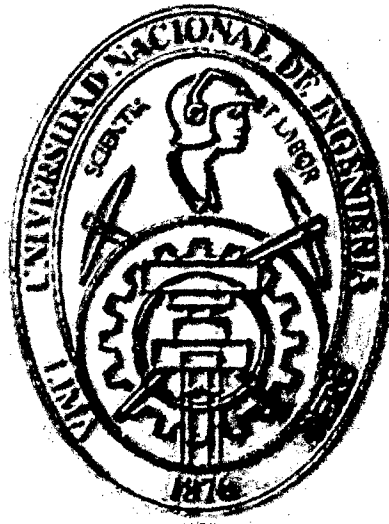


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**PROCESO CONSTRUCTIVO DE VIADUCTO  
ELEVADO CON VIGAS CAJÓN POSTENSADAS EN  
TRAMO CURVO DEL PROYECTO TREN ELÉCTRICO**

**TOMO I**

**TESIS**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**JOSE ALEXANDER ORDOÑEZ GUEVARA**

**Lima- Perú**

**2012**

**Digitalizado por:**

**Consortio Digital del  
Conocimiento MebLatam,  
Hemisferio y Dalse**

## ÍNDICE

<b>RESUMEN.....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE TABLAS.....</b>	<b>9</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>10</b>
<b>LISTA DE CUADROS.....</b>	<b>12</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>13</b>

### **CAPÍTULO I: ASPECTOS GENERALES**

<b>1.1 CONSTRUCCION DE VIADUCTOS ELEVADOS .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2 VIAS PARA TRENES.....</b>	<b>17</b>
1.2.1 Vía Férrea.....	17
1.2.2 Elementos de la Infraestructura.....	18
1.2.2.1 Aparato de Vía.....	18
1.2.2.2 Balasto.....	18
1.2.2.3 Catenaria.....	18
1.2.2.4 Riel.....	18
1.2.2.5 Sub estructura Ferroviaria.....	19
1.2.3 Factores Influyentes en la Construcción de Viaductos Elevados.....	19
1.2.3.1 Los retos de la Nueva Década.....	19
1.2.3.2 Estudio de Impacto Ambiental .....	20
1.2.3.3 Estudio de Cimentación .....	20

### **CAPÍTULO II: CONDICIONES DEL PROYECTO**

<b>2.1 SITUACION GEOGRAFICA.....</b>	<b>21</b>
2.1.1 Ubicación.....	21
2.1.2 Aspectos Climáticos y Vegetación.....	22
2.1.3 Condiciones del Sitio .....	23
<b>2.2 CONDICIONES GENERALES DEL VIADUCTO ELEVADO.....</b>	<b>26</b>
2.2.1 General.....	26
2.2.2 Cimentación.....	27
2.2.3 Columnas y Cabezales.....	27

2.2.4 Tablero.....	29
2.2.5 Dispositivos de restricción y Aparatos de Apoyo.....	29
2.2.6 Normas de Diseño.....	31

### **CAPÍTULO III: MARCO TEORICO**

3.1 CONSTRUCCION DE ZAPATAS.....	33
3.1.1 Zapata Aislada Cuadra .....	34
3.1.2 Zapata Aislada Circular .....	35
3.1.3 Zapata Corrida.....	36
3.1.4 Cimentaciones Profundas.....	36
3.2 TIPOS DE COLUMNAS PARA VIADUCTO.....	38
3.3 TIPO DE VIGAS LONGITUDINALES PARA VIADUCTO.....	41
3.4 CONCRETO PARA ESTRUCTURAS ESPECIALES.....	47
3.4.1 Estructuras del Viaducto.....	47
3.4.1.1 Zapatas.....	48
3.4.1.2 Columnas.....	48
3.4.1.3 Vigas Cabezal.....	48
3.4.1.4 Tableros.....	49
3.4.1.5 Losa.....	50
3.4.2 Clases de Concreto.....	50
3.4.3 Diseño de Mezcla.....	51
3.4.4 Producción de Concreto.....	52
3.4.5 Elaboración de la Mezcla.....	53
3.4.6 Colocación de Concreto.....	53
3.4.7 Consolidación (Vibrado).....	54
3.4.8 Curado .....	54
3.5 SONNEVILLE.....	56
3.5.1 Ventajas del Sistema.....	58
3.5.2 Versiones.....	58

## **CAPÍTULO IV: CONFIGURACION DEL VIADUCTO**

4.1 INFORMACION GEOTECNICA.....	61
4.1.1 Parámetros Geotécnicos.....	61
4.1.2 Parámetros de Elasticidad.....	61
4.1.3 Capacidad Admisible por Resistencia.....	62
4.1.4 Capacidad Admisible por Asentamiento.....	64
4.1.5 Resultados de la Capacidad Admisible.....	65
4.2 ANALISIS DE INGENIERIA.....	67
4.3 DISEÑO DE CIMENTACIONES.....	71
4.3.1 Cargas Muertas.....	72
4.3.2 Carga Viva del Tren Eléctrico (LL).....	73
4.3.3 Sismo (EQ).....	74
4.4 DISEÑO DE COLUMNAS.....	77
4.5 DISEÑO DE VIGAS CABEZALES.....	79
4.6 DISEÑO DE VIGAS CAJON POSTENSADAS.....	80
4.7 DISEÑO DE LOSAS.....	81
4.8 DISEÑO DE VIA FERREA.....	82

## **CAPÍTULO V: MÉTODO CONSTRUCTIVO**

5.1 PLANEAMIENTO.....	84
5.2 DISTRIBUCION DE RECURSOS.....	85
5.2.1 Equipos a Utilizar en la Construcción.....	85
5.2.2 Materiales Utilizados en la Construcción.....	87
5.2.2.1 Acero.....	87
5.2.2.2 Concreto.....	87

5.2.2.3 Relleno de Zapatas.....	87
5.2.2.4 Aditivo para Concreto y Reparaciones.....	87
5.2.2.5 Grout Nivelante.....	88
5.2.2.6 Dispositivos de Apoyo.....	88
5.2.2.7 Restricciones Longitudinales.....	89
5.2.2.8 Barras de Postensado.....	89
5.2.2.9 Ducto de Postensado.....	89
5.2.2.10 Chimenea de Inspección.....	89
5.2.2.11 Platina y Tuerca para Barra de Postensado.....	89
5.2.2.12 Lechada para Inyección de Ductos.....	90
5.2.2.13 Bandas de Caucho.....	90
5.2.2.14 Tapa Juntas metálicas.....	90
5.2.3 Mano de Obra.....	90
5.3 DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA APLICADA.....	92
5.3.1 Actividades de Topografía.....	92
5.3.2 Actividades de Geotecnia.....	94
5.3.2.1 Ensayos DPL.....	94
5.3.3 Inicio de Excavación para Zapatas.....	95
5.3.4 Colocación de Armadura para Zapatas.....	95
5.3.5 Colocación de Armadura para Columnas.....	96
5.3.6 Vaciado de Zapatas y Columnas.....	97
5.3.7 Encofrado de Columnas.....	98
5.3.8 Vaciado de Columnas.....	99
5.3.9 Relleno de Zapatas.....	100
5.3.10 Construcción de Vigas Cabezales.....	101
5.3.11 Encofrado para Vigas Cajón.....	103
5.3.12 Construcción por Etapas de la Viga Cajón.....	106
5.3.13 Vaciado de Losas.....	109
5.3.14 Construcción de Vigas Diafragma.....	112
5.3.15 Construcción de Bordes Típicos, Bordes Insitu y Canaletas.....	116
5.3.15.1 Bordes Típicos.....	116
5.3.15.2 Bordes Insitu.....	118
5.3.15.3 Canaletas.....	118
5.3.16 Colocación del Sonneville.....	119

5.4 TECNICA CONSTRUCTIVA APLICADA DEL SONNEVILLE.....	125
5.4.1 Equipos a Utilizarse.....	127
5.4.2 Descripción de Actividades.....	128
5.4.2.1 Marcación Topográfica.....	128
5.4.2.2 Izamiento y Distribución de los Rieles en las Vías.....	129
5.4.2.3 Izamiento y Distribución de los Bloques y Fijación en las Rieles.....	129
5.4.2.4 Fijación de los Soportes Provisionales de las Rieles.....	129
5.4.2.5 Montaje y Fijación de los Rieles sobre los Soportes.....	130
5.4.2.6 Soldadura Aluminotermica.....	131
5.4.2.7 Alzamiento de los Bloques y Fijación en los Rieles.....	131
5.4.2.8 Vaciado de Concreto para Embutimiento de los Bloques Sonneville/lvt.....	131
5.4.2.9 Alivio de Tensiones de los Rieles Largos Soldados.....	133
5.4.2.10 Verificación Final.....	134
5.4.3 Comparación Sistema LVT- Balasto.....	134
5.4.3.1 Elementos de Proyecto.....	134
5.4.3.2 Secciones Típicas.....	136
5.4.3.3 Planteamiento del Problema.....	138
5.4.3.4 Ventajas del Sistema LVT.....	139
5.5 SECUENCIA CONSTRUCTIVA FOTOGRAFICA DEL TRAMO CURVO....	141
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>157</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>159</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>161</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>162</b>

## RESUMEN

El desarrollo de la presente Tesis nos muestra el proceso constructivo para la construcción del viaducto elevado con vigas cajón pos tensadas en el tramo curvo ubicado en el Ovalo Cabitos de la obra que corresponde a la construcción del tramo 1 del tren eléctrico. Se propone una alternativa muy eficaz y precisa para ejecutar la obra evitando en gran medida el congestionamiento del tránsito vehicular en esta importante vía de la ciudad de Lima.

El proyecto del Tren Eléctrico se localiza en la ciudad de Lima, el tramo a construir, pasa por las avenidas Tomás Marzano, Aviación y Miguel Grau y es similar al tramo terminado.

El tramo en estudio del proyecto contempla tres vanos continuos de luces variables, con una longitud total máxima de 126.83 metros entre juntas de expansión, se considera una estructura formada por vigas continuas con sección cajón con ancho total de 8.40m y peralte de 2.40m, porticadas con las columnas internas (225 y 226) y apoyadas sobre aparatos de apoyo de neopreno en las columnas externas (224 y 227). La cimentación fue diseñada con zapatas de geometría semejante a los módulos típicos, con las dimensiones determinadas según los esfuerzos.

Esta configuración resulta en una estructura hiperestática, con excelente comportamiento bajo solicitaciones sísmicas, La particularidad que presenta este cruce sobre el Ovalo Cabitos, en donde la estructura tuvo que adaptarse a características importantes como la existencia de estructuras propias de los desniveles entre la vía rápida y la vía alterna; y el diseño de una cimentación excéntrica para el caso de una zapata interior.

Las estructuras responden a una configuración geométrica con una altura libre entre terreno natural y cabezal de 5.0m aproximadamente y con peraltes de viga cajón de 2.40m.

La información recopilada que sirvió como información para el estudio de la construcción del viaducto elevado fue la siguiente; Expediente Técnico para la

construcción del viaducto elevado del Tren Eléctrico presentada por el contratista Consorcio Tren Eléctrico Lima, Estudios Geológicos, Geotécnicos realizado por la firma Hidroenergía Consultores en Ingeniería S.R.L., Memoria de Calculo del Sistema de micro pilotes realizado por la empresa Pilotes Terratest.



## Lista de Tablas

Tabla 4.1: Resultados de la Capacidad Admisible por Capacidad Portante y Asentamiento (B=8.0m x L=11m.)...Df=3.5.....	65
Tabla 4.2: Resultados de la Capacidad Admisible por Capacidad Portante y Asentamiento (B=9.0m x L=13m.)... Df=3.5.....	65
Tabla 4.3: Resultados de la Capacidad Admisible por Capacidad Portante y Asentamiento (B=8.0m x L=11m.)...Df=4.....	66
Tabla 4.4: Resultados de la Capacidad Admisible por Capacidad Portante y Asentamiento (B=9.0m x L=13m.)... Df=4.....	66
Tabla 4.5: Combinaciones y factores de carga.....	71
Tabla 4.6: Factores de carga para cargas permanentes.....	72
Tabla 4.7: Tabla de Frecuencia y aceleración.....	74
Tabla 5.1: Cuadro de deflexiones del Puente Cabitos.....	104

## Lista de Figuras

Fig. 1.1: Viaducto de New York en los años 1890.....	15
Fig. 1.2: Viaducto Puente menor de Brooklyn.....	15
Fig. 1.3: Viaducto de Bowery con doble piso elevado.....	16
Fig. 1.4: Vista Futurista de la Estación Gamarra.....	17
Fig. 2.1: Mapa de Ubicación del Proyecto (Modulo 17).....	22
Fig. 2.2: Planta del tramo curvo.....	23
Fig. 2.3: Elevación del tramo curvo cabitos.....	24
Fig. 2.4: Armadura de columnas 224 y 227.....	28
Fig. 2.5: Armadura de columnas 225 y 226.....	28
Fig. 2.6: Sección transversal de la columna y zapata del tramo curvo.....	30
Fig. 2.7: Sección transversal del tablero en el tramo curvo.....	30
Fig. 2.8: Sección longitudinal del tramo curvo en Óvalo Cabitos.....	31
Fig. 3.1: Sección transversal de zapata del tramo curvo.....	35
Fig. 3.2: Cimentación Superficial.....	36
Fig. 3.3: Tipos de columnas.....	39
Fig. 3.4: Tipos de columnas.....	40
Fig. 3.5: Sección transversal de viga I.....	42
Fig. 3.6: Sección transversal final de viga I.....	42
Fig. 3.7: Cuadro de configuración LVT.....	56
Fig. 3.8: Cuadro de descripción del sistema.....	57
Fig. 3.9: Sistema LVT- Standard.....	59
Fig. 3.10: Sistema LVT- High Attenuation.....	59
Fig. 4.1: Sección Típica del Tablero con Sonnveille.....	73
Fig. 4.2: Espectro elástico de aceleración.....	74
Fig. 4.3: Corte Longitudinal del Módulo 17 (Ovalo Cabitos).....	75
Fig. 4.4: Elevación longitudinal de las columnas y planta de las zapatas (C224 y C227).....	75
Fig. 4.5: Elevación longitudinal y transversal de las columnas (C225 y C226).....	76
Fig. 4.6: Sección Típica en el vano del tablero del módulo 17.....	76
Fig. 4.7: Ejemplo de los ejes Centrales (ejes 225 y 226).....	77
Fig. 4.8: Ejemplo de los ejes Laterales (ejes 224 y 227).....	78
Fig. 4.9: Columnas 224 y 227.....	78
Fig. 4.10: Columnas 225 y 226.....	78

Fig. 4.11: Viga Cabezal de junta.....	79
Fig. 4.12: Sección Típica de cruces especiales; Cabitos.....	80
Fig. 4.13: Sección típica de losa y pre-losa de viaducto.....	81
Fig. 4.14: Gráfico del confinamiento del balasto.....	83
Fig. 5.1: Vista de apuntalado de encofrado en tramo Curvo.....	105
Fig. 5.2: Etapas de vaciado de viga cajón.....	111
Fig. 5.3: Componentes de vía permanente Sonneville.....	121
Fig. 5.4: Medidas de bloques de concreto.....	121
Fig. 5.5: Detalle del interior de la galocha de caucho.....	122
Fig. 5.6: Fijación de soportes.....	130
Fig. 5.7: Soporte provisional de rieles.....	130
Fig. 5.8: Soldadura de rieles y fijación de bloques.....	131
Fig. 5.9: Encofrado y vaciado de concreto.....	132
Fig. 5.10: Vista de planta y corte de vía y bloque.....	135
Fig. 5.11: Secciones típicas del tren.....	136
Fig. 5.12: Datos de Balasto.....	137
Fig. 5.13: Descripción de Durmientes.....	137
Fig. 5.14: Sección de Durmientes.....	138

## Lista de Cuadros

Cuadro 3.1: Cuadro comparativo para puentes prefabricados y vaciados insitu.....	46
Cuadro 3.2: Cuadro de clases de concreto.....	51
Cuadro 3.3: Cuadro de Consistencia de concreto.....	52
Cuadro 4.1: Módulo Especial 17 – Vanos.....	67
Cuadro 4.2: Módulo Especial 17 – Columnas.....	67
Cuadro 5.1: Cuadro Comparativo de costos entre encofrado convencional y falso puente.....	106
Cuadro 5.2: Diseño de concreto $f'c=250$ kg/cm <sup>2</sup> .....	133

## INTRODUCCION

El motivo de la presente Tesis es el cual se describe el proceso constructivo del viaducto elevado con viga cajón postensadas en tramo curvo y tiene que ver mucho con el tiempo de ejecución, optimización de recursos, evitar congestiones de tráfico vehicular y realizar una obra física que compatibilice con futuros proyectos a ejecutarse en este sector de la ciudad de Lima. El tipo de suelo que se encuentra en esta parte de Lima tiene en promedio  $4.43 \text{ kg/cm}^2$ , siendo este un valor adecuado para la construcción del viaducto. Las zapatas son de sección rectangular escalonadas en elevación. Los pilares son del tipo mono columnas octogonales y las vigas cajón del tablero del viaducto serán fabricadas insitu que se describirá más adelante.

El primer capítulo presenta los aspectos generales del tema de Tesis, en el detallaremos brevemente la construcción de viaductos elevados, los factores influyentes en la construcción de viaductos y el uso de las vías para trenes.

En el segundo capítulo describe las condiciones del proyecto, lugar donde se desarrolla, así como las características de la zona donde se lleva a cabo la obra y los aspectos más influyentes en la construcción del viaducto.

En el tercer capítulo presenta el marco teórico, desde la construcción de cimentaciones, columnas, vigas cajón y longitudinales y tipo de materiales a emplearse en la construcción del viaducto.

En el cuarto capítulo se detalla la información geotécnica presentada en el expediente técnico elaborado por el contratista Consorcio Tren Eléctrico, los análisis de ingeniería, diseño de zapatas, columnas, vigas y vigas cajón postensadas, losas, etc. Así como también el diseño de la vía férrea.

El capítulo final de la Tesis describe la programación de los trabajos, descripción de los equipos a requerirse en la construcción del viaducto, los materiales usados para la construcción y la técnica constructiva aplicada en la construcción del viaducto elevado en el tramo curvo del Ovalo Cabitos del Proyecto Tren Eléctrico.

## CAPITULO I

### ASPECTOS GENERALES

#### 1.1 CONTRUCCION DE VIADUCTOS ELEVADOS

La historia de las construcciones de viaductos elevados nos lleva al estado de Nueva York (EE.UU) cuando a finales del siglo XIX surgió la necesidad de crear la red de Metro y por alguna razón los ingenieros prefirieron optar por la estrategia de los **trenes elevados** frente a los subterráneos (que se pensaba podrían ser oscuros, sucios y sórdidos, especialmente debido a las máquinas de vapor). Kilómetros y kilómetros de vías metálicas se instalaron a varios metros sobre las aceras y calles, creando un nuevo y característico "paisaje del transporte" de la ciudad con aire modernista.

El primer ejemplo de un ferrocarril elevado fue el de Londres y el ferrocarril de Greenwich, que fue construido sobre un viaducto de 878 arcos de ladrillo entre 1836 y 1838. Desde finales de la década de 1860, los metros aéreos se hicieron populares en ciudades de los EE.UU. Las marcas The New York West Side y Yonkers Patentes de trenes que funcionan con teleférico desde 1868 hasta 1870, pero posteriormente fue llevada a la locomotora. Esto fue seguido por el ferrocarril de Manhattan en 1875 y el ferrocarril elevado de Boston (1887).

El primero accionamiento eléctrico de trenes elevados, fue el ferrocarril aéreo de Liverpool, que operaba a través de los muelles de Liverpool desde 1893 hasta 1956. En 1867 comenzaron las primeras pruebas de trenes elevados y en 1890 ya había unos 500 trenes en funcionamiento. Algunas de las estructuras de soporte se elevaban majestuosas hasta veinte metros en el aire. Los primeros trenes eran todavía arrastrados por locomotoras de vapor en versiones "en miniatura". Eran infernalmente ruidosas y bastante sucias, aunque de demostrada practicidad para la época.

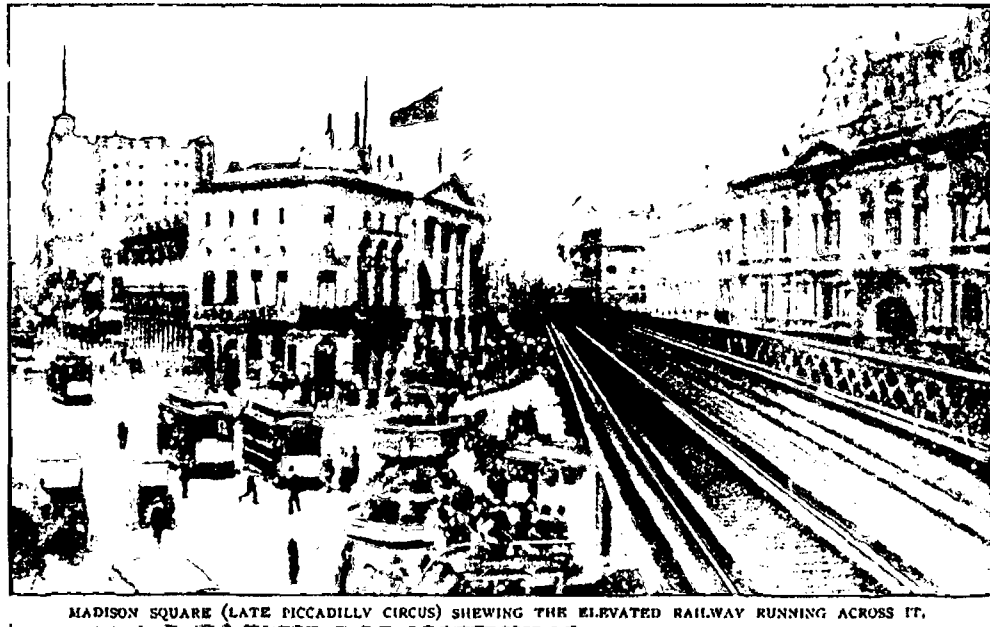


Fig. 1.1 Viaducto de New York en los años 1890

Fuente: Internet

Las construcciones elevadas solían dejar en sombra o penumbra las aceras. La luz del sol sólo iluminaba la calzada central, por donde circulaban carros de caballos, omnibuses, algunos coches o tranvías. En las calles estrechas la oscuridad durante todo el día era característica. Para ello ya se pensó en la forma de distribuir con diferentes pistas para trenes eléctricos, Tranvías, Coches de caballo y peatones.

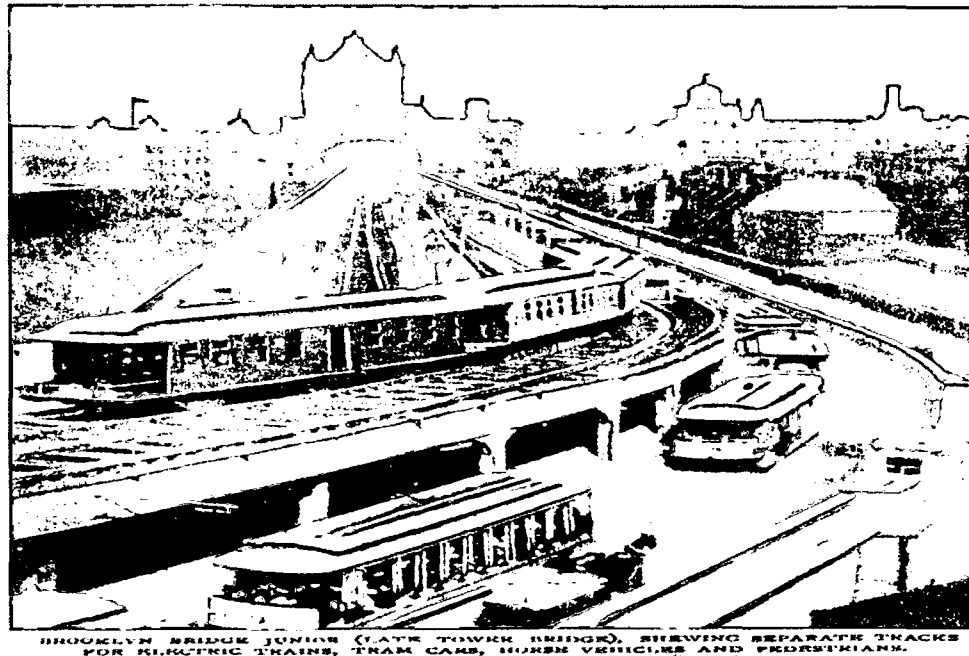


Fig. 1.2 Viaducto Puente menor de Brooklyn

Fuente: Internet

Debatiéndose entre la belleza y el horror del metal invadiendo los cielos de la ciudad, algunas vías y estaciones resultaban artísticas y espectaculares, mientras otras destrozaban el paisaje urbano. La siguiente foto es de 1878, en ella se ven la unión de dos líneas en Bowery, en una espectacular composición de trenes a varias alturas.

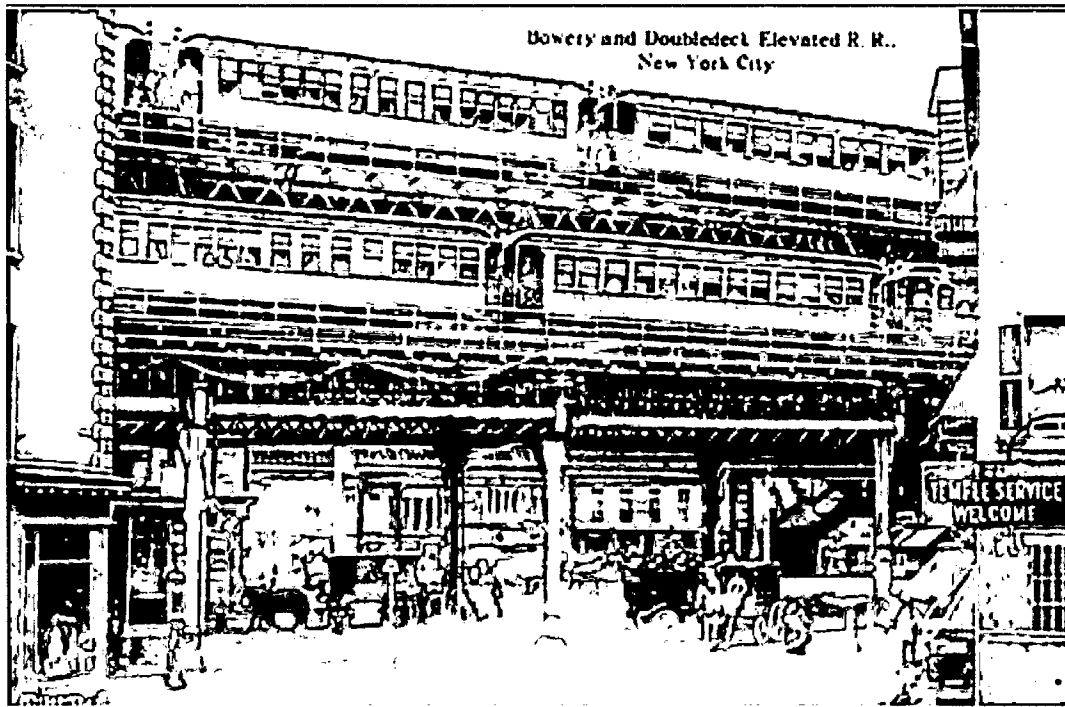


Fig. 1.3 Viaducto de Bowery con doble piso elevado

Fuente: Internet



## 1.2 VIAS PARA TRENES

Los trenes tienen como uno de sus elementos más relevantes a la infraestructura ferroviaria, es decir, el conjunto de obras e instalaciones que soportan el paso y circulación de trenes. Dentro de la infraestructura ferroviaria: las vías, balasto, traviesas, puentes, alcantarillas, desmontes, túneles, etc., constituyen los elementos más característicos y visibles. De todos ellos, sin lugar a dudas, los viaductos son las construcciones que mayor simbolismo tienen para cualquiera de nosotros.

Estos viaductos tienen una característica en común, se trata de obras muy largas, por ello se pueden aplicar procedimientos de construcción industrializados que requieren de unos gastos fijos relativamente importantes a cambio de disminuir los costos variables (aquellos que son proporcionales al ml de longitud).

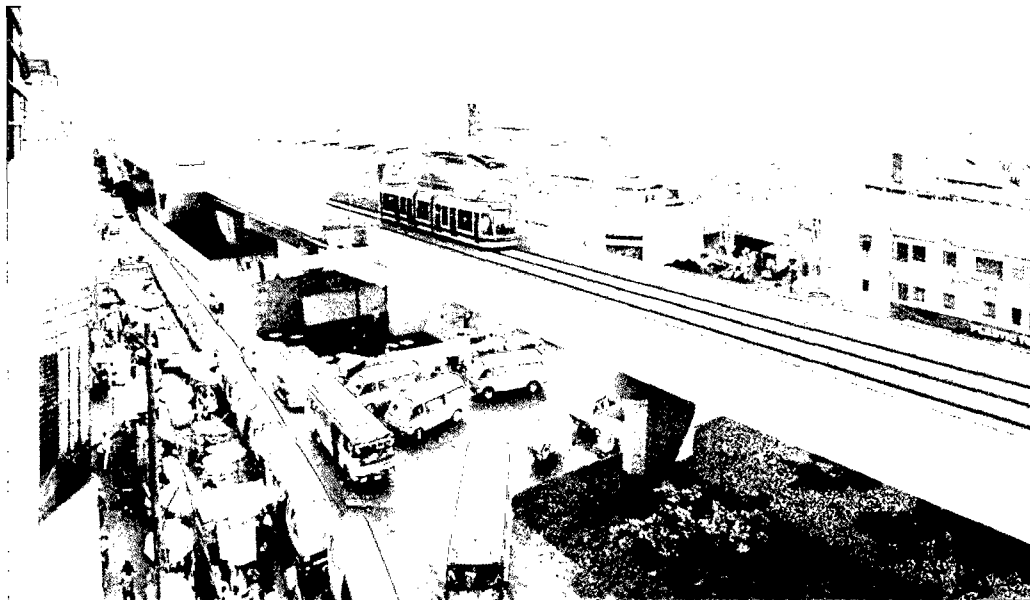


Fig. 1.4 Vista Futurista de la Estación Gamarra

Fuente Internet

### 1.2.1 Vía Férrea

Se denomina vía férrea a la parte de la infraestructura ferroviaria formada por el conjunto de elementos que conforman el sitio por el cual se desplazan los trenes. Las vías férreas son el elemento esencial de la infraestructura ferroviaria y constan, básicamente, de rieles apoyados sobre traviesas (Durmientes), que se disponen dentro de una capa de balasto. Para su construcción es necesario

realizar movimiento de suelos y obras complementarias (puentes, alcantarillas, muros de contención, drenajes, etc.).

Se completa la infraestructura básica con sistemas de señalización (antes manuales y ahora automáticas) y, en el caso de líneas electrificadas, con el tendido eléctrico que provee de energía a las locomotoras.

## **1.2.2 Elementos de la Infraestructura**

### **1.2.2.1 Aparato de vía.**

Un aparato de vía es un dispositivo que permite la ramificación y el cruce de diferentes vías de ferrocarril. Los aparatos de vía están formados por dos elementos básicos: desvíos y durmientes.

### **1.2.2.2 Balasto.**

Se denomina balasto de vía a la piedra partida utilizada en la construcción de vías férreas. De manera similar, el balasto de vía cumple la función de aportar estabilidad a la vía férrea, haciendo que permanezca con la geometría dada durante su construcción. Adicionalmente cumple otras dos funciones importantes: distribuye las presiones que trasmite la vía al terreno, haciendo que sean admisibles para éste, y permite el drenaje del agua de lluvia, evitando que se deteriore el conjunto.

### **1.2.2.3 Catenaria**

En ferrocarriles se denomina catenaria a la línea aérea de alimentación que transmite potencia eléctrica a las locomotoras u otro material motor. Las tensiones de alimentación más comunes van desde 600 V a 3 kV en corriente continua, o entre 15 y 25 kv en corriente alterna. La mayor parte de las instalaciones funcionan con corriente (continua o alterna) monofásica, aunque existen algunas instalaciones trifásicas.

### **1.2.2.4 Riel**

Se denomina riel, carril, raíl o trillo a cada una de las barras metálicas sobre las que se desplazan las ruedas de los trenes y tranvías. Los rieles se disponen como una de las partes fundamentales de las vías férreas y actúan como soporte, dispositivo de guiado y elemento conductor de la corriente eléctrica. La

característica técnica más importante del ferrocarril es el contacto entre el riel y la rueda con pestaña, siendo sus principales cualidades su material, forma y peso.

#### **1.2.2.5 Subestructura Ferroviaria**

Se denomina subestructura ferroviaria al terreno que se encuentra inmediatamente debajo del balasto o de la plataforma (si es viaducto elevado) soportando las cargas que estas transmiten, y tiene como función básica proporcionar el apoyo a la superestructura de la vía, de modo que ésta no sufra deformaciones que impidan o influyan negativamente el tránsito de los trenes, bajo las condiciones del tráfico que determinan el trazado de la vía, gracias a las técnicas de mecánica de suelos y rocas. Por lo tanto, los problemas que la subestructura presenta son determinar su capacidad portante, y conocer las causas y efectos de las deformaciones y asentamientos, para dimensionar el espesor del balasto, y conocer la degradación geométrica de la vía.

### **1.2.3 Factores influyentes en la construcción de Viaductos Elevados**

#### **1.2.3.1 Los retos de la nueva década**

El crecimiento poblacional a la que ha sido sometido Lima Metropolitana en las últimas décadas, ha ocasionado la expansión de las aéreas urbanas en sus zonas perimétricas, generando la necesidad de mayor transporte entre estos polos de desarrollo urbano y sumando a esto el desorden en el tránsito y el transporte; el comercio informal y las invasiones de tierras son problemas que aún arrastra la ciudad de Lima y que requieren mejor trato. El rápido desarrollo de los centros urbanos han determinado que las vías de comunicación requieran con gran frecuencia de la construcción de viaductos. En cuanto a los congestionamientos viales, se considera como alternativa de solución, la construcción de un Viaducto Elevado, con el que se lograra transportar en promedio a unas 1000 personas por tren (5 vagones de capacidad 200 personas), logrando la integración de 9 distritos de la capital y reduciendo considerablemente el tiempo que se emplea para trasladarse entre los distritos de Cercado de Lima y Villa el Salvador que se localiza en la zona sur de Lima.

### **1.2.3.2 Estudio de Impacto Ambiental**

Si se ha previsto la construcción de un viaducto elevado se tiene que considerar el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) para identificar, predecir, interpretar y comunicar los probables impactos ambientales y sociales que podrían generarse como consecuencia de la ejecución del Proyecto, con la finalidad de proponer las medidas preventivas y/o de mitigación que eviten y/o minimicen los impactos ambientales negativos y en el caso de los positivos, aquellas que refuercen los beneficios generados con el propósito de lograr la conservación del ambiente y las relaciones sociales del área de estudio, así como la preservación del patrimonio cultural.

### **1.2.3.3 Estudios de Cimentación**

El estudio de la cimentación significa un capítulo fundamental en la fase de proyecto de estas obras. Constituyen los denominados Estudios Geotécnicos, necesarios en cualquier tipo de construcción, pero imprescindibles en el caso de viaductos elevados. Para poder llegar a una solución de cimentación es necesario en cada caso un reconocimiento detallado del terreno, que se realizará mediante sondeos y otras técnicas de tipo geofísico, en los sondeos se perfora el terreno, usualmente recuperando un testigo continuo de los suelos o rocas atravesados, lo que nos permite apreciar visualmente sus características y tomar muestras para su ensayo de laboratorio. Los métodos geofísicos utilizan ondas de tipo eléctrico, magnético, sónico o de radar para obtener una estimación de algunas propiedades del terreno investigado. Con las muestras obtenidas en los sondeos, se realizarán ensayos en laboratorio, de cuyos resultados pueden extraerse los parámetros necesarios para el cálculo de las cimentaciones. Es importante que los estudios geotécnicos, sus reconocimientos de campo y los ensayos de laboratorio sean realizados por técnicos y empresas debidamente preparados y con la experiencia adecuada del caso.

## CAPITULO II

### CONDICIONES DEL PROYECTO

#### 2.1 SITUACION GEOGRAFICA

##### 2.1.1 UBICACION

La segunda etapa de la Línea 1, se inicia en la zona sur de la ciudad (San Juan de Miraflores) y termina en pleno centro de la ciudad (Av. Grau); desarrollando su recorrido a través de los distritos de Santiago de Surco, Surquillo, San Borja, San Luis, La Victoria y Cercado Lima.

La Línea 1 de la Red del Tren Urbano de Lima está planificada para enlazar a futuro el distrito Villa el Salvador, que se localiza en la zona sur de Lima, con el distrito de San Juan de Lurigancho en el noreste de la Ciudad Capital. Integrando en su recorrido también a los distritos: Villa María del Triunfo, San Juan de Miraflores, Santiago de Surco, Surquillo, San Borja, San Luis, La Victoria y el Cercado de Lima. Son más de 3 millones de habitantes en los 10 distritos servidos por la Línea 1, que representan el 41% de la población total de Lima Metropolitana que asciende a los 7 millones de habitantes.

El tramo curvo del Ovalo Cabbitos está ubicado aproximadamente en la progresiva 12+850. Este cruce pertenece al Tramo L del Proyecto ubicado en el Distrito de Surco, el cual tiene una concepción estructural especial por estar ubicado sobre el Ovalo Higuiereta que es un paso a desnivel colindante con la Av. Tomas Marsano y la Av. Benavides, zona actualmente de gran flujo vehicular.

La intersección de las Av. Tomas Marsano, Aviación y Benavides, tiene un alto volumen de demanda de vehículos privados y de transporte público de pasajeros, así como de peatones que la cruzan, por ser el primer intercambio de tres niveles en el país. El primero, a ras de la calle, permite el tránsito desde la avenida Aviación. El segundo, a cinco metros bajo el suelo, forma parte de la avenida Tomás Marsano, y consta de un túnel de 140 metros de largo que corre en dirección noroeste-sureste. El tercero, a diez metros de profundidad, es parte

de la avenida Benavides y consta de un túnel de 250 metros, que discurre en dirección este-oeste.

### Mapa de Ubicación

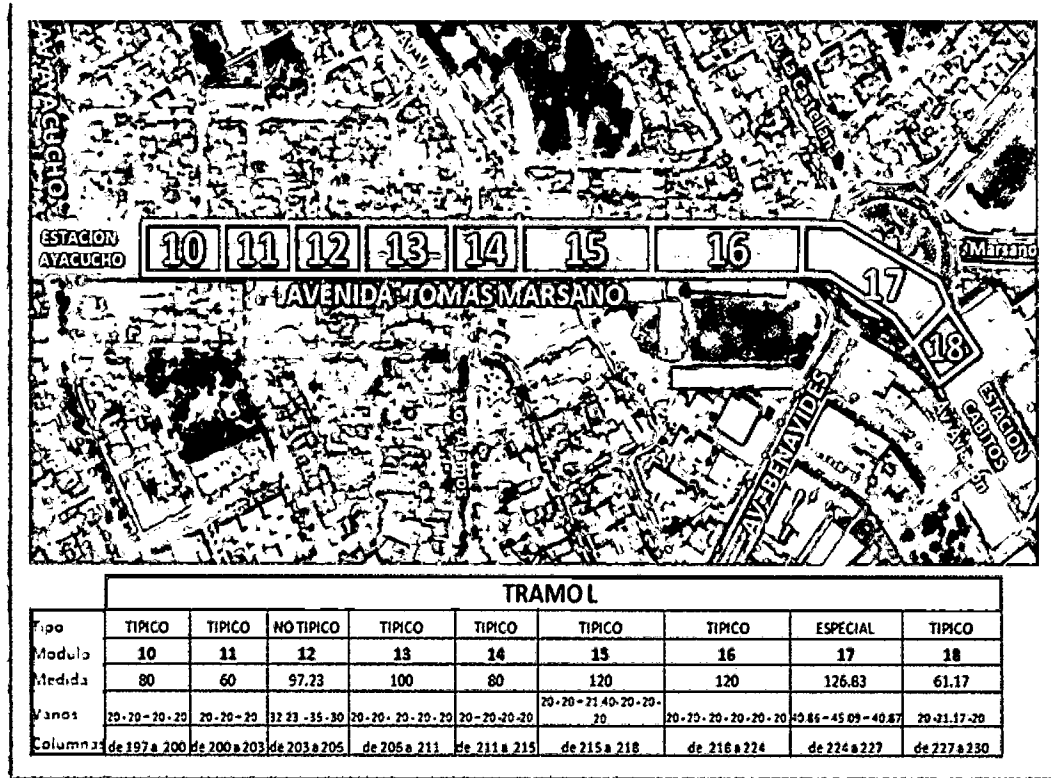


Fig. 2.1 Mapa de Ubicación del Proyecto (Modulo 17)

Fuente Expediente Técnico Final AATE

### 2.1.2 ASPECTOS CLIMATICOS Y VEGETACION

La temperatura promedio en los meses de verano (a mediados de diciembre a marzo) es de 25 grados centígrados, en el invierno los días son grises, nublados con valores de humedad que fluctúan entre los 92% - 94% de humedad relativa, la temperatura promedio fluctúa entre los 12 y 15 grados centígrados.

Con respecto a las áreas verdes que se ubican en el Óvalo Higuiereta serán removidas, puesto que todo el Óvalo será cercado para la construcción del tramo curvo y a la vez ser usado como almacén de materiales de construcción, para su posterior restitución y mejora luego de culminada la obra.

### 2.1.3 CONDICIONES DEL SITIO

El ancho de la vía en este sector de la avenida Aviación es de 30 metros, sobre la berma central se proyecta el viaducto elevado de un ancho de 8.4 metros, cimentado sobre zapatas que tienen un ancho variable de 8 a 10 metros. El módulo 17 corresponde a tres vanos: 40.86m, 45.09m y 40.87m de longitud entre ejes de columnas y corresponde al cruce del Óvalo Cabitos.

La estructura típica es similar a las del viaducto, con zapatas, pilares mono columnas, cabezales y vigas tipo cajón postensadas, con losas vaciado in situ. Las columnas C-224 y 225 se construirán sobre el desnivel mencionado del óvalo Higuereeta, además de la cercana ubicación de la futura estación del tren a construirse a 60m del tramo curvo lo que implica una adecuación vial.

A continuación se muestra la planta y elevación del tramo curvo en el Óvalo Cabitos.

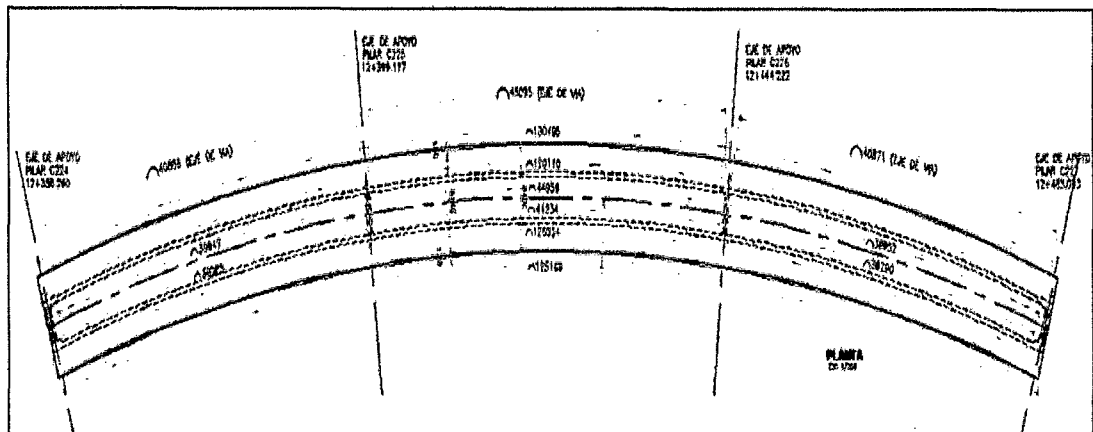


Fig. 2.2 Planta del tramo curvo

Fuente: Expediente Técnico Final CTCL

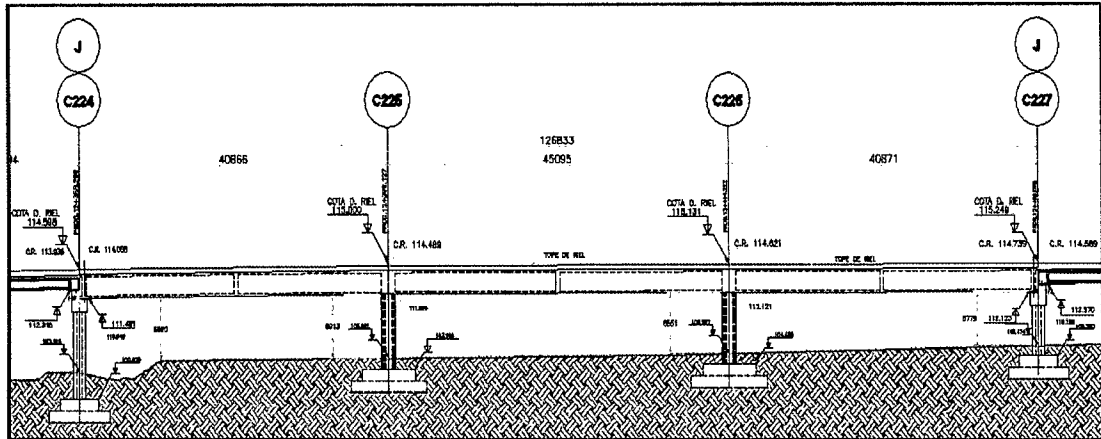


Fig. 2.3 Elevación del tramo curvo cabitos

Fuente: Expediente Técnico Final CTCL

Los problemas que tienen los peatones que cruzan la intersección son causados principalmente por las malas características físicas de las veredas, por defectos como: ser muy angostas algunas de ellas y tener deficiencias como la falta de rampas peatonal o por deficiencias geométricas o por falta de áreas de espera de tamaño suficiente; o por tener malos acabados (muy lisos por ejemplo), que afectan la seguridad del peatón.

La solución planteada, está referida a la posibilidad que se tiene de ampliar las áreas de espera críticas en especial en la intersección entre las avenidas Benavides y Tomas Marzano, modificando el alineamiento de la pista local de la Av. Tomas Marzano. Para ello, se ha recortado la vereda existente en ese lado, lo que ha sido factible por existir allí la amplitud necesaria, que hoy es utilizada para la operación del paradero de transporte público.

En este sentido, concretando el análisis de la situación, el problema del desorden existente en el tránsito en esta intersección, se origina principalmente por problemas derivados particularmente del transporte público (Omnibuses , Busetas y vehículos menores conocidos como combis) que ocasionan la informalidad de los paraderos, causando el desorden vehicular en la zona.

Para resolver este problema se ha tomado en cuenta semaforizar la zona con el nuevo sistema de semáforos inteligentes, además de ampliar las veredas para el



pase de las personas ya que por ser una zona de alto comercio el paso peatonal es considerable.

Estas áreas de acceso sobre la vía son existentes, no obstante se mejorarán con la implementación de elementos de señalización, semaforización, semáforo indicador para el paso peatonal, etc. Además se colocaran la señalización respectiva indicando la altura del galibo de este puente que es de 5.40m, dicha señalización se colocara en las paredes de la viga cajón con la finalidad que los vehículos pesados que transitan por este lugar conozcan la altura máxima para sus vehículos y así evitar futuros accidentes.

## 2.2 CONDICIONES GENERALES DEL VIADUCTO ELEVADO

### 2.2.1 General

El presente capítulo tiene por finalidad presentar los principales criterios de proyecto para los tramos de módulo típico compuestos por los 3 vanos que forman la viga cajón, vanos de medidas 40.86m, 45.09m y 40.87m de longitud entre ejes de columnas y corresponde al cruce del Óvalo Cabitos.

Para los nuevos tramos a construir se ha optado en lo posible por emplear soluciones en base a elementos pre-fabricados, mientras que para los módulos especiales se han optado por realizar la construcción de estos insitu empleando técnicas que permitan una construcción modernizada, con un ritmo de construcción acelerado y un adecuado control de calidad.

La longitud y geometría de los tramos se han adaptado a la configuración de las calles y avenidas por las que se ubicara el viaducto elevado, de forma que no se afecte el trazado actual de las calles ni tampoco se altere el flujo actual de los vehículos.

A lo largo del Viaducto Elevado, de acuerdo al anteproyecto, se tendrá una serie de módulos "típicos" que se repiten con mayor frecuencia en la extensión del proyecto. Además también de los módulos atípicos y especiales que existen.

Para los tramos típicos se ha optado como solución el uso de vigas pre-fabricadas permitiendo crear un proceso constructivo dinámico y a la vez cumplir con las exigentes controles de calidad que exige el proyecto, logrando así una automatización de los procesos constructivos y un rápido ritmo de avance de obra.

Para el módulo especial 17 del viaducto, que es el módulo en estudio para la presente tesis, donde dicho tramo en estudio tiene una longitud total máxima de 126.82 m entre juntas de expansión, conformados a partir de vigas cajón vaciadas insitu hechas continuas por medio de diafragmas de concreto armado vaciados en sitio que conectan las vigas de tramos adyacentes.

Esta configuración resulta en una estructura hiperestática, con excelente comportamiento bajo solicitaciones sísmicas.

El diseño de la sub-estructura (zapatas, columnas y vigas cabezales) es controlado fundamentalmente por las consideraciones del diseño sísmico.

### **2.2.2 Cimentación**

La cimentación del viaducto consiste de zapatas de concreto armado con dimensiones variables, a ser definidas en campo según el tramo del viaducto a construir. El nivel de cimentación promedio se encuentra aproximadamente a una profundidad de 3.5m a 4.0m del nivel del terreno natural siendo estos valores los correspondientes al módulo especial 17, considerando las informaciones disponibles del estudio de suelos del proyecto donde se indica que el viaducto está ubicado sobre un terreno con un valor de presión admisible en el terreno de 5,00 kgf/cm<sup>2</sup> y un ángulo de fricción interna de 38° a ser confirmada a partir de los ensayos geotécnicos.

### **2.2.3 Columnas y Cabezales**

Las columnas del tramo curvo son de sección octogonal en dimensiones variables en razón de las alturas de las columnas, y la armadura de refuerzo de las columnas está dispuesta a modo de dos columnas circulares confinadas mediante estribos circulares entre lazados, para el módulo típico en desarrollo dos de las columnas la 224 y 227 tiene esta configuración mencionada, más para las columnas internas 225 y 226 se dispone a modo de tres columnas circulares confinadas mediante estribos circulares entrelazados.

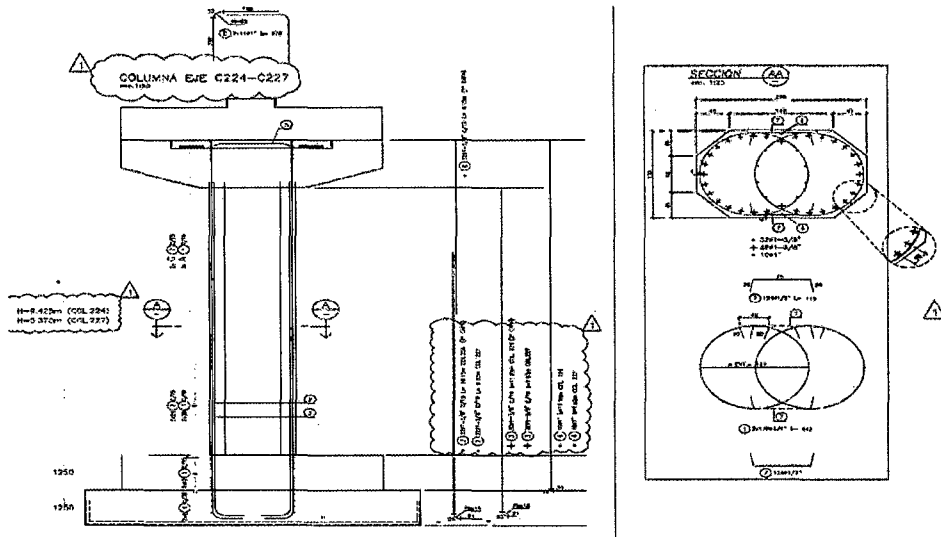


Fig. 2.4 Armadura de columnas 224 y 227

Fuente: Expediente Técnico Final CTCL

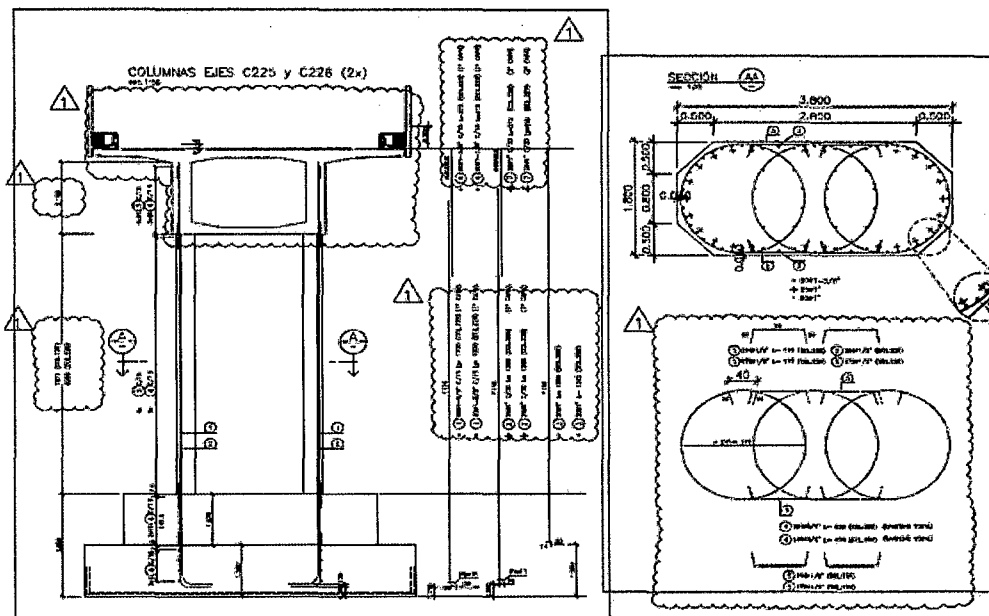


Fig. 2.5 Armadura de columnas 225 y 226

Fuente: Expediente Técnico Final CTCL

La viga cabezal de las columnas son de concreto armado de 1,70 m de ancho y peralte variable, desde el encuentro en la columna hasta los extremos del cabezal. Las dimensiones están especificadas en los respectivos planos de

construcción anexados al final de la tesis. El sistema formado por la columna y cabezal es conocido como "martillo".

#### **2.2.4 Tablero**

El tablero del viaducto del tramo curvo tiene un ancho total de 8.40 m, de acuerdo a las exigencias de diseño que permite la circulación de los trenes y está conformado por la viga cajón vaciada insitu y pos tensada de 2.50 m de peralte.

La estabilidad del conjunto es garantizada por el vaciado de las vigas en los diafragmas de apoyo y en las losas.

La losa del viaducto tanto para los tramos típicos y los especiales tiene un espesor total de 20 cm y es ejecutada para los tramos típicos en la utilización de pre- losas de concreto armado. Las pre-losas tienen un espesor de 8cm y están apoyadas sobre los bordes de las vigas. Un vaciado adicional de 12cm es hecho sobre las pre-losas garantizando una estructura portante en 20cm de espesor final. Los estribos de la viga garantizan la conexión estructural viga – losa. Este sistema es utilizado para los tramos típicos, mientras que para nuestra viga cajón la losa superior también posee un espesor de 20 cm en los extremos de la losa variando su sección mientras se va acercando a las paredes de la viga cajón llegando a espesores de 40 cm en el extremo externo de la pared de la viga cajón.

#### **2.2.5 Dispositivos de Restricción y Aparatos de Apoyo**

Las cargas verticales y horizontales de servicio de la súper-estructura se transmiten al pilar por medio de apoyos elastoméricos colocados en la parte superior de la viga cabezal para nuestro caso solo se colocaran estos apoyos en los cabezales 224 y 227. Las cargas longitudinales sísmicas se transmiten a las columnas por medio de restricciones longitudinales en acero estructural, embebidas en la viga cabezal y conectadas al tablero a través de los diafragmas. La transmisión de cargas transversales sísmicas se realiza por medio de llaves de corte entre el tablero y la viga cabezal.

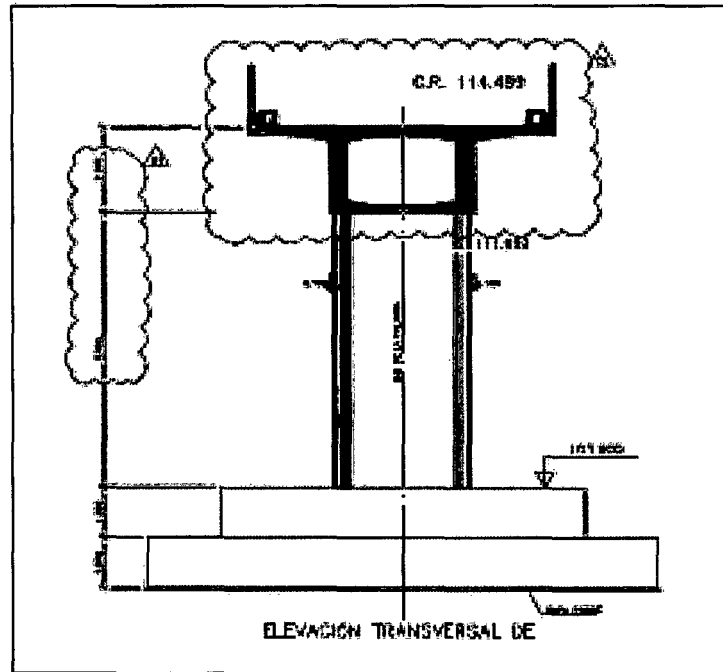


Fig. 2.6 Sección transversal de la columna y zapata del tramo curvo  
Fuente: Expediente Técnico Final AATE

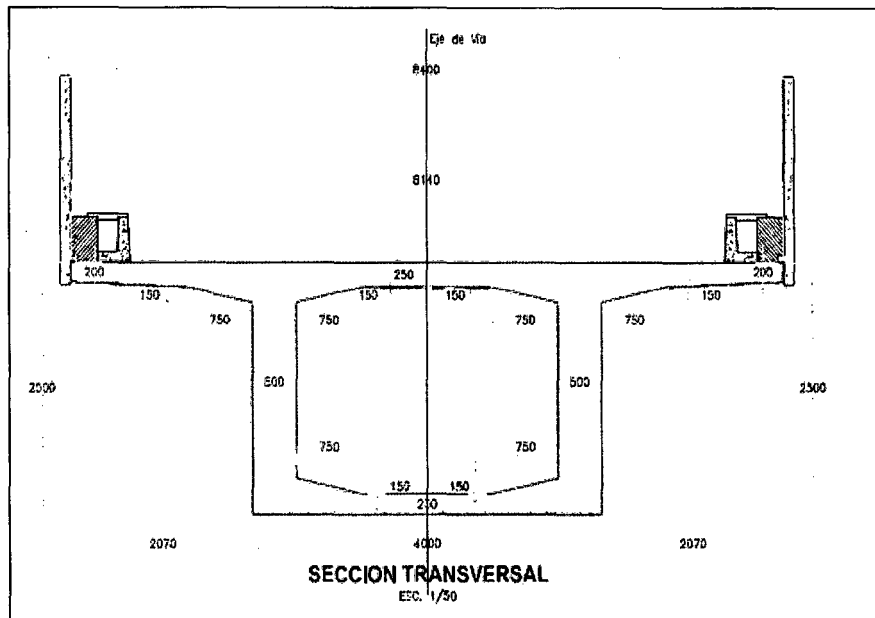


Fig. 2.7 Sección transversal del tablero en el tramo curvo  
Fuente: Expediente Técnico Final AATE

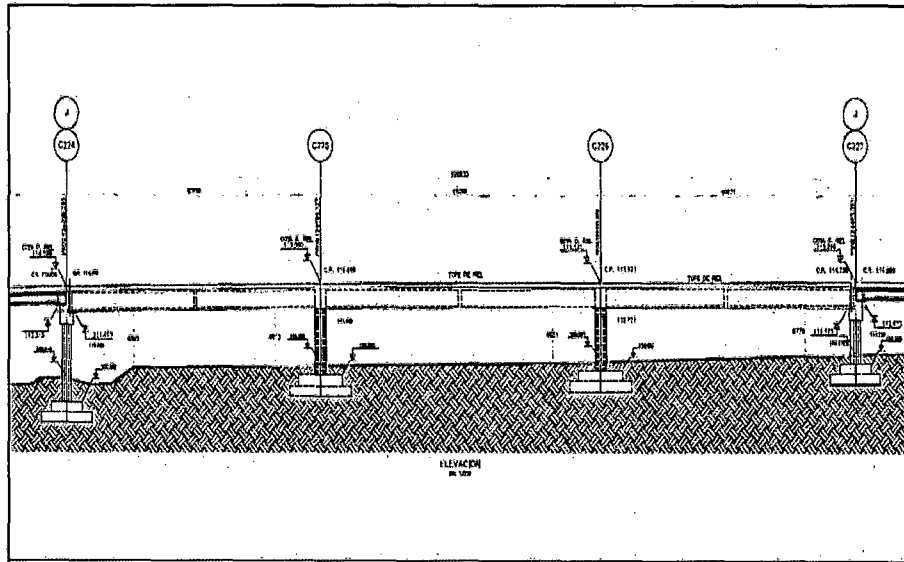


Fig. 2.8 Sección longitudinal del tramo curvo en Óvalo Cabitos

Fuente: Expediente Técnico Final AATE

## 2.2.6 Normas de Diseño

El Diseño Definitivo de las estructuras de los viaductos se elaboró de conformidad con la última versión de las normas de las siguientes instituciones, en lo que sea aplicable:

Manual de Diseño de Puentes de PROVIAS NACIONAL.

RNE – Reglamento Nacional de Edificaciones.

AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials):  
LRFD Bridge Design Specifications.

AREMA (American Railway Engineering Association): Manual for Railway  
Engineering.

AASHTO LRFD – Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design-(Guía  
de Especificaciones para el diseño LRFD Puente Sísmica)

ACI 318 – Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural.

NCHRP 472 – Comprehensive Specification for the Seismic Design of Bridges-  
(Especificación completa para el diseño sísmico de puentes)

ATC 32 – Improved Seismic Design Criteria for California Bridges- (Mejora de los  
Criterios de Diseño Sísmico de Puentes de California).

TRB – Design of Elevated Guideway Structures for Rail Transit – (Diseño de  
Estructuras de elevación del carril-guía para tránsito ferroviario).

ABI – Segmental Box Girder Standards-(Normas segmentarias para las cajas  
viga).

PCI – Prestressed Concrete Institute – Bridge Design Manual- (Instituto de  
Hormigón Pretensado - Puente Manual de diseño)

ASTM – American Society of Testing and Materials- (Sociedad Americana de  
Pruebas y Materiales).

ACI – American Concrete Institute-(Instituto Americano de concreto)

AWS – American Welding Society- (Sociedad de soldadura Americana)

Donde existan consideraciones especiales en la cual estas normas no hagan  
ninguna referencia, se usarán otras normas reconocidas y se señalará en cada  
caso.



## CAPITULO III

### MARCO TEORICO

#### 3.1 CONSTRUCCION DE ZAPATAS

El cimiento es aquella parte de la estructura encargada de transmitir las cargas al terreno. Debido a que la resistencia y rigidez del terreno suelen ser inferiores a las de la estructura, la cimentación posee un área en planta muy superior a la suma de las áreas de todos los pilares y muros portantes (estructura vertical).

Los cimientos por tanto serán por lo general piezas de volumen considerable con respecto al volumen de las piezas de la estructura. Se construyen con concreto armado y en general se empleará concreto de  $f'c$  210 kgf/cm<sup>2</sup>.

Las cimentaciones de los viaductos pueden ser superficiales o profundas. Las superficiales mediante zapatas, están limitadas al caso de suelos suficientemente compactos y resistentes o de rocas, fuera del alcance de la socavación del río. Lo más usual, en el caso de los viaductos, es que las capas superiores del terreno no sean capaces de soportar las cargas, y que el peligro de socavación sea alto, recurriéndose entonces a cimentaciones profundas, que suelen ser pilotes.

Las zapatas se deben dimensionar para resistir las cargas mayores y reacciones inducidas de acuerdo con los requisitos de diseño del Código que correspondan, se deben diseñar para resistir los efectos de las cargas axiales, cortes y momentos maximizados. El tamaño (área de la base) de una zapata, se determina en base al esfuerzo admisible del suelo. Para las zapatas se especifica el siguiente procedimiento de diseño:

- El tamaño de la zapata (dimensiones en planta) se determina en base a las cargas (permanentes, sobrecargas, de viento, sísmicas, etc.) no factorizadas (de servicio) y al esfuerzo admisible del suelo.
- Una vez establecidas las dimensiones en planta, la altura de la zapata; la cantidad de refuerzo requerido se determinan en base a las presiones de servicio y los cortantes y momentos de sismo; estos elementos y

presiones de servicio se multiplican por los factores de carga que corresponda.

Para fines del análisis, se puede asumir que una zapata es rígida, con lo cual para cargas centradas se obtiene un esfuerzo en el suelo uniforme y para cargas excéntricas se obtiene una distribución triangular o trapezoidal (combinación de carga axial y flexión). A la zapata sólo se debe transmitir el momento flexionante que existe en la base de la columna.

El peralte de la zapata lo define la resistencia al esfuerzo cortante ocasionado por los esfuerzos inducidos al terreno. Para determinar el peralte requerido para la zapata se debe verificar tanto el cortante en una dirección, como el corte en dos direcciones. El corte en una dirección supone que la zapata se comporta como una viga ancha, con una sección crítica que atraviesa la totalidad de su ancho. A pesar de que el cortante en una dirección rara vez determina la resistencia al cortante de una zapata, el diseñador debe verificar que no se supere la resistencia al cortante correspondiente a cortante en una dirección. Para el cortante en dos direcciones se debe verificar la resistencia al cortante por punzonamiento.

La clasificación de zapatas es muy amplia. Según su forma de trabajo se puede clasificar como: aislada, combinada, corrida o continua y arriostrada o atada. Según su forma en planta su clasificación será: rectangular, cuadrada, circular, anular o poligonal.

### **3.1.1 Zapata Aislada Cuadrada**

En este tipo de zapatas el elemento estructural que transmite los esfuerzos será un pilar, pudiendo ser éste de concreto o metálico. El pilar arrancará siempre desde el centro geométrico de la base de la zapata.

En el caso de pilares de concreto armado se deberá dejar una armadura vertical saliente de la zapata como armadura de espera para unión con la armadura del pilar, para que se produzca la transferencia de esfuerzos del pilar a la zapata.

Para el caso de la cimentación utilizada en la construcción del tramo curvo del proyecto Tren Eléctrico se utilizaron este tipo de zapatas en dos niveles o llamados zapata escalonada.

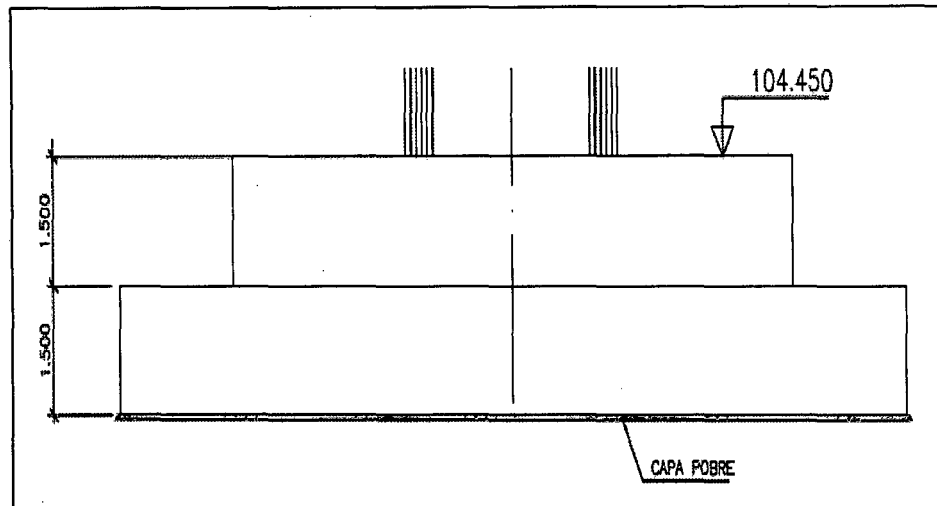


Fig. 3.1 Sección transversal de zapata del tramo curvo  
Fuente Expediente Técnico Final AATE

### 3.1.2 ZAPATA AISLADA CIRCULAR

Este tipo de zapatas no es de uso frecuente excepto en caso de edificaciones singulares o soluciones prefabricadas, pues el costo de la armadura sería elevado por la dificultad de su disposición. El uso de zapatas circulares exige la necesidad de usar una geometría especial con canto variable y por tanto la necesidad de encofrado para su ejecución in situ. Por las razones anteriormente mencionadas su uso no es económicamente recomendable excepto en los casos de edificaciones singulares o soluciones prefabricadas.

Dentro de las zapatas circulares encontraremos dos disposiciones distintas de armado:

- Zapata circular con armado circunferencial
- Zapata circular con armado con emparrillado

### 3.1.3 ZAPATA CORRIDA

La zapata corrida es una zapata continua que servirá como cimentación generalmente a un muro de concreto armado. El elemento estructural que transmitirá los esfuerzos a la cimentación será por tanto un muro. El muro transmitirá una carga lineal a la zapata. Esta solución es muy apta tanto para edificios residenciales como industriales con sótanos que requieran de muros de contención.

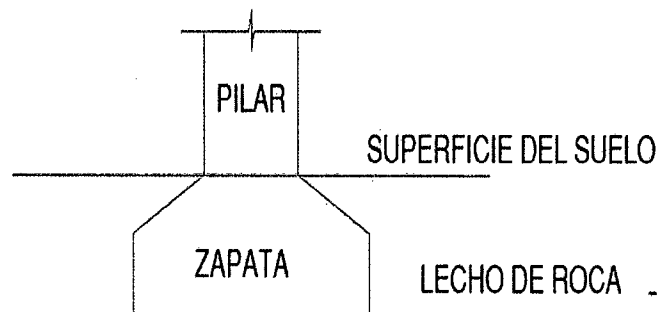


Fig. 3.2 Cimentación Superficial

Fuente: Internet

### 3.1.4 Cimentaciones Profundas

Estas cimentaciones se usarán cuando el terreno firme no se encuentra en la superficie sino a mayor profundidad. La cimentación profunda más usada es la cimentación por pilotes.

Los pilotes son elementos estructurales con un área de sección transversal pequeña, comparada con su longitud, y usualmente se instalan usando una piloteadora que tiene un martinete o un vibrador. A menudo se hincan en grupos o en filas, conteniendo cada uno suficientes pilotes para soportar la carga de una sola columna o muro. Los pilotes se construyen en una gran variedad de tamaños, formas, y materiales para adaptarse a muchos requisitos especiales, incluyendo la competencia económica.

#### **A. Según su forma de trabajo:**

- ✓ Pilotes rígidos de primer orden, Aquellos cuya punta llega hasta el estrato resistente o firme donde queremos cimentar. Transmitiéndole la carga aplicada a la cabeza. La acción lateral del terreno elimina el riesgo de pandeo.
  
- ✓ Pilotes flotantes, Aquellos cuya punta no llega hasta el estrato resistente o firme donde queremos cimentar. Quedando hincado en el terreno suelto y resistiendo por adherencia, su valor resistente es función de la profundidad diámetro y naturaleza del terreno. Se sitúan en terrenos de resistencia media baja y transmiten su carga por fricción, a través del fuste.
  
- ✓ Pilotes semi-rígidos, Aquellos cuya punta llega hasta el estrato resistente o firme, pero este esta tan profundo, o es tan poco firme, que el pilote resiste simultáneamente por punta y por adherencia.

#### **B. Según el sistema constructivo:**

- ✓ Pilotes prefabricados hincados, ejecutados a base de desplazamiento del terreno.
- ✓ Pilotes perforados, ejecutados a base de extracción de tierras y relleno de concreto armado.

#### **C. Según la sección del pilote:**

- ✓ Micro pilotes: Diámetro menor de 200 mm, se emplean en obras de re-cimentación.
- ✓ Pilotes convencionales: Diámetros de 300 a 600 mm.
- ✓ Pilotes de gran diámetro: Diámetro mayor de 800 mm.
- ✓ Pilotes pantalla: Llamados también muros pantalla.

### 3.2 TIPO DE COLUMNAS PARA VIADUCTO

La columna es un elemento sometido principalmente a compresión, por lo tanto el diseño está basado en la fuerza interna, conjuntamente debido a las condiciones propias de las columnas, también se diseñan para flexión de tal forma que la combinación así generada se denomina flexocompresión.

La compresión es el principal factor que determina el comportamiento del elemento, es por ello que el predimensionado de columnas consiste en determinar las dimensiones que sean capaces de resistir la compresión que se aplica sobre el elemento así como una flexión que aparece en el diseño debido a diversos factores. Cabe destacar que la resistencia de la columna disminuye debido a efectos de geometría, lo cuales influyen en el tipo de falla.

El efecto geométrico de la columna se denomina esbeltez, se entiende por efecto de esbeltez la reducción de resistencia de un elemento sujeto a la compresión axial o a flexocompresión, debida a que la longitud del elemento es grande en comparación con las dimensiones de su sección transversal y es un factor importante, ya que la forma de fallar depende de la esbeltez, para la columna poco esbelta la falla es por aplastamiento y este tipo se denomina columna corta, los elemento más esbeltos se denominan columna larga y la falla es por pandeo. La columna intermedia es donde la falla es por una combinación de aplastamiento y pandeo.

Dentro de los requisitos fundamentales de una estructura o elemento estructural están: equilibrio, resistencia, funcionalidad y estabilidad. En una columna se puede llegar a una condición inestable antes de alcanzar la deformación máxima permitida o el esfuerzo máximo. El fenómeno de inestabilidad se refiere al pandeo lateral, que es una deflexión que ocurre en la columna, cuando aparece incrementa el momento flector aplicado sobre el elemento, el aumento de la deflexión agranda la magnitud del momento flector, creciendo así la curvatura de la columna hasta la falla; este caso se considera inestable. Por ello la resistencia de la columna sometida a compresión tiene dos límites, el de resistencia para columnas cortas y el de estabilidad para columnas largas. La estabilidad es así el nuevo parámetro que define además de la resistencia y la rigidez, las dimensiones de la columna.

La viga I típica tiene las siguientes dimensiones:

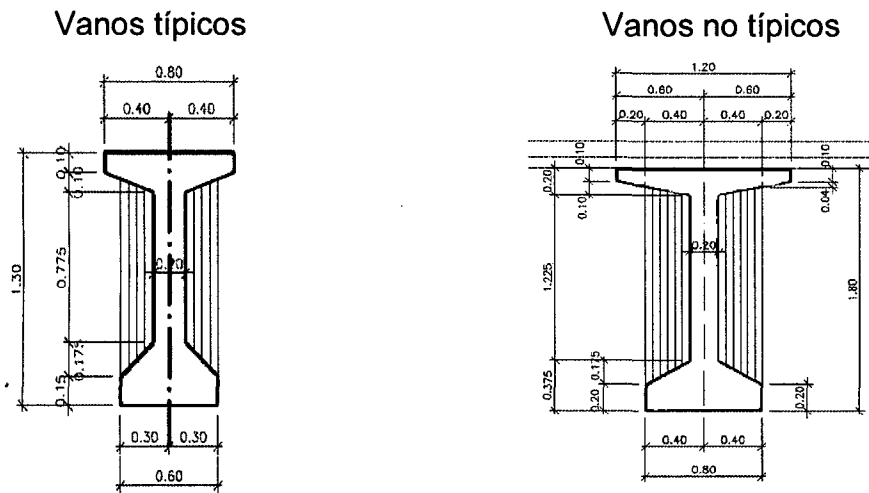


Fig. 3.5 Sección transversal de viga I  
 Fuente Expediente Técnico Final AATE

En los extremos, en una longitud de 1.0m, la viga cambia a una sección rectangular, como se muestra a continuación.

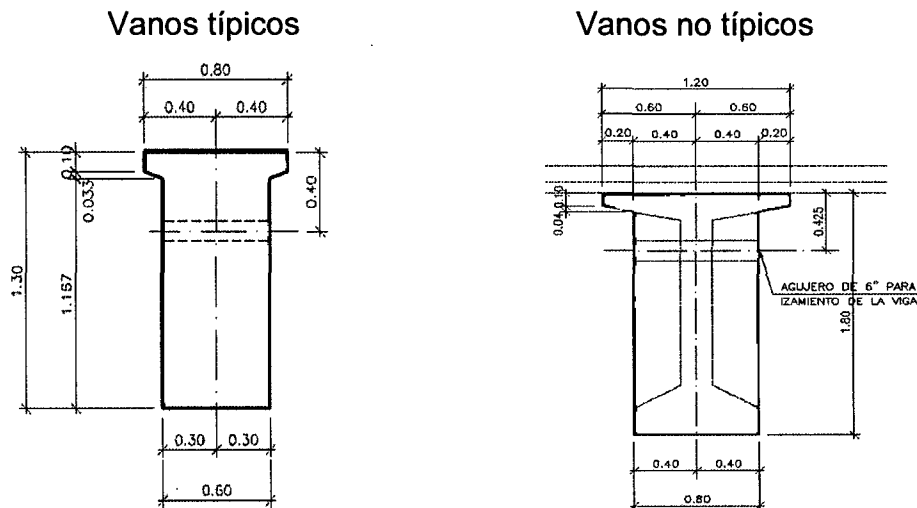


Fig. 3.6 Sección transversal final de viga I  
 Fuente Expediente Técnico Final AATE

El armado del acero de las vigas se realiza teniendo como encofrado de piso planchas de acero de 3mm de espesor. Para la correcta colocación de la armadura se colocan los puntos topográficos necesarios sobre las planchas metálicas (solados de apoyo) que servirán como guías para la instalación del acero y su verificación, así como el control de los encofrados (alineamiento, espaciamiento, recubrimientos, niveles, etc.).

Las columnas o pilares se pueden clasificar según:

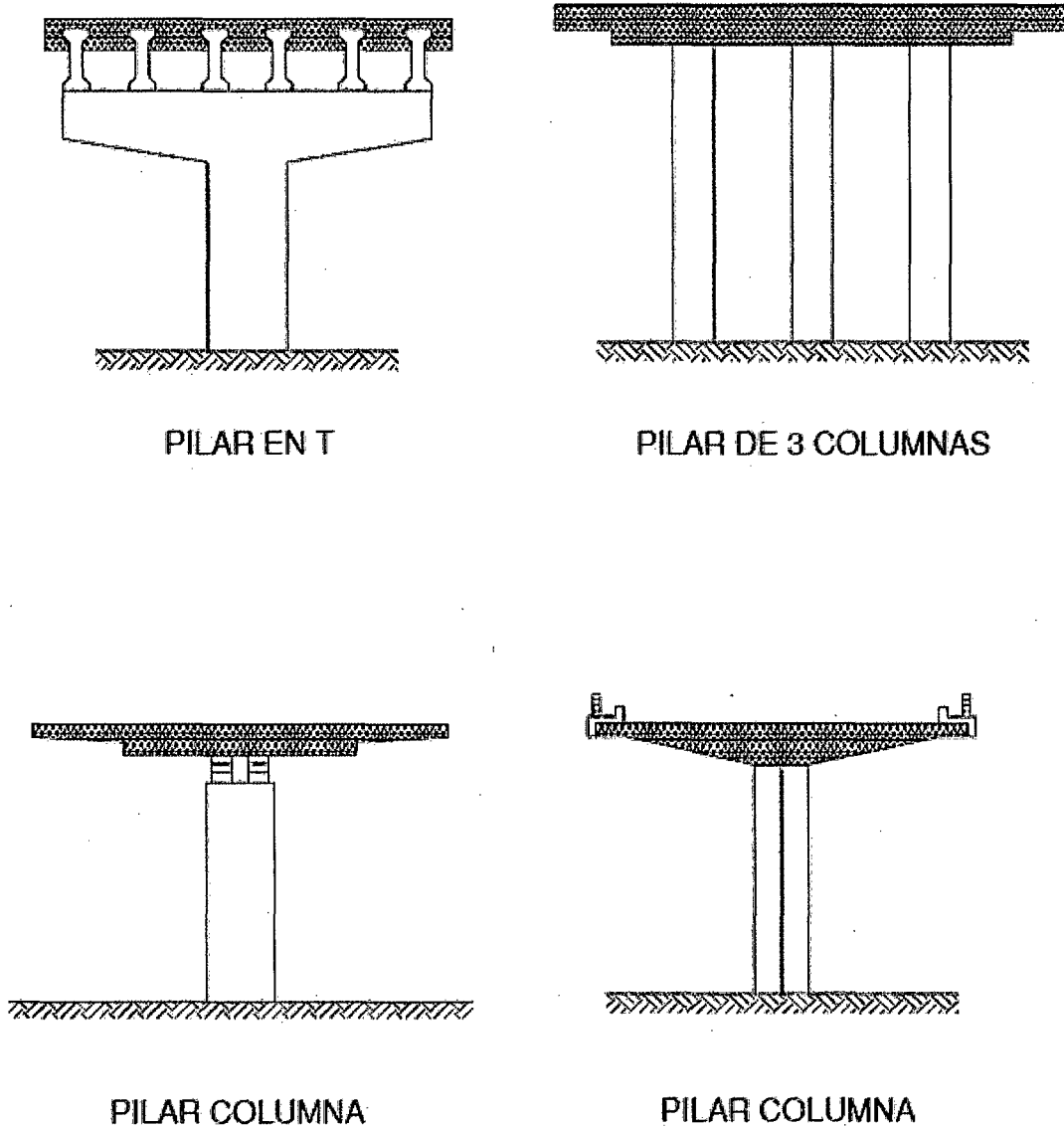
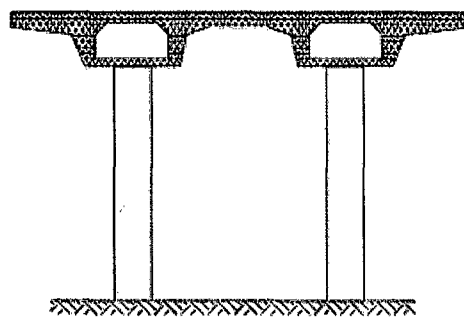


Fig. 3.3 Tipos de columnas

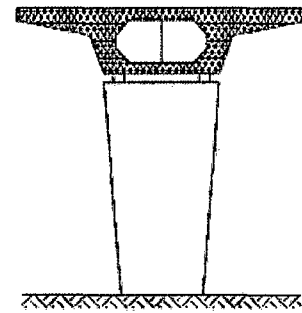
Fuente: MTC

Guía para inspección de puentes

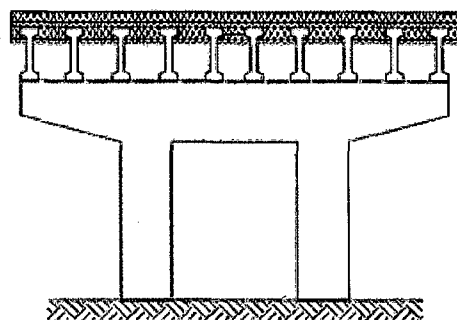




PILAR DE 2 COLUMNAS



PILAR TIPO PLACA



PILAR TIPO PORTICO

Fig. 3.4 Tipos de columnas

Fuente: MTC

Guía para inspección de puentes

### 3.3 TIPO DE VIGAS LONGITUDINALES PARA VIADUCTO

La Sector de la Construcción ha experimentado en los últimos años cambios sustanciales derivados de las nuevas tecnologías y materiales. Asimismo, los plazos de obra más exigentes deben compatibilizarse con una mejora económica del proyecto, minimizando además el impacto ambiental en el entorno. Todos estos factores exigen poner mayor énfasis en determinados aspectos del proyecto y construcción de estructuras, proponiendo diversas alternativas que conduzcan a optimizaciones en tiempo, economías de obra, y mejoras del diseño con el menor impacto en el medio ambiente. El empleo de la prefabricación en elementos de concreto, resulta una alternativa constructiva adecuada para lograr los requerimientos antes mencionados. La eliminación de costosos encofrados, la mejor calidad de terminación de las superficies, la posibilidad de utilización de soluciones industrializadas, los menores tiempos de obra en el sitio, la menor dependencia de factores climáticos, o la imposibilidad de ejecutar elementos de concreto en sitio, en determinados emplazamientos, son algunas de las tantas razones que justifican el empleo de elementos prefabricados de concreto.

Un alto porcentaje de tableros de puentes de luces moderadas (18 a 35m) se construyen con elementos prefabricados pretensados como elementos estructurales principales. También son utilizados cada vez con más frecuencia, elementos secundarios prefabricados para construcción del tablero (losetas de encofrado con incorporación de armaduras principales de la losa) y para terminación y defensa. Este tipo de construcción tan frecuente condiciona fuertemente el tipo estructural del tablero.

Las vigas longitudinales también llamadas vigas prefabricadas son vigas pretensadas los cuales son sometidos intencionalmente a esfuerzos de compresión previos al vaciado de concreto. Esta tensión se aplica mediante cables de acero que son tensados y anclados al concreto El tipo de vigas prefabricadas usadas son del tipo I para los vanos tipos y no típicos que tienen un ancho de 1.20m en la parte superior y un ancho de 0.80m en la parte inferior; y altura para ambas vigas de 1.80m pero con la diferencia en sus luces teniendo el primero una luz de 34.70m y el segundo una luz de 30.70m.

Se utilizarán dados prefabricados de concreto para asegurar el recubrimiento de la armadura. Adicionalmente, se colocarán en la zona de los cabezales los insertos para el izaje de las vigas y las tuberías corrugadas previstas para el post-tensado con el diafragma.

Para el sistema de puesta a tierra se colocan dos planchas de acero galvanizado soldados en ambos cabezales de las vigas a las armaduras longitudinales, soldadas entre sí para la continuidad del sistema. Esta operación se realiza durante la colocación de la armadura y se inspeccionará previo al cierre del encofrado antes de colocar los tendones. Las dos planchas terminales para la conexión del cable de puesta a tierra se ubican sobre la cara inferior de las vigas prefabricadas, ubicadas a 85 cm de los extremos y a 40 cm de los bordes laterales de cada viga.

Concluido el armado del acero de la viga, se procederá a colocar los encofrados de los cabezales (caras transversales) y a colocar todos los tendones de diámetro 5/8 pulgada los cuales están conformados por 7 hilos de acero a lo largo de la línea (04 vigas continuas) fijándolos en los bloques de anclaje.

La secuencia de instalación de los tendones en las vigas es la siguiente: Es importante que para iniciar la instalación de los tendones, el fondo del encofrado esté correctamente nivelado de acuerdo al proyecto con una cara del costado de la viga sin colocar, esto es para colocar con comodidad los tendones.

La armadura de refuerzo convencional debe estar colocada correctamente con sus recubrimientos, especialmente los de la parte inferior, debido a que los soportes de los tendones estarán amarrados a los estribos de la viga.

Cabe mencionar que el número de tendones por cada tipo de viga varía, así tenemos que hay vigas que llevan 30 tendones y vigas de 36 tendones, todo a lo largo de la línea de donde se concretara las vigas prefabricadas.

Además a los tendones se le colocan mangueras para el posterior vaciado de lechada de concreto y además de tener la estanqueidad necesaria para que la lechada de la mezcla de concreto no discurra entre ella.

Los tendones se tensarán entre a los extremos de las vigas mediante el uso de gatas hidráulicas. En esta operación se medirá el alargamiento de los tendones así como la fuerza de tensión aplicada, el tensado de los cables se hará en el orden indicado en los Planos de Detalles.

Las bombas y/o equipos utilizados para accionar los gatos tensores, estarán equipados con un manómetro calibrado que indique la presión aplicada con una tolerancia del 2% en más o en menos. Los manómetros serán calibrados y certificados cada cierto tiempo.

En la primera etapa el estiramiento producido está afectado por el acomodo del cable, debiéndose asumir que el estiramiento real se producirá a partir de la segunda etapa, para lo cual se hará la corrección necesaria. En el proceso de tensado de los cables se aplica una primera carga de 1000 PSI para el reacomodo de los cables. En este caso se hará una marca referencial al cable a 30 cm con respecto al accesorio de anclaje. Esta marca representa la elongación teórica referencial del cable a 1000 PSI (marca inicial) hasta una presión requerida de 6000 PSI.

Una vez aplicada la fuerza de tensado se procederá con el vaciado de las vigas. El concreto es suministrado por la planta de concreto premezclado instalada especialmente en el área de prefabricados y su calidad corresponderá al diseño de mezcla específico aprobado para estas estructuras. La colocación del concreto será continua para cada viga y se

seguirán los procedimientos usuales para el adecuado vibrado utilizando los vibradores de placa insertos en los encofrados u/o vibradores de inmersión.

El vaciado de las vigas pretensadas se realiza en tres etapas en este caso de las vigas de  $H=1.80$  m. de peralte el vaciado es a través de una bomba con  $f'c = 350$  kg/cm<sup>2</sup>. La primera camada de concreto será a una altura menor al ala inferior de la viga a fin de eliminar o minimizar las burbujas superficiales que puedan generarse. Concluido el vaciado se procederá a aplicar el sistema de Curado Acelerado que consiste en cubrir la estructura con una manta (Manta 400 / curaflex o similar), donde se echa vapor a través de una hidrolavadora (130 °C) y posteriormente se cubre con una manta plástica.

Se debe asegurar que al cubrir la viga con la manta y el plástico no exista ningún espacio por donde pueda ingresar el aire frío del exterior. Mediante este sistema se asegura que la estructura alcance su resistencia manteniendo su humedad (manta) y el calor (plástico).

Una vez alcanzado los 270 kg/cm<sup>2</sup> se procederá a retirar las mantas de curado y autorizar el corte de los cables de pre-tensado y se realizaran de forma secuencial y continua en la dirección longitudinal de los cables viga a viga. A partir de esta etapa las vigas no necesitarán ningún sistema de curado adicional. Para el corte de los cables, se utilizarán los resultados de rotura de las probetas. Luego del corte las vigas son llevadas a la zona de despacho para su emporre con una mezcla de cemento-cal-arena fina para darle el acabado final.

Realizando un cuadro comparativo entre los costos que se originan para construir un puente de 109ml de longitud con vigas pre fabricadas tipo I y vigas cajón vaciadas insitu, se obtiene según cuadro 3.1 un ahorro

U\$108.531,53 por cada cruce especial (109ml), lo equivalente en promedio de U\$1.000,00 por metro lineal de superestructura.

TABLERO CON VIGA SECCION CAJON		cantidad	Custo Unitario	Custo Total
ENCOFRADO PARA VIGA SECCION CAJON	m2	2.389,180	\$ 87,71	\$ 209.554,98
ACERO F.Y=4200 KG/CM2 PARA VIGA SECCION CAJON	kg	57.986,630	\$ 1,48	\$ 85.820,21
TUBERIA PVC PARA DRENAJE	m	0,550	\$ 9,87	\$ 5,43
CONCRETO FC=350 KG/CM2 PARA VIGA SECCION CAJON	m3	619,200	\$ 136,66	\$ 84.619,87
ACERO POSTENSADO PARA VIGA SECCION CAJON	TM	94.703,200	\$ 0,44	\$ 41.669,41

\$ 421.669,90

TABLERO CON VIGA PRE FABRICADA		cantidad	Custo Unitario	Custo Total
FABRICACION DE VIGAS	m3	160,000	672,31	107.569,60
TRANSPORTE DE VIGAS	m3	160,000	25,40	4.064,00
MONTAJE DE VIGAS PREFABRICADAS	m3	160,000	100,90	16.144,00
FABRICACION DE LOSAS	m3	67,200	547,08	36.763,78
TRANSPORTE DE LOSAS PREFABRICADAS	und	67,200	8,75	588,00
MONTAJE DE LOSAS PREFABRICADAS	und	180,000	69,24	12.463,20
ACERO F.Y=4200 KG/CM2 PARA DIAFRAGMA	kg	8.500,000	2,00	17.000,00
ENCOFRADO PARA DIAFRAGMA	m2	45,000	71,48	3.216,60
CONCRETO FC=350 KG/CM2 PARA DIAFRAGMA	m3	455,280	143,88	65.505,69
ACERO POSTENSADO DYWIDAG	TM	12.780,000	0,64	8.179,20
ACERO F.Y=4200 KG/CM2 EN TABLERO	kg	18.000,000	1,54	27.720,00
CONCRETO FC=350 KG/CM2 EN TABLERO	m3	115,920	120,12	13.924,31

\$ 313.138,37

Cuadro 3.1 Cuadro de comparativo para puentes prefabricados y vaciados insitu

Fuente Documento de Investigación Odebrech (Premio Destaque-Superando el tránsito de Lima)

### **3.4 CONCRETO PARA ESTRUCTURAS ESPECIALES**

A lo largo del Viaducto Elevado, de acuerdo a la concepción estructural se tendrá una serie de módulos “típicos” que se repiten con mayor frecuencia en la extensión del proyecto.

La estructura del módulo típico del viaducto consiste en hasta 6 tramos continuos de 20 m de luz, con una longitud total máxima de 120 m entre juntas de expansión, conformados a partir de vigas prefabricadas hechas continuas por medio de diafragmas de concreto armado vaciados en sitio que conectan las vigas de tramos adyacentes. Esta configuración resulta en una estructura hiperestática, con excelente comportamiento bajo sollicitaciones sísmicas.

Llamaremos al conjunto de zapatas y columnas como parte de la subestructura y al conjunto de vigas cabezales y vigas longitudinales y/o vigas cajón más el tablero lo llamaremos superestructura, los pilares sobre los que se apoya la superestructura son del tipo “martillo”.

Las cargas verticales de la superestructura se transmiten a las columnas por medio de apoyos elastoméricos colocados sobre la viga cabezal. Las cargas longitudinales se transmiten a las columnas por medio de restricciones longitudinales embebidas en la viga cabezal y conectadas al tablero a través de los diafragmas. La transmisión de cargas transversales se realiza por medio de llaves de corte entre el tablero y la viga cabezal. El diseño de la sub-estructura (zapatas y columnas) es controlado fundamentalmente por las consideraciones del diseño sísmico.

#### **3.4.1 Estructuras del Viaducto**

A continuación se hace una descripción de las estructuras, sus características y dimensiones y el concreto utilizado para cada uno de estos elementos que conforman las estructuras especiales usadas en el

proyecto. La resistencia del concreto de las estructuras a los 28 días se especifica en cada caso.

### **3.4.1.1 Zapatas**

Las zapatas son de sección rectangular escalonadas en elevación. La dimensión típica de las zapatas está indicada en los planos de geometría, determinada según los criterios de diseño. Las zapatas serán vaciadas en sitio sobre un solado de 5cm de concreto de  $f'c = 10$  MPa y contra el terreno en el primer escalón. El concreto será de resistencia a la compresión a los 28 días  $f'c = 21$  MPa.

### **3.4.1.2 Columnas**

Las columnas de los módulos típicos y no típicos son de sección octogonal alargadas transversalmente variables de 1.40m a 1.60m x 2.10m a 2.50m de dimensiones, determinadas según los esfuerzos. Las columnas del módulo especial son de sección octogonal variables de 1.55m x 2.30m (externas) a 1.80m x 3.80m (internas) de dimensiones, determinadas según los esfuerzos.

La altura de las columnas es variable según la pendiente del trazo geométrico respetando los gálibos establecidos.

El concreto de las columnas tendrá resistencia a la compresión a los 28 días de  $f'c = 28$  MPa.

### **3.4.1.3 Vigas cabezal**

Las vigas cabezal son elementos transversales de sección variable sobre las columnas. La viga cabezal de las columnas es de concreto armado de 1,70 m de ancho y peralte variable desde 1,70 m en el encuentro con la columna a 1,00 m en los extremos del cabezal.



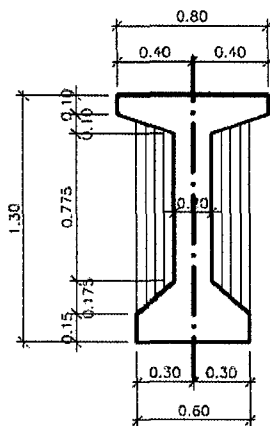
El concreto de las vigas cabezal tendrá resistencia a la compresión a los 28 días de  $f'c = 28$  MPa.

### 3.4.1.4 Tablero

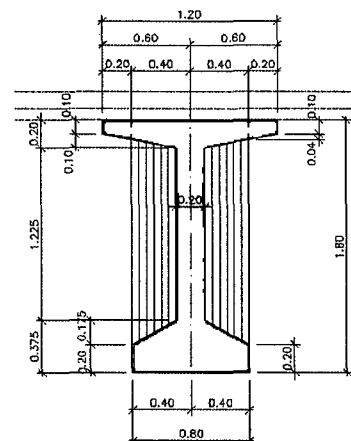
El tablero del viaducto típico tiene un ancho total de 8,40 m, y un peralte total de 1,50m, incluido la losa (vigas = 1.30m). Para los viaductos no típicos el peralte total es de 2m, incluido la losa (vigas = 1.80m). Está conformado por cuatro vigas I prefabricadas pretensadas de 1,30 m o 1.80m de peralte y una losa de 20cm de espesor total ejecutada en dos etapas. Las vigas prefabricadas se encuentran uniformemente espaciadas transversalmente a lo ancho del tablero a una distancia de 2,00 m entre ejes.

La viga I típica tiene las siguientes dimensiones:

Vanos típicos



Vanos no típicos



La viga será prefabricada y pretensada con una longitud de 19.7m para los vanos típicos y 31.93m, 34.70m o 29.70m para los tramos de vigas no típicas. El concreto de la viga tendrá resistencia a la compresión a los 28 días de  $f'c = 35$  MPa.

### 3.4.1.5 Losa

Las losas de los tableros típicos y no típicos tendrán 20 cm de espesor y será construida en dos etapas. La primera etapa consiste en losas prefabricadas de 8 cm de espesor que servirán de encofrado para hacer el vaciado in situ de la segunda etapa hasta completar los 20 cm totales. El concreto de la losa tendrá resistencia a la compresión a los 28 días de  $f'c = 35$  MPa.

A continuación se detalla el tipo de concreto que se utilizó para los respectivos elementos tanto de la subestructura como de la superestructura.

- Concreto de las zapatas  $f'c28 = 21$  MPa (210 kgf/cm<sup>2</sup>)
- Concreto de columnas y vigas cabezales superiores  $f'c28 = 28$  MPa (280 kgf/cm<sup>2</sup>)
- Concreto de la losa y pre-losas del tablero  $f'c28 = 35$  MPa (350 kgf/cm<sup>2</sup>)
- Concreto en vigas prefabricadas  $f'c28 = 35$  MPa (350 kgf/cm<sup>2</sup>)

El cemento para la elaboración del concreto deberá cumplir con los requisitos indicados en la norma ASTM C-150 (cementos tipo I, II y V) y/o ASTM 595 (cementos Tipo IP y IPM). Solo cuando se considere técnicamente necesario realizar ensayos al cemento, el muestreo se hará de acuerdo al procedimiento indicado en la norma ASTM C-183.

### 3.4.2 Clases de concreto

Para su empleo en las distintas clases de obra y de acuerdo con su resistencia mínima a la compresión, determinada según la norma ASTM C39, se establecen las siguientes clases de concreto

CLASE	RESISTENCIA MÍNIMA A LA COMPRESIÓN A 28 DÍAS
Concreto Pre y Post tensado A B	34,3 MPa (350 Kg/cm <sup>2</sup> ) 31,4 Mpa (320 Kg/cm <sup>2</sup> )
Concreto reforzado C D E	27,4 MPa (280 Kg/cm <sup>2</sup> ) 20,6 MPa (210 Kg/cm <sup>2</sup> ) 17,2 MPa (175 Kg/cm <sup>2</sup> )
Concreto simple F	13,7 MPa (140 Kg/cm <sup>2</sup> )
Concreto ciclópeo G	13,7 MPa (140 Kg/cm <sup>2</sup> ) Se compone de concreto simple Clase F y agregado ciclópeo, en proporción de 30% del volumen total, como máximo.

Cuadro 3.2 Cuadro de clases de concreto

Fuente Expediente Técnico Final AATE

### 3.4.3 Diseño de Mezcla

Las proporciones en que se deben mezclar los agregados disponibles y la gradación media a que da lugar dicha mezcla. El diseño de mezcla deberá indicar:

- Las dosificaciones de cemento, agregados grueso y fino y aditivos en polvo, en peso por metro cúbico de concreto. La cantidad de agua y aditivos líquidos se podrá dar por peso o por volumen.
- Cuando se contabilice el cemento por bolsas, la dosificación se hará en función de un número entero de bolsas.
- La consistencia del concreto, la cual se deberá encontrar dentro de los siguientes límites, al medirla según norma de ensayo ASTM C 143.

PARA SLUMP ESPECÍFICO DE	TOLERANCIA
2" (50 mm) o menos	±1/2" (15 mm)
Más de 2" hasta 4 " (50 a 100 mm)	±1" (25 mm)
Más de 4" (100 mm)	±1 1/2" (40 mm)

ELEMENTO ESTRUCTURAL	SLUMP DE DISEÑO
Zapatas	6"
Pilares	6"
Viga Cabezal	6"
Vigas	6"-8"
Losas	6"
Borde Típico	6"
Canaletas	6"

Cuadro 3.3 Cuadro de consistencia de concreto  
Fuente Expediente Técnico Final AATE

El diseño de mezcla deberá ser reformulado cada vez que varíe alguno de los siguientes factores:

- El tipo, clase o categoría del cemento o su marca.
- El tipo, absorción o tamaño máximo del agregado grueso.
- El módulo de fineza del agregado fino en más de dos décimas (0,2).
- La naturaleza o proporción de los aditivos.

#### 3.4.4 Producción de Concreto

La planta de elaboración del concreto efectuó una mezcla homogénea de los componentes, dando lugar a un concreto de aspecto y consistencia uniforme, dentro de las tolerancias establecidas. La mezcla se elaboró en plantas centrales ubicadas en la Videna. El concreto siempre presentara una mezcla uniforme y se pueda descargar su contenido sin que se

produzcan segregaciones; además, estarán equipados con cuentarrevoluciones. Los vehículos mezcladores de concreto y otros elementos que contengan alto contenido de humedad deben tener dispositivo de seguridad necesario para evitar el derrame del material de mezcla durante el proceso de transporte.

### **3.4.5 Elaboración de la mezcla**

#### **a) La Planta Dosificadora**

El proceso de dosificación del camión mezclador será de la siguiente forma:

- 75 % de agua de diseño.
- 100 % de cemento más el 100 % agregado.
- 25 % del agua restante más el 100% de aditivos.

Después de realizar el carguío dentro de la unidad de transporte se procederá a mezclar los insumos por un periodo de 5 minutos, antes de realizar la descarga de mezcla para la obtención de ensayos.

#### **b) La Planta Mezcladora**

El proceso de carga en el mezclador será de la siguiente forma:

- 75 % de agua de diseño más el 100 % agregado.
- 100 % de cemento.
- 25 % del agua restante más el 100% de aditivos.

El batido se realizará por un periodo de 60 segundos, para luego proceder a descargarlo en el camión mezclador, quedando la mezcla lista para ser ensayada, transportada y descargada en la estructura final.

### **3.4.6 Colocación de concreto**

Se dispuso de los medios de colocación necesarios que permitan una buena regulación de la cantidad de mezcla depositada, para evitar salpicaduras, segregación y choques contra los encofrados o el refuerzo.

La descarga de la mezcla, el transporte, la entrega y colocación del concreto deberán ser completados en un tiempo máximo de una y media (1 ½) horas, desde el momento en que el cemento se añade a los agregados. Pasada las 1 ½ horas, el concreto podrá ser utilizado siempre y cuando mantenga sus propiedades de trabajabilidad.

La altura de colocación del concreto (caída libre) no deberá ser mayor a 1,50 m. Cuando se coloque concreto directamente del mixer se adaptarán chutes metálicos, de plásticos o madera que faciliten la colocación del concreto y a su vez eviten la segregación de la mezcla de concreto.

### **3.4.7 Consolidación (Vibrado)**

El concreto colocado se consolida mediante vibración, hasta obtener la mayor densidad posible, de manera que quede libre de cavidades producidas por partículas de agregado grueso y burbujas de aire, y que cubra totalmente las superficies de los encofrados y los materiales embebidos.

En el caso de los vibradores de inmersión, el vibrador se deberá operar a intervalos regulares y frecuentes, en posición casi vertical y con su cabeza sumergida profundamente dentro de la mezcla (traslapar al menos 10 cm con la capa de concreto anterior). No se deberá colocar una nueva capa de concreto, si la precedente no está debidamente consolidada.

### **3.4.8 Curado**

Durante el primer período de endurecimiento, se sometió el concreto a un proceso de curado que seguirá según el tipo de cemento utilizado y las condiciones climáticas del lugar. El concreto podrá ser curado vía húmeda o mediante el uso de curador químico. En el caso de curado con agua,

éste se realizará durante 7 días después de la colocación de concreto si se ha usado cemento portland normal y durante 3 días si se ha usado cemento de alta resistencia inicial.

### 3.5 SONNEVILLE

El sistema LVT- SONNEVILLE, ha demostrado ser una solución perfecta para todos los tipos de vía en placa, ya sea en trayectos de alta velocidad, donde se exige una alta precisión en la geometría de la vía, ya sea en sectores urbanos donde la protección contra las vibraciones y el ruido ocupa un primer plano. Independientemente, uno de los factores decisivos en la elección del sistema a instalar es siempre el coste de mantenimiento, por lo que tanto si se trata de vías de alta velocidad, como de metros, túneles, vías convencionales, o vías que soportan tráficos pesados, el sistema LVT ha demostrado su eficacia.

Por lo tanto, no es de extrañar que dicho sistema LVT esté instalado en casi 900 km de vía, incluyendo tres de los cuatro túneles ferroviarios más largos del mundo.

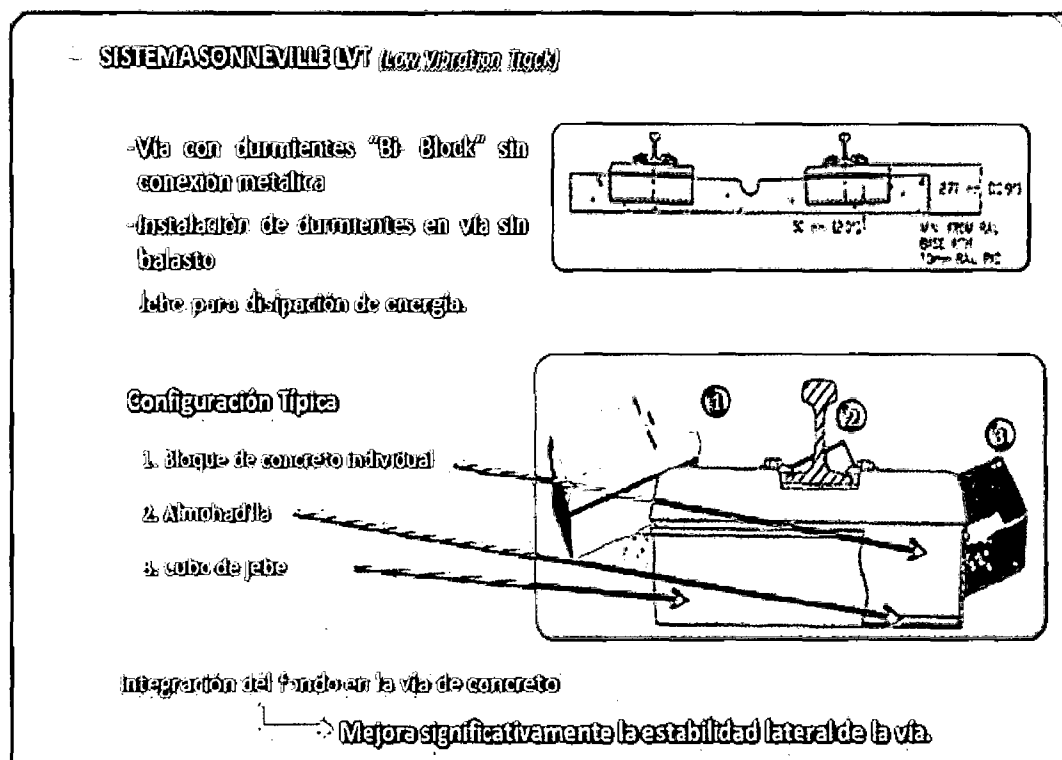


Fig. 3.7 Cuadro de configuración LVT  
Fuente Expediente Técnico Final AATE



El sistema LVT consiste en bloques de hormigón armado, cubiertos por cazoletas elásticas. Para realizar el efecto de distribución de la carga a través del carril, el bloque de hormigón se monta sobre una almohadilla elástica, con una rigidez diseñada especialmente para el proyecto. No importa el sistema de sujeción de carril que se utilice. Tendrá una placa elástica bajo carril, para garantizar una de las características del sistema: dos niveles de elasticidad.

Para conseguir la máxima amortiguación de las vibraciones, el sistema LVT está ahora disponible en dos versiones: LVT standard y LVT High Attenuation (LVT HA). La diferencia más importante de LVT HA, es la dimensión más grande del bloque. La masa adicional y la almohadilla más blanda suponen una frecuencia propia diferente.

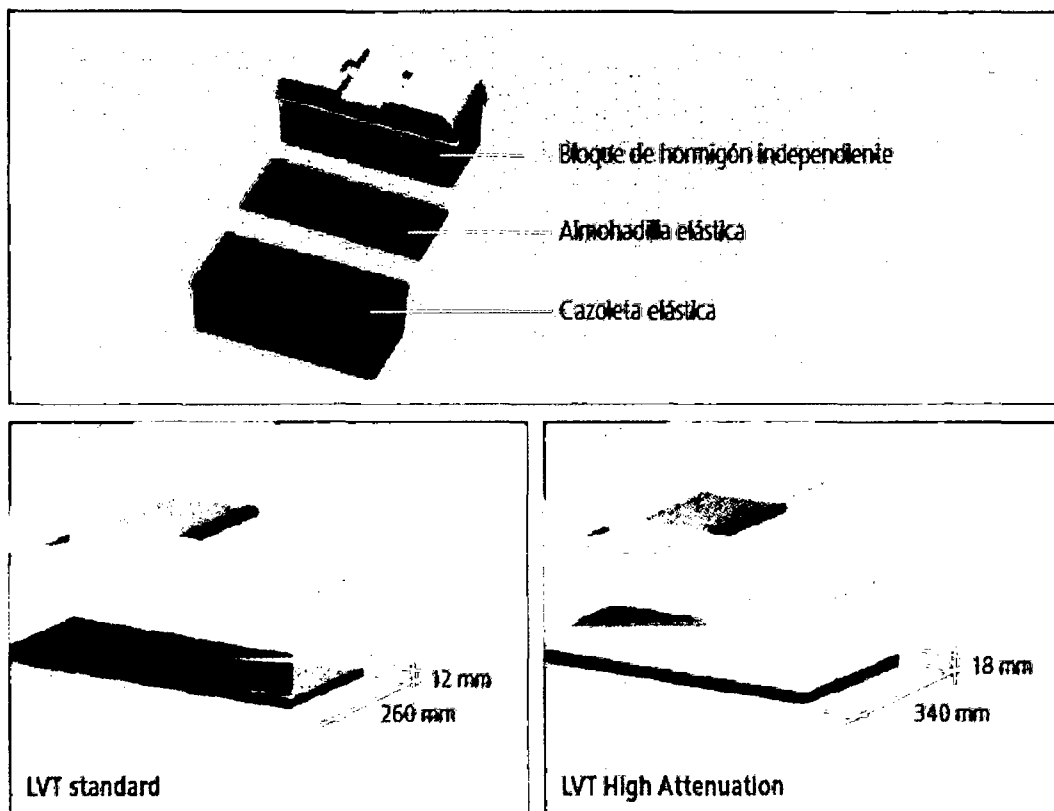


Fig. 3.8 Cuadro de descripción del sistema

Fuente Internet

### 3.5.1 Ventajas del sistema

- Amortiguación de vibraciones altamente efectiva. Se consigue gracias a dos niveles de elasticidad.
- Otra ventaja importante del sistema, es que cada componente puede cambiarse individualmente, si es necesario.
- Aparte de estas características, la ausencia de riostras permite embutir el bloque LVT hasta una altura de 143 mm, y facilita las operaciones de rescate en vehículos con neumáticos.
- Además, una resistencia lateral extraordinaria y control del ancho de vía dinámico como resultado del profundo empotramiento de los bloques LVT en el hormigón de base de la vía.
- La ausencia de conexiones eléctricas directas entre los bloques opuestos, es una característica del sistema.
- Gran precisión de la geometría de la vía, resultante del método de construcción «topdown» (arriba-abajo) aplicado.
- Para obtener un comportamiento homogéneo de la vía a lo largo de todo el trayecto fue desarrollado el sistema de cambios LVT con bloques y almohadillas elásticas. La combinación de sólo cinco tipos distintos bloques permite conseguir la adecuada geometría de la vía en los aparatos (cambios y cruzamientos).

### 3.5.2 Versiones

El sistema LV T se adapta a cada proyecto. Las siguientes versiones del sistema ya se han instalado en diversas vías férreas.

- Sistema LVT standard (estándar; LVT): por sus excelentes propiedades, está indicado en vías de alta velocidad, túneles, viaductos, estaciones, metros y trayectos con tráfico pesado.

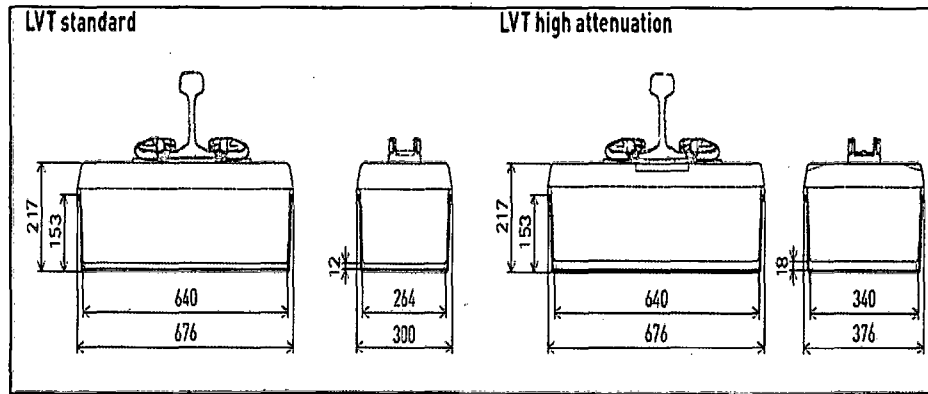


Fig. 3.9 Sistema LVT- Standard

Fuente Internet

- Sistema Lvt high attenuation (alta atenuación; Lvt HA): con bloques más grandes y una almohadilla interior más blanda, está indicado cuando se requiere elevadas exigencias en la atenuación de vibraciones y ruidos. Las características de este sistema garantizan una reducida frecuencia propia del sistema, pudiendo compararse en resultados con los obtenidos con las placas flotantes.

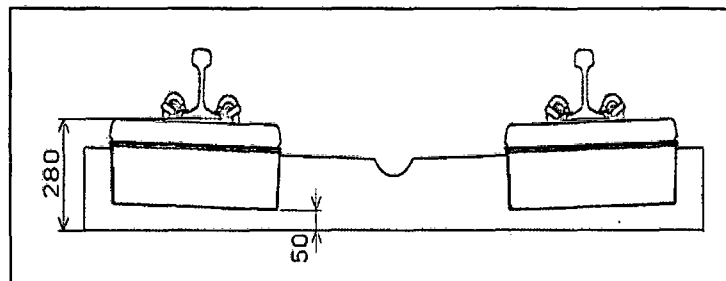


Fig. 3.10 Sistema LVT- High Attenuation

Fuente Internet

Todas las versiones se adaptan extraordinariamente para el uso en túneles, en tramos de vía al aire libre y sobre viaductos, algo que ya se ha confirmado en muchos objetos de referencia. La eficacia de las diferentes versiones del sistema LVT se representa a continuación, a título de ejemplo, mediante un diagrama de pérdida de inserción. Este sistema LVT S & C, además de estar el indicado para los aparatos de vía (cambios y

cruzamientos), es válido también para las juntas de dilatación y los contracarriles.

Con cinco tipos de bloques estandarizados, se cubren todas las geometrías de las agujas. Diferentes almohadillas elásticas interiores, rígidas, garantizan un comportamiento de rodadura uniforme. Así mismo, el sistema LVT S & C, en el caso de aparatos de vía sobre placa, también garantiza unas condiciones homogéneas en el comportamiento en dicha zona.

El alto grado de estandarización y la frecuente posibilidad de renunciar a utilizar hormigón armado en el relleno, hacen que el LVT S & C sea un sistema competitivo en todos los aspectos.

## CAPÍTULO IV

### CONFIGURACION DEL VIADUCTO

#### 4.1 INFORMACIÓN GEOTÉCNICA

La información proporcionada en este capítulo se basa principalmente en los estudios Geotécnicos, a continuación se resumen los puntos más resaltantes del estudio, Como referencia en el Anexo 1 Estudio Geotécnico, se presentan los resultados de ensayos de corte in situ realizados sobre la grava de Lima.

Las Investigaciones Geotécnicas y de Suelos del tramo L comprende desde la Av. Ayacucho hasta el Ovalo Los Cabitos. El estudio Geotécnico y de Suelos con fines de cimentación presenta los siguientes objetivos específicos: Evaluar finalmente los parámetros geotécnicos del suelo al nivel de cimentación de las estructuras proyectadas.

##### 4.1.1 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

Los parámetros de resistencia a utilizar en el análisis de la cimentación, han sido obtenidos de ensayos de corte directo in situ realizados sobre el conglomerado de Lima (Humala 1982). Los ensayos de corte directo realizados sobre la grava de Lima reportan valores de ángulo de fricción de 34° a 40° y cohesión de 0.15 a 0.6kg/cm<sup>2</sup>. En base a los antecedentes y a la experiencia en estos tipos de suelo, se escoge para la grava del tramo E, cohesión=0° y ángulo de fricción del suelo=38°.

##### 4.1.2 PARÁMETROS DE ELASTICIDAD

Para el análisis de la cimentación por asentamiento, De acuerdo a la zonificación se tiene dos tramos de diferentes características y condiciones geotécnicas, por lo que se adopta el criterio de utilizar parámetros de la segunda capas. Los valores del módulo dinámico corresponden a niveles de deformación unitaria de  $1 \times 10^6$  cm/cm; para niveles de deformación unitaria de  $1 \times 10^2$  cm/cm, que

corresponden a esfuerzos transmitidos de 4.5 a 6.0kg/cm<sup>2</sup>, el módulo de Young secante sería conservadoramente 0.1xEd.

Los resultados de esta capa son presentados en los parámetros Elásticos (Anexo 1). Se adopta el criterio de escoger el promedio de módulos a lo largo de este sector, se obtiene 115 Mpa. Y el valor adoptado para el coeficiente de Poisson es de 0.3.

### **Profundidad de la Cimentación**

De acuerdo a los resultados de las investigaciones geotécnicas y los registros estratigráficos, a lo largo del tramo de estudio, se recomienda cimentar a la profundidad mínima de 3.5m.

### **Capacidad Admisible**

El análisis de la capacidad admisible se realizará de acuerdo a las especificaciones AASHTO LRFD el cual recomienda el análisis de la cimentación en los tres estados límite: servicio, resistencia y evento extremo.

#### **4.1.3 CAPACIDAD ADMISIBLE POR RESISTENCIA**

Para el análisis de la capacidad admisible por resistencia se utilizara la ecuación propuesta por AASHTO LRFD para suelos no cohesivos. Los registros de cálculo detallado se presentan en el Análisis de la Cimentación (Anexo 1).

$$q_u = 0.5g\gamma BC_{w1} N_{\gamma m} \times 10^{-9} + g\gamma C_{w2} D_f N_{qm} \times 10^{-9} \dots\dots\dots (1)$$

Dónde:

- qu = Capacidad de carga nominal (Mpa)
- g = aceleración de la gravedad (m/s<sup>2</sup>)
- Df = Profundidad de la cimentación (mm)
- γ = Densidad total (kg/m<sup>3</sup>)
- B = Ancho de la zapata
- B' = Ancho de la zapata reducida (mm) B'=B -2 eB
- L = Longitud de zapata (mm)

$L'$  = Longitud de la zapata  $L'=L-2eL$

$eB=$  = Excentricidad paralela a la dirección B(mm)

$eL=$  = Excentricidad paralela a la dirección L(mm)

$Cw1, Cw2=$  Coeficientes en función de Dw (adimensional)

$Dw=$  = Profundidad de la napa freática (mm)

$\phi_f=$  = Angulo de fricción del suelo ( $^{\circ}$ )

$N_{\gamma m}, N_{q m}$  = Factores de capacidad de carga modificados (adimensional)

$N_{\gamma m}=N_{\gamma} s_{\gamma} c_{\gamma} i_{\gamma}$

$N_{q m}=N_q S_q c_q i_q d_q$

Factores de Capacidad de Carga

$$N_{\gamma} = 2(N_q+1) \tan \phi_f$$

$$N_q = \pi \tan \phi_f \tan^2 (45+\phi_f/2)$$

Factores de Forma

$$S_{\gamma} = 1 - 0.4 \left( \frac{B'}{L'} \right) \quad S_q = 1 + \frac{B'}{L'} \tan \phi_f$$

Factores de Compresibilidad

$$c_{\gamma} = c_q = e^{(-4.4+0.6 \frac{B}{L}) \tan \phi_f + \frac{(3.07 \text{ sen } \phi_f) [\log_{10} (2I_r)]}{1 + \text{sen } \phi_f}} \leq 1 \quad I_r = 2D_r \sqrt{\frac{P_a}{q}}$$

$D_r$  = Densidad relativa en porcentaje

$q$  = Presión efectiva debido a la sobrecarga del suelo (Mpa)

$p_a$  = Presión atmosférica considerada como 0.101 (Mpa)

### Factor de Profundidad

$$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \text{sen} \phi)^2 \tan^{-1} \left( \frac{D_f}{B} \right)$$

\*Si los suelos por encima del fondo de la zapata son tan competentes como los suelos debajo de la zapata.

\*Si los suelos son más débiles, utilizar  $d_q=1$ .

#### 4.1.4 CAPACIDAD ADMISIBLE POR ASENTAMIENTO

El análisis de la capacidad admisible estará limitado a un asentamiento permisible de 2.0 pulgadas (5.08 cm.) que es el asentamiento máximo tolerable para estructuras convencionales.

Para efectos del cálculo de una aproximación al asentamiento inmediato, bajo condiciones límite de capacidad portante de un suelo relativamente homogéneo, recurrimos a la expresión matemática sugerida por la AASHTO, según se indica a continuación.

La evaluación en detalle se presenta en el (Anexo 1) de esta tesis. El resumen de resultados se presenta en las Tablas N° 4.1, 4.2, 4.3 y 4.4

$$S_e = \frac{q (1 - \nu^2) \sqrt{A}}{E_s \beta z}$$

$S_e$  = Asentamiento estimado (cm)

$q$  = Intensidad de carga (Mpa)

$\nu$  = Modulo de Poisson

$\beta z$  = Factor de forma. Depende  $L'/B'$

$A$  = Área efectiva de la zapata (mm<sup>2</sup>)

$B'$  = Ancho efectivo de la zapata (mm)

$L'$  = Largo efectivo de la zapata (mm)

$E_s$  = Módulo de elasticidad (Mpa)



#### 4.1.5 RESULTADOS DE LA CAPACIDAD ADMISIBLE

Las siguientes tablas resumen los resultados del análisis de la cimentación del tramo en estudio.

Resultados para Df=3.5m.

Tabla N°4.1: Resultados de la Capacidad Admisible por Capacidad Portante y Asentamiento (B=8.0m x L=11m.)  
Fuente: Expediente Técnico Final AATE

Estado Limite	Presión Actuante	Resistencia		Asentamiento			
		qu.	qadm.	Qadm (1)	Asentamiento (1)	Qadm (2)	Asentamiento (2)
	(kg/cm2)	(kg/cm2)	(kg/cm2)	(kg/cm2)	(cm)	(kg/cm2)	(cm)
Servicio	1.38	84.6	29.6	8.2	4.39	7.5	4.52
Resistencia	1.77	86.2	30.2	8.6	4.84	7.4	4.63
Evento extremo(X)	3.53	68.4	23.9	9.1	3.92	7.9	3.78
Evento extremo( Y)	3.62	92.1	32.2	9.2	4.11	7.8	3.92

Tabla N°4.2: Resultados de la Capacidad Admisible por Capacidad Portante y Asentamiento (B=9.0m x L=13m.)  
Fuente: Expediente Técnico Final AATE

Estado Limite	Presión Actuante	Resistencia		Asentamiento			
		qu.	qadm.	qadm. (1)	Asentamiento (1)	qadm. (2)	Asentamiento (2)
	(kg/cm2)	(kg/cm2)	(kg/cm2)	(kg/cm2)	(cm)	(kg/cm2)	(cm)
Servicio	1.00	88.4	30.9	7.7	4.93	7.1	4.90
Resistencia	1.29	90.0	31.5	7.6	4.95	6.8	4.90
Evento extremo(X)	2.43	73.4	25.7	9.1	4.74	7.6	4.40
Evento extremo( Y)	2.40	94.1	32.9	8.6	4.75	7.5	4.60

Resultados para Df=4.0m.

Tabla N°4.3: Resultados de la Capacidad Admisible por Capacidad Portante y Asentamiento (B=8.0m x L=11m.)  
Fuente: Expediente Técnico Final AATE

Estado Limite	Presión Actuante	Resistencia		Asentamiento			
		qu.	qadm.	qadm. (1)	Asentamiento (1)	qadm. (2)	Asentamiento (2)
		(kg/cm2)	(kg/cm2)	(kg/cm2)	(cm)	(kg/cm2)	(cm)
Servicio	1.38	88.4	30.9	8.1	4.33	7.3	4.40
Resistencia	1.77	90.0	31.5	8.5	4.78	7.4	4.60
Evento extremo(X)	3.53	71.9	25.1	9.3	4.01	7.1	3.40
Evento extremo( Y)	3.62	98.1	34.3	9.1	4.11	7.30	3.60

Tabla N° 4.4: Resultados de la Capacidad Admisible por Capacidad Portante y Asentamiento (B=9.0m x L=13m.)  
Fuente: Expediente Técnico Final AATE

Estado Limite	Presión Actuante	Resistencia		Asentamiento			
		qu.	qadm.	Qadm (1).	Asentamiento (1)	qadm. (2)	Asentamiento (2)
		(kg/cm2)	(kg/cm2)	(kg/cm2)	(cm)	(kg/cm2)	(cm)
Servicio	1.00	91.9	32.1	7.9	4.93	6.9	4.84
Resistencia	1.29	93.5	32.7	7.6	4.95	6.8	4.90
Evento extremo(X)	2.43	76.7	26.8	9.1	4.74	7.6	4.40
Evento extremo( Y)	2.40	99.2	34.7	8.6	4.75	7.3	4.40

Notas:

Análisis de la cimentación con Modulo de Young E=128Mpa

Análisis de la cimentación con Modulo de Young E=115Mpa (criterio sugerido)

## 4.2. ANÁLISIS DE INGENIERÍA

La estructura del módulo 17 corresponde a tres vanos: 40.86m, 45.09m y 40.87m de longitud entre ejes de columnas y corresponde al cruce del Óvalo Cabitos.

La configuración es la mostrada en el siguiente Cuadro N°15

Cuadro N° 4.1 Módulo Especial 17 – Vanos

Fuente: Expediente Técnico Final AATE

	Modulo	Vanos (m)	
L	17	40.86 – 45.09 – 40.87	3 vanos, long. Total = 126.82m

Las columnas que conforman el módulo especial 17 del Tramo L son:

Cuadro N° 4.2 Módulo Especial 17 – Columnas

Fuente: Expediente Técnico Final AATE

	Modulo	Columnas
L	17	224, 225, 226, 227

La estructura típica es similar a las del viaducto, con zapatas, pilares monocolumnas, cabezales y vigas tipo cajón postensadas, con losas vaciado in situ.

La cimentación del viaducto consiste de zapatas de concreto armado en forma escalonada, cuyo nivel de cimentación promedio se encuentra a aproximadamente 3,5 m del nivel del terreno natural. La presión admisible máxima en el terreno es de 5,0 kgf/cm<sup>2</sup>.

Las columnas de los pilares son del tipo octogonal alargado con dimensiones exteriores de 3.80m x 1.80m. Estructuralmente las columnas tienen la armadura de refuerzo dispuestas alrededor de dos núcleos circulares traslapados confinados por medio de estribos circulares para un óptimo confinamiento y una

mayor ductilidad en el caso de eventos extremos de sismo. En el dimensionamiento se han tomado en cuenta los nuevos criterios de diseño sísmico de puentes ASSHTO 2009.

Tanto sobre los pilares interiores como exteriores, se tienen diafragmas en el interior de las vigas cajón que permiten una mejor distribución de la reacción transmitida por la subestructura a la superestructura.

Para el módulo 17 (Ovalo Cabitos) se considera una estructura formada por vigas continuas con sección cajón, con ancho total de 8.40m y peralte constante de 2.5m, porticadas con las columnas internas (225 y 226) y apoyadas sobre aparatos de apoyo de neopreno en las columnas externas (224 y 227). La cimentación fue diseñada con zapatas de geometría semejante a los módulos típicos, con las dimensiones determinadas según los esfuerzos.

El acero de refuerzo pasivo de las vigas cumple con la Norma ASTM A615, grado 60 con esfuerzo de fluencia de  $f_y=420$  MPa. El acero activo de pretensado son cables de diámetro  $\varnothing 5/8"$  que cumplen con las norma de acero Grado 270 – baja relajación,  $f_y = 1860$  MPa.

Las cargas verticales de la superestructura se transmiten a la columna por medio de apoyos elastoméricos colocados sobre la viga cabezal. Las cargas longitudinales se transmiten a la columna por medio de restricciones longitudinales, pinos en acero, embebidas en la viga cabezal y conectadas al tablero a través de los diafragmas. La transmisión de cargas transversales se realiza por medio de llaves de corte entre el tablero y la viga cabezal.

El tablero del viaducto se apoya sobre columnas octogonales y la armadura de refuerzo de las columnas 224 y 227 está dispuesta a modo de dos columnas circulares confinadas mediante estribos circulares entre lazados, mientras que para las columnas 225 y 226 está dispuesta a modo de tres columnas circulares confinadas mediante estribos circulares entre lazados

La viga cabezal de las columnas será de concreto armado de aproximadamente 1,70m de ancho y peralte variable, desde el encuentro con la columna hasta los extremos del cabezal.

A continuación definiremos los criterios de diseño, presentación y parámetros que serán adoptados en el proyecto tanto para los tramos típicos como para el módulo especial curvo. Como referencia en el Anexo 3 Diseño Geométrico, se presentan los resultados del criterio geométrico utilizado para el proyecto geométrico de la Línea 1 del Tren Eléctrico de Lima.

### **Parámetros para la línea en la vía principal**

En el proyecto del trazado de la vía principal serán adoptados los siguientes parámetros:

- La trocha será de 1,435 m
- La entrevía mínima será de 3,80 m
- La pendiente máxima será de 3.5 %
- El radio mínimo de una curva horizontal será de 250 m, excepto en la curva del Ovalo Los Cabitos que será de 200 m.
- El radio mínimo de una curva vertical será de 3.000m, excepto en la curva que se queda cerca de la progresiva 13 + 075.
- El paso de tramos en curva a tramos en recta y viceversa se realizará mediante curvas de transición, las curvas de transición serán clotoides
- Sobre elevación máxima 140 mm
- La sobre elevación no excederá 3 mm/m
- La máxima aceleración no compensada será de 0.90 m/s<sup>2</sup>

### **Parámetros para la vía en las estaciones**

En el proyecto del trazado de la vía principal, en las estaciones, serán adoptados los siguientes parámetros:

- Longitud de andenes, mínimo 120 m
- Ancho de andenes laterales, mínimo 4,0 m
- Desnivel entre tope del riel y andén 1,05 m
- Separación máxima entre borde de andén y vagones
- para estaciones en recta 10 cm.
- para estaciones en curva 15 cm.

- Galibo mínimo entre tope del riel y estructura sobrepasante 4,6 m
- Galibo mínimo entre calzada y estructura sobrepasante
- en zona urbana 5,0 m
- en autopistas 5,5 m
- Pendiente máxima del perfil 0,50 %
- Radio de curvatura horizontal mínimo 800 m

### 4.3 DISEÑO DE CIMENTACIONES

La cimentación del viaducto consiste de zapatas de concreto armado cuyo nivel de cimentación promedio se encuentra a aproximadamente 3,5 m del nivel del terreno natural. La presión admisible máxima en el terreno es de 5,0 kgf/cm<sup>2</sup>.

El diseño de la sub-estructura (zapatas y pilares) es controlado fundamentalmente por las consideraciones del diseño sísmico.

Se describe brevemente las cargas basadas principalmente en la norma AASHTO LRFD. Estas cargas y combinaciones serán las consideradas en el análisis y en el diseño de las estructuras. Los criterios de combinación y los coeficientes de ponderación de las acciones serán los establecidos en AASHTO:

SECTION 3 (SI): LOADS AND LOAD FACTORS

3-13

Table 3.4.1-1 Load Combinations and Load Factors.

Load Combination Limit State	DC DD DH EH EV ES EL	LL IM CE BR PL LS	WA	WS	WL	FR	TU CR SH	TG	SE	Use One of These at a Time			
										EQ	IC	CT	CV
STRENGTH I (unless noted)	$\gamma_p$	1.75	1.00	—	—	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$	—	—	—	—
STRENGTH II	$\gamma_p$	1.35	1.00	—	—	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$	—	—	—	—
STRENGTH III	$\gamma_p$	—	1.00	1.40	—	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$	—	—	—	—
STRENGTH IV	$\gamma_p$	—	1.00	—	—	1.00	0.50/1.20	—	—	—	—	—	—
STRENGTH V	$\gamma_p$	1.35	1.00	0.40	1.0	1.00	0.50/1.20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$	—	—	—	—
EXTREME EVENT I	$\gamma_p$	$\gamma_{EQ}$	1.00	—	—	1.00	—	—	—	1.00	—	—	—
EXTREME EVENT II	$\gamma_p$	0.50	1.00	—	—	1.00	—	—	—	—	1.00	1.00	1.00
SERVICE I	1.00	1.00	1.00	0.30	1.0	1.00	1.00/1.20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$	—	—	—	—
SERVICE II	1.00	1.30	1.00	—	—	1.00	1.00/1.20	—	—	—	—	—	—
SERVICE III	1.00	0.80	1.00	—	—	1.00	1.00/1.20	$\gamma_{TG}$	$\gamma_{SE}$	—	—	—	—
SERVICE IV	1.00	—	1.00	0.70	—	1.00	1.00/1.20	—	1.0	—	—	—	—

Tabla 4.5 Combinaciones y factores de carga.

Fuente: Expediente Técnico Final AATE

Table 3.4.1-2 Load Factors for Permanent Loads,  $\gamma_p$ 

Type of Load, Foundation Type, and Method Used to Calculate Downdrag		Load Factor	
		Maximum	Minimum
<b>DC: Component and Attachments</b>		1.25	0.90
<b>DC: Strength IV only</b>		1.50	0.90
<b>DD: Downdrag</b>	<b>Piles, <math>\alpha</math> Tomlinson Method</b>	1.4	0.25
	<b>Piles, <math>\lambda</math> Method</b>	1.05	0.30
	<b>Drilled shafts, O'Neill and Reese (1999) Method</b>	1.25	0.35
<b>DIW: Wearing Surfaces and Utilities</b>		1.50	0.65
<b>EH: Horizontal Earth Pressure</b>			
• Active		1.50	0.90
• At-Rest		1.35	0.90
• <i>AEP</i> for anchored walls		1.35	N/A
<b>EL: Locked-in Erection Stresses</b>		1.00	1.00
<b>EV: Vertical Earth Pressure</b>			
• Overall Stability		1.00	N/A
• Retaining Walls and Abutments		1.35	1.00
• Rigid Buried Structure		1.30	0.90
• Rigid Frames		1.35	0.90
• Flexible Buried Structures other than Metal Box Culverts		1.95	0.90
• Flexible Metal Box Culverts		1.50	0.90
<b>ES: Earth Surcharge</b>		1.50	0.75

Tabla 4.6 Factores de carga para cargas permanentes.

Fuente: Expediente Técnico Final AATE

La extensión del tema de diseño de columnas y zapatas se encuentra en el Anexo 3 Memoria de cálculo columnas y zapatas.

#### 4.3.1 CARGAS MUERTAS

##### A.- Cargas Muertas Estructurales (DC)

Carga muerta de los componentes estructurales y elementos adicionales no estructurales adheridos a los mismos.

Carga distribuida en el vano tablero:

$$\text{Sección apoyo} = 8,84 \text{ m}^2 \times 2,5 \text{ tf/m}^3 = 22,1 \text{ tf/m}$$

$$\text{Sección 5} = 8,36 \text{ m}^2 \times 2,5 \text{ tf/m}^3 = 20,9 \text{ tf/m}$$

$$\text{Sección 4} = 7,84 \text{ m}^2 \times 2,5 \text{ tf/m}^3 = 19,6 \text{ tf/m}$$

$$\text{Sección 3} = 7,45 \text{ m}^2 \times 2,5 \text{ tf/m}^3 = 18,6 \text{ tf/m}$$

$$\text{Sección 2} = 7,20 \text{ m}^2 \times 2,5 \text{ tf/m}^3 = 18,0 \text{ tf/m}$$

$$\text{Sección 1} = 7,08 \text{ m}^2 \times 2,5 \text{ tf/m}^3 = 17,7 \text{ tf/m}$$

Columnas

$$\text{Ejes C224 y C227} = 3,16 \text{ m}^2 \times 2,5 \text{ tf/m}^3 = 7,9 \text{ tf/m}$$

$$\text{Ejes C225 y C226} = 6,34 \text{ m}^2 \times 2,5 \text{ tf/m}^3 = 15,85 \text{ tf/m}$$



## B.- Cargas Muertas No Estructurales (DW)

Sistema que será utilizado para fijación de los rieles será de tipo "Sonneville".

Abajo se muestra una sección típica:

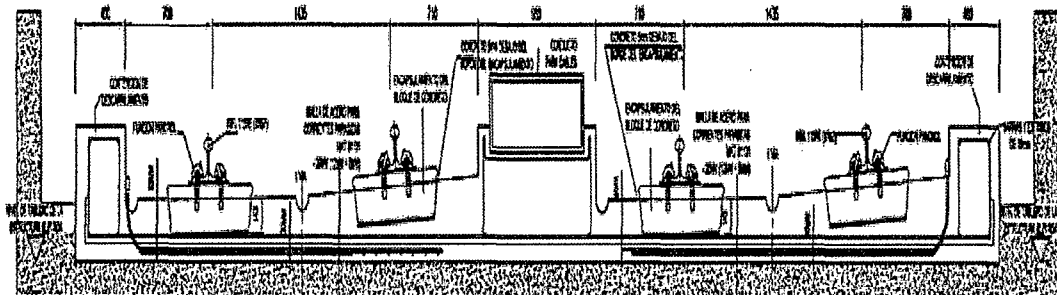


Fig. 4.1 Sección Típica del Tablero con Sonneville

Fuente: Expediente Técnico Final AATE

- Impermeabilización y utilidades → 0,61 tf/m
- Parapeto → 1,17 tf/m
- Fijación del parapeto → 0,72 tf/m
- Cajas laterales → 1,00 tf/m
- Vía 1 a → 1,70 tf/m TOTAL = 10,54 tf/m
- Vía 2 b → 2,63 tf/m
- Cajas centrales → 1,20 tf/m
- Riel y fijación → 0,60 tf/m
- Conducto para cables → 0,25 tf/m
- Δ bloques → 0,66 tf/m

**Total** **10.54 tf/m**

### 4.3.2 CARGA VIVA DEL TREN ELECTRICO (LL)

Las cargas vivas no deben ser menores a las constituidas por un tren de dos coches cargados y por un tren de dos coches cargados más la locomotora de maniobra. Cada carga será puesta sobre la estructura en diversas posiciones en forma tal como para determinar los máximos y mínimos momentos flectores y otras sollicitaciones.

- Carga máxima por eje de un coche cargado = 115,8 kN (11,58 tf).

- Carga máxima por eje de la locomotora de maniobra = 170,0 kN (17,00 tf).

Para las verificaciones sísmicas no se considera la presencia de la carga viva.

### 4.3.3 SISMO (EQ)

Los parámetros utilizados para el diseño sismo resistente en este trecho fueron basados en el espectro abajo:

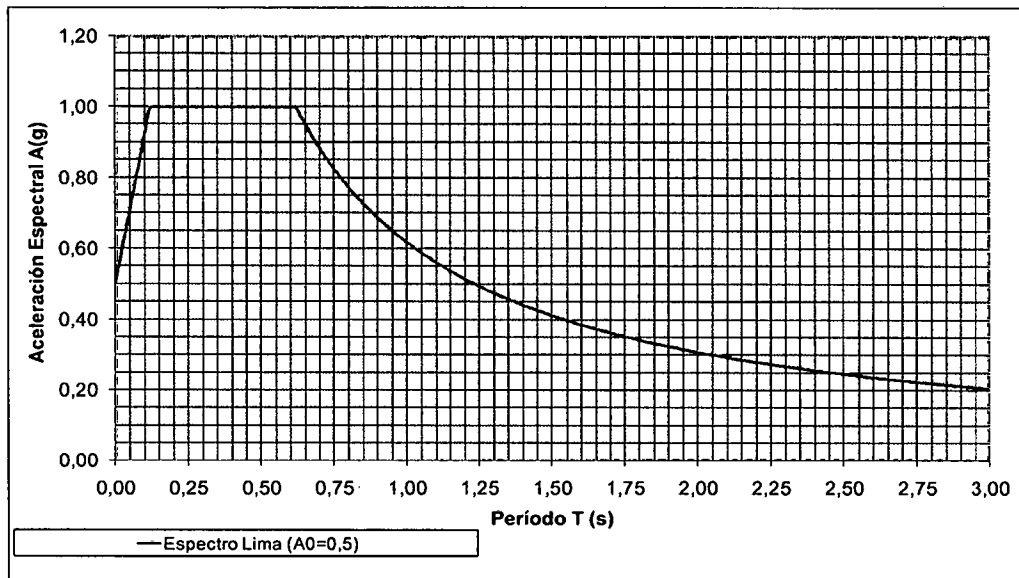


Fig. 4.2 Espectro elástico de aceleración

Fuente: Expediente Técnico Final AATE

Espectro Lima (A0=0,5)	
FRECUENCIA	A
0,0020000	0,0012400
0,0100000	0,0062000
0,0250000	0,0155000
0,0500000	0,0310000
0,1000000	0,0620000
0,2000000	0,1240000
0,2500000	0,1550000
0,3330000	0,2064600
0,3570000	0,2213400
0,3850000	0,2387000
0,4170000	0,2585400
0,4550000	0,2821000
0,5000000	0,3100000
0,5260000	0,3261200
0,5560000	0,3447200
0,5880000	0,3645600
0,6250000	0,3875000
0,6670000	0,4135400
0,7140000	0,4426800
0,7690000	0,4767800
0,8330000	0,5164600
0,9090000	0,5635800

Espectro Lima (A0=0,5)	
FRECUENCIA	A
1,0000000	0,6200000
1,0530000	0,6528600
1,1110000	0,6888200
1,1760000	0,7291200
1,2500000	0,7750000
1,3330000	0,8264600
1,4290000	0,8859800
1,5380000	0,9535600
1,6670000	1,0000000
1,8180000	1,0000000
2,0000000	1,0000000
2,2220000	1,0000000
2,5000000	1,0000000
2,8570000	1,0000000
3,3330000	1,0000000
5,0000000	1,0000000
10,0000000	0,9166667
11,1110000	0,8750038
20,0000000	0,7083334
1000,0000000	0,5041667

Tabla 4.7 Tabla de Frecuencia y aceleración

Fuente: Expediente Técnico Final AATE

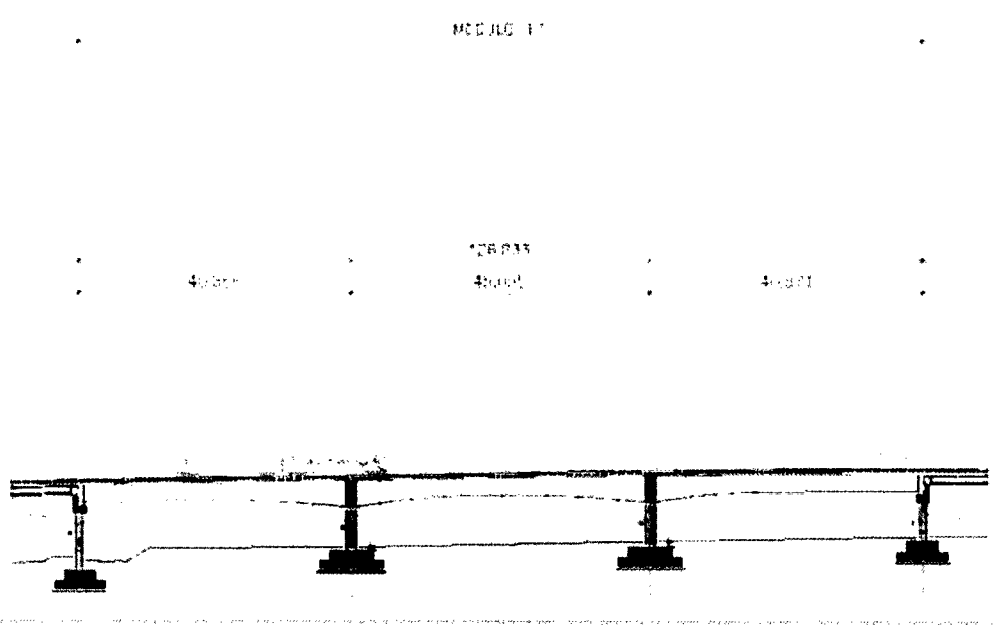


Fig. 4.3 Corte Longitudinal del Módulo 17 (Ovalo Cabitos)  
Fuente: Expediente Técnico Final AATE

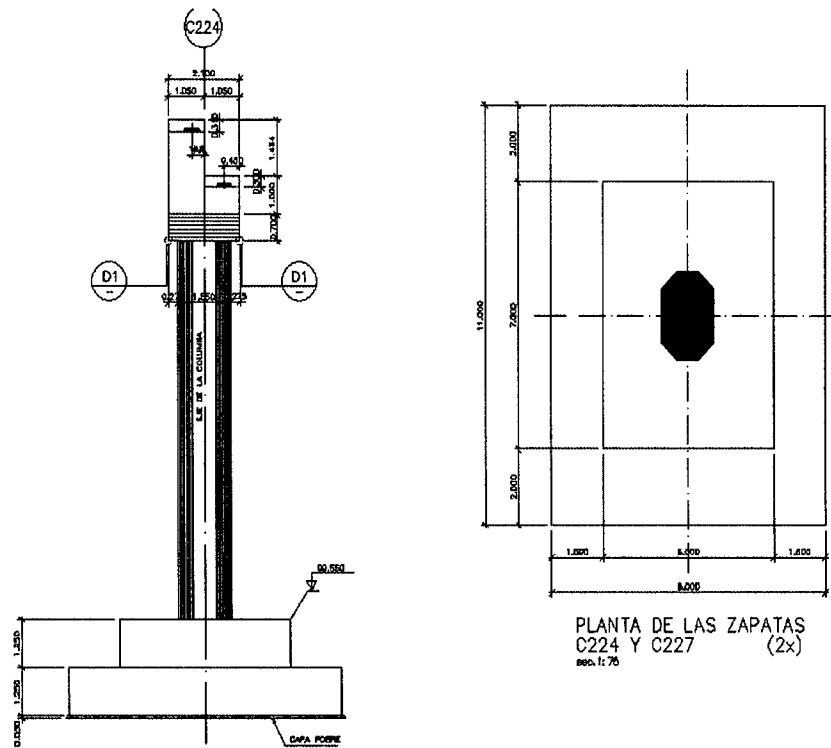


Fig. 4.4 Elevación longitudinal de las columnas y planta de las zapatas (C224 y C227)

Fuente: Expediente Técnico Final AATE

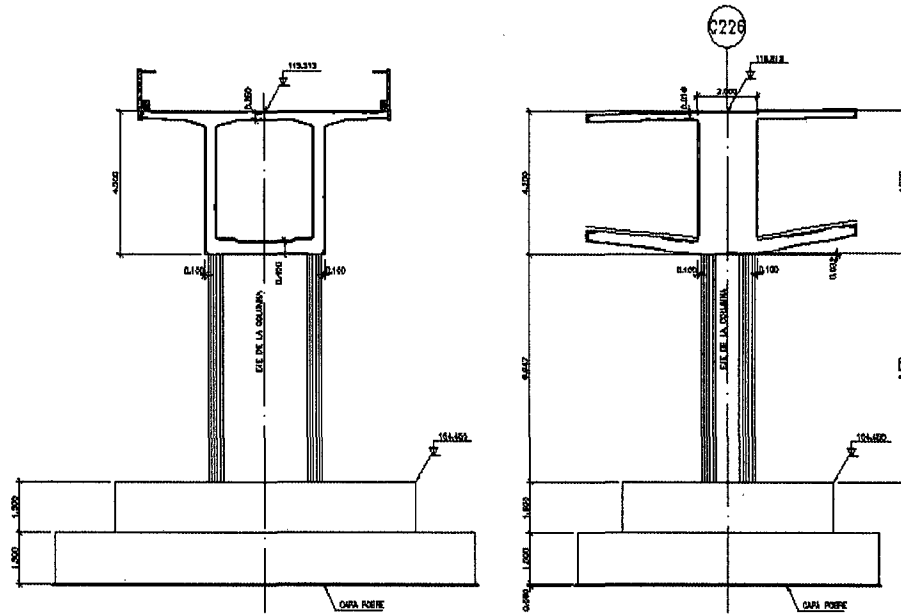


Fig. 4.5 Elevación longitudinal y transversal de las columnas (C225 y C226)

Fuente: Expediente Técnico Final AATE

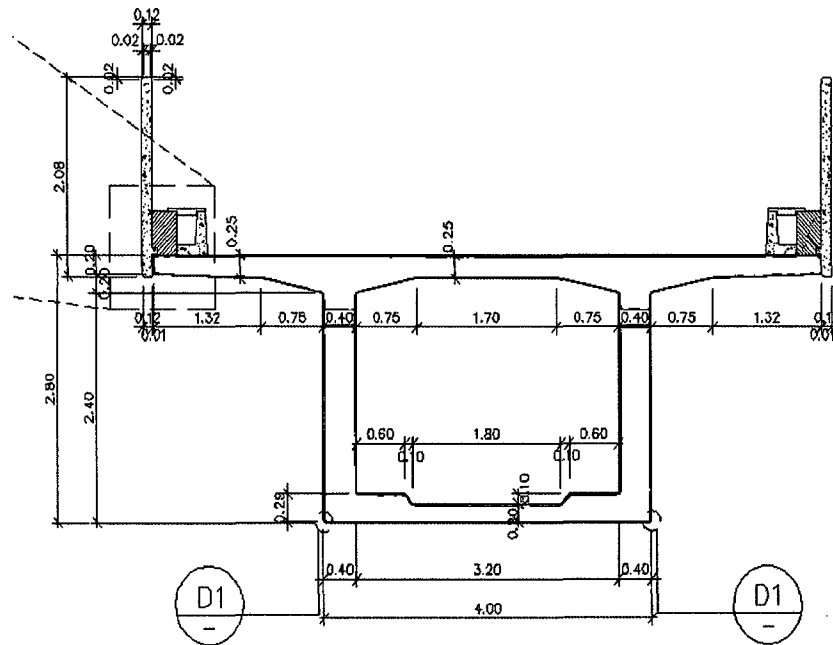


Fig. 4.6 Sección Típica en el vano del tablero del módulo 17

Fuente: Expediente Técnico Final AATE

#### 4.4 DISEÑO DE COLUMNAS

La memoria de cálculo de las columnas del modulo 17 del viaducto se presenta con más detalle en el Anexo 3 Memoria de cálculo columnas y zapatas. Diseños que han sido elaborados por el Consorcio Tren Eléctrico para fines del proyecto.

Esta memoria de cálculo tiene por finalidad presentar el diseño de las columnas para el tramo curvo del módulo 17.

Las columnas de los módulos típicos y no típicos son de sección octogonal alargadas transversalmente variables de 1.40m a 1.60m x 2.10m a 2.50m de dimensiones, determinadas según los esfuerzos. Las columnas del módulo especial son de sección octogonal variables de 1.55m x 2.30m (externas) a 1.80m x 3.80m (internas) de dimensiones, determinadas según los esfuerzos. Internamente, la armadura de refuerzo de las columnas está dispuesta a modo de dos columnas circulares confinadas mediante estribos circulares entre lazados. La altura de las columnas es variable según la pendiente del trazo geométrico respetando los gálibos establecidos.

El concreto de las columnas tendrá resistencia a la compresión a los 28 días de  $f'c = 28 \text{ MPa}$ .

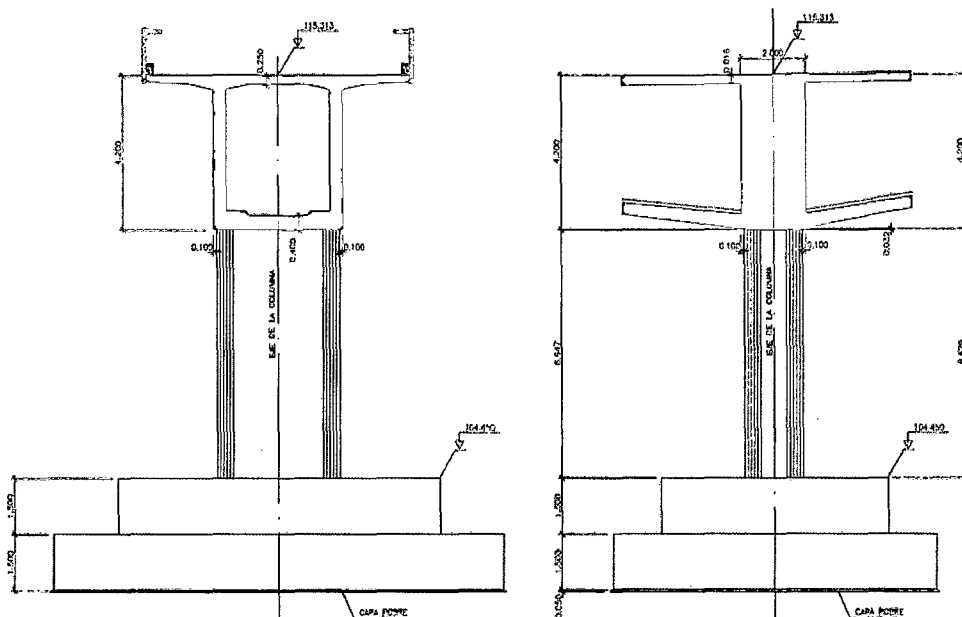


Fig. 4.7 Ejemplo de los ejes Centrales (ejes 225 y 226)

Fuente: Expediente Técnico Final AATE

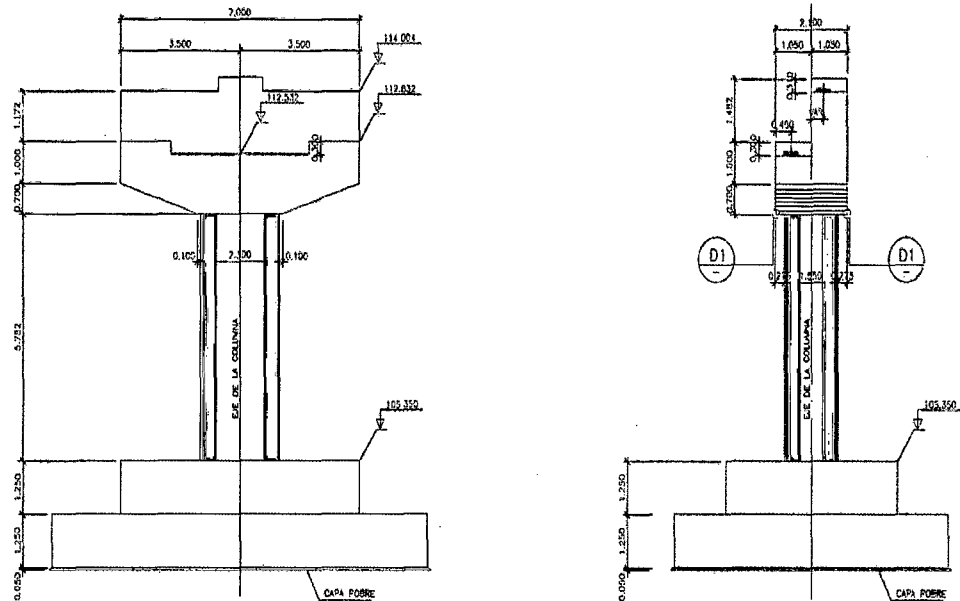


Fig. 4.8 Ejemplo de los ejes Laterales (ejes 224 y 227)

Fuente: Expediente Técnico Final AATE

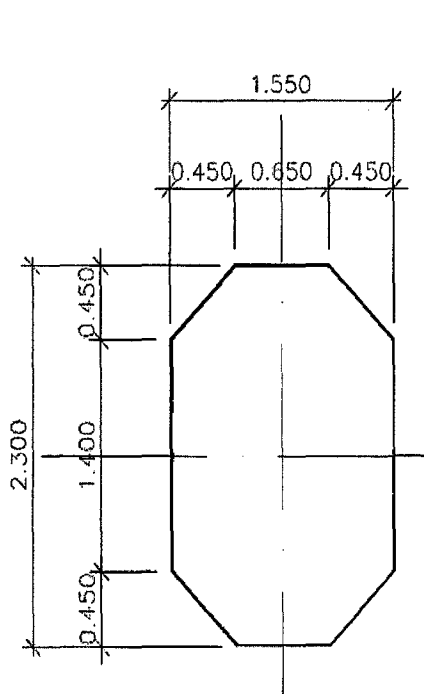


Fig. 4.9 Columnas 224 y 227

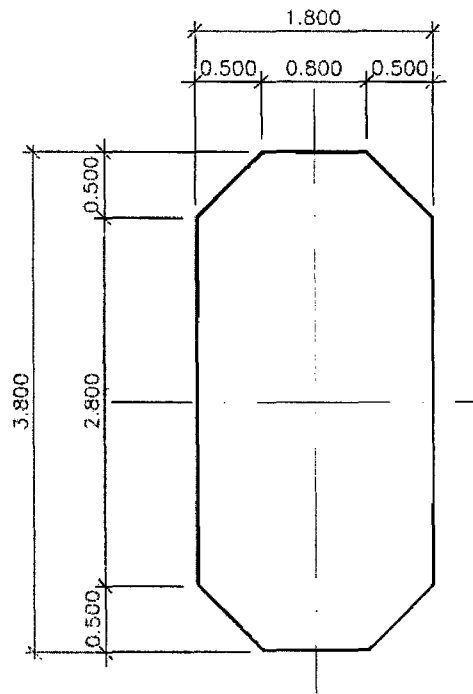


Fig. 4.10 Columnas 225 y 226

Fuente: Expediente Técnico Final AATE

#### 4.5 DISEÑO DE VIGAS CABEZALES

La memoria de cálculo de las vigas cabezales se presenta con más detalle en el Anexo 3, Memoria de Calculo - Vigas Cabezal – Parte 1. Además de añadir la memoria de cálculo de la verificación de los aparatos de apoyo para los tramos K y L que se detalla en el Anexo 3 Memoria de Calculo - Verificación de los aparatos de apoyo – Tramos Típicos K y L. Diseños que han sido elaborados por el Consorcio Tren Eléctrico para fines del proyecto.

Esta memoria de cálculo tiene por finalidad presentar el diseño de las vigas cabezal de los tableros de 20m del tramo L, en los módulos 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17 y 18.

Los tableros tienen 20m de longitud y 8.40m de ancho y son compuestos por 4 vigas longitudinales prefabricadas de concreto (en forma de I) y 2 vigas transversales en los apoyos. Las reacciones de los tableros en las vigas cabezal serán obtenidas a partir de modelos estructurales que representan los tableros, por medio de mallas de elementos planos (losas) y barras que representan las vigas longitudinales, con distancias entre ejes iguales a 2.00m. Los modelos son elaborados en el programa STRAP 12.5.

Las vigas cabezales son de sección variable, de 1.70m x 1.70m en el nivel inferior sobre la columna hasta 1.70m x 1.00m en el extremo superior que soporta las vigas longitudinales.

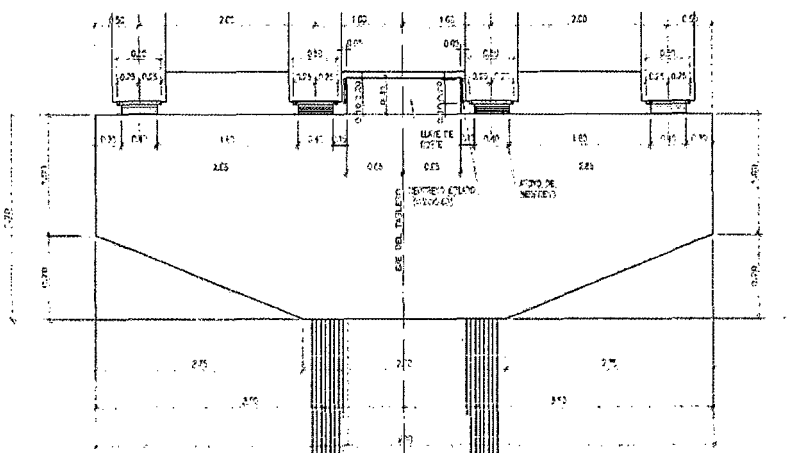


Fig. 4.11 Viga Cabezal de junta

Fuente: Expediente Técnico Final AATE

#### 4.6 DISEÑO DE VIGAS CAJON POSTENSADAS

La memoria de cálculo de las vigas cajón, diafragma y tablero puente cabitos del viaducto se presenta con más detalle en el Anexo 3, Memoria de Cálculo – Viga Cajón, Diafragmas y Tablero Puente Cabitos. Diseños que han sido elaborados por el Consorcio Tren Eléctrico para fines del proyecto.

Para el módulo 17 (Ovalo Cabitos) se considera una estructura formada por vigas continuas con sección cajón, con ancho total de 8.40m y peralte constante de 2.50m, porticadas con las columnas internas (225 y 226) y apoyadas sobre aparatos de apoyo de neopreno en las columnas externas (224 y 227). La cimentación fue diseñada con zapatas de geometría semejante a los módulos típicos, con las dimensiones determinadas según los esfuerzos.

Vigas Tipo Cajón Vaciadas en sitio, son Elementos de concreto que presentan una sección tipo cajón cuyo vaciado será realizado sobre un encofrado dispuesto en un lugar definitivo. Adicionalmente y posterior al vaciado, estas vigas serán sometidas intencionalmente a esfuerzos de compresión. Esta tensión se aplica mediante cables de acero que son tensados mediante gatos hidráulicos.

La sección típica del tablero y vigas tipo cajón se muestra a continuación:

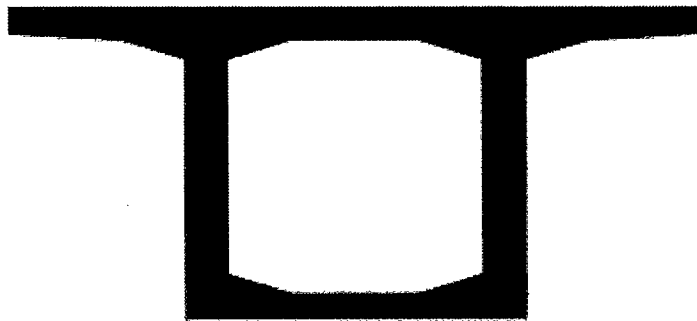


Fig. 4.12 Sección Típica de cruces especiales; Cabitos

Fuente: Expediente Técnico Final AATE



#### 4.7 DISEÑO DE LOSAS

La memoria de cálculo de las vigas longitudinales del viaducto se presenta con más detalle en el Anexo 3, Memoria de Calculo – Losas L=20m Tramo L. Diseños que han sido elaborados por el Consorcio Tren Eléctrico para fines del proyecto.

Las losas de los tableros típicos y no típicos tendrán 20 cm de espesor y será construida en dos etapas. La primera etapa consiste en losas prefabricadas de 8 cm de espesor que servirán de encofrado para hacer el vaciado in situ de la segunda etapa hasta completar los 20 cm totales. El concreto de la losa tendrá resistencia a la compresión a los 28 días de  $f'c = 35$  MPa.

Esta memoria de cálculo tiene por finalidad presentar el diseño de las losas de los tableros de 20 m del tramo L, en los módulos 10, 11, 13, 14, 15, 16 y 18.

Los tableros tienen 20 m de longitud y 8,40 m de ancho y son compuestos por 4 vigas longitudinales prefabricadas de concreto (en forma de I) y 2 vigas transversales cada. Cada módulo entre juntas presenta 4, 5 o 6 vanos, con un total, respectivamente, 80m, 100m o 120m. Serán utilizadas losas pre-moldeadas apoyadas en las vigas longitudinales para el vaciado de la losa, la cual tendrá 20 cm de altura. Los esfuerzos serán obtenidos a partir de modelos estructurales (STRAP) que representan los tableros, por medio de mallas de elementos planos (losas) y barras que representan las vigas longitudinales, con distancias entre ejes iguales a 2,00 m.

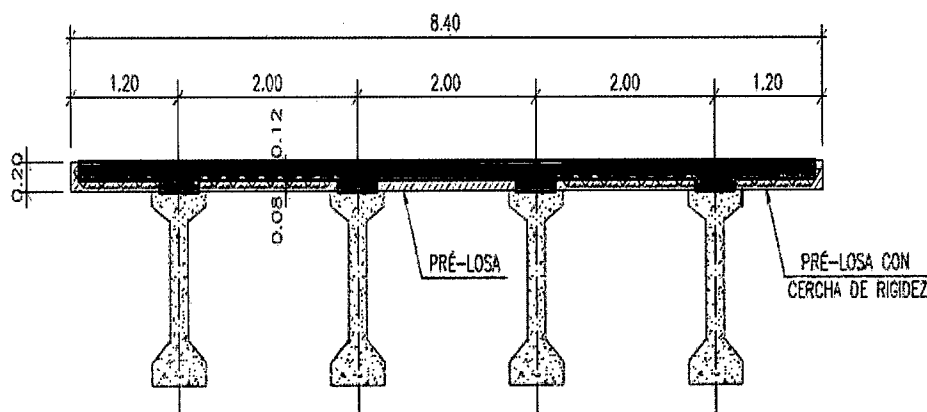


Fig. 4.13 Sección típica de losa y pre-losa de viaducto

Fuente: Expediente Técnico Final AATE

## 4.8 DISEÑO DE LA VIA FERREA

La memoria de cálculo del diseño estructural de la Vía Férrea se presenta con más detalle en el Anexo 3, Memoria de Calculo Diseño Estructural de la Vía Férrea. Diseños que han sido elaborados por el Consorcio Tren Eléctrico para fines del proyecto.

Este documento tiene por finalidad presentar la memoria de cálculo del diseño estructural de la vía férrea, así como indicar los valores límites a observar en la vía para altura de balasto, tipo de riel, espaciamiento de durmientes, etc.

De la consideración y conciliación de estos valores límites resultará la elección del diseño a aplicar en tangente y en curva dada, para la confección de las secciones transversales y definición del material.

Para la aplicación de la especificación se cumplirá lo establecido en los documentos técnicos oficiales o de aceptación de uso en el país del comprador relativos a:

- Calculo de estructuras de vía.
- Vías de Tren Británicas (British Railway Track), sexta edición [Instituto de Ingenieros de Superestructura de Vías, 1993].
- Cargas de balasto basado en la teorías de Timoshenko y Hay.

El comportamiento estructural de los rieles bajo la acción de cargas verticales de trenes en movimiento es complejo de modelar con precisión debido a la interacción de una gran cantidad de componentes de la vía.

Para el Proyecto del Tren Ligero de Lima, la carga por eje es de 17t. Efectos dinámicos pueden aumentar la carga instantánea en algún punto del Riel; se incorpora un factor de carga dinámico conservador de 1,8, lo que contemplaría las fuerzas generadas por una locomotora de rescate viajando a velocidad moderada.

Además en la presente memoria de cálculo encontraremos los parámetros y las formulas para determinar la profundidad minima del balasto mediante la siguiente relación:

$$Carga\ de\ Balasto = \frac{Carga\ de\ Durmiente}{\frac{2}{3} \times \text{Área de soporte de durmiente}} = \frac{119400N}{\frac{2}{3} \times 2.5\ m \times 0.21m}$$

$$Carga\ de\ Balasto = 0.341\ Mpa$$

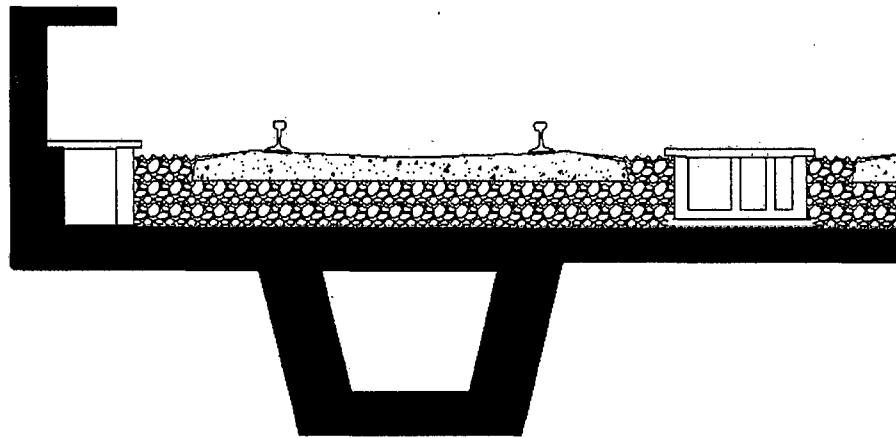


Fig. 4.14 Gráfico del confinamiento del balasto

Fuente: Expediente Técnico Final AATE

## CAPITULO V

### METODOLOGÍA CONSTRUCTIVA

#### 5.1. PLANEAMIENTO

Uno de los problemas que se encuentra al planificar proyectos es la carencia de una metodología adecuada, que permita un manejo apropiado del tiempo. La siguiente metodología ha sido ejecutada por los ingenieros encargados de la construcción del proyecto lográndose una mejor forma de cumplir con los plazos del contrato y se considera que es aplicable a cualquier tipo de proyecto.

A continuación se muestra la programación de trabajos a realizar para la construcción del viaducto tramo curvo del Ovalo Cabitos:

1. Actividades de Topografía
2. Actividades de Geotecnia
3. Excavación para zapatas
4. Colocación de armadura para zapatas
5. Colocación de armadura para columnas
6. Vaciado de zapatas y columnas
7. Encofrado de columnas
8. Vaciado de columnas
9. Relleno y compactación de zapatas
10. Construcción de vigas cabezales
11. Encofrado para vigas cajón
12. Construcción por etapas de la viga cajón
13. Vaciado de losas
14. Construcción de vigas diafragmas
15. Construcción de bordes típicos, bordes insitu y canaletas
16. Colocación del Sonneville

En el anexo 1 se muestra las barras de Gantt de la programación antes descrita, mostrando las principales actividades.

## 5.2. DISTRIBUCION DE RECURSOS

### 5.2.1 EQUIPOS A UTILIZAR EN LA CONSTRUCCIÓN

En la construcción del tramo de viaducto del Óvalo Cabbitos, motivo de la siguiente tesis se utilizaron los siguientes equipos:

- Excavadora 320 Caterpillar.  
Se utilizó para la excavación de las zapatas.
  
- Volquetes Velzar.  
Con capacidad de 15 m<sup>3</sup> que transportaban el material de excavación y de relleno.
  
- Grúas Grove de 90 Toneladas.  
Se utilizó para la colocación de la armadura de las zapatas excéntricas y de las columnas de Javier Prado.
  
- Bomba de concreto (pluma).  
Permite que el concreto (el cual es abastecido mediante mixers) sea colocado en obra mediante una tubería o manguera hasta el punto de vaciado, como son las zapatas, columnas, vigas cabezales, losas, vigas diafragmas, canaletas laterales, etc.
  
- Vibradores de inmersión  
Es una serie de impulsos de compresión que reducen la fricción entre las diferentes partículas de sus componentes ya que permite eliminar el aire acumulado que queda atrapado durante el vaciado así como también disminuir la posibilidad de segregación del concreto.
  
- Compresora  
Máquina que expulsa aire comprimido para la limpieza de la estructura antes del vaciado de la misma.

➤ Conformación del material

- Camión cisterna.
- Rodillero bermero (2 ton.)
- Minicargador frontal.
- Planchas compactadoras (450 kg.)
- Vibroapisonadores.
- Densímetro nuclear.

➤ Camiones Grúa de 12 Toneladas.

Se utilizó para el encofrado y desencofrado de las columnas.

➤ Grúa Link Belt 298HSL - 248HSL.

Con capacidades de 230 y 200 Ton respectivamente. Ambas son del tipo hidráulico de celosía sobre orugas las cuales se utilizaron para el izamiento de las vigas prefabricadas para usarlas como falso puente (encofrado)

➤ Telehandler.

Máquinas que permitieron levantar cualquier tipo de cargas y/o personas hasta alturas a las que ningún montacargas convencional podría, además cuentan con sistema de tracción 4x4 que les permite trabajar en cualquier terreno.

➤ Man lift

Plataformas de elevación de personal.

➤ Andamios y encofrados ULMA.

## **5.2.2 MATERIALES UTILIZADOS PARA LA CONSTRUCCIÓN**

### **5.2.2.1 ACERO**

El acero ha sido dimensionado y habilitado por aceros Arequipa con  $f_y=4200$  Kg/cm<sup>2</sup> para todas las estructuras.

### **5.2.2.2 CONCRETO**

Se ha utilizado concreto premezclado de UNICON para las siguientes estructuras:

Concreto  $f_c=100$  Kg/cm<sup>2</sup> en solado de zapatas

Concreto  $f_c=210$  Kg/cm<sup>2</sup> en Zapatas

Concreto  $f_c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> en Columnas

Concreto  $f_c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> en Vigas cabezales

Concreto  $f_c=350$  Kg/cm<sup>2</sup> en Vigas Prefabricadas

Concreto  $f_c=350$  Kg/cm<sup>2</sup> en Diafragmas

Concreto  $f_c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> en Tableros

Concreto  $f_c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> en Borde Típico

Concreto  $f_c=280$  Kg/cm<sup>2</sup> en canaletas laterales y centrales

Concreto  $f_c=250$  Kg/cm<sup>2</sup> en Sonneville

### **5.2.2.3 RELLENO PARA ZAPATAS**

Todos los materiales que se emplean en la construcción de rellenos provienen de las excavaciones de la cimentación, de préstamos laterales o de fuentes aprobadas; el material estuvo libre de sustancias deletéreas, de materia orgánica, raíces y otros elementos perjudiciales.

### **5.2.2.4 ADITIVO PARA CONCRETO Y REPARACIONES**

Se han utilizado productos Sika siendo lo siguientes:

- Sika Antisol. Compuesto líquido para el curado de concreto.

- SikaRep. Mortero reforzado con fibras para reparación de concreto.
- Sikadur 32 Gel. (Puente de adherencia). Es un adhesivo de dos componentes a base de resinas epóxicas seleccionadas, libre de solventes.
- Sikadur 52. Sistema de dos componentes a base de resina epóxica, exento de solventes y de excelente fluidez. Se utiliza para inyecciones de concreto.
- Sikaflex 11 Fc. Es un sellador y adhesivo flexible, posee resistencia mecánica y química. Reacciona ante la humedad del aire y se convierte en un sellador elástico.
- Intraplast. (Expansor para mezclas de cemento). Es un aditivo en polvo, que contiene plastificantes especiales y productos expansivos finamente molidos, que actúa sobre las mezclas de expansor, defloculante y plastificante.
- Viscocrete 20 HE (Aditivo superplastificante de alto rendimiento). Es un aditivo superplastificante de tercera generación para hormigón y mortero.

#### **5.2.2.5 GROUT NIVELANTE**

El grout o capa nivelante consiste en una mezcla cementicia de alta resistencia, con áridos especiales de granulometría controlada, aditivos de avanzada tecnología, exentos de cloruros y componentes metálicos que sirve como elemento de conexión entre un elemento de concreto con otro cuerpo que requiere una superficie nivelada. Se coloca directamente sobre la superficie del concreto, en una capa o varias capas según las indicaciones en planos, y previo a la colocación del accesorio de neopreno.

#### **5.2.2.6 DISPOSITIVOS DE APOYO**

Consisten en planchas de neopreno en extremos alternadas con planchas de acero de 3 mm de espesor. Los dispositivos sirven de apoyo para las vigas prefabricadas y están diseñados para ser usados bajo cargas de compresión siendo muy eficientes como medio para la transmisión de peso. Absorben las irregularidades y no requieren mantenimiento.



### **5.2.2.7 RESTRICCIONES LONGITUDINALES**

Son dispositivos de acero, de control sísmico y se colocan adyacentes a los apoyos en la parte superior de las vigas cabezal, que tienen por finalidad limitar los desplazamientos de la superestructura con respecto a sus apoyos, originados por fuerzas sísmicas.

### **5.2.2.8 BARRAS DE POSTENSADO**

Son barras de acero grado 150, roscado de  $\varnothing 32\text{mm}$  y cumplen con lo especificado en la norma ASTM A 416.

### **5.2.2.9 DUCTO DE POSTENSADO**

Consiste de una vaina galvanizada de diámetro interior  $\varnothing 42\text{mm}$  que sirve para el paso de una barra de postensado. Estos ductos atraviesan transversalmente las 8 vigas que conforman cada diafragma. Una viga tiene 3 ductos, quedando un total de 6 ductos por diafragma. Además cada ducto tiene 2 chimeneas para inyección de lechada.

### **5.2.2.10 CHIMENEA DE INYECCIÓN**

Está conformada de una boquilla de inyección (pieza de PVC con reducción para  $\varnothing 3/4"$ , que empalma el ducto de postensado con una manguera flexible de  $\varnothing 3/4"$  en un extremo que quedará embebido en el concreto del diafragma. El extremo opuesto de la manguera alcanza una zona accesible para la posterior inyección de la lechada.

### **5.2.2.11 PLATINA Y TUERCA PARA BARRA DE POSTENSADO**

Luego del postensado de la viga diafragma, la tuerca cumple la función de transmitir la fuerza de tensado a la platina y esta última transmite los esfuerzos generados por la fuerza de tensado hacia la viga diafragma. Cabe mencionar que durante la actividad de tensado la tuerca es girada casi simultaneo, asegurando la fuerza aplicada y manteniendo la elongación deseada de la barra.

### 5.2.2.12 LECHADA PARA INYECCIÓN DE DUCTOS

Dosificación para lechada de inyección por bolsa de 42,5kg de cemento.

MATERIALES	CANTIDAD (KG)
Cemento Portland Tipo V 42,5	42,5
Intraplast ( Sika)	0,85
Agua	15,3
Viscocrete 20 HE	

### 5.2.2.13 BANDAS DE CAUCHO

Se colocan en las juntas sísmicas previamente a la colocación de los tapajuntas metálicas. Cabe mencionar que en las juntas de canaletas laterales solamente se coloca estas bandas de caucho que sirven para el libre pase del cableado eléctrico.

### 5.2.2.14 TAPAJUNTAS METÁLICAS

Son de acero galvanizado y se colocan en las juntas sísmicas (10 cm) del viaducto para evitar la caída del balasto.

### 5.2.3 MANO DE OBRA

El equipo básico de mano de obra, para un buen desempeño del recurso humano estará constituido por:

- Un maestro general.
- Tres capataces, un capataz encargado del acero, un capataz encargado de la madera, un capataz encargado del concreto, un capataz encargado del movimiento de tierras.
- Seis operarios, siete oficiales, ocho peones.

#### A) Maestro General

Persona que se encarga de la correcta aplicación de los planos de construcción, además del control de las personas a su cargo.

**B) Capataz por frente de trabajo**

Persona que se encarga de la correcta aplicación de los planos de construcción en la especialidad que le corresponda, además del control de las personas a su cargo.

**C) Operarios, Oficiales, Peones**

Personal encargado de la ejecución de la obra, además del avance y productividad de la misma.

### 5.3 DESCRIPCION DE LA METODOLOGIA APLICADA

#### 5.3.1 ACTIVIDADES DE TOPOGRAFÍA

La topografía realiza trazos y niveles para de esta manera dar inicio a la excavación de las zapatas 224, 225, 226 y 227; una vez concluido con dichas actividades se verifican las dimensiones de las excavaciones realizadas con su respectiva profundidad (cota), para luego pasar las pruebas de geotecnia correspondientes, y dar inicio al vaciado del solado donde topografía verifica en el post vaciado el nivel de cota de fondo de cimentación y marca las dimensiones (largo, ancho) y ejes de la zapata para dar inicio a la colocación de la armadura de refuerzo dejando el espacio libre para la colocación de la armadura de la columna, la cual es izada y colocada en el lugar correspondiente.

Una vez concluido con el armado de acero de la zapata y la porción de columna embebida en dicha zapata, la topografía precisa el nivel de vaciado así como también indica el eje de la columna en su posición correcta, iniciando así el proceso de colocación de concreto de la respectiva zapata. Posteriormente se ejecuta la revisión topográfica del post vaciado de la estructura verificando que el eje de la columna no haya sufrido un desplazamiento de su posición correcta debido a la presión del concreto y/o mal apuntalamiento de la armadura de la columna es decir los arriostres.

Luego del vaciado de la zapata, topografía marca las dimensiones geométricas de la columna sobre la zapata además de verificar el recubrimiento de la columna antes de la colocación del encofrado. Concluido con la colocación del encofrado topografía verifica la verticalidad y altura de la columna para luego iniciar el proceso de vaciado.

Posteriormente también se verifica el post vaciado de la columna verificando el nivel de fondo de viga cabezal para luego comenzar con el acero y encofrado de la viga cabezal y una vez concluido, topografía verifica la verticalidad del encofrado, dimensiones geométricas, nivel de vaciado, verificación de ejes tanto de la viga cabezal así como también de las bases para las restricciones longitudinales y llaves de corte. También verifica el nivel de vaciado del grout nivelante en el cual se apoya el neopreno y este a su vez sirve de apoyo a las vigas longitudinales también llamadas vigas prefabricadas. En nuestro caso para

la construcción de este tramo del viaducto no usaremos estas vigas prefabricadas, ya que el tramo curvo está constituido por vigas cajón pos tensadas y luego la losa que sirve como soporte para el paso del tren, solo las columnas externas contarán con las vigas cabezales descritas anteriormente, las dos columnas centrales no contarán con estas vigas cabezales, las cuales serán reemplazadas por vigas diafragmas reforzadas en las vigas cajón pos tensadas. Una vez colocado la plataforma de encofrado para la base de las vigas cajón se procede con el habilitado de acero de la losa base y de las paredes de la viga cajón, para colocar los ductos del pos tensado donde topografía verifica la correcta ubicación de los ductos y niveles de altura de losa, además de verificar la verticalidad de los encofrados, dimensiones geométricas y contraflechas de las vigas antes mencionadas, para posteriormente ser vaciadas en obra.

Una vez concluido esto se procede con la colocación de la armadura de la losa (tablero) en donde la topografía verifica el nivel de vaciado (cota) y recubrimiento.

Concluido el vaciado de la losa, se procede con los trabajos de la viga diafragma y bordes vaciado in situ en los cuales se siguen los mismos pasos descritos anteriormente, como son la verificación de dimensiones geométricas, verticalidad del encofrado, nivel de vaciado, etc.

Luego de tener vaciado el tablero del viaducto se procede a la colocación de las de los bordes típicos, canaletas laterales y centrales que son elementos también prefabricados; los bordes típicos que inicialmente fueron colados en forma parcial quedarán fijos y anclados en su posición cuando éstos se hayan adherido con la canaleta lateral conformando la totalidad de la sección mediante la colocación de concreto in situ, pero antes de ese vaciado la topografía verifica que los bordes típicos estén verticales y alineados uno respecto del otro, y con respecto a la canaleta lateral la topografía verifica sus dimensiones, verticalidad así como también la distancia que deben tener con respecto a los bordes típicos y al eje del viaducto. Haciendo referencia a las canaletas centrales la topografía marca el eje por donde se colocarán estas controlando el alineamiento de las mismas.

## 5.3.2 ACTIVIDADES DE GEOTECNÍA

### 5.3.2.1 ENSAYOS DPL

Durante las excavaciones de las zapatas se establece los criterios de inspección del suelo de fundación de zapatas, en donde se utiliza la Prueba de Penetración Dinámica Ligeras (DPL) el cual consiste en el hincado continuo en tramos de 10 cm. de una punta cónica de 60° utilizando la energía de un martillo de 10 kg de peso, que cae libremente desde una altura de 50 cm. Este ensayo permite obtener un registro continuo de resistencia del terreno a la penetración, existiendo correlaciones para encontrar el valor "N" de resistencia a la penetración estándar en función del tipo de suelo, para cada 30 cm de hincado.

Para la inspección del suelo de fundación se tomará en cuenta los siguientes pasos:

- a) Se verifica la cota de fondo del terreno.
- b) Se inspecciona visualmente y mapeará el tipo de material encontrado a nivel de fundación, éste debería corresponder a lo indicado en el estudio geotécnico y en los planos del proyecto (Gravas mal gradadas –GP)
- c) Se ejecutan un mínimo de cinco pruebas de DPL por zapata ubicando cuatro en las esquinas y uno en el centro con la finalidad de hallar el estrato resistente, el mismo que será determinado si el número de golpes en ese suelo sea mayor o igual a 30 en tres lecturas consecutivas (se entiende por lectura al registro de golpes por cada 10 cm de penetración durante el ensayo).
- d) Después de hacer las pruebas de DPL satisfactorios, inmediatamente se procede a colocar el solado

### 5.3.3 INICIO DE EXCAVACION PARA ZAPATAS

Las excavaciones se ciñen a los alineamientos, pendientes y cotas indicados en los planos y se realizan en forma descendente utilizando una excavadora, para las zapatas C-224, C-225, C-226, C-227 se colocan los puntos y trazos hasta una altura de excavación promedio de 4 m (diferencia entre la cota de terreno natural con la cota del nivel de fondo de cimentación) con sección rectangular de dimensiones 11.00m x 8.00m para las zapatas C-224 y C-227, para las zapatas C-225 y C-226 con sección rectangular de dimensiones 14.00m x 10.00m.

Después de haber terminado de excavar se procede al perfilado de los taludes y a la estabilización de la misma para lo cual se utiliza una mezcla de lechada (mezcla de cemento y agua en proporción de 1:3).

El fondo de las excavaciones se termina cuidadosamente a mano, hasta darle las dimensiones indicadas en los planos. Las superficies así preparadas deberán humedecerse y utilizar equipos adecuados hasta dejarlas compactadas, de manera que constituyan una fundación firme y nivelada para las estructuras.

El material proveniente de las excavaciones será eliminado a botaderos previamente identificados o dispuesto en puntos de acopio para luego ser usado como material de relleno.

### 5.3.4 COLOCACIÓN DE ARMADURA DE ZAPATAS.

Para la colocación de la armadura de las zapatas 224,227 se consideran las dimensiones de zapata según plano del proyecto CTEL-FFE-VTL-EST-DWG-32310 la cual señala que las zapatas deben tener dimensiones 11mx8m y altura de 2.50m; la armadura de las zapatas se realizaron en el interior de las excavaciones insitu y según el plano del proyecto CTEL-FFE-VTL-EST-DWG-32302 la armadura para estas zapatas es la misma para ambas, las cuales indican que se usaron varillas de diámetro 1/2", 3/4", 1" con acero  $f_y=4200$  kg/cm<sup>2</sup> y recubrimiento igual a 7.5 cm, cabe mencionar que el peso total de acero por cada zapata es de 16.9 Ton, el cual fue realizado por 16 obreros en un lapso de 3 días. El transporte del material de la parte superficial hacia el interior de la excavación se realizó mediante una grúa y en algunos casos mediante personal de obra.

Para la colocación de la armadura de las zapatas 225 y 226 se consideran las dimensiones de zapata según plano del proyecto CTCL-FFE-VTL-EST-DWG-32155, la cual señala que en la zapata 225 la columna gira un ángulo de  $9^{\circ}13'43''$  con respecto al eje de la zapata para poder dar la curva al tramo, estas zapatas tienen dimensiones 14m x 10m y altura de 3.00m, la armadura de las zapatas se realizaron en el interior de las excavaciones insitu y según plano de proyecto CTCL-FFE-VTL-EST-DWG-32303, la armadura para estas zapatas es la misma para ambas, cabe mencionar que se usaron varillas de diámetro  $1/2''$ ,  $3/4''$ ,  $1''$  con acero  $f_y=4200$  kg/cm<sup>2</sup> y recubrimiento igual a 7.5 cm, siendo el peso total de acero por cada zapata es de 32.5 Ton, el cual fue realizado por 20 obreros en un lapso de 4 días. Es importante manifestar que el proceso de armado de las zapatas (224, 225, 226 y 227) termina cuando la armadura de la columna es colocada en el interior de la zapata ya que es en este momento que los aceros superiores de las zapatas que rodean las columnas se terminan de colocar totalmente.

### 5.3.5 COLOCACIÓN DE ARMADURA DE COLUMNAS.

El acero es habilitado y suministrado por Aceros Arequipa de acuerdo a los planos de proyecto, para la colocación de la armadura de las columnas 224 y 227, según planos CTCL-FFE-VTL-EST-DWG-32310, indican que dichas columnas 224 y 227 son de sección octogonal alargadas transversalmente de sección 1.55m x 2.30m y que están conformadas por varillas de acero de diámetro de  $1/2''$ ,  $3/4''$ ,  $1''$ ,  $1-3/8''$ . Internamente la armadura de refuerzo de las columnas está dispuesta a modo de dos columnas circulares confinadas mediante estribos circulares entre lazados. Las varillas longitudinales son de diámetros  $1-3/8$  y 1 pulgada, los estribos de diámetro  $3/4$  y  $1/2$  pulgada; para la armadura de la columna 224 se consideró una altura de 9.428 m y cuyo peso total de esta columna es 12.39 Ton de acero; mientras que para la armadura de la columna 227 se consideró una altura de 5.370 m con un peso total de 10.99 Ton.

Para la colocación de la armadura de las columnas 225 y 226 según planos CTCL-FFE-VTL-EST-DWG-32311 donde se indica que las columnas en mención son de sección octogonal alargadas transversalmente de sección 1.80m x 3.80m y que están conformadas por varillas de acero de diámetro de  $1/2''$ ,  $3/4''$ ,  $1''$ ,  $1-3/8''$ . Internamente la armadura de refuerzo de las columnas está dispuesta a



modo de tres columnas circulares confinadas mediante estribos circulares entre lazados. Las varillas longitudinales son de diámetros 1-3/8 y 1 pulgada, los estribos de diámetro 3/4 y 1/2 pulgada; para la armadura de la columna 225 se consideró una altura de 7.67 m y cuyo peso total de esta columna es 15.67 Ton de acero; mientras que para la armadura de la columna 226 se consideró una altura de 8.09 m con un peso total de 16.20 Ton.

El proceso de armado para cada una de las 4 columnas se realizó en la superficie del terreno natural, mediante 12 obreros en un lapso de un día, para las columnas 224 y 227, mientras que para las columnas 225 y 226 se realizó mediante 18 obreros por un lapso de un día y medio, posteriormente mediante una grúa la armadura de la columna es izada y colocada en el interior de la armadura de la zapata para ser asegurada en ella. Luego se efectúa el proceso de aterramiento el cual consiste en soldar los aceros de la columna con los aceros de la zapata según plano CTEL-FFE-VTE-EST-DWG-31018, mencionando que en la columna se coloca una platina metálica que posteriormente será conectada mediante un perno y un terminal a un cable de cobre desnudo que sirve como fuga de corriente eléctrica hacia la tierra.

### **5.3.6 VACIADO DE ZAPATAS Y COLUMNAS**

Para el vaciado de concreto de las zapatas 224 y 227 que según plano CTEL-FFE-VTL-EST-DWG-32486 tienen forma escalonada de peralte 1.25 por cada escalón que como total hacen un peralte de 2.50 metros con dimensiones rectangulares 8.0m x 11.0 m en el primer escalón de la zapata y una sección de 5.0m x 7.0m para el segundo escalón, el vaciado de estas zapatas se produce en dos tiempos uno para el primer escalón y el otro para el segundo haciendo un total de dos días para la culminación del vaciado de las zapatas se consideró un concreto premezclado de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  y slump de 4" a 6". El volumen colocado en obra para cada una de estas zapatas fue en promedio de 153.75 m<sup>3</sup> utilizando 2 vibradores en un tiempo promedio de 9 horas para el primer escalón y de 5 horas para el segundo. Cabe mencionar que las zapatas son vaciadas sobre un solado de 5cm de espesor, siendo el concreto del solado de resistencia ( $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ ).

El concreto para las zapatas es bombeado por una bomba de concreto con pluma que a la vez es abastecido por camiones mixer de 8 m<sup>3</sup> de volumen.

Para el vaciado de concreto de las zapatas 225 y 226 que según plano CTEL-FFE-VTL-EST-DWG-32155 tienen forma escalonada de peralte 1.50 por cada escalón que como total hacen un peralte de 3.00 metros con dimensiones rectangulares 10.0m x 14.0 m en el primer escalón de la zapata y una sección de 7.0m x 10.0m para el segundo escalón, el vaciado de estas zapatas se produce en dos tiempos uno para el primer escalón y el otro para el segundo haciendo un total de dos días y medio para la culminación del vaciado de las zapatas se consideró un concreto premezclado de  $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$  y slump de 4" a 6".

El volumen colocado en obra para cada una de estas zapatas fue en promedio de 315.00 m<sup>3</sup> utilizando 3 vibradores en un tiempo promedio de 13 horas para el primer escalón y de 5 horas para el segundo. Cabe mencionar que las zapatas son vaciadas sobre un solado de 5cm de espesor, siendo el concreto del solado de resistencia ( $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ ).

El concreto para las zapatas es bombeado por una bomba de concreto con pluma que a la vez es abastecido por camiones mixer de 8 m<sup>3</sup> de volumen.

### 5.3.7 ENCOFRADO DE COLUMNAS

Los encofrados deberán ser diseñados y construidos en tal forma que resistan plenamente, sin deformarse, el empuje del concreto al momento del vaciado y el peso de la estructura mientras esta no sea auto-portante, los encofrados son unidos por medio de pernos que pueden ser retirados posteriormente. Los encofrados deberán ser ejecutados de tal manera que se obtengan las formas, niveles, alineamientos y dimensiones indicadas en los planos, a la vez deberán ser herméticos a fin de evitar la pérdida de la lechada de cemento y adecuadamente arriostrados y unidos entre sí, con el propósito de mantener su posición y forma.

El encofrado vertical fue abastecido por la Empresa ULMA y se empleó como encofrado vertical para pilares el ENKOFORM VMK. Todos los paneles para el encofrado de los pilares fueron armados al pie de los pilares, en dos caras para formar la sección octogonal requerida, luego de ello este encofrado es lubricado por un desmoldante para evitar la adherencia del mortero, previamente debe verificarse la absoluta limpieza de los encofrados, en el caso de las columnas por ser elementos que poseerán superficies expuestas y tipo cara vista se

usaran paneles prefabricados de madera multilaminada o revestida (Fenólicos), una vez verificado la limpieza de los encofrados se levantarán mediante una grúa para colocarlos en la posición señalada, antes de efectuar el vaciado del concreto se toma especial atención al recubrimiento del acero de refuerzo, los amarres, arriostres y calafateo.

Para el caso de las columnas los encofrados son retirados después de 24 horas de vaciado y con sus respectivas pruebas de Resistencia a Compresión de concreto.

El proceso de armado para cada encofrado de columna se realizó mediante 12 obreros en un lapso de 1 día.

### **5.3.8 VACIADO DE COLUMNAS**

Para el vaciado de concreto de las columnas 224 y 227 que según plano CTEL-FFE-VTL-EST-DWG-32486, indican que son de sección octogonal alargadas transversalmente de sección 1.55m x 2.30m y altura promedio de 9.43m para la columna 224; se consideró un concreto premezclado de  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  y slump de 4" a 6"; el volumen colocado en obra para esta columna antes mencionada fue en promedio de 30 m<sup>3</sup>. Mientras que para la columna 227 también de sección octogonal alargada transversalmente de sección 1.55m x 2.30m y altura promedio de 5.37m, se consideró un concreto premezclado de  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  y slump de 4" a 6"; el volumen colocado en obra para esta columna antes mencionada fue en promedio de 17 m<sup>3</sup>.

Para el vaciado de concreto de las columnas 225 y 226 que según plano CTEL-FFE-VTL-EST-DWG-32155, indican que son de sección octogonal alargadas transversalmente de sección 1.80m x 3.80m y altura promedio de 8.09m para la columna 225; se consideró un concreto premezclado de  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  y slump de 4" a 6"; el volumen colocado en obra para cada una de esta columna antes mencionada fue en promedio de 51 m<sup>3</sup>. Mientras que para la columna 226 también de sección octogonal alargada transversalmente de sección 1.80m x 3.80m y altura promedio de 7.67m, se consideró un concreto premezclado de  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$  y slump de 4" a 6"; el volumen colocado en obra para esta columna antes mencionada fue en promedio de 48 m<sup>3</sup>.

### 5.3.9 RELLENO DE ZAPATAS

Después del vaciado y desencofrado de la columna, se procede a rellenar la zapata que comprende la preparación, conformación y compactación del material de relleno para lo cual se describen los pasos que se siguieron:

- a) **Relleno de las zapatas con material propio.** Se realizó en capas de 0.30 m de espesor, compactadas hasta alcanzar el 95% de la máxima densidad seca del Próctor modificado y no se inició la conformación de la siguiente capa hasta que la capa anterior haya alcanzado el porcentaje de compactación requerido, el control de las capas de relleno se realiza con densímetro nuclear, el tamaño máximo de las partículas de las partículas no es mayor a 5", de lo contrario se procede al retiro manual.
- b) **Conformación de la corona (Subrasante).** La conformación de la corona se realizó en capas de 0.30m de espesor, compactadas al 95% del proctor modificado. El material para la conformación de la corona no es mayor a 3", el control de las densidades se realizó con densímetro nuclear y no se procedió a la conformación de la sub base hasta alcanzar el porcentaje de compactación requerido.
- c) **Relleno de Sub base.** En la zona donde existe pavimento asfáltico, la sub base está conformada por una capa de 0.30 m conformada en 2 sub capas de 0.15 m compactadas hasta alcanzar el 100 % de la máxima densidad seca (Proctor modificado), en la zona donde existe pavimento mixto, la sub base está conformada por una capa de 0.40 m conformada en 02 sub capas de 0.20 m compactadas hasta alcanzar el 100% de la máxima densidad seca (Proctor modificado).
- d) **Relleno de base.** Únicamente en la zona donde existe pavimento asfáltico, la base está conformada por una capa de 0.30 m conformada en 2 sub capas de 0.15 m compactadas hasta alcanzar el 100 % de la máxima densidad seca (Proctor modificado). El control de las densidades se realizó con densímetro nuclear evaluándose 01 punto por capa.

### 5.3.10 CONSTRUCCIÓN DE VIGAS CABEZALES

Para la construcción de las vigas cabezales se utilizó encofrados de la empresa ULMA utilizando el sistema ENKOFORM HMK apeado por torres ALUPROP, estos mismos sistemas se han aplicado junto con los encofrados COMAIN Y NEVI para el fondo de losa y viga, posteriormente se armaron andamios para que personal pudiera tener acceso y comenzar a colocar el acero de refuerzo que es levantado por medio de un camión gura para facilitar el acarreo desde el nivel de terreno hasta el nivel de fondo de viga cabezal. Las dimensiones para el encofrado de las vigas cabezales tienen forma de una "V" con longitudes de largo 7.0 m, ancho 2.10 m y que presentan una segunda altura de 2.27m y esto debido al cambio de peralte de las vigas prefabricadas y la losa vaciada insitu de la viga cajón. El acero de las vigas es habilitado y suministrado por Aceros Arequipa de acuerdo a los planos de proyecto CTEL-FFE-VTL-EST-DWG-32331 y durante el proceso de armado se usaron varillas de acero de diámetro 3/8, 1/2, 5/8, 3/4 y 1 pulgada; con  $f_y=4200$  kg/cm<sup>2</sup> y recubrimiento de 5cm. El peso total de acero para cada viga cabezal es 3.38 Ton de acero.

Con respecto al concreto utilizado en obra, este se consideró premezclado de  $f'c = 280$  kg/cm<sup>2</sup> y slump de 4" a 6". El volumen colocado para la viga cabezal 224 y 227 son de 25.23 m<sup>3</sup> y 24.81 m<sup>3</sup> respectivamente. Para el control de calidad se tiene un protocolo en el que se revisa tanto el acero como el encofrado de la viga que este conforme a lo especificado en los planos y para el control del concreto ese realiza en cada mixer que llega a obra un control de temperatura (máx. 32°C), slump, tiempo de llegada del mixer a obra (máx. 1:30 h).

Estas estructuras presentan llaves de cortes donde van embebidas las restricciones longitudinales o restricciones sísmicas, los cuales absorben las fuerzas cortantes que se presentan durante un evento sísmico. Cabe mencionar que las vigas cabezales 224 y 227 por tratarse de cabezales de junta no llevan las restricciones longitudinales (las cuales impiden los desplazamientos de la superestructura en las direcciones longitudinal y transversal al eje del viaducto), pero si se coloca una llave de corte central cuya función tiene impedir los desplazamientos transversales al viaducto elevado. Además al no llevar restricciones longitudinales la estructura podrá desplazarse en dicha dirección a través de la junta sísmica de diseño (10cm), liberando la energía inducida por algún evento sísmico. Cabe mencionar también que estas vigas cabezales

poseen dos alturas una para soporte de las vigas longitudinales pre fabricadas y otra para el soporte de la losa de la viga cajón vaciada insitu por ello la sección de la viga cabezal sobre la cual descansara la losa de viga cajón si poseerá restricciones longitudinales con las funciones ya explicadas anteriormente.

Con respecto al sistema de corriente de fuga se colocan los puntos de soldadura y platinas en las vigas cabezales las cuales fueron soldadas con los aceros de la columna y esta con la zapata, estas platinas de la viga cabezal son conectadas con las platinas de las vigas prefabricadas mediante un cable conductor para corriente de fuga y esta conexión viaja a través de las vigas diafragmas, losas o tableros y culminan en las canaletas del viaducto elevado donde se instalan las últimas platinas o placas de aterramiento.

Una vez vaciado y curado el concreto se procede a colocar el grout o capa nivelante que consiste en una mezcla cementicia de alta resistencia, con áridos especiales de granulometría controlada, aditivos de avanzada tecnología, exentos de cloruros y componentes metálicos que sirve como elemento de conexión entre un elemento de concreto con otro cuerpo que requiere una superficie nivelada. El grout nivelante se coloca directamente sobre la superficie del concreto en áreas de 0.50 m x 0.40m ó 0.70 m x 0.40m, la sección del concreto sobre el cual se aplica el grout debe estar debidamente escarificado, húmedo, firme y limpio, se debe mover todo concreto suelto, fisurado o mal adherido sin impregnaciones de aceites, grasa, pinturas entre otros; y se procede a saturar la superficie con agua durante 24 horas previas a la colocación del grout. El encofrado para vaciar grout son moldes alrededor de la placa base. Los moldes deben ser absolutamente estables y no deben absorber agua de la mezcla, del mismo modo deben ser herméticos para evitar la fuga de agua del mezclado.

Después de la aplicación del grout se procede al curado para lo cual es necesario conservar la superficie húmeda, para lo cual se recomienda cubrir con yute húmedo por lo menos durante 3 días consecutivos y protegerlo de un secado rápido, para evitar fisuras por la temperatura elevada que produce la mezcla de grout.

La función que cumple este vaciado de cajuelas de grouting encima de las vigas cabezales es para servir de apoyo al neopreno (el cual está formado por planchas de acero de 3 milímetros de espesor) que es donde se apoya la viga prefabricada además de apoyarse en este caso la losa de la viga cajón vaciada insitu. La distribución de las planchas de neopreno se para las vigas cabezales 224 y 227 se muestran en el plano CTEL-FFE-VTL-EST-DWG-32156 y CTEL-FFE-VTL-EST-DWG-32157 respectivamente.

### **5.3.11 ENCOFRADO PARA VIGAS CAJON**

Con el objetivo de ofrecer una respuesta apropiada para cada estructura y ante los cortos plazos de ejecución previstos, se ha planteado el sistema MK, como solución principal de todas las configuraciones. Contar con el adecuado equipo humano y logístico ha facilitado el suministro de todo el material en los tiempos acordados.

En los tramos curvos del proyecto en especial el mencionado en esta presente tesis, donde no se requerían vigas pretensadas, se han empleado torres tanto de ALUPROP como MK que han soportado en este caso 108 Ton (27 Ton. Por cada apoyo puntual), la versatilidad del MK ha permitido el montaje de un puente peatonal así como una estructura para el paso de vehículos. Este sistema ha respondido con éxito para el trabajo solicitado. Como referencia en el Anexo 3. Verificación de la capacidad admisible de Soporte BRIO, Torres ALUPROP y Torres MK para Puente Ovalo Cabitos, se presentan los resultados de análisis estructural de los encofrados del puente.

El Puntal de Aluminio ALUPROP, está diseñado para el apeo de los sistemas de encofrado horizontal, así como para su utilización en las diferentes necesidades de obra. Los Puntales ALUPROP se pueden unir mediante marcos de arriostramiento para formar cimbras. Este tipo de encofrado fue elegido a usarse en este tramo gracias a sus ventajas como gran durabilidad y capacidad de carga, los puntales ALUPROP han sido diseñados de manera que es posible utilizarlos superpuestos. La unión entre puntales o con el suplemento se realiza con la Unión rápida o mediante tornillos. De esta manera se pueden conformar cimbras de gran altura. Gracias a este encofrado de pudo controlar la contra flecha que presentaban las vigas cajón las cuales se presentan en el cuadro adjunto:

## FLECHAS PTE. CABITOS (m)

Pto	DC	DW	LL	PF	Flecha Final	Flecha (mm)
0.25 L1	0.0264	0.0218	0.0208	0.0318	0.0371	37
0.50 L1	0.0316	0.0258	0.0259	0.0375	0.0458	46
0.75 L1	0.0197	0.0131	0.0146	0.0184	0.0291	29
0.25 L2	0.0142	0.0115	0.0207	0.0113	0.0351	35
0.50 L2	0.0207	0.0168	0.0289	0.0163	0.0500	50

Tabla 5.1 Cuadro de deflexiones del Puente Cabitos

Fuente: Expediente Técnico Final AATE

Para la realización del encofrado en este tramo curvo, se tuvo que innovar un nuevo sistema llamado de "Falsos Puentes", para el cruce especial (Cruce Cabitos) que tienen vanos mayores a 45m, debido a previsión futura de ejecución de by-pass (túneles) por debajo de la vía existente, la solución premoldeada era inviable debido a necesidad de vigas prefabricadas con cerca de 2,50m de peralte, lo que no cumpliría el galibo mínimo viario (5 m), así se adoptó el sistema convencional constructivo con encofrado y concreto vaciado in-situ.

Aun teniendo el permiso de la entidad reguladora del tránsito vehicular de Lima para el cierre total de los cruces indicados, para ejecución del apuntalamiento del encofrado, se debe señalar que este cierre generaría un impacto negativo, por lo que se desarrolló un sistema de encofrado que permitió la realización de los trabajo, sin desviar el tránsito. El sistema consiste en el uso de vigas pre moldeadas de los vanos adyacentes al puente, para usarlas como apoyo provisional del encofrado. La que se denominó el sistema constructivo de "falso puente".

El soporte denominado "falso puente" es compuesto por 2 torres tipo MK del subcontratista Ulma, sobre ellas se apoyan vigas metálicas de perfil "H", que son calculadas conforme su demanda, estas son fijadas a la plataforma superior de las torres, pues sobre las mismas se montará las vigas de concreto prefabricada Tipo "I" con peralte de 1.30 m, que deberán ser debidamente arriostradas una con otra, sobre las 3 vigas de concreto se monta el encofrado de fondo de la viga cajón definitiva, como se muestra en la figura 5.1.



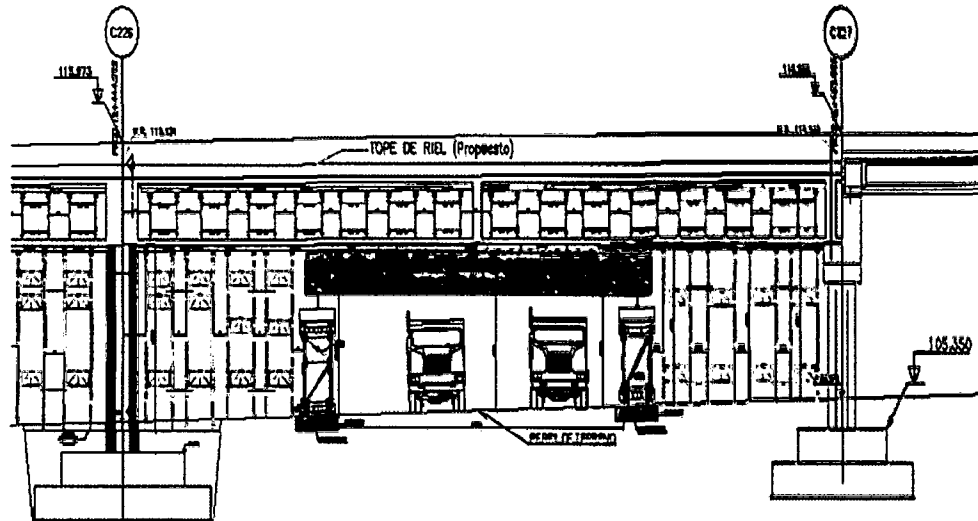


Fig. 5.1 Vista de apuntalado de encofrado en tramo Curvo

Fuente: Expediente Técnico Final AATE

Haciendo una comparación de las composiciones de costos incurridos del encofrado tipo “falso puente” versus encofrado típico; Se puede observar en las composiciones abajo, que para la realidad del Tren Eléctrico, la opción del “falso puente” ha tenido un impacto positivo de costo y productividad, debido a su velocidad de implementación y disminución del material de apuntalamiento.

Sin embargo es sabido que esto se debe al bajo costo para el montaje y transporte de las vigas de concreto provisionales, en razón de la estructura ya movilizada que tenemos e al costo “cero” de las vigas de concreto que serán reaprovechadas en otro tramo.

ENCOFRADO CON FALSO PUENTE	UMed.	Cuadrilla	Índice	Custo Unitario	Custo Total (H)
	M2				52,45
<b>Mão de Obra</b>			0,297193		1,42
Peon	H	2,00000	0,037149	3,73	0,14
Operario	H	10,00000	0,185745	4,72	0,88
Oficial	H	3,00000	0,055724	4,14	0,23
Capataz - Obras Cíviles	H	1,00000	0,018575	9,20	0,17
<b>Subcontratos</b>					35,28
ALQUILER DE VIGAS METALICAS TIPO H	ML		0,302222	46,31	13,99
COSTO MONTAJE/DESMONTAJE DE VIGAS DE COCNRETO 20 ML	ML		0,148148	46,88	6,95
ALQUILER ENCOFRADO ULMA	Jgo		0,190000	10,27	1,95
ALQUILER TORRES MK	Und		0,008800	1,407,65	12,39
<b>Equipamento</b>					15,75
CAMION GRUA 15 TON	H		0,250000	45,00	11,25
TELEHANDLER	H		0,250000	18,00	4,50

ENCOFRADO CON APUNTALAMIENTO ULMA	UMed.	Cuadrilla	Índice	Custo Unitario	Custo Total (H)
	M2				59,04
<b>Mão de Obra</b>			0,708506		3,32
Peon	H	3,00000	0,106276	3,73	0,40
Operario	H	12,00000	0,425104	4,72	2,01
Oficial	H	4,00000	0,141701	4,14	0,59
Capataz - Obras Civiles	H	1,00000	0,035425	9,20	0,33
<b>Subcontratos</b>					17,47
ALQUILER ENCOFRADO ULMA	Jgo		1,000000	17,47	17,47
<b>Equipamento</b>					38,25
CAMION GRUA 15 TON	H		0,750000	45,00	33,75
TELEHANDLER	H		0,250000	18,00	4,50

Cuadro 5.1 Cuadro Comparativo de costos entre encofrado convencional y falso puente

Fuente: Expediente Técnico Final AATE

Como observamos en el cuadro la diferencia de costos es muy grande, por lo cual resulta aceptable usar los falsos puentes, Además de usar este sistema en el tramo curvo se usó también el sistema convencional y para ello previamente a izar los puntales ALUPROP , se vació una losa de concreto aproximadamente de 25cm de espesor y de  $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ , que cumple a la vez como superficie nivelante y para que se puedan cumplir las contra flechas de la viga cajón, definiéndose como contra flecha a la ligera curvatura, convexa, que se realiza en una viga o cercha para compensar cualquier flecha prevista cuando soporte un peso. También llamada combadura. Entonces gracias a la versatilidad del encofrado utilizado se pudo elongar para darle la distancia de contra flecha necesaria. Esta losa se vació entre los vanos 225-226, y la tercera parte de los vanos empezando desde los vanos centrales hacia las columnas extremas.

Una vez realizada esta losa se apuntalan los puntales ALUPROP y se colocan los encofrados de la losa base y de las paredes de la viga cajón, estos encofrados son izados por medio de una grúa, además de construir andamios para el acceso del personal encargado de la partida de encofrados.

El encofrado de la viga cajón ha seguido la secuencia descrita en el vaciado de la viga cajón en 10 etapas como se menciona más adelante.

### 5.3.12 CONSTRUCCION POR ETAPAS DE LA VIGA CAJON

Las vigas cajón vaciadas insitu son elementos de concreto en forma de dovelas huecas las cuales son sometidas intencionalmente a esfuerzos de compresión

posteriores al vaciado de concreto. Esta tensión se aplica mediante cables de acero que son tensados y anclados al concreto. Este método puede aplicarse tanto para elementos pre fabricados como vaciados insitu.

Las vigas cajón diseñadas para el tramo curvo tienen un ancho de 8.40m en la parte superior y un ancho de 4.0m en la parte inferior; y altura de 2.50m.

El acero de las vigas es habilitado y suministrado por Aceros Arequipa de acuerdo a los planos de proyecto CTEL-FFE-VTL-EST-DWG-32483, CTEL-FFE-VTL-EST-DWG-32484 los cuales se encuentran en el anexo 2. El armado del acero de la viga se realiza sobre planchas de encofrado detalladas en el ítem anterior. Para la correcta colocación de la armadura se colocan las marcas topográficas necesarias sobre el encofrado que servirán como guías para la instalación del acero y su verificación, así como el control de los encofrados (alineamiento, espaciamiento, recubrimientos, niveles, etc.). Se utilizarán dados prefabricados de concreto para asegurar el recubrimiento de la armadura. Adicionalmente en la losa inferior de las vigas cajón se han dejado ductos de inspección de sección 1.0m x 1.0m, para poder darle un mantenimiento a la viga, la ubicación y el refuerzo de estos ductos se encuentran en el plano CTEL-FFE-VTL-EST-DWG-32483, estos ductos también se aprovecharon para recuperar el encofrado de las paredes internas de la viga cajón.

Para el sistema de puesta a tierra se colocan las platinas de acero galvanizado soldados en la armadura de las paredes el tablero y los diafragmas tanto de las columnas como de la losa superior de la viga según como se indica en el plano de proyecto CTEL-CTE-VTL-ELE-DWG-32193, soldadas entre sí para la continuidad del sistema. Esta operación se realiza durante la colocación de la armadura y se inspeccionará previo al cierre del encofrado antes de colocar los tendones.

Concluido el armado del acero de la viga, se procederá a colocar los encofrados de las paredes de la viga y a colocar en paralelo al acero los Ductos o vainas metálicas que son tuberías que sirven como medio para dejar el espacio vacío en donde posteriormente irán los cables de post- tensado, en la viga cajón se colocaran 6 ductos en cada lado de las paredes, a la vez estos ductos están conformados por 12 torones cada uno, la distribución y los detalles de la

instalación de estos ductos o vainas se explican en los planos de proyecto CTEL-SIT-VTL-EST-DWG-32484, CTEL-CTE-VTL-EST-DWG-32485 hasta el plano CTEL-CTE-VTL-EST-DWG-32191.

Además a lo largo de todo el recorrido de los ductos que contienen los cables para el postensado, cables que son de acero de alta resistencia compuesto por cables de acero individuales o torones de 12 hilos (Diámetro de 5/8" /Grado 270K/ Norma ASTM A 416-90), específicamente en las partes más elevadas del recorrido se han colocado una abrazadera y un tubo de Ø1/2" que a la vez se conecta con una manguera de PVC que se saca hasta la parte superior de la losa para que después del tensado de los cables se pueda proceder a la inyección de la lechada y poder verificar que se estén llenando completamente los ductos.

Los principales equipos utilizados para esta actividad son:

- Instalación de ductos: Guía metálica 12 torones, ducto galvanizado metálico, unión metálica galvanizada corrugada.
- Corte y enhebrado de cables: Pulidora, Enhebradora eléctrica, cables de acero, cable de acero.
- Tensionamiento de cables: gato hidráulico, Manómetros (Control de presiones del tensado), Bomba trifásica, Diferencial 1TN.
- Inyección de lechada: Bomba de inyección manual, Recipientes para almacenamiento (Canecas de 55 Gl.), 1 camión grúa, 1 Compresora.

Estos ductos no cumplen ninguna función estructural, simplemente es un medio para dejar el espacio vacío por donde posteriormente se instalaran los cables de postensado. Durante el vaciado se deben tener en cuenta que el vibrador no sea aplicado directamente sobre los ductos, además se debe golpear la formaleta en la zona de los ductos con el objeto de evitar segregación en estas zonas. Una vez terminado el vaciado se procederá a realizar el chequeo respectivo para revisar si los ductos han sido obstruidos, esta inspección se realiza con aire a presión.

En el momento de la colocación de los torones en cada ducto la longitud de corte de los cables está dada por la distancia real entre anclajes, más 2.00m requeridos para la instalación de los equipos de tensado.

El proceso de armado de acero y de encofrado seguirá la misma secuencia del vaciado descrito en el ítem siguiente en 10 etapas, dando para cada una de ellas el curado por vía húmeda y/o por la aplicación de un curador químico, para la losa superior e inferior se ha permitido hacer arrocetas para mantener húmeda la superficie del concreto por un periodo de 5 días. El postensado se realizará una vez que el concreto adquiera la resistencia diseñada, la verificación de la resistencia se realizó mediante la rotura de probetas las cuales tendrán las mismas condiciones de curado que la estructura. En el proceso de tensado de los cables se aplica una primera carga de 1000 PSI para el reacomodo de los cables. En este caso se hará una marca referencial al cable a 30 cm con respecto al accesorio de anclaje. Esta marca representa la elongación teórica referencial del cable a 1000 PSI (marca inicial) hasta una presión requerida de 6000 PSI.

Una vez terminado el tensado se cortaron los cables hasta dejar solo 3 cm. De longitud por fuerza de bloque de anclaje, se procede a limpiar la zona de las cajas para el posterior cerrado de las mismas con un vaciado de grouting lo cual sellará los cables cortados.

Como actividad final se procederá a realizar la inyección de la lechada en los ductos esto se hará por las mangueras dejadas en los anclajes de ambos extremos. Se inyectó la lechada en proporciones de 0.45 es decir por cada 22.5 lts de agua se adiciona 50kg de cemento tipo V. Se utilizó un aditivo expansor de mortero, al 1% del peso del cemento. Este aditivo cumplió la función de expandir la lechada de tal manera que llene todos los espacios vacíos entre los torones, la inyección se realizó por medio de una bomba apta para este tipo de trabajo.

### **5.3.13 VACIADO DE LOSAS**

El objetivo de este ítem es describir el proceso del vaciado del concreto para la superestructura en el cruce especial del Ovalo Cabitos, este cruce consta de 3 vanos continuos de longitudes variables con una longitud total máxima de 126.83m entre juntas de expansión, se considera una estructura formada por

vigas continuas con sección cajón con ancho total de 8.40m y peralte de 2.50m, porticadas con las columnas internas (225 y 226) y apoyadas sobre aparatos de apoyo de neopreno en las columnas externas (224 y 227).

Cabe mencionar que las vigas cajón vaciadas insitu son elementos de concreto cuyo vaciado será realizado sobre un encofrado dispuesto en un lugar definitivo. Adicionalmente y posterior al vaciado, estas vigas serán sometidas intencionalmente a esfuerzos de compresión. Esta tensión se aplica mediante cables de acero que son tensados mediante gatos hidráulicos.

Una vez finalizado el encofrado de la losa base de la viga cajón se procede a izar el acero correspondiente mediante una grúa para que el personal obrero puede comenzar con la colocación de la armadura tanto de la losa base como de las paredes de la viga cajón esto se hará según planos aprobados de proyecto CTEL-SIT-VTL-EST-DWG-32483, CTEL-SIT-VTL-EST-DWG-32484 los cuales se encuentran en el anexo 2; el personal está conformado por 3 cuadrillas de acero con 10 hombres por cuadrilla quienes van a colocar y amarrar las varillas de acero para la losa y las paredes, como estas vigas cajón son postensadas llevan por ende los ductos de postensado en las paredes de la viga cajón ductos que son colocados en paralelo a la colocación del acero en las paredes de la viga, estos ductos siguen una ubicación descrita en planos CTEL-CTE-VTL-EST-DWG-32185, CTEL-CTE-VTL-EST-DWG-32186, CTEL-CTE-VTL-EST-DWG-32187, CTEL-CTE-VTL-EST-DWG-32188, CTEL-CTE-VTL-EST-DWG-32189, CTEL-CTE-VTL-EST-DWG-32190, CTEL-CTE-VTL-EST-DWG-32191.

Una vez finalizados los trabajos de colocación de armadura y de encofrados correspondientes y de la instalación de los ductos de postensado, se procede a la verificación topográfica donde se inspecciona las cotas, dimensiones y contra flechas descritas en los planos para así proceder al vaciado de las vigas. La colocación de concreto para este caso será por tramos y se seguirán los procedimientos usuales para el adecuado vibrado utilizando 3 vibradores de aguja 1".

Teniendo en cuenta la longitud del puente, las secuencias de vaciado se han dividido en 10 etapas las cuales se muestran en las figuras siguientes:

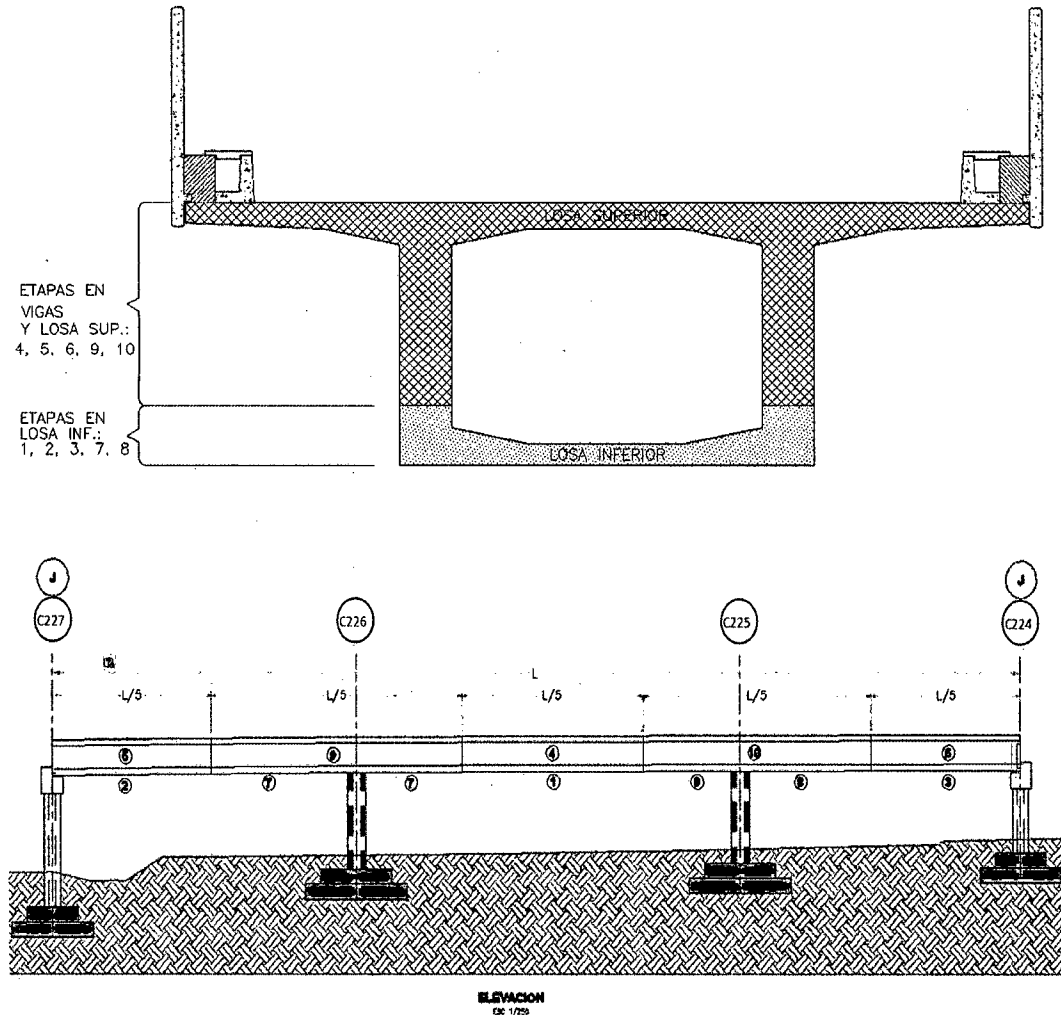


Fig. 5.2 Etapas de vaciado de viga cajón

Fuente: Expediente Técnico Final AATE

- 1° VACIADO: Entre los ejes C226 y C225; vaciados de losas inferiores.
- 2° VACIADO: En el extremo, eje C227; vaciados de losas inferiores
- 3° VACIADO: En el extremo, eje C224; vaciados de losas inferiores
- 4° VACIADO: Entre los ejes C226 y C225; vaciados de vigas y losas superiores.
- 5° VACIADO: En el extremo del eje C227; vaciados de vigas y losas superiores
- 6° VACIADO: En el extremo del eje C224; vaciados de vigas y losas superiores
- 7° VACIADO: En el eje del pilar C226; losas inferiores.
- 8° VACIADO: En el eje del pilar C225; losas inferiores.
- 9° VACIADO: En el eje del pilar C226; vigas y losas superiores.
- 10° VACIADO: En el eje del pilar C225; vigas y losas superiores.

La colocación de concreto es suministrado desde la planta de concreto ubicada en la Videna el concreto usado para esta viga es de un  $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$  el cual se efectuará utilizando una bomba móvil con brazo telescópico, este proceso se inicia luego de haberse concluido con el armado completo de los tableros, con el sellado de espacios entre los elementos del encofrado, con la colocación de los respectivos sumideros que siguen lo indicado en el plano CTEL-CTE-VTE-OCI-DWG-35727.

El concreto será vibrado por inmersión a medida que se llena la losa. Los vaciados se tuvieron que realizar durante la noche para evitar la demora en el tiempo de espera para la llegada de los mixer y también para evitar el congestionamiento vehicular y molestia a la población, Posteriormente a los vaciados se tiene una cuadrilla conformada por 2 peones encargados del curado, para el curado rociarán la losa con el curador químico en 2 capas una perpendicular a la otra. Después de realizar los trabajos de pos tensado al 100%, se podrá retirar el apuntalamiento de la losa inferior de la superestructura.

#### **5.3.14. CONSTRUCCIÓN DE VIGAS DIAFRAGMA**

Las vigas diafragmas son elementos de concreto armado que brindan a la superestructura conectividad importante entre las vigas principales y hacen posible que estas funcionen como un conjunto monolítico. Estas vigas diafragmas son de concreto armado cuyo vaciado se realiza en un lugar definitivo. Adicionalmente y posterior al vaciado, estas vigas son sometidas intencionalmente a esfuerzos de compresión. Esta tensión se aplica mediante barras Dywidag.

En el tramo curvo del Ovalo Cabitos existen 4 vigas diafragmas de las cuales 2 son vigas diafragmas de junta y las otras 2 son vigas diagramas en los apoyos centrales.

La secuencia de las actividades para la construcción de las dos vigas diafragma de juntas son las siguientes:

- Se utilizará un telehandler para el ascenso del personal hasta la parte superior de las vigas. El personal trabajará sobre los cabezales y sobre



las plataformas provisionales de trabajo con barandas, montadas inicialmente.

- Colocación de acero de refuerzo de diafragmas según los planos CTEL-SIT-VTL-EST-DWG-32483, los fierros colocarán y amarrarán todas las posiciones de acero del diafragma de acuerdo a lo especificado.
- Para la parte central del concreto no será necesario usar fondo de encofrado, una plancha de tecknoport de 2" de espesor irá asegurada contra la llave de corte de concreto endurecido de la viga cabezal.
- Colocación de vainas para el pos tensado, se cortaran las vainas a la medida establecida y se les dará el recorrido de acuerdo al plano especificado, se pasaran las vainas de un extremo del diafragma a otro, por unos ductos previamente dejados en las vigas. Son 3 ductos por cabeza de viga, es decir 6 líneas de vainas pro diafragma.
- Para el encofrado de las tapas laterales (por dos lados: Norte y Sur) de los 3 bloques del diafragma y de los extremos del diafragma (Este y Oeste), se realizara el izaje del encofrado con un camión grúa, se colocarán las tapas del encofrado, se verificarán las dimensiones interiores de cada caja y el alineamiento de los paneles antes de fijar los mismos, se aseguran con las barras roscadas y tuercas para el encofrado.
- Vaciado de diafragmas con concreto  $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$  hasta el nivel superior de la losa. Se colocara el concreto con una bomba móvil con brazo telescópico y será vibrado por inmersión, luego se procede al curado del concreto fresco expuesto, para desencofrar las caras laterales después de 24 horas y para el encofrado de fondo se hará después de 2 días.
- Tensando de diafragmas, esto se realiza una vez que el concreto haya adquirido la resistencia de diseño para lo cual se procede a insertar utilizando un telehandler o un elevador telescópico con plataforma las barras de acero (grado 150, de  $\Phi 32 \text{ mm}$ ) dentro del ducto de postensado llamado también vaina galvanizada ( $\Phi$  interior 42 mm), estos ductos atraviesan transversalmente las 4 vigas que conforman cada diafragma. Una viga tiene 3 ductos, quedando un total de 3 ductos por diafragma de junta, además cada ducto tiene 2 chimeneas la cual está conformada de una boquilla de inyección (pieza de PVC con reducción para  $\text{Ø}3/4"$ ), que empalma el ducto de postensado con una manguera flexible de  $\text{Ø}3/4"$  en un extremo que quedará embebido en el concreto del diafragma. El

extremo opuesto de la manguera alcanza una zona accesible para la posterior inyección de la lechada.

Posteriormente se instalan las platinas de anclaje con sus respectivas tuercas en cada extremo. Se instalará en el equipo de tensionamiento, la silleta respectiva que permita introducir una llave fija o copa para ajustar la tuerca interna una vez se realice el procedimiento de tensionamiento. Los gatos a utilizar (modelos K-150 y K-250) contarán con los certificados de calibración de sus manómetros respectivos.

Se ubica una extensión en el extremo a tensar de la barra, con el fin de permitir el acople del plato de reacción que estará en la parte posterior del gato. Con una diferencial se ubicará el gato en la posición necesaria para enhebrar la barra con la extensión a través de él. Se instalará el plato posterior de reacción con la tuerca de fijación. En este momento el sistema quedará listo para comenzar el tensionamiento. Las medidas a verificar durante el tensionamiento son la elongación y la tensión aplicada.

Una vez anclada la barra y ubicado el gato en su posición se aplicará una presión inicial de 500 psi ( $P_i$ ), de manera que se presente un acomodamiento real del anclaje de la barra. Se marcará en la parte posterior la barra, verificando la longitud adicional de barra que se tiene entre la marca interna y la marca externa, de esta manera se recalculará la elongación, teniendo en cuenta un promedio de deformación de la barra de 3.9mm/m, esto con el fin de verificar la elongación de la barra durante el proceso. Nunca se podrá sobrepasar la presión, ni la extensión máxima indicada en el cuadro de tensionamiento. Se llevará la barra a la presión máxima, y se leerá la elongación en las dos marcas. Todos estos datos se anotarán en las hojas de registro que se anexan al final, a las que se le deberán llenar todas sus casillas para evitar posibles errores en la toma de las extensiones. No se inyectará ninguna barra, hasta que se verifiquen las extensiones totales en cada elemento.

Concluido el proceso de postensado se procederá a la inyección de lechada dentro de los ductos de manera que las barras de postensado

queden totalmente embebidas en la mezcla. La lechada será preparada en campo, los materiales serán incorporados al recipiente mezclador de la bomba de inyección.

Una vez preparada la lechada se tomarán las muestras para los controles de calidad. Luego se procederá a inyectar la mezcla por la manguera o chimenea de inyección. Cada ducto será inyectado hasta completar su llenado.

➤ Vaciado de concreto de segunda fase, esto se realiza después de haber concluido el proceso de postensado en el cual se podrán iniciar los trabajos para el concreto de protección de las platinas y pernos que quedaron expuestos. De acuerdo a los planos CTEL-FFE-VTE-EST-DWG-35690 y CTEL-FFE-VTE-EST-DWG-35691 se construye un dado de concreto armado por cada 3 ductos (1/2 diafragma) para lo que será necesario seguir los siguientes pasos (un telehandler o elevador telescópico será necesario) :

- Perforación para anclaje de acero de refuerzo: Se marcan los puntos de anclaje. A continuación se perfora cada agujero usando una broca con diámetro inmediatamente superior al de acero a ser anclado.
- Anclaje de las barras de refuerzo: Se limpia todo residuo de polvo del agujero, para esto se usa un soplador mecánico. Se utiliza un aditivo epóxico para anclaje químico (POWERS PE1000 o similar) que es inyectado de acuerdo a la hoja técnica del producto, la varilla es insertada y ejecutada para asegurar su posición final. Se repite este paso hasta completar el total de los anclajes.
- Escarificado de la superficie: Se remueve la película superficial de concreto de la zona en contacto con el concreto de segunda fase para permitir una buena adherencia.
- Armadura de refuerzo: Con los anclajes colocados en su posición se procede a la colocación de la malla de refuerzo de acero de construcción.

- Encofrado: Se usa encofrado de madera/fenólico (opcionalmente metálico) que es asegurado en su posición final. En la parte superior del encofrado se deja una ventana para el vaciado del concreto.
- Vaciado de concreto: Previo al vaciado se humedece la superficie del concreto existente. Se utiliza una mezcla de concreto autocompactante de  $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$  que es vertida por la ventana del encofrado hasta llenar, luego se tapa la ventana.
- Desencofrado y curado: El desencofrado es ejecutado luego de 24h del término del vaciado. Inmediatamente se resana cualquier imperfección y se aplica el curador químico en toda la superficie expuesta.

Mientras que la secuencia para la construcción de las dos vigas diafragma de apoyos centrales serán las mismas que las ya descritas a excepción de que estas ya no poseerán un postensado ya que estas quedaran embebidas en la viga cajón pos tensada, la armadura de estas vigas diafragma se detalla en el plano aprobado CTEL-SIT-VTL-EST-DWG-32483.

### **5.3.15. CONSTRUCCIÓN DE BORDES TIPICOS, BORDES INSITU Y CANALETAS**

#### **5.3.15.1 BORDES TÍPICOS**

Los bordes típicos son elementos prefabricados de concreto armado los cuales son construidos en planta, éstos llevan una malla de acero como refuerzo; las dimensiones son de 2.08 de altura por un ancho de 2,48m con 10cm de espesor; la distribución del acero está de acuerdo al plano CTEL-FFE-GEN-EST-DWG-31080. La función del borde típico es la de un muro parapeto reemplazando las barandas, que fueron consideradas en el proyecto original.

Para el vaciado de los bordes típicos se utiliza un diseño de mezcla de  $f'c=280 \text{ Kg/cm}^2$  con slump de 3", el proceso de vaciado se realiza usando vibradores de inmersión. Para el acabado de la cara no encofrada, se utiliza máquinas pulidoras (una vez que el concreto haya terminado de exudar). El curado de los bordes se realiza con mantas de fibra de vidrio forrado con mantas de plástico, la

estructura es curada por un periodo de 6 a 7 horas luego del cual se procede al desencofrado del mismo. Una vez desencofrada la estructura, esta es trasladada a una zona de inspección donde se verifica el acabado de las piezas. En caso se presenten burbujas superficiales, estas serán resanadas con una mezcla de cemento-cal-arena fina, para la reparación de los cantos quebrados se utiliza un mortero de reparación tipo Emaco T430 o similar.

Los bordes típicos son transportados desde el lugar de fabricación (Planta Videna) hasta los frentes de trabajo. Una vez que están a pie de obra, los Bordes Típicos son izados y se verifica su posición final, de tal manera que estén en la cota indicada por topografía. Para estos tipos de trabajo existe un procedimiento:

- Para iniciar los trabajos de izaje se utiliza una escalera y/o un telehandler para el ascenso del personal hasta la parte superior de la losa.
- Replanteo topográfico. El equipo de topografía marca las cotas de los niveles de colocación así como la ubicación en el sentido longitudinal de cada borde típico.
- Los bordes típicos son izados desde un camión plataforma o desde el suelo según como sea el caso; para esto se coloca una línea de viento y un montajista a nivel de piso quien autorizara la maniobra de izaje, la estructura es izada por encima del nivel de la losa superior luego se procede a colocar en su posición final.
- La secuencia de montaje será del centro del tramo para los extremos, de forma que los ajustes necesarios se queden acerca de los diafragmas, en piezas vaciadas in-situ, que podrán variar de ancho conforme la longitud del vano.
- En el montaje de los bordes típicos se deberá dejar una junta mínima de montaje de 5mm entre bordes, de forma a permitir su acomodación después de concluso la estructura.
- Una vez en su posición final son asegurados con los estribos que están en el borde típico y los que quedan en la parte superior de la losa los mismos que serán amarrados con acero y alambre, conforme los planos estructurales adicionalmente se coloca un puntal de ser necesario para garantizar la estabilidad del mismo.
- Una vez colocado un vano completo se procede a colocar el concreto de la canaleta y de esa manera el borde típico queda asegurado, los

puntales son retirados al 75% de la resistencia final de la canaleta ( $f'c=280\text{kg/cm}^2$ ). El control de las resistencias se realiza en base a los resultados del ensayo a compresión de las probetas muestreadas.

### 5.3.15.2 BORDES IN SITU

Los bordes In Situ son estructuras de concreto que se ubican en los extremos de los diafragmas del viaducto elevado, son la continuación de los bordes típicos prefabricados y tapan los bordes de los diafragmas. Una cuadrilla de acero coloca y amarra las varillas de acero para el borde típico (según diámetros y longitudes especificadas en los planos CTEL-FFE-VTL-EST-DWG-32299 y CTEL-FFE-VTL-EST-DWG-32106), este trabajo se realiza antes de vaciar el diafragma.

Una vez que se haya concluido, verificado y aprobado la colocación y amarre de las varillas de acero, se da inicio a los trabajos de encofrado, el material a utilizar está compuesto por paneles de triplay o fenólicos y bastidores de madera los cuales serán arriostrados por un sistema de pernos, además se utilizará encofrado metálico (opcionalmente madera) para la canaleta lateral. Para el encofrado de la cara externa se armará un andamio desde la superficie natural.

Se dejarán juntas de tecknopor  $e = 1/2"$  a cada lado y también se dejarán agujeros para la colocación de pernos para los postes de catenaria insertando 04 tubos de PVC de  $1 1/2"$  cortados a la medida dentro del encofrado.

Una vez que se haya concluido, verificado y aprobado la verticalidad y plomada del encofrado, se procede al vaciado de concreto ( $f'c=280\text{ Kg/cm}^2$ ) el cual se efectúa utilizando una bomba móvil con brazo telescópico. El concreto es vibrado por capas de aproximadamente 0.70m de altura. El desencofrado se realiza 12 horas después de haber sido vaciado el elemento y seguidamente se procede al curado utilizando un curador químico.

### 5.3.15.3 CANALETAS

Las canaletas de concreto están ubicadas sobre la superestructura, estas canaletas llevan el cableado de sistemas, comunicaciones y otros a lo largo de la trayectoria del Tren y se dividen en canaleta lateral y central.

La canaleta central es premoldeada y fabricada en planta; la canaleta lateral se vacía in situ, siempre respetando las dimensiones especificadas en el plano CTEL-FFE-GEN-EST-DWG-31005.

Antes del vaciado de la canaleta lateral se procede a la verificación topográfica para autorizar el concretado, el concreto es de  $f'c = 210 \text{ Kg/cm}^2$  y de asentamiento entre 4" y 5", el vaciado se ejecuta con una bomba móvil de brazo telescópico que es abastecida por camiones mixer, el concreto es vibrado por inmersión y una cuadrilla de albañiles se encarga de rematar el fondo de canaleta y las superficies superiores. El curado se ejecuta mediante la aplicación de un curador químico una vez que el concreto fresco haya sido acabado. Se desencofra a partir de las 8 horas posteriores al concretado o una vez que el concreto haya alcanzado la resistencia suficiente.

Luego del desencofrado se aplica una capa de curador químico sobre la superficie expuesta. Las canaletas laterales tendrán juntas de  $\frac{1}{2}$ " de espesor, alineadas con las juntas de los bordes. Las canaletas llevarán tapas de concreto armado con las dimensiones indicadas en los planos respectivos.

Cabe mencionar que antes de colocar la canaleta central debe estar colocada la Junta de Dilatación que es un elemento que permite los movimientos relativos entre dos módulos de la estructura del viaducto, Las juntas serán de acero y serán instaladas de acuerdo a los planos CTEL-CTE-OVA-OCI-DWG-46201 y CTEL-CTE-OVA-OCI-DWG-46202.

### **5.3.16. COLOCACION DEL SONNEVILLE**

El sistema Sonneville se aplicará en la curva 17, de radio 200m, directamente sobre las losas del viaducto en sección cajón diseñado para esta zona de la obra así como en los viaductos adyacentes en vigas pre moldeadas, avanzando parcialmente en la Estación Cabitos, para cumplir con una extensión de transición para el sistema en balasto de cerca de 20m. En recta requerida por el proveedor del sistema, Sonneville International Corporation.

En las extremidades serán ejecutadas transiciones entre el Sistema Sonneville/LVT y la vía con balasto. Sonneville International Corporation, en coordinación con el cliente y de acuerdo a los reglamentos específicos de Perú,

indicará los ajustes necesarios para las zonas de transición. Estas transiciones consistirán en la instalación de dos rieles adicionales en la entrevía de cada una de las vías, que serán fijados, en el área con balasto, en durmientes especiales para cuatro puntos de fijación y en el área con Sonneville/LVT, en una losa de concreto a ser ejecutado entre los bloques Sonneville que recibirá las fijaciones elásticas Pandrol. Deberán ser respetados los espaciamientos de durmientes y bloques constantes del proyecto ( $e=650$  mm). Detalle de la transición suministrado por Sonneville International Corporation.

En los planos de código CTCL-FFE-VTL-VFE-DWG-50423 al 50431 se presentan detalles del sistema y su ubicación en planta.

El sistema Sonneville/LVT consiste en bloques de hormigón armado, cubiertos por cazoletas elásticas. Para realizar el efecto de distribución de la carga, el bloque de hormigón se monta sobre una almohadilla elástica, con una rigidez especialmente diseñada. El sistema adoptado será el Sonneville/LVT Standard. Es formado básicamente por los siguientes componentes:

- Soportes de concreto armado (bloques de concreto), dimensionados para soportar las cargas estáticas y dinámicas transmitidas por las ruedas de los vehículos ferroviarios.
- Almohadilla elástica a ser aplicada entre el riel y el bloque de concreto; Es un componente de transición que soporta el riel y está fijado a la estructura portante de la vía. Tiene un área de apoyo sobre la estructura portante, que es mayor que el área de la base o patín del riel, en su zona de soporte. Cumple además funciones de aislamiento eléctrico entre ambos carriles de la vía. El objetivo de la almohadilla es aumentar el coeficiente de fricción, proveer aislamiento eléctrico entre el riel y durmiente y mitigar los efectos del paso de ruedas del ferrocarril. La pieza acabada sufre estrés mecánico de compresión, debido a la vibración de alta frecuencia en las ruedas delanteras del coche, y estará expuesta a la intemperie y a la luz del sol.
- Cazoleta de caucho que reviste la mitad inferior de los bloques, impidiendo el contacto directo con el concreto de envolvimiento.
- Almohadilla elástica micro celular ubicada en el interior de la cazoleta.
- Fijaciones con poder de retención vertical y longitudinal tipo Pandrol.



- **Concreto de embutimiento:** Después de la correcta colocación de los rieles y bloques, se hará un vaciado envolviendo el sistema de fijación en posición definitiva con concreto  $f'c=35$  MPa.

A continuación detallaremos gráficamente los componentes del sistema de vía permanente Sonneville/LVT:

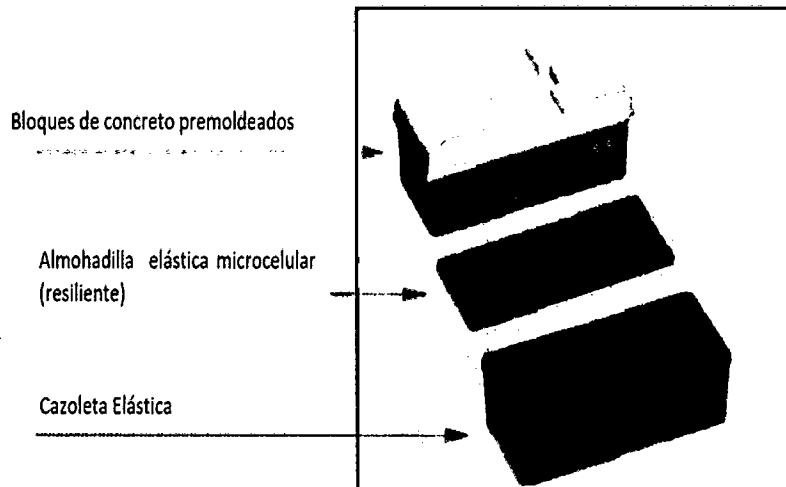


Fig. 5.3 Componentes de vía permanente Sonneville

Fuente: Internet

### Medidas de bloques de concreto pre moldeados

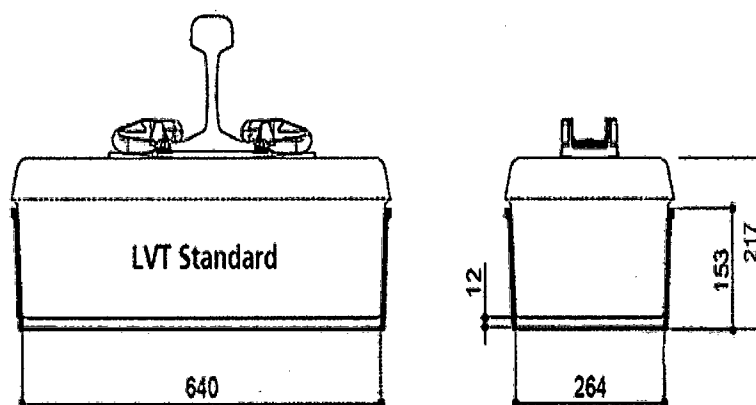


Fig. 5.4 Medidas de bloques de concreto

Fuente: Expediente Técnico Final AATE

### Cazoleta de Caucho

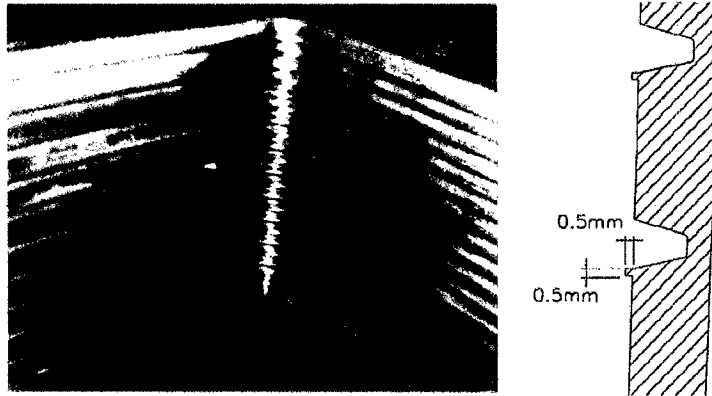


Fig. 5.5 Detalle del interior de la galocha de caucho

Fuente: Expediente Técnico Final AATE

La secuencia ejecutiva y de montaje de la Vía Férrea del sistema Sonnevillie es descrita a seguir:

El montaje de la vía debe ser precedida de la ejecución de las canaletas laterales y central.

- Fase 1: Distribución de los rieles y de los bloques en la vía
- Fase 2: Fijación de los rieles arriba de los soportes provisionales
- Fase 3: Fijación de los bloques en los rieles con las fijaciones elásticas Pandrol.
- Fase 4: Instalación de barras de ancho de vía.
- Fase 5: Montaje de los encofrados en las juntas, alineamiento y nivelación de la vía según proyecto geométrico de la vía.
- Fase 6: Montaje de los dispositivos de drenagen.
- Fase 7: Vaciado del concreto de la fase II (concreto de envolvimiento de los bloques)
- Fase 8: Acabado de la superficie de concreto
- Fase 9: Desmontaje de las barras de ancho de vía.
- Fase 10: Vía concluida.

Procederemos a describir en forma resumida las fases descritas anteriormente:

Se hará la marcación topográfica del eje de la vía y de la posición de los soportes provisionales para los rieles. Estos soportes estarán en cada una de las filas de rieles a una distancia de 4,5m en las tangentes y a cada 2,60 metros en la curva. Son pequeños pórticos, cuyas partes horizontales tienen aproximadamente 35 cm. En la parte horizontal poseen un sistema de fijación

provisional para los rieles con alternativa de ajuste. El correcto nivel de este soporte, tanto como el alineamiento, serán determinados por la topografía. Los rieles serán elevados hasta el nivel del tablero con el uso de una grúa y distribuidos longitudinalmente.

Los bloques de concreto (soportes definitivos de los rieles), también serán elevados del nivel viario urbano hasta el nivel del tablero en parihuelas conteniendo dieciséis unidades cada una y distribuidos conforme al espaciamiento determinado por el proyecto de la superestructura de la vía férrea, que es de 650 mm.

Los bloques de concreto serán posicionados dentro de las galochas y fijados provisionalmente con cinta adhesiva hasta el vaciado del concreto de embutimiento. Serán sellados también con cinta adhesiva, para que la mezcla del concreto no penetre entre el bloque y la galocha.

Inicialmente se fijan cuatro pedazos de varillas de acero con aproximadamente 25cm de longitud cada una y con un diámetro de 0,5 pulgadas. Será utilizada una plantilla para la marcación de los puntos donde la losa será perforada para la fijación de las varillas de acero. La fijación será hecha con la utilización de productos químicos (pegamento para concreto).

La ubicación de los rieles sobre los soportes será hecha con la utilización de dos pórticos. Cada riel será posicionado sobre los soportes manteniendo un espacio de 25mm entre las extremidades, o que será hecho con una plancha de madera. En seguida fijase el riel por su base a lo soporte metálico con pernos, que integran los soportes.

Los rieles serán soldados por proceso aluminotérmico cuando ya estén sobre los soportes. Enseguida, los bloques de concreto serán alzados y sujetos a los rieles por el sistema de fijación Pandrol, en esta fase estarán suspendidos, hasta que quedan envueltos por el concreto de embutimiento. El espaciamiento entre los bloques será de 650 mm.

Se hará el ajuste final de alineamiento, nivelación, trocha y limpieza para el vaciado de concreto que envolverá al sistema consolidando el conjunto en

definitivo. Será utilizando concreto  $f'c = 25$  MPa. Para el vaciado de concreto deberá ser utilizada una bomba con lanza. El concreto deberá ser vibrado, de manera que penetre por debajo de los bloques. Será hecha una protección para que las sujeciones y los rieles no queden deteriorados por el concreto durante el vaciado. El curado de este concreto deberá ser hecho con sacos mojados, evitándose así las grietas de retracción debido al calor de hidratación.

La retirada de los ángulos (piernas de los soportes provisionales de los rieles), será hecha con uso de oxicorte. Deberán estar en un hoyo, para que el corte sea por debajo del nivel superior del concreto. Después de retirar el soporte la reparación será hecha con epoxico y/o aditivos, concreto sin retracción de fragua. Concluidos los trabajos se efectuará una verificación topográfica final que certifique el cumplimiento del trazo, y, deben marcarse las progresivas del eje del viaducto en la vía, lo que servirá como ubicación durante la operación del sistema.

#### 5.4 TECNICA CONSTRUCTIVA APLICADA DEL SONNEVILLE

El objetivo del presente documento es describir el proceso constructivo para la estructura ferroviaria en el Tramo L, en la curva 17 de radio 200m y sus transiciones, ubicada entre progresivas 12+267,221 y 12+588,685 en una extensión de 321,464m.

En las curvas ferroviarias con pequeño radio existe una tendencia de desplazamiento de la línea para el sentido externo, sea por efecto de dilatación de los rieles o por la fuerza centrífuga durante el movimiento de los vehículos. Para estas situaciones, el proyecto prevé un sistema constructivo que combata esta tendencia; fijando la vía a través de la utilización del sistema Sonnevile de vía sin balasto, que abajo pasamos a describir. Este sistema ya fue utilizado en Suiza, España, Francia, Dinamarca, Holanda y Brasil, entre otros países.

Para la explicación de la técnica constructiva aplicada del Sonnevile primeramente definiremos algunos conceptos que nos ayudaran a entender la técnica empleada.

➤ **Superestructura ferroviaria de vía permanente:**

Se define como Superestructura Ferroviaria de Vía Permanente al conjunto de elementos que permiten el adecuado tránsito de los trenes por la vía, dentro de los marcos de seguridad y confort. La Superestructura está constituida por la vía de rieles, el Sistema Sonnevile/LVT y todos los elementos menores de fijación que se instalan sobre la infraestructura previamente preparada.

➤ **Rieles:**

Son perfiles de acero laminado que, colocados uno a continuación de otro, en dos líneas paralelas sobre durmientes u otros soportes adecuados, constituyen el camino de rodadura de los vehículos ferroviarios. El riel constituye el elemento fundamental de la estructura de la vía y actúa como calzada, dispositivo de guiado y elemento conductor de la corriente eléctrica. Debe cumplir por lo tanto, los siguientes propósitos:

Resistir directamente las tensiones que recibe del material rodante y transmitir las, a su vez, a los otros elementos que componen la estructura de la vía.

Realizar el guiado de las ruedas en su movimiento.

Servir de conductor de la corriente eléctrica para la señalización y la tracción en las líneas electrificadas.

➤ **Sistema Sonneville / LVT:**

Sistema constructivo de vía sin balasto que combate la tendencia de desplazamiento de la línea para el sentido externo, en curvas de pequeño radio, sea por efecto de dilatación de los rieles o por la fuerza centrífuga durante el movimiento de los vehículos. Este sistema de vía utiliza bloques de concreto embutidos en concreto en sustitución al sistema convencional con balasto y durmientes.

Es formado básicamente por los siguientes componentes:

Soportes de concreto armado para cada riel (bloques de concreto), dimensionados para soportar las cargas estáticas y dinámicas transmitidas por las ruedas de los vehículos ferroviarios.

Almohada elástica a ser aplicada entre el riel y el bloque de concreto.

Galocha de caucho que reviste la mitad inferior de los bloques, impidiendo el contacto directo con el concreto de embutimiento.

Almohada elástica micro celular colocada dentro de la galocha.

Fijaciones con poder de retención vertical y longitudinal.

Concreto de Embutimiento: Después de la correcta colocación de los rieles y bloques, se hará un vaciado envolviendo el sistema de fijación en posición definitiva.

➤ **Fijaciones:**

Son los elementos que hacen posible la continuidad estructural de la vía ajustándose estrictamente a la función dada, engloban bajo esta denominación a los elementos de unión del riel a los durmientes.

Sus principales funciones son:

Fijar los rieles a los bloques de concreto/durmientes.

Asegurar la invariabilidad del ancho de la vía, y,

Facilitar la transferencia a la infraestructura de las acciones estáticas y dinámicas ejercidas por el material rodante sobre la estructura de la vía.

➤ **Soldadura de rieles (aluminotérmica):**

La soldadura aluminotérmica se basa en la propiedad que tiene el aluminio de combinarse rápidamente con el oxígeno de los óxidos metálicos, formando óxido de aluminio (corindón), y liberando el metal. En el caso del óxido férrico, la reacción exotérmica alcanza los 3,000°C, pero requiere de 800 a 1,000°C para iniciarse, prosiguiendo rápidamente hasta la total combustión del aluminio con el oxígeno, que se alcanza al cabo de 15 a 25 segundos.

#### **5.4.1 EQUIPOS A UTILIZARSE**

Los equipos previstos para el lanzamiento de Superestructura de la Vía Ferroviaria son los siguientes:

Colocación de bloques de concreto sobre tablero:

- Grúa 35 T.

Colocación de rieles sobre tablero:

- Grúa 15 T.
- Cambiador de rieles Geismar 1 T.

Fijación de rieles a bloques de concreto:

Grúa 15 T.

Alivio de tensiones:

- Trolley de vía Geismar 5 T.
- Tensor de rieles Geismar
- Rodillos Geismar
- Martillos de bronce o cobre.
- Cortadora de riel.

Soldadura Aluminotérmica:

- Rebarbadora hidráulica Geismar
- Trolley de vía Geismar 5 T
- Esmeriladora de rieles Geismar
- Cortadora de rieles Geismar

#### Concreto de embutimiento

- Camión Mezclador de concreto
- Bomba de concreto
- Vibradores de concreto
- Regla vibratoria
- Paletas
- Lampas

#### Equipos de Control Topográfico:

- Estación Total
- Nivel
- Prismas
- Miras
- Regla combinada de trocha y peralte Tipo RCFF

Los equipos de control topográficos deberán contar con certificados vigentes de calibración.

Las características de los equipos a utilizarse se encuentran detalladas en el documento CTEL-FFE-VTL-VFE-LST-50166 Relación de Equipo Mínimo (Volumen 1, Tomo 8).

### 5.4.2 DESCRIPCION DE LAS ACTIVIDADES

El proceso constructivo de la superestructura ferroviaria con Sistema Sonnevile/LVT es efectuado por el método "TopDown" (de arriba para abajo).

#### 5.4.2.1 Marcación topográfica

Se hará la marcación topográfica del eje de la vía y de la posición de los soportes provisionales para los rieles. Estos soportes estarán en cada una de las filas de rieles a una distancia de 4,5m en las tangentes y a cada 2,60 metros en la curva. Son pequeños pórticos, cuyas partes horizontales tienen aproximadamente 35 cm. En la parte horizontal poseen un sistema de fijación provisional para los rieles con alternativa de ajuste. El correcto nivel de este soporte, tanto como el alineamiento, serán determinados por la topografía. Serán también utilizados, en esta operación, instrumentos de precisión especialmente diseñados para esta sistemática de montaje, como el Gauge Support Fixtures,



Gauge keepers y reglas Geismar. Topografía considera efectivamente de que la losa variará en relación al peso en su posición final, por ello se puede observar la curvatura inicial que presentan las losas.

#### **5.4.2.2 Izamiento y distribución de los rieles en las vías**

Los rieles serán elevados hasta el nivel del tablero con el uso de una grúa y distribuidos longitudinalmente.

#### **5.4.2.3 Izamiento y distribución de los bloques de concreto sonneville/lvt en las vías**

Los bloques de concreto (soportes definitivos de los rieles), también serán elevados del nivel viario urbano hasta el nivel del tablero en parihuelas conteniendo dieciséis unidades cada una y distribuidos conforme al espaciamiento determinado por el proyecto de la superestructura de la vía férrea, que es de 650 mm. Los bloques de concreto serán posicionados dentro de las galochas y fijados provisionalmente con cinta adhesiva hasta el vaciado del concreto de embutimiento. Serán sellados también con cinta adhesiva, para que la mezcla del concreto no penetre entre el bloque y la galocha.

#### **5.4.2.4 Fijación de los soportes provisionales de los rieles**

Inicialmente se fijan cuatro pedazos de varillas de acero con aproximadamente 25cm de longitud cada una y con un diámetro de 0,5 pulgadas. Será utilizada una plantilla para la marcación de los puntos donde la losa será perforada para la fijación de las varillas de acero. La fijación será hecha con la utilización de productos químicos (pegamento para concreto). El paso siguiente es la colocación del soporte.

Se utilizarán cuatro pedazos de ángulos que serán soldados a las varillas de acero (son las piernas del soporte). La parte horizontal del soporte será un pedazo de perfil "U" soldada en los cuatro ángulos. Como se señaló anteriormente, la precisión de la alineación del nivel longitudinal y transversal (inclusive el peralte en las curvas), es dada por la topografía y una regla especial de precisión. De esta forma, en cada soporte queda definida con la precisión del

proyecto la geometría de las filas de los rieles. Los soportes deberán ser instalados según las inclinaciones de los rieles, presentadas en los planos del proyecto, en recta 1/20 y en conformidad a los peraltes en las curvas. Los bloques de concreto tendrán siempre la misma inclinación de los rieles



Fig. 5.6 Fijación de soportes  
Fuente propia

#### 5.4.2.5 Montaje y fijación de los rieles sobre los soportes

La ubicación de los rieles sobre los soportes será hecha con la utilización de dos pórticos. Cada riel será posicionado sobre los soportes manteniendo un espacio de 25mm entre las extremidades, o que será hecho con una plancha de madera. En seguida fijase el riel por su base a lo soporte metálico con pernos, que integran los soportes.

Los detalles del soporte provisional son específicos del proveedor y serán presentados a la supervisión antes del inicio de los servicios para aprobación y liberación de su utilización.



Fig. 5.7 Soporte provisional de rieles  
Fuente propia

#### 5.4.2.6 Soldadura aluminotérmica

Los rieles serán soldados por proceso aluminotérmico cuando ya estén sobre los soportes. La soldadura aluminotérmica será hecha según especificado en el documento CTEL-FFE-GEN-VFE-SPC-50090 - ESPECIFICACIÓN TÉCNICA DE SOLDADURA ALUMINOTERMICA TRAMOS K A G1.

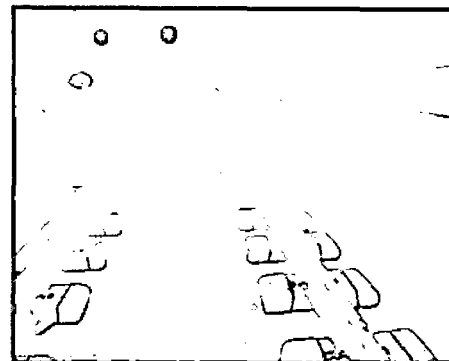
El espaciamiento mínimo entre soldaduras de los 2 rieles de una vía deberá ser de 6 m.

#### 5.4.2.7 Alzamiento de los bloques y fijación en los rieles

Enseguida, los bloques de concreto serán alzados y sujetos a los rieles por el sistema de fijación Pandrol, en esta fase estarán suspendidos, hasta que quedan envueltos por el concreto de embutimiento. El espaciamiento entre los bloques será de 650 mm.



Soldadura Aluminotérmica



Fijación de los bloques a los rieles

Fig. 5.8 Soldadura de rieles y fijación de bloques

Fuente propia

#### 5.4.2.8 Vaciado de concreto para embutimiento de los bloques sonneville/lvt

Se hará el ajuste final de alineamiento, nivelación, trocha y limpieza para el vaciado de concreto que envolverá al sistema consolidando el conjunto en definitivo. Será utilizado concreto  $f'c = 25$  MPa. El cuadro 5.2 muestra el diseño de mezcla para este concreto. Para el vaciado de concreto deberá ser utilizada una bomba con lanza. El concreto deberá ser vibrado, de manera que penetre

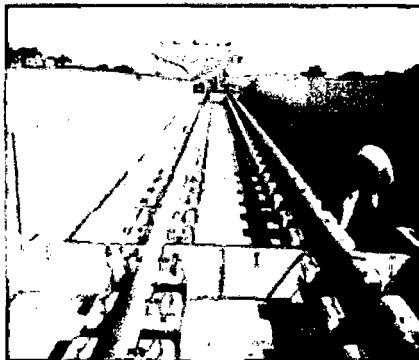
por debajo de los bloques. Será hecha una protección para que las sujeciones y los rieles no queden deteriorados por el concreto durante el vaciado.

El curado de este concreto deberá ser hecho con sacos mojados, evitándose así las grietas de retracción debido al calor de hidratación.

Una cuadrilla hará el acabado final del concreto. Un dispositivo de nivelación de concreto será utilizado desplazándose bajo los rieles.

Los soportes metálicos utilizados inicialmente para dar nivelación y alineamiento a los rieles podrán ser retirados 12 horas después del vaciado de concreto, por ser concreto estructural.

La retirada de los ángulos (piernas de los soportes provisionales de los rieles), será hecha con uso de oxicorte. Deberán estar en un hoyo, para que el corte sea por debajo del nivel superior del concreto. Después de retirar el soporte la reparación será hecha con epoxico y/o aditivos, concreto sin retracción de fragua.



Preparación para vaciado



Vaciado del concreto



Vaciado de concreto ejecutado

Fig. 5.9 Encofrado y vaciado de concreto

Fuente propia

PROPUESTA DE DISEÑO				
Proyecto: Tren Eléctrico Cliente: Consorcio Tren Eléctrico Características del Diseño: Año Desempeño, $f_c = 250 \text{ kg/cm}^2$ , slump 8", Huso 67 Fecha: 10/01/2011				
Insumos				
Materiales	Origen del material	Peso Especifico ( $\text{kg/m}^3$ )	Peso en $\text{kg/m}^3$ (Peso del agregado en condición seca - ACI 211.1R)	Volumen Absoluto ( $\text{m}^3$ )
Cemento Tipo I	Cementos Lima	3120	340.00	0.10897
Microfibr	Cementos Lima	2730	100.00	0.03663
Agua	Red Pública	1000	185.00	0.18500
Agregado Fino	Cantera Jicamarca	2680	872.00	0.36304
Piedra huso # 67	Cantera Jicamarca	2720	775.00	0.28525
Aditivo Polyheed 770R	BAFS	1120	2.094	0.00187
Aditivo Rheobuild 1000	BAFS	1210	3.908	0.00323
Aire (%)			1.50%	0.01500
			<b>2.437</b>	<b>1.0000</b>
Especificaciones técnicas				
$f'c$			250.00	$\text{kg/cm}^2$
Dosaje de Aditivo Polyheed 770R			5.5	cc por 100kg de cemento
Dosaje de Aditivo Rheobuild 1000			9.5	cc por 100kg de cemento
% de absorción del agregado fino			1.30	%
% de absorción de la piedra Huso # 67			0.70	%

Cuadro 5.2 Diseño de concreto  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$   
Fuente Expediente Técnico Final AATE

#### 5.4.2.9 Alivio de tensiones de los rieles largos soldados

En la construcción de nuevas ferrovías es inevitable el surgimiento de tensiones en los rieles colocados durante el proceso constructivo. Esto sucede por la dilatación resultante de la variación de temperatura durante la jornada de trabajo y por la alteración de su posición dada en el proceso de alineamiento y nivelación. Es importante la liberación de estas tensiones, de modo que los rieles largos soldados sean fijados a los durmientes con un rango de temperatura neutra con tensión controlada, de tracción o compresión.

La temperatura neutra de la región será establecida por AATE en base a sus mediciones estadísticas. La fijación se soltará y se colocarán rodillos debajo de los rieles. Con un martillo de bronce se golpeará en los rieles para la distribución y alivio de tensiones. Serán entonces fijados nuevamente, esta vez dentro del rango de temperatura neutra. Luego se ejecutará la soldadura de cerramiento por proceso aluminotérmico, haciendo la vía continua.

El alivio de tensiones en la soldadura final pos alivio solamente será ejecutada con la vía montada y con el embutimiento de concreto ejecutado y curado.

#### **5.4.2.10 Verificación final**

Concluidos los trabajos se efectuará una verificación topográfica final que certifique el cumplimiento del trazo, y, deben marcarse las progresivas del eje del viaducto en la vía, lo que servirá como ubicación durante la operación del sistema.

#### **5.4.3 COMPARACION SISTEMA LVT - BALASTO**

Ahora nos enfocaremos a las ventajas de este sistema sobre el uso convencional del balasto y los durmientes, para viaductos de grandes luces hechos con viga cajón, que necesitan la menor cantidad de peso posible.

##### **5.4.3.1 Elementos de Proyecto**

Ancho de vía = 1,435m;

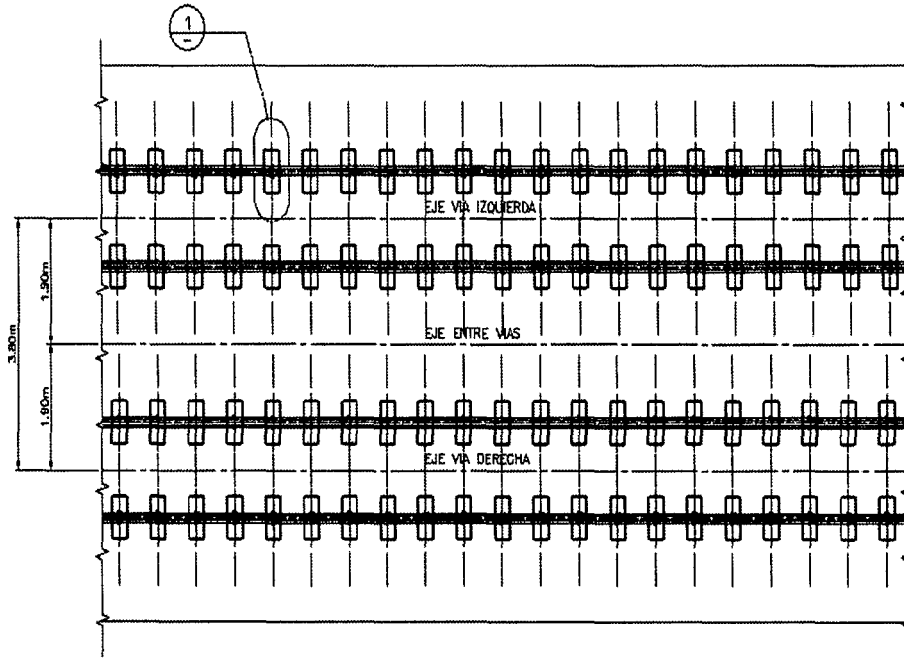
Rieles 115 RE (57 kg/m) inclinación 1:20 en recta; Peralte de la curva 17:  
S=100mm;

Peralte en curvas de transición: S=variable de 0 a 100mm;

Espaciamiento máximo de bloques de apoyo: 650mm;

Concreto de embutimiento alrededor de los bloques:  $f'c= 35$  MPa;

Espesor de concreto de embutimiento de los Bloques de Apoyo del Riel:  
variable.



PLANTA TIPICA DE LOS BLOQUES  
 esc. 1:50

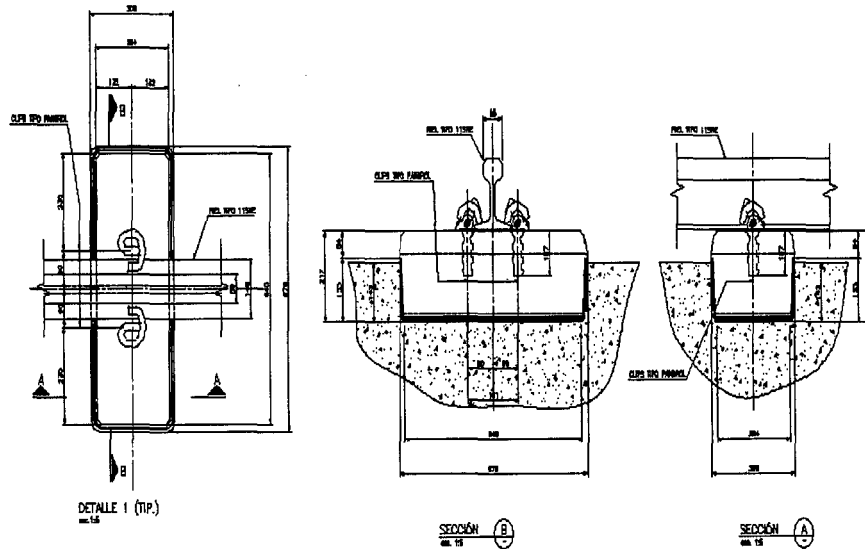
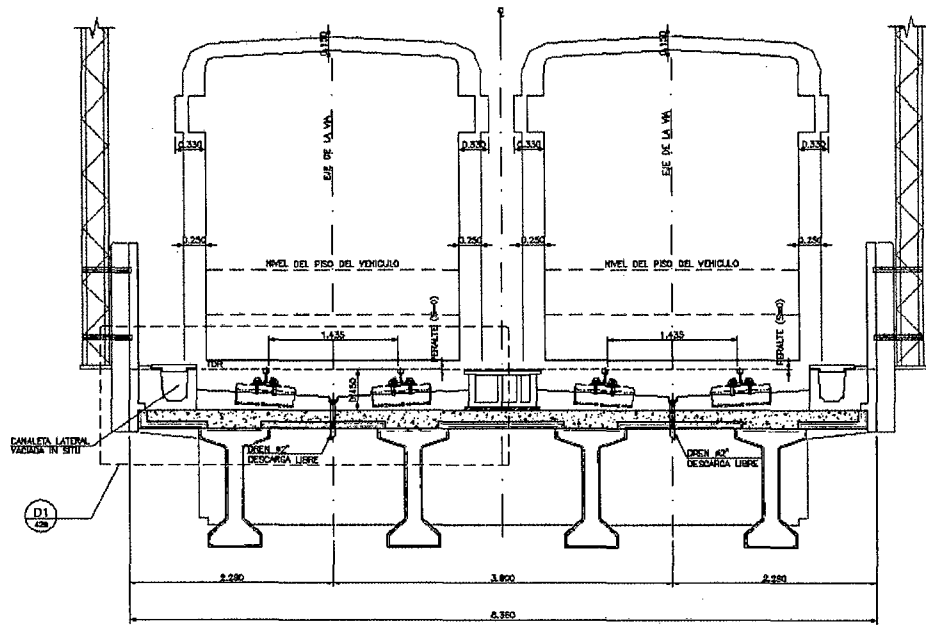
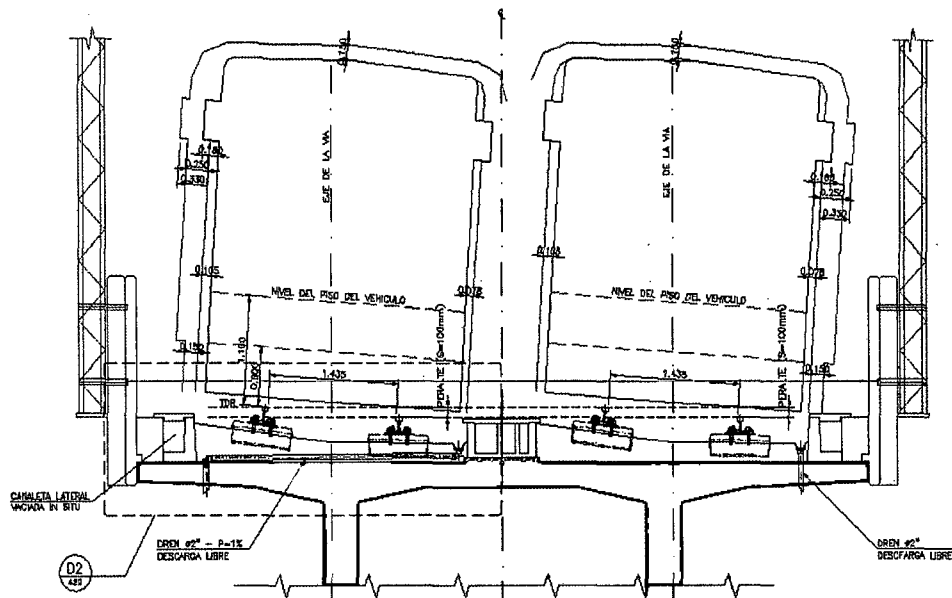


Fig. 5.10 Vista de planta y corte de vía y bloque  
 Fuente Expediente Técnico Final AATE

5.4.3.2 Secciones típicas



SECCION C-C ESC. 1/25  
 TABLERO EN RECTA



SECCION B-B ESC. 1/25  
 TABLERO EN CURVA CIRCULAR

Fig. 5.11 Secciones típicas del tren  
 Fuente Expediente Técnico Final AATE



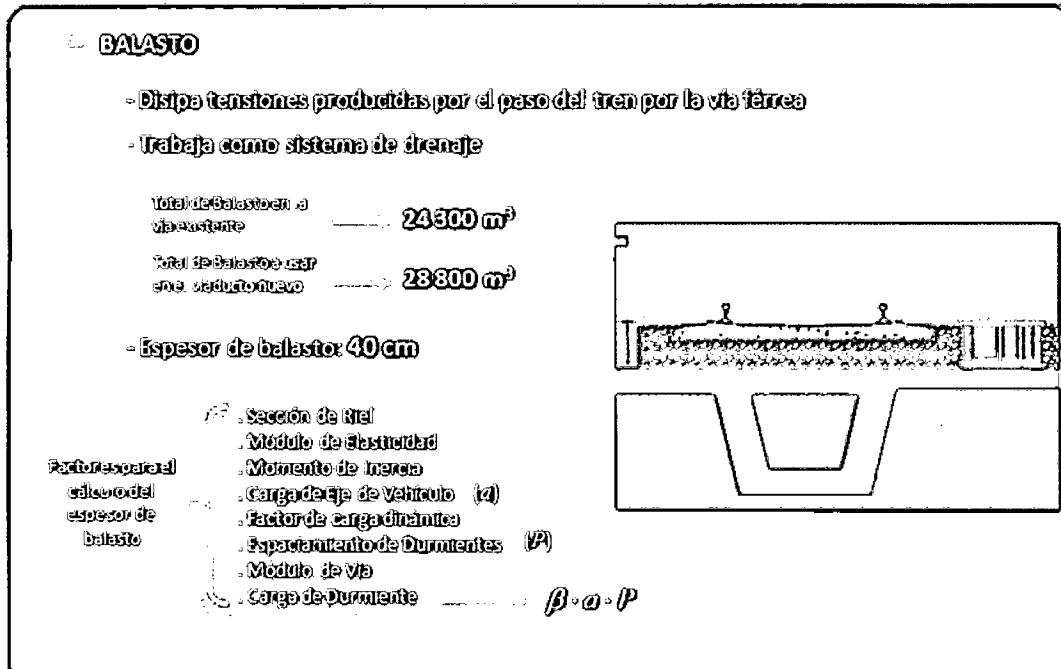


Fig. 5.12 Datos de Balasto  
Fuente Expediente Técnico Final AATE

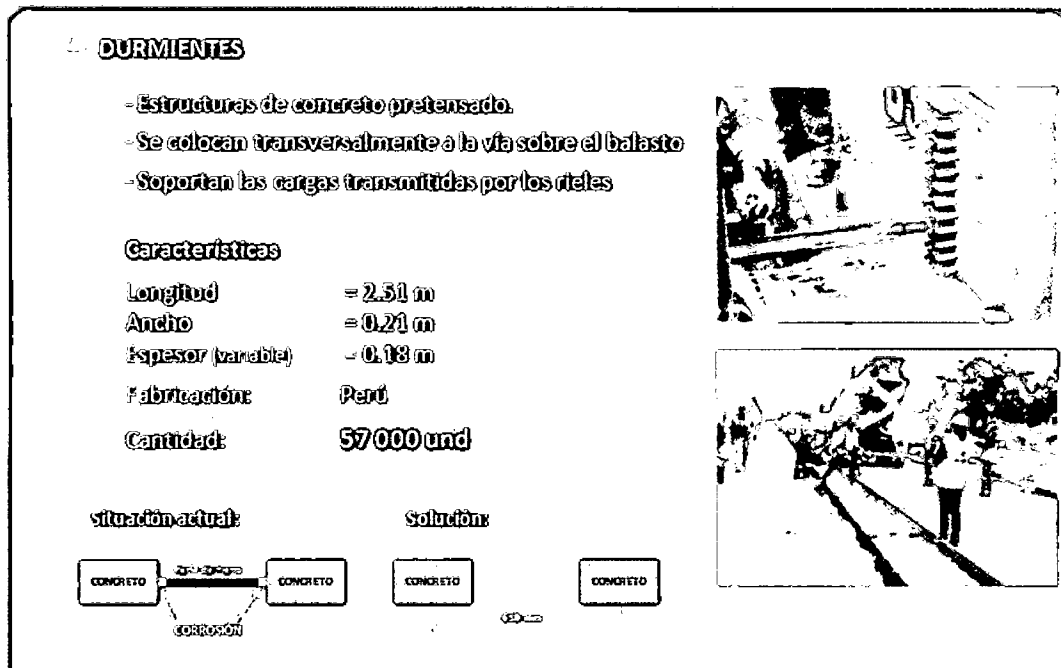


Fig. 5.13 Descripción de Durmientes  
Fuente Expediente Técnico Final AATE

Actualmente se usan Shoulder para anclar los rieles sobre los durmientes, es una innovación tecnológica con respecto al clavo o perno antiguamente usado, colocados a punta de comba.

A su vez los durmientes fueron cambiados de madera a concreto prefabricado con mayores propiedades que los comúnmente conocidos.

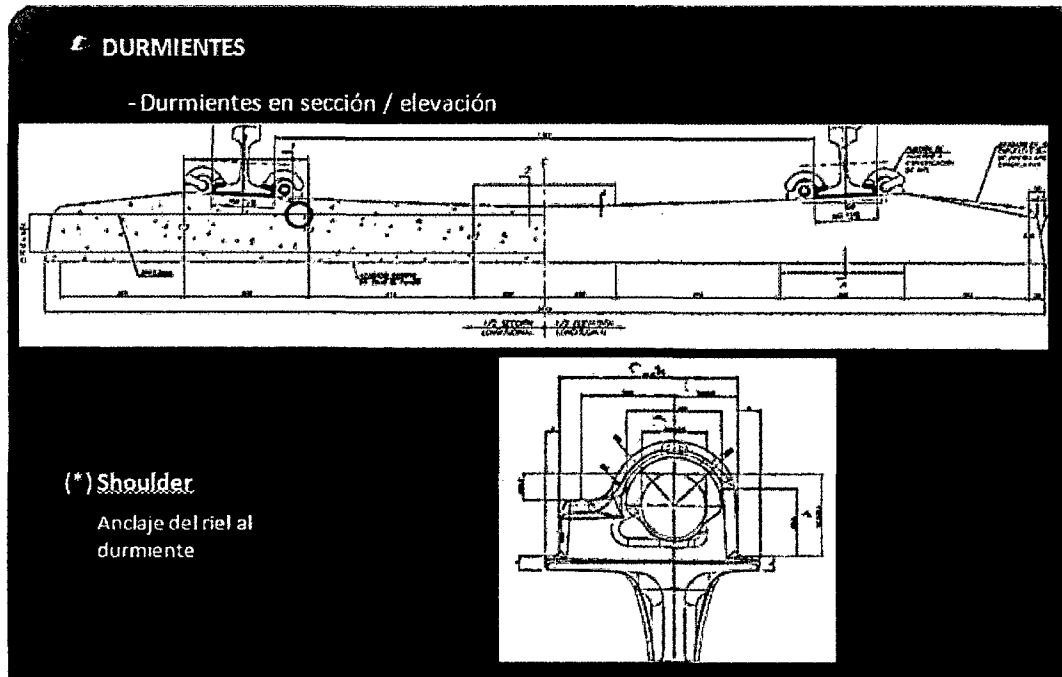


Fig. 5.14 Sección de Durmientes  
Fuente Expediente Técnico Final AATE

#### 5.4.3.3 Planteamiento del problema:

Dentro del trazo de una vía férrea de un viaducto elevado, hay tramos en los que es necesario poner una losa de concreto en vez de la capa común de balastro, es por ello que es necesario utilizar este sistema LVT-SONNEVILLE para poder seguir con el trazo previsto.

Siempre fue un problema colocar rieles directamente sobre una losa de concreto, por lo cual se desarrolló el sistema Sonnevillle para poder darle funcionalidad y suficiente amortiguamiento disipador para el tránsito de trenes.

El sistema Sonnevillle – LVT (Low Vibration Track), es un sistema de fijación de rieles a una vía que en vez de estar conformada por balastro, esta sobre una placa de concreto rígido.

El problema que se tuvo fue un viaducto de gran luz, como el cruce del Ovalo Cabitos, la cual tendría que ser soportada por varios pilares, y usarse el sistema común de vigas pretensadas para la colocación de las losas y posteriormente los rieles. Como es el caso del tramo del tren eléctrico en el Ovalo de Cabitos donde se colocó una viga cajón de aproximadamente 45 metros en curva, sobre la cual había que aminorar las vibraciones producidas por las cargas dinámicas del paso de los trenes.

Además de disminuir el peso que produce la colocación del balastro el cual tiene aproximadamente un peso específico de 2800kg/m<sup>3</sup>, colocados en capas de 40cm de espesor y una longitud de casi 15m de plataforma.

#### 5.4.3.4 Ventajas del Sistema LVT:

- Protección eficaz contra las vibraciones LVT reduce las vibraciones en todos los niveles de frecuencia gracias a la elasticidad, en dos etapas, del sistema.
- Alta flexibilidad

El diseño de los componentes específico para cada proyecto y la posibilidad de utilizar diferentes sistemas de fijación del carril, satisfacen los requisitos más exigentes de los diversos proyectos ferroviarios. Costos de construcción reducidos, el diseño del sistema LVT permite la no utilización de armaduras en el hormigón de relleno.

- Alta precisión de la vía férrea

El procedimiento de instalación «Top-Down» y el profundo empotramiento de los bloques en la base del hormigón de relleno consiguen una geometría de la vía muy precisa, con valores del ancho de vía de  $\pm 0.5$  mm.

Poco mantenimiento y fácil acceso a todos los componentes LVT prácticamente no necesita de mantenimiento. Todos los componentes son de fácil acceso y pueden ser sustituidos rápidamente en el caso de un descarrilamiento o para correcciones en alineación en alzado de la vía.

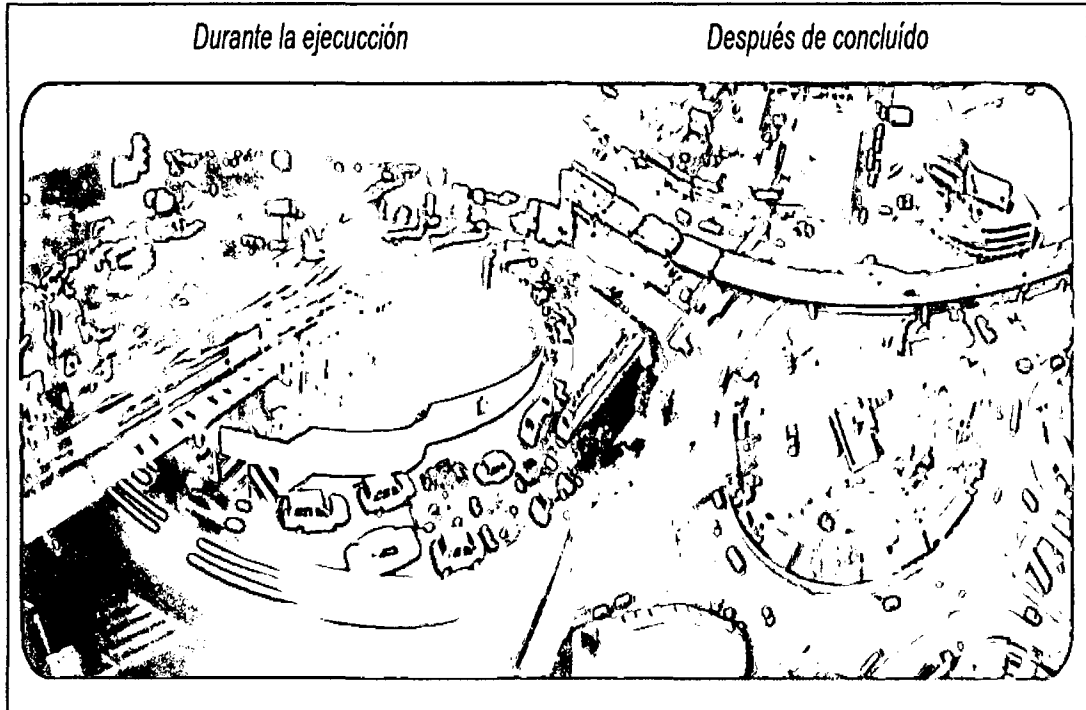
➤ Sin conductibilidad eléctrica

Entre los bloques no existe ninguna conexión directa. Buena aerodinámica y fácil acceso a los carriles el centro de la vía no tiene obstáculos, lo que mejora la aerodinámica y facilita la accesibilidad durante los trabajos de mantenimiento, así como la entrada de equipos de socorro y evacuación de pasajeros, en caso necesario.

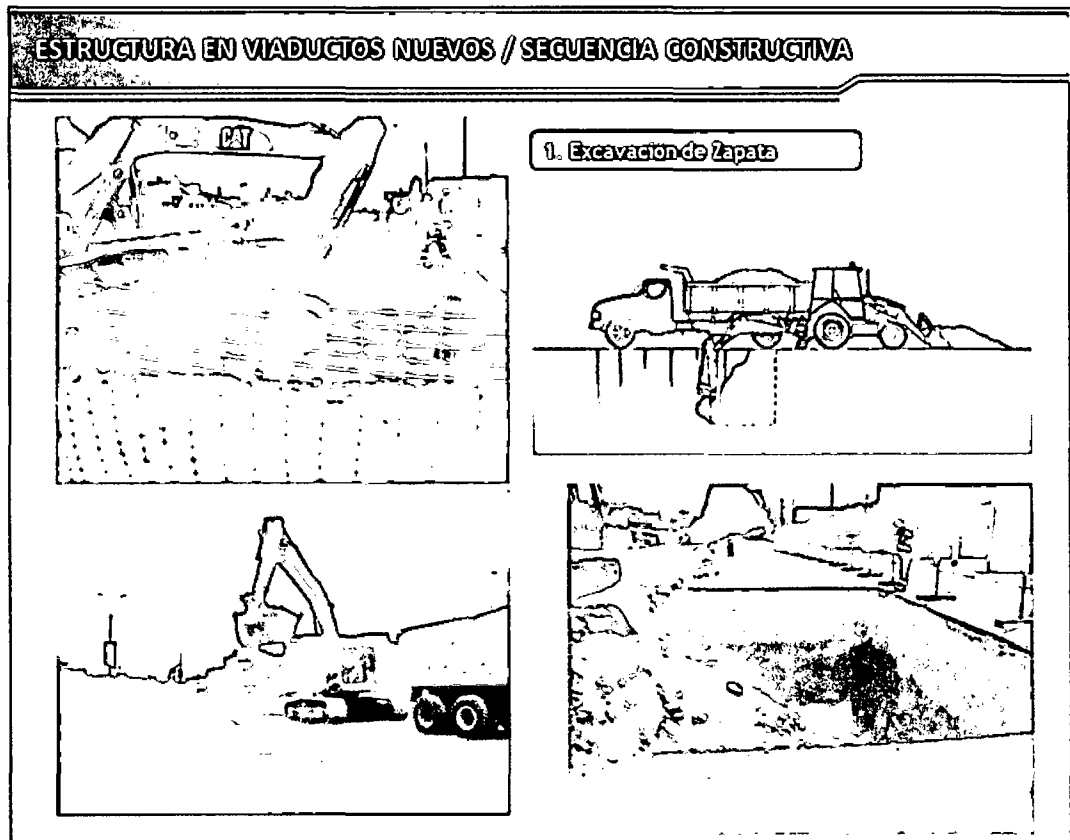
➤ Disposición flexible del drenaje

Dependiendo de las condiciones locales, el drenaje de la vía puede realizarse, no sólo lateralmente, sino también por el centro (eje de la vía). Posibilidad de tránsito de trenes de trabajo el sistema permite que, durante la fase de construcción, sea posible trabajar en diferentes obras, lográndose un rápido progreso de los trabajos.

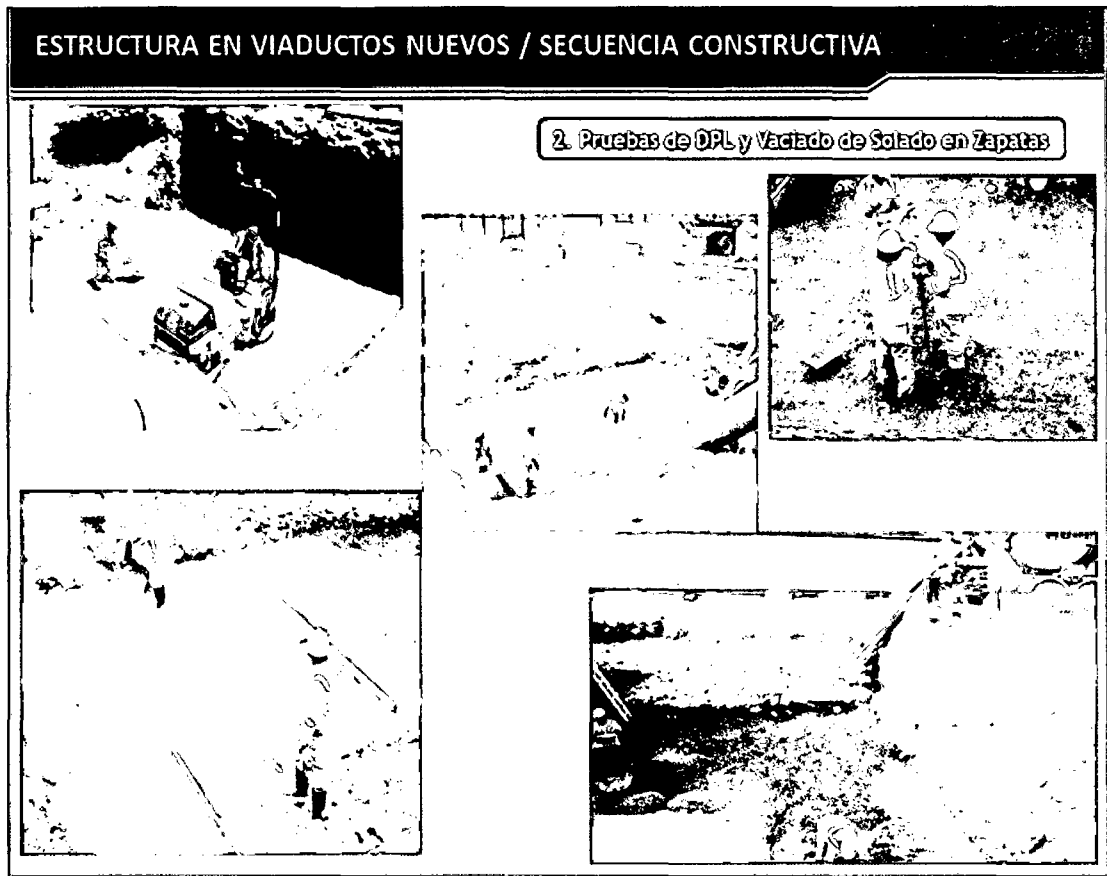
### 5.5. SECUENCIA CONSTRUCTIVA FOTOGRAFICA DEL TRAMO CURVO



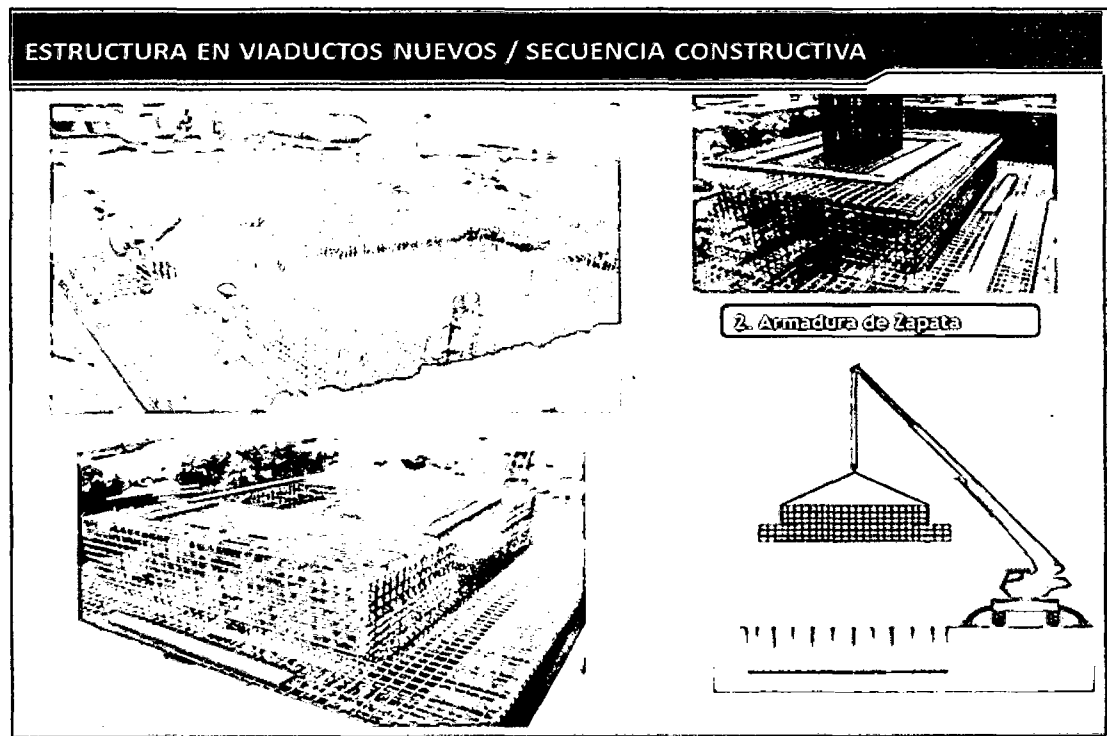
### EXCAVACIÓN PARA LA ZAPATA



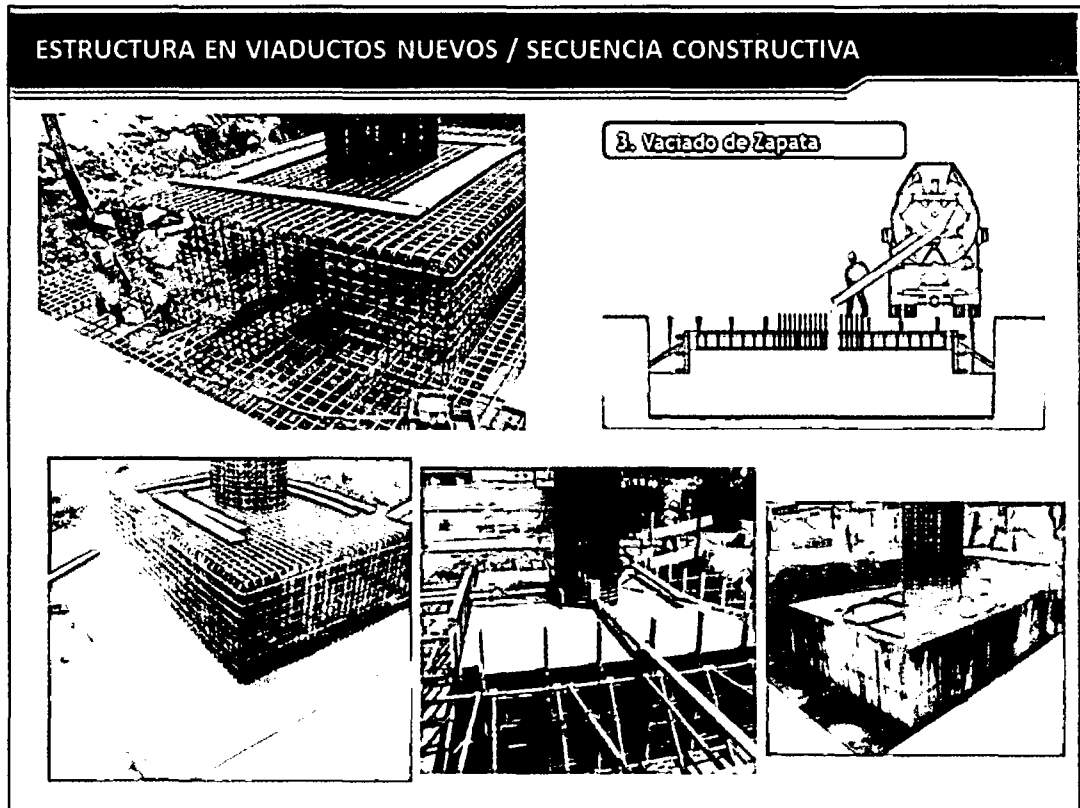
## VACIADO DE SOLADO



## COLOCACIÓN DE LA ARMADURA PARA LA ZAPATA Y COLUMNA



## VACIADO DE CONCRETO EN ZAPATA



## EJECUCION DE COLUMNA



## DESENCOFRADO Y CURADO PARA COLUMNA

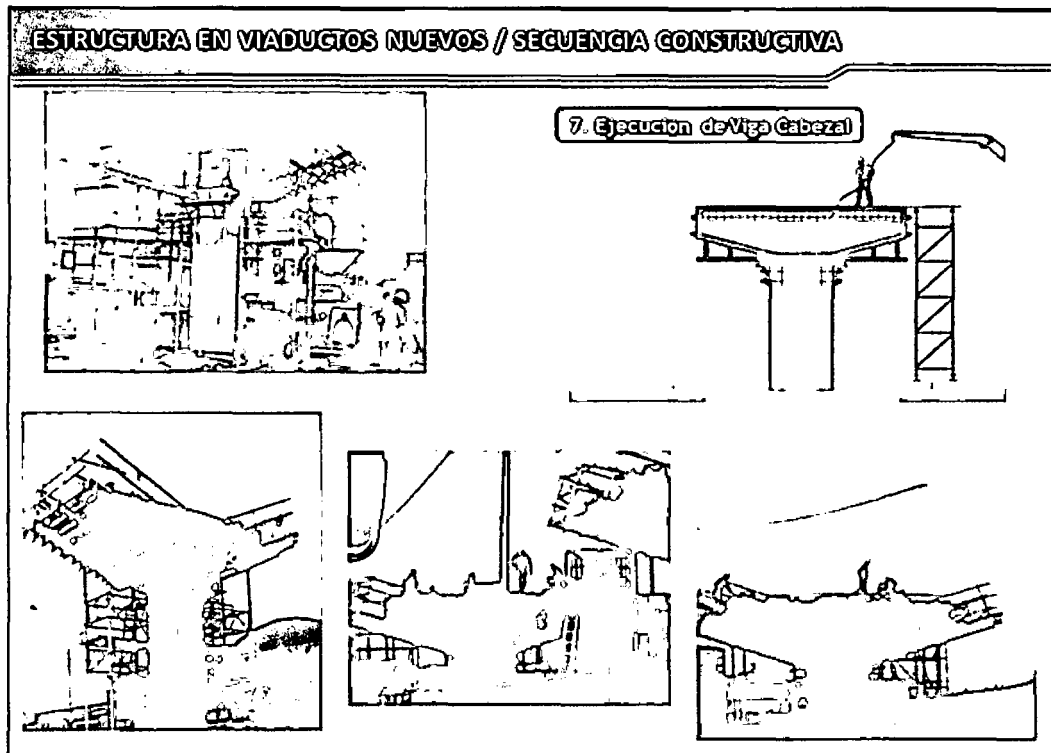


## RELLENO DE ZAPATAS

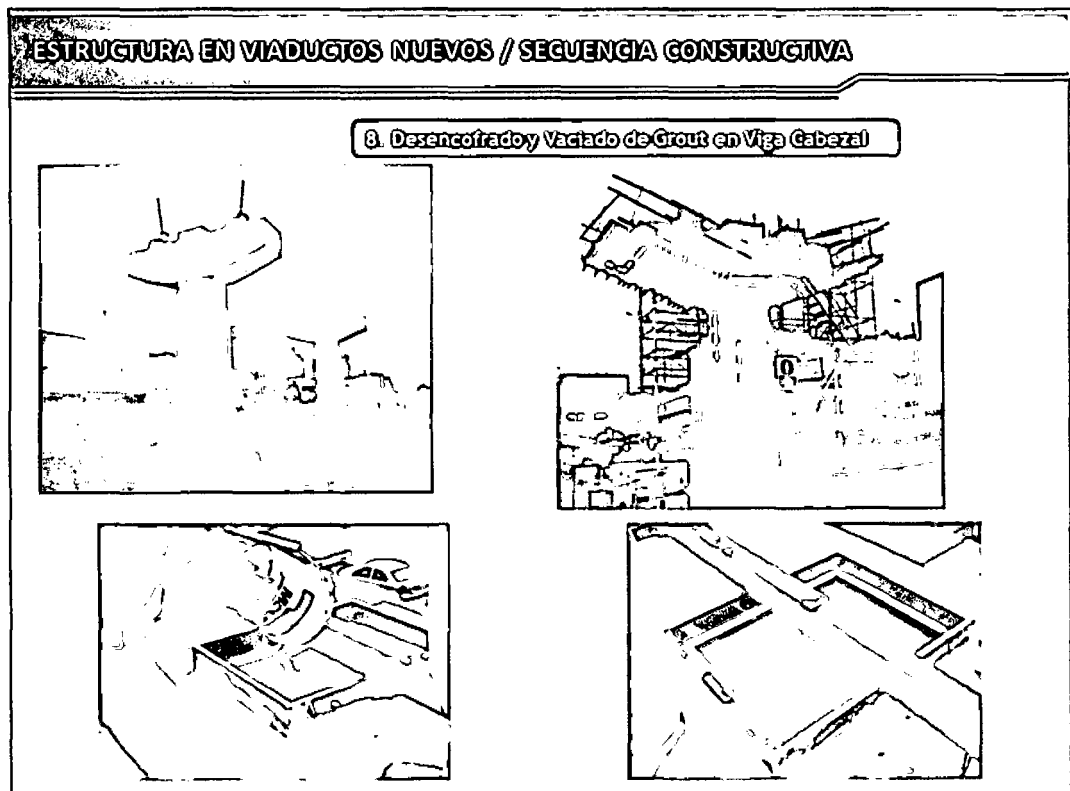




## EJECUCION DE VIGA CABEZAL



## DESENCOFRADO Y VACIADO DE GROUT EN VIGA CABEZAL



## TENSADO DE VIGAS DIAFRAGMA EN EXREMOS DE LA VIGA CAJON



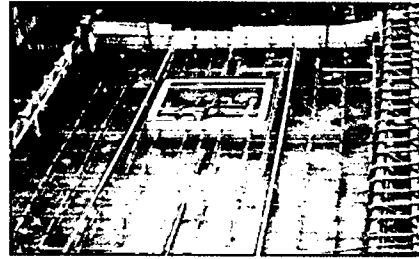
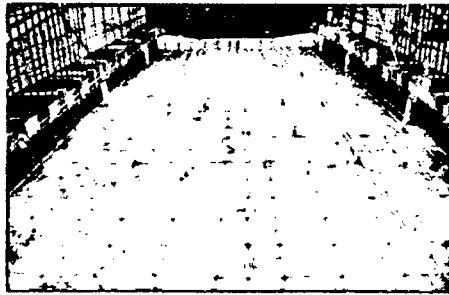
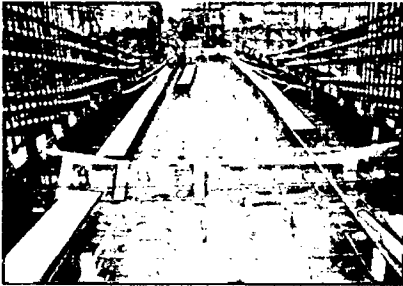
## ARMADO DE PLATAFORMA DE ENCOFRADO PARA FONDO DE VIGA CAJON



## ACERO Y ENCOFRADO DE LOSA DE PISO EN VIGA CAJON

### ESTRUCTURA EN VIADUCTOS NUEVOS / SECUENCIA CONSTRUCTIVA

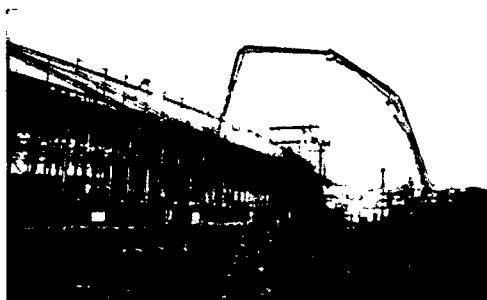
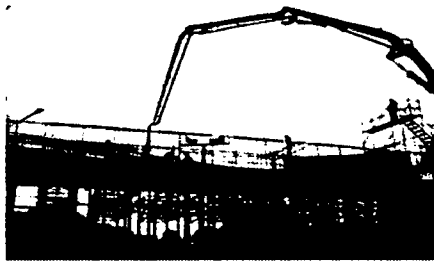
11. Acero y encofrado de losa de piso y paredes de Viga Cajon



## VACIADO DE LOSA DE PISO EN VIGAS CAJON

### ESTRUCTURA EN VIADUCTOS NUEVOS / SECUENCIA CONSTRUCTIVA

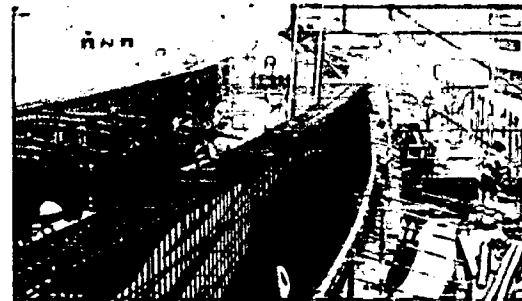
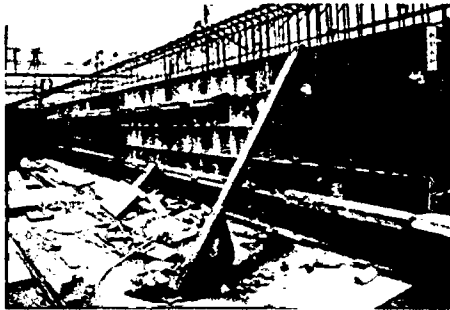
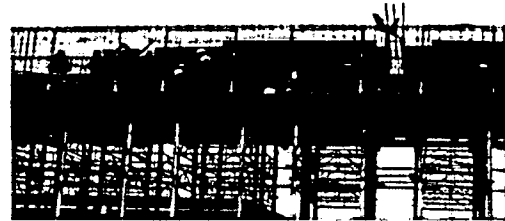
12. Vaciado de Losa de Piso en Viga Cajon



## ENCOFRADO DE PAREDES DE VIGA CAJON

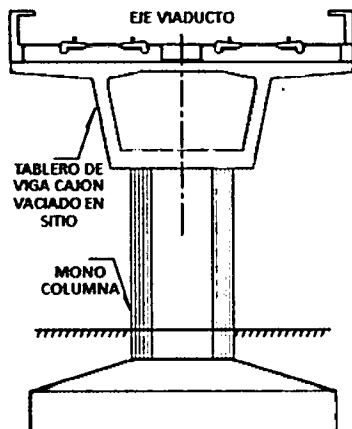
### ESTRUCTURA EN VIADUCTOS NUEVOS / SECUENCIA CONSTRUCTIVA

#### 13. Encofrado de Paredes de Viga Cajon



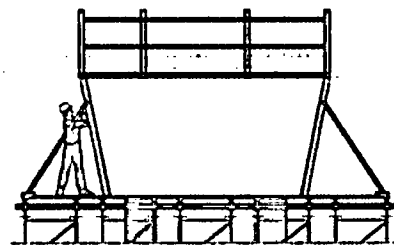
## ENCOFRADO DE PAREDES Y LOSA SUPERIOR DE VIGA CAJON

### ESTRUCTURA EN VIADUCTOS NUEVOS / SECUENCIA CONSTRUCTIVA



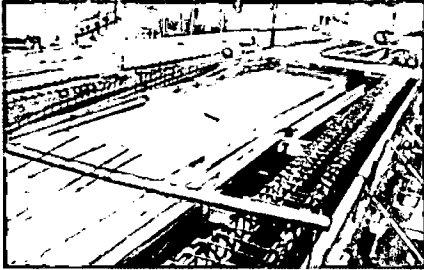
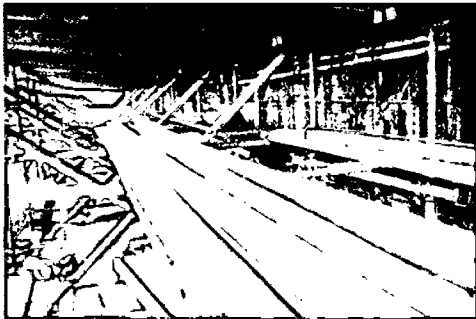
TRAMOS NUEVOS CON MONOCOLUMNAS Y  
TABLERO DE VIGAS POST TENSADA Y  
VACIADA EN SITO

#### 14. Apuntalamiento Metálico

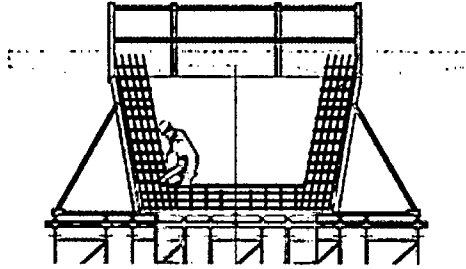
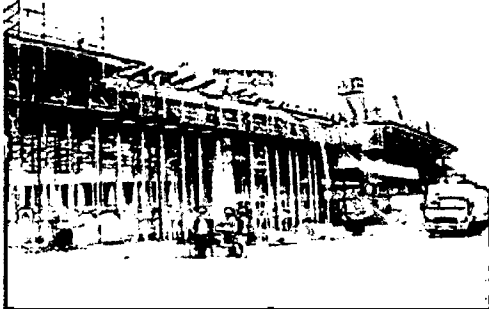


## ENCOFRADO DE LOSA SUPERIOR

**ESTRUCTURA EN VIADUCTOS NUEVOS / SECUENCIA CONSTRUCTIVA**

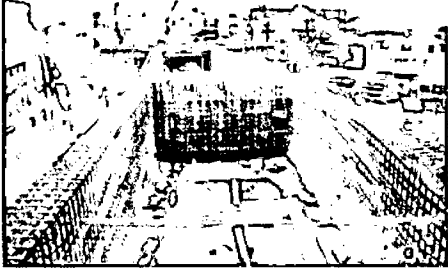


**15. Montaje de Armadura**

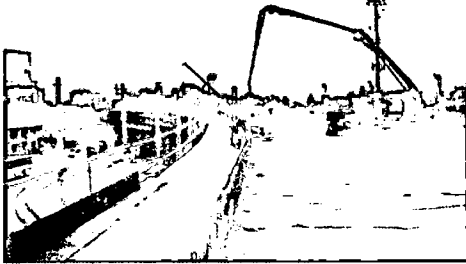


## ACERO Y VACIADO DE LOSA SUPERIOR DE VIGA CAJON

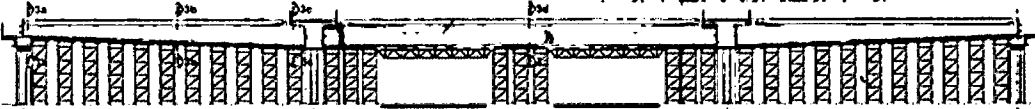
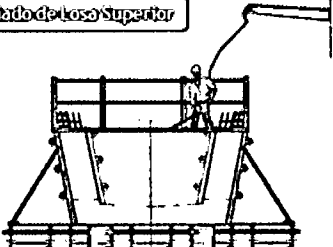
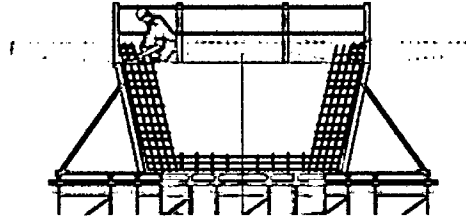
**ESTRUCTURA EN VIADUCTOS NUEVOS / SECUENCIA CONSTRUCTIVA**



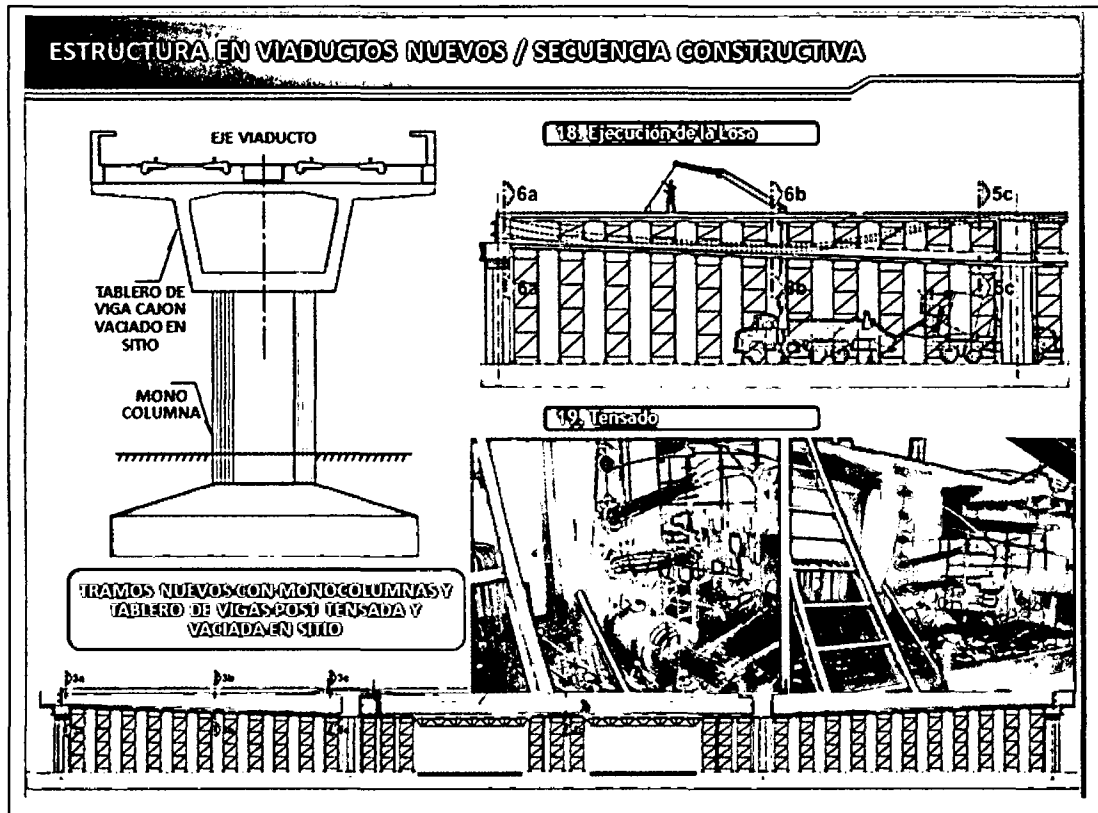
**16. Colocación de Ductos y Anclajes Terminales**



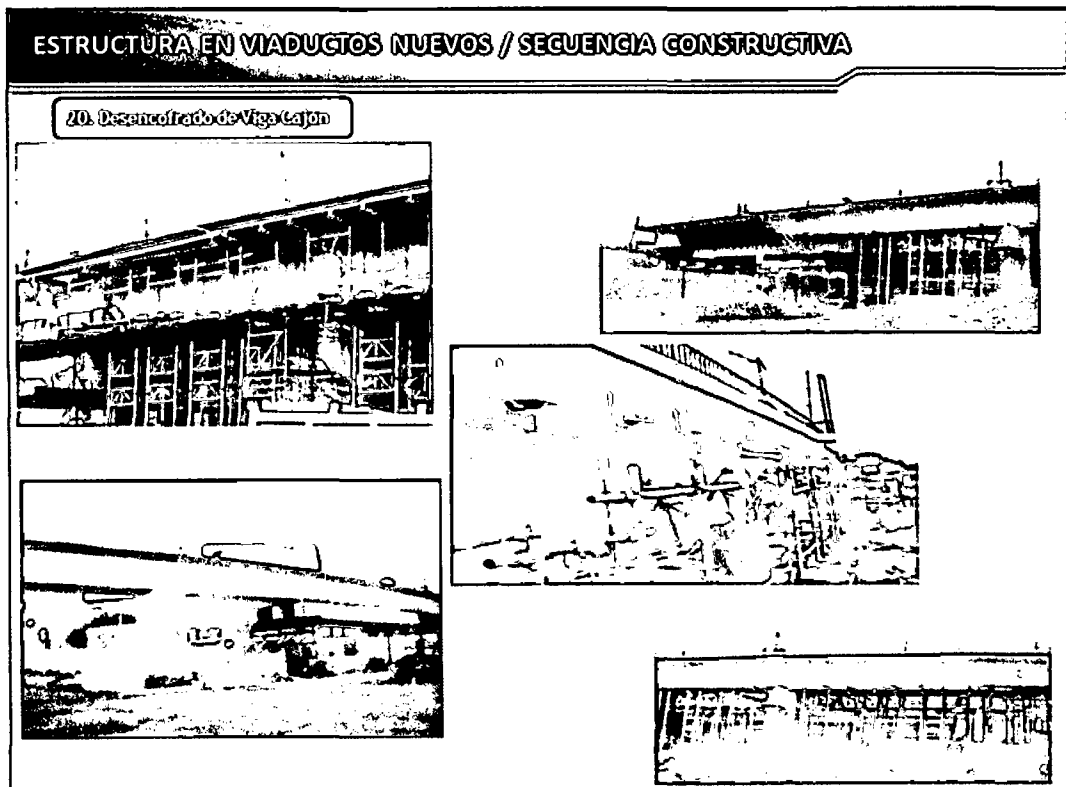
**17. Vaciado de Losa Superior**



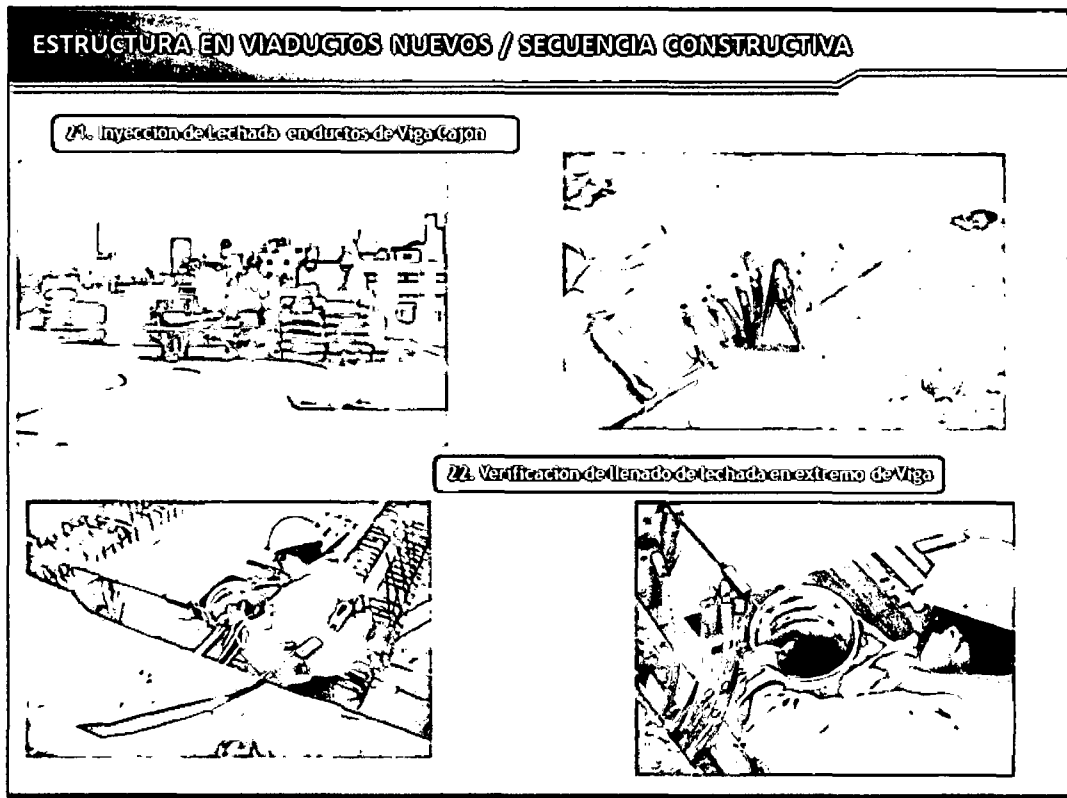
## CURADO Y TENSADO DE LA VIGA CAJON



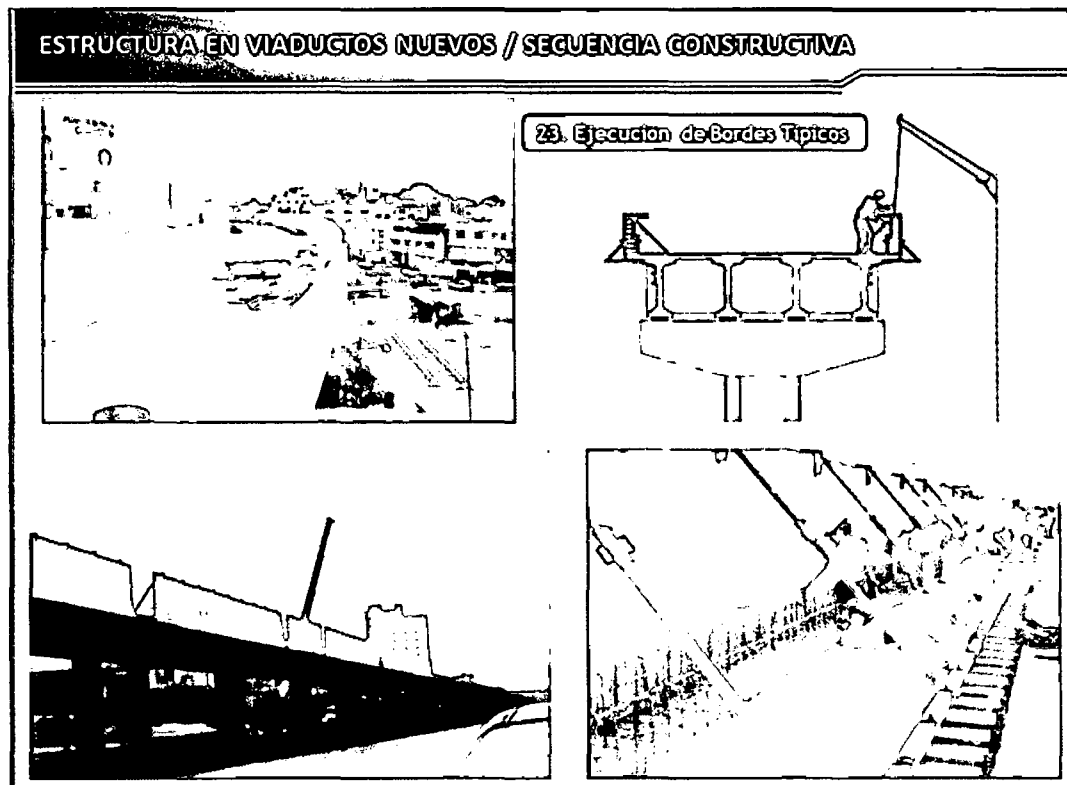
## DESENCOFRADO DE LA VIGA CAJON



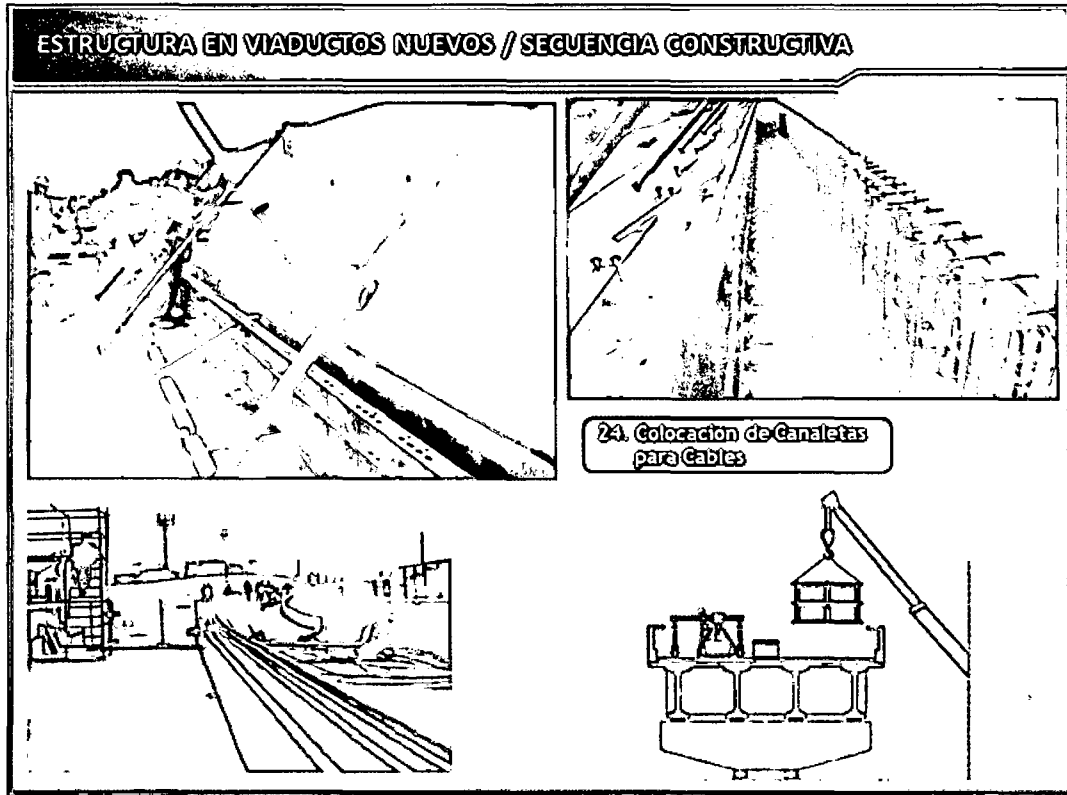
## INYECCION DE LECHADA EN DUCTOS DE POS TENSADO



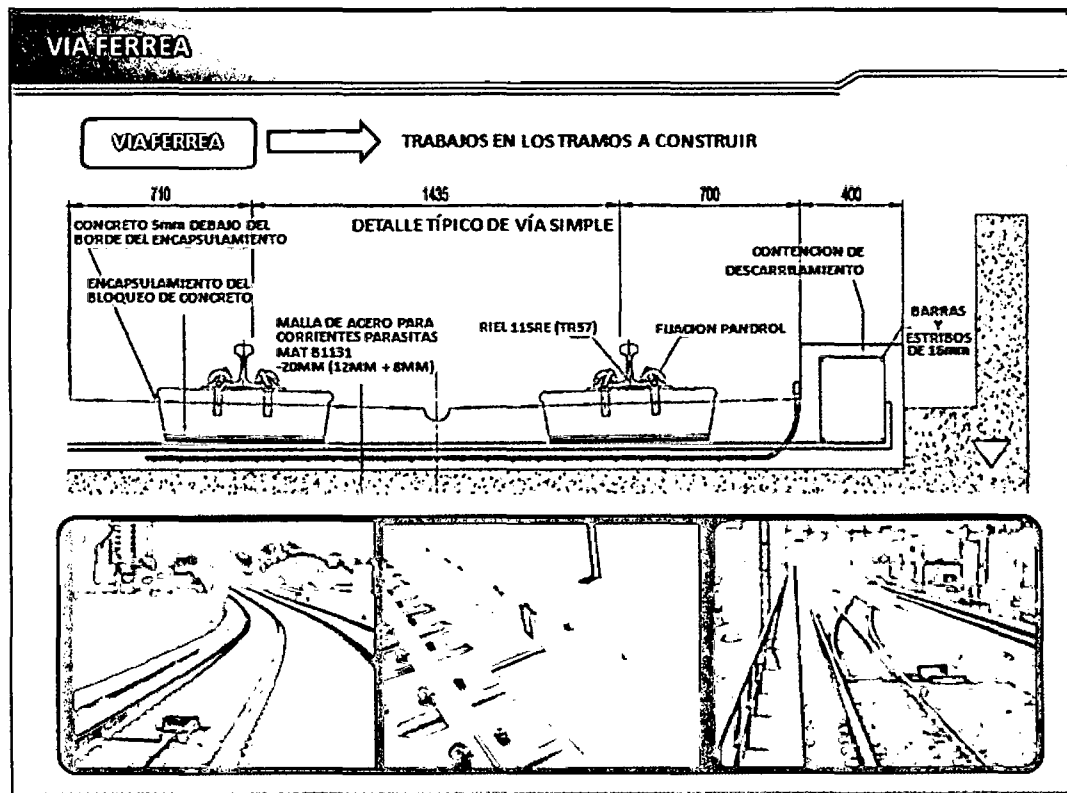
## COLOCACION E INSTALACION DE BORDES TIPICOS



## EJECUCION DE CANALETAS CENTRALES Y LATERALES

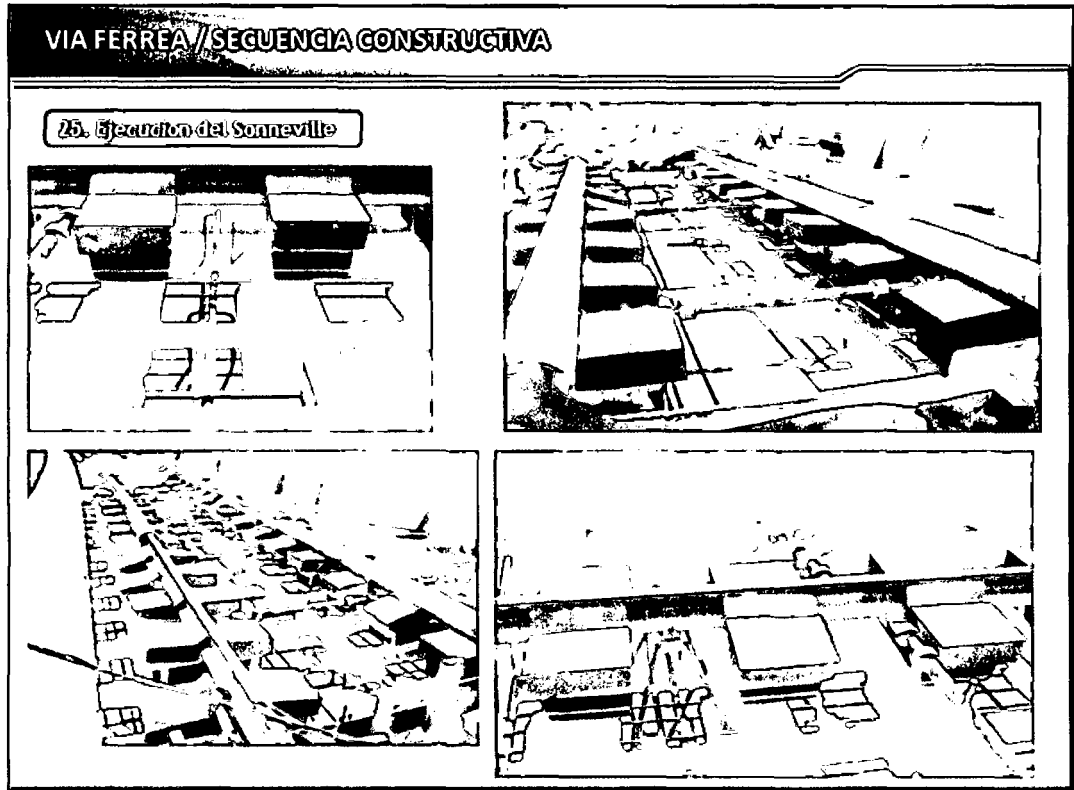


## EJECUCION DE LA VIA FERREA

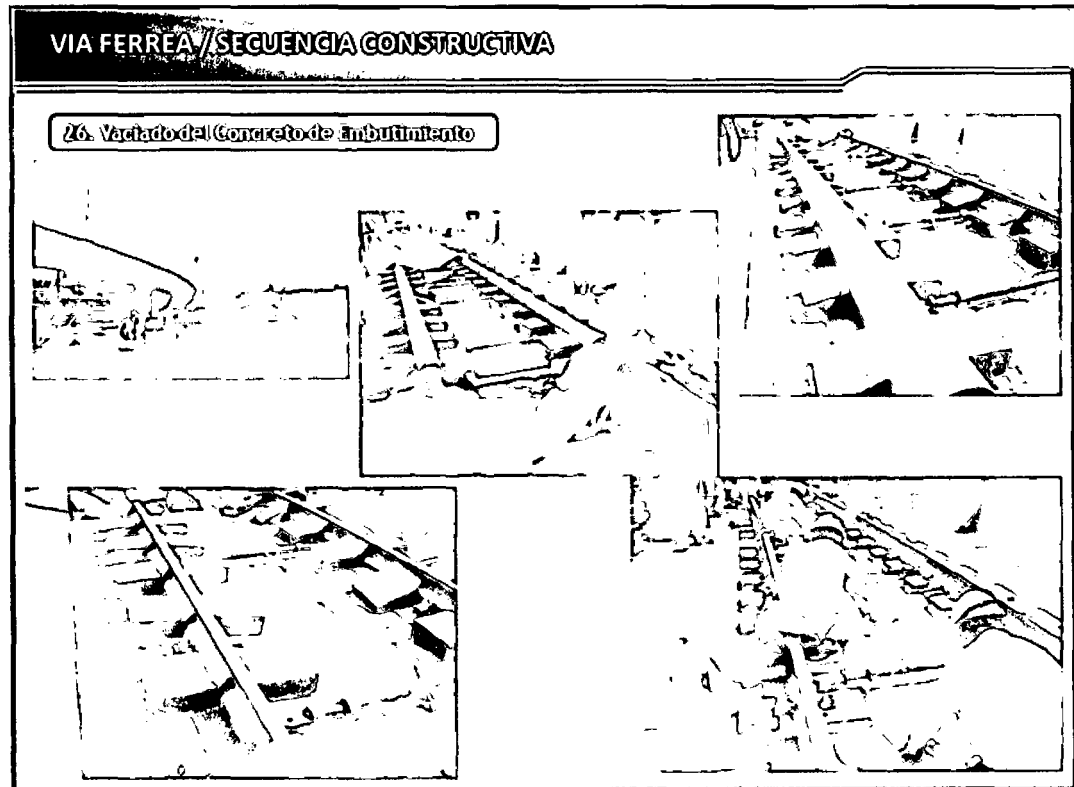




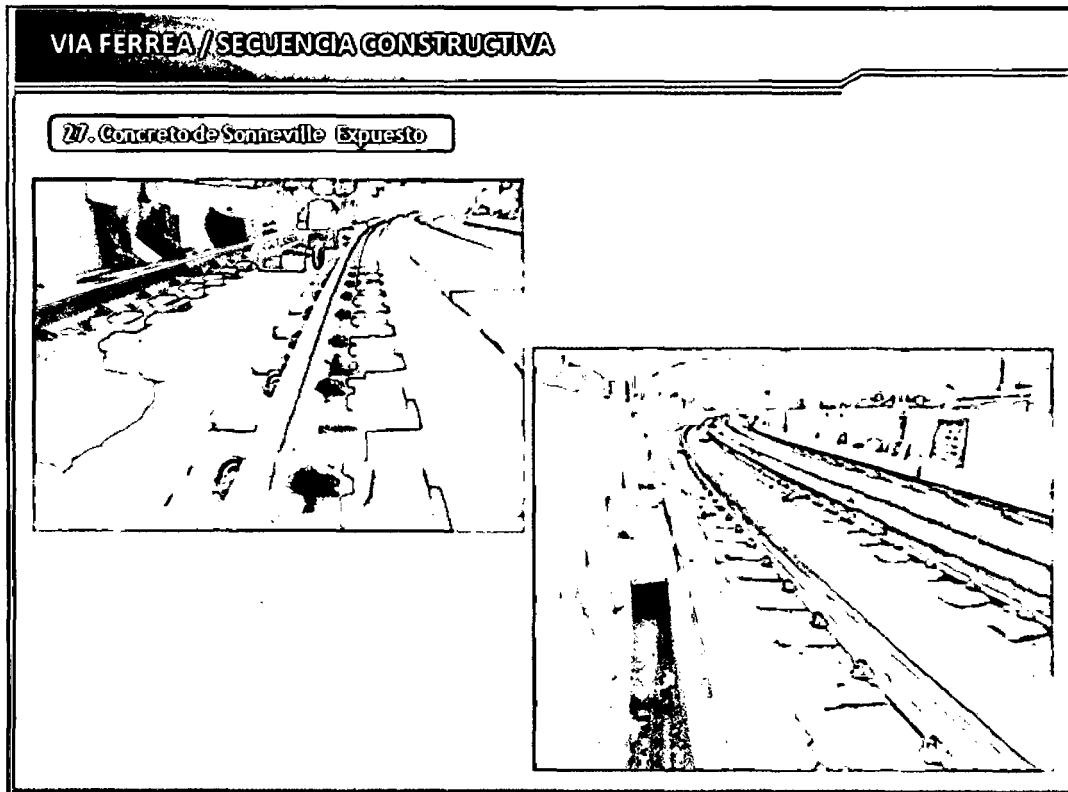
## EJECUCION DE LA VIA SONNEVILLE



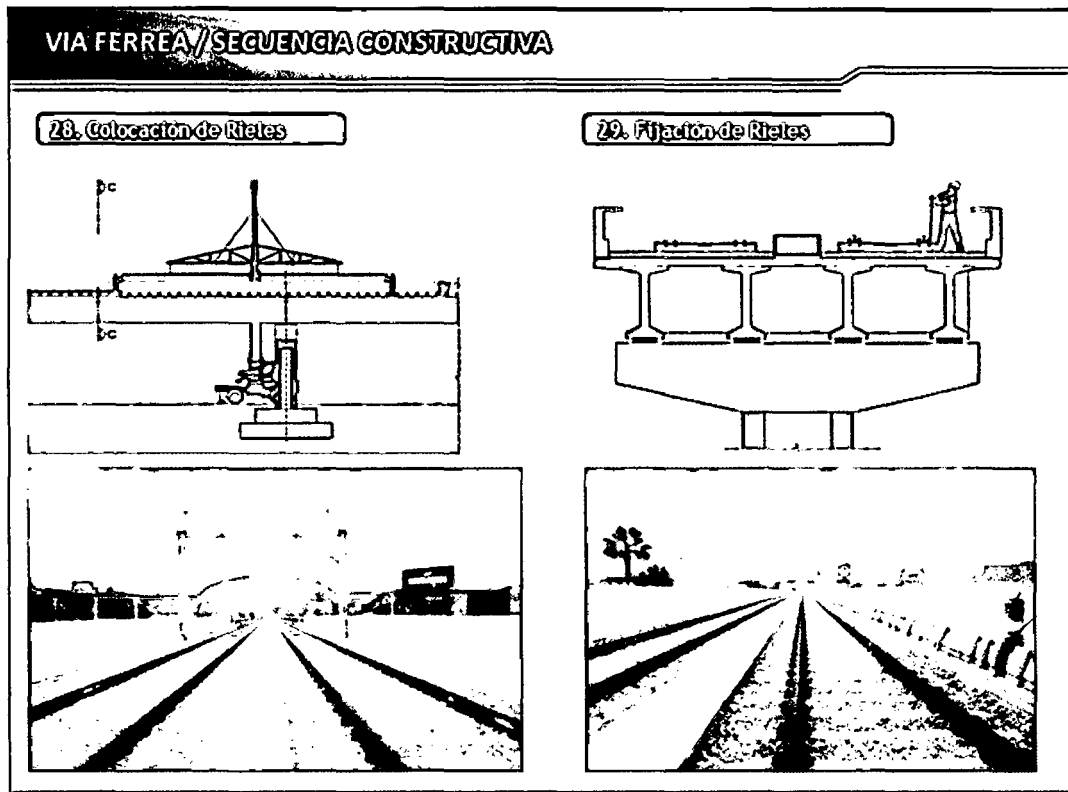
## VACIADO DEL CONCRETO DE EMBUTIMIENTO



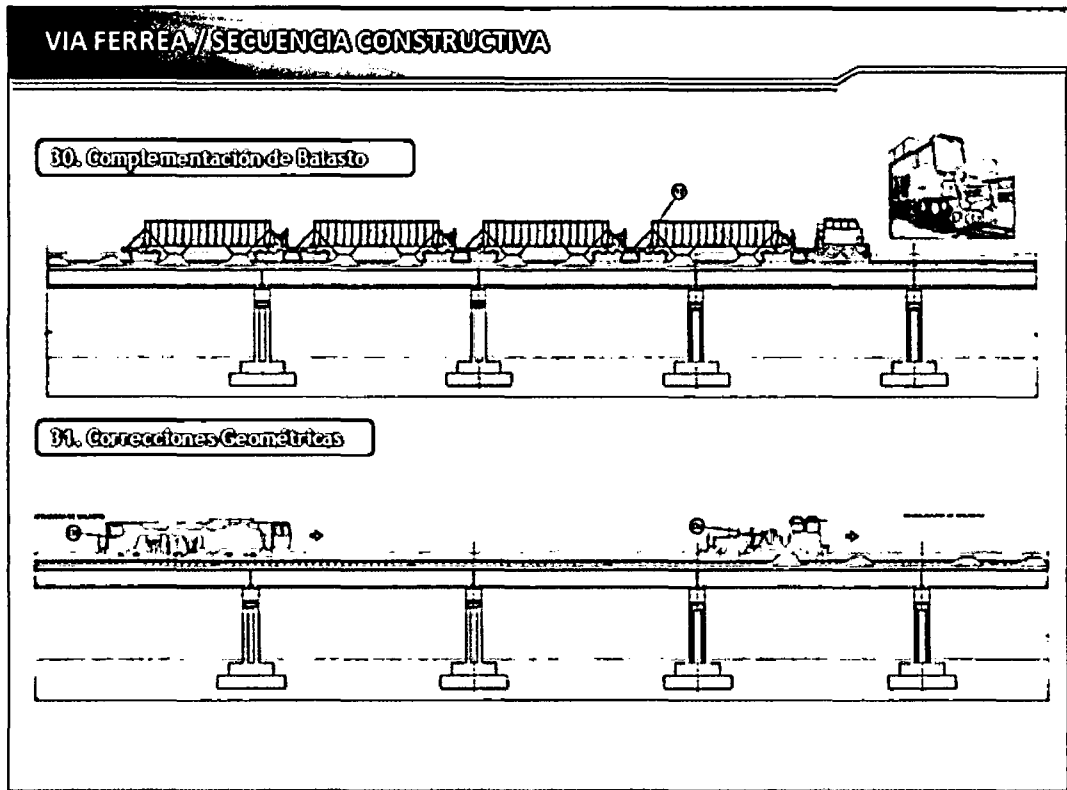
## CURADO Y EXPOSICION DEL CONCRETO SONNEVILLE



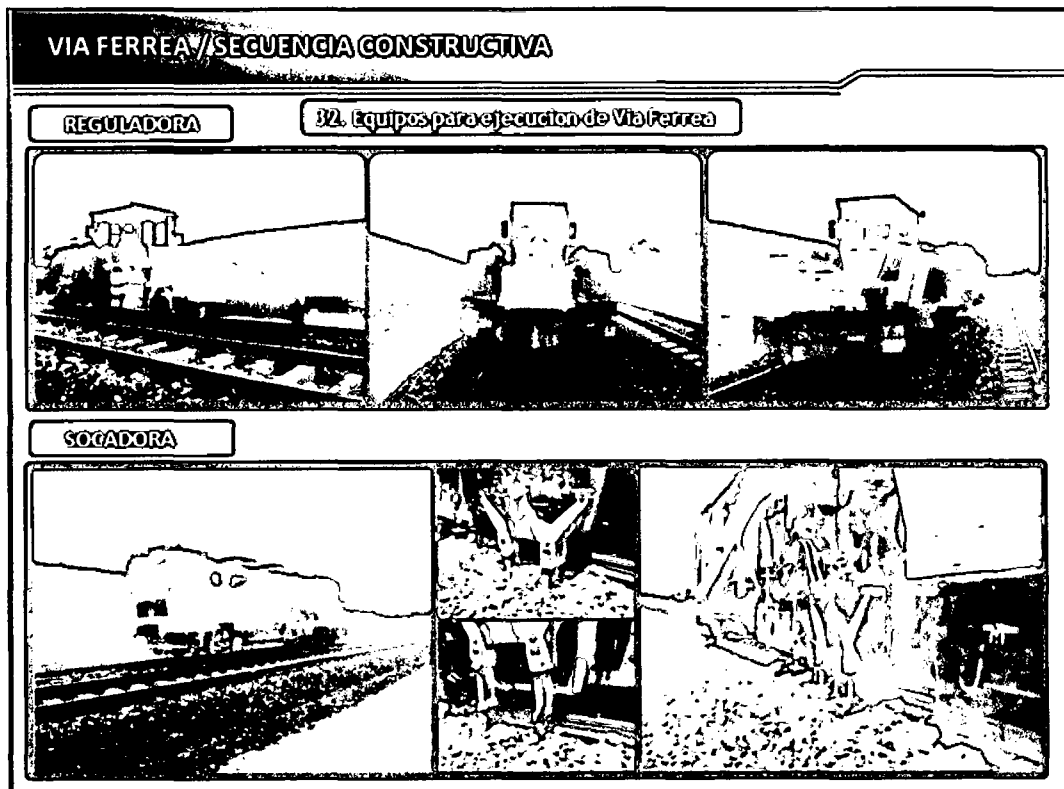
## COLOCACION Y FIJACION DE RIELES



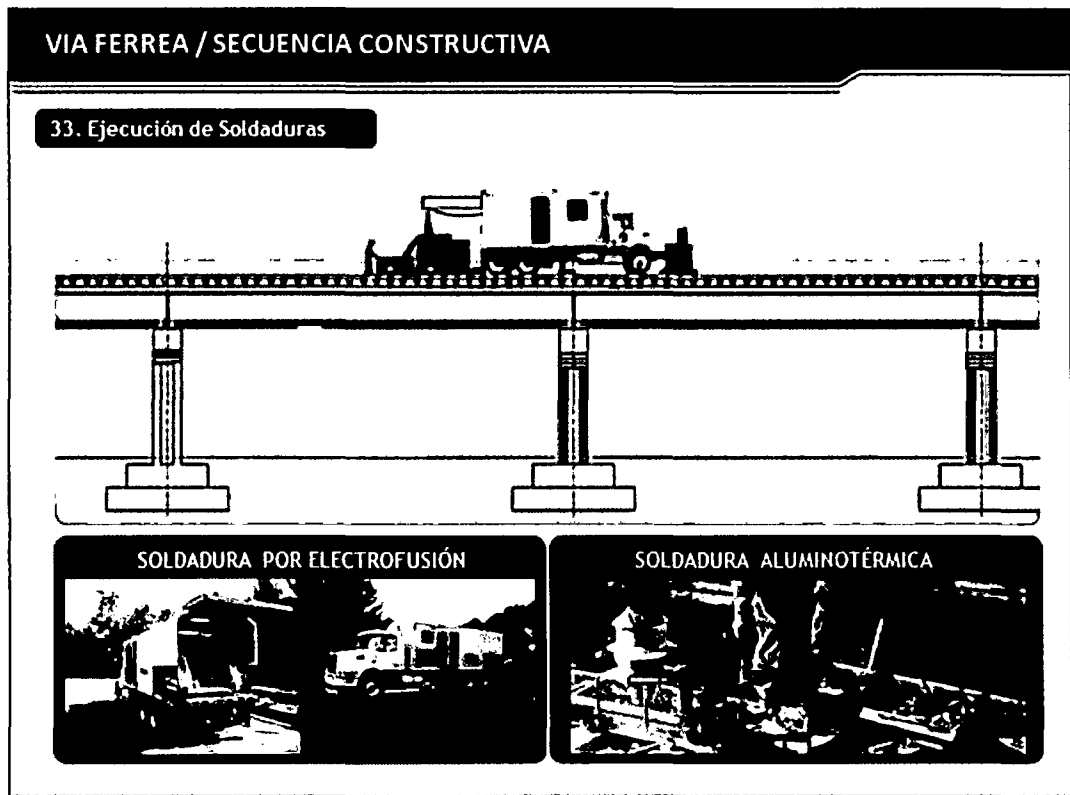
## COMPLEMENTACION DEL BALASTO



## EQUIPOS UTILIZADOS PARA LA EJECUCION DE LA VIA FERREA



## EJECUCION DE SOLDADURAS EN RIELES



## CONCLUSIONES

- ✓ En general la estabilidad de la excavación para fines de cimentación del tramo en estudio, se prevé, estable, para excavaciones donde el suelo se presente suelto o la excavación tenga que permanecer mucho tiempo se procederá a pañetear con cemento y agua, con taludes de 80° y banquetas de 0.50 m, ubicado a la mitad del talud.
- ✓ Se ha confirmado que los elementos del soporte BRIO, Aluprop y Torres MK resisten las cargas a los que van a ser sometidos. En el análisis se asumen condiciones óptimas de montaje y de correcta colocación entre elementos del soporte. Para que esto sea posible en campo, el montaje se realizó de manera correcta. Para el caso de Torre MK, se tuvo en cuenta la carga aplicada sobre el terreno que es de 30.00 ton, para lo cual fue necesario una base de concreto lo suficientemente resistente para soportar tal carga.
- ✓ Se concluye que en el tramo curvo la opción del “falso puente” ha tenido un impacto positivo de costo y productividad debido a su velocidad de implementación y disminución del material de apuntalamiento.
- ✓ Para los casos de los “falsos puentes” la disminución en el costo de encofrado no es expresiva para la cantidad de metrado realizado, lo que es importante resaltar son los beneficios intangibles para el cliente y comunidad en no hacer el cierre total de las vías tal como estaba previsto, principalmente con soluciones que no ha generado un mayor costo.
- ✓ Debido a lo extenso de la obra se han trabajado en promedio 4 tramos en paralelo de viaducto lo cual demandaba en promedio un consumo de concreto de 700m<sup>3</sup>/día, lo que representaría más de 110 viajes de mixers y 8 bombas de concreto, juntamente con más de 70.000 m<sup>3</sup> de apuntalamiento para los tramos vaciados insitu como es el caso de la presente tesis, las demandas para la obra tanto de concreto como de

apuntalamiento el mercado de Lima no dispone, por esta razón fue que se optó por usar tanto los elementos pre fabricados, como la utilización del concepto de los falsos puentes, para cumplir los cortos plazos de ejecución previstos.

- ✓ El concepto de ejecutar la obra con elementos pre moldeados tales como vigas longitudinales típicas de 20m y de atípicas o especiales de longitud variable entre 35m y 45m , pre losas, bordes típicos y canaletas; fue de suma importancia para que la productividad de la obra sea la adecuada y así se cumpla en el plazo previsto.
- ✓ Para la secuencia de vaciados de la viga cajón de acuerdo a lo sugerido por los especialistas de la sub contrata UNICOM, se realizó en 10 etapas para evitar las fisuras en la losa inferior, paredes y losa superior de la viga cajón logrando así impactar en forma positiva la productividad de la obra.
- ✓ Se concluye para el Sonnevile como un sistema que da solución a los principales problemas de la construcción de vías férreas, además de lograr una gran aceptación en el mundo, han sido usados en sistemas de trenes de alta velocidad, que no se compara en nada con la velocidad promedio que se va a manejar en nuestro país de 40km/h.
- ✓ El sistema LVT logra un mínimo ruido y puede llegar a trabajar a 30 db. Las piezas son de cambio independiente, pues no es necesario cambiar por bloques como el sistema tradicional. El sistema es ajustable a todo tipo de construcciones de vías férreas, es por eso este sistema es utilizado en trenes de alta velocidad. Sistema nuevo en el mercado peruano pero el costo beneficio es la mejor manera de inclinarse por el sistema. El sistema trabaja en todo tipo de clima, pues en Europa trabaja desde los años 1995.

## RECOMENDACIONES

- Para reducir los riesgos de accidentes por derrumbes en zapatas de profundidad considerable que puedan afectar la seguridad de los obreros o la estabilidad de las obras o propiedades adyacentes, deberán darle el tratamiento adecuado de estabilizar los taludes mediante el pañeteo de mortero en las caras del terreno o la utilización de otro procedimiento para tal fin.
- Se recomienda siempre que para los trabajos topográficos en cuanto a realizar la poligonal de apoyo sea ejecutada durante las primeras horas del día, aprovechando la menor congestión vehicular en las avenidas principales, disminuyendo así la posibilidad de poner en riesgo al personal que hace función de auxiliar de topografía. De esta manera también se logró disminuir la influencia de la temperatura al realizar las lecturas angulares y en distancia, dado que nos encontramos en los meses de mayor temperatura en la ciudad de Lima.
- Cuando se tienen plazos exigidos en obra, para lograr terminar el proyecto en el plazo previsto, podríamos optar por la alternativa que se planteó en el proyecto analizado, la cual se basó en tener turnos de producción tanto de día como de noche. El turno noche en especial era aprovechado para los vaciados secuenciales de la viga cajón evitando así el tiempo de espera entre mixer y mixer y no generar juntas frías en el concreto vaciado.
- En las vigas cajón pos tensadas en especial en la losa inferior y las caras de la viga, además de las vigas diafragmas se tuvo mucha congestión de acero, por lo que se realizó un especial cuidado en el vibrado del concreto especialmente en las zonas de mayor concentración de acero, en la zona de anclajes y en la zona donde se colocan los ductos para el pos tensado, para evitar la presencia de cangrejeras y evitar la rotura o fisura de los ductos para el pos tensado.

- El almacenamiento del material en obra deberá efectuarse en lugar cubierto, al resguardo de la humedad y de variaciones térmicas importantes. El acero no debe estar en contacto con el suelo. Además de mantener el especial cuidado en las planchas del encofrado para la reutilización de las mismas.
  
- Desarrollar el Plan de Desvíos de Tránsito considerándolo en cuatro tramos a lo largo del eje del viaducto. Es importante señalar que los 4 tramos trabajaran de manera simultánea y se ha dividido en tramos para mejor facilidad de implementar la señalización antes del inicio de los desvíos y antes del inicio de las obras.



## BIBLIOGRAFIA

- Arguedas Villacres, Carlos Tomas; "Cimentaciones Piloteadas", Tesis para obtener el Título Profesional de Ing. Civil - UNI, Lima Perú 1998.
- Torrejón Palomino, Alejandro Juan Iván; "Programación y procesos constructivos del Viaductos Pano en Sant Pol de Mar (Barcelona)", Tesis para obtener el Título Profesional de Ing. Civil - UNI, Lima Perú 1998.
- Alaya Flores, Ernesto César; "estudio de Suelos para la Cimentación de Puentes", Tesis para obtener el Título Profesional de Ing. Civil - UNI, Lima - Perú 1997.
- Tokumori Arakakiko, Juan Carlos; "Planeamiento, Programación y control de obras en construcción de Puentes", Tesis de Grado Ing. Civil - UNI, Lima - Perú 1996.
- Córdova Chihuan, Milagros Tomasa; "Programación y Procesos Constructivos en la Rehabilitación de los Puentes Pacae y Huanchal", Tesis para obtener el Título Profesional de Ing. Civil - UNI, Lima - Perú 1996.
- Espinoza García Calderón, Juan F.; "Puentes: Pórtico- Losa de concreto Armado", Tesis para obtener el Título Profesional de Ing. Civil - UNI, Lima Perú 1960.
- Delgado Pozo, Félix; "Tesis de Puentes", Tesis para obtener el Título Profesional de Ing. Civil - UNI, Lima Perú 1960.
- Braja M. Das; "Principios de Ingeniería de Cimentaciones", Ed. N° 04, Editorial Thomson, México 2001.
- Aranís García – Rossell, César; "Análisis y Diseño de Puentes de Concreto Armado. Método AASTHO-LRFD", Lima-UNI- ACI, 2006.
- Peck, Hanson, Thornburn; "Ingeniería de Cimentaciones", Ed. N° 10, Editorial Limusa, México 1998.

## ANEXOS

### **Anexo 1**

Cronograma de Obra

Informe Geotécnico del tramo J, K, L

Carta de la AATE de aprobación para uso de información para la elaboración de tesis

### **Anexo 2**

Planos del Proyecto 41 planos

### **Anexo 3**

Memoria de Calculo – Verificación de los aparatos de apoyo-Tramos típicos k y L

Memoria de Calculo: Diseño Estructural de la Vía Férrea-Tramos K a G1

Memoria de Cálculo - Losas L=20.0m –Tramo L-Módulos 10, 11, 13, 14, 15, 16, 18

Memorial de Cálculo – Vigas Cabezal parte 1 – Tramo L-Módulos 10, 11, 13, 14, 15, 16 y 18

Memoria de Cálculo - Columnas y Zapatas – Tramo L-Módulo 17

Memoria de Cálculo – Viga Cajón, Diafragmas y Tablero Puente Cabitos

Criterio de Diseño Geométrico

Verificación de la capacidad admisible de Soporte BRIO, Torres ALUPROP y Torres MK para Puente Ovalo Cabitos