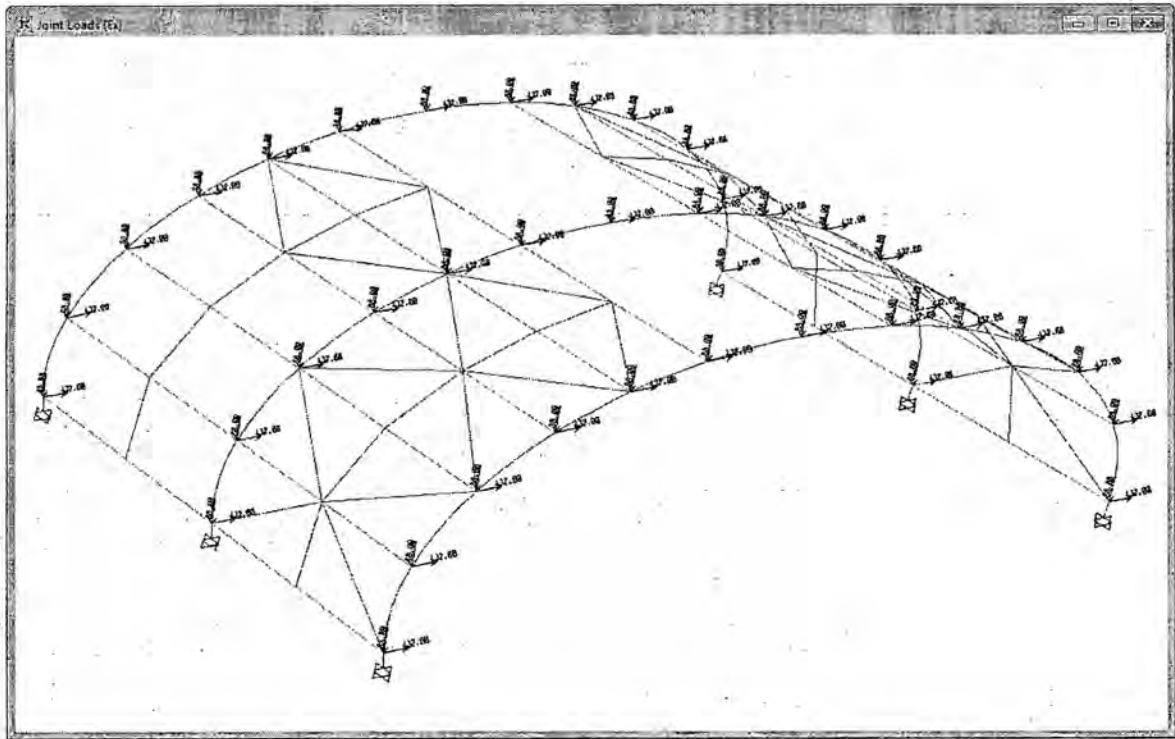


Figura 6.3.4.1 – Carga de Sismo Ex, kg (Fuente: SAP 2000)

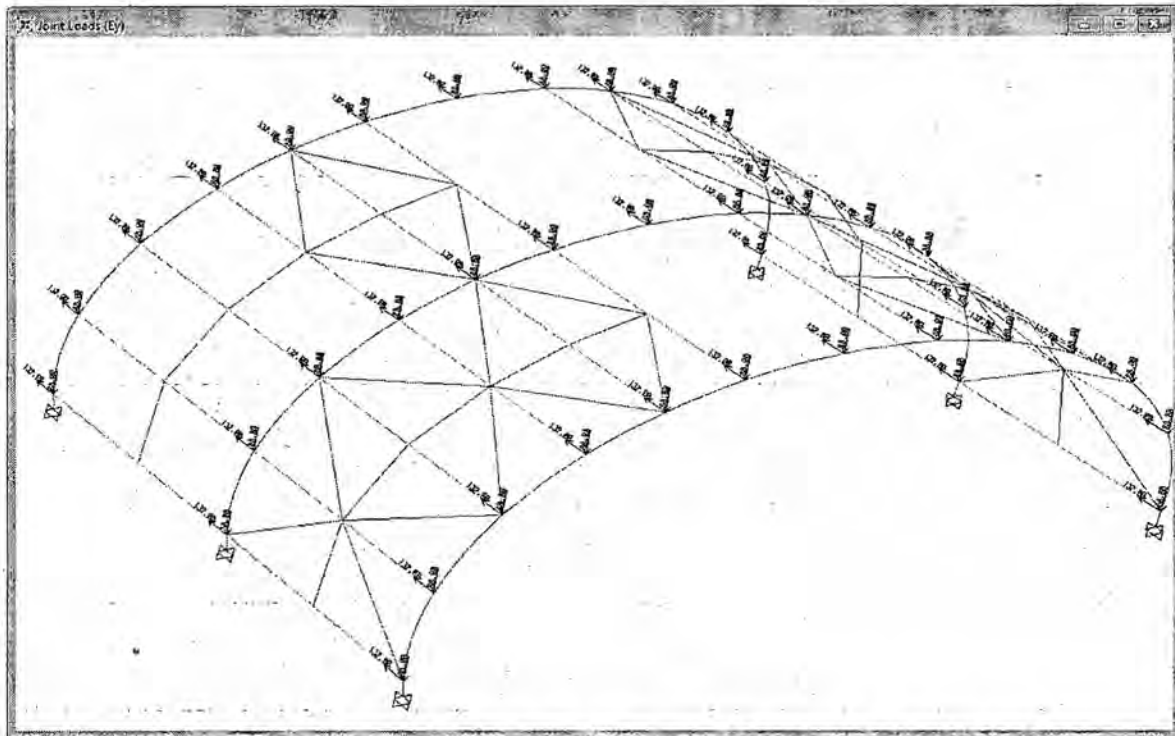


Figura 6.3.4.2 – Carga de Sismo Ey, kg (Fuente: SAP 2000)

6.3.5 CARGA DE TEMPERATURA (T)

Son las fuerzas originadas por el cambio en la temperatura; el factor de carga será el mismo utilizado para cargas muertas.

Se utilizaran los siguientes coeficientes de dilatación térmica:

Acero: $0.000012 (1/^\circ\text{C})$

De acuerdo a Norma E.020 del Reglamento Nacional de Edificaciones, se considera un gradiente de temperatura de 20°C para estructuras de concreto y 30°C estructuras metálicas.

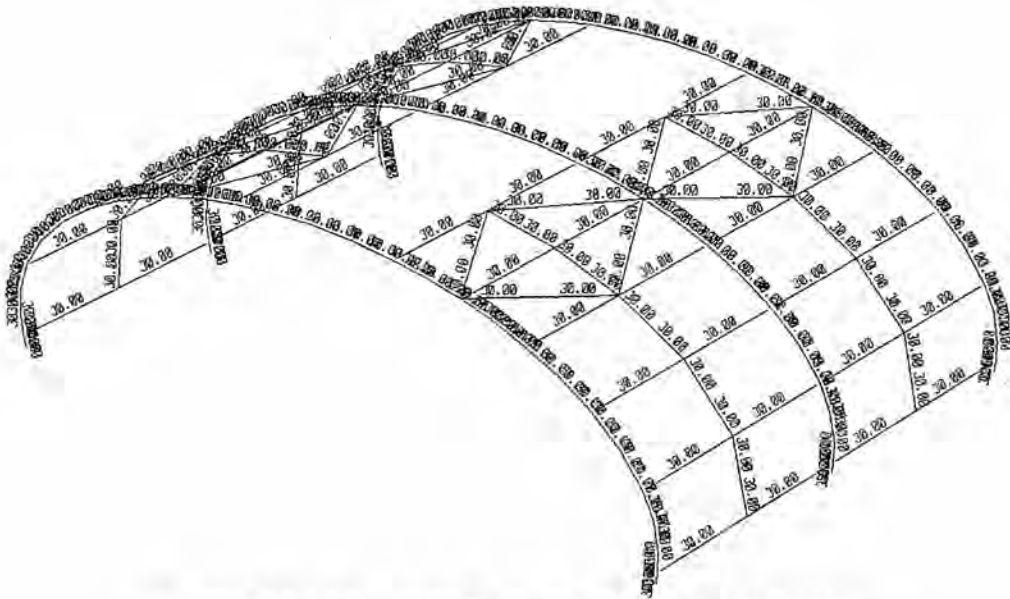


Figura 6.3.5.1 – Carga de Temperatura (Fuente: SAP 2000)

6.3.6 COMBINACIONES DE CARGAS

Las combinaciones de carga Cargas según Norma ASD-ASCE-7 Section 2.4 usadas en el análisis y el diseño de la estructura son:

Tabla 11

| Comb. | Descripción |
|-------|-------------------------|
| 1 | D |
| 2 | D + L |
| 3 | D + T |
| 4 | D + Wx1 |
| 5 | D + Wx2 |
| 6 | D + 0.7 Ex |
| 7 | D + 0.7 Ey |
| 8 | D + 0.75Wx1 + 0.75L |
| 9 | D + 0.75Wx2 + 0.75L |
| 10 | D + 0.75 (0.7Ex + 0.7L) |
| 11 | D + 0.75 (0.7Ey + 0.7L) |

Donde:

- D* : Carga muerta;
- L* : Carga viva techo;
- W* : Carga de viento;
- E* : Carga sísmica;
- T* : Carga de temperatura

6.4 SISTEMA ESTRUCTURAL

Las estructuras metálicas serán instaladas como cubiertas para los andenes. Una vista referencial de la superestructura de la estación se presenta en la Figura 6.4.1. Secciones transversales y longitudinales con parámetros de acotamiento generales se presenta en las Figuras 2.2.2.

El sistema de gravedad en las estructuras metálicas se presenta por marcos estructurales en arco transfiriendo cargas verticales a la superestructura de hormigón (ver Figura 6.4.6). El espaciamiento de los arcos varía de 4500 mm a 6750 mm. Cuatro elementos de transferencia horizontal fueron añadidos (vigas $L=13500$ mm) para apoyar dos arcos intermedios en la zona de las escaleras mecánicas.

Sistema de resistencia a fuerzas laterales de las estructuras metálicas se presenta con un marco de momento en dirección transversal y arriostrado longitudinalmente (ver Figura 6.4.6). La combinación de un sistema de arriostramiento longitudinal y transversal con marcos en arco provee un sistema geoméricamente estable e íntegro.

Secciones de acero para las estructuras metálicas de los andenes se presentan en la Figura 5.5. La conexión de la estructura metálica a la superestructura se ve en la Figura 6.4.2

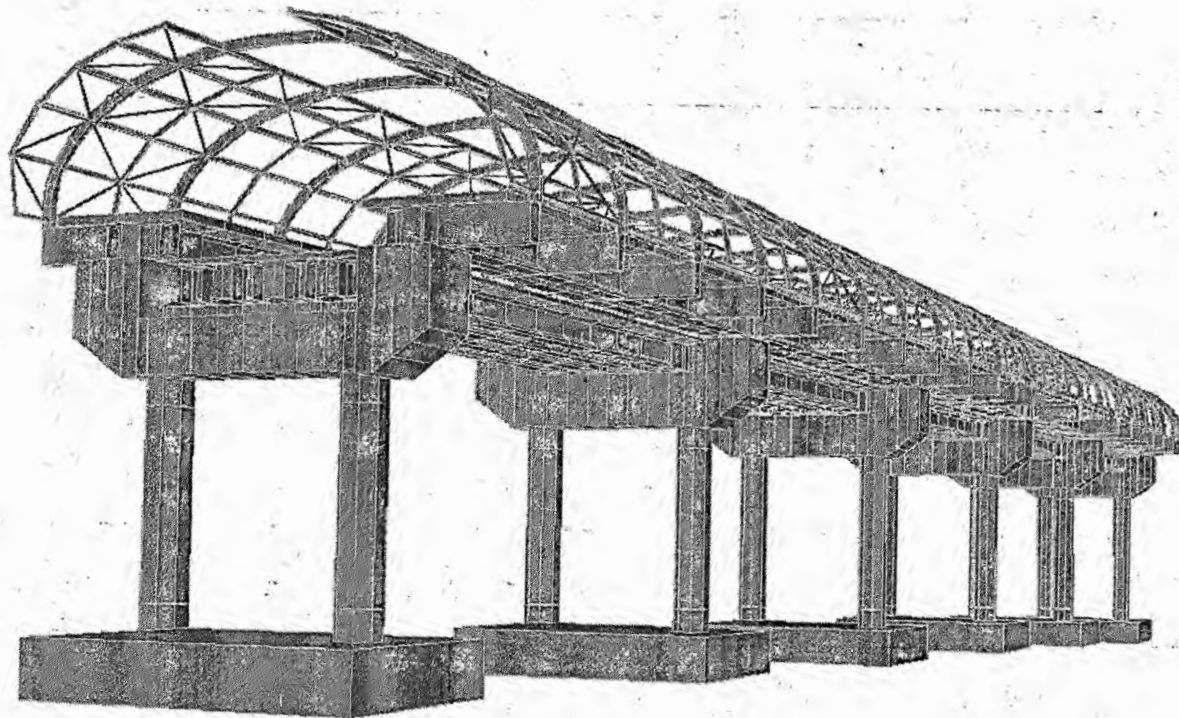


Figura 6.4.1 – Vista referencial de la estación (Fuente: SAP 2000)

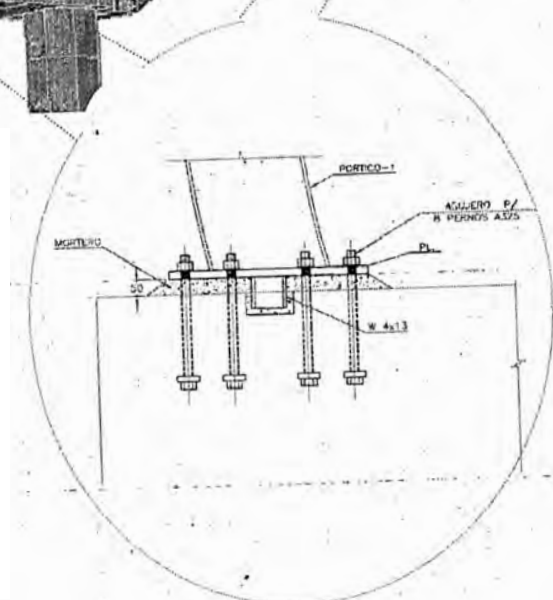
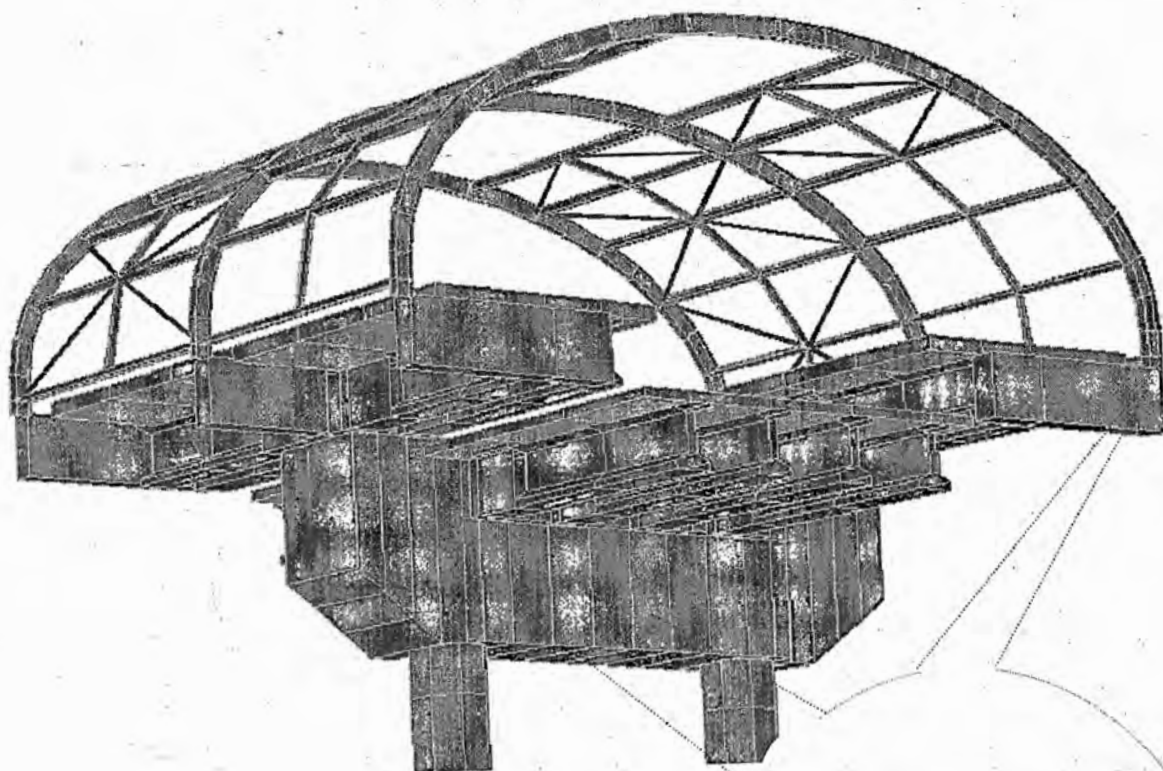


Figura 6.4.2 – Conexión de estructura metálica de acero con superestructura de hormigón (Fuente: SAP 2000)

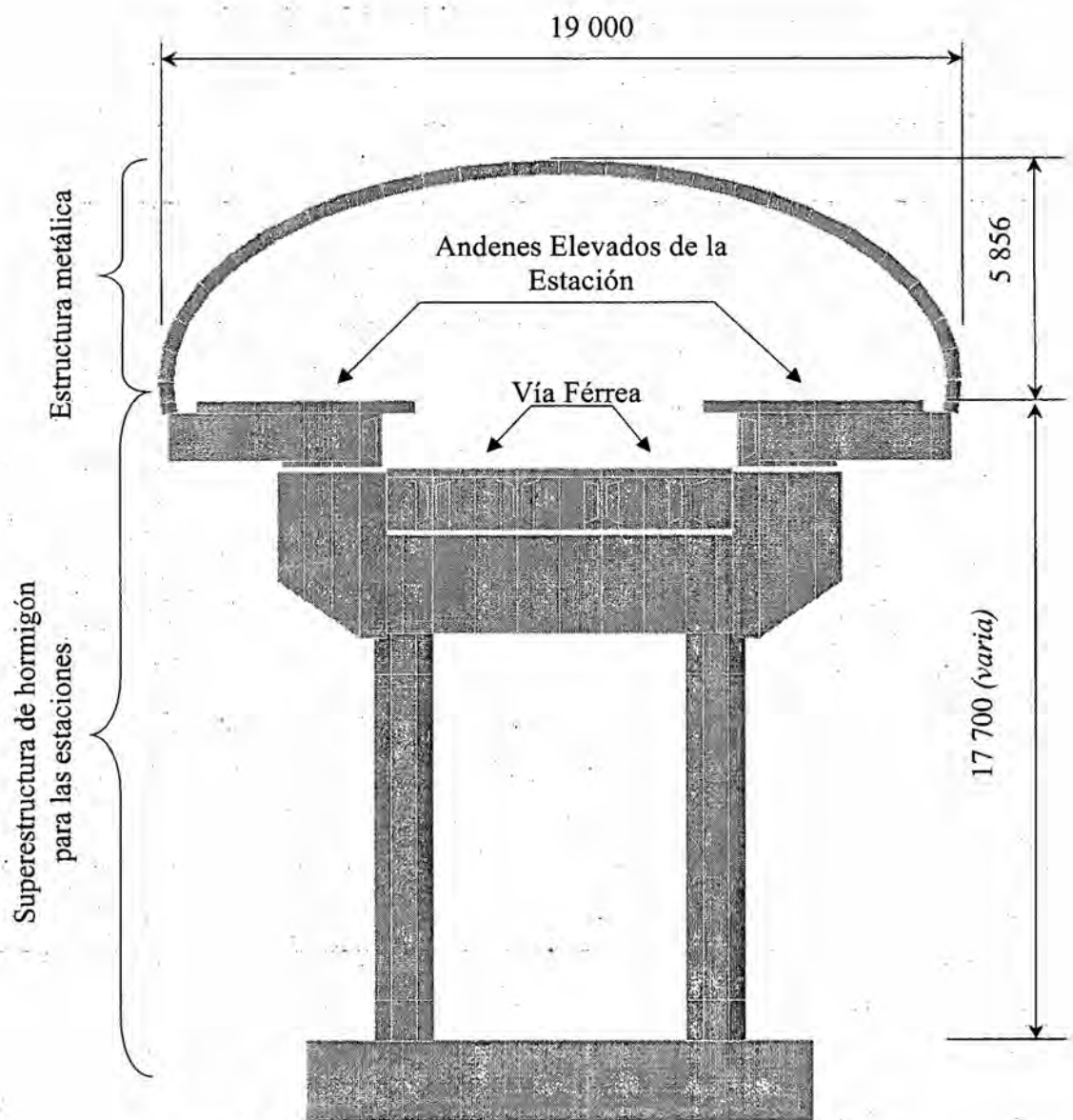


Figura 6.4.3 –Sección de la Superestructura (Fuente: SAP 2000)

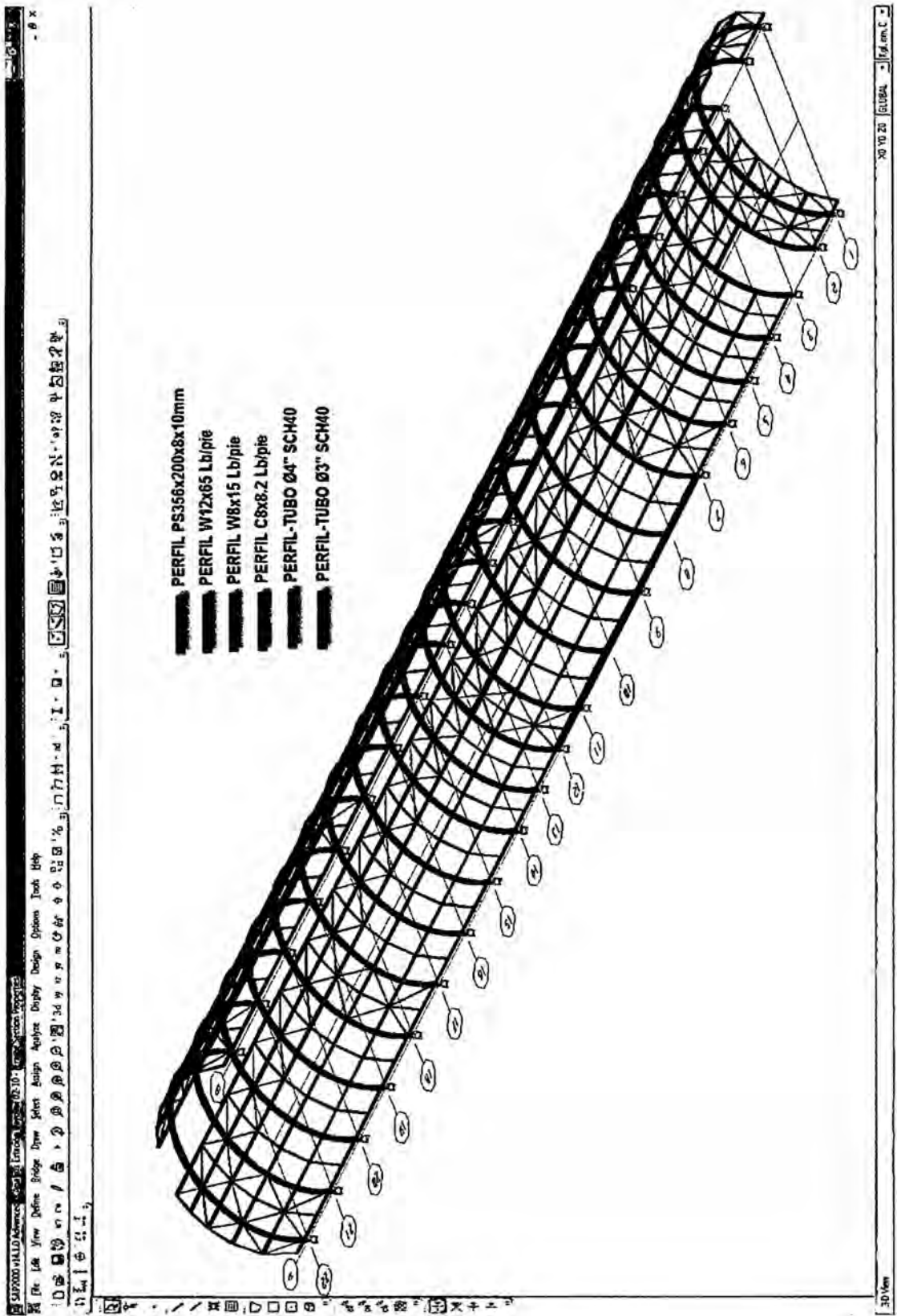


Figura 6.4.4 – Vista 3D -Cubierta de Andén con Perfiles (Fuente: SAP 2000)

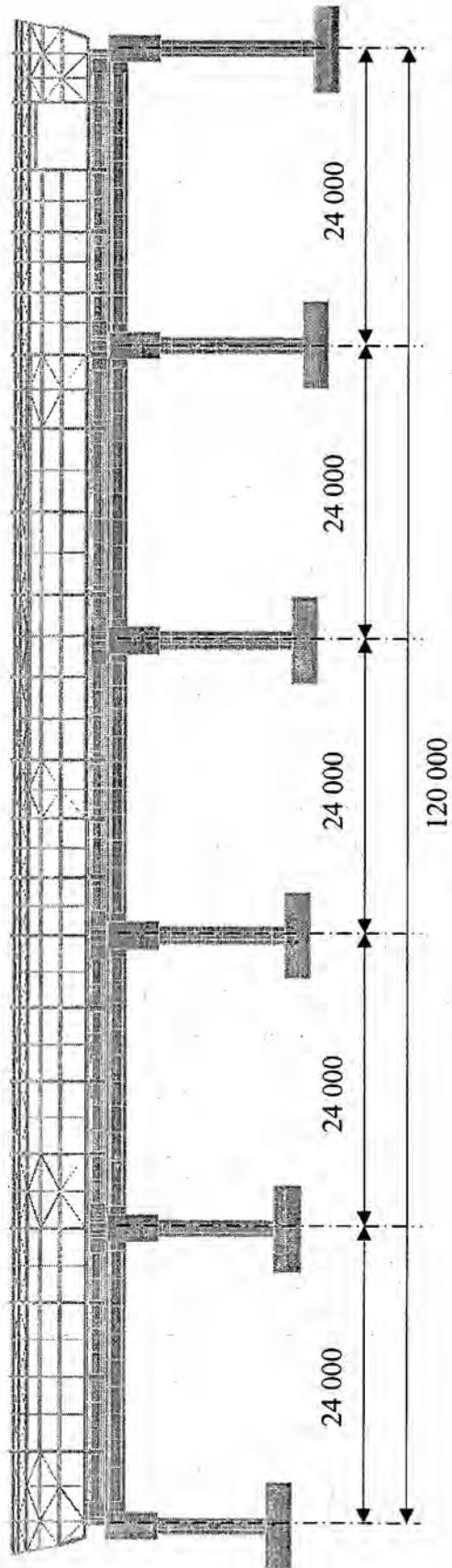


Figura 6.4.5 – Vista Longitudinal de la Superestructura (Fuente: SAP 2000)

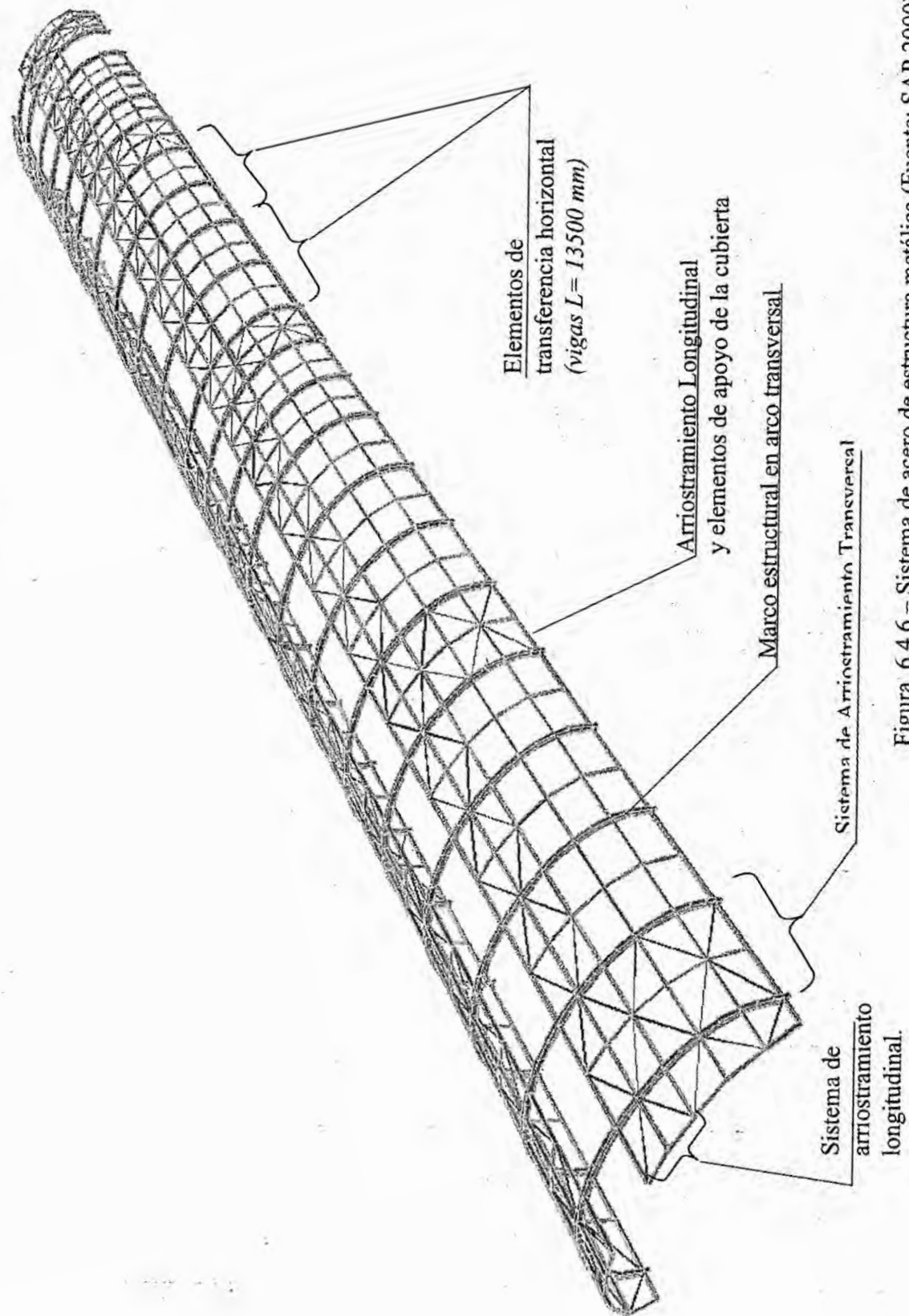


Figura 6.4.6 – Sistema de acero de estructura metálica (Fuente: SAP 2000)

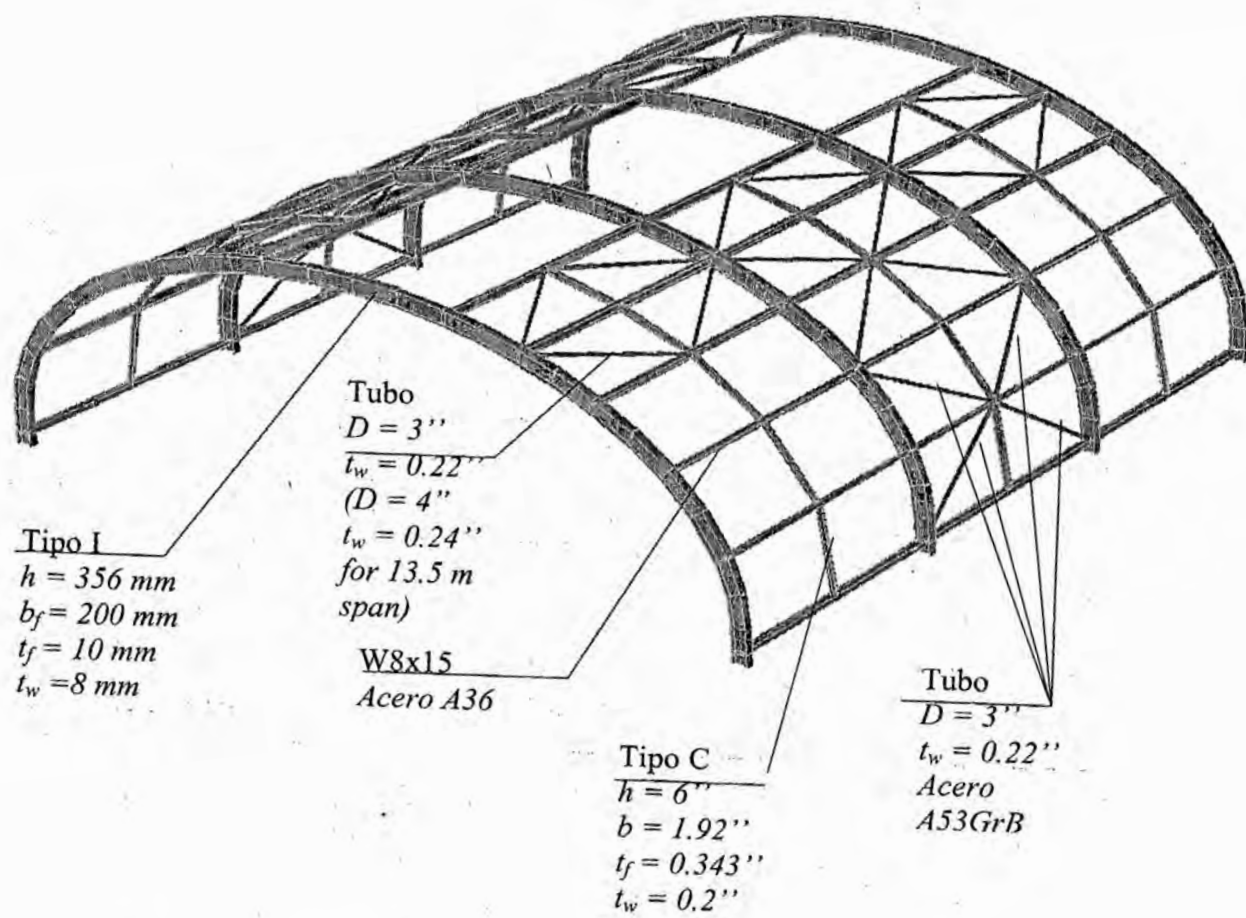


Figura 6.4.7 – Sección de acero de estructura metálica (Fuente: SAP 2000)

6.5 ANALISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURA

6.5.1 DESCRIPCIÓN DEL MODELO

El análisis y diseño de las estructuras metálicas de acero se lleva a cabo mediante el programa SAP2000 (versión 14.1). Los elementos modelados en 3D son tanto para la estructura metálica. Vista referencial del modelo se presenta en la Figura 6.5.1.1 & 6.5.1.2.

La estructura de los pilares de hormigón, cabezales de pilote, vía férrea, y vigas de la estación se modelaron separado con las plataformas de hormigón – elementos en cáscara. Elementos rígidos de enlace se utilizan para representar la geometría seccional en las zonas de interconexión (“secciones planas permanecen planas” principio de elementos lineales).

El modelo de la superestructura de hormigón debajo de la estructura metálica corresponde al modelo utilizado para el diseño de los componentes principales estructurales de hormigón (geometría, característica de los materiales, condiciones de carga, interacción estructural del suelo).

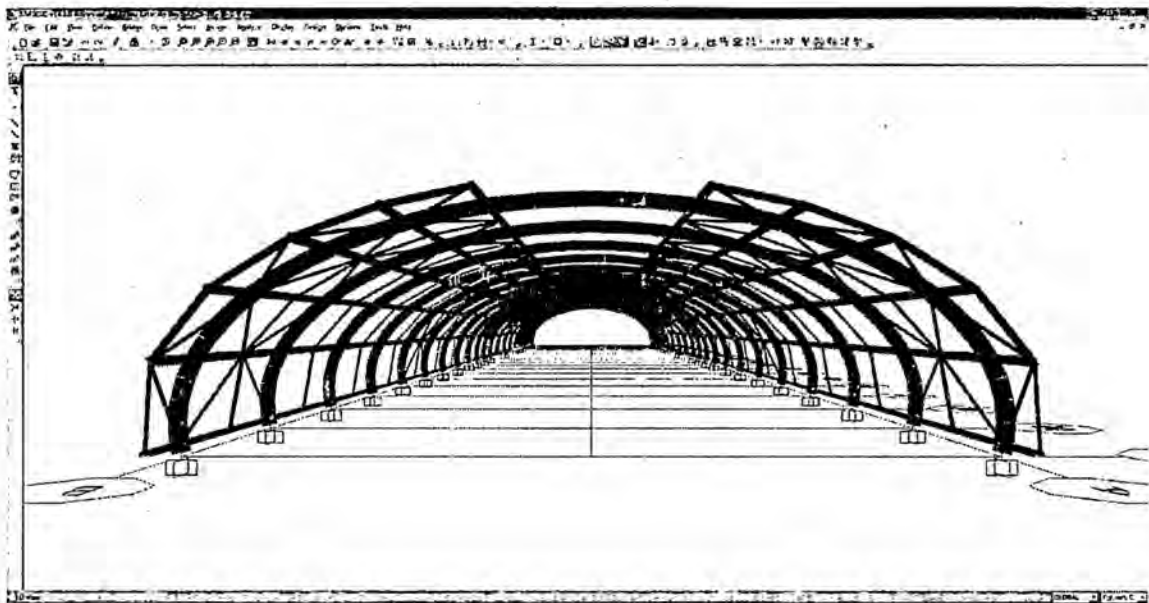


Figura 6.5.1.1 –Modelo 3 de Estructura en Perspectiva (Fuente: SAP 2000)

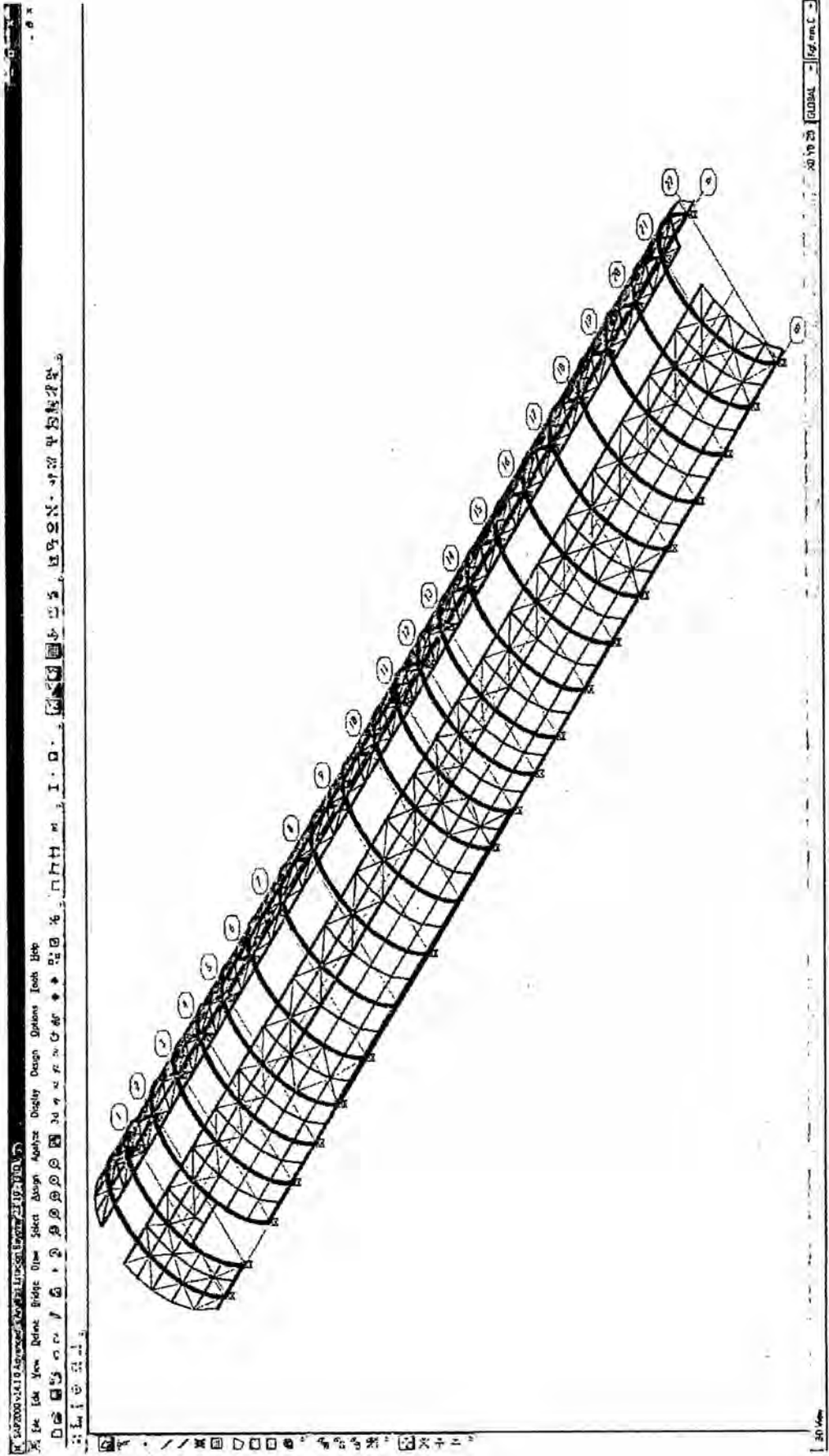


Figura 6.5.1.1 – Modelo Isométrico de Estructura Metálica (Fuente: SAP 2000)

6.5.2 DISEÑO DEL SISTEMA PRINCIPAL DE LA ESTRUCTURA

Diseño del esqueleto de acero de la estructura metálica se lleva a cabo en SAP2000 de acuerdo a los requerimientos del manual AISC para las combinaciones de carga según la Sección 6.3.6 del presente informe.

El diagrama de la razón demanda-capacidad para marcos estructurales en arco transversales se presenta en la Figura 6.5.2.1, para sistemas de arriostramiento ver Figura 6.5.2.3.

Controles adicionales de fuerza se llevan a cabo para los elementos de transferencia de apoyo de los elementos verticales discontinuos (ver Figura 6.5.2.3.). ASCE 7-10 exige que los miembros deberán diseñarse con un factor de sobre resistencia en las combinaciones de carga sísmica (véase el Cuadro 4.6.1 de este informe). El diagrama de razón de demanda-capacidad de los elementos de transmisión se presenta en la Figura 6.5.2.3.

La comprobación de la sección de los miembros del esqueleto de la cubierta de acero estructural (combinaciones de carga gobernantes) se presenta en la figuras 6.5.2.4 @ 6.5.2.10.

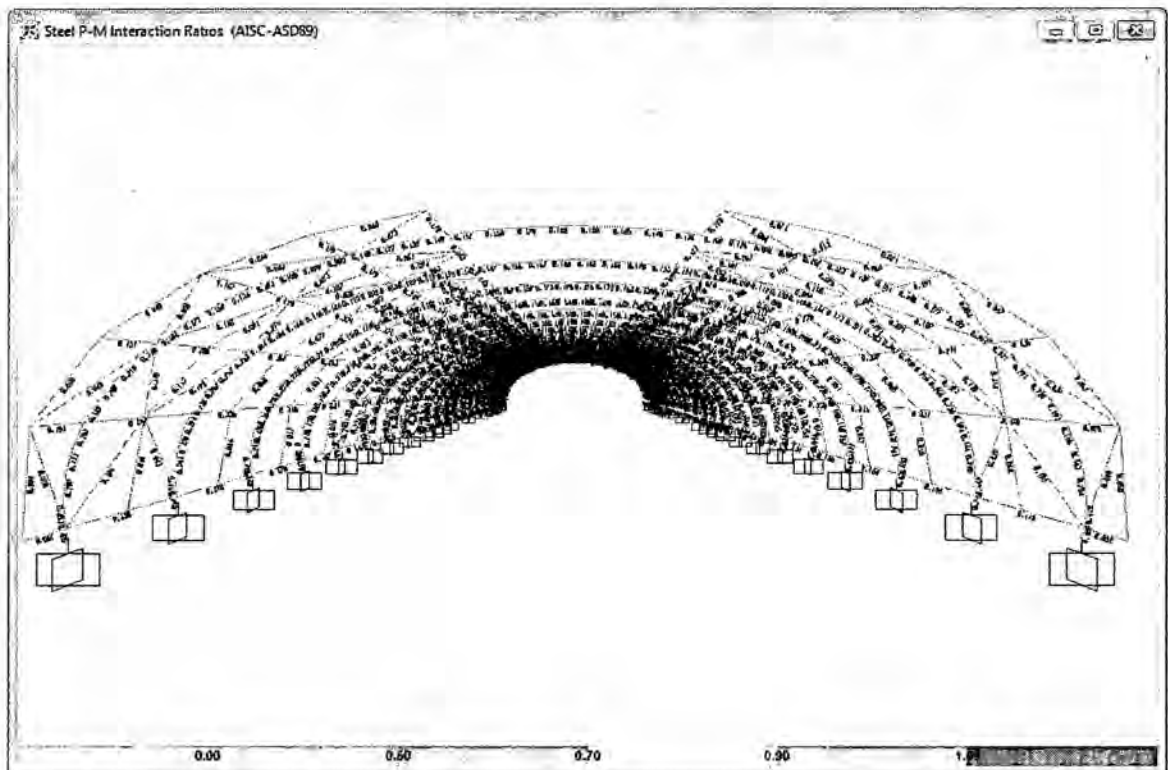


Figura 6.5.2.1 – Diagrama de Razón Demanda-Capacidad para Arcos Estructurales Transversales (Resultados SAP2000)

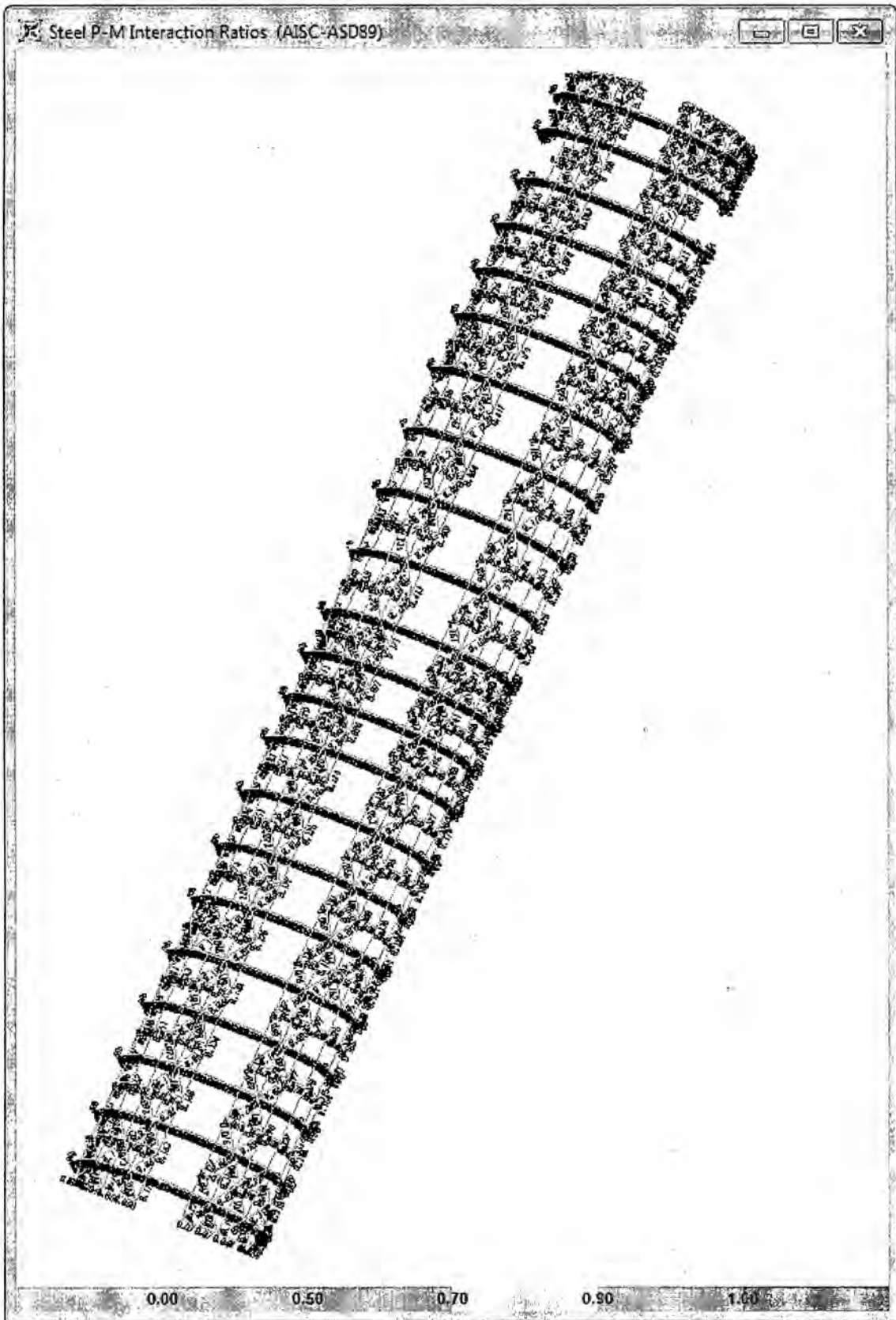


Figura 6.5.2.2 – Diagrama de Razón Demanda-Capacidad para Estructura
(Resultados SAP2000)

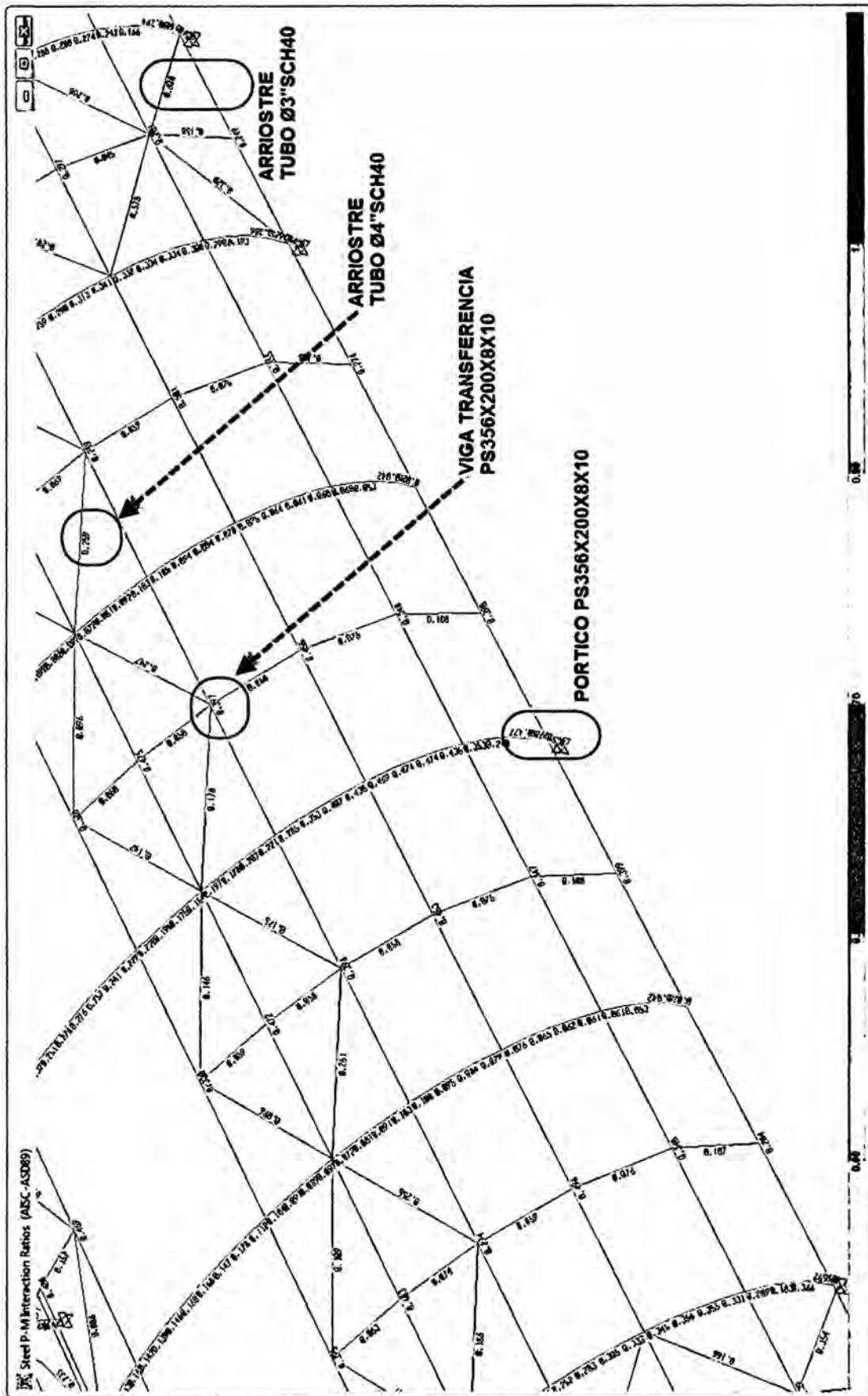


Figura 6.5.2.3 – Diagrama de Razón Demanda-Capacidad Perfiles
(Resultados SAP2000)

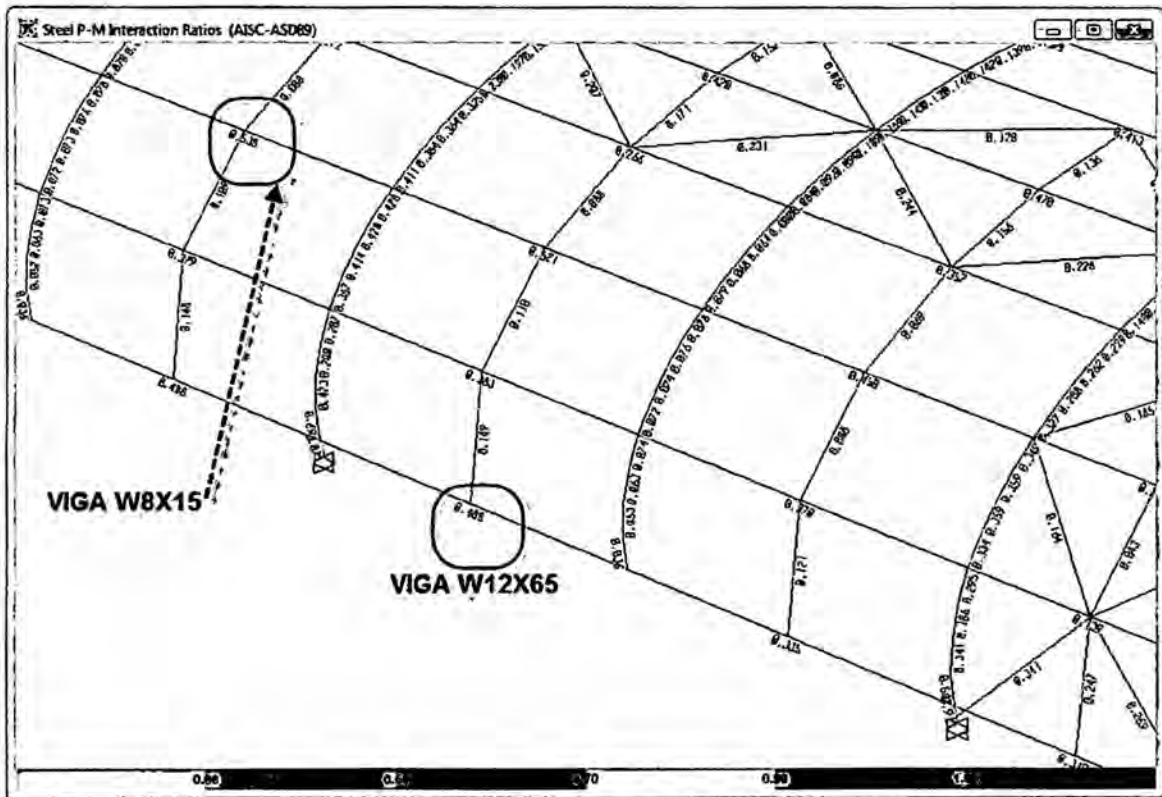


Figura 6.5.2.4 – Diagrama de Razón Demanda-Capacidad Viga W12x65 & W8x15 (Resultados SAP2000)

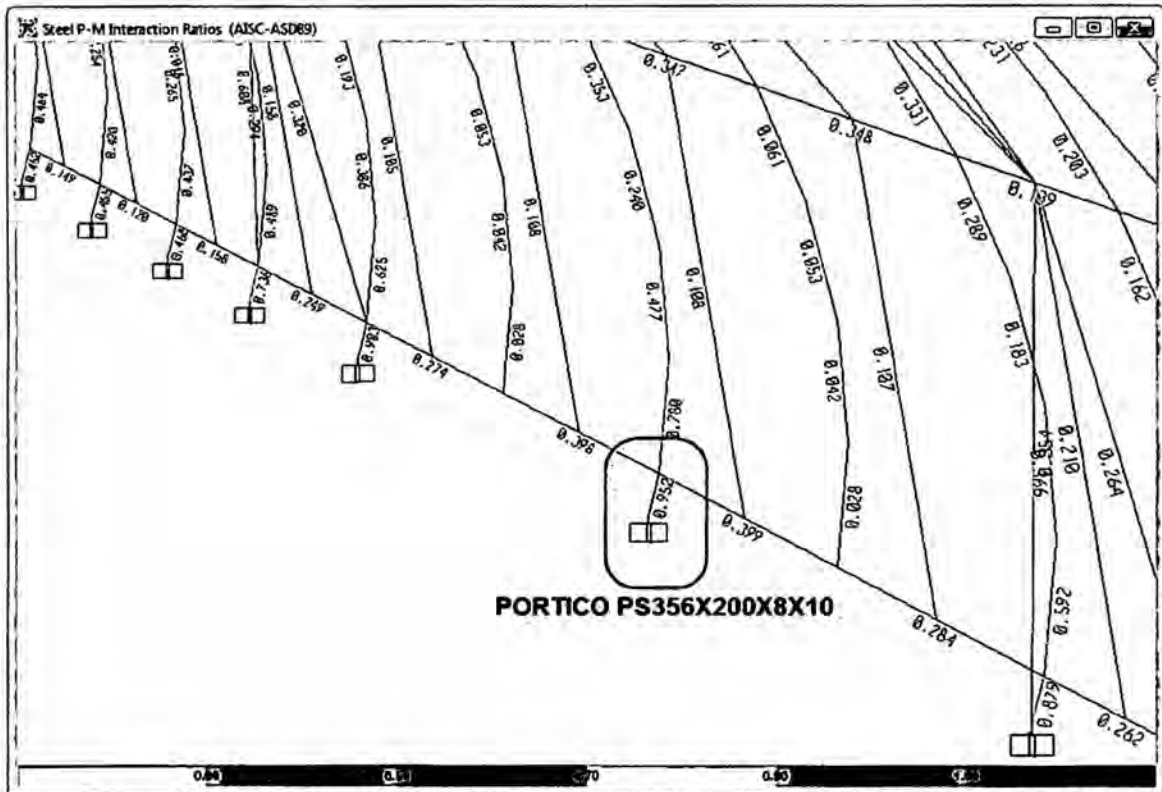


Figura 6.5.2.5 – Diagrama de Razón Demanda-Capacidad Pórtico PS356X200X8X10 (Resultados SAP2000)

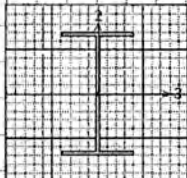
| AISC-ASD89 STEEL SECTION CHECK | | | | | | | | | | Units: Kgf, cm, C | |
|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|---|--|
| Combo : COMB7 | | | | | | | | | | | |
| Units : Kgf, cm, C | | | | | | | | | | | |
| Frame : 24 Design Sect: PS356X200X8X10 X Mid : 943.311 Design Type: Brace Y Mid : 6185.000 Frame Type : Moment Resisting Frame Z Mid : 19.313 Sect Class : Compact Length : 19.194 Major Axis : 0.000 degrees counterclockwise from local 3 Loc : 0.000 RLLF : 1.000 | | | | | | | | | |  | |
| Area : 66.880 SMajor : 814.820 rMajor : 14.726 AVMajor: 28.480 IMajor : 14503.804 SMinor : 133.477 rMinor : 4.467 AVMinor: 33.333 IMinor : 1334.767 ZMajor : 917.792 E : 2038901.916 Ixy : 0.000 ZMinor : 205.376 Fy : 2531.051 | | | | | | | | | | | |
| STRESS CHECK FORCES & MOMENTS | | | | | | | | | | | |
| Location | | | | | | | | | | | |
| 0.000 | | | | | | | | | | | |
| P M33 M22 U2 U3 T -7936.910 -820543.816 -50037.210 -8296.504 181.838 -574.086 | | | | | | | | | | | |
| PHM DEMAND/CAPACITY RATIO | | | | | | | | | | | |
| Governing Equation (H1-3) | | | | | | | | | | | |
| Total Ratio P Ratio MMajor Ratio MMinor Ratio Ratio Limit Status Check 0.879 = 0.879 + 0.603 + 0.197 0.950 OK | | | | | | | | | | | |
| AXIAL FORCE DESIGN | | | | | | | | | | | |
| P Force | | | | | | | | | | | |
| axial | | | | | | | | | | | |
| Fa Stress Fa Allowable Ft Allowable -7936.910 118.674 1506.207 1518.630 | | | | | | | | | | | |
| MOMENT DESIGN | | | | | | | | | | | |
| M Moment | | | | | | | | | | | |
| Fb Stress Fb Allowable Fc Allowable Cm Factor K Factor L Factor Cb Factor Major Moment -820543.816 1007.024 1670.593 6180523.730 0.922 1.000 1.000 1.099 Minor Moment -50037.210 374.876 1898.288 568785.876 0.974 1.000 1.000 | | | | | | | | | | | |
| SHEAR DESIGN | | | | | | | | | | | |
| U Force | | | | | | | | | | | |
| Fu Stress Fu Allowable Stress Ratio Status Check Torsion Major Shear 8296.504 291.310 1012.420 0.288 OK 0.000 Minor Shear 181.838 5.455 1012.420 0.005 OK 0.000 | | | | | | | | | | | |

Fig. 6.5.2.6 – Diseño de Marcos Estructurales Transversales en Arco, DC=88% (Portico-1, SAP2000)

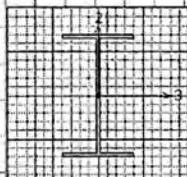
| AISC-ASD89 STEEL SECTION CHECK | | | | | | | | | | Units | Kgf, cm, C |
|---|-------------|--------------|---|--------------|---------------|--------------|----------|-----------|--|-------|------------|
| Compo : COMB10 | | | | | | | | | | | |
| Units : Kgf, cm, C | | | | | | | | | | | |
|  | | | | | | | | | | | |
| Frame | : 1844 | Design Sect: | PS356X200X8X10 | | | | | | | | |
| X Mid | : 943.311 | Design Type: | Brace | | | | | | | | |
| Y Mid | : 7535.000 | Frame Type : | Moment Resisting Frame | | | | | | | | |
| Z Mid | : 19.313 | Sect Class : | Compact | | | | | | | | |
| Length | : 19.194 | Major Axis : | 0.000 degrees counterclockwise from local 3 | | | | | | | | |
| Lbc | : 0.000 | RLLF | : 1.000 | | | | | | | | |
| Area | : 66.880 | SMajor | : 814.820 | rMajor | : 14.726 | AMMajor | : 28.480 | | | | |
| IMajor | : 14503.804 | SMinor | : 133.477 | rMinor | : 4.467 | AMMinor | : 33.333 | | | | |
| IMinor | : 1334.767 | ZMajor | : 917.792 | E | : 2038901.916 | | | | | | |
| Ixy | : 0.000 | ZMinor | : 205.376 | Fy | : 2531.051 | | | | | | |
| STRESS CHECK FORCES & MOMENTS | | | | | | | | | | | |
| Location | P | M33 | M22 | U2 | U3 | T | | | | | |
| 0.000 | -9446.247 | -1163491.58 | -855.825 | -10769.287 | -59.833 | -14.458 | | | | | |
| PIII DEMAND/CAPACITY RATIO | | | | | | | | | | | |
| Governing Equation (H1-3) | Total Ratio | P Ratio | MMajor Ratio | MMinor Ratio | Ratio Limit | Status Check | | | | | |
| | 0.952 | = 0.094 | + 0.855 | + 0.003 | 0.950 | Overstress | | | | | |
| AXIAL FORCE DESIGN | | | | | | | | | | | |
| | P Force | Fa Stress | Fa Allowable | Ft Allowable | | | | | | | |
| Axial | -9446.247 | 141.242 | 1506.207 | 1518.630 | | | | | | | |
| MOMENT DESIGN | | | | | | | | | | | |
| | M Moment | Fb Stress | Fb Allowable | Fe Allowable | Cn Factor | K Factor | L Factor | Cb Factor | | | |
| Major Moment | -1163491.58 | 1427.912 | 1670.493 | 6180523.730 | 0.929 | 1.000 | 1.000 | 1.089 | | | |
| Minor Moment | -855.825 | 6.412 | 1898.288 | 568785.876 | 0.850 | 1.000 | 1.000 | | | | |
| SHEAR DESIGN | | | | | | | | | | | |
| | U Force | Fv Stress | Fv Allowable | Stress Ratio | Status Check | T Torsion | | | | | |
| Major Shear | 10769.287 | 378.135 | 1012.420 | 0.373 | OK | 0.000 | | | | | |
| Minor Shear | 59.833 | 1.795 | 1012.420 | 0.002 | OK | 0.000 | | | | | |

Fig. 6.5.2.7 – Diseño de Marcos Estructurales Transversales en Arco, DC=95% (Portico-2, SAP2000)

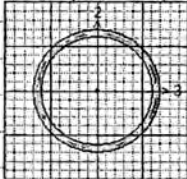
| AISC-A3089 STEEL SECTION CHECK | | | | | | | | | | Units Kgf, cm, C | | | | | | | |
|--|--|-----------------|--|-----------------|--|-----------------|--|--------------|--|---|--|--------------|--|----------|--|-----------|--|
| Combo : COMB7 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Units : Kgf, cm, C | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Frame : 224 Design Sect: PIPE3SCH40 X Mid : 928.287 Design Type: Brace Y Mid : 9335.000 Frame Type : Moment Resisting Frame Z Mid : 130.315 Sect Class : Compact Length : 364.094 Major Axis : 0.000 degrees counterclockwise from local 3 Loc : 182.047 RLLF : 1.000 | | | | | | | | | |  | | | | | | | |
| Area : 14.387 | | SMajor : 28.279 | | rMajor : 2.956 | | AUMajor : 7.901 | | | | | | | | | | | |
| IMajor : 125.702 | | SMinor : 28.279 | | rMinor : 2.956 | | AUMinor : 7.901 | | | | | | | | | | | |
| IMinor : 125.702 | | ZMajor : 38.182 | | E : 2038901.916 | | | | | | | | | | | | | |
| Ixy : 0.000 | | ZMinor : 38.182 | | Fy : 2460.744 | | | | | | | | | | | | | |
| STRESS CHECK FORCES & MOMENTS | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Location | | P | | M33 | | M22 | | U2 | | U3 | | T | | | | | |
| 182.047 | | -5302.310 | | 1552.083 | | 0.000 | | 0.000 | | 0.000 | | 115.324 | | | | | |
| PMH DEMAND/CAPACITY RATIO | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Governing Equation (M1-1) | | Total Ratio | | P Ratio | | MMajor Ratio | | MMinor Ratio | | Ratio Limit | | Status Check | | | | | |
| | | 0.608 | | = 0.535 | | + 0.072 | | + 0.000 | | 0.950 | | OK | | | | | |
| AXIAL FORCE DESIGN | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | P Force | | Fa Stress | | Fa Allowable | | Ft Allowable | | | | | | | | | |
| Axial | | -5302.310 | | 368.547 | | 688.540 | | 1476.446 | | | | | | | | | |
| MOMENT DESIGN | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | M Moment | | Fb Stress | | Fb Allowable | | Fe Allowable | | Cm Factor | | X Factor | | L Factor | | Cb Factor | |
| Major Moment | | 1552.083 | | 54.884 | | 1624.091 | | 691.979 | | 1.000 | | 1.000 | | 1.000 | | 1.000 | |
| Minor Moment | | 0.000 | | 0.000 | | 1624.091 | | 691.979 | | 1.000 | | 1.000 | | 1.000 | | | |
| SHEAR DESIGN | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | V Force | | Fv Stress | | Fv Allowable | | Stress Ratio | | Status Check | | T Torsion | | | | | |
| Major Shear | | 0.000 | | 0.000 | | 984.297 | | 0.000 | | OK | | 0.000 | | | | | |
| Minor Shear | | 0.000 | | 0.000 | | 984.297 | | 0.000 | | OK | | 0.000 | | | | | |

Fig. 6.5.2.8 – Diseño de Elementos de Arriostamiento, DC=60%
(Tubo D = 3", SAP2000)

| RISC-ASD89 STEEL SECTION CHECK | | | | | | | Units | Kgf, cm, C |
|--------------------------------|-------------|--------------|---|--------------|---------------|--------------|----------|------------|
| Combo : COMB7 | | | | | | | | |
| Units : Kgf, cm, C | | | | | | | | |
| Frame | : 1132 | Design Sect: | PIPE4SCH40 | | | | | |
| X Mid | : 511.245 | Design Type: | Brace | | | | | |
| Y Mid | : 8378.750 | Frame Type: | Moment Resisting Frame | | | | | |
| Z Mid | : 527.471 | Sect Class: | Compact | | | | | |
| Length | : 387.208 | Major Axis: | 0.000 degrees counterclockwise from local 3 | | | | | |
| Loc | : 193.604 | RLLF | : 1.000 | | | | | |
| Area | : 20.452 | SMajor | : 52.657 | rMajor | : 3.836 | AUMajor | : 11.080 | |
| IMajor | : 300.935 | SMInor | : 52.657 | rMInor | : 3.836 | AUMInor | : 11.080 | |
| IMInor | : 300.935 | ZMajor | : 70.628 | E | : 2038901.916 | | | |
| Ixy | : 0.000 | ZMInor | : 70.628 | Fy | : 2460.744 | | | |
| STRESS CHECK FORCES & MOMENTS | | | | | | | | |
| Location | 193.604 | P | -3936.141 | M33 | 2966.034 | M22 | 0.000 | |
| | | U2 | 0.000 | U3 | 0.000 | T | 310.652 | |
| PMI DEMAND/CAPACITY RATIO | | | | | | | | |
| Governing Equation | Total Ratio | P Ratio | MMajor Ratio | MMinor Ratio | Ratio Limit | Status Check | | |
| (H1-1) | 0.259 | = 0.216 | + 0.043 | + 0.000 | 0.950 | OK | | |
| AXIAL FORCE DESIGN | | | | | | | | |
| | P Force | Fa Stress | Fa Allowable | Ft Allowable | | | | |
| Axial | -3936.141 | 192.462 | 891.144 | 1476.446 | | | | |
| MOMENT DESIGN | | | | | | | | |
| | M Moment | Fb Stress | Fb Allowable | Fc Allowable | Cn Factor | K Factor | L Factor | |
| Major Moment | 2966.034 | 56.327 | 1624.091 | 1030.403 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | |
| Minor Moment | 0.000 | 0.000 | 1624.091 | 1030.403 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | |
| SHEAR DESIGN | | | | | | | | |
| | U Force | Fv Stress | Fv Allowable | Stress Ratio | Status Check | T Torsion | | |
| Major Shear | 0.000 | 0.000 | 984.297 | 0.000 | OK | 0.000 | | |
| Minor Shear | 0.000 | 0.000 | 984.297 | 0.000 | OK | 0.000 | | |

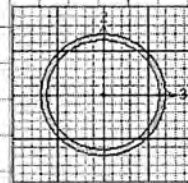


Fig. 6.5.2.9 – Diseño de Elementos de Arriostamiento, DC=26%
(Tubo D = 4", SAP2000)

| AISC-A5089 STEEL SECTION CHECK | | | | | | | | | | Units Kgf, cm, C | |
|--------------------------------|-------------|---------------|---|--------------|--------------|--------------|----------|-----------|--|--------------------|--|
| Combo : COMB2 | | | | | | | | | | | |
| Units : Kgf, cm, C | | | | | | | | | | | |
| Frame : | 645 | Design Sect : | W8X15 | | | | | | | | |
| X Mid : | -777.139 | Design Type : | Beam | | | | | | | | |
| Y Mid : | 7872.500 | Frame Type : | Moment Resisting Frame | | | | | | | | |
| Z Mid : | 388.078 | Sect Class : | Compact | | | | | | | | |
| Length : | 675.000 | Major Axis : | 0.000 degrees counterclockwise from local 3 | | | | | | | | |
| Loc : | 0.000 | RLLF : | 1.000 | | | | | | | | |
| Area : | 28.645 | SMajor : | 193.978 | rMajor : | 8.351 | AVMajor : | 12.819 | | | | |
| IMajor : | 1997.911 | SMinor : | 27.870 | rMinor : | 2.226 | AUMinor : | 13.582 | | | | |
| IMinor : | 141.935 | 2Major : | 222.864 | E : | 2838901.916 | | | | | | |
| Ixy : | 0.000 | 2Minor : | 43.753 | Fy : | 2531.051 | | | | | | |
| STRESS CHECK FORCES & MOMENTS | | | | | | | | | | | |
| Location | | P | M33 | M22 | U2 | U3 | T | | | | |
| 0.000 | | 248.698 | -83289.013 | -13225.518 | -399.996 | -161.495 | 6.398 | | | | |
| PNM DEMAND/CAPACITY RATIO | | | | | | | | | | | |
| Governing Equation (H2-1) | Total Ratio | P Ratio | MMajor Ratio | MMinor Ratio | Ratio Limit | Status Check | | | | | |
| | 0.538 | 0.006 | 0.283 | 0.250 | 0.950 | OK | | | | | |
| AXIAL FORCE DESIGN | | | | | | | | | | | |
| | P Force | Fa Stress | Fa Allowable | Ft Allowable | | | | | | | |
| Axial | 248.698 | 8.682 | 456.710 | 1518.630 | | | | | | | |
| MOMENT DESIGN | | | | | | | | | | | |
| | M Moment | Fb Stress | Fb Allowable | Fa Allowable | Cn Factor | K Factor | L Factor | Cb Factor | | | |
| Major Moment | -83289.013 | 429.374 | 1518.630 | 1607.192 | 1.000 | 1.000 | 1.000 | 2.300 | | | |
| Minor Moment | -13225.518 | 474.539 | 1898.288 | 456.710 | 1.000 | 1.000 | 0.500 | | | | |
| SHEAR DESIGN | | | | | | | | | | | |
| | U Force | Fv Stress | Fv Allowable | Stress Ratio | Status Check | Torsion | | | | | |
| Major Shear | 399.996 | 31.203 | 1012.420 | 0.031 | OK | 0.000 | | | | | |
| Minor Shear | 161.495 | 11.890 | 1012.420 | 0.012 | OK | 0.000 | | | | | |

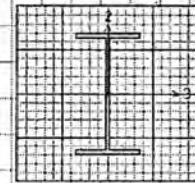


Fig. 6.5.2.10 – Diseño de Arriostamiento Longitudinal / Elementos de Apoyo de Cubierta, DC=54% (SAP2000)

| AISC-ASD89 STEEL SECTION CHECK | | | | | | | | Units Kgf, cm, C |
|--|-------------|--------------|---|--------------|---------------|-----------|----------|--------------------|
| Combo : COMB2 | | | | | | | | |
| Units : Kgf, cm, C | | | | | | | | |
| Frame | : 67 | Design Sect: | W12X65 | | | | | |
| X Mid | : -945.623 | Design Type: | Beam | | | | | |
| Y Mid | : 7197.500 | Frame Type: | Moment Resisting Frame | | | | | |
| Z Mid | : 28.627 | Sect Class: | Compact | | | | | |
| Length | : 675.000 | Major Axis: | 0.000 degrees counterclockwise from local 3 | | | | | |
| Loc | : 675.000 | RLLF | : 1.000 | | | | | |
| Area | : 123.226 | SMajor | : 1443.687 | rMajor | : 13.418 | AMMajor | : 30.445 | |
| IMajor | : 22185.135 | SMInor | : 475.225 | rMinor | : 7.666 | AMMinor | : 78.064 | |
| IMInor | : 7242.427 | ZMajor | : 1586.268 | E | : 2038901.916 | | | |
| Ixy | : 0.000 | ZMinor | : 722.669 | Fy | : 2531.051 | | | |
| STRESS CHECK FORCES & MOMENTS | | | | | | | | |
| Location | 675.000 | P | M33 | M22 | U2 | U3 | T | |
| | | -646.729 | 698153.597 | 148074.375 | -2606.594 | -465.778 | -9.528 | |
| PHM DEMAND/CAPACITY RATIO | | | | | | | | |
| Governing Equation | Total Ratio | P Ratio | MMajor Ratio | MMinor Ratio | Ratio Limit | Status | Check | |
| (M1-3) | 0.488 | 0.005 | 0.318 | 0.164 | 0.950 | OK | | |
| AXIAL FORCE DESIGN | | | | | | | | |
| | P Force | Fa Stress | Fa Allowable | Ft Allowable | | | | |
| Axial | -646.729 | 5.248 | 1014.910 | 1518.630 | | | | |
| MOMENT DESIGN | | | | | | | | |
| | M Moment | Fb Stress | Fb Allowable | Fc Allowable | Cm Factor | K Factor | L Factor | Cb Factor |
| Major Moment | 698153.597 | 483.591 | 1518.630 | 16594.463 | 0.850 | 1.000 | 0.500 | 2.300 |
| Minor Moment | 148074.375 | 311.588 | 1898.288 | 1354.332 | 0.850 | 1.000 | 1.000 | |
| SHEAR DESIGN | | | | | | | | |
| | U Force | Fu Stress | Fu Allowable | Stress Ratio | Status Check | T Torsion | | |
| Major Shear | 2606.594 | 85.616 | 1012.420 | 0.085 | OK | 0.000 | | |
| Minor Shear | 465.778 | 5.967 | 1012.420 | 0.006 | OK | 0.000 | | |

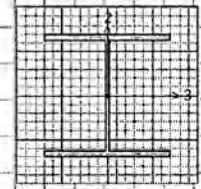


Fig. 6.5.2.11 – Diseño de Elementos de Transferencia Longitudinal, DC=49% (W12x65, SAP2000)

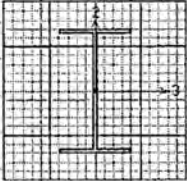
| AISC-A5089 STEEL SECTION CHECK | | | | | | | | | | Units Kgf, cm, C | | | | | | | |
|--------------------------------|--|--|--|-----------------|--|------------------|--|--------------|--|---|--|--------------|--|----------|--|-----------|--|
| Combo : COMB2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Units : Kgf, cm, C | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Frame : 938 | | Design Sect: PS356X200X10 | | | | | | | |  | | | | | | | |
| X Mid : 600.444 | | Design Type: Beam | | | | | | | | | | | | | | | |
| Y Mid : 7872.500 | | Frame Type : Moment Resisting Frame | | | | | | | | | | | | | | | |
| Z Mid : 495.075 | | Sect Class : Compact | | | | | | | | | | | | | | | |
| Length : 675.000 | | Major Axis : 0.000 degrees counterclockwise from local 3 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Loc : 0.000 | | ALLF : 1.000 | | | | | | | | | | | | | | | |
| Area : 66.880 | | SMajor : 814.820 | | rMajor : 14.726 | | AVMajor : 28.480 | | | | | | | | | | | |
| IMajor : 14503.804 | | SMinor : 133.477 | | rMinor : 4.467 | | AVMinor : 33.333 | | | | | | | | | | | |
| IMinor : 1334.767 | | ZMajor : 917.792 | | E : 2038901.916 | | | | | | | | | | | | | |
| Ixy : 0.000 | | ZMinor : 205.376 | | Fy : 2531.051 | | | | | | | | | | | | | |
| STRESS CHECK FORCES & MOMENTS | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Location | | P | | M33 | | M22 | | U2 | | U3 | | T | | | | | |
| 0.000 | | -2766.457 | | -359012.481 | | 17644.099 | | -1357.115 | | 145.498 | | 45.700 | | | | | |
| PHI DEMAND/CAPACITY RATIO | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Governing Equation (H1-3) | | Total Ratio | | P Ratio | | MMajor Ratio | | MMinor Ratio | | Ratio Limit | | Status Check | | | | | |
| | | 0.397 | | 0.037 | | 0.290 | | 0.070 | | 0.950 | | OK | | | | | |
| AXIAL FORCE DESIGN | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | P Force | | Fa Stress | | Fa Allowable | | Ft Allowable | | | | | | | | | |
| Axial | | -2766.457 | | 41.364 | | 1113.899 | | 1518.630 | | | | | | | | | |
| MOMENT DESIGN | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | M Moment | | Fb Stress | | Fb Allowable | | Fe Allowable | | Cm Factor | | K Factor | | L Factor | | Cb Factor | |
| Major Moment | | -359012.481 | | 440.603 | | 1518.630 | | 4997.210 | | 0.850 | | 1.000 | | 1.000 | | 2.300 | |
| Minor Moment | | 17644.099 | | 132.189 | | 1898.288 | | 1839.548 | | 0.850 | | 1.000 | | 0.500 | | | |
| SHEAR DESIGN | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | U Force | | Fv Stress | | Fv Allowable | | Stress Ratio | | Status Check | | T Torsion | | | | | |
| Major Shear | | 1357.115 | | 47.652 | | 1012.420 | | 0.047 | | OK | | 0.000 | | | | | |
| Minor Shear | | 145.498 | | 4.365 | | 1012.420 | | 0.004 | | OK | | 0.000 | | | | | |

Fig. 6.5.2.12 – Diseño de Elementos de Transferencia Longitudinal, DC=40% (PS356x200x10x8, SAP2000)

6.5.3 DEFLEXIONES

Desplazamiento Sísmico Ex, Ey

El desplazamiento sísmico es la diferencia entre la deflexión al tope del arco y su punto proyectado al nivel de la conexión del arco con la superestructura de hormigón abajo. Figuras deformadas y desplazamiento lateral del esqueleto de la estructura metálica de acero bajo cargas en dirección X y Y se presentan en las Figuras 2.3.3.1 y 2.3.3.2 respectivamente.

Desplazamiento lateral bajo carga sísmica de acuerdo a la Norma E.030:

$$\Delta_{sd} = 0.01 \cdot h = 0.01 \cdot 6150 = 61 \text{ mm,}$$

Donde $h = 6150\text{mm}$ – altura del piso (altura del arco medido desde su conexión con la superestructura de hormigón abajo).

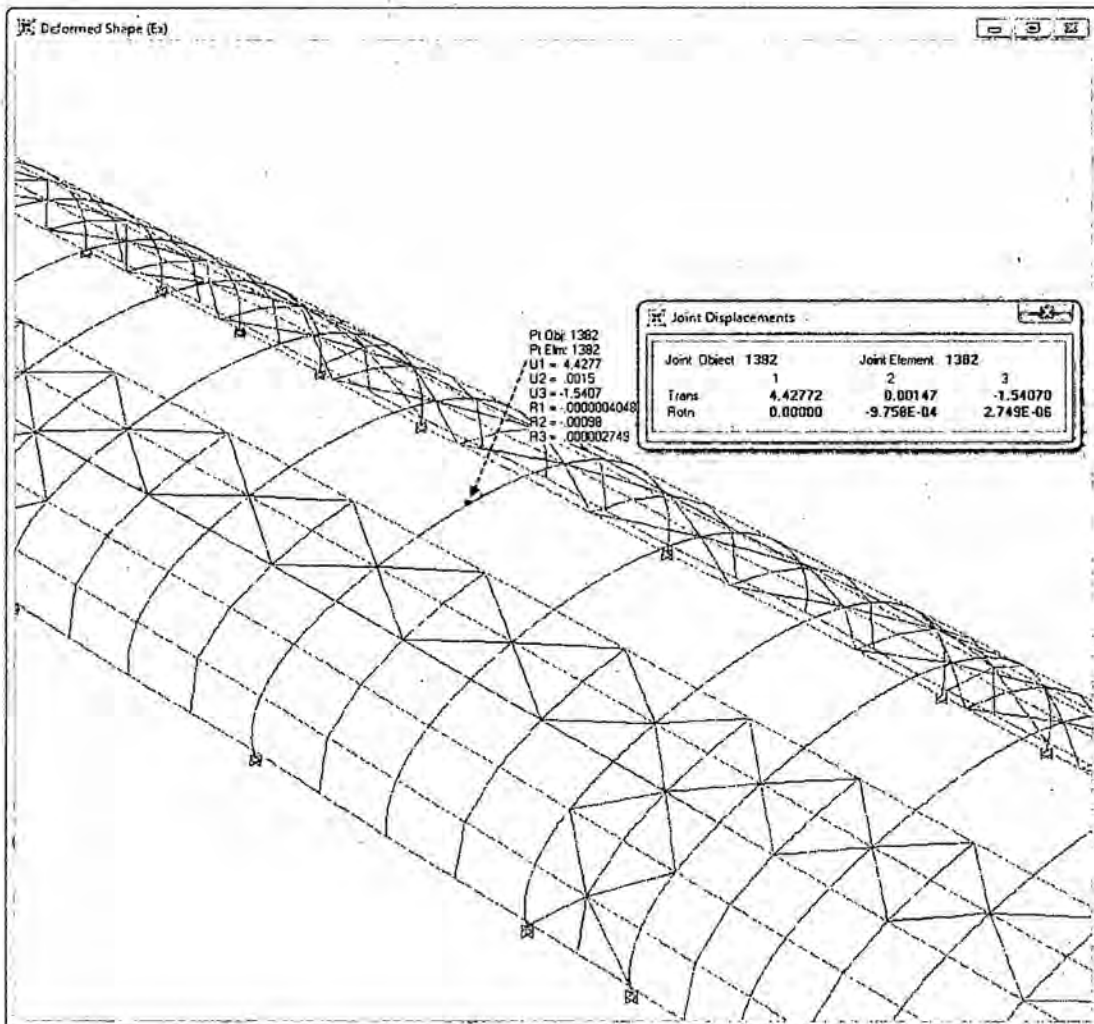


Figura 6.5.3.1 – Desplazamiento Relativo Sísmico en la dirección "X" (Fuente: SAP 2000)

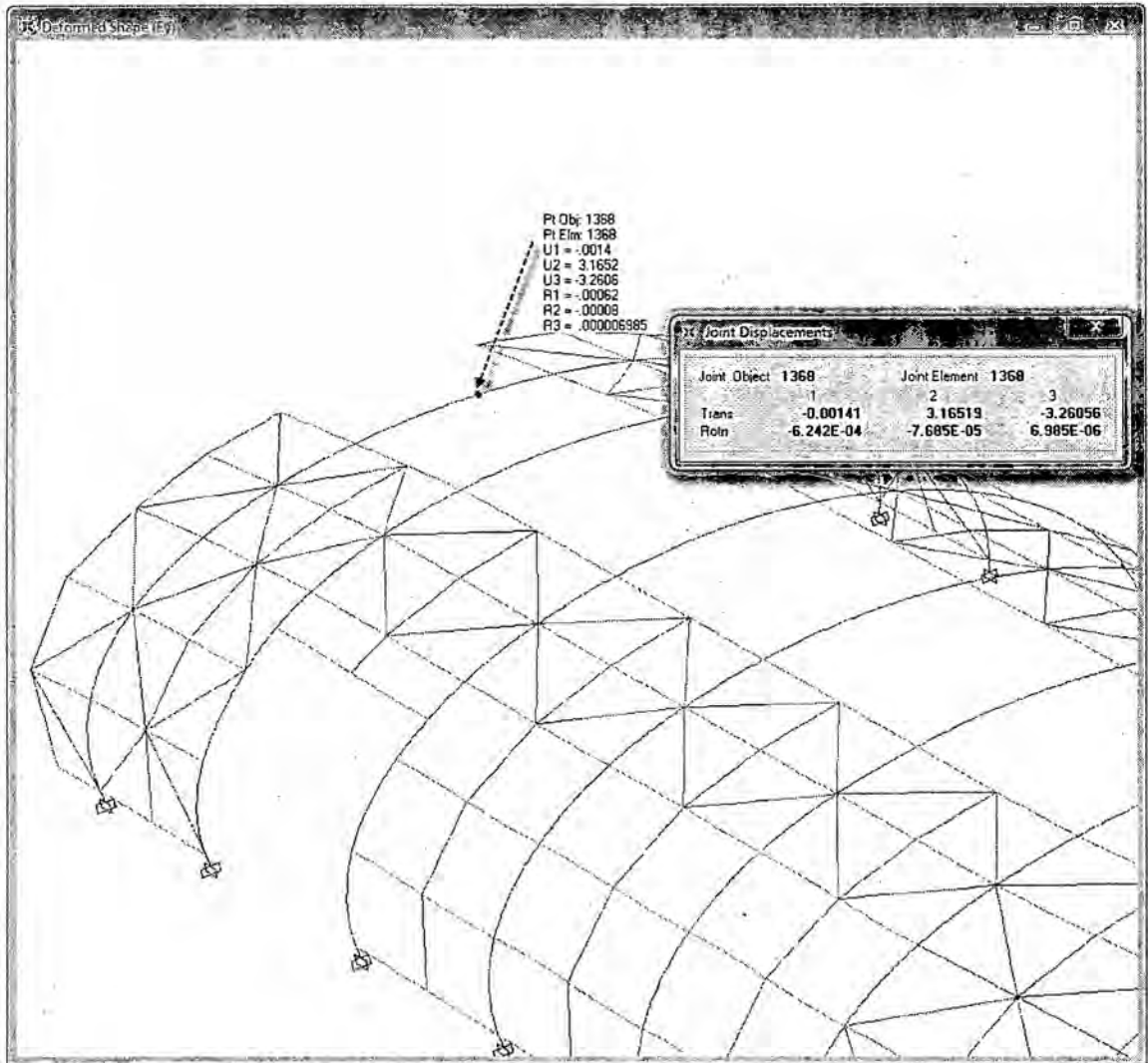


Figura 6.5.3.2 – Desplazamiento Relativo Sísmico en la dirección "Y" (Fuente: SAP 2000)

Desplazamiento por viento

El desplazamiento por viento es calculado similar al sísmico obteniendo la diferencia entre la deflexión al tope del arco y su punto proyectado al nivel de la conexión del arco con la superestructura de hormigón abajo. Figuras deformadas y desplazamiento lateral del esqueleto de la estructura metálica de acero bajo cargas de viento en dirección Y se presenta en la Figuras 6.5.3.2.

Desplazamiento lateral bajo cargas de viento de acuerdo a ASCE 7-10:

$$\Delta wd = h/500 = 6150/500 = 12.3 \text{ mm,}$$

Donde h = 6150 mm – altura del piso (altura del arco medido desde su conexión con la superestructura de hormigón abajo).

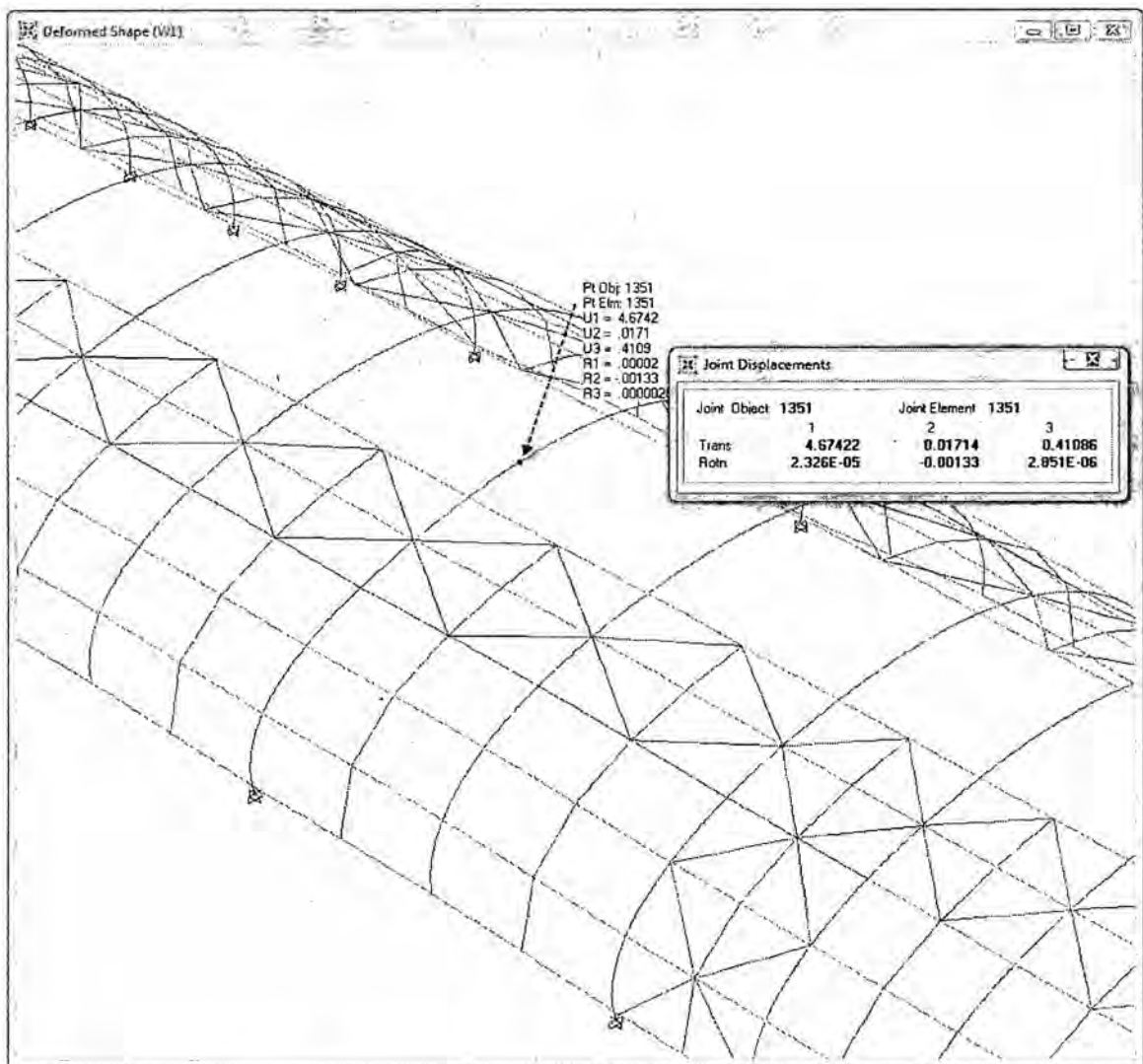
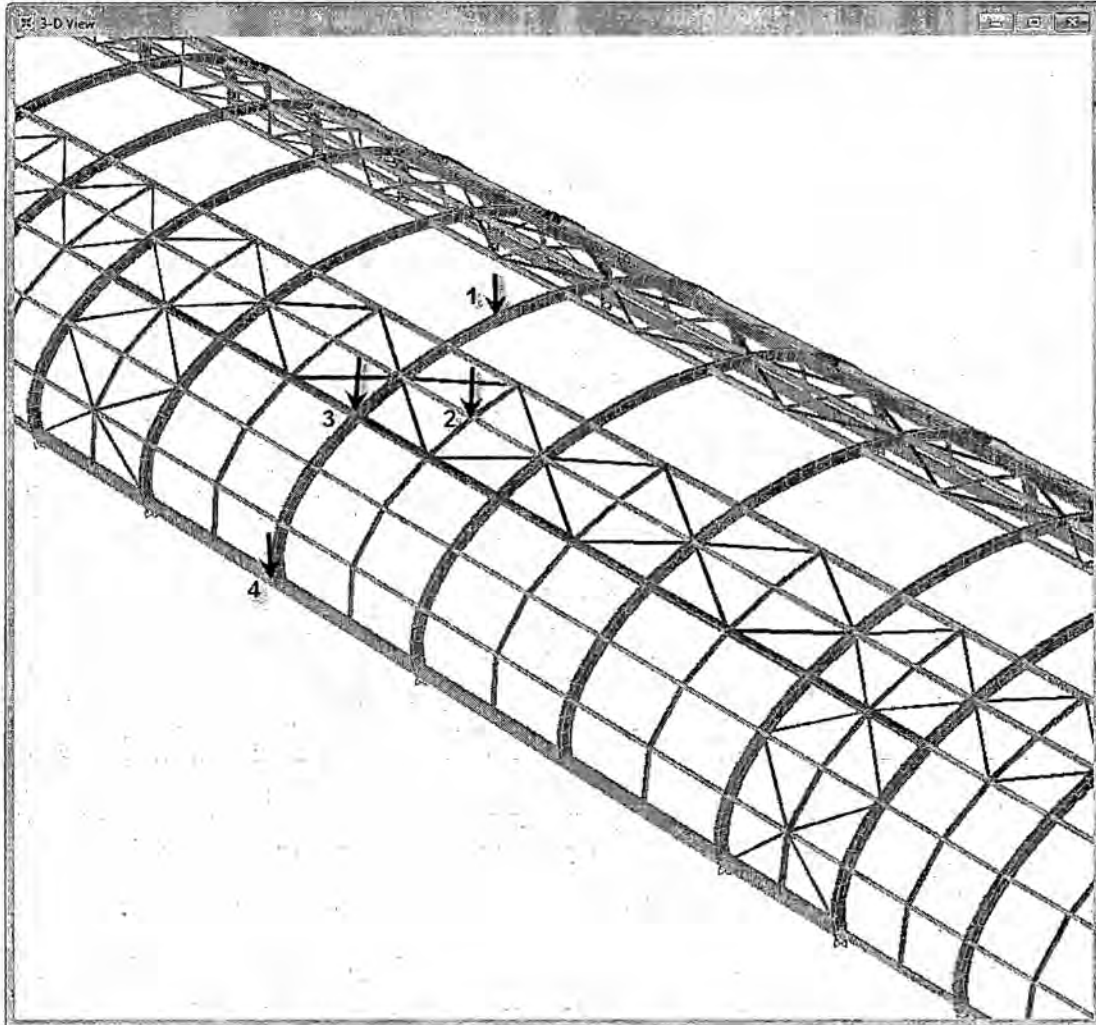


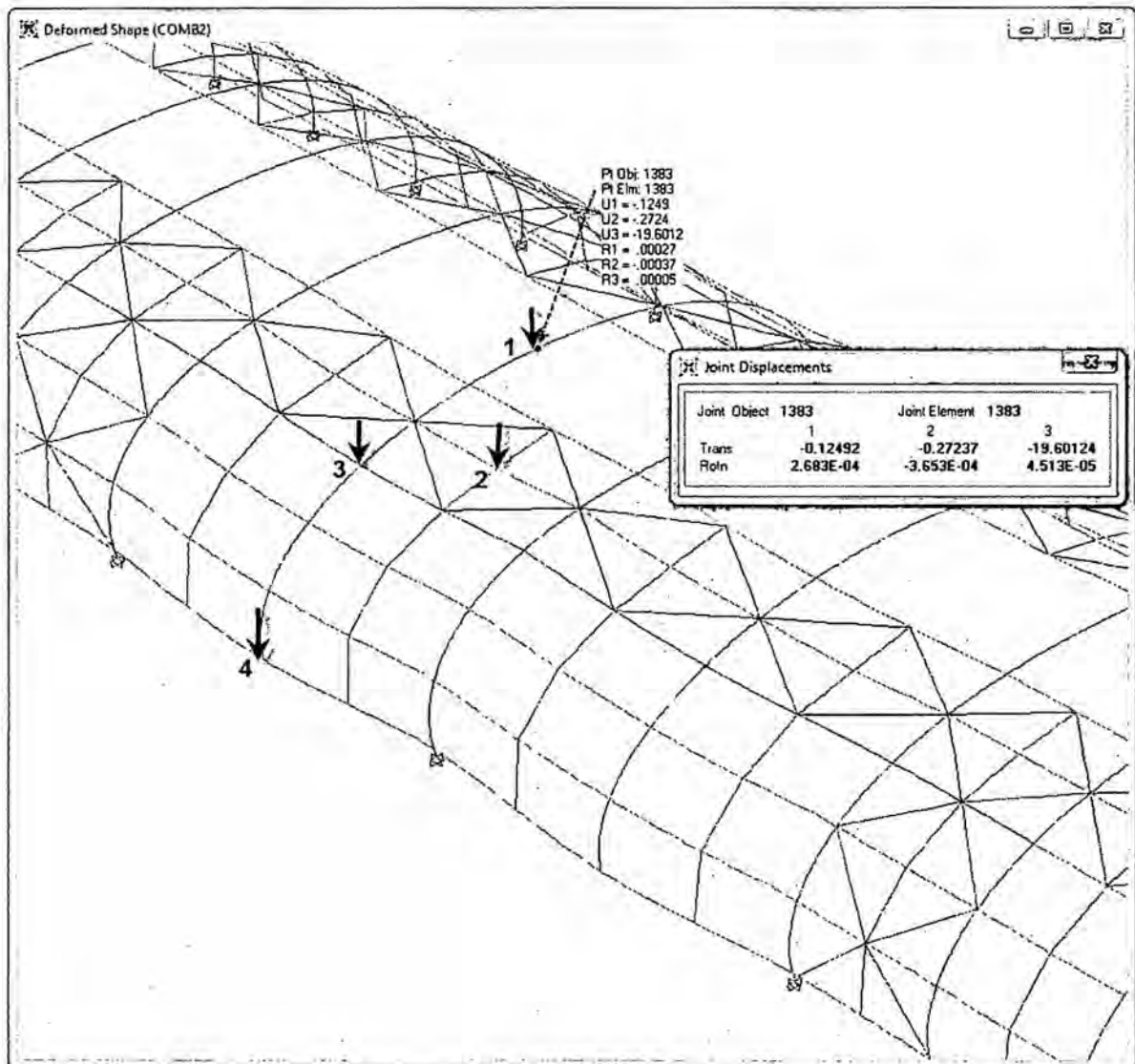
Figura 6.5.3.4 – Desplazamiento Relativo por Viento en Dirección "X" (Fuente: SAP 2000)

Controles de criterios de deflexión para el esqueleto de los miembros estructurales de acero se presentan en la Figuras 6.5.3.4 y 6.5.3.5. La ubicación de los controles fue elegido sobre la base de la mayor longitud de vano de 13 500 mm.



| Miembro | Descripción | Vano L, mm | Deflexión, mm | Deflexión límite, mm | Estatus |
|---------|------------------------------|------------|-----------------|----------------------|---------|
| 1 | Arco estructural transversal | 19 000 | 4.5 (L/4222) | 105.56 (L/180) | OK |
| 2 | Viga longitudinal | 6 750 | 6.0 (L/1125) | 37.5 (L/180) | OK |
| 3 | Viga de transferencia | 13 500 | 5.0 (L/2700) | 75 (L/180) | OK |
| 4 | Viga de transferencia | 13 500 | 3.6 (L/3750) | 75 (L/180) | OK |

Figura 6.5.3.4 – Control de Deflexión por Carga Viva "L" (SAP 2000)



| Miembro | Descripción | Vano L, mm | Deflexión, mm | Deflexión límite, mm | Estatus |
|---------|------------------------------|------------|------------------|----------------------|---------|
| 1 | Arco estructural transversal | 19 000 | 19.6 (L/969) | 158 (L/120) | OK |
| 2 | Viga longitudinal | 6 750 | 18.2 (L/370) | 56.25 (L/120) | OK |
| 3 | Viga de transferencia | 13 500 | 15.8 (L/854) | 112.5 (L/120) | OK |
| 4 | Viga de transferencia | 13 500 | 10.3 (L/1310) | 112.5 (L/120) | OK |

Figura 6.5.3.5 – Control de Deflexión por Carga Viva y Carga Muerta "D + L" (SAP 2000)

6.5.4 REACCIONES DE APOYOS NIVEL PLATAFORMA

Las reacciones de apoyos a nivel plataforma fueron calculadas de la cubierta de acero estructural de la Estación. La designación de los apoyos es mostrada en la Fig. 6.5.4.1 @ 6.5.4.3; los listados de reacciones en nodos de las combinaciones de carga de acuerdo al capítulo 6.3.6. Para las combinaciones de carga sísmica las reacciones fueron agrupadas y representadas en valores **Joint Reactions** (basado en la salida de datos de SAP2000).

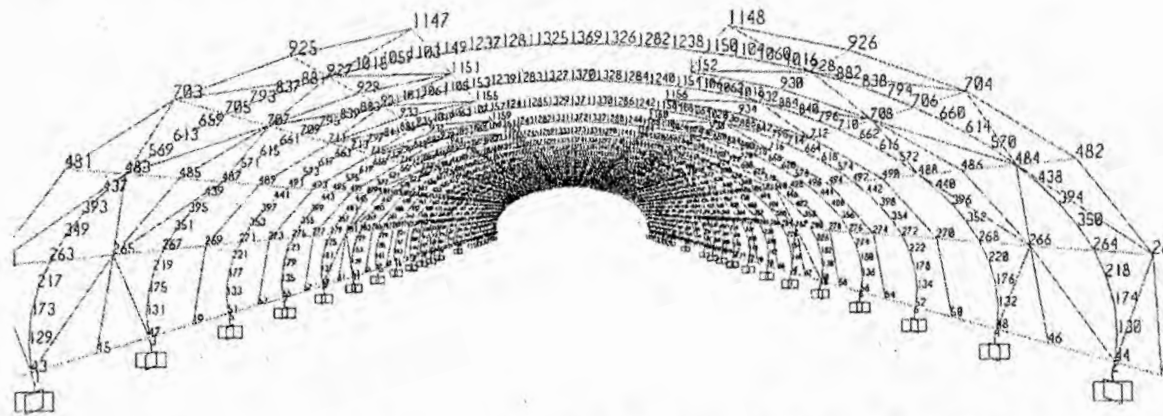


Figura 6.5.4.1 – Designación de nodos en Estructura (Fuente: SAP 2000)

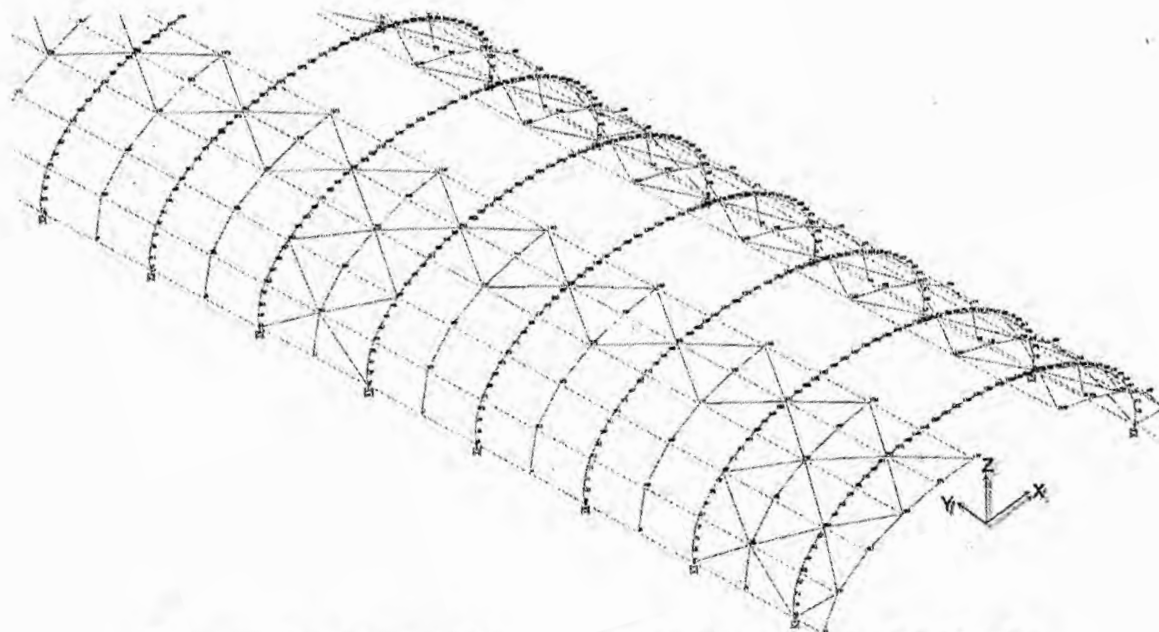


Figura 6.5.4.2 – Designación de nodos en Estructura (Fuente: SAP 2000)

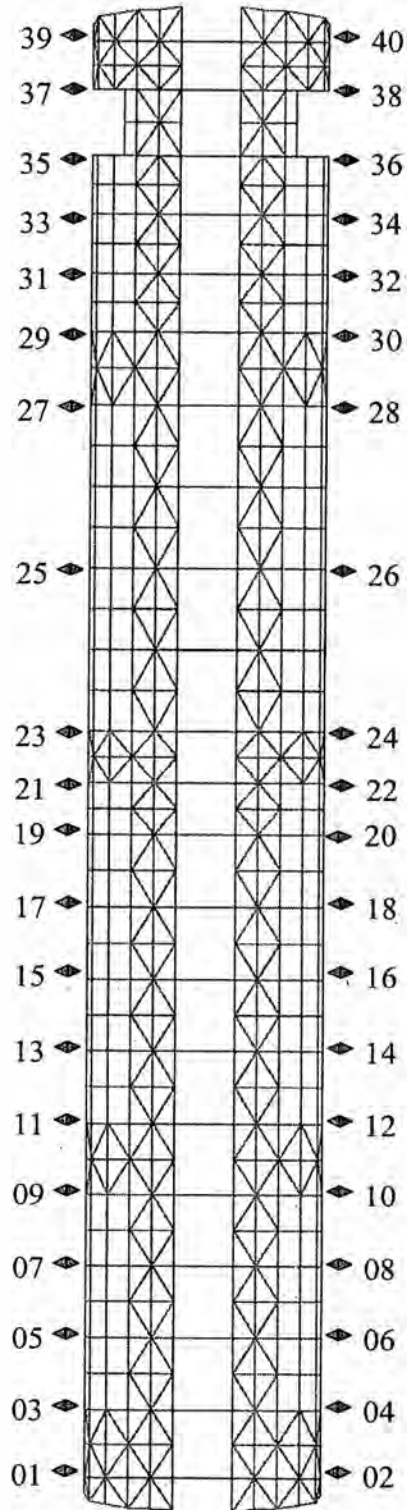


Figura 6.5.4.3 – Designación de Apoyos Nivel Plataforma (Fuente: SAP 2000)

Tabla 10

Table: Joint Reactions (Cuadro Extraido del SAP2000)

| Table: Joint Reactions | | | | | | | | |
|------------------------|------------|-------------|-----------|----------|-----------|-----------|------------|------------|
| Joint | OutputCase | CaseType | F1 | F2 | F3 | M1 | M2 | M3 |
| | | | Kgf | Kgf | Kgf | Kgf-cm | Kgf-cm | Kgf-cm |
| 1 | COMB1 | Combination | 2519.01 | 10.74 | 3147.15 | 891.05 | 378226.46 | 228.86 |
| 1 | COMB2 | Combination | 3420.32 | 29.45 | 4605.85 | 1459.36 | 498054.40 | 379.95 |
| 1 | COMB3 | Combination | 12825.86 | 38178.23 | 27398.33 | - | 1618539.56 | -173295.05 |
| | | | | | | 700248.25 | | |
| 1 | COMB4 | Combination | 1637.89 | 20.07 | 2857.84 | 969.64 | 168193.61 | 280.37 |
| 1 | COMB5 | Combination | 2361.35 | -60.91 | 1732.83 | 523.35 | 387683.37 | -77.65 |
| 1 | COMB6 | Combination | 2214.69 | 31.32 | 3430.44 | 491.23 | 271433.12 | 130.60 |
| 1 | COMB7 | Combination | 954.55 | -3023.38 | -473.92 | 57766.03 | 199185.32 | 14282.52 |
| 1 | COMB8 | Combination | 2534.15 | 31.77 | 4024.18 | 1376.23 | 310572.78 | 380.81 |
| 1 | COMB9 | Combination | 3076.75 | -28.96 | 3180.43 | 1041.50 | 475190.10 | 112.29 |
| 1 | COMB10 | Combination | 2763.96 | 36.00 | 4125.43 | 889.55 | 361041.13 | 234.49 |
| 1 | COMB11 | Combination | 2170.85 | -1572.35 | 2011.90 | 31048.78 | 347139.53 | 7686.36 |
| 2 | COMB1 | Combination | -2523.98 | 25.12 | 3166.67 | 1560.74 | -378422.84 | -396.04 |
| 2 | COMB2 | Combination | -3438.23 | 61.73 | 4651.90 | 2359.45 | -499915.84 | -603.35 |
| 2 | COMB3 | Combination | -12826.34 | 38203.41 | 27391.34 | - | -617098.21 | 172952.34 |
| | | | | | | 698862.29 | | |
| 2 | COMB4 | Combination | -2812.13 | -31.38 | 2197.82 | 808.52 | -494535.55 | -43.94 |
| 2 | COMB5 | Combination | -1381.34 | 45.13 | 2043.34 | -4138.90 | -177701.78 | 1554.51 |
| 2 | COMB6 | Combination | -3400.67 | 9.19 | 3674.43 | 1860.84 | -564423.09 | -472.06 |
| 2 | COMB7 | Combination | -964.05 | -3004.34 | -441.64 | 58277.38 | -200065.32 | -14408.79 |
| 2 | COMB8 | Combination | -3425.78 | 10.21 | 3553.96 | 1595.61 | -556627.12 | -287.45 |
| 2 | COMB9 | Combination | -2352.69 | 67.59 | 3438.10 | -2114.96 | -319001.80 | 911.39 |
| 2 | COMB10 | Combination | -3661.48 | 32.39 | 4327.24 | 2205.13 | -581706.85 | -561.90 |
| 2 | COMB11 | Combination | -2184.99 | -1546.12 | 2052.05 | 31756.30 | -348568.97 | -7861.57 |
| 3 | COMB1 | Combination | 2576.32 | -252.77 | 3372.54 | 5566.67 | 386275.11 | 1367.80 |
| 3 | COMB2 | Combination | 3586.26 | -417.29 | 5188.14 | 9359.71 | 518566.41 | 2296.73 |
| 3 | COMB3 | Combination | -5393.70 | 19807.22 | -19535.48 | - | -349682.32 | -91299.96 |
| | | | | | | 368905.65 | | |
| 3 | COMB4 | Combination | 1689.32 | -291.63 | 3137.36 | 6245.42 | 175425.43 | 1533.68 |
| 3 | COMB5 | Combination | 2518.80 | -78.84 | 1758.02 | 2049.36 | 392168.79 | 526.49 |
| 3 | COMB6 | Combination | 2267.06 | -263.13 | 3636.94 | 5744.33 | 279270.64 | 1412.32 |
| 3 | COMB7 | Combination | 4548.93 | -3008.79 | 7825.90 | 57651.37 | 611066.66 | 14258.01 |
| 3 | COMB8 | Combination | 2668.52 | -405.31 | 4557.85 | 8920.51 | 327356.33 | 2188.90 |
| 3 | COMB9 | Combination | 3290.63 | -245.72 | 3523.35 | 5773.47 | 489913.85 | 1433.51 |
| 3 | COMB10 | Combination | 2874.59 | -346.92 | 4524.03 | 7691.26 | 375474.70 | 1888.87 |
| 3 | COMB11 | Combination | 4142.16 | -1786.05 | 6663.74 | 34902.49 | 573743.61 | 8622.85 |
| 4 | COMB1 | Combination | -2559.51 | -238.50 | 3348.06 | 5257.47 | -383143.00 | -1291.26 |
| 4 | COMB2 | Combination | -3560.74 | -388.34 | 5139.84 | 8741.88 | -514555.19 | -2144.37 |
| 4 | COMB3 | Combination | 5395.76 | 19774.91 | -19514.30 | - | 352931.03 | 91198.95 |
| | | | | | | 368503.94 | | |
| 4 | COMB4 | Combination | -2895.69 | -81.72 | 2136.34 | 2112.79 | -499393.03 | -534.36 |
| 4 | COMB5 | Combination | -1754.30 | 93.03 | 1496.61 | -404.91 | -210905.89 | -8.48 |
| 4 | COMB6 | Combination | -3448.58 | -241.41 | 3885.29 | 5325.79 | -570691.48 | -1306.78 |
| 4 | COMB7 | Combination | -4526.27 | -2983.55 | 7785.12 | 57160.44 | -607659.28 | -14136.74 |
| 4 | COMB8 | Combination | -3562.57 | -233.30 | 3783.10 | 5512.26 | -568889.66 | -1363.42 |

| | | | | | | | | |
|---|--------|-------------|----------|----------|----------|-----------|------------|-----------|
| 4 | COMB9 | Combination | -2706.53 | -102.23 | 3303.31 | 3623.99 | -352524.31 | -969.01 |
| 4 | COMB10 | Combination | -3751.96 | -319.35 | 4691.66 | 7138.03 | -592795.75 | -1750.78 |
| 4 | COMB11 | Combination | -4117.70 | -1758.32 | 6618.20 | 34335.84 | -570005.45 | -8483.02 |
| 5 | COMB1 | Combination | 2586.65 | -38.51 | 3278.99 | 465.29 | 392009.89 | 121.63 |
| 5 | COMB2 | Combination | 3622.25 | -65.85 | 5114.49 | 792.42 | 529118.26 | 208.34 |
| 5 | COMB3 | Combination | 1809.09 | 2522.40 | 2586.17 | -69177.24 | 326475.85 | -17039.83 |
| 5 | COMB4 | Combination | 1669.78 | -43.23 | 3019.40 | 556.96 | 174860.94 | 144.97 |
| 5 | COMB5 | Combination | 2462.93 | -12.68 | 1591.79 | 189.01 | 384967.96 | 42.33 |
| 5 | COMB6 | Combination | 2279.94 | -39.81 | 3554.23 | 450.81 | 285500.44 | 118.10 |
| 5 | COMB7 | Combination | 3191.99 | -431.44 | 3984.43 | 12534.86 | 480788.72 | 3093.89 |
| 5 | COMB8 | Combination | 2675.70 | -62.55 | 4460.92 | 779.39 | 331979.45 | 204.17 |
| 5 | COMB9 | Combination | 3270.56 | -39.64 | 3390.22 | 503.42 | 489559.71 | 127.19 |
| 5 | COMB10 | Combination | 2900.31 | -53.84 | 4449.06 | 626.17 | 384109.70 | 164.51 |
| 5 | COMB11 | Combination | 3448.14 | -259.15 | 4612.98 | 6973.56 | 510600.67 | 1727.59 |
| 6 | COMB1 | Combination | -2561.28 | -36.45 | 3263.94 | 442.09 | -386510.57 | -115.79 |
| 6 | COMB2 | Combination | -3597.57 | -61.46 | 5099.11 | 719.79 | -523877.89 | -190.03 |
| 6 | COMB3 | Combination | -1768.13 | 2520.56 | 2548.55 | -69092.73 | -319074.47 | 17019.68 |
| 6 | COMB4 | Combination | -2896.34 | -13.99 | 2027.82 | 178.73 | -504964.55 | -42.37 |
| 6 | COMB5 | Combination | -1869.54 | 2.14 | 1672.81 | -478.98 | -237727.18 | 144.43 |
| 6 | COMB6 | Combination | -3446.60 | -36.94 | 3789.13 | 459.55 | -573484.28 | -120.52 |
| 6 | COMB7 | Combination | -3169.75 | -428.25 | 3974.38 | 12471.85 | -475637.12 | -3078.21 |
| 6 | COMB8 | Combination | -3589.79 | -38.36 | 3713.23 | 452.85 | -578376.54 | -116.41 |
| 6 | COMB9 | Combination | -2819.69 | -26.26 | 3446.97 | -40.43 | -377948.52 | 23.70 |
| 6 | COMB10 | Combination | -3769.32 | -49.95 | 4621.30 | 600.98 | -598858.70 | -158.32 |
| 6 | COMB11 | Combination | -3424.78 | -255.27 | 4600.39 | 6903.51 | -505419.85 | -1710.04 |
| 7 | COMB1 | Combination | 2498.77 | 22.01 | 3185.23 | -109.82 | 380573.56 | -33.39 |
| 7 | COMB2 | Combination | 3527.79 | 35.17 | 5014.82 | -76.52 | 516607.10 | -31.28 |
| 7 | COMB3 | Combination | 2972.95 | 1397.76 | 3381.22 | -43062.90 | 517642.69 | -10618.81 |
| 7 | COMB4 | Combination | 1568.04 | 23.31 | 2919.07 | -105.70 | 160290.80 | -32.11 |
| 7 | COMB5 | Combination | 2362.23 | 3.50 | 1499.18 | -14.35 | 368746.73 | -2.66 |
| 7 | COMB6 | Combination | 2193.16 | 24.43 | 3460.59 | -154.21 | 274380.36 | -44.06 |
| 7 | COMB7 | Combination | 2753.78 | -417.20 | 3645.73 | 12972.27 | 412652.87 | 3189.39 |
| 7 | COMB8 | Combination | 2572.49 | 32.86 | 4357.80 | -81.76 | 317386.64 | -30.85 |
| 7 | COMB9 | Combination | 3168.13 | 18.00 | 3292.88 | -13.24 | 473728.59 | -8.76 |
| 7 | COMB10 | Combination | 2809.80 | 30.73 | 4352.28 | -125.63 | 372346.26 | -40.29 |
| 7 | COMB11 | Combination | 3172.88 | -201.67 | 4387.53 | 6775.76 | 468832.80 | 1659.68 |
| 8 | COMB1 | Combination | -2547.96 | 23.85 | 3259.59 | -98.02 | -383011.57 | 30.85 |
| 8 | COMB2 | Combination | -3580.36 | 38.69 | 5090.68 | -121.52 | -519781.58 | 42.46 |
| 8 | COMB3 | Combination | -3033.37 | 1403.12 | 3470.44 | -43116.59 | -521641.80 | 10632.41 |
| 8 | COMB4 | Combination | -2899.37 | 6.30 | 2032.73 | 24.00 | -504821.06 | -4.31 |
| 8 | COMB5 | Combination | -1914.75 | 15.58 | 1698.45 | -211.95 | -244525.65 | 46.95 |
| 8 | COMB6 | Combination | -3430.33 | 22.94 | 3783.14 | -72.03 | -569391.37 | 24.93 |
| 8 | COMB7 | Combination | -2799.39 | -415.32 | 3715.06 | 12967.99 | -414597.92 | -3188.06 |
| 8 | COMB8 | Combination | -3585.81 | 21.82 | 3712.77 | -24.13 | -576946.20 | 13.18 |
| 8 | COMB9 | Combination | -2847.35 | 28.78 | 3462.06 | -201.09 | -381724.64 | 51.63 |
| 8 | COMB10 | Combination | -3751.74 | 30.96 | 4613.58 | -90.87 | -594600.67 | 32.50 |
| 8 | COMB11 | Combination | -3221.97 | -198.92 | 4460.04 | 6749.30 | -471398.66 | -1652.98 |
| 9 | COMB1 | Combination | 2478.54 | 142.06 | 3185.62 | -3338.83 | 376642.15 | -816.89 |
| 9 | COMB2 | Combination | 3463.51 | 206.98 | 4902.78 | -5188.70 | 507565.70 | -1264.67 |
| 9 | COMB3 | Combination | 7266.21 | 8525.65 | 14043.23 | - | 971499.96 | -39924.80 |
| | | | | | | 161391.56 | | |
| 9 | COMB4 | Combination | 1551.53 | 153.45 | 2913.21 | -3560.67 | 156217.33 | -874.44 |
| 9 | COMB5 | Combination | 2356.24 | 34.81 | 1583.29 | -747.97 | 364865.89 | -184.07 |
| 9 | COMB6 | Combination | 2177.36 | 158.05 | 3463.61 | -3669.36 | 270840.41 | -900.48 |
| 9 | COMB7 | Combination | 1088.60 | -3081.53 | -630.94 | 56977.41 | 237430.35 | 14110.17 |

| | | | | | | | | |
|----|--------|-------------|----------|----------|----------|-----------|------------|-----------|
| 9 | COMB8 | Combination | 2522.00 | 199.29 | 4269.18 | -4892.60 | 309516.20 | -1195.89 |
| 9 | COMB9 | Combination | 3125.54 | 110.32 | 3271.75 | -2783.08 | 466002.62 | -678.11 |
| 9 | COMB10 | Combination | 2769.76 | 188.14 | 4295.62 | -4557.91 | 366025.71 | -1114.67 |
| 9 | COMB11 | Combination | 2265.93 | -1516.24 | 2083.44 | 27356.02 | 372290.82 | 6784.73 |
| 10 | COMB1 | Combination | -2542.14 | 153.57 | 3286.44 | -3513.00 | -380671.81 | 860.33 |
| 10 | COMB2 | Combination | -3543.20 | 233.95 | 5033.05 | -5601.57 | -513690.51 | 1367.83 |
| 10 | COMB3 | Combination | -7342.80 | 8571.98 | 14178.22 | - | -977347.27 | 40124.79 |
| | | | | | | 162198.19 | | |
| 10 | COMB4 | Combination | -2894.99 | 42.66 | 2091.65 | -989.91 | -503552.19 | 240.22 |
| 10 | COMB5 | Combination | -1927.34 | 82.51 | 1779.35 | -1812.32 | -246604.11 | 448.86 |
| 10 | COMB6 | Combination | -3414.12 | 146.61 | 3797.30 | -3388.84 | -565802.73 | 827.95 |
| 10 | COMB7 | Combination | -1156.43 | -3070.51 | -522.82 | 56813.99 | -241838.74 | -14069.33 |
| 10 | COMB8 | Combination | -3557.58 | 130.67 | 3700.31 | -3187.11 | -572596.12 | 775.87 |
| 10 | COMB9 | Combination | -2831.84 | 160.56 | 3466.08 | -3803.92 | -379885.06 | 932.35 |
| 10 | COMB10 | Combination | -3721.69 | 190.55 | 4586.56 | -4516.38 | -589354.82 | 1102.48 |
| 10 | COMB11 | Combination | -2340.20 | -1496.88 | 2203.55 | 27062.17 | -377619.27 | -6711.31 |
| 11 | COMB1 | Combination | 2642.64 | -168.03 | 3394.85 | 3763.10 | 397710.26 | 921.55 |
| 11 | COMB2 | Combination | 3699.37 | -285.47 | 5236.00 | 6550.49 | 537595.84 | 1601.52 |
| 11 | COMB3 | Combination | -1861.60 | 7138.89 | -7682.41 | - | -37649.52 | -32629.17 |
| | | | | | | 131788.33 | | |
| 11 | COMB4 | Combination | 1703.96 | -211.88 | 3129.36 | 4592.82 | 175367.33 | 1129.78 |
| 11 | COMB5 | Combination | 2461.43 | -31.24 | 1704.50 | 655.12 | 377376.80 | 159.28 |
| 11 | COMB6 | Combination | 2335.44 | -183.15 | 3666.06 | 4065.68 | 290972.90 | 998.27 |
| 11 | COMB7 | Combination | 4897.54 | -3391.42 | 8377.82 | 64347.63 | 658423.41 | 15913.63 |
| 11 | COMB8 | Combination | 2731.17 | -289.00 | 4576.60 | 6475.94 | 335867.25 | 1587.71 |
| 11 | COMB9 | Combination | 3299.27 | -153.52 | 3507.95 | 3522.66 | 487374.35 | 859.83 |
| 11 | COMB10 | Combination | 2967.02 | -241.03 | 4564.87 | 5453.42 | 391097.17 | 1336.08 |
| 11 | COMB11 | Combination | 4381.24 | -1921.96 | 6977.51 | 37033.36 | 608024.60 | 9149.38 |
| 12 | COMB1 | Combination | -2601.85 | -159.49 | 3354.30 | 3559.55 | -390135.66 | -872.09 |
| 12 | COMB2 | Combination | -3646.26 | -261.83 | 5168.23 | 6023.40 | -528722.41 | -1472.64 |
| 12 | COMB3 | Combination | 1908.91 | 7184.54 | -7752.70 | - | 45645.89 | 32853.86 |
| | | | | | | 132701.17 | | |
| 12 | COMB4 | Combination | -2974.28 | -49.54 | 2184.56 | 1057.64 | -515458.42 | -256.02 |
| 12 | COMB5 | Combination | -2005.74 | -53.25 | 1841.42 | 1138.71 | -259884.93 | -280.13 |
| 12 | COMB6 | Combination | -3491.74 | -151.85 | 3885.90 | 3416.54 | -577822.92 | -835.02 |
| 12 | COMB7 | Combination | -4851.95 | -3383.66 | 8329.61 | 64156.31 | -650344.66 | -15867.15 |
| 12 | COMB8 | Combination | -3664.48 | -153.78 | 3837.44 | 3531.01 | -588067.80 | -860.45 |
| 12 | COMB9 | Combination | -2938.08 | -156.57 | 3580.09 | 3591.81 | -396387.67 | -878.53 |
| 12 | COMB10 | Combination | -3817.59 | -207.49 | 4705.31 | 4745.81 | -603659.15 | -1159.58 |
| 12 | COMB11 | Combination | -4331.47 | -1905.91 | 6918.65 | 36666.37 | -599503.43 | -9059.78 |
| 13 | COMB1 | Combination | 2571.44 | -28.07 | 3268.82 | 167.24 | 389093.16 | 47.91 |
| 13 | COMB2 | Combination | 3604.46 | -49.39 | 5103.29 | 338.59 | 525681.04 | 95.75 |
| 13 | COMB3 | Combination | 2113.74 | 857.49 | 2816.99 | -24418.59 | 375620.04 | -6008.80 |
| 13 | COMB4 | Combination | 1647.83 | -33.77 | 3006.21 | 230.99 | 170434.28 | 62.17 |
| 13 | COMB5 | Combination | 2401.87 | -3.24 | 1567.26 | 12.79 | 369835.32 | 10.32 |
| 13 | COMB6 | Combination | 2260.97 | -30.28 | 3542.14 | 173.43 | 281797.75 | 49.18 |
| 13 | COMB7 | Combination | 3224.55 | -437.63 | 4013.27 | 13151.92 | 485783.30 | 3245.36 |
| 13 | COMB8 | Combination | 2653.50 | -48.33 | 4447.72 | 343.57 | 327539.91 | 94.48 |
| 13 | COMB9 | Combination | 3219.03 | -25.43 | 3368.51 | 179.91 | 477090.69 | 55.59 |
| 13 | COMB10 | Combination | 2880.93 | -40.92 | 4436.91 | 261.84 | 380330.24 | 73.98 |
| 13 | COMB11 | Combination | 3456.66 | -254.28 | 4622.76 | 7074.16 | 511564.12 | 1751.69 |
| 14 | COMB1 | Combination | -2561.38 | -26.60 | 3263.61 | 132.74 | -386823.37 | -38.88 |
| 14 | COMB2 | Combination | -3596.40 | -45.64 | 5098.70 | 241.49 | -523921.29 | -70.97 |
| 14 | COMB3 | Combination | -2097.84 | 864.10 | 2800.20 | -24562.01 | -372958.69 | 6044.98 |
| 14 | COMB4 | Combination | -2908.30 | -6.78 | 2034.72 | 67.92 | -507699.43 | -23.86 |
| 14 | COMB5 | Combination | -1958.21 | -7.26 | 1716.72 | -4.55 | -256254.82 | -4.94 |

| | | | | | | | | |
|----|--------|-------------|----------|---------|---------|-----------|------------|-----------|
| 14 | COMB6 | Combination | -3449.09 | -25.59 | 3789.97 | 115.35 | -574365.36 | -35.13 |
| 14 | COMB7 | Combination | -3219.91 | -436.29 | 4013.55 | 13095.27 | -484492.93 | -3230.96 |
| 14 | COMB8 | Combination | -3597.84 | -26.01 | 3718.26 | 165.68 | -580303.85 | -51.68 |
| 14 | COMB9 | Combination | -2885.27 | -26.38 | 3479.76 | 111.34 | -391720.40 | -37.49 |
| 14 | COMB10 | Combination | -3770.55 | -35.84 | 4621.80 | 176.79 | -599456.27 | -52.91 |
| 14 | COMB11 | Combination | -3450.50 | -251.68 | 4620.75 | 6995.16 | -510076.30 | -1731.57 |
| 15 | COMB1 | Combination | 2539.58 | 4.18 | 3229.16 | -10.72 | 384116.89 | -7.44 |
| 15 | COMB2 | Combination | 3553.94 | 7.89 | 5039.31 | 56.66 | 517891.65 | 5.51 |
| 15 | COMB3 | Combination | 2565.79 | 228.63 | 3058.90 | -9868.88 | 448214.26 | -2428.45 |
| 15 | COMB4 | Combination | 1636.67 | 4.94 | 2978.86 | -20.73 | 169837.22 | -5.77 |
| 15 | COMB5 | Combination | 2377.80 | -2.95 | 1532.73 | -198.43 | 364729.87 | -73.97 |
| 15 | COMB6 | Combination | 2218.20 | 3.95 | 3496.20 | -23.18 | 274050.14 | -10.23 |
| 15 | COMB7 | Combination | 2975.10 | -94.49 | 3817.74 | 7691.51 | 445404.60 | 1880.17 |
| 15 | COMB8 | Combination | 2623.17 | 7.53 | 4399.05 | 32.31 | 323738.21 | 3.52 |
| 15 | COMB9 | Combination | 3179.02 | 1.61 | 3314.45 | -100.97 | 469907.69 | -47.63 |
| 15 | COMB10 | Combination | 2831.09 | 5.95 | 4379.77 | 15.31 | 371798.57 | -2.73 |
| 15 | COMB11 | Combination | 3300.77 | -45.67 | 4488.49 | 4068.33 | 486524.69 | 990.36 |
| 16 | COMB1 | Combination | -2538.06 | 4.55 | 3228.51 | -43.86 | -383723.57 | 14.83 |
| 16 | COMB2 | Combination | -3556.10 | 8.66 | 5040.41 | -20.10 | -518345.64 | 12.14 |
| 16 | COMB3 | Combination | -2570.64 | 229.75 | 3063.11 | -9976.68 | -449149.08 | 2454.03 |
| 16 | COMB4 | Combination | -2875.34 | -1.54 | 1997.15 | -113.75 | -501088.53 | 48.57 |
| 16 | COMB5 | Combination | -1944.41 | -1.41 | 1687.80 | -197.83 | -253666.12 | 68.18 |
| 16 | COMB6 | Combination | -3433.35 | 4.72 | 3756.53 | -54.60 | -573517.29 | 18.18 |
| 16 | COMB7 | Combination | -2980.73 | -93.81 | 3819.40 | 7635.81 | -446823.88 | -1867.26 |
| 16 | COMB8 | Combination | -3554.55 | 3.07 | 3663.92 | -78.45 | -572713.85 | 38.12 |
| 16 | COMB9 | Combination | -2856.35 | 3.16 | 3431.91 | -141.51 | -387147.03 | 52.82 |
| 16 | COMB10 | Combination | -3744.00 | 6.84 | 4575.77 | -39.44 | -596745.45 | 15.93 |
| 16 | COMB11 | Combination | -3304.93 | -44.93 | 4489.98 | 4000.44 | -487527.82 | -974.68 |
| 17 | COMB1 | Combination | 2421.86 | -27.31 | 3027.62 | -673.28 | 368922.39 | -156.63 |
| 17 | COMB2 | Combination | 3330.24 | -49.25 | 4641.67 | -1198.41 | 489259.72 | -281.14 |
| 17 | COMB3 | Combination | 2539.98 | 629.78 | 2932.04 | -15785.01 | 447707.13 | -3905.44 |
| 17 | COMB4 | Combination | 1530.37 | -31.51 | 2764.10 | -815.91 | 156714.80 | -208.47 |
| 17 | COMB5 | Combination | 2305.01 | -1.17 | 1534.05 | 81.14 | 358700.94 | 122.08 |
| 17 | COMB6 | Combination | 2075.32 | -28.80 | 3282.28 | -634.96 | 252665.28 | -147.65 |
| 17 | COMB7 | Combination | 2744.43 | -118.91 | 3530.54 | 6959.69 | 410565.06 | 1720.34 |
| 17 | COMB8 | Combination | 2434.53 | -46.92 | 4040.51 | -1174.10 | 300019.69 | -288.90 |
| 17 | COMB9 | Combination | 3015.50 | -24.16 | 3117.97 | -501.31 | 451509.30 | -40.98 |
| 17 | COMB10 | Combination | 2638.85 | -39.95 | 4065.99 | -920.23 | 344906.66 | -215.27 |
| 17 | COMB11 | Combination | 3068.11 | -86.92 | 4139.03 | 3058.34 | 453961.89 | 763.41 |
| 18 | COMB1 | Combination | -2420.05 | -25.23 | 3027.42 | -717.71 | -368102.94 | 170.02 |
| 18 | COMB2 | Combination | -3331.40 | -45.72 | 4643.50 | -1272.17 | -488895.90 | 303.06 |
| 18 | COMB3 | Combination | -2546.30 | 632.46 | 2936.10 | -15894.60 | -448749.85 | 3934.83 |
| 18 | COMB4 | Combination | -2801.15 | -5.09 | 1969.81 | -67.10 | -493032.57 | -64.62 |
| 18 | COMB5 | Combination | -1860.95 | -9.98 | 1644.43 | -54.21 | -245163.12 | -64.82 |
| 18 | COMB6 | Combination | -3340.12 | -24.34 | 3567.29 | -743.80 | -564161.57 | 174.25 |
| 18 | COMB7 | Combination | -2761.10 | -116.16 | 3541.47 | 6878.96 | -413791.10 | -1697.69 |
| 18 | COMB8 | Combination | -3389.39 | -25.49 | 3446.27 | -645.60 | -552394.88 | 93.82 |
| 18 | COMB9 | Combination | -2684.24 | -29.16 | 3202.23 | -635.93 | -366492.80 | 93.67 |
| 18 | COMB10 | Combination | -3588.56 | -35.32 | 4280.76 | -1028.37 | -578563.21 | 243.04 |
| 18 | COMB11 | Combination | -3077.56 | -83.73 | 4145.74 | 2979.45 | -455505.53 | -740.68 |
| 19 | COMB1 | Combination | 2420.00 | -73.09 | 2915.36 | 1148.75 | 369518.95 | 248.34 |
| 19 | COMB2 | Combination | 3264.16 | -107.43 | 4360.93 | 1831.69 | 482581.52 | 402.06 |
| 19 | COMB3 | Combination | 2510.55 | 4403.52 | 2859.02 | -76770.58 | 452582.77 | -18971.44 |
| 19 | COMB4 | Combination | 1465.00 | -81.37 | 2595.34 | 1435.00 | 146397.95 | 333.13 |
| 19 | COMB5 | Combination | 2350.69 | -33.12 | 1631.29 | -31.17 | 368747.12 | -73.84 |

| | | | | | | | | |
|----|--------|-------------|----------|----------|----------|-----------|------------|------------|
| 19 | COMB6 | Combination | 2037.57 | -84.65 | 3161.65 | 1375.54 | 244966.80 | 306.33 |
| 19 | COMB7 | Combination | 2580.45 | -374.36 | 3305.50 | 12076.35 | 384646.79 | 2925.34 |
| 19 | COMB8 | Combination | 2336.87 | -105.06 | 3759.52 | 1875.64 | 286975.13 | 427.23 |
| 19 | COMB9 | Combination | 3001.14 | -68.87 | 3036.49 | 776.02 | 453737.00 | 121.92 |
| 19 | COMB10 | Combination | 2576.36 | -99.79 | 3859.01 | 1677.39 | 335462.69 | 372.54 |
| 19 | COMB11 | Combination | 2947.42 | -249.28 | 3879.11 | 7244.29 | 436818.92 | 1734.47 |
| 20 | COMB1 | Combination | -2405.41 | -58.89 | 2911.84 | 928.27 | -366352.36 | -201.98 |
| 20 | COMB2 | Combination | -3246.30 | -86.11 | 4357.65 | 1476.02 | -478666.62 | -326.36 |
| 20 | COMB3 | Combination | -2505.86 | 4418.85 | 2860.09 | -77059.50 | -451575.40 | 19034.65 |
| 20 | COMB4 | Combination | -2883.87 | -29.82 | 2060.10 | 19.24 | -508411.24 | 53.16 |
| 20 | COMB5 | Combination | -1846.82 | -61.14 | 1672.75 | 637.54 | -245081.99 | -112.17 |
| 20 | COMB6 | Combination | -3381.95 | -58.54 | 3479.03 | 820.62 | -573393.90 | -166.83 |
| 20 | COMB7 | Combination | -2572.86 | -358.77 | 3292.10 | 11768.28 | -385087.14 | -2858.54 |
| 20 | COMB8 | Combination | -3394.92 | -57.50 | 3357.39 | 657.31 | -557132.21 | -103.91 |
| 20 | COMB9 | Combination | -2617.13 | -80.99 | 3066.88 | 1121.04 | -359635.28 | -227.91 |
| 20 | COMB10 | Combination | -3579.28 | -72.92 | 4096.29 | 1135.10 | -580598.50 | -240.92 |
| 20 | COMB11 | Combination | -2934.79 | -230.62 | 3870.53 | 6906.84 | -435153.10 | -1661.97 |
| 21 | COMB1 | Combination | 2666.34 | -596.93 | 3321.24 | 10294.18 | 424011.59 | 2680.36 |
| 21 | COMB2 | Combination | 3585.69 | -1036.99 | 4730.39 | 15026.85 | 556573.12 | 3905.88 |
| 21 | COMB3 | Combination | 2566.29 | 42212.09 | 2481.91 | - | 525983.22 | -125598.30 |
| | | | | | | 505952.09 | | |
| 21 | COMB4 | Combination | 1528.23 | -912.47 | 2563.11 | 10743.17 | 166074.59 | 2753.97 |
| 21 | COMB5 | Combination | 2464.29 | 278.62 | 2236.17 | 5482.12 | 416119.20 | 1527.90 |
| 21 | COMB6 | Combination | 2212.38 | -830.43 | 3359.46 | 11253.76 | 285203.48 | 2913.20 |
| 21 | COMB7 | Combination | 1224.50 | -3350.80 | -1538.97 | 44215.98 | 300084.12 | 11147.81 |
| 21 | COMB8 | Combination | 2502.27 | -1163.64 | 3809.50 | 14180.42 | 329979.99 | 3654.71 |
| 21 | COMB9 | Combination | 3204.31 | -270.31 | 3564.30 | 10234.64 | 517513.45 | 2735.16 |
| 21 | COMB10 | Combination | 2808.53 | -1003.09 | 4089.71 | 13498.51 | 389500.31 | 3498.39 |
| 21 | COMB11 | Combination | 2392.03 | -2273.74 | 1509.44 | 30587.77 | 428544.47 | 7769.17 |
| 22 | COMB1 | Combination | -2637.97 | -494.30 | 3337.76 | 8554.78 | -412363.43 | -2218.19 |
| 22 | COMB2 | Combination | -3538.88 | -882.32 | 4753.29 | 12395.18 | -538752.07 | -3207.54 |
| 22 | COMB3 | Combination | -2530.54 | 42320.88 | 2503.12 | - | -513691.80 | 126093.37 |
| | | | | | | 507825.90 | | |
| 22 | COMB4 | Combination | -3202.67 | 341.30 | 2957.63 | 5620.29 | -577004.40 | -1542.88 |
| 22 | COMB5 | Combination | -1902.77 | -250.87 | 2110.61 | 8317.30 | -271777.80 | -2170.50 |
| 22 | COMB6 | Combination | -3707.84 | -342.90 | 4135.78 | 8992.10 | -640743.45 | -2357.05 |
| 22 | COMB7 | Combination | -1144.10 | -3231.81 | -1606.07 | 42250.83 | -285369.78 | -10626.87 |
| 22 | COMB8 | Combination | -3737.18 | -158.61 | 4114.31 | 9234.21 | -630635.64 | -2453.72 |
| 22 | COMB9 | Combination | -2762.26 | -602.74 | 3479.05 | 11256.97 | -401715.69 | -2924.44 |
| 22 | COMB10 | Combination | -3913.35 | -584.46 | 4679.43 | 10898.98 | -650002.48 | -2841.75 |
| 22 | COMB11 | Combination | -2326.67 | -2135.20 | 1485.41 | 28261.42 | -412045.80 | -7152.16 |
| 23 | COMB1 | Combination | 3936.90 | 2036.94 | 5962.89 | 37436.16 | 550810.24 | 8635.49 |
| 23 | COMB2 | Combination | 5443.31 | 3162.05 | 8750.71 | 59232.21 | 742997.07 | 13754.57 |
| 23 | COMB3 | Combination | 4723.16 | 14927.05 | 6874.95 | - | 669355.74 | -26439.57 |
| | | | | | | 103673.39 | | |
| 23 | COMB4 | Combination | 2775.85 | 2075.90 | 5986.49 | 44924.57 | 288016.29 | 10757.54 |
| 23 | COMB5 | Combination | 3039.96 | 441.54 | 2521.23 | 1475.69 | 481848.65 | -138.01 |
| 23 | COMB6 | Combination | 3563.28 | 2266.80 | 6593.41 | 44942.10 | 418229.54 | 10604.77 |
| 23 | COMB7 | Combination | 6646.74 | -2296.90 | 12543.15 | 53220.60 | 837367.14 | 12343.35 |
| 23 | COMB8 | Combination | 4195.92 | 2909.99 | 8071.46 | 59399.50 | 497854.89 | 14066.34 |
| 23 | COMB9 | Combination | 4394.01 | 1684.23 | 5472.52 | 26812.84 | 643229.17 | 5894.68 |
| 23 | COMB10 | Combination | 4447.55 | 2800.02 | 7899.39 | 54508.54 | 552272.80 | 12799.97 |
| 23 | COMB11 | Combination | 6150.43 | 352.36 | 10881.13 | 57165.92 | 802150.70 | 13269.63 |
| 24 | COMB1 | Combination | -3795.70 | 1825.92 | 5731.91 | 33355.07 | -533539.44 | -7749.26 |
| 24 | COMB2 | Combination | -5230.89 | 2853.33 | 8405.26 | 53098.51 | -716665.54 | -12420.63 |

| | | | | | | | | |
|----|--------|-------------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|
| 24 | COMB3 | Combination | -4578.09 | 14739.78 | 6637.74 | - | -650878.19 | 27342.80 |
| | | | | | | 107829.41 | | |
| 24 | COMB4 | Combination | -4206.55 | 625.79 | 3493.21 | 2487.68 | -670037.43 | 111.41 |
| 24 | COMB5 | Combination | -2545.20 | 1130.75 | 3991.86 | 22613.81 | -353003.88 | -5295.85 |
| 24 | COMB6 | Combination | -5020.37 | 1907.40 | 6299.86 | 30742.13 | -777961.69 | -6886.50 |
| 24 | COMB7 | Combination | -6482.31 | -2519.22 | 12244.81 | 48682.29 | -820702.58 | -11346.38 |
| 24 | COMB8 | Combination | -5180.23 | 1696.38 | 6057.90 | 25012.11 | -773257.51 | -5357.29 |
| 24 | COMB9 | Combination | -3934.21 | 2075.10 | 6431.89 | 40106.71 | -535482.34 | -9412.73 |
| 24 | COMB10 | Combination | -5467.68 | 2426.42 | 7561.38 | 41760.67 | -812997.33 | -9554.66 |
| 24 | COMB11 | Combination | -5959.65 | 84.11 | 10554.69 | 51767.17 | -780441.29 | -12090.22 |
| 25 | COMB1 | Combination | 5395.66 | -44.70 | 8305.82 | 484.07 | 758050.34 | 109.15 |
| 25 | COMB2 | Combination | 7572.27 | -57.48 | 12310.33 | 666.82 | 1045400.09 | 148.52 |
| 25 | COMB3 | Combination | 5422.89 | -1946.04 | 8038.28 | 25086.71 | 836178.12 | 6379.52 |
| 25 | COMB4 | Combination | 3658.64 | -14.61 | 7853.88 | 393.62 | 401543.09 | 94.75 |
| 25 | COMB5 | Combination | 4175.55 | -61.43 | 3703.16 | 470.04 | 640048.67 | 106.62 |
| 25 | COMB6 | Combination | 4901.21 | -36.07 | 8936.45 | 460.30 | 604149.84 | 104.34 |
| 25 | COMB7 | Combination | 6204.88 | -781.99 | 9476.53 | 9664.30 | 864303.25 | 2516.70 |
| 25 | COMB8 | Combination | 5725.35 | -31.72 | 10970.24 | 553.30 | 706182.21 | 127.88 |
| 25 | COMB9 | Combination | 6113.04 | -66.83 | 7857.20 | 610.61 | 885061.40 | 136.78 |
| 25 | COMB10 | Combination | 6167.54 | -44.93 | 10881.16 | 562.19 | 793483.58 | 126.21 |
| 25 | COMB11 | Combination | 6963.22 | -438.48 | 11022.81 | 5399.64 | 964691.74 | 1393.79 |
| 26 | COMB1 | Combination | -5704.49 | -38.85 | 8743.11 | 550.63 | -777831.82 | -126.52 |
| 26 | COMB2 | Combination | -8015.82 | -50.94 | 12950.72 | 783.88 | -072141.38 | -179.46 |
| 26 | COMB3 | Combination | -5683.38 | -1951.94 | 8434.19 | 25119.86 | -848720.44 | -6395.03 |
| 26 | COMB4 | Combination | -6202.69 | -70.70 | 5810.18 | 668.06 | -936015.94 | -153.13 |
| 26 | COMB5 | Combination | -3750.56 | -25.27 | 5860.13 | 363.51 | -503021.33 | -81.57 |
| 26 | COMB6 | Combination | -7383.26 | -58.36 | 9823.03 | 765.33 | -086028.14 | -176.90 |
| 26 | COMB7 | Combination | -6571.14 | -779.16 | 9979.29 | 9667.14 | -890174.40 | -2524.97 |
| 26 | COMB8 | Combination | -7811.64 | -71.81 | 9699.11 | 813.64 | -117202.08 | -186.19 |
| 26 | COMB9 | Combination | -5972.54 | -37.74 | 9736.58 | 585.22 | -792456.12 | -132.52 |
| 26 | COMB10 | Combination | -8177.01 | -59.83 | 11762.04 | 834.11 | -163491.58 | -192.10 |
| 26 | COMB11 | Combination | -7372.93 | -433.86 | 11601.10 | 5459.25 | -991324.19 | -1413.50 |
| 27 | COMB1 | Combination | 4097.96 | -1674.20 | 6233.91 | -34247.15 | 575598.00 | -7850.04 |
| 27 | COMB2 | Combination | 5729.29 | -2615.82 | 9211.23 | -55222.08 | 785077.04 | -12771.17 |
| 27 | COMB3 | Combination | -1308.09 | -29997.92 | -11341.15 | 250678.69 | 96901.18 | 62867.73 |
| 27 | COMB4 | Combination | 2812.56 | -1784.94 | 6103.25 | -43830.50 | 289567.05 | -10361.16 |
| 27 | COMB5 | Combination | 3123.17 | -318.84 | 2626.48 | 3213.92 | 499259.56 | 1281.57 |
| 27 | COMB6 | Combination | 3693.21 | -1930.29 | 6791.69 | -42447.88 | 437859.06 | -9890.66 |
| 27 | COMB7 | Combination | 2695.79 | -5654.32 | 2042.23 | 5097.29 | 438694.66 | 1969.02 |
| 27 | COMB8 | Combination | 4357.40 | -2463.47 | 8368.91 | -57165.86 | 518184.07 | -13424.23 |
| 27 | COMB9 | Combination | 4590.36 | -1363.89 | 5761.33 | -21882.55 | 675453.45 | -4692.18 |
| 27 | COMB10 | Combination | 4650.85 | -2360.62 | 8215.34 | -51409.54 | 582270.29 | -11964.10 |
| 27 | COMB11 | Combination | 4218.27 | -4258.11 | 5596.37 | -24603.16 | 613700.24 | -5278.63 |
| 28 | COMB1 | Combination | -3964.48 | -1497.87 | 6014.90 | -30615.06 | -558177.00 | 7072.91 |
| 28 | COMB2 | Combination | -5524.21 | -2363.37 | 8874.34 | -49612.22 | -757955.11 | 11564.54 |
| 28 | COMB3 | Combination | 1433.28 | -29852.60 | -11565.33 | 255011.93 | -79459.17 | -63812.71 |
| 28 | COMB4 | Combination | -4357.45 | -484.84 | 3660.16 | 2631.79 | -699045.03 | -1242.94 |
| 28 | COMB5 | Combination | -2629.11 | -897.65 | 4139.79 | -20630.04 | -365921.60 | 4759.59 |
| 28 | COMB6 | Combination | -5223.01 | -1517.92 | 6656.60 | -26508.80 | -808828.59 | 5931.61 |
| 28 | COMB7 | Combination | -2557.69 | -5453.64 | 1806.78 | 9267.80 | -420716.49 | -2862.17 |
| 28 | COMB8 | Combination | -5429.00 | -1387.22 | 6393.43 | -19927.79 | -813661.61 | 4204.74 |
| 28 | COMB9 | Combination | -4132.75 | -1696.83 | 6753.15 | -37374.17 | -563819.04 | 8706.64 |
| 28 | COMB10 | Combination | -5727.24 | -1967.29 | 7997.38 | -37508.87 | -851049.20 | 8575.04 |
| 28 | COMB11 | Combination | -4044.77 | -4029.04 | 5306.84 | -19650.07 | -590893.74 | 4215.10 |
| 29 | COMB1 | Combination | 2781.67 | 245.50 | 3622.09 | -11176.54 | 435463.23 | -2900.63 |

| | | | | | | | | |
|----|--------|-------------|----------|-----------|----------|-----------|------------|------------|
| 29 | COMB2 | Combination | 3799.19 | 529.75 | 5244.76 | -16402.33 | 578988.17 | -4243.38 |
| 29 | COMB3 | Combination | 8329.65 | -59803.45 | 20829.49 | 748383.79 | 1060655.36 | 185815.01 |
| 29 | COMB4 | Combination | 1671.41 | 567.00 | 3010.72 | -12704.05 | 179002.78 | -3236.42 |
| 29 | COMB5 | Combination | 2500.71 | -431.48 | 2225.54 | -5071.97 | 419818.80 | -1461.24 |
| 29 | COMB6 | Combination | 2339.74 | 468.67 | 3725.56 | -12635.79 | 297352.29 | -3252.23 |
| 29 | COMB7 | Combination | 5182.09 | -3459.75 | 9303.18 | 34417.87 | 706736.25 | 8415.62 |
| 29 | COMB8 | Combination | 2712.11 | 699.81 | 4380.56 | -16241.52 | 350761.59 | -4159.54 |
| 29 | COMB9 | Combination | 3334.09 | -49.05 | 3791.68 | -10517.46 | 531373.61 | -2828.15 |
| 29 | COMB10 | Combination | 2984.42 | 562.11 | 4551.59 | -15014.52 | 407230.61 | -3869.27 |
| 29 | COMB11 | Combination | 4576.08 | -1550.53 | 7456.56 | 10016.98 | 653232.16 | 2335.46 |
| 30 | COMB1 | Combination | -2750.48 | 163.01 | 3632.89 | -9242.48 | -424542.61 | 2389.43 |
| 30 | COMB2 | Combination | -3752.48 | 396.95 | 5268.81 | -13370.26 | -562792.98 | 3444.48 |
| 30 | COMB3 | Combination | -8276.89 | -59923.32 | 20838.26 | 750886.00 | -047469.02 | -186468.33 |
| 30 | COMB4 | Combination | -3298.27 | -579.94 | 3036.82 | -3333.66 | -585070.92 | 966.19 |
| 30 | COMB5 | Combination | -1949.43 | 12.75 | 2270.75 | -10200.53 | -277667.16 | 2659.88 |
| 30 | COMB6 | Combination | -3804.71 | -14.31 | 4364.35 | -9033.77 | -651059.82 | 2374.92 |
| 30 | COMB7 | Combination | -5137.36 | -3556.21 | 9303.83 | 36647.85 | -693234.54 | -9004.73 |
| 30 | COMB8 | Combination | -3912.82 | -218.75 | 4412.78 | -7906.70 | -648626.62 | 2113.29 |
| 30 | COMB9 | Combination | -2901.19 | 225.78 | 3838.23 | -13056.85 | -418073.80 | 3383.56 |
| 30 | COMB10 | Combination | -4067.20 | 152.84 | 5040.35 | -11253.03 | -667011.96 | 2932.45 |
| 30 | COMB11 | Combination | -4529.64 | -1666.76 | 7468.99 | 12682.86 | -638187.32 | -3038.60 |
| 31 | COMB1 | Combination | 2457.89 | 70.78 | 2994.85 | -842.88 | 373980.95 | -170.59 |
| 31 | COMB2 | Combination | 3341.78 | 106.04 | 4523.73 | -1426.43 | 491784.36 | -299.99 |
| 31 | COMB3 | Combination | 2841.14 | -6686.07 | 3194.52 | 165937.34 | 504209.03 | 40875.14 |
| 31 | COMB4 | Combination | 1538.15 | 86.91 | 2698.40 | -1487.34 | 158646.51 | -343.95 |
| 31 | COMB5 | Combination | 2367.07 | 26.75 | 1622.26 | 470.47 | 369005.43 | 187.96 |
| 31 | COMB6 | Combination | 2060.96 | 84.80 | 3231.34 | -1199.01 | 246175.62 | -261.24 |
| 31 | COMB7 | Combination | 3098.73 | -319.68 | 3738.94 | 12533.59 | 467948.96 | 3120.51 |
| 31 | COMB8 | Combination | 2431.00 | 109.32 | 3919.17 | -1763.89 | 300832.68 | -397.66 |
| 31 | COMB9 | Combination | 3052.70 | 64.21 | 3112.07 | -295.54 | 458601.87 | 1.27 |
| 31 | COMB10 | Combination | 2624.24 | 99.81 | 3974.88 | -1416.35 | 339973.74 | -306.51 |
| 31 | COMB11 | Combination | 3258.38 | -115.70 | 4188.16 | 5873.40 | 485160.95 | 1489.30 |
| 32 | COMB1 | Combination | -2447.13 | 56.19 | 2992.54 | -604.15 | -371639.00 | 120.09 |
| 32 | COMB2 | Combination | -3330.69 | 83.14 | 4522.90 | -1022.93 | -489290.57 | 213.05 |
| 32 | COMB3 | Combination | -2856.19 | -6705.78 | 3216.77 | 166305.48 | -506342.58 | -40957.21 |
| 32 | COMB4 | Combination | -2868.71 | 8.75 | 2050.81 | 809.88 | -502752.80 | -252.57 |
| 32 | COMB5 | Combination | -1873.54 | 66.26 | 1682.14 | -650.53 | -247253.88 | 110.71 |
| 32 | COMB6 | Combination | -3431.71 | 50.91 | 3564.13 | -273.93 | -580885.69 | 28.71 |
| 32 | COMB7 | Combination | -3090.18 | -336.75 | 3742.47 | 12803.18 | -465694.66 | -3177.49 |
| 32 | COMB8 | Combination | -3425.99 | 40.82 | 3434.02 | 142.29 | -558213.02 | -89.69 |
| 32 | COMB9 | Combination | -2679.61 | 83.96 | 3157.51 | -953.02 | -366588.84 | 182.77 |
| 32 | COMB10 | Combination | -3649.44 | 66.38 | 4224.68 | -576.34 | -590341.09 | 100.36 |
| 32 | COMB11 | Combination | -3248.60 | -135.95 | 4189.69 | 6214.84 | -482785.30 | -1562.34 |
| 33 | COMB1 | Combination | 2368.51 | 23.18 | 2975.97 | 342.77 | 361230.41 | 70.60 |
| 33 | COMB2 | Combination | 3229.10 | 40.47 | 4537.57 | 540.72 | 474980.20 | 111.90 |
| 33 | COMB3 | Combination | 2038.17 | -3609.10 | 2516.77 | 130464.33 | 365680.97 | 32154.82 |
| 33 | COMB4 | Combination | 1567.61 | 32.03 | 2747.90 | 126.61 | 172864.41 | 31.32 |
| 33 | COMB5 | Combination | 2275.57 | -13.10 | 1504.35 | -170.63 | 351827.38 | -132.57 |
| 33 | COMB6 | Combination | 1991.94 | 26.53 | 3216.81 | 248.72 | 238035.25 | 47.57 |
| 33 | COMB7 | Combination | 2744.64 | -75.25 | 3521.33 | 9074.92 | 412962.09 | 2218.88 |
| 33 | COMB8 | Combination | 2413.27 | 42.79 | 3976.12 | 329.11 | 305268.26 | 72.12 |
| 33 | COMB9 | Combination | 2944.24 | 8.94 | 3043.45 | 106.18 | 439490.49 | -50.80 |
| 33 | COMB10 | Combination | 2537.89 | 34.77 | 3976.44 | 376.15 | 328552.68 | 75.01 |
| 33 | COMB11 | Combination | 3017.79 | -19.42 | 4082.12 | 5031.07 | 448108.18 | 1220.13 |
| 34 | COMB1 | Combination | -2371.00 | 20.74 | 2979.55 | 433.48 | -361293.35 | -95.51 |

| | | | | | | | | |
|----|--------|-------------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|-----------|
| 34 | COMB2 | Combination | -3236.41 | 36.24 | 4545.54 | 704.62 | -475810.45 | -156.22 |
| 34 | COMB3 | Combination | -2049.62 | -3613.01 | 2525.10 | 130666.70 | -367736.64 | -32207.39 |
| 34 | COMB4 | Combination | -2696.17 | -10.96 | 1917.08 | 285.17 | -465891.08 | -0.22 |
| 34 | COMB5 | Combination | -1821.84 | -0.46 | 1607.83 | -303.34 | -237728.11 | 144.38 |
| 34 | COMB6 | Combination | -3305.02 | 18.20 | 3521.19 | 601.15 | -561557.49 | -134.25 |
| 34 | COMB7 | Combination | -2746.52 | -78.04 | 3524.24 | 9186.06 | -412855.37 | -2249.14 |
| 34 | COMB8 | Combination | -3263.94 | 8.59 | 3357.19 | 525.61 | -525629.47 | -69.58 |
| 34 | COMB9 | Combination | -2608.19 | 16.47 | 3125.25 | 84.23 | -354507.25 | 38.87 |
| 34 | COMB10 | Combination | -3525.86 | 26.97 | 4207.93 | 701.58 | -571612.93 | -156.44 |
| 34 | COMB11 | Combination | -3022.49 | -22.98 | 4087.66 | 5170.93 | -448484.89 | -1258.04 |
| 35 | COMB1 | Combination | 2365.63 | -35.11 | 2562.94 | -1325.65 | 364142.16 | -324.39 |
| 35 | COMB2 | Combination | 3176.33 | -63.14 | 3653.06 | -2293.30 | 476908.44 | -560.43 |
| 35 | COMB3 | Combination | 1213.03 | -18370.74 | 1521.19 | 384066.91 | 233130.38 | 94823.84 |
| 35 | COMB4 | Combination | 1711.00 | -35.55 | 2356.72 | -1905.65 | 202297.10 | -515.68 |
| 35 | COMB5 | Combination | 1989.13 | -8.94 | 1528.58 | 490.04 | 333312.17 | 436.22 |
| 35 | COMB6 | Combination | 2053.08 | -35.22 | 2923.74 | -1469.98 | 247739.86 | -358.95 |
| 35 | COMB7 | Combination | 2618.40 | -101.18 | 3071.34 | 5855.19 | 390946.65 | 1418.62 |
| 35 | COMB8 | Combination | 2482.68 | -56.47 | 3225.86 | -2486.39 | 327333.08 | -644.89 |
| 35 | COMB9 | Combination | 2691.28 | -36.51 | 2604.76 | -689.62 | 425594.38 | 69.04 |
| 35 | COMB10 | Combination | 2556.83 | -49.91 | 3405.85 | -1941.91 | 336042.73 | -474.23 |
| 35 | COMB11 | Combination | 2923.95 | -84.51 | 3402.16 | 1936.28 | 437416.81 | 466.77 |
| 36 | COMB1 | Combination | -2366.38 | -35.47 | 2560.10 | -1188.99 | -364743.34 | 292.84 |
| 36 | COMB2 | Combination | -3177.87 | -63.79 | 3647.91 | -2037.48 | -478048.18 | 500.94 |
| 36 | COMB3 | Combination | -1197.94 | -18372.21 | 1498.03 | 384390.12 | -231844.66 | -94900.71 |
| 36 | COMB4 | Combination | -2398.91 | -16.60 | 1823.27 | 512.89 | -432780.83 | -370.24 |
| 36 | COMB5 | Combination | -1568.26 | -12.84 | 1525.74 | 158.66 | -218004.05 | -284.25 |
| 36 | COMB6 | Combination | -3281.13 | -36.73 | 3092.79 | -1050.59 | -560707.44 | 257.96 |
| 36 | COMB7 | Combination | -2615.47 | -101.76 | 3064.74 | 6024.25 | -390983.30 | -1457.90 |
| 36 | COMB8 | Combination | -2999.40 | -42.56 | 2823.34 | -548.95 | -500750.09 | -48.40 |
| 36 | COMB9 | Combination | -2376.41 | -39.74 | 2600.19 | -814.62 | -339667.51 | 16.10 |
| 36 | COMB10 | Combination | -3478.48 | -51.29 | 3530.72 | -1530.65 | -571201.46 | 375.94 |
| 36 | COMB11 | Combination | -2923.18 | -85.14 | 3396.14 | 2152.50 | -438004.36 | -517.04 |
| 37 | COMB1 | Combination | 2323.95 | 289.80 | 2681.76 | -4036.14 | 352769.33 | -995.79 |
| 37 | COMB2 | Combination | 3070.84 | 481.33 | 3755.04 | -6780.22 | 454264.63 | -1670.81 |
| 37 | COMB3 | Combination | -5949.14 | 4109.90 | -17659.20 | -53254.98 | -453712.52 | -13426.51 |
| 37 | COMB4 | Combination | 1837.12 | 377.41 | 2650.16 | -5341.45 | 223324.35 | -1293.67 |
| 37 | COMB5 | Combination | 2038.58 | 139.86 | 1791.89 | -2612.60 | 340049.26 | -824.83 |
| 37 | COMB6 | Combination | 2030.80 | 317.96 | 3064.46 | -4323.39 | 239798.81 | -1070.40 |
| 37 | COMB7 | Combination | 1117.18 | -2106.76 | -958.67 | 42867.50 | 243547.47 | 10588.91 |
| 37 | COMB8 | Combination | 2519.00 | 499.16 | 3463.02 | -7073.18 | 331807.07 | -1725.47 |
| 37 | COMB9 | Combination | 2670.09 | 321.00 | 2819.32 | -5026.55 | 419350.76 | -1373.84 |
| 37 | COMB10 | Combination | 2496.21 | 411.47 | 3532.26 | -5692.22 | 321326.47 | -1406.14 |
| 37 | COMB11 | Combination | 2082.51 | -867.84 | 1334.00 | 19147.63 | 348712.89 | 4731.79 |
| 38 | COMB1 | Combination | -2313.48 | 266.79 | 2637.35 | -3687.90 | -352826.07 | 909.58 |
| 38 | COMB2 | Combination | -3047.04 | 433.79 | 3664.55 | -6036.79 | -453779.90 | 1486.25 |
| 38 | COMB3 | Combination | 5938.05 | 4125.70 | -17677.05 | -54008.43 | 452732.43 | 13623.23 |
| 38 | COMB4 | Combination | -2287.96 | 135.97 | 1905.91 | -2841.05 | -403905.23 | 890.48 |
| 38 | COMB5 | Combination | -1405.57 | -96.18 | 1289.22 | 1065.53 | -189757.21 | 15.83 |
| 38 | COMB6 | Combination | -3217.11 | 264.09 | 3168.84 | -3684.51 | -546169.46 | 906.42 |
| 38 | COMB7 | Combination | -1114.92 | -2117.72 | -985.65 | 42924.85 | -244125.95 | -10601.66 |
| 38 | COMB8 | Combination | -2844.51 | 293.93 | 2859.16 | -4814.43 | -466850.81 | 1327.76 |
| 38 | COMB9 | Combination | -2182.72 | 119.81 | 2396.65 | -1884.49 | -306239.79 | 671.77 |
| 38 | COMB10 | Combination | -3376.32 | 352.44 | 3575.24 | -4918.52 | -550834.37 | 1209.97 |
| 38 | COMB11 | Combination | -2069.36 | -897.40 | 1274.55 | 19550.63 | -348759.27 | -4831.07 |
| 39 | COMB1 | Combination | 2316.66 | 94.80 | 2820.82 | -1900.27 | 349298.92 | -466.83 |

| | | | | | | | | |
|----|--------|-------------|-----------|-----------|----------|-----------|------------|------------|
| 39 | COMB2 | Combination | 3064.28 | 150.30 | 4023.95 | -3205.08 | 447977.23 | -790.16 |
| 39 | COMB3 | Combination | 13666.87 | -24523.60 | 25173.27 | 441366.65 | 1780057.66 | 109293.16 |
| 39 | COMB4 | Combination | 1722.05 | 145.17 | 2526.75 | -2938.68 | 220467.78 | -735.10 |
| 39 | COMB5 | Combination | 2110.14 | 124.32 | 1496.06 | -1629.85 | 342477.31 | -315.21 |
| 39 | COMB6 | Combination | 1959.49 | 78.68 | 3058.58 | -1592.88 | 231713.44 | -388.94 |
| 39 | COMB7 | Combination | 4866.48 | -2333.46 | 8071.29 | 43497.84 | 653598.92 | 10748.81 |
| 39 | COMB8 | Combination | 2431.42 | 174.21 | 3502.61 | -3657.68 | 326684.29 | -910.52 |
| 39 | COMB9 | Combination | 2722.49 | 158.57 | 2729.60 | -2676.06 | 418191.44 | -595.61 |
| 39 | COMB10 | Combination | 2441.28 | 111.85 | 3630.78 | -2354.75 | 312915.92 | -578.15 |
| 39 | COMB11 | Combination | 4047.82 | -1150.90 | 6208.96 | 21248.71 | 560862.53 | 5251.63 |
| 40 | COMB1 | Combination | -2353.27 | 70.66 | 2878.44 | -2344.88 | -355609.91 | 575.68 |
| 40 | COMB2 | Combination | -3133.49 | 101.72 | 4137.72 | -3645.38 | -459360.06 | 898.73 |
| 40 | COMB3 | Combination | -13704.90 | -24572.86 | 25226.64 | 435396.24 | -788739.83 | -107847.62 |
| 40 | COMB4 | Combination | -2681.83 | 176.90 | 2568.42 | -2653.01 | -441532.31 | 479.98 |
| 40 | COMB5 | Combination | -1346.18 | -23.33 | 2011.64 | 3762.38 | -181029.64 | -1306.33 |
| 40 | COMB6 | Combination | -3249.90 | 85.49 | 3394.93 | -2581.93 | -547108.17 | 635.60 |
| 40 | COMB7 | Combination | -4897.21 | -2354.82 | 8114.49 | 42204.53 | -659556.78 | -10434.38 |
| 40 | COMB8 | Combination | -3184.86 | 173.63 | 3590.38 | -3551.35 | -497864.33 | 746.19 |
| 40 | COMB9 | Combination | -2183.13 | 23.46 | 3172.80 | 1260.19 | -302487.32 | -593.54 |
| 40 | COMB10 | Combination | -3435.36 | 98.08 | 3926.93 | -3205.43 | -553702.44 | 790.22 |
| 40 | COMB11 | Combination | -4098.46 | -1186.41 | 6288.49 | 20360.80 | -569650.84 | -5035.00 |

7. ACABADO SUPERFICIAL Y COBERTURA

7.1 PROCESO DE LIMPIEZA DEL MATERIAL

Un procedimiento general de limpieza de superficies metálicas es el arenado, que consiste en dirigir un chorro de material abrasivo como arena, escoria de cobre o granalla de acero hacia la pieza que se quiere limpiar. Este chorro, además de limpiar la superficie produce una rugosidad que ayuda al anclaje del revestimiento con que se cubrirá la superficie.

Se deben tener condiciones climáticas apropiadas para efectuar una buena limpieza por arenado y que esta superficie se mantenga óptima para recibir el revestimiento, por lo que se debe controlar la humedad relativa y la temperatura ambiental. En realidad, lo que se controla es el momento en que vamos a arenar. Aún cuando tengamos tres turnos de fabricación o montaje, el proceso de arenado no se debe realizar de noche, que es cuando baja la temperatura y la humedad aumenta. El material abrasivo tiene que estar seco y sin impureza como contaminantes orgánicos y sales. En el caso de utilizar arena, ésta debe ser arena lavada de río o de cantera. Después del arenado, la superficie debe ser limpiada de impurezas antes de aplicar la primera capa de pintura. Los equipos que se requieren para el proceso del arenado, son los siguientes:

Botella o tanque de Arenar. Que es un tanque de presión, debidamente probado, en donde se coloca la arena y luego se cierra herméticamente, este tanque tiene como partes principales:

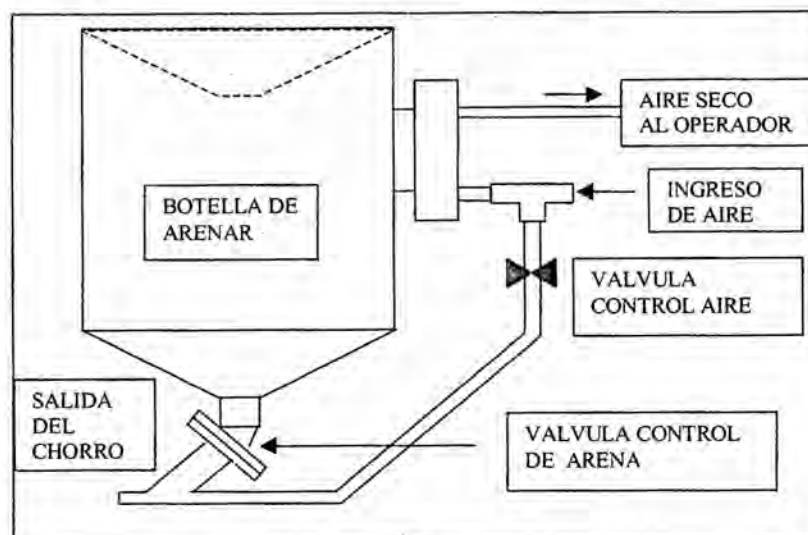


Figura 36

El material abrasivo es impulsado por un flujo a presión de aire cuyos valores se presentan en la tabla 22.

Tabla 22

| Diam. Boquilla (in) | Consumo de Arena por hora y Caudal en pies cúbicos por minuto Requerimientos | Presión en la salida de la boquilla (psi) | | | | | |
|---------------------------|---|---|---------|---------|---------|---------|---------|
| | | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 |
| 1/8" | Aire (c.f.m) | 11.30 | 13.20 | 15.10 | 17.00 | 18.50 | 20.30 |
| | Arena (lb/hr) | 67.00 | 77.00 | 88.00 | 101.00 | 112.00 | 123.00 |
| | Potencia (HP) | 2.50 | 3.00 | 3.50 | 4.00 | 4.50 | 5.00 |
| 3/16" | Aire (c.f.m) | 26.00 | 30.00 | 33.00 | 38.00 | 41.00 | 45.00 |
| | Arena (lb/hr) | 150.00 | 171.00 | 196.00 | 216.00 | 238.00 | 264.00 |
| | Potencia (HP) | 6.00 | 7.00 | 7.50 | 8.50 | 9.50 | 10.00 |
| 1/4" | Aire (c.f.m) | 47.00 | 54.00 | 61.00 | 68.00 | 74.00 | 81.00 |
| | Arena (lb/hr) | 268.00 | 312.00 | 354.00 | 408.00 | 448.00 | 494.00 |
| | Potencia (HP) | 10.50 | 12.00 | 13.50 | 15.00 | 16.50 | 18.00 |
| 5/16" | Aire (c.f.m) | 77.00 | 89.00 | 101.00 | 113.00 | 126.00 | 137.00 |
| | Arena (lb/hr) | 468.00 | 534.00 | 604.00 | 672.00 | 740.00 | 812.00 |
| | Potencia (HP) | 17.50 | 20.00 | 22.50 | 25.50 | 28.00 | 30.50 |
| 3/8" | Aire (c.f.m) | 108.00 | 126.00 | 143.00 | 161.00 | 173.00 | 196.00 |
| | Arena (lb/hr) | 668.00 | 764.00 | 864.00 | 960.00 | 1052.00 | 1152.00 |
| | Potencia (HP) | 24.00 | 28.00 | 32.00 | 36.00 | 38.50 | 44.00 |
| 7/16" | Aire (c.f.m) | 147.00 | 170.00 | 194.00 | 217.00 | 240.00 | 254.00 |
| | Arena (lb/hr) | 896.00 | 1032.00 | 1176.00 | 1312.00 | 1448.00 | 1584.00 |
| | Potencia (HP) | 33.00 | 38.00 | 43.50 | 48.50 | 53.00 | 56.50 |
| 1/2" | Aire (c.f.m) | 195.00 | 224.00 | 252.00 | 280.00 | 309.00 | 338.00 |
| | Arena (lb/hr) | 1160.00 | 1336.00 | 1512.00 | 1680.00 | 1856.00 | 2024.00 |
| | Potencia (HP) | 43.50 | 50.00 | 56.00 | 62.50 | 69.00 | 75.00 |
| 5/8" | Aire (c.f.m) | 308.00 | 356.00 | 404.00 | 452.00 | 504.00 | 548.00 |
| | Arena (lb/hr) | 1875.00 | 2140.00 | 2422.00 | 2690.00 | 2973.00 | 3250.00 |
| | Potencia (HP) | 68.50 | 79.50 | 90.00 | 100.50 | 112.00 | 122.00 |
| 3/4" | Aire (c.f.m) | 432.00 | 504.00 | 572.00 | 644.00 | 692.00 | 784.00 |
| | Arena (lb/hr) | 2672.00 | 3056.00 | 3456.00 | 3840.00 | 4208.00 | 4608.00 |
| | Potencia (HP) | 96.00 | 112.00 | 127.00 | 143.00 | 154.00 | 174.50 |

Operador. El equipo del Operador es el siguiente:

- Escafandra de arenar con ingreso de aire, de preferencia con acople rápido
- Ropa de protección
- Tapón de Oídos

Compresora de Aire. Con dimensiones de acuerdo a las necesidades del proceso de arenado, como se observa en la tabla anterior el caudal necesario es proporcional al diámetro de la boquilla a utilizar. La compresora debe suministrar aire seco y sin contaminación de aceite.

Mangueras. De diámetro apropiado y no menor de 1 ¼" con refuerzos de lona. Las mangueras deben ser debidamente ensambladas utilizando abrazaderas y grapas de acople rápido.

Boquillas de arenar. También debe de estar de acuerdo a la granulometría del material abrasivo, al caudal que suministra la compresora y el rendimiento que se quiera alcanzar.

La cámara de arenado. Debe de ser preparada de tal manera que se evite que el material proveniente del proceso mismo salga al ambiente.

Si bien existen diversos institutos y centros que han establecido normas o especificaciones para la limpieza de acero, los más conocidos y difundidos y que además han sido homologados por ASTM e incluso ANSI son dos:

- Steel Structure Painting Council SSPC (USA).
- Swedish Standard Institute SIS O5 5900.

La identificación y clasificación de cada una de ellas y su equivalencia es la siguiente:

Tabla 12

| 7.2 DESCRIPCIÓN | SSPC | SIS 05 5900 |
|--|-------|-------------|
| Limpieza con solventes | SP 1 | --- |
| Limpieza manual | SP 2 | St 2 |
| Limpieza mecánica | SP 3 | St 3 |
| Limpieza con llama y cepillado | SP 4 | --- |
| Chorro abrasivo metal blanco | SP 5 | Sa 3 |
| Chorro abrasivo comercial | SP 6 | Sa 2 |
| Chorro abrasivo Brush Off | SP 7 | Sa 1 |
| Decapado | SP 8 | --- |
| Exposición ambiental y chorro abrasivo | SP 9 | --- |
| Chorro abrasivo metal casi blanco | SP 10 | Sa 2 ½ |
| Limpieza con herramientas neumáticas a metal desnudo | SP 11 | --- |

Brevemente definiremos cada una de ellas.

Limpieza con solventes SSPC-SP 1. Eliminar grasas, aceites, lubricantes de corte y toda otra presencia de material soluble de la superficie de acero utilizando para estos efectos algunos de los siguientes métodos: escobilla o trapos limpios embebidos en solventes, pulverización de solventes clorados, detergentes alcalinos, etc.

Esta limpieza se considera a todo tipo, ya no deben existir grasas o aceites sobre la superficie que se protegerá.

Limpieza manual SSPC-SP 2. Deberá eliminarse de la superficie de acero todo el óxido de la laminación y la herrumbre que se encuentre sin adherir, al igual que la pintura vieja que no se encuentre firmemente adherida. Finalmente se limpiará la superficie con aire limpio y seco o un cepillo limpio. La superficie debe adquirir un suave brillo metálico. La limpieza se efectuará con herramientas manuales en buen estado, tales como: lijas, cepillos de acero y otros.

Limpieza manual mecánica SSPC-SP 3. Consiste en un raspado, cepillado o esmerilado a máquina de una manera muy minuciosa. Se deberá eliminar todo el óxido de laminación, la

herrumbre y la pintura que no se encuentre bien adherida. Al término de la limpieza la superficie deberá presentarse rugosa y con un claro brillo metálico. En este tipo de limpieza debe cuidarse de no pulir la superficie metálica a fin de lograr una buena adherencia de las pinturas a la base.

Limpieza con llama SSPC-SP 4. Este método consiste en pasar una llama de oxiacetileno de alta temperatura y a alta velocidad sobre la superficie metálica, seguida de un cepillado enérgico con herramientas manuales o motrices para eliminar todo el óxido de laminación y herrumbre que se desprenda. Se entiende que toda la materia perjudicial será eliminada por este proceso, dejando una superficie limpia y seca lista para recibir la primera mano de pintura.

Chorro abrasivo metal blanco SSPC-SP 5. Limpieza que se logra haciendo impactar una partícula abrasiva sobre la superficie, que al chocar desprende las partículas extrañas a la base dejando una huella en la zona de impacto. El grado de metal blanco consiste en una limpieza de manera tal que la superficie se apreciará de un color gris blanco uniforme y metálico. La superficie mirada sin aumentos deberá estar libre de toda contaminación y apreciarse levemente rugosa para formar un perfil adecuado que permita un buen anclaje de los revestimientos.

Chorro abrasivo grado comercial SSPC-SP 6. Una superficie limpia con chorro abrasivo comercial se define como una de la cual se ha eliminado toda materia extraña, herrumbre, óxido de laminación y pinturas viejas. Es permisible que queden pequeñas sombras, rayas y decoloraciones superficiales causada por manchas de herrumbre o vestigios de óxido de laminación. Pueden quedar además en las superficies restos de pinturas viejas firmemente adheridas. La norma establece que por lo menos dos tercios de la superficie deberán estar libre de residuos y el resto sólo deberá presentar leves manchas, decoloraciones y restos de pintura antigua bien adherida.

Decapado SSPC-SP 8. La limpieza química o decapado es aquella por medio de la cual se remueve todo el óxido de la laminación y la herrumbre, por reacción química con un ácido o álcali.

Exposición ambiental y chorro abrasivo SSPC-SP 9. Este método ha sido eliminado de la normalización americana. Consiste en exponer el acero a la intemperie dejando que se comience a desprender la escama de laminación, incluso se recomienda mojar las estructuras con una solución de agua y sal común a fin de acelerar el proceso. Este método es seguido por un chorreado abrasivo posterior que según se indicaba era más fácil de realizar.

Chorro abrasivo grado metal casi blanco SSPC-SP 10. Se define como una limpieza en la cual se elimina toda suciedad, óxido de laminación, herrumbre, pintura y cualquier materia extraña de la superficie. Se permiten pequeñas decoloraciones o sombras causadas por manchas de corrosión, óxidos de laminación o pequeñas manchas de restos de pinturas viejas. Por lo menos un 95% de la superficie, deberá estar exenta de residuos a simple vista. El 5% restante podrá solamente mostrar sombras donde existieron los productos antes mencionados.

Limpieza con herramientas neumáticas a metal desnudo SSPC-SP 11. Consiste en la eliminación de pintura antigua, escamas de laminación, óxido mediante el uso de herramientas neumáticas de impacto, y que crea un perfil de rugosidad de 1 mil aproximadamente.

7.3 SISTEMA DE RECUBRIMIENTO DE PROTECCIÓN DEL MATERIAL

Después del arenado y de una forma inmediata se procede a hacer la aplicación de la pintura para lo cual es necesario que la superficie esté seca, sin impurezas y a una temperatura apropiada. Los procedimientos para aplicar la pintura son diversos de los que enumeraremos los siguientes:

- Procedimientos Manuales: Con Brocha, Con rodillo, con espátula.
- Procedimientos a Presión: Sistema convencional o soplete y Sistema airless.

El Sistema airless consiste en aplicar la pintura con un chorro pulverizado por el efecto de un pistón que aplica presión directa en la pintura a diferencia del procedimiento convencional donde la pintura es impulsada por un chorro de aire utilizando el fenómeno Venturi. Nosotros utilizamos el proceso de recubrimiento de pintura con el sistema convencional.

La pintura se aplicó por capas hasta poder alcanzar el espesor especificado. El fabricante de pintura entregó el procedimiento de preparación, aplicación, curado y manipulación de las pinturas.

El procedimiento fue el siguiente:

Preparación de superficie. Según especificación del proyecto.

- Arenado metal casi blanco. Equivalente al SSPC-SP 10.

Aplicación de pintura. El la especificación y el procedimiento recomendado consiste en la aplicación de tres capas de pintura a todas las estructuras.

- Primera capa. Aplicación de Pintura epóxi poliamida aplicar a un espesor de 3.5 mils.
- Segunda capa. Pintura epóxi poliamida aplicar a un espesor de 3.5 mils.
- Tercera capa. Pintura Poliuretano a un espesor seco de 2.0 mil.

Finalmente se obtuvo un espesor total de 9.0 mils.

7.4 SELECCIÓN DE LA COBERTURA DE TECHO TR-4 (PRECOR)

La selección de la cobertura se hizo tomando en cuenta algunos criterios:

- Brinde protección.
- Resistente a la corrosión.
- Liviana.
- Elegante.
- Económica.
- Fácil instalación.
- Fácil mantenimiento.
- Permita iluminación.
- Permita grandes distancias entre correas.

En general, todas las cubiertas brindan protección, algunas incluso protección adicional contra el calor, como las planchas con componentes de aluminio brillante que refleja la luz y asfalto que amortigua el ruido y reduce la corrosión. Hay otras planchas llamadas termoacústicas con aislante interior de poliuretano o lana de vidrio, ésta última realmente costosa. También las hay de asbesto, fibrocemento y están las planchas metálicas, de acero y aluminio. De todas las planchas la más livianas son las metálicas, también las más económicas. Al ser livianas son de fácil instalación. Respecto a la corrosión debemos decir que las planchas metálicas actuales llevan principalmente dos tipos de tratamiento, los que tienen recubrimiento galvanizado o con protección de Aluminio – Zinc (Aluzinc). Para el caso del recubrimiento Aluminio – Zinc, la lámina de acero base es revestido por ambas caras con una película de aleación Al-Zn (Norma ASTM A792).

Tabla 13

TABLA DE CARGAS (Kg/m²)

| Espesor | | Peso del Panel | P | | | | | | | | | | | |
|-------------|------|----------------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| s | mm | | L | | | | | | | | | | | |
| | | Kg / m ² | L (m) = | 1,00 | 1,25 | 1,50 | 1,75 | 2,00 | 2,25 | 2,50 | 2,75 | 3,00 | 3,25 | 3,50 |
| 0,35 - 0,40 | 3,35 | P (Kg / m ²) = | 256 | 189 | 117 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0,45 - 0,60 | 4,30 | P (Kg / m ²) = | 342 | 218 | 150 | 109 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0,65 - 0,60 | 5,25 | P (Kg / m ²) = | 419 | 266 | 183 | 133 | 104 | — | — | — | — | — | — | — |

| Espesor | | Peso del Panel | P | | | | | | | | | | | |
|-------------|------|----------------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| s | mm | | L | | | | | | | | | | | |
| | | Kg / m ² | L (m) = | 1,00 | 1,25 | 1,50 | 1,75 | 2,00 | 2,25 | 2,50 | 2,75 | 3,00 | 3,25 | 3,50 |
| 0,35 - 0,40 | 3,35 | P (Kg / m ²) = | 296 | 189 | 117 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0,45 - 0,60 | 4,30 | P (Kg / m ²) = | 342 | 218 | 150 | 109 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0,65 - 0,60 | 5,25 | P (Kg / m ²) = | 419 | 266 | 183 | 133 | 104 | — | — | — | — | — | — | — |

| Espesor | | Peso del Panel | P | | | | | | | | | | | |
|-------------|------|----------------------------|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| s | mm | | L | | | | | | | | | | | |
| | | Kg / m ² | L (m) = | 1,00 | 1,25 | 1,50 | 1,75 | 2,00 | 2,25 | 2,50 | 2,75 | 3,00 | 3,25 | 3,50 |
| 0,35 - 0,40 | 3,35 | P (Kg / m ²) = | 334 | 212 | 149 | 107 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0,45 - 0,60 | 4,30 | P (Kg / m ²) = | 429 | 279 | 183 | 137 | 104 | — | — | — | — | — | — | — |
| 0,65 - 0,60 | 5,25 | P (Kg / m ²) = | 525 | 334 | 230 | 168 | 127 | — | — | — | — | — | — | — |

- Nota: Aluzinc ASTM A792, AZ 150.
 - Las cargas se han calculado considerando que la sección es totalmente elástica y que la deflexión máxima por carga está en L/200.
 - La capacidad estructural, de acuerdo al tipo de curvatura que se emplee.
 - Largo del panel: Desde 1m hasta 5m.

TR-4 CURVO

DESCRIPCIÓN

Gama de paneles metálicos para coberturas y fachadas autoportantes, con radios de curvatura de acuerdo a los requerimientos del proyecto, otorgando un alto valor estético y un excelente comportamiento estructural para cubrir pequeñas y grandes luces. Ideal para edificaciones comerciales, industriales y de servicio.

CARACTERÍSTICAS

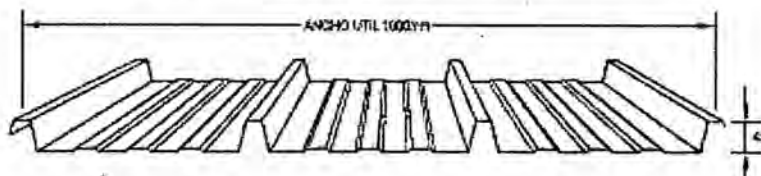
Material : Acero Zincaluz ASTM A792, AZ 150.
Espesor (e) : 0,35, 0,40, 0,50 y 0,60mm.
Radio de Curvatura : Desde 0,40m hasta 30m.

Acabado Cara Superior:

Pintura : Poliéster líquido de espesor 25 micras, sobre primer uretano.
Colores : Colores de línea: Blanco (RAL 9003), Azul (RAL 5007), Rojo (RAL 3020), Gris (RAL 7040) y Verde (RAL 6001). Además del color especial que requiera. Consulte por ellos.

Acabado Cara Inferior o Traacera:

Pintura : Base líquida de 10 micras.
Largo : Apedado, desde 1 m a 8m.



VENTAJAS

- Asesoría técnica especializada (desarrollo de planos de montaje, detalles y matrados).
- Capacidad para matizar con alta precisión cualquier color del código RAL debido al Centro de Matizado "in house" de última generación.
- Gran resistencia estructural.
- Coberturas y fachadas con el mismo panel.
- Permite cubrir grandes luces y ahorro en traclapes.
- Permite combinar planos lisos y curvos.
- Completa línea de accesorios, sellos y fijaciones.
- Fácil y rápido de instalar.

Figura 7.4.4.3.1 – Especificación Técnica del panel TR-4 (Fuente: Catalogo de Precor)

8. EVALUACIÓN TÉCNICO - ECONÓMICO

A continuación definiremos como modelo del presente informe la parte técnica y el análisis económico de la ejecución de la estructura metálica de primera estación BAYOVAR que fue construida.

8.1 TÉCNICO

En la parte técnica se han implementado los recursos de ingeniería, uso de equipos modernos, contar con profesionales con experiencia y personal obrero calificado en todos los procesos de trabajo.

- a. Aportar de la gran experiencia del Proyecto Metro de Lima, Línea 1, los conocimientos aprendidos desde la parte teórica y práctica y, optimizando costos y tiempos en todas las etapas del proyecto.
- b. Con la experiencia del primer tramo de la Línea 1, el equipo de especialistas del Consorcio Metro de Lima lleva a cabo sin contratiempos la ejecución de la estaciones con mejoras sustanciales en el diseño del proyecto.
- c. Se ha planificado la ejecución del proyecto desde la etapa de ingeniería de tal manera que los diferentes frentes de trabajo como viaductos, estructuras metálicas o trabajos de instalación, se puedan coordinar de una mejor manera sin que un frente estorbe al otro. Pensando en la constructibilidad se elaboraron los diseños de las estaciones, la estructura, los apoyos de las escaleras mecánicas, los andenes, etc. De este modo la ejecución es mucho más fluida. Esto tiene un impacto positivo en los plazos y evita retrabajos innecesarios".

De esta forma se lleva a cabo una de las obras de infraestructura más grandes y complejas que se hayan ejecutado en la capital.

Es el inicio de una red que promete el uso y la implementación de nuevas tecnologías y sistemas constructivos del primer mundo.

8.2 METRADO DE MATERIALES

A continuación se presenta el listado de materiales utilizados en la fabricación de las 10 estaciones correspondiente a la fabricación y montaje de las estructuras metálicas y la instalación de cobertura.

Para efectos de cálculo de costos de fabricación y montaje debemos considerar el peso del material procesado. De acuerdo a ello, y basándonos en la lista de materiales de los planos hallamos los siguientes pesos:

Tabla 14

| METRADO CUBIERTA DE ANDEN | | | | | | ESTACION BAYOVAR | | | |
|---------------------------|-----------------|---------|-------|--------|-------------------|------------------|-----------------|---------------------|-------------|
| ITEM | DESCRIPCION | | CANT. | PESO | AREA A PINTAR | PESO UNIT. | PESO TOTAL | AREA TOTAL A PINTAR | OBSERVACION |
| | | | | kg/m | m ² /r | kg | kg | m ² | |
| | PORTICOS | | | | | | 36492.74 | 988.29 | |
| | PS 356X200X8X10 | 24100.0 | 20.0 | 52.50 | 1.51 | 1265.3 | 25305.0 | 728.78 | |
| | PS 356X200X8X10 | 24100.0 | 2.0 | 52.50 | 1.51 | 1265.3 | 2530.5 | 72.78 | |
| | W4X13 | 120.0 | 40.0 | 19.37 | 0.60 | 2.3 | 93.0 | 2.88 | |
| PL | 19 | 250.0 | 356.0 | 108.0 | 0.18 | 13.3 | 1433.6 | 19.22 | |
| PL | 19 | 346.0 | 338.0 | 16.0 | 0.23 | 17.4 | 279.1 | 3.74 | |
| PL | 19 | 200.0 | 356.0 | 16.0 | 0.14 | 10.6 | 169.9 | 2.28 | |
| PL | 25 | 225.0 | 578.0 | 40.0 | 0.26 | 25.5 | 1020.9 | 10.40 | |
| PL | 16 | 120.0 | 356.0 | 528.0 | 0.09 | 5.4 | 2833.1 | 45.11 | |
| PL | 6 | 96.0 | 336.0 | 1056.0 | 0.06 | 1.5 | 1604.3 | 68.12 | |
| PL | 8 | 55.0 | 100.0 | 2112.0 | 0.01 | 0.3 | 729.5 | 23.23 | |
| PL | 19 | 370.0 | 370.0 | 10.0 | 0.27 | 20.4 | 204.2 | 2.74 | |
| PL | 8 | 96.0 | 250.0 | 176.0 | 0.05 | 1.5 | 265.3 | 8.45 | |
| SPT | TUBO 150X150X6 | 150.0 | 6.0 | 27.13 | 0.60 | 4.1 | 24.4 | 0.54 | |
| | VIGAS | | | | | | 30977.66 | 1050.29 | |
| | W8X15LB/PIE | 3653.0 | 12.0 | 22.35 | 0.82 | 81.6 | 979.7 | 35.95 | |
| | W8X15LB/PIE | 5050.0 | 6.0 | 22.35 | 0.82 | 112.9 | 677.2 | 24.85 | |
| | W8X15LB/PIE | 4783.0 | 36.0 | 22.35 | 0.82 | 106.9 | 3848.4 | 141.19 | |
| | W8X15LB/PIE | 5750.0 | 96.0 | 22.35 | 0.82 | 128.5 | 12337.2 | 452.64 | |
| | W8X15LB/PIE | 6550.0 | 32.0 | 22.35 | 0.82 | 146.4 | 4684.6 | 171.87 | |
| | W8X15LB/PIE | 4550.0 | 36.0 | 22.35 | 0.82 | 101.7 | 3660.9 | 134.32 | |
| | W8X15LB/PIE | 5400.0 | 12.0 | 22.35 | 0.82 | 120.7 | 1448.3 | 53.14 | |
| PL | 16 | 120.0 | 206.0 | 480.0 | 0.05 | 3.1 | 1490.3 | 23.73 | |
| PL | 9 | 213.0 | 592.0 | 50.0 | 0.25 | 8.9 | 445.4 | 12.61 | |
| PL | 12 | 231.0 | 481.0 | 62.0 | 0.22 | 10.5 | 648.9 | 13.78 | |
| PL | 9 | 250.0 | 210.0 | 204.0 | 0.11 | 3.7 | 756.7 | 21.42 | |

| | | | | | | | | | |
|--------------------------|--|---------|-------|-------|------|--------|-----------------|---------------|-------|
| | VIGA SOPORTE | | | | | | 12884.47 | 283.34 | |
| | W12X65LB/PIE | 13000.0 | 4.0 | 96.85 | 1.81 | 1259.1 | 5036.2 | 94.33 | |
| | W12X65LB/PIE | 5500.0 | 2.0 | 96.85 | 1.81 | 532.7 | 1065.4 | 19.95 | |
| | W12X65LB/PIE | 4250.0 | 2.0 | 96.85 | 1.81 | 411.6 | 823.2 | 15.42 | |
| | PS 356X200X8X10 | 13000 | 4.0 | 52.50 | 1.51 | 682.5 | 2730.0 | 78.52 | |
| | PS 356X200X8X10 | 5500 | 2.0 | 52.50 | 1.51 | 288.8 | 577.5 | 16.61 | |
| | PS 356X200X8X10 | 4250 | 2.0 | 52.50 | 1.51 | 223.1 | 446.3 | 12.84 | |
| | L4"X4"X1/4" | 64700.0 | 1.0 | 9.83 | 0.40 | 636.3 | 636.3 | 25.88 | |
| PL | 19 | 305.0 | 507.0 | 64.0 | | 0.31 | 23.1 | 1476.1 | 19.79 |
| PL | 9 | 150.0 | 276.0 | 32.0 | | 0.08 | 2.9 | 93.6 | 2.65 |
| | VIGAS (CONECTORES) | | | | | | 5302.61 | 218.74 | |
| | C6X8.2 | 19000.0 | 22.0 | 12.22 | 0.50 | 232.1 | 5107.1 | 210.67 | |
| | C6X8.2 | 8000.0 | 2.0 | 12.22 | 0.50 | 97.7 | 195.5 | 8.06 | |
| | ARRIOSTRES | | | | | | 9856.99 | 244.16 | |
| | TUBO Ø3"SCH40 | 3000.0 | 128.0 | 11.30 | 0.28 | 33.9 | 4339.2 | 108.67 | |
| | TUBO Ø3"SCH40 | 2550.0 | 60.0 | 11.30 | 0.28 | 28.8 | 1728.9 | 43.30 | |
| | TUBO Ø3"SCH40 | 42000.0 | 1.0 | 11.30 | 0.28 | 474.6 | 474.6 | 11.89 | |
| | TUBO Ø4"SCH40 | 3200.0 | 32.0 | 16.08 | 0.36 | 51.4 | 1646.3 | 36.86 | |
| PL | 9 | 120.0 | 215.0 | 480.0 | | 0.05 | 1.8 | 874.9 | 24.77 |
| PL | 16 | 140.0 | 240.0 | 128.0 | | 0.07 | 4.2 | 540.2 | 8.60 |
| PL | 6.4 | 110.0 | 110.0 | 416.0 | | 0.02 | 0.6 | 252.9 | 10.07 |
| | PERNOS DE ANCLAJE | | | | | | 701.0 | 0.00 | |
| | BARRA Ø25 | 550.0 | 320.0 | 3.98 | 0.00 | 2.2 | 701.0 | 0.00 | |
| | PERNOS DE CONEXIÓN A325 | | | | | | 1550.0 | 0.00 | |
| | PESO PROYECTADO (PERNOS Ø1", 3/4", 5/8") | | | | | | 1550.0 | 0.00 | |
| PESO Y AREA TOTAL | | | | | | | 97765.4 | 2784.8 | |

El metrado del peso total corresponde a la estación BAYOVAR obtenido 97,8 Ton.

8.3 ANALISIS ECONÓMICO

8.3.1 ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Los análisis de precios unitarios considerados son los siguientes:

- Suministro y Fabricación en Taller
- Granallado y Pintura en Taller
- Transporte a Obra
- Resane de Pintura en Obra
- Montaje de Estructura en Obra
- Instalación de Cobertura de Techo

| ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS | | | | | | | | | |
|--|--|-------|----------|----------------|-----------------|-----------|-------------------|--------------|--|
| Obra | Estaciones de Pasajeros del Tramo 2, Línea 1 Metro de Lima | | | | | | Fecha | 23-oct-13 | |
| Cliente | Ministerio de Transporte y Comunicaciones | | | | | | CTE/E | JAH | |
| Hecho por | Joel Leonrado Alvarez Hinostraza | | | | | | | | |
| ACTIVIDAD: SUMINISTRO Y FABRICACION EN TALLER | | | | | | | | | |
| Item | Descripcion | Und | Cant. | Area T. | PESO T. | P.U.US\$ | PARCIAL | \$/kg | |
| A | MATERIALES | | | | | | | | |
| 01 | Acero | kg | 95509.00 | 3000.00 | 95509.00 | 1.200 | 114610.800 | | |
| 02 | Pernos estructurales c/t A-325 | kg | 1550.00 | | 1550.00 | 3.500 | 5425.000 | | |
| 03 | Pernos de anclajes c/t A-193 B7 | kg | 701.00 | | 701.00 | 3.500 | 2453.500 | | |
| 04 | Desperdicio | kg | 4775.45 | | 0.00 | 1.200 | 5730.540 | | |
| 05 | | | | | | | | | |
| | | | | 3000.00 | 97760.00 | | 128219.840 | 1.311 | |
| | CONSUMIBLES | | | | | | | | |
| 01 | Disco de desbaste | pza | 279.31 | | | 2.460 | 687.113 | | |
| 02 | Oxigeno | m3 | 543.11 | | | 3.000 | 1629.333 | | |
| 03 | Gas propano | kg | 543.11 | | | 1.500 | 814.667 | | |
| 04 | Soldadura | kg | 3666.00 | | | 2.970 | 10888.020 | | |
| 05 | Tintes Penetrantes | pza | 20.00 | | | 150.000 | 3000.000 | | |
| 06 | Placas radiográficas | placa | 488.80 | | | 12.000 | 5865.600 | | |
| | | | | | | | 22884.733 | 0.234 | |
| B | MANO DE OBRA | | | | | | | | |
| | Habilitado y fabricación | | | | | | | | |
| 01 | Capataz | hH | 111.58 | | | 9.19 | 1025.442 | | |
| 02 | Operario | hH | 2231.65 | | | 6.08 | 13568.410 | | |
| 03 | Oficial | hH | 2231.65 | | | 5.17 | 11537.612 | | |
| 04 | Peón | hH | 2231.65 | | | 4.20 | 9372.915 | | |
| | | | | | | | 35504.378 | 0.363 | |
| C | EQUIPOS | | | | | | | | |
| | Material a cortar | kg | 95509.00 | | | | | | |
| | Material a plegar | kg | 0.00 | | | | | | |
| | Material a rolar | kg | 4775.45 | | | | | | |
| 01 | Equipos y herramientas | %-mo | 0.05 | | | 35504.378 | 1775.219 | | |
| 02 | Montacarga de 2.5 tm | h-m | 223.16 | | | 35.000 | 7810.762 | | |
| 03 | Maquina de soldar | h-m | 1115.82 | | | 2.500 | 2789.558 | | |
| 04 | Equipo de oxicorte | h-m | 1115.82 | | | 1.500 | 1673.735 | | |
| 05 | CNC corte y perforado | h-m | 477.55 | | | 16.000 | 7640.720 | | |
| 06 | Plegadora | h-m | 0.00 | | | 2.500 | 0.000 | | |
| 07 | Roladora | h-m | 48.00 | | | 10.500 | 504.000 | | |
| | | | | | | | 22193.994 | 0.227 | |
| TOTAL COSTO DIRECTO | | | | | | | 208802.945 | 2.135 | |

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Obra Estaciones de Pasajeros del Tramo 2, Línea 1 Metro de Lima
 Cliente Ministerio de Transporte y Comunicaciones
 Hecho por Joel Leonrado Alvarez Hinostraza

Fecha 23-oct-13
 CTE/E JAH

ACTIVIDAD: GRANALLADO Y PINTURA EN TALLER

| Item | Descripción | Und | Cant. | esp.mils | area | P.U.US\$ | PARCIAL | \$/m2 | |
|----------------------------|------------------------------|------|---------|----------|---------|-----------|------------------|---------------|--|
| A | MATERIALES | | | | | | | | |
| | Base | | | | | | | | |
| | Número de manos | 1 | | | | | | | |
| 01 | Jet Pox 2000 Blanco 1700 | gl | 167.00 | 3.50 | 3500.00 | 41.000 | 6,847.00 | | |
| 02 | Diluyente Unipoxi | gl | 27.00 | | | 14.200 | 383.40 | | |
| | Intermedio | | | | | | | | |
| | Número de manos | 1 | | | | | | | |
| 03 | Jet Pox 2000 Gris Ral 7035 | gl | 167.00 | 3.50 | 3500.00 | 41.000 | 6,847.00 | | |
| 04 | Diluyente Unipoxi | gl | 27.00 | | | 14.200 | 383.40 | | |
| | Acabado | | | | | | | | |
| | Número de manos | 1 | | | | | | | |
| 05 | Jethane 650 HS GRIS RAL 7040 | gl | 123.00 | 2.00 | 3500.00 | 55.200 | 6,789.60 | | |
| 06 | Diluyente Unipol | gl | 22.00 | | | 19.700 | 433.40 | | |
| | Consumibles | | | | | | | | |
| 07 | Thiner | gl | 13.50 | | | 6.500 | 87.75 | | |
| 08 | Waype | kg | 100.00 | | | 3.500 | 350.00 | | |
| 09 | Granalla | m3 | 140.00 | | | 39.000 | 5,460.00 | | |
| | | | | 3500.00 | | | 27,581.55 | 7.880 | |
| B | MANO DE OBRA | | | | | | | | |
| | Granallado | | | | | | | | |
| 01 | Capataz | hH | 125.00 | | | 6.100 | 762.50 | | |
| 03 | Oficial | hH | 300.00 | | | 4.420 | 1,326.00 | | |
| 04 | Peón | hH | 300.00 | | | 3.960 | 1,188.00 | | |
| | Pintura | | | | | | | | |
| 03 | Capataz | hH | 111.58 | | | 4.270 | 476.46 | | |
| 04 | Operario | hH | 2231.65 | | | 3.430 | 7,654.55 | | |
| | | | | 3500.00 | | | 11,407.504 | 3.259 | |
| C | EQUIPOS | | | | | | | | |
| 01 | Herramientas manuales | %-mo | 0.05 | | | 11407.504 | 570.38 | | |
| 02 | Montacarga | h-m | 180.00 | | | 25.000 | 4,500.00 | | |
| 03 | Equipo de pintura | h-m | 960.00 | | | 12.000 | 11,520.00 | | |
| 04 | Camara de granallado | h-m | 240.00 | | | 25.000 | 6,000.00 | | |
| | | | | | | | 22,590.38 | 6.454 | |
| TOTAL COSTO DIRECTO | | | | | | | 61,579.43 | 17.593 | |

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Obra Estaciones de Pasajeros del Tramo 2, Línea 1 Metro de Lima
Cliente Ministerio de Transporte y Comunicaciones
Hecho por Joel Leonrado Alvarez Hinostroza

Fecha 02-oct-13
CTE/E JAH

ACTIVIDAD: TRANSPORTE A OBRA

| Item | Descripcion | Und | Cant. | Area T. | PESO T. | P.U.US\$ | PARCIAL | \$/kg |
|----------------------------|-----------------------------|------|----------|---------|---------|----------|------------------|--------------|
| A | MATERIALES | | | | | | | |
| 01 | Acero | kg | 95291.30 | | | 0.000 | 0.00 | |
| 02 | Madera tornillo | P2 | 400.00 | | | 1.200 | 480.00 | |
| | | | | | | | 480.00 | 0.005 |
| B | MANO DE OBRA | | | | | | | |
| | Carguío y descarguío | | | | | | | |
| 01 | Capataz | hH | 120.00 | | | 6.100 | 732.00 | |
| 02 | Oficial | hH | 240.00 | | | 4.420 | 1,060.80 | |
| 03 | Peón | hH | 240.00 | | | 3.960 | 950.40 | |
| | | | | | | | 2,743.20 | 0.028 |
| C | EQUIPOS | | | | | | | |
| | Equipos y herramientas | %-mo | 0.05 | | | 2743.200 | 137.16 | |
| | Plataforma de 30 Ton | und | 20.00 | | | 428.571 | 8,571.43 | |
| | Montacarga | h-m | 40.00 | | | 35.000 | 1,400.00 | |
| | | | | | | | 10,108.59 | 0.106 |
| TOTAL COSTO DIRECTO | | | | | | | 13,331.79 | 0.139 |

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Obra Estaciones de Pasajeros del Tramo 2, Línea 1 Metro de Lima
Cliente Ministerio de Transporte y Comunicaciones
Hecho por Joel Leonrado Alvarez Hinostraza

Fecha 02-oct-13
CTE/E JAH

ACTIVIDAD: MONTAJE DE ESTRUCTURA EN OBRA

| Item | Descripción | Und | Cant. | Area T. | Peso T. | P.U.US\$ | PARCIAL | \$/kg |
|----------------------------------|----------------------------|------|---------|---------|----------|-----------|-------------------|--------------|
| A | MATERIALES | | | | | | | |
| 01 | Acero | kg | | 3000.00 | 95291.30 | | | |
| | CONSUMIBLES | | | | | | | |
| 01 | Disco de desbaste | pza | 0.00 | | | 2.460 | 0.00 | |
| 02 | oxigeno | m3 | 0.00 | | | 3.000 | 0.00 | |
| 03 | gas propano | kg | 0.00 | | | 1.500 | 0.00 | |
| 04 | soldadura E-6011 | kg | 0.00 | | | 2.000 | 0.00 | |
| | | | | | | | 0.00 | 0.000 |
| B | MANO DE OBRA | | | | | | | |
| | Personal de Montaje | | | | | | | |
| 01 | Capataz | hH | 480.00 | | | 9.190 | 4411.200 | |
| 02 | Operario | hH | 4800.00 | | | 6.080 | 29184.000 | |
| 03 | Oficial | hH | 2880.00 | | | 5.170 | 14889.600 | |
| 04 | Peón | hH | 3840.00 | | | 4.200 | 16128.000 | |
| 05 | Rigger | hH | 1920.00 | | | 6.080 | 11673.600 | |
| | | | | | | | 0.00 | |
| | | | | | | | 76,286.40 | 0.800 |
| C | EQUIPOS | | | | | | | |
| 01 | Equipos y herramientas | %-mo | 0.05 | | | 76286.400 | 3,814.32 | |
| 02 | Grua 60 tm | h-m | 960.00 | | | 105.000 | 100,800.00 | |
| | Camion grúa de 16 tm | h-m | 60.00 | | | 67.000 | 4,020.00 | |
| 03 | Manlift | h-m | 720.00 | | | 30.150 | 21,708.00 | |
| 04 | Telehandler | h-m | 120.00 | | | 36.940 | 4,432.80 | |
| | Torre de iluminación | h-m | 240.00 | | | 11.590 | 2,781.60 | |
| 05 | Plataforma tijera | h-m | 120.00 | | | 12.500 | 1,500.00 | |
| 06 | Maquina de soldar | h-m | 0.00 | | | 1.000 | 0.00 | |
| 07 | Grupo generador-80---90-KW | h-m | 240.00 | | | 20.000 | 4,800.00 | |
| 08 | Equipo de oxicorte | h-m | 0.00 | | | 0.760 | 0.00 | |
| | | | | | | | 143,856.72 | 1.509 |
| TOTAL COSTO DIRECTO \$/kg | | | | | | | 220,143.12 | 2.309 |

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

Obra Estaciones de Pasajeros del Tramo 2, Línea 1 Metro de Lima

Cliente Ministerio de Transporte y Comunicaciones

Fecha 03-oct-13

Hecho por Joel Leonrado Alvarez Hinostriza

CTE/E JAH

ACTIVIDAD: SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE COBERTURA DE TECHO

| ITEM | DESCRIPCION | UNIDAD | METRADO | P.U. US\$ | PARCIAL | \$/m2 |
|----------------------------|------------------------------------|--------|----------|-----------|------------------|---------------|
| 1.0 | Suministro | | | | | |
| 1.1 | Perfil TR-4 Curvo prepintado 0.6mm | m2 | 2,599.54 | 12.51 | 32,520.24 | |
| 1.2 | Tornillo #10 x 3/4" (p.broca) | cnto | 8.00 | 9.50 | 76.00 | |
| 1.3 | Tornillo #8 x 3/4" (p.fina) | cnto | 52.00 | 3.50 | 182.00 | |
| 1.4 | Tornillo #12 x 5" (p.broca) | cnto | 70.00 | 19.20 | 1,344.00 | |
| 1.5 | Remache Pop 5/32 | pza | 2,600.00 | 0.03 | 78.00 | |
| 1.6 | Canaleta prepintada 0.5mm | m | 252.00 | 5.98 | 1,506.96 | |
| 1.7 | Remate prepintada 0.5mm | m | 279.00 | 3.30 | 920.70 | |
| 1.8 | Cenefa prepintada 0.5mm | m | 255.00 | 4.50 | 1,147.50 | |
| 1.9 | Cinta Butil 3/8"x14m | rl | 250.00 | 2.23 | 557.50 | |
| | | | | | 38,332.90 | 14.746 |
| 2.0 | Instalación | | | | | |
| 2.1 | Cobertura | m2 | 2,599.54 | 2.50 | 6,498.85 | |
| 2.2 | Canaleta | m | 252.00 | 4.50 | 1,134.00 | |
| 2.3 | Remate prepintada 0.5mm | m | 279.00 | 2.50 | 697.50 | |
| 2.4 | Cenefa prepintada 0.5mm | m | 255.00 | 2.50 | 637.50 | |
| | | | | | 8,967.85 | 3.449 |
| 3.0 | Equipos | | | | | |
| 3.1 | Manlíft | h-m | 200.00 | 30.15 | 6,030.00 | |
| 3.2 | Telehandlesr | h-m | 200.00 | 36.94 | 7,388.00 | |
| 3.3 | Andamio metálico | glb | | | | |
| | | | | | 13,418.00 | 5.161 |
| TOTAL COSTO DIRECTO | | | | | 47,300.75 | 23.356 |

8.3.2 RESUMEN DE COSTOS DIRECTOS

| CUADRO DE PRECIOS UNITARIOS (COSTO DIRECTO) | | | | | | |
|---|--|--------|-----------|-----------|-------------------|-----------|
| Obra | Estaciones de Pasajeros del Tramo 2, Línea 1 Metro de Lima | | | | Fecha | 29-oct-13 |
| Cliente | Ministerio de Transporte y Comunicaciones | | | | CTE/E | JAH |
| Hecho por | Joel Leonrado Alvarez Hinostriza | | | | | |
| ITEM | DESCRIPCION | UNIDAD | METRADO | P.U. US\$ | PARCIAL | |
| 1.0 | Suministro de materiales y fabricación en taller | kg | 97,760.00 | 2.135 | 208,717.60 | |
| 2.0 | Granallado y pintura en taller | m2 | 3,000.00 | 17.593 | 52,779.00 | |
| 3.0 | Transporte a obra | kg | 97,760.00 | 0.138 | 13,490.88 | |
| 4.0 | Pintura en obra (fesane) | m2 | 175.00 | 89.455 | 15,654.62 | |
| 5.0 | Montaje en obra | kg | 97,760.00 | 2.304 | 225,239.04 | |
| 6.0 | Suministro e instalación de cobertura | m2 | 2,599.54 | 23.356 | 60,714.85 | |
| TOTAL COSTO DIRECTO EN US\$ | | | | | 576,595.99 | |

8.3.3 RESUMEN DE METRADO DE ESTRUCTURA METALICA DE LAS 10 ESTACIONES

En el cuadro se muestra los metrados de las estructuras metálicas que fueron fabricadas y montadas en el proyecto.

| METRADO DE ESTRUCTURA METALICA DE CUBIERTA DE ANDEN | | |
|--|-----------------------------------|----------------------|
| ITEM | ESTACIONES | PESO CTE (kg) |
| 1.- | ESTACION BAYOVAR | 97,712.90 |
| | 1.-ESTRUCTURA METALICA | 95,885.10 |
| | 2.-PERNO DE CONEXIÓN | 1,015 |
| | 3.-PERNO DE ANCLAJE | 812.8 |
| 2.- | ESTACION SANTA ROSA | 99,305.60 |
| | 1.-ESTRUCTURA METALICA | 97,440.80 |
| | 2.-PERNO DE CONEXIÓN | 1,052 |
| | 3.-PERNO DE ANCLAJE | 812.8 |
| 3.- | ESTACION SAN MATIN | 98,068.70 |
| | 1.-ESTRUCTURA METALICA | 96,228.90 |
| | 2.-PERNO DE CONEXIÓN | 1,027 |
| | 3.-PERNO DE ANCLAJE | 812.8 |
| 4.- | ESTACION SAN CARLOS | 103,468.75 |
| | 1.-ESTRUCTURA METALICA | 101,536.50 |
| | 2.-PERNO DE CONEXIÓN | 1,027 |
| | 3.-PERNO DE ANCLAJE | 905.248 |
| 5.- | ESTACION LOS POSTES | 105,912.15 |
| | 1.-ESTRUCTURA METALICA | 103,974.90 |
| | 2.-PERNO DE CONEXIÓN | 1,032 |
| | 3.-PERNO DE ANCLAJE | 905.248 |
| 6.- | ESTACION LOS JARDINES | 99,819.34 |
| | 1.-ESTRUCTURA METALICA | 97,780.10 |
| | 2.-PERNO DE CONEXIÓN | 1,113 |
| | 3.-PERNO DE ANCLAJE | 926.24 |
| 7.- | ESTACION PIRAMIDES DEL SOL | 99,220.20 |
| | 1.-ESTRUCTURA METALICA | 97,258.40 |
| | 2.-PERNO DE CONEXIÓN | 1,149 |
| | 3.-PERNO DE ANCLAJE | 812.8 |
| 8.- | ESTACION CAJA DE AGUA | 99,485.50 |
| | 1.-ESTRUCTURA METALICA | 97,491.70 |
| | 2.-PERNO DE CONEXIÓN | 1,181 |
| | 3.-PERNO DE ANCLAJE | 812.8 |
| 9.- | ESTACION MARTIENTE | 106,983.36 |
| | 1.-ESTRUCTURA METALICA | 104,962.20 |
| | 2.-PERNO DE CONEXIÓN | 1,249 |
| | 3.-PERNO DE ANCLAJE | 772.16 |
| 10.- | ESTACION EL ANGEL | 102,918.08 |
| | 1.-ESTRUCTURA METALICA | 100,766.90 |
| | 2.-PERNO DE CONEXIÓN | 1,215.12 |
| | 3.-PERNO DE ANCLAJE | 936.06 |
| | TOTAL DE METRADO (Kg) | 1,012,894.58 |

9. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES & BUENAS PRACTICAS

Al llegar al final de este informe queremos compartir algunas apreciaciones que consideramos rescatable exponer:

9.1 CONCLUSIONES

- a) Del diseño optimizado ejecutado se ha obtenido un ahorro considerable en costo de suministro de material de acero, tiempos de fabricación en taller y montaje en obra. Haciendo un comparativo el tipo de diseño de la Estación Grau del tramo anterior respecto al nuevo diseño; la diferencia en peso de acero es $144.8 \text{ Ton} - 97.8 \text{ Ton} = 47.0 \text{ Ton}$ de ahorro por cada estación, y si esto lo multiplicamos por las 10 estaciones, el Peso Total Optimizado en acero es 470.0 Ton.
- b) En las especificaciones técnicas del proyecto y memoria de cálculo, Resulto favorable especificar tipo de material y perfiles que se comercializa en nuestro país, así como las planchas y vigas W en acero de calidad ASTM A36. La diferencia se basa que en el diseño anterior las vigas longitudinales fueron tubos cuadrados y en este segundo tramo en el diseño se optó por vigas laminadas tipo "W" que presentan mejor propiedades de resistencia mecánica a la flexión.
- c) En base a la experiencia obtenida del tramo anterior, se desarrolla el diseño de la estructura con la ayuda del Software de análisis estructural (Sap 2000), para la selección de los perfiles laminados y optimizar los detalles de conexión y por ende tener una estructura eficiente en costo de materiales y acortar los plazos de ejecución.
- d) La finalidad de este informe es dar a conocer los conocimientos técnicos y beneficios obtenidos en las experiencias adquiridas en todos los procesos de diseño, fabricación y montaje.
- e) Con las lluvias de ideas incorporadas en el desarrollo de la ingeniería del Tramo 2, fue posible reducir el plazos de fabricación y montaje en todas las estaciones de pasajeros, que conllevo a tener un ahorro de tiempo y costo considerable de las 10 estaciones, éste ahorro en tiempo optimizado viabilizara la culminación total del sistema y el funcionamiento de la construcción.

9.2 RECOMENDACIONES

- a. En lo académico, considero necesario que en la Facultad de Mecánica se evalué la formación académica incorporando un curso o una especialización en el rubro de Estructura Metálica, con las aplicaciones prácticas en el diseño y cálculo e interpretación de Reglamentos, Normas la que gobiernan en la Edificación y Puentes de construcciones en acero.
- b. Toda experiencia adquirida se reaprovecha y el conocimiento se transmite para aportar ideas y criterios técnicos para el desarrollo de otros proyectos de ingeniería. Espero que este informe sea de utilidad para los alumnos y profesionales que les facilite la aplicación de herramientas de informática y bibliografía para que investiguen en el rubro de estructuras metálicas.
- c. Con una planificación anticipada es posible prever la solución para cualquier problema de ingeniería en la etapa de construcción, es posible traer el futuro al presente, es estar "un paso adelante" para la conseguir las metas.
- d. Los diseñadores deben familiarizarse con las tolerancias admitidas por las especificaciones y Reglamentos que cubren cada trabajo. Si requieren tolerancias más estrictas, se recomienda especificarlas en los planos de diseño y deben estar preparados para afrontar posibles sobrecostos de fabricación y montaje.

9.3 BUENAS PRACTICAS

- a. Con respecto a las "Tolerancias de Montaje", las variaciones admisibles con respecto a las dimensiones teóricas de un estructura montada están especificadas en el **"Code of Standard Practice for Steel Buildings and Bridges"** del AISC, el cual establece que la variaciones están dentro de los límites de la buena práctica o tolerancia de montaje cuando no sobrepasen el efecto acumulativo de las tolerancias admisibles de laminación, fabricación y montaje.
- b. Gracias finalmente por la oportunidad de poder presentar este informe, fruto de nuestra experiencia personal y profesional.
- c. Todas las experiencias son valiosas, pero adquieren mayor valor si son compartidas con nuestros compañeros, seamos generosos y busquemos el crecimiento común, evitando caer en la trampa del éxito.

10. BIBLIOGRAFIA

Estas son las referencias bibliográficas:

- [1] Norma Técnica de Edificación E.020. Cargas. Reglamento Nacional de Construcciones. 1985
- [2] Norma Técnica de Edificación E.030. Diseño Sismorresistente. Reglamento Nacional de Construcciones. 1997
- [3] Manual de Diseño de Estructuras Metálicas Tomo I, II & III (1998). Roger L. Brockenbrough / Frederick S. Merritt
- [4] Manual de Estructura de Acero Comportamiento y LRFD Sriramulo Vinnakota
- [5] Diseño Estructural en Acero. Luis F. Zapata Baglieto. Segunda Edición. 1997
- [6] Manual of Steel Construction. Allowable Stress Design American Institute of Steel Construction. Novena Edición. 1989
- [7] Manual of Steel Construction. Allowable Stress Design & LRFD American Institute of Steel Construction. 14 ava Edición. 2011
- [8] Diseño de Estructuras Metálicas. Método ASD Jack C. McCormac. Cuarta Edición. 1999
- [9] Manual de Diseño Estructural Cintac. Cintac. 1993
- [10] Manual del Soldador. Germán Hernández Riesco. Tercera Edición.
- [11] Manual de Soldadura. Tomo I American Welding Society. Octava Edición. 1996
- [12] Manual Técnico. Pinturas Industriales y Arquitectónicas. CPPQ- QROMA

11. APENDICE, ANEXOS Y PLANOS

Se adjunta documentación de los criterios de diseño, procedimientos de montaje, planos de diseño y planos de taller para la fabricación y montaje.

ANEXO A : CRITERIO DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS METALICAS .

**EJECUCION DE LAS OBRAS CIVILES Y
ELECTROMECHANICAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE
TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO**

LINEA 1 : TRAMO 2

AVENIDA GRAU - SAN JUAN DE LURIGANCHO

| | | | | | |
|------|--------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| 01 | 02-Dic-11 | Aprobado para Construcción | TYL | MCA | WVI |
| 0A | 09-Nov-11 | Emitido para Revisión | TYL | MCA | WVI |
| Rev. | Fecha dd-mmm-aa | Descripción de la revisión | Preparado por Visa | Revisado por Visa | Aprobado por Visa |

PROPIETARIO:



CONTRATISTA:



Este documento es propiedad del Consorcio Tren Eléctrico. Este documento no puede ser copiado o transmitido a terceros sin autorización previa.

Tipo de Documento :

CRITERIO DE DISEÑO

Identificación de la documentación:

Estado :

C T E L T Y L G E N E S T C R D 1 4 0 2 1 0 1

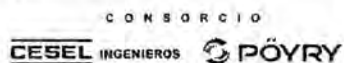
APC

Título del Documento:

**CRITERIOS DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS METALICAS
DE ESTACIONES Y PATIO DE MANIOBRAS**

Ref.: 03.12, 06.05.02

Supervisión:



Aprobado sin comentarios

Cód. 1

Firma:

Página:

Aprobado con comentarios

Cód. 2

1/10

Revisar y reenviar

Cód. 3



EJECUCION DE LAS OBRAS CIVILES Y
ELECTROMECANICAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE
TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO
LINEA 1 - TRAMO 2- AV. GRAU - SAN JUAN DE LURIGANCHO
CRITERIOS DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS METALICAS DE
ESTACIONES Y PATIO DE MANIOBRAS

Doc. N°:
CTEL-TYL-GEN-EST-CRD-14021


Rev.: 01

Fecha: 02-Dic.-11

Página: 3/10

INDICE

| | |
|---|----|
| HOJA DE REVISION..... | 2 |
| INDICE..... | 3 |
| 1. ALCANCES Y PROPOSITO | 4 |
| 2. DOCUMENTOS DE REFERENCIA..... | 4 |
| 3. CÓDIGOS, NORMAS Y ESTÁNDARES..... | 4 |
| 4. CRITERIOS PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL..... | 5 |
| 4.1 ESTRUCTURACION..... | 5 |
| 4.1.1 Techo de Andenes en Estaciones | 5 |
| 4.1.2 Techo metálico de edificaciones del Patio de Maniobras..... | 5 |
| 4.1.3 Escaleras..... | 5 |
| 4.2 CARGAS DE DISEÑO..... | 5 |
| 4.2.1 Carga Muerta | 5 |
| 4.2.2 Carga Viva de Techo..... | 6 |
| 4.2.3 Carga de Viento..... | 6 |
| 4.2.4 Carga de Sismo..... | 7 |
| 4.2.5 Carga de Temperatura..... | 7 |
| 4.2.6 Carga de Fricción..... | 7 |
| 4.2.7 Otras Cargas..... | 7 |
| 4.3 COMBINACIONES DE CARGAS | 7 |
| 4.3.1 Definiciones..... | 8 |
| 4.3.2 Combinaciones de Carga Generales..... | 8 |
| 4.4 MÉTODO Y BASES DE DISEÑO | 8 |
| 4.4.1 Resistencia | 8 |
| 4.4.2 Deflexiones | 8 |
| 5. MATERIALES..... | 9 |
| 5.1 ESTRUCTURAS DE ACERO | 9 |
| 5.1.1 Perfiles estructurales..... | 9 |
| 5.1.2 Pernos de conexión..... | 9 |
| 5.1.3 Soldadura..... | 9 |
| 5.1.4 Cobertura TR-4..... | 9 |
| 5.1.5 Pernos de fijación o anclaje..... | 10 |
| 5.1.6 Tuercas y arandelas para pernos de alta resistencia..... | 10 |

| | | | |
|---|--|--|-------------------|
|  | EJECUCION DE LAS OBRAS CIVILES Y ELECTROMECANICAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO LINEA 1 - TRAMO 2- AV. GRAU - SAN JUAN DE LURIGANCHO CRITERIOS DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS METALICAS DE ESTACIONES Y PATIO DE MANIOBRAS | Doc. N°: CTEL-TYL-GEN-EST-CRD-14021 | |
| | | Rev.: 01 | Fecha: 02-Dic.-11 |
| | | Pagina: 4/10 | |

1. ALCANCES Y PROPOSITO

Este presente documento establece los criterios de diseño a seguir para el desarrollo de la Ingeniería de Detalle de las estructuras de acero de los Techo Metálicos de las Estaciones, del Patio de maniobras y de otras estructuras metálicas a construir; como parte del presente proyecto.

También es parte del alcance, el diseño de los elementos de fijación o pernos de anclajes de las estructuras metálicas que le servirán de soporte a las estructuras de concreto.

Para el desarrollo de la Ingeniería del proyecto se aplicará, según corresponda, los Reglamentos Nacionales y Estándares Internacionales, cuya aplicación deberá ser específicamente señalada en la memoria de cálculo del expediente respectivo.

Donde estos criterios difieren de los códigos, estándares o especificaciones referenciadas, se aplicará el más desfavorable.

2. DOCUMENTOS DE REFERENCIA


| | |
|----------------------------|--|
| CTEL-ABB-GEN-EST-CRD-14020 | Criterios de Diseño Estructural de las Estaciones |
| CTEL-CTE-GEN-EST-SPC-14023 | Especificación Técnica de Estructura Metálica |
| CTEL-CTE-GEN-EST-SPC-14024 | Especificación Técnica de Pintura de Estructura Metálica |

3. CÓDIGOS, NORMAS Y ESTÁNDARES

A menos que se especifique lo contrario, el diseño de las instalaciones se basará en las partes aplicables de la última revisión de los siguientes códigos, normas, especificaciones y otras referencias.

En el caso de conflicto con los reglamentos locales, el más desfavorable será aplicado.

| | |
|---|---|
| RNE Reglamento Nacional de Edificaciones (2006) | Norma E.020 Cargas |
| | Norma E.030 Sismo Resistente |
| | Norma E.090 Acero Estructural |
| ASCE 7- 10 | Minimum Design Loads for Building and other structures |
| IBC 2009 | International Building Code |
| AISC (American Institute of Steel Construction) | Manual of Steel Construction, Load and Resistance Factor Design (LRFD), 14 th Edition, 2011. |
| | Specification for Structural Steel Building - (June 2010) |
| | Specification for Structural joints using ASTM A325 or A490 Bolts - Load and Resistance Factor Design (LRFD), |
| | Code of Standard Practice for Steel Building and Bridges, (AISC 303.10) |
| | AISC Seismic Design Manual |

| | | | |
|---|--|---------------------------------------|-------------------|
|  | EJECUCIÓN DE LAS OBRAS CIVILES Y ELECTROMECANICAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO LINEA 1 - TRAMO 2- AV. GRAU – SAN JUAN DE LURIGANCHO CRITERIOS DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS METALICAS DE ESTACIONES Y PATIO DE MANIOBRAS | Doc. N° CTEL-TYL-GEN-EST-CRD-14021 | |
| | | Rev.: 01 | Fecha: 02-Dic.-11 |
| | | Página: 5/10 | |

| | |
|--------------------|--|
| AWS.D1.1/ D1.1M | Structural Welding Code-Steel, American Welding Society, 2010 |
| OSHA | Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (Occupational Safety and Health Administration) Título 29 |
| ASTM | Estándares aplicables para los varios materiales de construcción especificados en este Criterio, American Society for Testing and Materials. |

4. CRITERIOS PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL

4.1 ESTRUCTURACION

4.1.1 Techo de Andenes en Estaciones

La estructura de cubierta de los pórticos de arcos elípticos serán soportadas por vigas diafragmas de la plataforma del andén de concreto.

4.1.2 Techo metálico de edificaciones del Patio de Maniobras

La estructura será del tipo celosía, conformada de perfiles tubulares y angulares, llevaran viguetas y correas de techo para el soporte del panel metálico.

4.1.3 Escaleras.

Las estructuras de cubiertas metálicas para escalera se diseñaran con perfiles tubulares.

4.2 CARGAS DE DISEÑO


Se deberán usar las siguientes cargas de diseño:

4.2.1 Carga Muerta

Es la carga vertical debida al peso propio de los elementos estructurales y no estructurales, incluyendo equipos, tuberías, ductos, conductos eléctricos y elementos fijos a las estructuras.

A continuación, se entrega una serie de densidades para el cálculo de cargas muertas.

| Material | Cargas | |
|---|----------------------|------------------------|
| | Acero Estructural | 7850 kg/m ³ |
| Cubiertas metálicas | 10 kg/m ² | 0.1 kN/m ² |
| Otras Instalaciones | 10 kg/m ² | 0.1kN/m ² |
| Catenaria (A cada lado del eje del andén, espaciado cada 6 m) | 550 kg | 5.5 kN |

| | | | |
|---|--|--|-------------------|
|  | EJECUCION DE LAS OBRAS CIVILES Y ELECTROMECANICAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO LINEA 1 - TRAMO 2- AV. GRAU - SAN JUAN DE LURIGANCHO CRITERIOS DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS METALICAS DE ESTACIONES Y PATIO DE MANIOBRAS | Doc. N°: CTEL-TYL-GEN-EST-CRD-14021 | |
| | | Rev.: 01 | Fecha: 02-Dic.-11 |
| | | Pagina: 6/10 | |

4.2.2 Carga Viva de Techo.

Estas son las cargas vivas sobre el techo con cobertura liviana de planchas onduladas o plegadas, material plástico, etc. La mínima carga viva sobre los techos con cobertura liviana, cualquiera sea su pendiente deberá ser (30 Kg./m²).

La carga Viva de Techo no deberá ser considerada en el diseño sísmico.

4.2.3 Carga de Viento.

Todos los edificios, estructuras, componentes y revestimientos serán diseñados para resistir las cargas de viento de acuerdo a la Norma NTE.020 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

$$Ph = 0.005 * C * Vh^2$$

Donde:

Ph : Presión o succión del viento a una altura h en Kg/m²

C : Factor de forma adimensional

Vh : Velocidad de diseño (75.0 km/h)

$$Ph = C * 28.0 \text{ kg/m}^2$$

Viento actuante en Pórticos y Cubiertas Cilíndricas:

Factores de Carga Externas de Viento:

Barlovento C = +/- 0.8

Sotavento C = -0,5

Factores de Cargas Internas de Viento:

Aberturas en los Costados C = -0,6

- Caso 1 : W 1x (Presión - Succión)

Barlovento => $P = (+0.8 - (0.6)) * Ph = + 0.2 * Ph$, $P = 5.6 \text{ kg/m}^2$

Sotavento => $P = (-0.5 - (0.6)) * Ph = -1.1 * Ph$, $P = -30.8 \text{ kg/m}^2$


- Caso 2 : W 2x (Succión - Succión)

Barlovento => $P = (-0.8 - (0.6)) * Ph = -1.4 * Ph$, $P = -39.2 \text{ kg/m}^2$

Sotavento => $P = (-0.5 - (0.6)) * Ph = -1.1 * Ph$, $P = -30.8 \text{ kg/m}^2$

(*) Se aplicará barlovento y sotavento, cuando se tenga cerrado con cobertura los dos costados del techo.

(**) Se aplica Barlovento, cuando se tenga cerrado con cobertura uno de los costados del techo.

| | | | |
|--|--|--|-------------------|
|  | EJECUCION DE LAS OBRAS CIVILES Y ELECTROMECANICAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO LINEA 1 - TRAMO 2- AV. GRAU - SAN JUAN DE LURIGANCHO | Doc. N°: CTEL-TYL-GEN-EST-CRD-14021 | |
| | | Rev.: 01 | Fecha: 02-Dic.-11 |
| | | Pagina: 7/10 | |
| CRITERIOS DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS METALICAS DE ESTACIONES Y PATIO DE MANIOBRAS | | | |

4.2.4 Carga de Sismo.

Todos los edificios, estructuras y componentes serán diseñados para las fuerzas sísmicas de acuerdo a la Norma NTE.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

La fuerza total actuante en la base de la estructura debe ser obtenida de acuerdo con la siguiente expresión:

$$V = \frac{Z * U * S * C}{R} . P$$

Donde:

Z = Factor de zona sísmica (Zona 3 - E-30 -Tabla N° 1) = 0,4

U = Factor de importancia (Categoría B - Tabla N° 3) = 1,3

P = W = peso total de cargas permanentes

S = Factor de suelo

R = Coeficiente de reducción (Tabla N° 6)

C = Coeficiente de amplificación sísmica

4.2.5 Carga de Temperatura

Son las fuerzas originadas por el cambio en la temperatura; el factor de carga será el mismo utilizado para cargas muertas.

Se utilizaran los siguientes coeficientes de dilatación térmica:

Acero: 0.000012 (1/°C)

Hormigón: 0.000011 (1/°C)

De acuerdo a Reglamento RNE E.020, se considera un gradiente de temperatura de 20°C para estructuras de concreto y 30°C estructuras metálicas.

4.2.6 Carga de Fricción

Los siguientes coeficientes de fricción serán usados, para determinar resistencias (fuerzas) a los cambios de temperatura y fuerzas laterales en superficies deslizantes.


| SUPERFICIE | COEFICIENTE DE FRICCIÓN |
|--------------------|-------------------------|
| Acero con Acero | 0.30 |
| Acero con Concreto | 0.50 |

4.2.7 Otras Cargas

Cargas adicionales como cables, cargas de ráfagas, etc. serán tomadas de acuerdo al ASCE 7 cuando sea aplicable.

4.3 COMBINACIONES DE CARGAS

Todos los edificios y demás estructuras deben ser diseñados para resistir los más críticos efectos resultantes de las combinaciones de cargas.

| | | | |
|--|--|--|-------------------|
|  | EJECUCIÓN DE LAS OBRAS CIVILES Y ELECTROMECANICAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO LINEA 1 - TRAMO 2- AV. GRAU – SAN JUAN DE LURIGANCHO | Doc. N°: CTEL-TYL-GEN-EST-CRD-14021 | |
| | | Rev.: 01 | Fecha: 02-Dic.-11 |
| | | Pagina: 8/10 | |
| CRITERIOS DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS METALICAS DE ESTACIONES Y PATIO DE MANIOBRAS | | | |

4.3.1 Definiciones.

| | |
|----|--|
| D | Todas las cargas muertas y de operación. |
| Lr | Cargas vivas sobre techos |
| W | Viento. |
| E | Sismo |
| T | Temperatura |

4.3.2 Combinaciones de Carga Generales

Para diseño por el método de Factores de Carga y Resistencia (LRFD) en Acero estructural, se usarán las combinaciones de carga indicadas en el Capítulo 1, ítem 1.4, de la Norma NTE.090 del RNE.

Las cargas de viento y sismo no deben ser consideradas en simultáneo para una misma combinación.

Para el diseño de los elementos estructurales se usarán las siguientes combinaciones:

| | |
|----------|----------------------|
| Comb. 01 | : 1.4D |
| Comb. 02 | : 1.2D +1.2T + 0.5Lr |
| Comb. 03 | : 1.2D +1.6L+0.8W |
| Comb. 04 | : 1.2D + 1.3W +0.5Lr |
| Comb. 05 | : 1.2D +0.5Lr + E |
| Comb. 06 | : 0.9D +1.3W |
| Comb. 07 | : 0.9D + E |

4.4 MÉTODO Y BASES DE DISEÑO

4.4.1 Resistencia

Las estructuras de acero estructural se diseñadas por el método de Factores de Carga y Resistencia (LRFD) definido en la Norma NTE.090.

También queda opcional del diseñador aplicar el método de diseño por esfuerzos admisibles (ASD) definido en la Norma NTE.090.

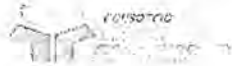
En general las estructuras serán diseñadas con perfiles de alma llena en caso de pórticos y elementos tubulares para vigas y arriostres. Todos los elementos serán de acero A-36 que deberá ser protegido ante la corrosión con algún tipo de pintura especial para ambientes marinos y mantenido periódicamente para garantizar su integridad.

Las conexiones de campo se plantearán empernadas, las de taller soldadas.

4.4.2 Deflexiones

Las deformaciones por flexión debidas a cargas vivas y presión de viento o cargas sísmicas no deberán exceder los siguientes valores:

| | |
|---|-----------|
| Vigas y correas metálicas de paredes o techos | Luz / 250 |
| Correa metálicas con estructuras encima | Luz / 360 |
| Plancha metálica de techo | Luz / 180 |
| Vigas para plataformas | Luz / 360 |

| | | | |
|---|---|--|-------------------|
|  | EJECUCION DE LAS OBRAS CIVILES Y ELECTROMECANICAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO LINEA 1 - TRAMO 2- AV. GRAU - SAN JUAN DE LURIGANCHO | Doc. N°: CTEL-TYL-GEN-EST-CRD-14021 | |
| | CRITERIOS DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS METALICAS DE ESTACIONES Y PATIO DE MANIOBRAS | Rev.: 01 | Fecha: 02-Dic.-11 |
| | Pagina: 9/10 | | |

5. MATERIALES

5.1 ESTRUCTURAS DE ACERO

5.1.1 Perfiles estructurales.

Los perfiles estructurales, las planchas y las barras de acero deben ser de calidad ASTM A36, también se usaran perfiles tubulares de calidad ASTM A53 y ASTM A 500.

5.1.2 Pernos de conexión.

Los pernos para conexiones para la estructura principal deberán ser ASTM A-325 tipo 1 y el cálculo supondrá que la rosca está incluida en el plano de cizalla.

Pernos para elementos secundarios, no estructurales ASTM A307, 5/8" mínimo para correas y acero misceláneo y 3/8" para pasos de escalera.

Todas las conexiones hechas en taller deben ser soldadas y las colocadas en campo preferiblemente deben ser empernadas (salvo se indique lo contrario en los planos).

5.1.3 Soldadura.

La soldadura a emplear será conforme a la norma AWS D1.1 y se podrán usar los procesos SMAW, FCAW y SAW.

5.1.4 Cobertura TR-4


El material de de la cobertura será Acero Zincalum, ASTM A792, AZ150, pintura polyester en polvo a 50 micrones de espesor mínimo. Espesor 0.6 mm.

En la siguiente tabla se indica las cargas y deflexiones admisibles del panel TR-4.

TABLA DE CARGAS (Kq/m²)

| Espesor e | Resistencia F _{ty} | Cargas | | | | | | | | | | | | |
|--------------|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|------|------|------|
| | | W ₁ | W ₂ | W ₃ | W ₄ | W ₅ | W ₆ | W ₇ | W ₈ | W ₉ | W ₁₀ | | | |
| 0.75 - 0.60 | 3.55 | 0.0012137 | 1.00 | 1.25 | 1.50 | 1.75 | 2.00 | 2.25 | 2.50 | 2.75 | 3.00 | 3.25 | 3.50 | 3.75 |
| 0.75 - 0.60 | 3.55 | 0.0012137 | 1.00 | 1.25 | 1.50 | 1.75 | 2.00 | 2.25 | 2.50 | 2.75 | 3.00 | 3.25 | 3.50 | 3.75 |
| 0.75 - 0.60 | 3.55 | 0.0012137 | 1.00 | 1.25 | 1.50 | 1.75 | 2.00 | 2.25 | 2.50 | 2.75 | 3.00 | 3.25 | 3.50 | 3.75 |
| 0.75 - 0.60 | 3.55 | 0.0012137 | 1.00 | 1.25 | 1.50 | 1.75 | 2.00 | 2.25 | 2.50 | 2.75 | 3.00 | 3.25 | 3.50 | 3.75 |
| 0.75 - 0.60 | 3.55 | 0.0012137 | 1.00 | 1.25 | 1.50 | 1.75 | 2.00 | 2.25 | 2.50 | 2.75 | 3.00 | 3.25 | 3.50 | 3.75 |
| 0.75 - 0.60 | 3.55 | 0.0012137 | 1.00 | 1.25 | 1.50 | 1.75 | 2.00 | 2.25 | 2.50 | 2.75 | 3.00 | 3.25 | 3.50 | 3.75 |
| 0.75 - 0.60 | 3.55 | 0.0012137 | 1.00 | 1.25 | 1.50 | 1.75 | 2.00 | 2.25 | 2.50 | 2.75 | 3.00 | 3.25 | 3.50 | 3.75 |
| 0.75 - 0.60 | 3.55 | 0.0012137 | 1.00 | 1.25 | 1.50 | 1.75 | 2.00 | 2.25 | 2.50 | 2.75 | 3.00 | 3.25 | 3.50 | 3.75 |
| 0.75 - 0.60 | 3.55 | 0.0012137 | 1.00 | 1.25 | 1.50 | 1.75 | 2.00 | 2.25 | 2.50 | 2.75 | 3.00 | 3.25 | 3.50 | 3.75 |
| 0.75 - 0.60 | 3.55 | 0.0012137 | 1.00 | 1.25 | 1.50 | 1.75 | 2.00 | 2.25 | 2.50 | 2.75 | 3.00 | 3.25 | 3.50 | 3.75 |
| 0.75 - 0.60 | 3.55 | 0.0012137 | 1.00 | 1.25 | 1.50 | 1.75 | 2.00 | 2.25 | 2.50 | 2.75 | 3.00 | 3.25 | 3.50 | 3.75 |

Elaborado por: [Nombre]
 Revisado por: [Nombre]
 Aprobado por: [Nombre]

| | | | |
|---|--|--|-------------------|
|  | EJECUCION DE LAS OBRAS CIVILES Y ELECTROMECANICAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO LINEA 1 - TRAMO 2- AV. GRAU – SAN JUAN DE LURIGANCHO CRITERIOS DE DISEÑO DE ESTRUCTURAS METALICAS DE ESTACIONES Y PATIO DE MANIOBRAS | Doc. N°: CTEL-TYL-GEN-EST-CRD-14021 | |
| | | Rev.: 01 | Fecha: 02-Dic.-11 |
| | | Pagina: 10/10 | |

5.1.5 Pernos de fijación o anclaje.

Los pernos de anclajes que podrían usarse serán calidad ASTM A193 B7, ASTM A36 y HAS SS Rod ISO 898 Class 5.8 y serán definidos en los planos de diseño y memoria de cálculo de la estructura.

5.1.6 Tuercas y arandelas para pernos de alta resistencia.

Las tuercas serán de calidad ASTM A563 y las arandelas de ASTM F436. Considerar una arandela por cada perno de conexión.

ANEXO B : PROCEDIMIENTO DE MONTAJE DE ESTRUCTURA METALICA

1784-200-Cte-CCP-Ins

**EJECUCION DE LAS OBRAS CIVILES Y
ELECTROMECHANICAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE
TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO**

**LINEA 1 : TRAMO 2
AVENIDA GRAU – SAN JUAN DE LURIGANCHO**

CONSORCIO
CESEL INGENIEROS **PÖYRY**
30 ENE 2013
CONTROL DOCUMENTARIO
N.R..... HORA.....

CONSORCIO TREN ELECTRICO
GEDT N° 1567
CTE-CCP 1784
CCP-CTE 1909

| Rev. | Fecha dd-mmm-aa | Descripción de la revision | Preparado por Visa | Revisado por Visa | Revisado por Visa |
|------|--------------------|----------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| 01 | 28-Ene-13 | Aprobado para Construcción | JAH | AME/RLO | WVI |
| 0A | 07-Ene-13 | Emitido para Revisión | JAH | AME/RLO | WVI |

CLIENTE:



CONTRATISTA:




Este documento es propiedad del Consorcio Tren Eléctrico. Este documento no puede ser copiado o transmitido a terceros sin autorización previa.


Tipo de Documento : **PROCEDIMIENTO**

Identificación de la documentación: **C T E L C T E G E N Q U A P R O 0 0 1 2 5 0 1** Estado : **APC**

Título del Documento: **MONTAJE DE ESTRUCTURAS METALICAS DE CUBIERTAS DE ANDEN**

Ref.:

| | | | | | |
|---|--------------------------|--------|-------------------------------------|---|------------------------|
| Supervisión: CONSORCIO CESEL INGENIEROS PÖYRY | Aprobado sin comentarios | Cód. 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | Firma:  | Página: 1/13 |
| | Aprobado con comentarios | Cód. 2 | <input type="checkbox"/> | | |
| | Revisar y reenviar | Cód. 3 | <input type="checkbox"/> | | |

| | | | |
|---|--|--|------------------|
|  | EJECUCION DE LAS OBRAS CIVILES Y ELECTROMECANICAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO LINEA 1 - TRAMO 2- AV. GRAU - SAN JUAN DE LURIGANCHO MONTAJE DE ESTRUCTURAS METALICAS DE CUBIERTA DE ANDEN | Doc. N°: CTEL-CTE-GEN-QUA-PRO-00125 | |
| | | Rev.: 01 | Fecha: 28-Ene-13 |
| | | Pagina: 2/13 | |

HOJA DE REVISION

| Rev. N° | Estado | Descripción de la Revisión |
|---------|--------|--|
| 0A | EPR | Emitido para Revisión |
| 01 | APC | Aprobado para Construcción, cambios en ítems: 2, 4.1.3, 5, 5.2, 5.4.1, 6.6, 5.6.1, 5.6.2, 5.7, 7, y 8. |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |



EJECUCION DE LAS OBRAS CIVILES Y
ELECTROMECANICAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE
TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO
LINEA 1 - TRAMO 2- AV. GRAU - SAN JUAN DE LURIGANCHO
MONTAJE DE ESTRUCTURAS METALICAS DE
CUBIERTA DE ANDEN

Doc. N°:
CTEL-CTE-GEN-QUA-PRO-00125

Rev.: 01

Fecha: 28-Ene-13

Página: 3/13

INDICE

| | |
|---|----|
| HOJA DE REVISION..... | 2 |
| INDICE..... | 3 |
| 1. ALCANCE Y OBJETIVO..... | 4 |
| 2. DOCUMENTO DE REFERENCIA..... | 4 |
| 3. NORMAS..... | 4 |
| 4. PERSONAL Y EQUIPOS DE MONTAJE..... | 4 |
| 4.1.1 Personal de Montaje..... | 4 |
| 4.1.2 Equipos..... | 4 |
| 4.1.3 Equipos de Medición y Ajuste..... | 5 |
| 5. DESCRIPCION DE ACTIVIDAD DE MONTAJE..... | 5 |
| 5.1 TRASLADO Y RECEPCIÓN DE MATERIALES EN OBRA..... | 7 |
| 5.1.1 Traslado..... | 7 |
| 5.1.2 Recepción..... | 7 |
| 5.2 MEDICION Y VERIFICACION TOPOGRAFICA DE OBRA CIVIL..... | 7 |
| 5.2.1 Ubicación de Ejes y Niveles..... | 7 |
| 5.3 INSTALACIÓN DE PERNOS DE ANCLAJE..... | 7 |
| 5.4 MONTAJE DE PORTICOS Y VIGAS..... | 8 |
| 5.4.1 Montaje de Pórticos..... | 8 |
| 5.4.2 Montaje de Vigas..... | 8 |
| 5.5 PERNOS DE CONEXIÓN..... | 10 |
| 5.6 REPARACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE ELEMENTOS EN OBRA..... | 11 |
| 5.6.1 Trabajo de Soldadura..... | 11 |
| 5.6.2 Trabajo de Resane de Pintura..... | 11 |
| 5.7 CONTROL TOPOGRAFICO PARA LIBERACIÓN DE MONTAJE..... | 11 |
| 5.7.1 Tolerancia de Montaje..... | 11 |
| 5.8 ENTREGA FINAL..... | 12 |
| 6. MATRIZ DE RESPONSABILIDADES..... | 12 |
| 7. BUENAS PRACTICAS..... | 12 |
| 8. ANEXOS..... | 13 |
| QUA-PRO-00125-F1 REGISTRO DE LIBERACIÓN Y ENTREGA DE MONTAJE DE ESTRUCTURAS METÁLICAS..... | 13 |
| QUA-PRO-00125-F2 REGISTRO DE TORQUE DE PERNOS..... | 13 |
| QUA-PRO-00125-F3 REGISTRO DE PROTECCIÓN SUPERFICIAL (RESANE DE PINTURA)..... | 13 |

| | | | |
|---|---|--|------------------|
|  | EJECUCION DE LAS OBRAS CIVILES Y ELECTROMECANICAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO LINEA 1 - TRAMO 2- AV. GRAU – SAN JUAN DE LURIGANCHO MONTAJE DE ESTRUCTURAS METALICAS DE CUBIERTA DE ANDEN | Doc. N°: CTEL-CTE-GEN-QUA-PRO-00125 | |
| | | Rev.: 01 | Fecha: 28-Ene-13 |
| | | Pagina: 4/13 | |

1. ALCANCE Y OBJETIVO

Este procedimiento tiene por objetivo establecer acciones de control de calidad aplicables al proceso de Montaje de las estructuras metálicas de Cubierta de Anden, que estará en concordancia con los planos del proyecto, especificaciones, procedimientos de fabricación y normas aplicables.

2. DOCUMENTO DE REFERENCIA

| | |
|----------------------------|---|
| CTEL-CTE-GEN-EST-SPC-14023 | Especificación Técnica de Estructura Metálica. |
| CTEL-CTE-GEN-EST-SPC-14024 | Especificación Técnica de Pintura de Estructura Metálica |
| CTEL-CTE-GEN-QUA-PLN-00100 | Plan de Calidad Obras Civiles. |
| CTEL-IME-GEN-QUA-PLN-00122 | Plan de Calidad Fabricación de Estructuras Metálicas Estaciones de pasajeros. |
| CTEL-CTE-GEN-QUA-PRO-00106 | Colocación de Pernos de Anclaje e Insertos. |
| CTEL-CTE-GEN-QUA-PRO-00110 | Procedimiento General de Topografía |
| CTEL-CTE-GEN-QUA-PRO-00111 | Procedimiento de Instalación de Grout |

3. NORMAS

Las estructuras metálicas deberán ser montadas de acuerdo con las siguientes normas y reglamentos de construcción.

- RNE - Reglamento Nacional de Edificaciones;
- AISC - Instituto Americano de Construcción en Acero;
- ANSI - American National Standards Institute;
- ASTM - American Society for Testing and Materials;
- AWS - American Welding Society;

4. PERSONAL Y EQUIPOS DE MONTAJE


4.1.1 Personal de Montaje

Para realizar el montaje se cuenta con personal calificado con experiencia en estructuras metálicas, y el equipo técnico montaje estará conformado por Ingenieros, Topógrafo, Capataz, Operarios, Oficial y Peones.

4.1.2 Equipos

Los equipos de montaje previstos son grúas desde 40 @ 65 Ton, Camión Grúa 16 Ton, Manlift, Telehandler, Andamios y Herramientas de izaje, etc., los cuales deberán ser apropiados para la ejecución de los trabajos, y a la vez se revisarán las condiciones en la que se encuentran.

Cuando el montaje signifique un alto riesgo para las personas, los equipos y las instalaciones, el ingeniero responsable del montaje analizará la seguridad de la maniobra con el responsable de SSTMA-CTE.

| | | | |
|---|--|--|------------------|
|  | EJECUCION DE LAS OBRAS CIVILES Y ELECTROMECANICAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO LINEA 1 - TRAMO 2- AV. GRAU – SAN JUAN DE LURIGANCHO MONTAJE DE ESTRUCTURAS METALICAS DE CUBIERTA DE ANDEN | Doc. N°: CTEL-CTE-GEN-QUA-PRO-00125 | |
| | | Rev.: 01 | Fecha: 28-Ene-13 |
| | | Pagina: 5/13 | |

4.1.3 Equipos de Medición y Ajuste

A continuación se detalla los equipos que usaremos en el montaje.

- Equipo de medición de espesor de pintura.
- Equipo topográfico de medición horizontal y vertical (Estación Total).
- Equipo de ajuste de pernos de conexión de estructura (Torquímetro).

5. DESCRIPCION DE ACTIVIDAD DE MONTAJE

Para este proceso de montaje se establecerá una secuencia lógica de acuerdo a los planos de montaje y la obra civil construida, esta secuencia se deberá establecer de acuerdo a la magnitud de los trabajos asignados y en total conformidad con los requerimientos del proyecto.

Previo al montaje de los pórticos vigas y arriostres, se deberá haber realizado la verificación horizontal y vertical de los apoyos y pernos de anclaje.

Chequear que todos los elementos de la estructura se instalen como muestran los planos de montaje.

Conforme avanza el proceso de montaje de los elementos estructurales, estos se deben ir conectando adecuadamente, de modo que en todo momento el conjunto resista los esfuerzos a que la estructura parcialmente armada puede estar sometida, incluyendo los provenientes del equipo de montaje y su operación.

Durante el montaje de la estructura metálicas de acuerdo al procedimiento y secuencia establecida, se realizará la verificación topográfica de galibo mínimo especificado, verticalidad y nivelación para proceder al torque de los pernos.

Topografía será el encargado de ejecutar los trabajos de verificación de ubicación correcta de los pernos de anclaje y el alineamiento horizontal, verticalidad de la estructura. Asimismo de elaborar los respectivos informes de topografía para adjuntar al protocolo respectivo QUA-PRO-00110-F1 – (Reporte Topográfico), para verificar la Nivelación, Verticalidad y Alineamiento.

Cuando se usen andamios metálicos para trabajos en altura, se debe seguir las instrucciones de seguridad y se debe tener los respectivos refuerzos de protección.

En el proceso se debe asegurar que todas las áreas pintadas que se hayan dañado hayan sido retocadas según las especificaciones, cuando sea necesario.

También se debe verificar que ninguna estructura haya sufrido daño en el momento de montaje.

En los siguientes figuras 5.1 y 5.2 se representa un modelo en 3D de la cubierta metálica apoyada sobre la estructura de concreto.

Para el desarrollo de esta actividad se explicará la secuencia de actividades previsto a ejecutar:

- 5.1 Traslado y Recepción de Materiales en Obra
- 5.2 Medición y Verificación Topográfica Obra Civil
- 5.3 Instalación de Pernos de Anclajes
- 5.4 Montaje de Pórticos y Vigas
- 5.5 Pernos de Conexión
- 5.6 Preparación y Acondicionamiento de Elementos en Obra
- 5.7 Control Topografía para Liberación de Montaje
- 5.8 Entrega Final

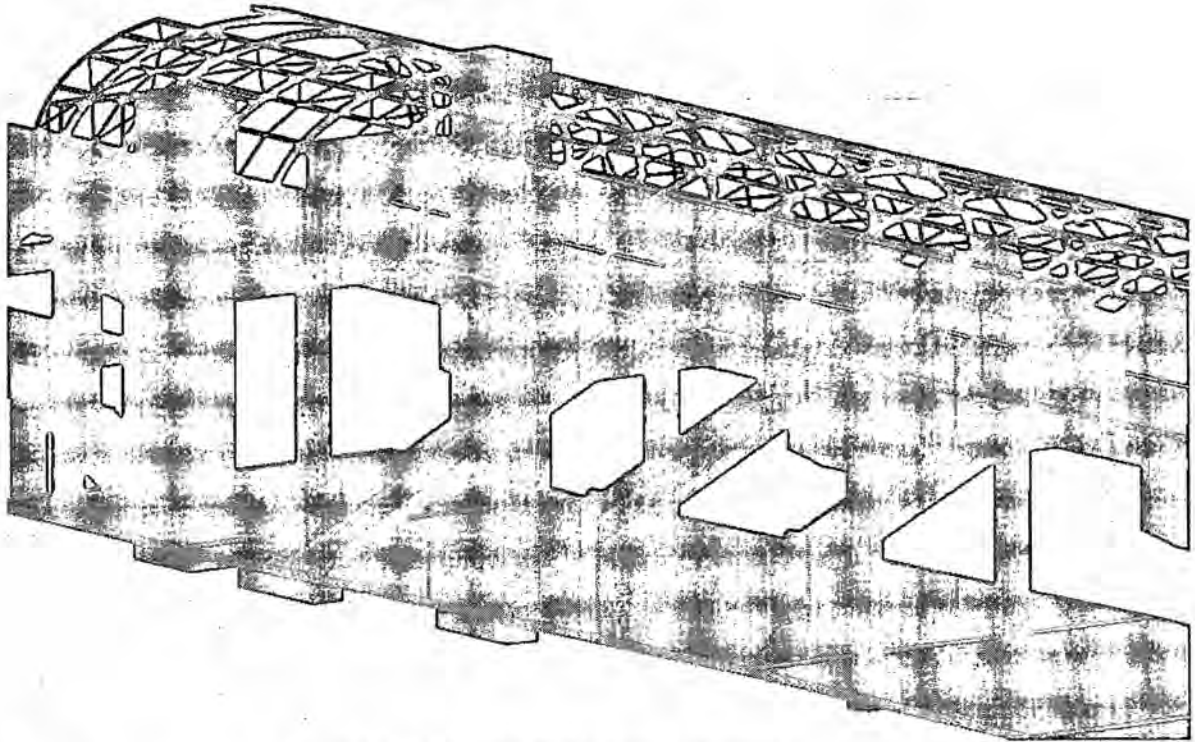


Figura 5.1 – 3D Cubierta Metálica Estaciones

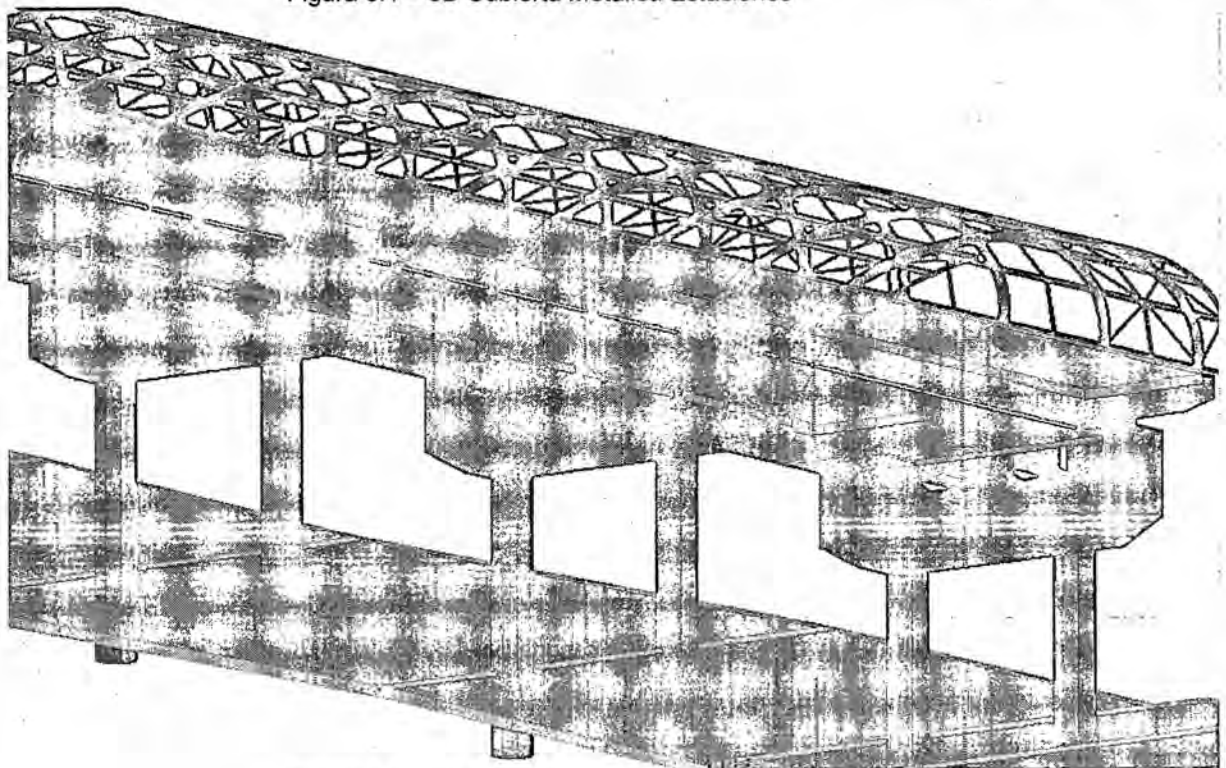



Figura 5.2 – 3D Cubierta Metálica Estaciones

| | | | |
|---|---|--|------------------|
|  | EJECUCION DE LAS OBRAS CIVILES Y ELECTROMECANICAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO LINEA 1 - TRAMO 2- AV. GRAU – SAN JUAN DE LURIGANCHO MONTAJE DE ESTRUCTURAS METALICAS DE CUBIERTA DE ANDEN | Doc. N°: CTEL-CTE-GEN-QUA-PRO-00125 | |
| | | Rev.: 01 | Fecha: 28-Ene-13 |
| | | Pagina: 7/13 | |

5.1 TRASLADO Y RECEPCIÓN DE MATERIALES EN OBRA

5.1.1 Traslado

El traslado de las piezas se realizará en camión plataforma de 25 Ton de capacidad y todas las piezas fabricadas en planta del contratista deberán ser liberadas por parte de CTE, antes de ser despachadas a obra.

Para su verificación se realizará una inspección física de los elementos fabricados, generando una lista de elementos, de forma que quede constancia de que los elementos están conformes para asegurar que el montaje no tendrá problemas de ensamble en el lugar de ubicación final.

5.1.2 Recepción

Se revisará antes del montaje cada uno de los embarques de materiales que llegan a la obra. Si se detecta que alguno de los materiales que arriban a obra se encuentra dañado, se informará de inmediato al ingeniero responsable, quien decidirá si es posible rehabilitarlo en el sitio o si debe ser devuelto para su reparación.

5.2 MEDICION Y VERIFICACION TOPOGRAFICA DE OBRA CIVIL

El encargado de Topografía revisará y verificará los niveles de concreto, superficies de apoyo de albañilería y ubicación de los pernos de anclaje de los pórticos.

5.2.1 Ubicación de Ejes y Niveles

La primera actividad a desarrollar en las vigas diafragma una vez encofradas, será el posicionamiento, verticalización y nivelación de los pernos de anclaje donde se apoyarán los pórticos elípticos; debiéndose tomar como referencia para el alineamiento longitudinal, el mismo eje de viaducto definido con el que fue construida la estación de pasajeros, y para el control transversal los ejes perpendiculares al eje del viaducto según la modulación de vanos indicados en los planos del proyecto.

Después de ubicar los ejes y niveles en las vigas diafragmas para la colocación de los pernos de anclaje, el ingeniero responsable de montaje verificará si están de acuerdo a los planos civiles y montaje de pórticos para su respectiva liberación y construcción de viga diafragma de concreto.

5.3 INSTALACIÓN DE PERNOS DE ANCLAJE

Antes de su instalación se inspeccionarán los pernos de anclaje cerciorándose con el certificado de calidad del material y que sean del tipo y tamaño correcto, especificado en planos de montaje, y se verificará que no hayan sufrido daño alguno.

Las plantillas de anclajes deben ser dimensionadas en función al tamaño de la plancha base de la columna y distribución de pernos.

Los ejes de la base de columnas de pórticos deben replantearse en cada viga diafragma de concreto por el ingeniero responsable de montaje y topografía.

Después de ser instalados los pernos de anclaje, topografía verificará en campo la ubicación de ejes y niveles de acuerdo a los planos civiles y montaje.

5.4 MONTAJE DE PORTICOS Y VIGAS

5.4.1 Montaje de Pórticos

Antes de iniciar esta actividad se deberá realizar el control topográfico verificando los ejes y niveles de las bases de concreto.

Los pórticos deben colocarse sobre una base de concreto exactamente de acuerdo con los ejes y los niveles indicados en los planos de montaje. La plancha base se colocará tuercas para posteriormente realizar la nivelación.

El control del alineamiento y verticalidad de los pórticos, tanto en sentido transversal como longitudinal, y además deben cumplir los gálibos mínimos establecidos en el proyecto que serán verificados por topografía de CTE.

Los cuerpos del pórtico deberán ser torqueados al 100% una vez liberados por topografía y antes del montaje de las vigas y arriostres.

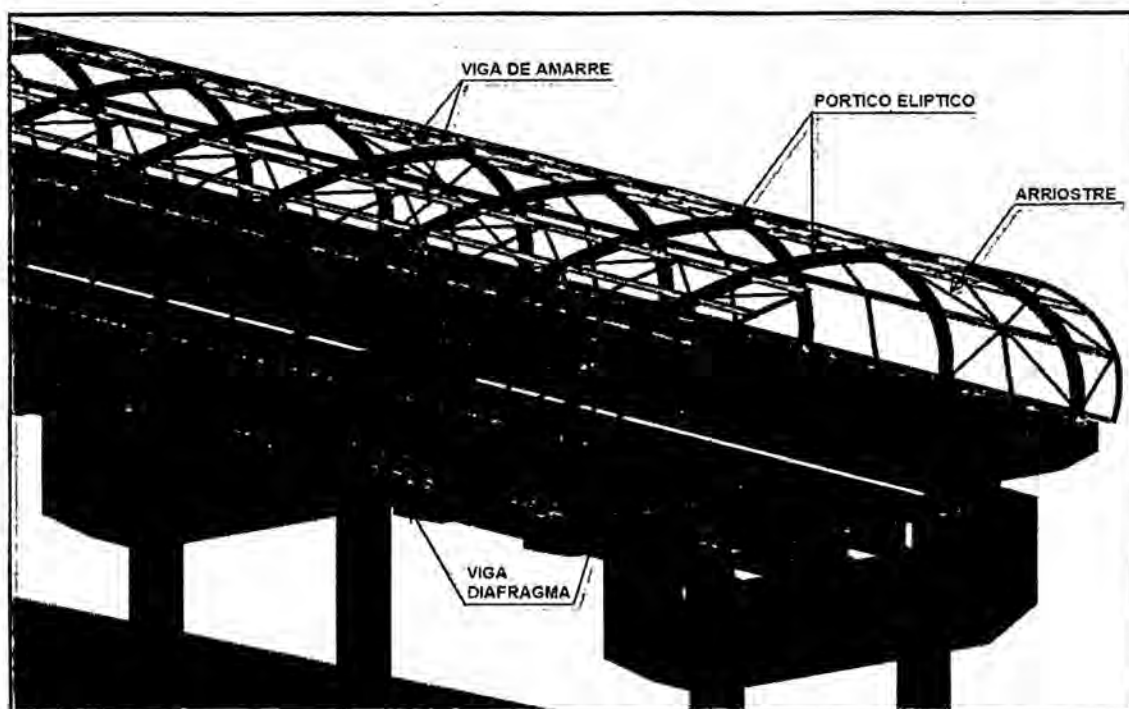
La preparación y colocación de Grout en la base pórticos se aplicará durante el proceso de montaje, que será después de conectar con vigas de amarre y arriostres. Para este trabajo se cuenta con el Procedimiento CTEL-CTE-GEN-QUA-PRO-00111.

5.4.2 Montaje de Vigas.

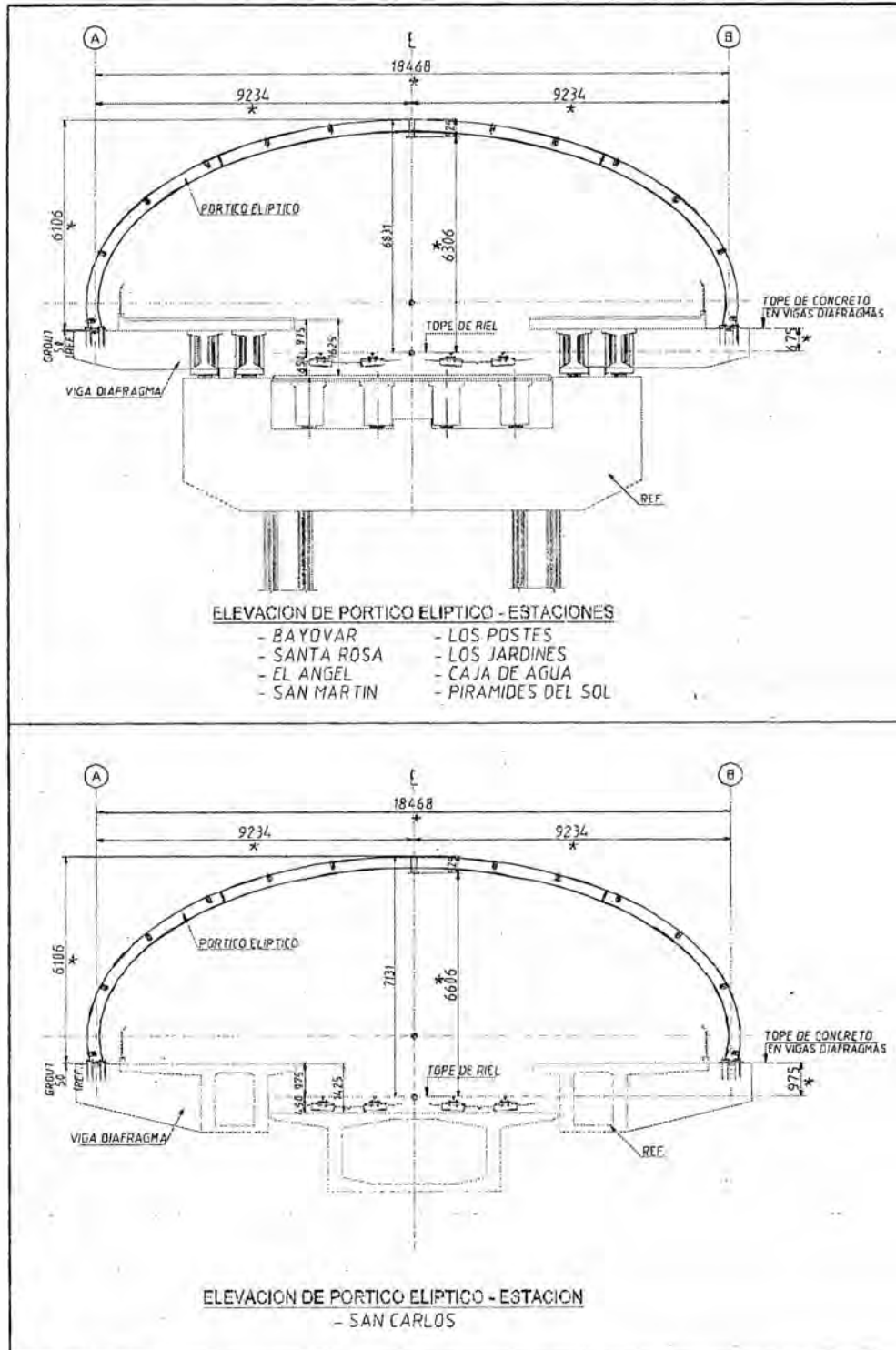
Las vigas, después de su montaje, deberán estar alineadas y niveladas. Se considerará alineadas cuando la desalineación este dentro de las tolerancias admisibles según lo especificado en el "Código Estándar para Edificaciones y Puentes de Acero" del AISC.

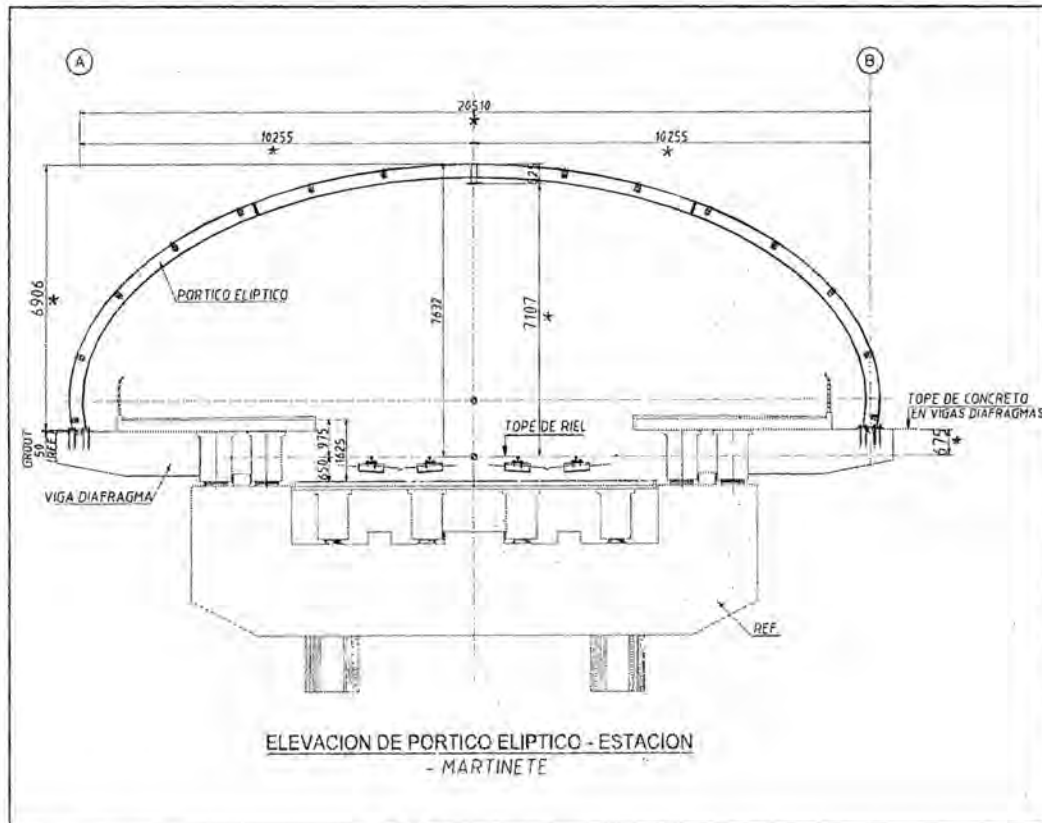
Después de la colocación de todos los pernos debe disponer de un torque inferior al 90% del torque final en todos los pernos. Efectuándose posteriormente el apriete final.

La secuencia de colocación y apriete de los pernos en definitiva deberá hacerse desde el centro hacia el borde de las juntas.



Para el montaje de los pórticos en las estaciones se realizarán tomando como referencia, las dimensiones con asteriscos (*) en horizontal, vertical y los puntos topográficos de control.





5.5 PERNOS DE CONEXIÓN


Esta actividad será realizada luego de verificar la correcta posición de las piezas según inspección dimensional de planos de montaje.

El ajuste de los pernos para las conexiones de estructuras se realizará con llaves adecuadas, no permitiéndose el uso de extensiones u otros recursos que produzcan ajustes excesivos. Para el ajuste final se realizará el proceso con torquimetro.

Las llaves de torque serán calibradas para cada diámetro de perno, aplicándole un 5% de tensión mayor que la tensión mínima especificada para el perno, la secuencia de ajuste será realizada partiendo por las partes de mayor rigidez de empalme. Esta operación será repetida hasta establecer el torque específico. (QUA-PRO-00125-F2- Registro Torque de Perno)

Cuando sea necesario, los agujeros podrán ampliarse mediante el uso de alargadores, lo que conduce hasta un máximo de 2 mm de ovalado. No se permitirá el uso del soplete (equipo de oxiacorte).

Los pernos de calidad ASTM A325 no podrán ser torquados más de una vez debido a que son galvanizados en caliente.

| | | | |
|---|--|--|------------------|
|  | EJECUCION DE LAS OBRAS CIVILES Y ELECTROMECANICAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO LINEA 1 - TRAMO 2- AV. GRAU – SAN JUAN DE LURIGANCHO MONTAJE DE ESTRUCTURAS METALICAS DE CUBIERTA DE ANDEN | Doc. N°: CTEL-CTE-GEN-QUA-PRO-00125 | |
| | | Rev.: 01 | Fecha: 28-Ene-13 |
| | | Pagina: 11/13 | |

5.6 REPARACIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE ELEMENTOS EN OBRA

La reparación de elementos se puede presentar de forma excepcional para realizar trabajo de soldadura y resane de pintura.

5.6.1 Trabajo de Soldadura

Aplica para elementos que no pueden ser instalados adecuadamente y para este proceso se evaluará la posibilidad de realizar las correcciones en obra, instalando un área adecuada y que tenga las mismas exigencias de inspección, pruebas y control de calidad de fábrica.

El procedimiento de ejecución de las soldaduras de campo debe ser tal, que se minimicen las deformaciones y distorsiones del elemento que se está soldando.

El soldador encargado deberá ser experimentado en estos trabajos y deberá contar con su respectivo certificado de homologación actualizado.

Antes de proceder a soldar, se removerá con esmeril con copa de cerdas de acero, toda capa de pintura en las superficies para soldar y caras adyacentes, se limpiará cuidadosamente toda el área inmediatamente antes de soldar.

El tamaño de las soldaduras debe ser regular, su apariencia limpia y debe estar libre de grietas, porosidades ni exhibir inadecuada penetración o fusión incompleta. Una vez ejecutada la soldadura, deberán eliminarse las partículas sueltas, escoria u óxido procediéndose a la aplicación del sistema de pintura.

5.6.2 Trabajo de Resane de Pintura

Una vez que el montaje ha sido concluido, se resanará o se repintará las zonas dañadas puntuales de la superficie de pintura con el formato correspondiente QUA-PRO-00125-F3 – Registro de Protección Superficial (Resane de Pintado). Previamente se eliminarán el polvo, la suciedad o cualquier materia extraña que se haya acumulado durante el período de montaje como resultado de los trabajos y la exposición a la intemperie. El sistema a emplear en los resanes será el mismo que el empleado para el pintado en taller, salvo indicación contraria aprobada.

5.7 CONTROL TOPOGRAFICO PARA LIBERACIÓN DE MONTAJE

El ingeniero Responsable de Montaje deberá coordinar con el Responsable de Calidad y Topografía para realizar las inspecciones de chequeo topográfico.

Durante el proceso de montaje es necesario llevar a cabo el control topográfico para que las estructuras que se monten por partes vayan siendo alineadas, aplomadas para evitar desviaciones y correcciones al final del proceso.

Al finalizar el montaje de las estructuras se hará un chequeo final de nivelación, alineamiento y aplome, cuidando no pasar de las tolerancias admisibles (los valores reales de campo serán indicado en el informe topográfico según registro QUA-PRO-00110-F1).

5.7.1 Tolerancia de Montaje

Para el montaje de estructuras metálicas se aplicaran las tolerancias de montaje, tal como viene especificado en el "Código Estándar para Edificaciones y Puentes de Acero" del AISC.

| | | | |
|---|--|--|------------------|
|  | EJECUCION DE LAS OBRAS CIVILES Y ELECTROMECANICAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO LINEA 1 - TRAMO 2- AV. GRAU – SAN JUAN DE LURIGANCHO MONTAJE DE ESTRUCTURAS METALICAS DE CUBIERTA DE ANDEN | Doc. N°: CTEL-CTE-GEN-QUA-PRO-00125 | |
| | | Rev.: 01 | Fecha: 28-Ene-13 |
| | | Pagina: 12/13 | |

5.8 ENTREGA FINAL

Para la entrega final de los trabajos el Ingeniero Responsable de Montaje (CTE) será el responsable de verificar que todo esté de acuerdo a las normas y especificaciones del proyecto, de manera que esté expedito para la entrega final al Cliente, que deberá aprobar la recepción respectiva y firmar en el formato correspondiente QUA-PRO-00125-F1 - Registro de Liberación y Entrega de Montaje de Estructuras Metálicas.

6. MATRIZ DE RESPONSABILIDADES

| Actividades | | Área de Calidad | Producción | Responsable Almacén | Responsable Topografía |
|-------------|--|-----------------|------------|---------------------|------------------------|
| 1 | Revisar todos documentos y planos involucrados en las actividades de Montaje de estructuras metálicas | X | X | | X |
| 2 | Verificar el cumplimiento de los requisitos del cliente según especificaciones técnicas, planos y normas aplicables al Proyecto. | X | X | | X |
| 3 | Verificar que en la recepción de los materiales, estas cumplan con las especificaciones del proyecto. | X | X | X | |
| 4 | Verificar que los trabajos y controles de Montaje de estructuras se estén desarrollando según procedimientos y normas | X | X | | X |
| 5 | Llevar un control de registros de los trabajos de Montaje de estructuras. | X | X | | X |
| 6 | Replanteo preliminar y cheque topográfico durante la ejecución. | X | X | | X |
| 7 | Impresión, Archivo y recopilación de todos los protocolos de las actividades de Montaje de Estructuras. | X | | | |

7. BUENAS PRACTICAS

- Antes y durante el desarrollo de las actividades de montaje, se deberá verificar previamente el correcto llenado del ATS (Análisis de Trabajo seguro) y el Permiso de Trabajo de cualquier prueba y/o ensayo con la finalidad de preservar las condiciones seguras de las mismas.
- Asegurarse que todas las áreas pintadas que se hayan dañado durante el montaje, hayan sido retocadas según las especificaciones, cuando sea necesario, y aplicar Registro de Protección superficial (resane de pintura): QUA-PRO-00125-F3.
- Chequear que se hayan instalado todos los pernos (confirmar llenado del protocolo QUA-PRO-00125-F2 – Registro de Torque de Pernos y QUA-PRO-00106-F1 - Registro de Liberación y Entrega de Montaje de Estructuras Metálicas)
- Asegurarse que las amarres temporales sean removidas cuando el montaje esté completo y se aprieten todas las conexiones.



**EJECUCION DE LAS OBRAS CIVILES Y
ELECTROMECANICAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE
TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO
LINEA 1 - TRAMO 2- AV. GRAU - SAN JUAN DE LURIGANCHO
MONTAJE DE ESTRUCTURAS METALICAS DE
CUBIERTA DE ANDEN**

Doc. N°:
CTEL-CTE-GEN-QUA-PRO-00125

Rev.: 01

Fecha: 28-Ene-13

Pagina: 13/13

8. ANEXOS

- | | |
|---------------------------------------|--|
| QUA-PRO-00125-F1 Metálicas. | Registro de Liberación y Entrega de Montaje de Estructuras |
| QUA-PRO-00125-F2 | Registro de Torque de Pernos. |
| QUA-PRO-00125-F3 | Registro de Protección superficial (resane de pintura). |


| | | |
|--|--|-----------------------------------|
|  | REGISTRO | QUA-PRO-00125-F1 |
| | CONTROL DE CALIDAD | Revisión: 01 |
| | LIBERACION Y ENTREGA DE MONTAJE DE ESTRUCTURAS METALICAS | Fecha: 28/01/13 Página: 1 de 1 |

| | |
|-------------------------------|------------------------|
| NOMBRE DEL PROYECTO: | N° CORRELATIVO: |
| CLIENTE / SUPERVISION: | FECHA: |
| PLANO REF.: | ESTACION: |
| CONTRATISTA: | |
| ELEMENTOS: | |

| ITEM | DETALLE DE INSPECCIÓN | Acceptable | No aceptable | N/A | OBSERVACIONES |
|------|--|------------|--------------|-----|---------------|
| 1 | Certificados de calidad de los materiales | | | | |
| 2 | Planos de montaje | | | | |
| 3 | Verificacion topografica de pernos de anclaje. | | | | |
| 4 | Verificacion topografica completa (alineamiento, verticalidad y nivelacion) - QUA-PRO-00110-F1 | | | | |
| 5 | Registro de torqueo de pernos - QUA-PRO-00125-F2 | | | | |
| 6 | Conformidad final de resane de pintura | | | | |
| 7 | Conformidad final del montaje de la estructura | | | | |
| 8 | Otros | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

OBSERVACIONES

| ELABORADO POR: | REVISADO POR: | SUPERVISION |
|----------------|---------------|-------------|
| Firma: | Firma: | Firma: |
| Nombre: | Nombre: | Nombre: |
| Fecha: | Fecha: | Fecha: |

| | | |
|--|----------------------------------|-----------------------------------|
|  | REGISTRO | QUA-PRO-00125-F2 |
| | CONTROL DE CALIDAD | Revisión: 01 |
| | REGISTRO TORQUE DE PERNOS | Fecha: 28/01/13 Página: 1 de 1 |

| | | |
|------------------------|---------|-----------------|
| NOMBRE DEL PROYECTO: | | Nº CORRELATIVO: |
| CLIENTE / SUPERVISION: | | FECHA: |
| UBICACIÓN: | FRENTE: | SECTOR: |

UBICACIÓN / PROGRESIVA:

ELEMENTO / ESTRUCTURA:

| | | | | | |
|---|---------|--------|--|---|--|
| Cargas Mínimas de Instalación de Pernos | | | | Elementos de unión: (marcar el que corresponda) | |
| d _b | A-325 | | | | A-325 |
| | Tensión | Torque | | | DATOS DEL TORQUIMETRO Marca: _____ Modelo: _____ Serie: _____ Rango de Trabajo: _____ Vencimiento de calibración: _____ |
| pulg | kg | kg-m | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

Registro del Torque

| Elemento | Cantidad de Elementos | Ø Pernos (pulg) | Pernos x elemento | Torque (kg-m) | Total de Pernos Torqueados | Resultado C/NC/NA/R |
|----------|-----------------------|-----------------|-------------------|---------------|----------------------------|---------------------|
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |

Clave de Resultado: C: CONFORME NC: NO CONFORME NA: NO APLICA R: CORREGIDO/REPARADO

OBSERVACIONES

| | | |
|-----------------------|----------------------|--------------------|
| ELABORADO POR: | REVISADO POR: | SUPERVISION |
| Firma: | Firma: | Firma: |
| Nombre: | Nombre: | Nombre: |
| Fecha: | Fecha: | Fecha: |



REGISTRO

QUA-PRO-00125-F3

CONTROL DE CALIDAD

Revisión: 01

REGISTRO DE PROTECCIÓN SUPERFICIAL (RESANE DE PINTADO)

Fecha: 28/01/13

Página: 1 de 1

| | | | | | | | |
|---------------------------------------|---|---|--|-----------------------|-----------------------|-------------|------|
| NOMBRE DE PROYECTO: | | N° CORRELATIVO: | | | | | |
| CLIENTE / SUPERVISION: | | FECHA: | | | | | |
| PLANO DE REF.: | FRENTE: | SECTOR: | | | | | |
| ESTRUCTUR / ELEMENTO: | | | | | | | |
| LOTE DE RESINA: | LOTE DE CATALIZADOR: | LOTE DE DILUYENTE: | | | | | |
| 1) PARTE Y/O COMPONENTE | Base <input type="text"/> | 2a Capa <input type="text"/> | | | | | |
| | 1a Capa <input type="text"/> | Material: ACERO A-36 | | | | | |
| 2) PINTURA: | <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Fecha de Fabricación:</td> </tr> <tr> <td>Fecha de Vencimiento:</td> </tr> <tr> <td>Color:</td> </tr> </table> | | | Fecha de Fabricación: | Fecha de Vencimiento: | Color: | |
| Fecha de Fabricación: | | | | | | | |
| Fecha de Vencimiento: | | | | | | | |
| Color: | | | | | | | |
| 3) SISTEMA POR ESPECIFICACION: | <input type="text"/> | | | | | | |
| 4) EQUIPO DE APLICACIÓN | - Convencional <input type="text"/> | - Brocha/ Rodillo <input type="text"/> | | | | | |
| | - Sin Aire <input type="text"/> | - Otros (especificar) <input type="text"/> | | | | | |
| 5) PREPARACION SUPERFICIAL | - SSPC-SP2 <input type="text"/> | | | | | | |
| 6) APARIENCIA DE SUPERFICIE | - Uniforme <input type="text"/> | - Rasguños / Astillas <input type="text"/> | | | | | |
| | - Ampollas <input type="text"/> | - Chorreada /Combadura <input type="text"/> | | | | | |
| | | - Agujeros /Burbujas <input type="text"/> | | | | | |
| 7) CONDICIONES AMBIENTALES | <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>Capa N°</td> </tr> <tr> <td>Fecha / Hora</td> </tr> <tr> <td>T° Ambiente</td> <td>HR %</td> </tr> </table> | | | Capa N° | Fecha / Hora | T° Ambiente | HR % |
| Capa N° | | | | | | | |
| Fecha / Hora | | | | | | | |
| T° Ambiente | HR % | | | | | | |

ACEPTADA

RECHAZADA (*)

(*) Adjuntar Protocolo de No conformidad con explicación

7) REGISTRO DE ESPESORES DE PELICULA SECA (mils)

| | | |
|--------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| a) TIPO DE MEDIDOR | - Magnético <input type="text"/> | MODELO <input type="text"/> |
| | - Digital <input type="text"/> | |

| IDENTIFICACION | | Capa | ESPESORES DE PELICULA SECA (mils) | | | | | |
|----------------|--------------|------|-----------------------------------|--|--|--------|--------|----------|
| Item | Código Elem. | | Medidas Tomadas (mils) | | | Minima | Máxima | Promedio |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

E REALIZÓ CORRECCIÓN: SI NO FECHA: _____

BSERVACIONES:

| ELABORADO POR: | REVISADO POR | SUPERVISION |
|----------------|---------------|---------------|
| Firma: _____ | Firma: _____ | Firma: _____ |
| Nombre: _____ | Nombre: _____ | Nombre: _____ |
| Fecha: _____ | Fecha: _____ | Fecha: _____ |

ANEXO C : PROCEDIMIENTO DE INSTALACION DE COBERTURA DE TECHO

EJECUCION DE LAS OBRAS CIVILES Y ELECTROMECHANICAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO

LINEA 1 : TRAMO 2 AVENIDA GRAU – SAN JUAN DE LURIGANCHO

| |
|---------------------------------|
| CONSORCIO TREN ELÉCTRICO |
| REF: N° <u>1902</u> |
| CTR. COT. <u>2212</u> |
| PLANTE <u>2428</u> |

| |
|---------------------------------|
| CONSORCIO CESEL POYRY |
| 07 MAY 2013 |
| CONTROL DOCUMENTARIO |
| N.º. <u>1154</u> |

| Rev. | Fecha | Descripción de la revisión | Preparado por | Revisado por | Aprobado por |
|------|-----------|----------------------------|---------------|--------------|--------------|
| | dd-mm-aa | | Visa | Visa | Visa |
| 01 | 08-May-13 | Aprobado para construcción | PSA | CVERLO | RHAMVI |
| 08 | 11-Abr-13 | Emitted para Revisión | PSA | CVERLO | RHAMVI |
| 0A | 12-Feb-13 | Emitted para Revisión | PSA | CVERLO | RHAMVI |

CLIENTE:



CONTRATISTA:



Este documento es propiedad del Consorcio Tren Eléctrico. Este documento no puede ser copiado o transmitido a terceros sin autorización previa.

Tipo de Documento :

PROCEDIMIENTO

Identificación de la documentación:

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----|
| D | T | E | L | C | T | E | G | E | N | Q | U | A | P | R | O | O | 1 | 3 | 5 | 0 | 1 | APC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----|


Título del Documento:

**PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN DE COBERTURA METÁLICA TR-4
EN ESTACIONES DE PASAJEROS**

Ref.:


| | | | | | |
|--|--------------------------|--------|-------------------------------------|--------|---------|
| Supervisión: CONSORCIO CESEL POYRY | Aprobado sin comentarios | Cód. 1 | <input checked="" type="checkbox"/> | Firma: | Página: |
| | Aprobado con comentarios | Cód. 2 | | | 1/14 |
| | Revisar y reenviar | Cód. 3 | | | |



| | | | | |
|---|--|--|--|------------------|
|  | EJECUCION DE LAS OBRAS CIVILES Y ELECTROMECANICAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO LINEA 1 - TRAMO 2- AV. GRAU - SAN JUAN DE LURIGANCHO | | Doc. N°: CTEL-CTE-GEN-QUA-PRO-00135 | |
| | | | Rev.: 01 | Fecha: 06-May-13 |
| | | | Pagina: 2/14 | |
| PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN DE COBERTURA METÁLICA TR-4 EN ESTACIONES DE PASAJEROS | | | | |

HOJA DE REVISIÓN

| Rev. N° | Estado | Descripción de la Revisión |
|---------|--------|---|
| 0A | EPR | Emitido para Revisión |
| 0B | EPR | Emitido para Revisión, cambios en ítems 1,2, 3 4, 4.2.2, 4.3, 4.4, 4.5 y 5. |
| 01 | APC | Aprobado para construcción, cambios en ítems 4.3.1 |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

| | | | |
|---|---|--|------------------|
|  | EJECUCION DE LAS OBRAS CIVILES Y ELECTROMECANICAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO LINEA 1 - TRAMO 2- AV. GRAU - SAN JUAN DE LURIGANCHO PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN DE COBERTURA METÁLICA TR-4 EN ESTACIONES DE PASAJEROS | Doc. N°: CTEL-CTE-GEN-QUA-PRO-00135 | |
| | | Rev.: 01 | Fecha: 06-May-13 |
| | | Pagina: 3/14 | |

INDICE

| | |
|--|----|
| HOJA DE REVISIÓN..... | 2 |
| INDICE..... | 3 |
| 1. ALCANCE Y OBJETIVO..... | 4 |
| 2. DOCUMENTO DE REFERENCIA..... | 4 |
| 3. DEFINICIONES..... | 4 |
| 4. DESCRIPCION DE ACTIVIDADES | 4 |
| 4.1 REQUISITOS PREVIOS..... | 4 |
| 4.2 RECURSOS | 5 |
| 4.2.1 Personal..... | 5 |
| 4.2.2 Equipos | 5 |
| 4.2.3 Equipo de seguridad para los trabajadores | 5 |
| 4.3 COBERTURA DE ANDENES | 6 |
| 4.3.1 Procedimiento de instalación y montaje | 6 |
| 4.4 COBERTURA DE ESCALERAS | 10 |
| 4.4.1 Procedimiento de instalación y montaje | 10 |
| 4.5 MODULACIÓN Y DETALLE DE INSTALACIÓN DE ACCESORIOS..... | 12 |
| 4.5.1 Paneles y detalles típicos: | 12 |
| 4.6 MATRIZ DE RESPONSABILIDADES DE LAS ACTIVIDADES | 14 |
| 5. ANEXOS..... | 14 |

| | | | |
|---|---|--|------------------|
|  | EJECUCION DE LAS OBRAS CIVILES Y ELECTROMECANICAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO LINEA 1 - TRAMO 2- AV. GRAU – SAN JUAN DE LURIGANCHO PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN DE COBERTURA METÁLICA TR-4 EN ESTACIONES DE PASAJEROS | Doc. N°: CTEL-CTE-GEN-QUA-PRO-00135 | |
| | | Rev.: 01 | Fecha: 06-May-13 |
| | | Pagina: 4/14 | |

1. ALCANCE Y OBJETIVO

El alcance del presente documento es describir el proceso de ejecución para la instalación de la cobertura metálica que irá sobre las estructuras metálicas de las Estaciones (cobertura PRECOR tipo TR-4).

2. DOCUMENTO DE REFERENCIA

CTEL-CTE-GEN-ARQ-SPC-14002 Especificaciones Técnicas de arquitectura-
Estaciones.

3. DEFINICIONES

| | |
|------------|---------------------------------------|
| TR4 | Coberturas de revestimiento metálico. |
|------------|---------------------------------------|


4. DESCRIPCION DE ACTIVIDADES

La instalación de los paneles TR4, para las cubiertas de las estaciones, desarrollará a forma de la estructura metálica diseñada como soporte de la cubierta y la escalera. Los paneles de la cobertura del Andén son curvos según planos de cada estación (ver plano anexo referencial). Los paneles de la cobertura de la escalera son planos.

La instalación de la cubierta del Andén, será con el valle del panel en forma perpendicular al eje de la vía. Para las escaleras la dirección del valle será en forma paralela del eje de la vía.

4.1 REQUISITOS PREVIOS

- Planos de Modulación de la cobertura, y de los accesorios con su respectivo detalle de instalación.
- Listado de cantidades de paneles, accesorios y elementos de fijación.
- Planeamiento y programación de la secuencia de montaje de la cobertura.
- Adecuado acceso hacia los puntos donde se armarán los andamios y para el ingreso de los elevadores articulados.
- Contar con los documentos de recepción de los elementos y accesorios estructurales.
- Contar con el personal capacitado, equipo adecuado y herramientas para un eficiente montaje de las coberturas.

| | | | |
|---|---|--|------------------|
|  | EJECUCION DE LAS OBRAS CIVILES Y ELECTROMECANICAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO LINEA 1 - TRAMO 2- AV. GRAU – SAN JUAN DE LURIGANCHO PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN DE COBERTURA METÁLICA TR-4 EN ESTACIONES DE PASAJEROS | Doc. N°: CTEL-CTE-GEN-QUA-PRO-00135 | |
| | | Rev.: 01 | Fecha: 06-May-13 |
| | | Pagina: 5/14 | |

4.2 RECURSOS

4.2.1 Personal

a) Cuadrilla Típica

- Supervisor de Cobertura
- Capataz de Montaje (01)
- Técnicos Montajistas (04)
- Ayudantes (04)
- Operador de equipo (manlift, telehandler)

b) Calificación Necesaria

Se requiere que el encargado de manejar un equipo de producción directa tenga comprobada capacidad en el mismo y que un miembro de la cuadrilla tenga experiencia en armado de andamios. Los integrantes de la cuadrilla deben conocer sobre el proceso general de armado de andamios e instalación de coberturas.

Los miembros de la cuadrilla, deben estar capacitados para trabajos en altura, con experiencia preferentemente.

4.2.2 Equipos

Los principales equipos utilizados son los siguientes:

- Torres de iluminación (trabajo nocturno),
- Camión Grúa con brazo de 20 mts.,
- Andamios tipo ULMA o similar con certificación,
- Elevador articulado (manlift ó telehandler),
- Escalera telescópica,
- Aparejos de izaje (eslingas, grilletes, poleas, prensas),
- Atornilladoras eléctricas,
- Remachadoras,
- Sierras caladoras,
- Alicates de presión,
- Maletín de herramientas de montaje,

4.2.3 Equipo de seguridad para los trabajadores

- Arnés,
- Línea retráctil,
- Fajas de seguridad,
- Línea de vida,

| | | | |
|---|---|--|------------------|
|  | EJECUCION DE LAS OBRAS CIVILES Y ELECTROMECANICAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO LINEA 1 - TRAMO 2- AV. GRAU – SAN JUAN DE LURIGANCHO PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN DE COBERTURA METÁLICA TR-4 EN ESTACIONES DE PASAJEROS | Doc. N°: CTEL-CTE-GEN-QUA-PRO-00135 | |
| | | Rev.: 01 | Fecha: 06-May-13 |
| | | Pagina: 6/14 | |

- Postes para línea de vida,
- Grapas de acero,
- Botiquín de primeros auxilios.

4.3 COBERTURA DE ANDENES

4.3.1 Procedimiento de instalación y montaje

Los métodos usados para el transporte de las planchas (paneles) serán coordinados con supervisión, buscando salvaguardar el buen estado de los mismos. Cualquiera sea el método de izaje de los paneles para ubicarlos sobre los andenes, se garantizará que los elementos no sufran maltrato o deterioro alguno.

A continuación describimos el procedimiento de instalación y montaje:

1. Replanteo en obra para verificar que las medidas de las estructuras metálicas estén de acuerdo a los planos de modulación de cobertura.
2. Identificar posibles riesgos con el cableado de alta – media y baja tensión aledaños a las áreas de instalación de coberturas.
3. Armado de andamios siguiendo los procedimientos y recomendaciones del proveedor de andamios (ULMA).
4. Instalación de líneas de vida en la parte superior de la estructura, consistente en columnas de 0.50 m de tubo de 4" con bridas de plancha de 5/8", perforación de 1/2" en la parte superior y 04 espárragos de 5/8" de diámetro cada una, instaladas cada 10 m aproximadamente dependiendo de la modulación de las estructuras, estas estructuras irán unidas por un cable de acero de 1/2" con grapas de acero de acuerdo a estándares.



Foto Referencial: Anclaje en línea de Vida

| | | | |
|---|---|--|------------------|
|  | EJECUCION DE LAS OBRAS CIVILES Y ELECTROMECANICAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO LINEA 1 - TRAMO 2- AV. GRAU – SAN JUAN DE LURIGANCHO PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN DE COBERTURA METÁLICA TR-4 EN ESTACIONES DE PASAJEROS | Doc. N°: CTEL-CTE-GEN-QUA-PRO-00135 | |
| | | Rev.: 01 | Fecha: 06-May-13 |
| | | Pagina: 7/14 | |



Foto Referencial: Armado de andamio de acceso en Anden

5. Toma de medidas, replanteo y ejecución de marcas referenciales que servirán de alineamiento de los paneles de cobertura.
6. Selección de material: paneles y accesorios, que serán utilizados en una jornada de trabajo.
7. El Acopio del material seleccionado en los andenes se realizará usando el camión grúa.
8. La instalación de los paneles se realizará con el file protector, solo se descubre la zona de montaje donde se montará el panel siguiente; se retirará todo el file plástico durante los 3 días siguientes de instalado el panel, no lo deje expuesto, el sol y el aire lo pegarian al panel dañándolo, creando un efecto de vulcanización del plástico sobre el panel.
9. Fijación de poleas en la parte superior de la estructura mediante eslingas de izaje y grilletes para izaje de los paneles sobre la cobertura.



Fotos Referenciales: Protección de estructura metálica para izaje de paneles

10. Delimitar un área de seguridad en la parte baja (primer nivel) para evitar posibles lesiones por caída de objetos.
11. Se fijará un panel con 2 prensas de izaje a los extremos de la parte superior y una driza como viento en la parte inferior.



12. Se pasarán las soga dentro de las poleas (driza de ½") y corridas por sobre la estructura de la cobertura hasta aproximadamente la mitad. Luego se fijará al panel mediante las prensas.
13. Izar los paneles hacia su ubicación final.
14. Instalación de tornillos auto perforantes utilizando el manlift para los primeros 6 m de la cobertura (empezando de la parte inferior a la superior). Los últimos 4 o más metros de la parte superior serán instalados por medio de andamios que tendrán voladizos y contrapesos (evitando en lo posible subir sobre la cobertura).



**EJECUCION DE LAS OBRAS CIVILES Y
ELECTROMECANICAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE
TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO
LINEA 1 - TRAMO 2- AV. GRAU - SAN JUAN DE LURIGANCHO**

**PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN DE COBERTURA
METÁLICA TR-4 EN ESTACIONES DE PASAJEROS**

Doc. N°:
CTEL-CTE-GEN-QUA-PRO-00135

Rev.: 01

Fecha: 06-May-13

Página: 9/14

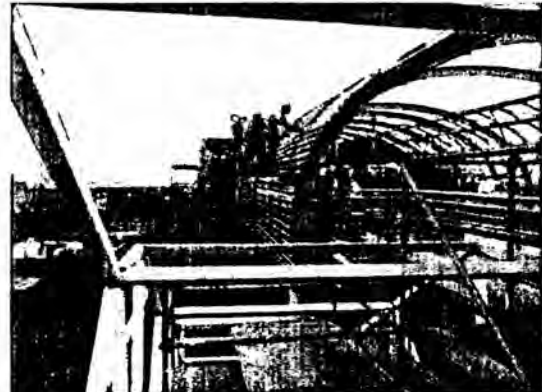
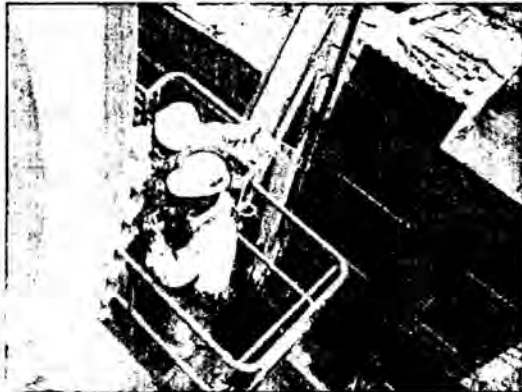


Foto Referencial: Uso de equipos elevadores, para transporte de personal en la etapa de fijación de paneles por la parte exterior.

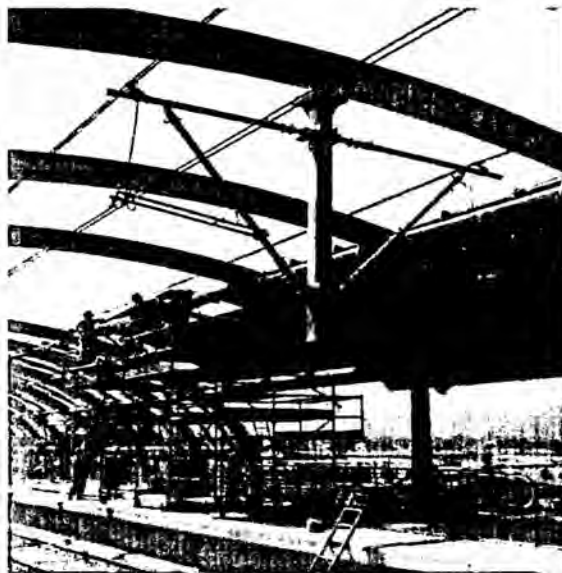


Foto Referencial: Acceso de personal, para la instalación de paneles y accesorios en la parte superior de la cobertura.

15. Para la instalación de las cenefas se utilizarán escaleras telescópicas y la línea de vida instalada sobre la estructura debiendo subir sobre la cobertura utilizando todos los elementos de seguridad necesarios.



Foto Referencial: Acceso para instalación de accesorios en el extremo de la cobertura.

16. La instalación del remate en la parte baja, se realizará mediante equipos elevadores



Foto Referencial: Acceso con elevadores para instalación de accesorios y canaletas de borde.

17. Entrega del área trabajada al supervisor con protocolo QUA-PRO-00135-F1.

4.4 COBERTURA DE ESCALERAS

4.4.1 Procedimiento de instalación y montaje

1. Replanteo en obra para verificar que las medidas de las estructuras metálicas estén de acuerdo a los planos de modulación de cobertura.
2. Identificar posibles riesgos con el cableado de alta – media y baja tensión aledaños a las áreas de instalación de coberturas.



**EJECUCION DE LAS OBRAS CIVILES Y
ELECTROMECANICAS DEL SISTEMA ELECTRICO DE
TRANSPORTE MASIVO DE LIMA Y CALLAO
LINEA 1 - TRAMO 2- AV. GRAU - SAN JUAN DE LURIGANCHO**

**PROCEDIMIENTO DE INSTALACIÓN DE COBERTURA
METÁLICA TR-4 EN ESTACIONES DE PASAJEROS**

Doc. N°:
CTEL-CTE-GEN-QUA-PRO-00135

Rev.: 01

Fecha: 06-May-13

Página: 11/14

3. Armado de andamios siguiendo los procedimientos y recomendaciones del proveedor de andamios (ULMA).
4. Toma de medidas, replanteo y ejecución de marcas referenciales que servirán de alineamiento de los paneles de cobertura.
5. Selección de material: paneles y accesorios, que serán utilizados en una jornada de trabajo.
6. Acopio de material seleccionado en una área cercana a la base de la escalera.
7. Delimitar un área de seguridad en la parte baja (primer nivel) para evitar posibles lesiones por caída de objetos.
8. El personal se encontrará adecuadamente enganchado a la estructura de la escalera mediante fajas de seguridad y líneas retráctiles.



9. Los paneles se instalarán de la parte baja hacia la parte superior de la escalera manualmente y se colocaran en todo lo ancho de la escalera para su correcta modulación.
10. El personal usará maderas para apoyarse sobre los paneles, con la finalidad de distribuir uniformemente su peso sobre ellos.
11. En el primer panel del lado lateral se colocarán los tornillos autorroscantes utilizando un manlift o telehandler. Para los paneles siguientes, el personal subirá sobre el panel ya fijado, anclándose a la estructura de la escalera para continuar con la instalación de

todos los paneles. Este procedimiento se repetirá en cada sección de la escalera.

12. Para la instalación de los accesorios de los costados de la escalera (cenefas y remates) se utilizara un equipo (manlift o telehandler); y para los accesorios sobre la cobertura de la escalera (tapajuntas y remates) el personal subirá sobre la cobertura ya fijada, accediendo a esta mediante una escalera o andamio correctamente fijado.

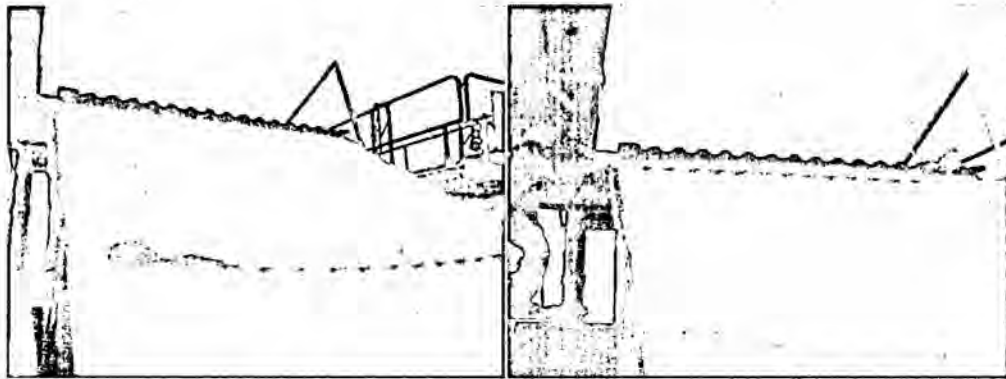


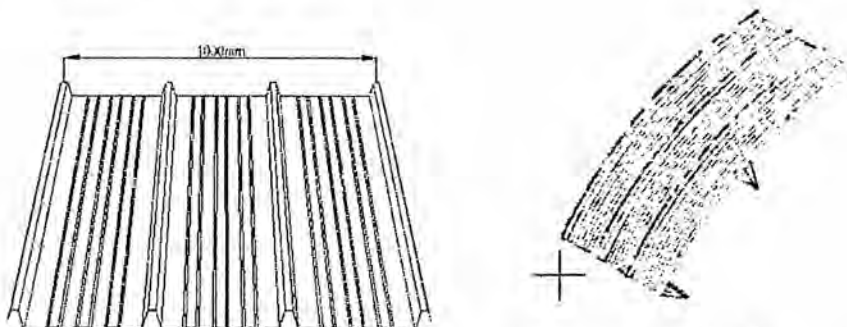
Foto Referencial: Colocación de tapajuntas en escaleras

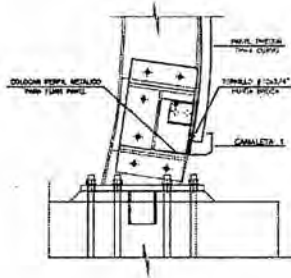
13. Entrega del área trabajada al supervisor con protocolo QUA-PRO-00135-F1.

4.5 MODULACIÓN Y DETALLE DE INSTALACIÓN DE ACCESORIOS

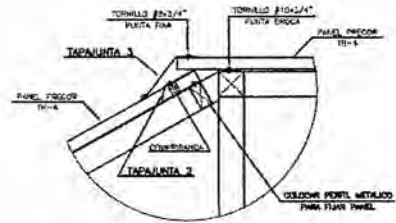
Los planos de modulación y detalle serán enviados a supervisión, antes del inicio de la fabricación.

4.5.1 Paneles y detalles típicos:

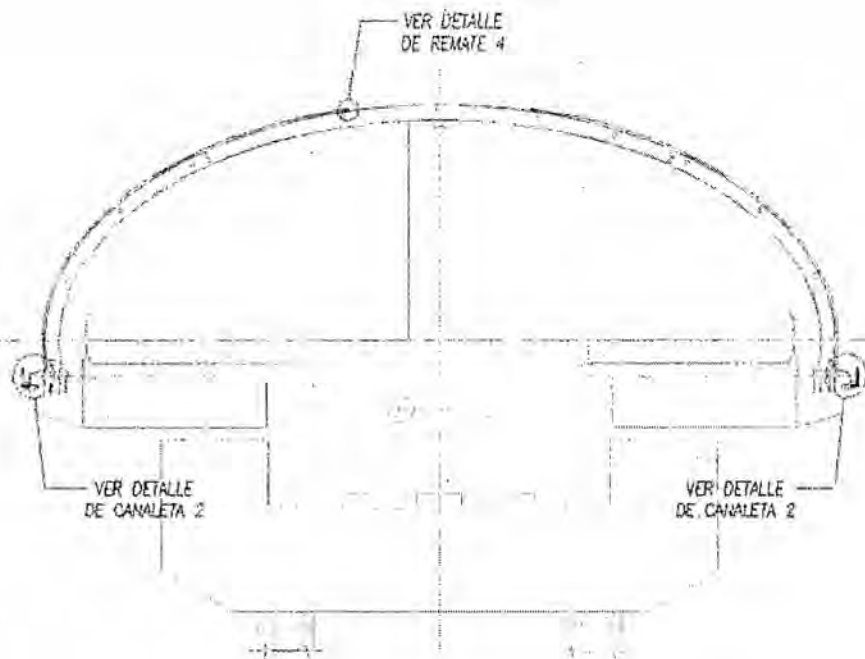




DETALLE DE CANALETA 1
 ESCALA 1:1/16



DETALLE DE TAPA JUNTA 2/TAPA JUNTA 3
 ESCALA 1:1/16



4.6 MATRIZ DE RESPONSABILIDADES DE LAS ACTIVIDADES

| Actividades | | Calidad | Producción | Seguridad |
|-------------|--|---------|------------|-----------|
| 1 | Revisión de planos y replanteo de obra | X | X | |
| 2 | Identificación de riesgos | | X | X |
| 3 | Armado de andamios | | X | X |
| 4 | Instalación de líneas de anclaje y de vida | | X | X |
| 5 | Toma de medidas de planchas y verificación de material | | X | |
| 6 | Preparación de planchas e izaje manual | | X | |
| 7 | Instalación de paneles y accesorios | | X | |
| 8 | Verificación de alineamiento de paneles y accesorios | X | X | |
| 9 | Entrega de área trabajada | | X | |
| 10 | Inspección y liberación final | X | | |

5. ANEXOS

ANEXO A – PROTOCOLO DE LIBERACION Y ENTREGA DE MONTAJE DE COBERTURAS METALICAS: QUA-PRO-00135-F1.

ANEXO B – MANUAL DE INSTALACIÓN DE PANELES METÁLICOS PRECOR – REFERENCIAL.

ANEXO C – PLANO DE MODULACIÓN PARA ESTACIÓN BAYOVAR - REFERENCIAL.

| | | |
|---|--|--|
|  | REGISTRO | QUA-PRO-00135-F1 |
| | CONTROL DE CALIDAD | Revisión: 01 |
| | MONTAJE DE COBERTURAS METALICAS | Fecha: 06-May-13 Página: 1 de 1 |

| | |
|-------------------------------|------------------------|
| NOMBRE DEL PROYECTO: | N° CORRELATIVO: |
| CLIENTE / SUPERVISION: | FECHA: |
| PLANO REF.: | ESTACION: |
| CONTRATISTA: | |
| ELEMENTOS: | |

| ITEM | DETALLE DE INSPECCIÓN | SI | NO | N/A | OBSERVACIONES |
|------|---|----|----|-----|---------------|
| 1 | Certificados de calidad de los materiales. | | | | |
| 2 | Planos de montaje. | | | | |
| 3 | Color y espesor de película seca de pintura de cobertura. | | | | |
| 4 | Elementos de fijación conformes. | | | | |
| 5 | Instalación de planchas metálicas de cobertura. | | | | |
| 6 | Verificación de longitud mínima de traslapes. | | | | |
| 7 | Verificación alineamiento de paneles y accesorios. | | | | |
| 8 | Retiro de lámina plástica. | | | | |
| 9 | Limpieza general de coberturas. | | | | |
| 10 | Conformidad final del montaje de las coberturas | | | | |
| 11 | Otros | | | | |

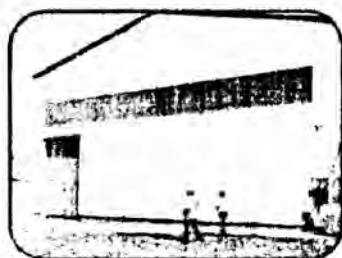
COMENTARIOS

| ELABORADO POR: | REVISADO POR: | SUPERVISION: |
|----------------|---------------|--------------|
| Firma: | Firma: | Firma: |
| Nombre: | Nombre: | Nombre: |
| Fecha: | Fecha: | Fecha: |

Manual de Instalación

PANELES METALICOS

PRECOR
SISTEMA DE CONSTRUCCIÓN EN ACERO



**OPTIMO ACABADO
Y MAYOR RESISTENCIA ESTRUCTURAL
EN COBERTURAS Y REVESTIMIENTOS**

INTRODUCCIÓN

SISTEMA DE PANELES METÁLICOS PRECOR

Las coberturas y revestimientos metálicos PRECOR están fabricados a partir de láminas de acero laminado plano. Mediante un proceso de perfilado, denominado ROLLFORMING, se genera la geometría característica de cada panel. Se suministran en tres diferentes grados de recubrimiento: galvanizado, zincaluz y zincaluz pre-pintado.

TIPOS DE PANELES

1 TECNOTECHO TR-4

Este compuesto por cuatro trapecios, también denominados nervios y debido a las ventajas del mercado este panel ha sido desarrollado para cumplir con los diseños más recientes de coberturas y cerramientos laterales. Debido a su configuración geométrica versátil, transmite mayor rigidez y resistencia estructural.



2 TECNOTECHO TR-4 CURVO

Este panel prefabricado con radios de curvatura de acuerdo a los requerimientos del proyecto, lo que le otorga un alto valor estético y un excelente comportamiento estructural para cubrir pequeñas y grandes luces; además de ser utilizado como elemento de remate y cubierta y revestimiento de fachada.



3 TECNOTECHO TR-6

Su novedoso diseño de 6 trapecios simétricos, ofrece mayor resistencia estructural, dando de esta forma mayores luces, y por lo tanto mayor espaciamiento entre apoyos. Óptimo para cumplir con los diseños de coberturas y cerramientos laterales más modernos del mercado, ya que al tener una geometría simétrica posee un mejor comportamiento estructural, logrando una mayor resistencia por ambos lados del panel frente a la acción del viento.



4 TECNOTECHO CT

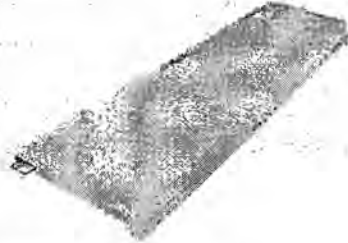
Los paneles de largo continuo y junta vertical "standing seam", cuyo perfil arquitectónico, mediante fijaciones invisibles y uniones embaladas mecánicamente, se combinan para formar como resultado techos atractivos, totalmente herméticos y de fácil instalación.

En aquellas aplicaciones para las cuales la hermeticidad es un requerimiento principal, los paneles pueden usarse exitosamente incluso en techos casi planos con pendientes tan bajas como 2%.



1.2.5 TECNOPANEL CC

Los paneles se suministran en dos modelos: CC-15 y CC-30, con anchos útiles de 150 y 300mm respectivamente. Su exclusivo sistema de engrapado y fijación oculta, permite una instalación rápida y sencilla, conservando la limpieza de la superficie. Son ideales para cubrir fachadas de edificios comerciales, oficinas, en la elaboración de frisos corporativos y en general en aquellas aplicaciones donde se requiera un revestimiento moderno, durable y original.

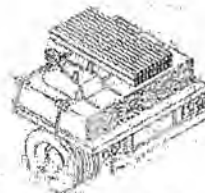


1.3 TRANSPORTE Y DESCARGA EN OBRA

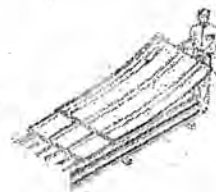
Al seleccionar el transporte, verifique que la superficie sea lisa y libre de elementos salientes o cortantes, para evitar posibles alabeos y deflexiones que se puedan generar en los paneles. Es conveniente apoyar los paquetes sobre listones de madera distanciados a 1.5 mt. entre sí.

Se deberá inspeccionar la carga enviada siguiendo las recomendaciones siguientes:

- Inspeccionar globalmente la carga. Si está intacta, una inspección ordinaria durante la descarga bastará normalmente para asegurarse de que los paneles se han recibido sin daños.
- Si la carga muestra indicios de haber sido maltratada, inspeccionar cuidadosamente cada panel para observar si existen daños. Generalmente, una inspección exterior basta para detectar cualquier desperfecto.
- Comprobar con la guía de remisión las cantidades de cada tipo de paneles.
- No adicionar otro tipo de carga sobre los paquetes de paneles metálicos PRECOR.



No cargar los paneles con otros materiales



No flexionar los paneles, nunca realizar un panel sobre otro



Transportar en forma horizontal

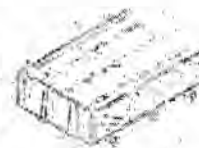
1.4 ALMACENAMIENTO EN OBRA

La zona de almacenaje de los paneles PRECOR, debe ser sobre una superficie nivelada, plana y a la vez libre de humedad.

El almacenamiento debe tener una altura máxima de 1.20m y con apoyos cada 1.5m de distancia.



Apilamiento de paneles



Mantener los paneles cubiertos



No almacenar en alturas expuestas a caídas de objetos sobre los paneles, virutas, soldadura, etc.



MONTAJE - INSTALACIÓN

PREVIO AL MONTAJE

Los pórticos o estructuras deben estar alineados y aplomados antes de iniciar el montaje.

Toda imperfección en la estructura se hará evidente en el panel.

Las correas de techo y los largueros de pared deben estar alineados.

Los arriostres y templadores ajustados y en la posición correcta.

Debe verificarse la pendiente del techo, el cual siempre debe tener una pendiente mayor al 5%, a excepción de Tecno techo CT que será del 2%.

En caso que los paneles se apliquen como revestimiento de muro los zócalos deben tener un ángulo mínimo de inclinación, para evitar que el agua se empoce.

ELEMENTOS DE FIJACIÓN

1. FIJACIÓN

Se deberá observar la compatibilidad entre materiales pues si bien algunas aleaciones son si muy resistentes a la corrosión, al ajustarse con el acero pre-pintado pueden formar pila galvánica y generar corrosión en muy corto plazo.

El acero inoxidable, plomo, cobre y sus aleaciones nunca deben ser utilizados para fijar el panel de acero pre-pintado. Lo ideal es utilizar fijaciones de acero galvanizado y darles mano de pintura epóxica o resina de uretano luego de ser instalados, en la brevedad posible.

Los remaches deben ser de aluminio y bajo ningún concepto de acero inoxidable.

El uso de arandela de neopreno es imprescindible, pero nunca neopreno que contenga material de relleno negro de carbono.

2 REMACHE 5/32"

Las fijaciones de los accesorios, normalmente van cada 600mm como máximo.

3 TORNILLO #8x1/2" CABEZA PAN

Se fijan los clips de fijación en el caso del panel CT y fijación del panel CC sobre la estructura.

4 TORNILLO #10x3/4" Y ARANDELA CON NEOPRENE

Se fijan sobre correas y nervios montantes del panel TR-4 y TR-4 CURVO.

5 TORNILLO #14x1" Y ARANDELA CON NEOPRENE

Se fijan sobre correas y nervios montantes del panel TR-6.

MONTAJE - INSTALACIÓN DEL PANEL TR-4

Las fijaciones se colocarán en cada correa y sobre los nervios montantes con tornillos #3/4" y arandela con neopreno y se deberá tomar las siguientes consideraciones:

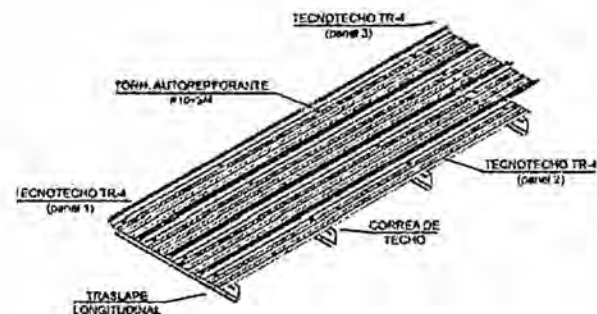
En los extremos y traslape, sobre correas, se deberá colocar 4 tornillos #10x3/4 por lado.

En las fijaciones intermedias se deberá colocar 3 tornillos #10x3/4 por lado.

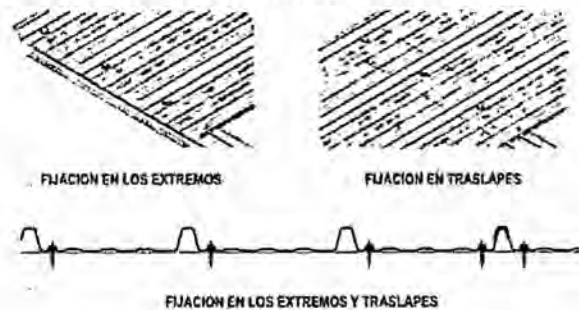
Las fijaciones sobre los nervios montantes se deberán colocar máximo cada 750mm.

1 FIJACIÓN DEL PANEL TR-4

En caso de zonas muy lluviosas o nevadas se recomienda el uso de cinta butil en los traslapes longitudinales y transversales.



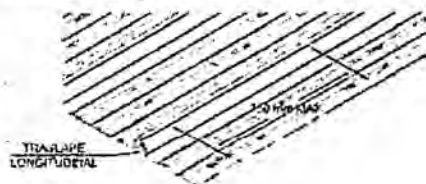
2.3.2 FIJACIÓN EN LOS EXTREMOS Y TRASLAPES DEL PANEL TR-4



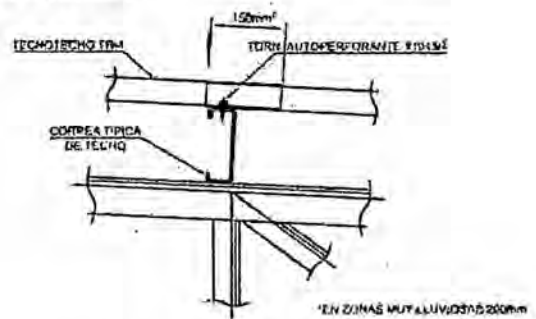
2.3.3 FIJACIÓN EN LAS CORREAS INTERMEDIAS DEL PANEL TR-4



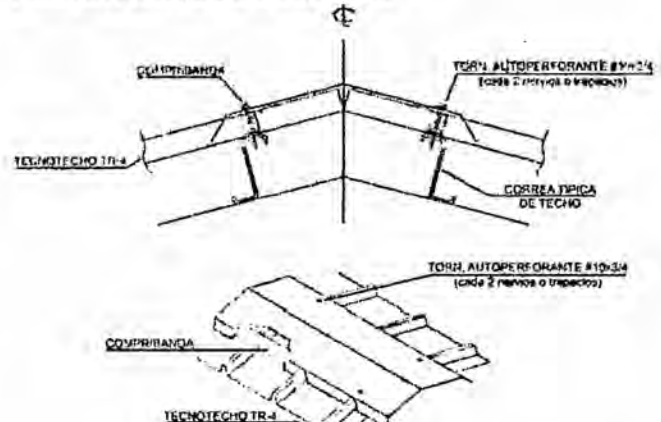
2.3.4 FIJACIÓN EN EL TRASLAPE LONGITUDINAL DEL PANEL TR-4



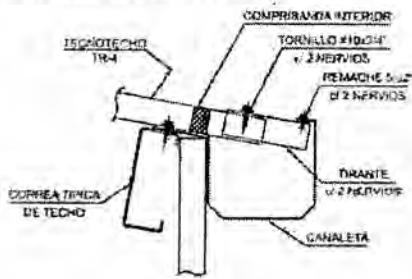
2.3.5 DETALLE DE TRASLAPE



2.3.6 DETALLE DE INSTALACIÓN DE CUMBRERA



1.7 DETALLE DE INSTALACIÓN DE CANALETA

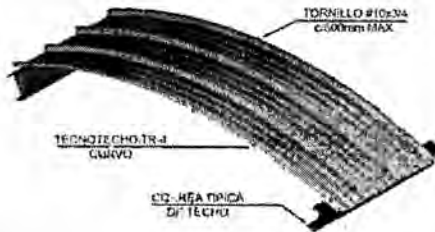


MONTAJE-INSTALACIÓN DEL PANEL TR-4 CURVO

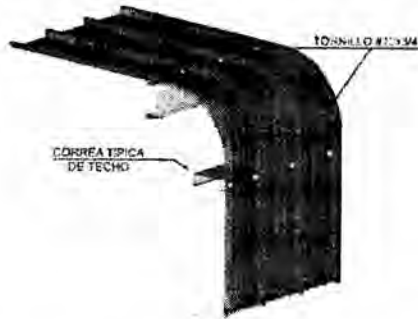
to el montaje que se realiza mediante el traslape transversal y las fijaciones son las más recomendadas para el panel TR-4 recto.

1 DETALLE DE FIJACIÓN

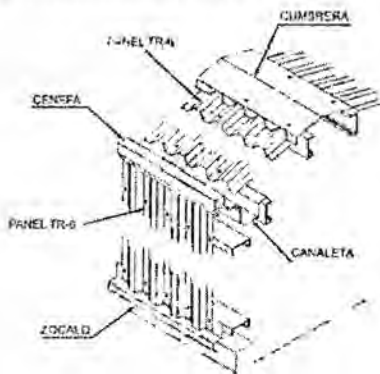
caso de zonas muy lluviosas o de nieve se recomienda el uso de cinta bñtil en los laps longitudinales y transversales.



2 DETALLE DE INSTALACIÓN COMO REMATE ENTRE CUBIERTA Y MURO

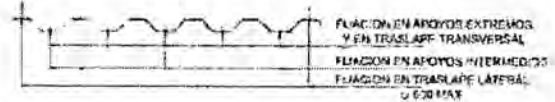
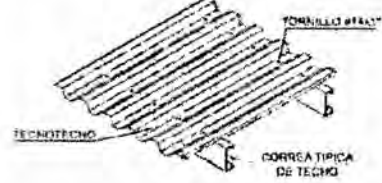


MONTAJE-INSTALACIÓN DEL PANEL TR-6

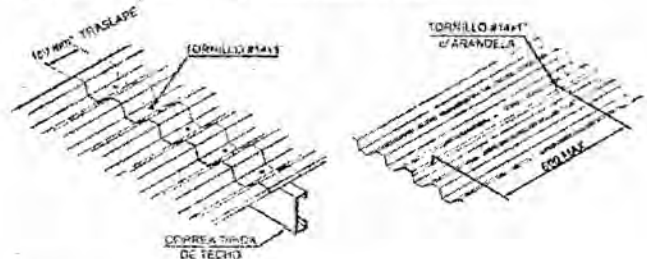


2.5.1 DETALLE DE FIJACIÓN DE PANEL TR-6

En caso de zonas muy lluviosas o de nieve se recomienda el uso de cinta bñtil en los traslapes

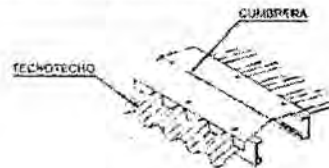


2.5.2 DETALLE DE TRASLAP ENTRE PANELES TR-6

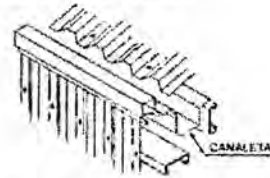


*EN ZONAS MUY LLUVIOSAS 290mm

2.5.3 DETALLE DE CUMBRERA DEL PANEL TR-6



2.5.4 DETALLE DE CANALETA DEL PANEL TR-6

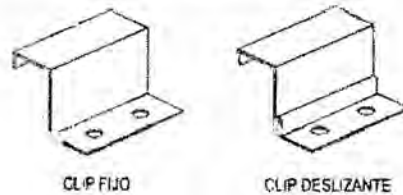


2.6 MONTAJE-INSTALACIÓN DEL PANEL CT

2.6.1 CLIPS DE FIJACIÓN DEL PANEL CT

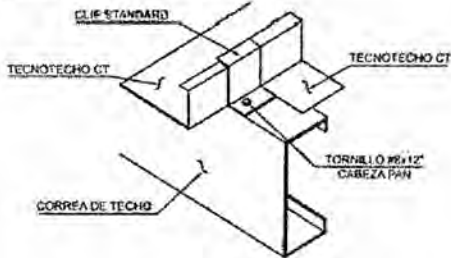
Son los que permiten acomodar eficientemente las deformaciones del techo por temperatura.

TIPOS DE CLIPS FIJACION



¿DETALLE DE FIJACIÓN DEL PANEL CT

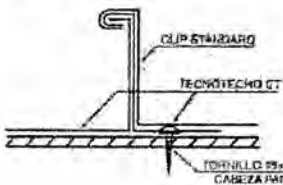
Se fijarán solo los clips, con esto se evita perforar el panel y eliminar el riesgo de fugas, goteras y puntos de corrosión.



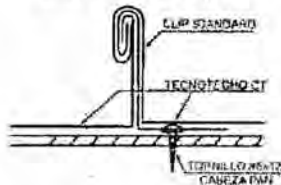
¿SISTEMA DE SELLO POR EMBALLETADO DEL PANEL CT

El sistema de sellado es por medio del emballeteado mecánico pudiendo ser de 90° o 180°.

EMBALLETADO A 90°



EMBALLETADO A 180°



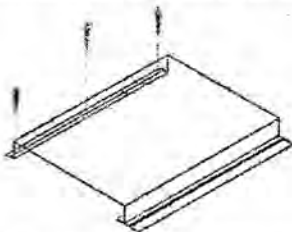
EMBALLETADO MECÁNICO



¿MONTAJE-INSTALACIÓN DEL PANEL CC

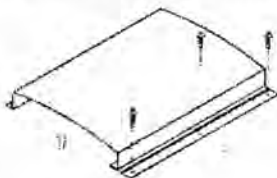
FIJACIÓN DEL PANEL CC

1) Fijar el extremo del ala lisa con tornillos auto perforantes de cabeza pan.

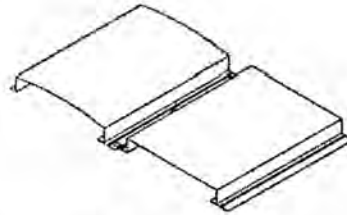


2) ejercer presión al panel, formando un arco. Fijar el ala moleteada con tornillos perforantes. Esto es para evitar futuras ondulaciones de la cara lisa, a expandirse con el tiempo.

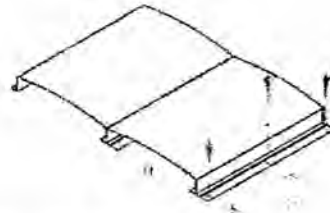
Para conservar el alineamiento uniforme del arco de todos los paneles, se recomienda un cordel bien templado-atiesado a lo largo de la fachada durante la instalación.



PASO 3; Insertar el ala lisa del siguiente panel en el fijado. Empaime Clip on.

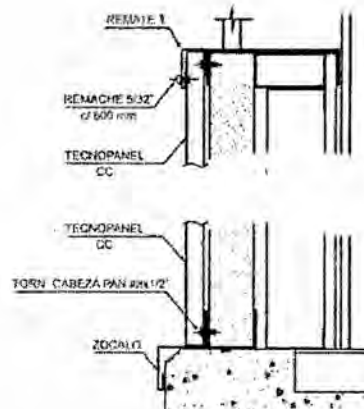


PASO 4; repetir la operación del paso 2. Dando así de una manera rápida y sencilla, una superficie limpia con fijaciones ocultas.

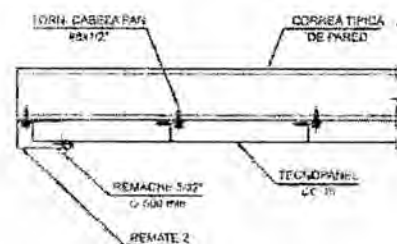


2.7.2 DETALLE DE INSTALACIÓN DE REMATE 1 Y ZOCALO DEL PANEL CC

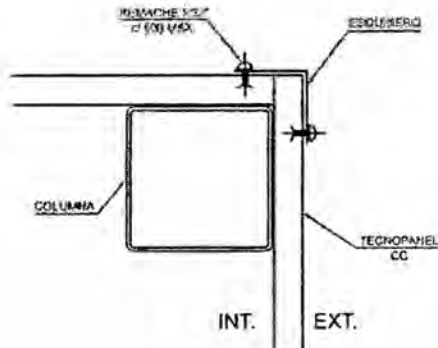
Los zócalos deben tener un ángulo mínimo de inclinación, para evitar que el agua se empoce.



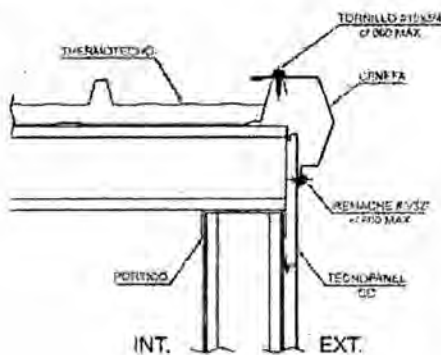
2.7.3 DETALLE DE INSTALACIÓN DE REMATE 2 DEL PANEL CC



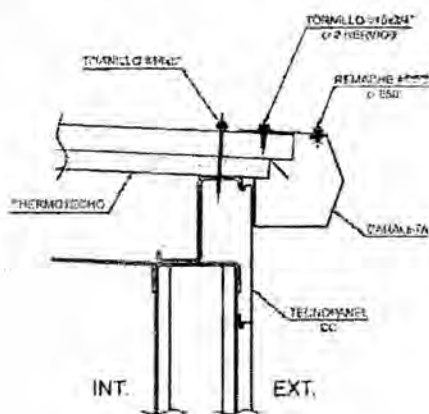
2.7.4 DETALLE DE INSTALACIÓN DE ESQUINERO DEL PANEL CC



2.7.5 DETALLE DE INSTALACIÓN DE CENEFA DEL PANEL CC



2.7.6 DETALLE DE INSTALACIÓN DE CANALETA DEL PANEL CC



III. TIPS DE MONTAJE-INSTALACION

3.1 CORTE DE LAS LÁMINAS EN OBRA

Hacer los cortes necesarios al panel solo con sierra caladora, nunca utilice esmeril angular, ya que el acero molido y el corte imperfecto producirá corrosión en el panel. Retirar la viruta metálica de la superficie y extremo de los paneles para evitar la presencia de material corrosivo.



3.2 ASEO Y TERMINACIÓN

Instale los paneles con el foil protector, solo descubra la zona de montaje donde se montará el panel siguiente; retire todo el foil plástico durante los 3 días siguientes de instalado el panel, no lo deje expuesto, el sol y el aire lo pegarian al panel dañándolo, creando un efecto de vulcanización de plástico sobre el panel.

Después de retirar el foil plástico realice un aseo general de los paneles, preferentemente fos que vayan como cubierta.

3.3 CONTROL DE ESTANQUEIDAD

Una vez terminada la instalación de los paneles que vayan como cubierta realice un control de estanqueidad con agua, revisando sellos, uniones, anclajes, hojalaterías, fijaciones, soldas de ductos, etc.

3.4 RECOMENDACIONES GENERALES SOBRE PRODUCTOS PRE-PINTADOS

3.4.1 ELIMINACIÓN DE VIRUTAS

Estas partículas nunca deberán dejarse sobre la superficie pintada, estas provocarán de inmediato manchas de óxido, las cuales se confunden muchas veces con fallas del material y que dañan el recubrimiento protector de la pintura.

Después de cada jornada diaria de trabajo, la viruta debe ser barrida y retirada totalmente de la superficie pintada previendo la aparición de corrosión prematura.

3.4.2 PROTECCIÓN DE LOS BORDES EXPUESTOS

Los bordes expuestos automáticamente son recubiertos por la acción galvanica del zinc, que forma un compuesto sobre el acero, sin embargo en ambientes corrosivos severos recomendamos aplicar con esponja sobre los bordes expuestos una capa de PRIMER ACRILICO y una segunda capa de pintura RESINA DE URETANO.

En climas agresivos o costeros se debe seguir las mismas recomendaciones de pintado a los tornillos.

3.4.3 MANTENIMIENTO

En los climas en que la lluvia natural haga este trabajo de limpieza, este cuidado debería ser realizado cada año.

En caso que la lluvia natural no sea suficiente para desprender el polvo y las impurezas adheridas a la pintura, se requiere de un lavado cada 6 meses.

En zonas costeras, donde hay alta salinidad y en zonas industriales donde hay sólidos en suspensión, el lavado se recomienda cada 3 meses.

De la misma forma como se lava la pintura de un automóvil, el lavado con agua a presión utilizando mangueras será suficiente para efectuar una correcta limpieza.

En caso esto no sea suficiente, será necesario aplicar una solución de jabón puro y detergente no abrasivo-no iónico aplicado con un paño suave o esponja, para luego lavar inmediatamente con agua, eliminando todo residuo del limpiador utilizado.

ANEXO D : PLANOS DE DISEÑO

ANEXO E : PLANOS DE FABRICACIÓN Y MONTAJE

ANEXO F : REPORTE FOTOGRAFICO DE FABRICACIÓN Y MONTAJE

