

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL



**EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE ENCOFRADOS
MODULARES EN PUENTES CON APLICACIÓN EN EL
PUENTE BAYOVAR - PROYECTO TREN ELÉCTRICO**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

JAIME NILTON ACHIC BRAGA

LIMA- PERÚ

2015

Quiero dedicarle este trabajo a Dios que me ha dado la vida y fortaleza para terminar este proyecto,
A mis Padres por estar ahí cuando más los necesité; en especial a mi madre por su ayuda y constante cooperación,
A mis hermanos Jhonny, Luz y Nora, por darme su apoyo incondicional y a mi novia Gina por apoyarme y ayudarme en los momentos más difíciles. Muchas gracias.

ÍNDICE

RESUMEN	4
LISTA DE CUADROS	5
LISTA DE FIGURAS	36
INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	11
1.1 CONCEPTOS INICIALES	11
1.1.1 Clasificación de los puentes	15
1.1.2 Técnicas constructivas y sistemas empleados para superestructuras de puentes	17
1.2 NORMATIVIDAD Y REGLAMENTACIÓN	21
1.2.1 AASHTO LRFD Bridge Design Specifications	22
1.2.2 Manual de diseño de puentes.	22
1.2.3 Normas UNE EN.	22
1.3 FALSOS PUENTES.	22
1.3.1 Cargas de diseño.	23
1.3.2 Materiales de construcción.	23
1.3.3 Construcción.	23
1.3.4 Retiro de falso puente.	23
1.4 ESTUDIOS NECESARIOS	24
1.4.1 Estudios topográficos.	24
1.4.2 Estudios de hidrología e hidráulica.	24
1.4.3 Estudios de geotecnia.	24
1.4.4 Estudios de riesgo sísmico.	24

CAPÍTULO II: CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS ELEMENTOS DE LOS SISTEMAS DE ENCOFRADOS MODULARES PARA SUPERESTRUCTURAS DE PUENTES.	25
2.1 ENCOFRADOS MODULARES A BASE DE MADERA	25
2.1.1 Sistema de vigas de madera VM-20	25
2.2 SISTEMAS DE ENCOFRADOS MODULARES METÁLICOS	26
2.2.1 Sistema manuable COMAIN.	26
2.2.2 Sistema Multidireccional BRIO.	27
2.2.3 Puntales y Torres ALUPROP.	31
2.2.4 Sistema MK.	33
2.3 CONSIDERACIONES PARA LA ELECCIÓN DE UN SISTEMA DE ENCOFRADOS PARA SUPERESTRUCTURAS DE PUENTES.	40
CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ENCOFRADOS MODULARES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE BAYOVAR – PROYECTO TREN ELÉCTRICO.	43
3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	43
3.1.1 Generalidades	44
3.1.2 Características del puente Bayovar.	44
3.2 ESTRUCTURACIÓN DEL SISTEMA DE ENCOFRADO	46
3.2.1 Problemática presentada para la construcción	46
3.2.2 Estructuración	46
3.3 SOLICITACIONES PARA EL DISEÑO.	49
3.3.1 Normativa y Bases de cálculo.	49
3.3.2 Cargas estáticas consideradas.	49
3.3.3 Casos de carga.	50
3.3.4 Combinación de cargas.	50
3.4 ANÁLISIS ESTRUCTURAL	50

3.4.1	Cálculos y resultados	52
3.5	MONTAJE.	75
3.5.1	Cimbra BRÍO.	75
3.5.2	Torre ALUPROP.	76
3.5.3	Cerchas MK.	77
3.5.4	Cimbras MK.	79
CAPÍTULO IV: COSTOS Y PRESUPUESTOS DE LOS SISTEMAS DE ENCOFRADOS MODULARES EMPLEADOS.		83
4.1	METRADOS	83
4.2	PRESUPUESTO	83
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		86
5.1	CONCLUSIONES	86
5.2	RECOMENDACIONES	88
BIBLIOGRAFÍA		89
ANEXOS		90

RESUMEN

El presente informe de suficiencia tiene por título “Evaluación de Sistemas de Encofrados Modulares en Puentes con Aplicación en el Puente Bayovar - Proyecto Tren Eléctrico” y trata sobre el uso de sistemas de encofrados modulares utilizados para la construcción de superestructuras de puentes.

La evolución en la creatividad del diseño de formas estructurales de concreto, en las obras civiles denominados puentes, ha llevado a un incremento en la complejidad de los encofrados que hace necesario un mayor esfuerzo en su diseño y dimensionamiento con el fin de lograr mejorar las condiciones de seguridad de su montaje, uso y desmontaje. Con respecto a este punto, el uso de sistemas tradicionales de encofrado a base de madera en la construcción de puentes ha presentado una serie de desventajas que significan un fuerte impacto en los tiempos empleados en la obra, y por tanto en el presupuesto; esto ha generado la búsqueda de nuevas tecnologías y procedimientos que permitan ser más eficientes en los procesos constructivos de la superestructura. La ingeniería en encofrados de puentes ha evolucionado en cuanto a la tecnología empleada dando como resultado la aparición de nuevos sistemas de encofrados que tienen como característica principal el ser de tipo modular. En el Perú el uso del encofrado modular se inicia con la empresa inglesa ACROW (1970), desde esa fecha han ingresado al mercado nacional empresas como: EFCO (U.S.A-1995), ULMA (España-2002), PERI (Alemania-2008) y DOKA (Austria-2011).

El objetivo del informe se centra en evaluar los sistemas de encofrados modulares en puentes de longitud media, desde el aspecto estructural, que permiten resolver problemas de tiempo y costo en la construcción de la superestructura.

Además, se desarrolla una aplicación de los sistemas de encofrados modulares verticales y horizontales empleados para el proyecto del puente Bayovar, en la cual se explica su estructuración, los elementos participantes y los cálculos que justifican su uso. Complementándolo con la descripción del proceso de montaje de los sistemas de encofrados tratados así como el costo de alquiler generado por dicho encofrado.

El informe llega a establecer lineamientos generales para la elección adecuada de los sistemas de encofrados modulares para la construcción de superestructuras de puentes, así también detalla los criterios de cálculo para la verificación de los distintos elementos involucrados.

LISTA DE CUADROS

Cuadro N°2.1.- Capacidades admisibles de la viga VM-20	26
Cuadro N°2.2.- Capacidad admisible pie Brío.	30
Cuadro N°2.3.- Dimensiones de los puntales Aluprop	32
Cuadro N°2.4.- Capacidad admisible a compresión de una riostra MK-120.	40
Cuadro N°2.5.- Momento flector y fuerza cortante admisible riostra MK-120.	40
Cuadro N°2.6.- Recomendaciones para la elección del sistema de soporte.	42
Cuadro N°3.1.- Clasificación de Puente Bayovar.	45
Cuadro N°3.2.- Casos de carga	50
Cuadro N°3.3.- Combinaciones de carga.	50
Cuadro N°3.4.- Verificación de vigas V-M20.	58
Cuadro N°3.5.- Resumen de reacciones en apoyos de torres y cimbras.	59
Cuadro N°3.6.- Fuerza horizontal por imperfecciones en las torres y cimbras.	59
Cuadro N°3.7.- Esfuerzos resultantes en Riostra MK-Sist. Aluprop- COMB 1.	60
Cuadro N°3.8.- Esfuerzos resultantes en Riostra MK-Sist. Aluprop- COMB SXX.	61
Cuadro N°3.9.- Esfuerzos resultantes en Riostra MK-Sist. Aluprop- COMB SYY.	61
Cuadro N°3.10.- Verificación de flechas en las Riostras MK-120.	62
Cuadro N°3.11.- Esfuerzos resultantes en los puntales Aluprop – COMB 1.	63
Cuadro N°3.12.- Esfuerzos resultantes en los puntales Aluprop – COMB SXX.	63
Cuadro N°3.13.- Esfuerzos resultantes en los puntales Aluprop – COMB SYY.	64
Cuadro N°3.14.- Esfuerzos resultantes en las Riostras MK-120 – COMB1.	66
Cuadro N°3.15.- Esfuerzos resultantes en las Riostras MK-120 – COMB SXX.	66
Cuadro N°3.16.- Esfuerzos resultantes en las Riostras MK-120 – COMB SYY.	66
Cuadro N°3.17.- Deformaciones en cercha MK–120.	67
Cuadro N°3.18.- Esfuerzos resultantes en las vigas W21x73 – COMB1.	68
Cuadro N°3.19.- Esfuerzos resultantes en las vigas W21x73 – COMB SXX.	65
Cuadro N°3.20.- Esfuerzos resultantes en las vigas W21x73 – COMB SYY.	68
Cuadro N°3.21.- Esfuerzos resultantes en R-MK-120 (Cimbra MK) – COMB1.	70
Cuadro N°3.22.- Esfuerzos resultantes en R-MK-120 (Cimbra MK) – COMBSXX.	71
Cuadro N°3.23.- Esfuerzos resultantes en R-MK-120 (Cimbra MK) – COMBSYY.	72
Cuadro N°3.24.- Combinación Axial-H Admisible.	73
Cuadro N°4.1.- Resumen del presupuesto total puente Bayovar.	84

LISTA DE FIGURAS

Fig. N°1.1.- El primer tipo de puente.	11
Fig. N°1.2.- Partes conformantes de un puente típico de concreto.	13
Fig. N°1.3.- Encofrado tradicional de columnas a base de madera.	14
Fig. N°1.4.- Encofrado modular de columnas a base de paneles metálicos.	14
Fig. N°1.5.- Falso Puente metálico del puente Santa Rosa-Tren Eléctrico.	15
Fig. N°1.6.- Ponte Vedra (España) Puente con una luz de vano mayor a 50 m.	15
Fig. N°1.7.- Viaducto Conchi (chile).	16
Fig. N°1.8.- Puente Göltzschtal (Alemania).	16
Fig. N°1.9.- Puente arco intermedio "Salinas" (Amazonas – Perú).	17
Fig. N°1.10.- Autocimbra del puente Echelsbach (Alemania -1929).	18
Fig. N°1.11.- Soporte y encofrado de madera del puente "Tsejtsi".	19
Fig. N°1.12.- Proyecto Tren Eléctrico Línea1 Tramo 2 (Lima – Perú).	20
Fig. N°1.13.- Sistema de vigas de lanzamiento – puente Chino (Aguaytia – Perú).	20
Fig. N°1.14.- Sistema de carros de avance – Metro de Lima.	21
Fig. N°1.15.- Falso puente de cercha metálica del puente "Tingo".	23
Fig. N°2.1.- Vigas de madera VM-20.	25
Fig. N°2.2.- Sistema manuable COMAIN para encofrado de muros.	26
Fig. N°2.3.- Sistema BRIO como cimbra de apeo de encofrado.	27
Fig. N°2.4.- Nudo Brio.	28
Fig. N°2.5.- Husillo con placa (a) y cabezal con husillo (b).	28
Fig. N°2.6.- Isometría del sistema Multidireccional BRIO.	29
Fig. N°2.7.- Torres Aluprop (soporte del encofrado horizontal) - Tren Eléctrico	31
Fig. N°2.8.- Componentes del puntal Aluprop.	32
Fig. N°2.9.- Marco de arriostramiento.	33
Fig. N°2.10.- Montaje de Cerchas MK.	34
Fig. N°2.11.- Cimbra MK-360.	35
Fig. N°2.12.- Dimensiones de riostra MK-120 (mm).	36
Fig. N°2.13.- Nudos MK.	36
Fig. N°2.14.- Tensor – E.	37
Fig. N°2.15.- Principales elementos de arriostramiento.	37
Fig. N°2.16.- Principales elementos de la base – cuerpo- cabeza de cimbras MK.	38
Fig. N°2.17.- Isometría de cercha MK.	38
Fig. N°2.18.- Isometría de cimbra MK.	39
Fig. N°3.1.- Red básica de Metro de Lima.	43

Fig. N°3.2.- Ubicación del puente Bayovar.	44
Fig. N°3.3.- Vista en elevación del puente Bayovar.	45
Fig. N°3.4.- Vista en planta del puente Bayovar.	45
Fig. N°3.5.- Esquema de proyección del puente Bayovar.	46
Fig. N°3.6.- Elevación del soporte y encofrado del Puente Bayovar.	47
Fig. N°3.7.- Sección 01- Torres, castillos y vigas de madera.	48
Fig. N°3.8.- Sección 02- Cimbras, cerchas, castillos y vigas de madera.	48
Fig. N°3.9.- Elevación - Modelo simplificado 3D SAP 2000 - elementos frame.	51
Fig. N°3.10.- Variación de peralte de la sección cajón del puente Bayovar.	52
Fig. N°3.11.- Subdivisión de viga cajón - Eje V45.	53
Fig. N°3.12.- Subdivisión viga cajón – tramo central	53
Fig. N°3.13.- Subdivisión de viga cajón - Eje V46.	53
Fig. N°3.14.- Vigas VM20 (1.90m y 9.0m) en torres Aluprop – eje V45.	54
Fig. N°3.15.- Fuerza Cortante (ton) y Momento Flector (ton-m) máximos sobre vigas VM20 - Eje V45 (SAP 2000).	55
Fig. N°3.16.- Vigas VM 20 Torres Aluprop – eje V46.	55
Fig. N°3.17.- Fuerza Cortante (ton) y Momento Flector (ton-m) máximos sobre viga VM20 - Eje V46 (SAP 2000).	56
Fig. N°3.18.- Vigas VM 20 (1.90m y 9.0m) Cerchas MK- tramo central.	56
Fig. N°3.19.- Fuerza Cortante y Momento Flector máximos sobre viga -Tramo Central- SAP 2000.	57
Fig. N°3.20.- Esquema de cargas (ton/m) sobre riostras MK – Eje V45.	58
Fig. N°3.21.- Esquema de cargas (ton/m) sobre riostras MK – Eje V46.	58
Fig. N°3.22.- Esquema de cargas (ton/m) sobre Brida superior de cerchas–Tramo Central.	58
Fig. N°3.23.-Esquema de cargas (ton/m) sobre las riostras MK (vigas primarias) y bridas superiores de las cerchas MK (SAP 2000).	59
Fig. N°3.24.- Riostras MK primarias en torres Aluprop izquierdo – Eje V45.	60
Fig. N°3.25.- Riostras MK primarias en torres Aluprop izquierdo – Eje V46.	60
Fig. N°3.26.- Fuerza Cortante y Momento Flector máximos sobre Riostra MK-COMB1 (SAP 2000).	61
Fig. N°3.27.- Fuerza Cortante y Momento Flector máximos sobre Riostras MK COMB SXX (a) y COMB SYY (b) – SAP 2000.	62
Fig. N°3.28.- Esquema de riostra MK-120 más cargada.	63

Fig. N°3.29.- Esquema de reacciones en puntos de apoyo de las torres Aluprop Eje V45 y Eje V46.	63
Fig. N°3.30.- Elevación – cercha MK.	64
Fig. N°3.31.- Planta –cercha MK considerada para el análisis.	65
Fig. N°3.32.- Diagrama de fuerzas axiales (ton) – COMB1	65
Fig. N°3.33.- Diagrama de Momentos Flectores (ton.m) - COMB1.	65
Fig. N°3.34.- Diagrama de fuerzas cortantes (ton) - COMB1.	65
Fig. N°3.35.- Máximas deformaciones en la cercha MK (mm) - COMB1.	66
Fig. N°3.36.- Vigas de reparto W 21x73 bajo estructura BRIO.	67
Fig. N°3.37.- Vigas de reparto W 21x73 bajo cercha MK.120.	67
Fig. N°3.38.- Cimbras MK eje V45, central y eje V46- Elevación.	69
Fig. N°3.39.- Cimbras MK eje V45, central y eje V46 - Planta.	69
Fig. N°3.40.- Diagrama de fuerzas axiales cimbra MK central – COMB1.	70
Fig. N°3.41.- Reacciones en apoyos de la cimbra MK central – COMB1.	70
Fig. N°3.42.- Diagrama de fuerzas axiales cimbra MK central – COMB SXX.	71
Fig. N°3.43.- Reacciones en apoyos de la cimbra MK central – COMB SXX	71
Fig. N°3.44.- Diagrama de fuerzas axiales en cimbra MK central – COMB SYY.	72
Fig. N°3.45.- Reacciones en apoyos cimbra MK central – COMB SYY.	72
Fig. N°3.46.- Deformaciones (mm) en cimbras MK en el tramo central.	74
Fig. N°3.47.- Montaje de 1 ^{er} y 2 ^{do} nivel de elementos horizontales.	75
Fig. N°3.48.- Montaje de 3 ^{er} nivel de elementos horizontales y cabezales.	76
Fig. N°3.49.- Armado de torre Aluprop.	77
Fig. N°3.50.- Izado de torre Aluprop.	77
Fig. N°3.51.- Colocación de riostras MK y nudos MK.	78
Fig. N°3.52.- Colocación de elementos de unión.	78
Fig. N°3.53.- Izado de cerchas MK.	79
Fig. N°3.54.- Par de cerchas MK.	79
Fig. N°3.55.- Armado de la base de la cimbra MK.	80
Fig. N°3.56.- Montaje de la base de la cimbra MK.	81
Fig. N°3.57.- Armado de cuerpo de la cimbra MK.	81
Fig. N°3.58.- Colocación de arriostamiento lateral.	81
Fig. N°3.59.- Montaje del cuerpo de la cimbra MK.	82
Fig. N°3.60.- Montaje de la cabeza de la cimbra MK.	82

INTRODUCCIÓN

El acelerado desarrollo en el que se encuentra actualmente la industria de la construcción nos obliga a estar en un constante aprendizaje de las nuevas tecnologías y procedimientos constructivos desarrollados en el mundo para conseguir procesos más eficientes en el tiempo y que generen el menor costo posible.

La ingeniería de puentes en el Perú no es ajena a esta realidad, dado el gran déficit vial y la fuerte inversión que se está realizando en nuestro país, en estos últimos años, en el desarrollo de proyectos viales que involucran la construcción de puentes, se hace necesario el conocimiento y la aplicación de nuevos sistemas que permitan resolver los problemas de tiempo y costo en la construcción de las superestructuras de puentes.

La utilización de encofrados en las obras de construcción de puentes engloba un amplio y diverso conjunto de actividades que se suceden a lo largo de las diferentes fases y etapas de las mismas. Dicha utilización, frecuente e intensiva ha generado que en estos últimos años, en nuestro país, se deje de usar los sistemas de encofrados tradicionales a base de madera y se opte por el uso de encofrados modulares en busca de soluciones eficientes a los diversos problemas y exigencias que planteara el proyecto de un puente, por ejemplo el cruzar calles que no deben ser cerradas durante el proceso constructivo, cruzar grandes ríos, quebradas profundas, etc. Para conseguir estos objetivos es necesario plantear diversos sistemas constructivos que contribuyan al mejor desarrollo de los proyectos.

El presente informe busca presentar y evaluar los sistemas de encofrados modulares utilizados para el encofrado de superestructuras de puentes, de tal forma que se pueda establecer criterios para su elección en los diversos tipos de puentes. Además se explican los criterios básicos para la estructuración de un sistema de soporte o falso puente a base de sistemas de encofrados modulares y el proceso de montaje respectivo. Como un complemento informativo se establecen los costos de alquiler que los sistemas empleados generan.

La metodología empleada es de tipo descriptiva y aplicada, en el desarrollo de los capítulos se presentan las bases teóricas que permitan sustentar las aplicaciones desarrolladas.

El capítulo I **Generalidades** presenta los criterios básicos requeridos para un mejor entendimiento del informe, se indican conceptos generales del origen,

evolución y clasificación de los puentes, se explican las técnicas constructivas en base a encofrados modulares utilizadas en la actualidad, la normatividad existente, las consideraciones para el diseño de falsos puentes y los estudios básicos necesarios para la estructuración de un sistema de soporte y encofrado.

En el capítulo II: **Características principales de los elementos de los sistemas de encofrados modulares para superestructuras de puentes**, se detallan los usos, componentes y características estructurales de los sistemas de encofrados modulares a base de madera y metálicos utilizados en la actualidad, así como las consideraciones generales para la elección de un sistema de encofrados para la superestructura de un puente.

En el capítulo III: **Análisis y aplicación de los sistemas de encofrados modulares utilizados en la construcción del puente Bayovar del proyecto Tren Eléctrico**, se describe las características principales del puente Bayovar y su ubicación dentro del proyecto Tren Eléctrico, se explican los criterios tomados para la estructuración del soporte o falso puente y el encofrado respectivo, además se analizan y verifican estructuralmente cada uno de los elementos involucrados en el diseño del encofrado para finalmente desarrollar los criterios de armado, montaje, y desmontaje de los encofrados modulares utilizados.

En el capítulo IV: **Costos y Presupuestos**, se presentan la cantidad total de encofrado modular empleado en la construcción del puente Bayovar mediante el metrado respectivo, así como la evaluación del costo total por alquiler de la estructura modular encofrante.

En el capítulo V: **Conclusiones y recomendaciones**, se presentan las principales conclusiones a las que se llegó tras finalizar el desarrollo de este informe y se plantea las recomendaciones para la ampliación y difusión de estudios relacionados a la aplicación de sistemas de encofrados modulares.

Se adjuntan también anexos, los cuales permiten consolidar los conceptos desarrollados en los capítulos estudiados. También se presentan los planos generales del proyecto, los planos de la estructuras econfrantes utilizadas, un panel fotográfico y se detallan características adicionales de los diversos sistemas de encofrados modulares tratados.

Se espera que el presente informe sirva de consulta para el estudio de los sistemas de encofrados modulares en puentes para el alumnado universitario y profesionales en general y sea la base de futuros estudios e investigaciones de nuevas tecnologías en esta rama de la ingeniería de puentes.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 CONCEPTOS INICIALES.

El arte de construir puentes tiene su origen en la misma prehistoria (ver figura N°1.1). Puede decirse que nace cuando un buen día se le ocurrió al hombre prehistórico derribar un árbol en forma que, al caer, enlazara las dos riberas de una corriente sobre la que deseaba establecer un vado. La genial ocurrencia le eximía de esperar a que la caída casual de un árbol le proporcionara un puente fortuito. También utilizó el hombre primitivo losas de piedra para salvar las corrientes de pequeña anchura cuando no había árboles a mano.

El arte de construir puentes no experimentó cambios sustanciales durante más de 2000 años. La piedra y la madera eran utilizadas en tiempos napoleónicos de manera similar a como lo fueron en época de julio Cesar e incluso mucho tiempo antes. Hasta finales del siglo XVIII no se pudo obtener hierro colado y forjado a precios que hicieran de él un material estructural asequible y hubo que esperar casi otro siglo a que pudiera emplearse el acero en condiciones económicas.



Figura N°1.1.- El primer tipo de puente.

Al igual que ocurre en la mayoría de los casos, la construcción de puentes ha evolucionado paralelamente a la necesidad que de ellos se sentía. Recibió su primer gran impulso en los tiempos en que Roma dominaba la mayor parte del mundo conocido. A medida que sus legiones conquistaban nuevos países, iban levantando en su camino puentes de madera más o menos permanentes; cuando construyeron sus calzadas pavimentadas, alzaron puentes de piedra labrada. La red de comunicaciones del Imperio Romano llegó a sumar 90000 Km. de excelentes carreteras.

A la caída del Imperio Romano, sufrió el arte un gran retroceso, que duró más de seis siglos. Si los romanos tendieron puentes para salvar obstáculos a su expansión, el hombre medieval vio en los ríos una defensa natural contra las invasiones. El puente era, por tanto, un punto débil en el sistema defensivo en la época feudal. Por tal motivo muchos puentes fueron desmantelados y los pocos construidos estaban defendidos por fortificaciones. A fines de la Edad Media renació la actividad constructiva, el progreso continuó ininterrumpidamente hasta comienzos del siglo XIX.

La locomotora de vapor inició una nueva era al demostrar su superioridad sobre los animales de tiro. La rápida expansión de las redes ferroviarias obligó a un ritmo paralelo en la construcción de puentes sólidos y resistentes. Por último, el automóvil creó una demanda de puentes jamás conocida. Los impuestos sobre la gasolina y los derechos de portazgo suministraron los medios económicos necesarios para su financiación y en sólo unas décadas se construyeron más obras notables de esta clase que en cualquier siglo anterior. El gran número de accidentes ocasionados por los cruces y pasos a nivel estimuló la creación de diferencias de nivel, que tanto en los pasos elevados como en los inferiores requerían el empleo de puentes. En una autopista moderna todos los cruces de carreteras y pasos a nivel son salvados por este procedimiento.

Para el desarrollo del presente informe se requiere definir primeramente los conceptos básicos sobre puentes, encofrados y los soportes (falsos puentes) que se utiliza para la construcción de las superestructuras de puentes.

a) PUENTE

En razón del propósito de estas estructuras y las diversas formas arquitectónicas adoptadas se pueden definir como; **“obras de arte destinadas a salvar corrientes de agua, depresiones del relieve topográfico, y cruces a desnivel que garanticen una circulación fluida y continua de peatones, agua, ductos de los diferentes servicios, vehículos y otros que redunden en la calidad de vida de los pueblos.”**

El puente es una estructura que forma parte de caminos, carreteras, líneas férreas y canalizaciones, construida sobre una depresión, río, u obstáculo cualquiera. Los puentes constan fundamentalmente de dos partes, la superestructura, o conjunto de tramos que salvan los vanos situados entre los soportes, y la infraestructura (apoyos o soportes), formada por las pilas, que soportan directamente los tramos citados, los estribos o pilas situadas en los

extremos del puente, que conectan con el terraplén, y los cimientos, o apoyos de estribos y pilas encargados de transmitir al terreno todos los esfuerzos (ver figura N°1.2). Cada tramo de la superestructura consta de un tablero o piso, una o varias armaduras de apoyo y de las riostras laterales. El tablero soporta directamente las cargas dinámicas y por medio de la armadura transmite las tensiones a pilas y estribos. Las armaduras trabajarán a flexión (vigas), a tracción (cables), a flexión y compresión (arcos y armaduras), etc. La cimentación bajo agua es una de las partes más delicadas en la construcción de un puente, por la dificultad en encontrar un terreno que resista las presiones, siendo normal el empleo de pilotes de cimentación. Las pilas deben soportar la carga permanente y sobrecargas sin asentamientos, ser insensibles a la acción de los agentes naturales, viento, grandes riadas, etc. Los estribos deben resistir todo tipo de esfuerzos; se construyen generalmente en concreto armado y formas diversas.

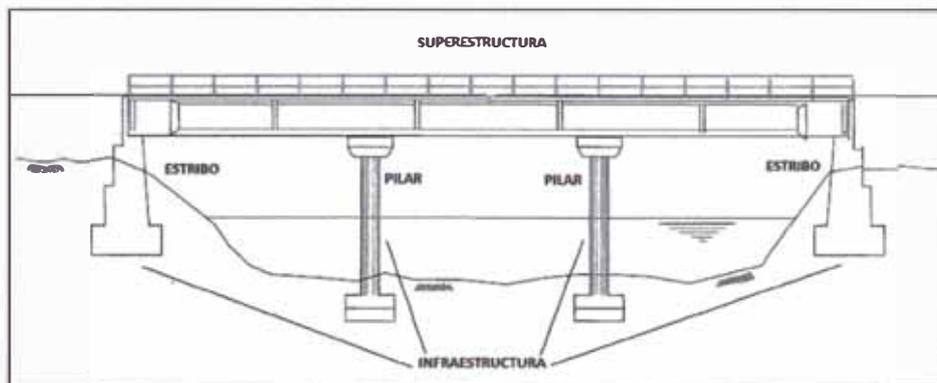


Figura N°1.2.- Partes conformantes de un puente típico de concreto.

b) ENCOFRADO

El encofrado es uno de los aspectos más importantes en la construcción tanto por los servicios que proporciona como por su costo, es una estructura auxiliar de obra, cuya finalidad es la retención y moldeado del concreto en su estado plástico o fresco, el cual tiene que ser capaz de resistir las diversas cargas que actúan sobre él, además de cumplir determinadas condiciones de funcionalidad, seguridad y economía.

Los encofrados se pueden clasificar según su constitución y según esta clasificación se dividen en tradicionales e industrializados.

-Encofrados tradicionales: los encofrados se realizaban en la obra utilizando tabloncillos, tornapuntas, etc. Los elementos que conforman

este tipo de sistemas se cortan a medida en la obra y se unen hasta que se consigue la forma del encofrado (ver figura N°1.3).



Figura N°1.3.- Encofrado tradicional de columnas a base de madera.
Fuente: Archivo Ulma Encofrados Perú.

-Encofrados industrializados: Hoy en día, se emplean sistemas industrializados, constituidos por piezas de formas y medidas predeterminadas, fabricadas de forma industrial, que se montan en la obra para configurar el encofrado. Entre ellos tenemos a los de tipo: modular, mecano o de forma y los encofrados perdidos (ver figura N°1.4).



Figura N°1.4.- Encofrado modular de columnas a base de paneles metálicos.
Fuente: Archivo Ulma Encofrados Perú.

c) FALSO PUENTE

El falso puente es una estructura temporal diseñada para proporcionar la rigidez y resistencia suficientes para soportar con seguridad todas las cargas impuestas y producir en la estructura final la geometría y las formas indicadas en los planos sin que se produzcan deformaciones ni asentamientos fuera de los permitidos.

Además brinda soporte al encofrado que recibirá el concreto de la superestructura. Generalmente es metálico o de madera. En la figura N°1.5 se puede apreciar un falso puente metálico.



Figura N°1.5.- Falso Puente del puente Santa Rosa- Proyecto Tren Eléctrico (Lima-Perú).
Fuente: Archivo Ulma Encofrados Perú.

1.1.1 CLASIFICACIÓN DE PUENTES.

Los puentes pueden ser clasificados según muchas características que presentan, entre las clasificaciones más comunes se tienen las siguientes:

a) Por su longitud:

- Puentes mayores, con luces de vano mayores a los 50 m (ver figura N° 1.6)
- Puentes menores, con luces entre 10 y 50 m.
- Alcantarillas con luces menores a 10 m.

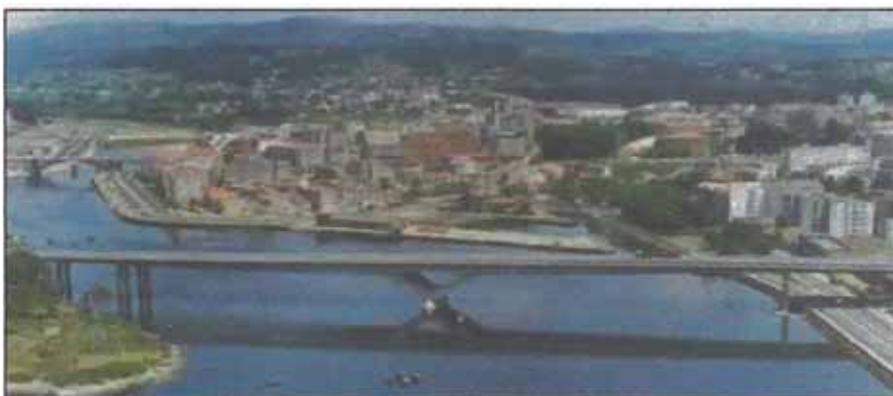


Figura N° 1.6.- Ponte Vedra (España).

b) Por el servicio que presta:

- Puentes camineros.
- Puentes ferroviarios. (ver figura N° 1.7)

- Puentes canal (para vías de navegación).
- Pasarelas (o puentes peatonales).
- Puentes mixtos (resultado de la combinación de casos).

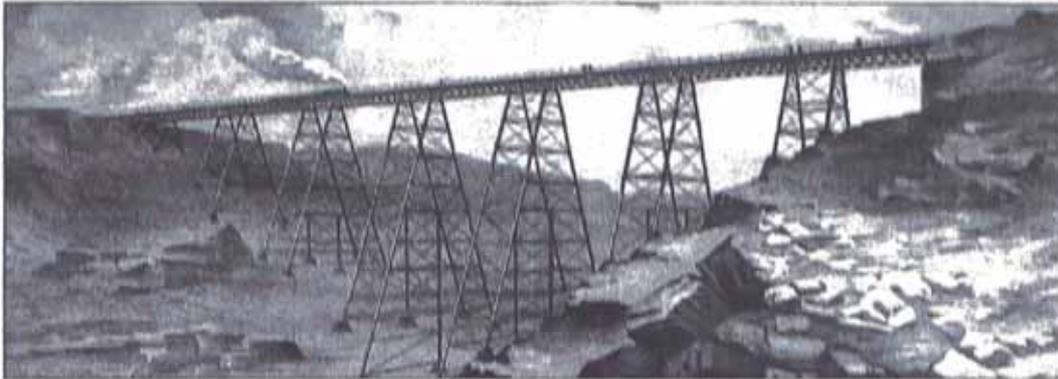


Figura N°1.7.- Viaducto Conchi (Chile).

c) Por el material del que se construye la superestructura:

- Puentes de madera.
- Puentes de mampostería. (ver figura N° 1.8)
- Puentes de mampostería de piedra.
- Puentes de concreto ciclópeo.
- Puentes de concreto armado.
- Puentes de sección mixta.
- Puentes metálicos.



Figura N°1.8.- Puente Göltzschtal (Alemania).

d) Por el Sistema Estructural:

- Puentes tipo losa.
- Puentes de vigas.
- Puentes reticulados.

- Puentes tipo arco. (ver figura N°1.9).
- Puentes atirantados.
- Puentes colgantes.

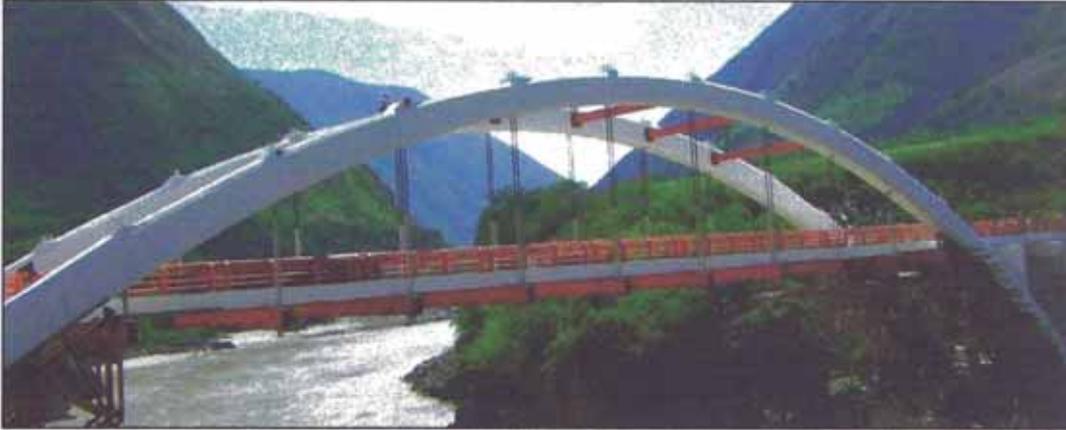


Figura N°1.9.- Puente arco intermedio "Salinas" (Amazonas- Perú).

e) Por el tipo de apoyo:

- Puentes isostáticos.
- Puentes hiperestáticos:

f) Por el tiempo de vida útil:

- Puentes provisionales: o temporales.
- Puentes definitivos.

1.1.2 TÉCNICAS CONSTRUCTIVAS Y SISTEMAS EMPLEADOS PARA SUPERESTRUCTURAS DE PUENTES.

La ingeniería en encofrados de puentes ha evolucionado en cuanto a la tecnología empleada; fue a finales del siglo XVII y la revolución de la construcción en el siglo XIX, cuando se notaron cambios debido al descubrimiento del cemento natural y artificial. Gracias a estudios llevados en Alemania, se empezó a difundir la construcción con concreto armado y se empezaron a buscar nuevos sistemas de encofrados, con lo que surge la necesidad de una especialización de los encofrados. Por ejemplo, en el año 1929 el primer intento de utilizar un sistema de encofrado para puentes tipo arco que sea diferente a los conocidos en esa época y que minorara el uso y costo de un sistema a base de cimbras de madera (sistema tradicional), se debe al sistema desarrollado por el ingeniero checo Joseph Melán; que consistía en

montar por voladizos sucesivos una autocimbra que era una celosía de cordones, montantes y diagonales; el sistema permitía la construcción de bóvedas de hormigón sin necesidad de cimbras de apeo montadas desde la parte baja del puente, sino que el cordón inferior de la celosía era la cimbra propiamente dicha (ver figura N°1.10). Los encofrados se colgaban de una estructura metálica, portante durante el hormigonado, que quedaba finalmente embebida dentro del hormigón; tuvo su aplicación en la construcción del puente Echelsbach de Alemania en el año 1929. El sistema se extendió por Europa y EEUU permitiendo la construcción de un gran número de puentes tipo arco.



Figura N°1.10.- Autocimbra del puente Echelsbach (Alemania-1929).

Con el correr de los años se desarrollaron otros sistemas para poder construir los puentes, los cuales cada vez presentan mayores exigencias constructivas como luces más grandes, mayores alturas y menores tiempos de ejecución. En el Perú el uso de encofrados modulares industrializados para la construcción de edificaciones y obras civiles como puentes, pontones, etc., se inicia con la aparición de la empresa inglesa ACROW en el año 1970; desde esa fecha han ingresado al mercado nacional empresas como: EFCO (U.S.A-1995), ULMA (España-2002), PERI (Alemania-2008) y DOKA (Austria-2011). Los principales sistemas de encofrados y falsos puentes utilizados en la actualidad para la construcción de puentes son:

a) SISTEMA TRADICIONAL A BASE DE MADERA

Representa una buena alternativa constructiva aún para muchos puentes, principalmente pequeños o pontones, el utilizar encofrados y estructuras de soporte y/o falso puente a base de madera. Sin embargo para puentes de

mayores dimensiones resulta improductiva su utilización debido a que presenta una serie de inconvenientes como son su escaso número de usos, la gran mano de obra requerida, la dificultad en el montaje, etc.

Para puentes de mayores dimensiones y grado de complejidad se pueden utilizar soluciones combinadas entre estructuras de soporte metálicas con estructuras y encofrados a base de madera.

En la figura N°1.11 se puede observar una aplicación de este sistema constructivo en el encofrado del puente "Tsejtsi" en Huancavelica; en una primera etapa se realizó el soporte del arco mediante un sistema de cimbras de apeo a base de madera pero apoyados sobre una celosía metálica (ver figura N°1.11 izquierda) y en una segunda etapa el soporte del tablero de rodadura se realizó solo con el sistema de cimbras a base de madera pero apoyados sobre el arco de concreto ya construido en la etapa anterior (ver figura N°1.11 derecha).



Figura N°1.11.- Soporte y encofrado de madera del puente "Tsejtsi"- Huancavelica (Perú).
Fuente: Ramírez Goicochea

b) SISTEMA DE SOPORTE Y ENCOFRADOS METÁLICOS

Sistemas de gran demanda en la actualidad debido al gran número de empresas especialistas en encofrados que se encuentran en nuestro medio y que han traído al mercado nuevos sistemas con piezas metálicas estandarizadas para dar solución rápida y sencilla a diversos tipos de estructuras, y que además por el material del que están hechas presentan una gran cantidad de usos posibles.

Existen gran variedad de sistemas de apuntalamiento, encofrados y falsos puentes que se puede utilizar para la construcción de superestructuras de puentes. En la figura N°1.12 se muestra algunos ejemplos de ellos, en la parte izquierda se presenta un soporte o cimbras de apeo con puntales metálicos y en la parte derecha un soporte con cerchas (estructura de celosía) metálicas.

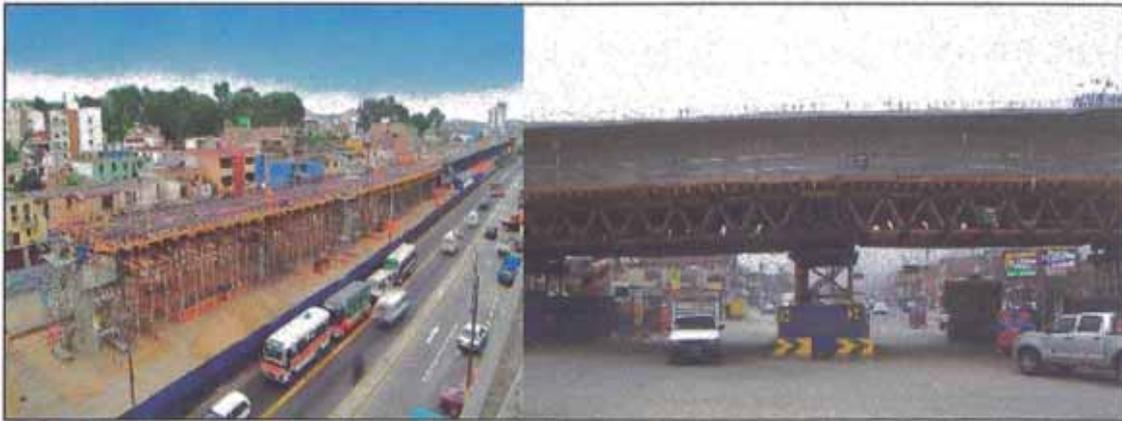


Figura N°1.12.- Proyecto Tren Eléctrico Línea 1 Tramo 2 (Lima- Perú).
Fuente: Archivo Ulma Encofrados Perú.

c) SISTEMA DE VIGAS DE LANZAMIENTO

Quando se tiene viaductos o puentes de varios tramos se puede utilizar el sistema de vigas lanzadas, el cual consiste en el desplazamiento horizontal de secciones prefabricadas (vigas o dovelas) de un puente. Para ello se utiliza una viga lanzadora que cubre la distancia entre un estribo y la pila más próxima o entre dos pilas sucesivas. A través de esta lanzadora se desplazan los elementos hasta que son colocados en su posición definitiva. En la figura N°1.13 se puede apreciar la configuración de las vigas de lanzamiento (cerchas metálicas) para el desplazamiento de las vigas prefabricadas del puente Chino, Carretera Tingo María, Aguaytía- Perú.

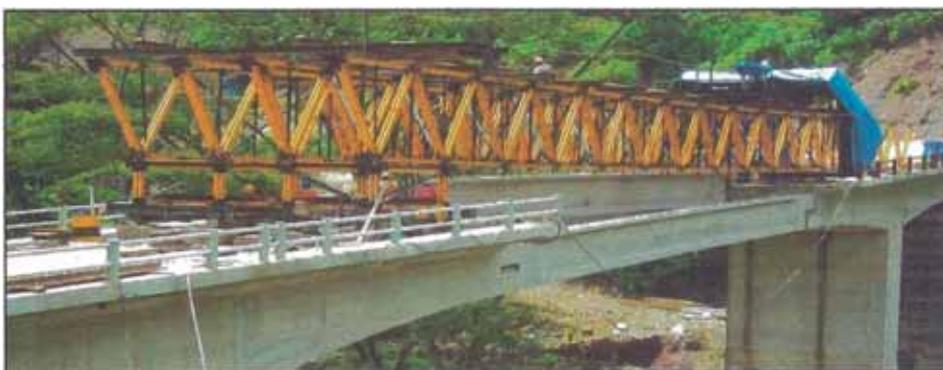


Figura N°1.13.- Sistema de vigas de lanzamiento - puente Chino (Aguaytia- Perú).
Fuente: Archivo Ulma Encofrados Perú.

d) CARROS DE AVANCE

.Los carros de avance son estructuras metálicas móviles que sirven para la ejecución de una dovela de puente mediante el procedimiento de avance en voladizos sucesivos. Las dovelas tienen por lo general una longitud aproximada

de 5 m. El carro de avance se apoya en la parte ya ejecutada del puente y permite disponer el encofrado para ejecutar la siguiente dovela. Una vez ejecutada la dovela se desplaza para continuar avanzando. El ciclo de ejecución de una dovela dura generalmente una semana e incluye las fases de: desplazamiento del carro, ajuste del encofrado, colocación de ferrallado y postensado, vaciado del concreto, endurecimiento, tesado del postensado, y finalmente vuelve a comenzar el ciclo con el desplazamiento del carro a la siguiente dovela. Dicho carro está constituido por una estructura metálica móvil que incorpora los encofrados, así como plataformas de trabajo y protección.

Este sistema permite obtener secciones incluso con inclinación variable como es el caso de los puentes en arco. Dicho sistema es muy utilizado cuando se requiere cubrir grandes alturas y/o grandes luces. En la figura N°1.14 se puede apreciar el trabajo con este sistema de carros de avance empleados en la construcción del puente Huáscar sobre el río Rímac y la vía de Evitamiento.



Figura N°1.14.- Sistema de carros de avance- Metro de Lima (Perú).
Fuente: Archivo Ulma Encofrados Perú.

El presente informe estudiará en detalle los sistemas planteados en el ítem “b” SISTEMA DE SOPORTE Y ENCOFRADOS METÁLICOS dada su alta utilización en los puentes que se construyen actualmente en nuestro país.

1.2 NORMATIVIDAD Y REGLAMENTACIÓN

Para un adecuado uso de los diversos criterios en la ingeniería de puentes se requiere normar y reglamentar los diversos procedimientos a utilizar, tanto en los diseños, procesos constructivos, materiales a utilizar, etc. Con referencia a ello y según la etapa del Proyecto podemos apoyarnos en la siguiente normatividad:

1.2.1 AASHTO LRFD Bridge Design Specifications.

De la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), dicha entidad norteamericana presenta y explica los diversos criterios a tomar en cuenta para el análisis, diseño y construcción de los puentes, siendo una reglamentación muy utilizada no solo en el ámbito norteamericano sino seguida también por muchos otros países a nivel mundial, siendo el Perú uno de ellos.

1.2.2 MANUAL DE DISEÑO DE PUENTES.

Elaborado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) en el año 2003, es la principal guía a seguir para la elaboración de proyectos de puentes en nuestro país, presenta los criterios y requerimientos mínimos necesarios para el análisis, diseño y construcción de puentes carreteros y peatonales.

En su mayor parte en los aspectos referidos al análisis y diseño es una adaptación de las especificaciones de la AASHTO que son las que tradicionalmente se han venido utilizando en nuestro medio.

1.2.3 NORMAS UNE-EN (UNA NORMA ESPAÑOLA – NORMA EUROPEA).

Son normas españolas elaboradas por los comités técnicos de normalización (CTN). Los sistemas de encofrados modulares presentados en éste informe, son de procedencia de la empresa española ULMA CONSTRUCCIÓN, cuentan con una serie de componentes y piezas para los cuales se ha seguido los criterios dados por las diversas normas UNE-EN para su fabricación, configuración y lograr su posterior certificación, que le permita dar el respaldo adecuado para las diversas obras en donde serán utilizadas.

Se debe aclarar que los diversos sistemas de encofrados para superestructuras de puentes aquí presentados deben adecuarse a los criterios de cálculo y demás observaciones dados por la normatividad local de cada país.

1.3 FALSOS PUENTES

Como se definió anteriormente un falso puente es una estructura encargada de dar soporte temporal a los diversos elementos componentes de la superestructura de un puente. El Manual de Diseño de Puentes nos presenta las siguientes recomendaciones para su adecuada utilización:

1.3.1 CARGAS DE DISEÑO.

La carga de diseño de un falso puente será la suma de las cargas verticales muertas (considerando vigas, losas, veredas, peso propio del falso puente, equipos fijos a emplear), sobrecargas (de personal, equipos en movimiento) y la carga horizontal prevista (por efectos de viento u otros agentes según sea el caso) además de considerar y tener en cuenta para el diseño las diversas etapas de construcción en las cuales la estructura del falso puente será exigida.

1.3.2 MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

Se permite que el falso puente pueda ser construido de madera, acero o cualquier otro material que proporcione la rigidez y resistencias requeridas con el fin de alcanzar la geometría y las formas indicadas en los planos de diseño. En la figura N°1.15 se puede apreciar un falso puente metálico estructurado para la construcción del puente Tingo del proyecto de la Carretera Interoceánica Norte, Perú.



Figura N°1.15.- Falso puente de cercha metálica del puente Tingo – Amazonas (Perú).
Fuente: Archivo Ulma Encofrados Perú.

1.3.3 CONSTRUCCIÓN.

El falso puente deberá ser construido de forma que disponga de la contraflecha indicada en los planos, además deberá estar convenientemente arriostrada y colocada para evitar desplazamientos y asentamientos que pudiesen perjudicar la forma final de los diversos elementos.

1.3.4 RETIRO DEL FALSO PUENTE

Una vez retirados todos los encofrados soportados por el falso puente y no antes de veintidós días después de llenado el concreto será retirado el falso puente, a menos que se estipule otro plazo en coordinación contratista-supervisión y/o se utilicen aditivos acelerantes que permitan desencofrados en menor tiempo.

1.4 ESTUDIOS NECESARIOS

Para la elaboración de proyectos de puentes se requiere una gran cantidad de estudios para poder determinar los diversos parámetros requeridos para el diseño final, estos son los estudios topográficos, hidrología e hidráulica, geológicos y geotécnicos, de riesgo sísmico, de impacto ambiental, de tráfico, de trazo y diseño vial, etc. dependiendo de cada caso en particular.

Para determinar el mejor sistema de falso puente y encofrados en puentes se requiere básicamente los estudios topográficos, y en el caso de puentes que cruzan ríos o quebrada los estudios de hidrología, hidráulica y geotecnia.

1.4.1 ESTUDIOS TOPOGRÁFICOS

Son indispensables para la elección del sistema estructural del falso puente a emplear durante el proceso constructivo de la superestructura, además de obtener información de las cotas donde se puede proyectar el diseño del apoyo del falso puente, es importante en estos estudios incluir las cotas de fondo de la quebrada o río y los límites de las zonas inundables.

1.4.2 ESTUDIOS DE HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

De ellos obtendremos información de los niveles de agua en las secciones del río en las diversas temporadas del año, dicho estudio deberá indicar claramente los periodos de sequía y de avenidas para poder decidir la época de ejecución, los procesos constructivos a emplear y la posibilidad de reencauzamiento del río.

1.4.3 ESTUDIOS DE GEOTECNIA

Se requiere conocer las características físicas y mecánicas de los suelos para determinar si se puede realizar una colocación directa o se requerirá de un apoyo de concreto que distribuya mejor las cargas provenientes del falso puente.

1.4.4 ESTUDIOS DE RIESGO SÍSMICO.

Nos brindan los espectros de diseño que definen la componente horizontal y vertical del sismo, al nivel de la cota de cimentación. El alcance de estos estudios depende de la zona sísmica donde se ubique estructura, el tipo y la longitud del puente.

CAPÍTULO II

CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LOS ELEMENTOS DE LOS SISTEMAS DE ENCOFRADOS MODULARES PARA SUPERESTRUCTURAS DE PUENTES.

En este capítulo se presentan los sistemas de encofrados modulares más utilizados en la construcción de superestructuras de puentes en nuestro país, tanto en el sistema de encofrados a base de madera como encofrados metálicos. Los sistemas de encofrados mostrados a continuación pertenecen al grupo de encofrados modulares distribuidos por la empresa Ulma Perú Encofrados que es una filial de la casa matriz de Ulma Construcción España. Los valores de esfuerzos admisibles de los diversos elementos presentados corresponden a resultados de numerosas pruebas realizadas por los proveedores de los diversos elementos y por la misma Ulma Construcción.

2.1 ENCOFRADOS MODULARES A BASE DE MADERA

2.1.1 SISTEMA DE VIGAS DE MADERA VM-20

DEFINICIÓN.

Las vigas de madera VM-20 se emplean para encofrados verticales y horizontales. Son elementos estructurales que van a resistir fuerzas cortantes y momentos flectores. Esta viga de madera tiene una sección en forma de "I" con un alto de 200 mm y un ancho de 80 mm. En la figura N°2.1 se puede apreciar la sección típica de una viga VM-20.

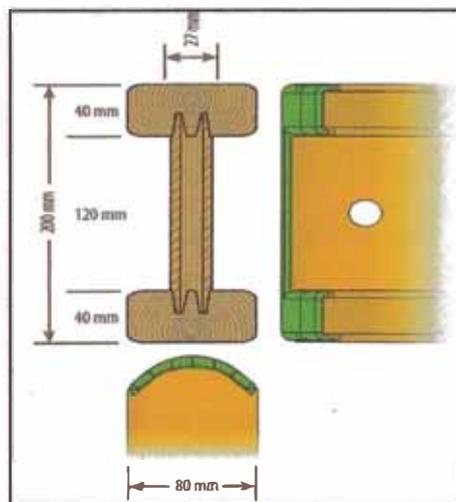


Figura N°2.1.- Vigas de madera VM-20.
Fuente: Catalogo General de Ulma Encofrados Perú.

CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES.

Las capacidades admisibles de las vigas VM-20 se muestran a continuación en el cuadro N°2.1.

Cuadro N°2.1.- Capacidades admisibles de la viga VM-20

Elemento	Momento Admisible (ton. m)	Corte Admisible (ton)
Viga VM-20	0.50	1.10

Fuente: Manual de Aplicación General del Departamento Técnico Ulma Perú.

2.2 SISTEMAS DE ENCOFRADOS MODULARES METÁLICOS.

2.2.1 SISTEMA MANUPORTABLE COMAIN.

DEFINICIÓN.

El sistema COMAIN es un encofrado manuportable ligero que puede ser manejado por un sólo operario lo que permite su utilización sin necesidad del empleo de grúa. Este peso (31 kg/m²), se debe a la combinación del metal, para los elementos de la estructura, y un tablero de madera con cubierta fenólica, para el contacto con el concreto. En la figura N°2.2 se puede observar Sistema manuportable COMAIN para encofrado de muros.



Figura N°2.2.- Sistema manuportable COMAIN.

Fuente: Archivo Ulma Encofrados Perú.

CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES.

- Está diseñado para soportar una presión de concreto igual a **4.0 ton/m²**.
- La unión entre ambas caras de los paneles se hace mediante barras de rosca rápida de gran resistencia (9.00 ton como máximo a tracción), denominadas tirantes, que pasan por unos orificios que tiene el panel para tal fin.

- Las piezas de unión del sistema COMAIN, cerrojo y tuerca placa fija, están diseñadas para permitir su fijación sólo con el empleo de un martillo, sin necesidad de que el operario use herramientas especiales.

2.2.2 SISTEMA MULTIDIRECCIONAL BRIO.

DEFINICIÓN.

El sistema multidireccional BRIO está formado por un conjunto de elementos que cumplen funciones de soporte y apuntalamiento de estructuras horizontales (como losas o tableros de puentes) o inclinadas. En la figura N°2.3 se puede apreciar el sistema BRIO como soporte del tablero de un puente.

La gran ventaja de este sistema de soporte es su poco peso en comparación con otros sistemas, lo que le da mayor versatilidad, permitiéndole alcanzar grandes y pequeñas alturas.



Figura N°2.3.-Sistema BRIO como cimbra de apeo del encofrado.
Fuente: Archivo Ulma Encofrados Perú.

El sistema BRIO es una cimbra de apeo formado principalmente por elementos tubulares de acero galvanizado. Su estructura básica está formada por elementos de apoyo denominados husillos, elementos verticales denominados pies, elementos horizontales denominados brazos y elementos verticales inclinados denominados diagonales, estos elementos en conjunto forman la estructura del sistema BRÍO, la cual es una estructura rígida capaz de soportar cargas horizontales y verticales. Una característica importante del sistema BRÍO es el nudo mediante el cual se unen los brazos, diagonales y otros accesorios a los pies. En la figura N°2.4 se puede apreciar el nudo BRIO.



Figura N°2.4.- Nudo BRÍO.
Fuente: Guía de usuario BRÍO.

COMPONENTES PRINCIPALES DEL SISTEMA

El sistema está formado principalmente por los siguientes elementos:

a) HUSILLO CON PLACA

Es un elemento que sirve para nivelar y realizar el ajuste del sistema al nivel requerido. Es el encargado de transmitir al suelo las cargas verticales de la estructura soportada. Está formado por una barra roscada y un regulador. Este elemento viene en tamaños de 0.50 m y 1.0 m de longitud.

b) CABEZAL CON HUSILLO

Este elemento se coloca en la parte superior de la cimbra sobre el pie vertical y permite unir el soporte BRÍO con las vigas VM-20 del encofrado de la losa. El husillo presenta un regulador que permite obtener la altura deseada en el encofrado, posteriormente al vaciado permite realizar el desencofrado. Se comercializa en longitudes de 0.50 y 1.00 metros de longitud. En la parte izquierda de la figura N°2.5 se puede apreciar el husillo con placa y la parte derecha el cabezal con husillo.

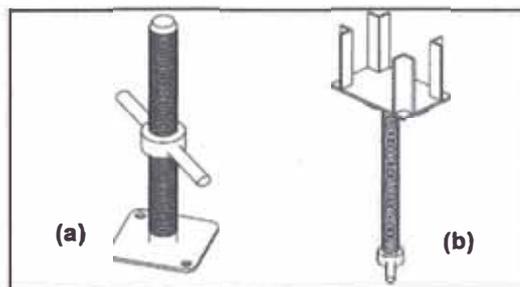


Figura N°2.5.- Husillo con placa (a) y cabezal con husillo (b).
Fuente: Guía de usuario BRÍO.

c) PIE VERTICAL

Es el elemento estructural del soporte encargado de recibir las cargas de la estructura encofrada y entregársela a los husillos con placa en la base, está constituido por un tubo de acero galvanizado de 48.3 mm, de diámetro y espesor

3.1 mm, presenta discos cada 50 cm que permiten la salida de elementos horizontales y diagonales en ocho direcciones diferentes. Los pies verticales se comercializan en los tamaños de 0.50, 1.00, 1.50, 2.00 y 3.00 metros de longitud, lo que hace que en combinación podamos alcanzar cualquier altura requerida en un determinado proyecto.

d) BRAZO HORIZONTAL

Es el elemento estructural en el plano horizontal. Está formado por un tubo de 48.3 mm de diámetro que cuenta en los extremos con unos soportes que junto con las cuñas permiten su fijación al pie a través de los orificios de los discos de éste. Sus medidas de comercialización son de 0.35, 0.70, 1.02, 1.50, 2.00, 2.50 y 3.00 metros de longitud. Los brazos permiten apoyar plataformas de trabajo.

e) DIAGONALES

Elemento estructural del soporte que permite el arriostramiento de los pies verticales. Están constituidos por un tubo de acero galvanizado de 48.3 mm de diámetro y 3.1 mm, de espesor.

En la figura N°2.6 se puede apreciar la disposición de los pies verticales, brazos horizontales y diagonales en la estructura de soporte BRIO.

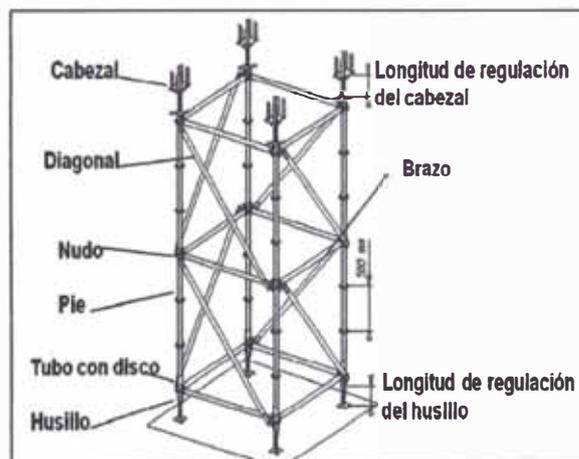


Figura N°2.6.- Isometría del sistema Multidireccional BRIO.
Fuente: Guía de usuario BRIO.

CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

La capacidad de carga del sistema está determinada por la carga recibida en los pies verticales y husillos. Se presentan a continuación las cargas admisibles de los principales componentes del sistema.

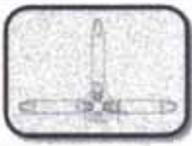
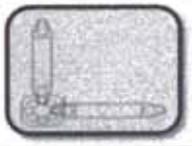
a) HUSILLO CON PLACA

Los husillos con placa utilizados tienen una longitud total de 0.50 y 1.00 metros, sin embargo en el momento de regulación sólo se permite utilizar el 50% de esta longitud para que logren desarrollar su máxima capacidad, con esto se logra obtener una capacidad de carga admisible de **5.0 toneladas**.

b) PIES VERTICALES

Los pies verticales tienen una capacidad de carga a compresión que depende principalmente de su arriostramiento en altura y en planta, en el cuadro N°2.2 se puede apreciar los valores de capacidad de carga admisible de los pies verticales en función de su configuración.

Cuadro N°2.2.- Capacidad admisible pie BRIO

PIE VERTICAL (MAX.CAPAC.AXIAL)		
PLANTA	ARRIOSTRE EN ALTURA (h)	
	1.50 M.	2.00 M.
 ARRIOSTRE 4 SENTIDOS	5.00 Tn.	2.50 Tn.
 ARRIOSTRE 3 SENTIDOS	4.30 Tn.	2.30 Tn.
 ARRIOSTRE 2 SENTIDOS	4.10 Tn.	2.10 Tn.

Fuente: Manual de Aplicación General del Departamento Técnico Ulma Perú.

c) BRAZOS HORIZONTALES

Los brazos cumplen la función de arriostar horizontalmente los nudos y también de soportar si fuera el caso plataformas de trabajo.

2.2.3 PUNTALES Y TORRES ALUPROP

DEFINICIÓN

El sistema Aluprop está diseñado como sistema de apuntalamiento de gran capacidad de carga para encofrados horizontales. Está compuesto por una variedad de puntales de aluminio y marcos de arriostramiento, además de otros accesorios los cuales permiten alcanzar hasta una altura máxima de 12 metros utilizándolos superpuestos. El puntal Aluprop puede utilizarse como puntal individual o formando torres mediante los marcos de arriostramiento.

En la figura N°2.7 se aprecia el uso de las torres Aluprop como sistema de apuntalamiento para las superestructuras de puentes del proyecto Tren Eléctrico Línea 1 Tramo 2 (Lima-Perú).



Figura N°2.7.-Torres Aluprop como soporte del encofrado horizontal- Tren Eléctrico.
Fuente: Archivo Ulma Encofrados Perú.

COMPONENTES PRINCIPALES DEL SISTEMA

El sistema Aluprop presenta los siguientes elementos principales:

a) PUNTAL ALUPROP

Es el elemento principal del sistema, está fabricado en aluminio y permite dar soporte a encofrados de estructuras horizontales o inclinadas. Presenta en su estructura un tubo exterior (112 mm de diámetro) y uno interior (95 mm de diámetro), los cuales permiten la regulación en altura, el tubo exterior presenta una forma especial que permite la colocación de los marcos de arriostramiento mediante una garra abrazadera. En el cuadro N°2.3 se muestran las dimensiones longitudinales de comercialización del puntal y los rangos de altura que estos nos permiten alcanzar. En la parte superior del puntal para recibir las vigas del encofrado horizontal se puede utilizar el cabezal con husillo o cabezal sencillo.

Cuadro N°2.3.- Dimensiones de los puntales Aluprop.

NOMBRE DEL PUNTAL	Longitud mínima (mm.)	Longitud máxima (mm.)
ALUPROP 1,65-2,8	1650	2800
ALUPROP 2,2-3,7	2200	3700
ALUPROP 3,3-4,8	3300	4800
ALUPROP 4,5-6,0	4500	6000

Fuente: Manual de Aplicación General del Departamento Técnico Ulma Perú.

En la figura N°2.8 se muestran los componentes del puntal Aluprop.

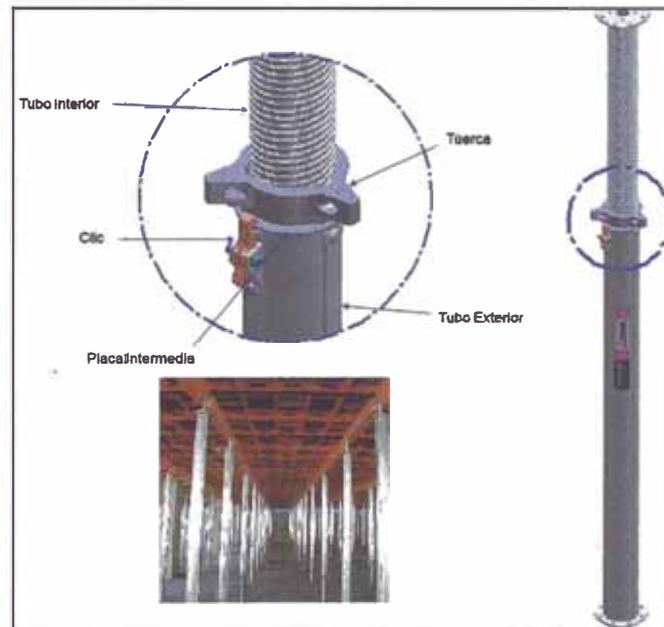


Figura N°2.8.- Componentes del puntal Aluprop.

Fuente: Guía de usuario ALUPROP.

b) MARCOS DE ARRIOSTRAMIENTO.

El marco de arriostramiento está formado por tubos de acero e incluye cuatro garras con cuña que sirven para abrazar el tubo exterior del puntal. Los marcos de arriostramiento permiten que los puntales puedan desarrollar mayores capacidades de resistencia debido a que evitan el efecto de pandeo lateral. Existen cinco medidas de marcos de arriostramiento: 2.32m, 2.075m, 1.57m, 1.50 m y 0.75 m. En la figura N°2.9 se muestra un marco de arriostramiento.

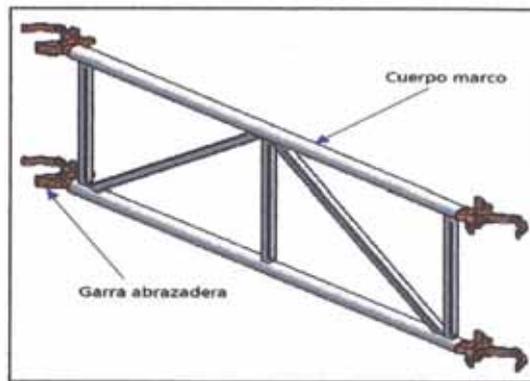


Figura N°2.9.- Marco de arriostramiento.
Fuente: Guía de usuario ALUPROP.

CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

La capacidad admisible del puntal Aluprop depende del tamaño del puntal utilizado y de la elongación que presente cuando trabaja individualmente o como torre Aluprop con marcos de arriostramiento, también depende de la cantidad de marcos utilizados en altura.

Las cargas admisibles de los puntales Aluprop se muestran en el anexo N°4 y dependerán de la ubicación del tubo interior (TI), si se encuentra en la parte inferior o en la parte superior. Presenta mayores valores de resistencia cuando el tubo interior se encuentra en la parte superior, sin embargo es práctica común ubicarlos en la parte inferior para poder realizar de forma más sencilla la regulación del puntal al encofrar y posteriormente para el desencofrado.

Las cargas admisibles en el caso de las torres Aluprop también se presentan en el anexo N°4, ellas además dependerán de los marcos de arriostramiento utilizados y de las condiciones de viento.

En general los puntales Aluprop logran desarrollar capacidades de carga que van desde los **2.39 ton** hasta los **15.12 ton**.

2.2.4 SISTEMA MK

DEFINICIÓN

El sistema MK es un producto diseñado para ser utilizado como estructura de soporte de gran capacidad portante, generalmente destinadas a aplicaciones en el ámbito de las obras civiles. El sistema MK está formado por elementos denominados “**riostros MK**” de variadas longitudes y diversos accesorios que permiten configurar estructuras según el requerimiento que se presente para cada proyecto. Para los soportes de superestructuras de puentes (losas, vigas, arcos, etc.) se usa generalmente el sistema MK en los falsos puentes, en ellos

se distinguen cerchas y cimbras. Las cerchas o armaduras son los soportes directos de la superestructura las cuales se apoyan en torres o cimbras. Para el encofrado (molde directo) de los elementos como la losa, vigas, etc. se puede recurrir al uso de madera o variados sistemas de encofrados metálicos horizontales.

La principal característica de este sistema es su versatilidad en la solución de diversos problemas de encofrados. El sistema se puede configurar para obtener estructuras tipo pórticos, tipo carros, tipo túnel, para soporte de cargas o apuntalamiento, encofrados horizontales o verticales, tipo consolas de trepado, protección de fachadas, etc.

USOS EN SUPERESTRUCTURAS DE PUENTES

a) CERCHAS MK

Las cerchas MK son armaduras diseñadas para desarrollar gran capacidad portante, logrando cubrir importantes luces. Según el requerimiento de cargas a soportar y luz del tramo del puente se pueden usar distintas configuraciones de cerchas MK, se caracterizan por tener generalmente formas triangulares equiláteras de longitudes variables que se forman mediante las riostras MK y los nudos MK en el eje principal de carga. Normalmente están arriostradas entre sí mediante tubos.

En la figura N°2.10 se muestra un conjunto de cerchas MK actuando como falso puente de una superestructura, las cerchas siempre se montan en pares y su montaje generalmente se realiza apoyado con grúas.



Figura N°2.10.- Montaje de Cerchas MK.
Fuente: Archivo Ulma Encofrados Perú.

b) CIMBRAS MK

Las cimbras MK son torres diseñadas para soportar gran capacidad de carga generalmente a compresión debido a que soportan las reacciones transmitidas por las cerchas MK. Las cimbras MK se forman mediante la unión de riostras MK y diversos accesorios que permiten conseguir torres de diversas alturas. De acuerdo a la carga a soportar generalmente se emplean dos tipos de cimbras, la cimbra MK-360 y la cimbra MK-150, la primera presenta una capacidad de carga situada en torno a los 25-36 ton, la segunda solo llega a soportar entre 10-15 ton, estos valores dependen de variables como la altura de la torre, su configuración, condiciones de viento y esfuerzos laterales.

En la figura N°2.11 se muestra un apeo de encofrado en viaducto con torres de Cimbra MK-360, ancladas a las zapatas y con plataformas de trabajo en la parte superior para labores de encofrado.



Figura N°2.11.- Cimbras MK-360.
Fuente: Archivo Ulma Encofrados Perú.

COMPONENTES DEL SISTEMA

El sistema MK posee gran cantidad de elementos y accesorios que permiten dar solución a muy variados problemas en las obras civiles como ya se ha mencionado.

a) RIOSTRAS MK-120

Se trata del elemento básico para todas las aplicaciones del sistema MK. La riostra está formada por la unión de dos perfiles UPN-120. Dichos perfiles presentan perforaciones que sirven para conectar los diversos accesorios con los que cuenta el sistema, las riostras MK presentan longitudes que varían en 125 mm y sus tamaños de comercialización varían desde 0.875 m hasta los 8.75 m. El nombre MK-120 viene dado por la altura del perfil (120 mm), el

sistema también cuenta con perfiles MK-180 (altura de perfil de 180 mm) y perfiles MK-240 (altura de perfil de 240 mm). Las dimensiones de la riostra MK-120 se muestran en la figura N°2.12.

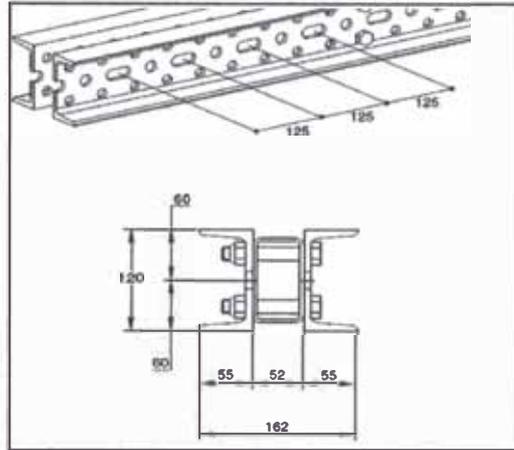


Figura N°2.12.- Dimensiones de riostra MK-120 (mm).
Fuente: Guía de usuario Estructura MK.

b) NUDOS MK

Utilizados para la configuración de las cerchas MK. Los nudos son elementos compuestos por planchas metálicas encargados de unir las diversas riostras en la cercha. Estos elementos permiten configuraciones de cerchas en triángulos cada 60°. Así el sistema presenta nudos de 360°, 180°, 120°, 90° y 60°. la unión entre nudo y riostra se da con tornillos y tuercas del sistema, generalmente con seis unidades. En la figura N°2.13 se muestran los nudos MK en la cerchas.

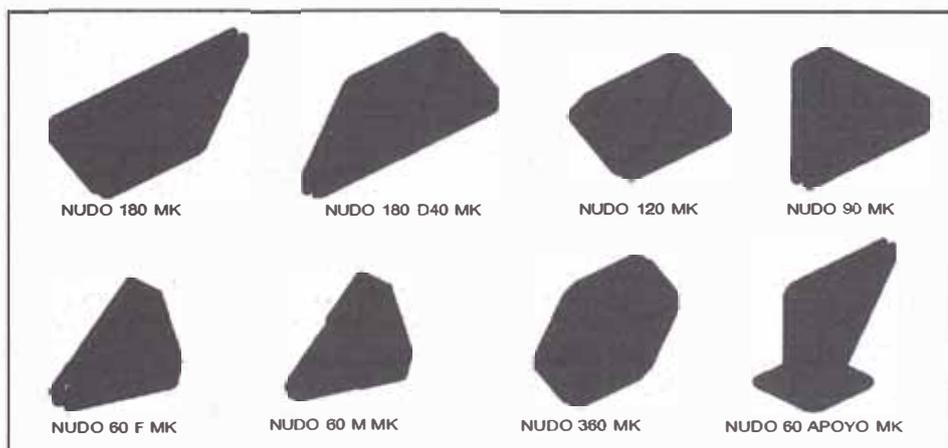


Figura N°2.13.- Nudos MK.
Fuente: Guía de usuario Estructura MK.

c) TENSORES

Sirven para dar mayor capacidad de carga a las cerchas en ubicaciones donde, debido a las cargas actuantes, se requiere colocar refuerzo. También se utilizan para el arriostamiento entre cerchas. Comercialmente se les conoce como tensores-E. En la figura N°2.14 se puede apreciar una isometría de este elemento.



Figura N°2.14.- Tensor - E.
Fuente: Guía de usuario Estructura MK.

d) UNIONES Y ELEMENTOS DE ARRIOSTRAMIENTO

Son elementos que sirven para unir distintos elementos entre sí y arriostar adecuadamente a las cerchas y a las cimbras MK, pues un buen arriostamiento permite que los diversos elementos logren desarrollar toda su capacidad. Los principales elementos para el arrioste son las montantes y diagonales MK, las cuales se unen a las riostras mediante conectores llamados unión de eje secundario MK y unión de eje secundario terminal MK entre otros accesorios.

En la figura N°2.15 se aprecia los principales elementos utilizados para el arriostamiento de cerchas y cimbras MK.



Figura N°2.15.- Principales elementos de arriostamiento.
Fuente: Guía de usuario Estructura MK.

e) ACCESORIOS BASE-CUERPO-CABEZA DE LAS CIMBRAS MK

Son elementos que permiten dar la configuración a las cimbras MK utilizadas en los falsos puentes, nos permiten unir los distintos elementos y darles continuidad. También se incluyen en este grupo los elementos que permiten la

nivelación y el desencofrado de las estructuras a encofrar. En la figura N°2.16 se muestra los principales elementos en la configuración de cimbras MK, los husillos base para nivelación, los perfiles husillo y de arriostramiento en la base y cabeza de la torre para el adecuado arriostramiento y transmisión de cargas y la unión testa MK que une el cuerpo de la torre con la base y la cabeza.

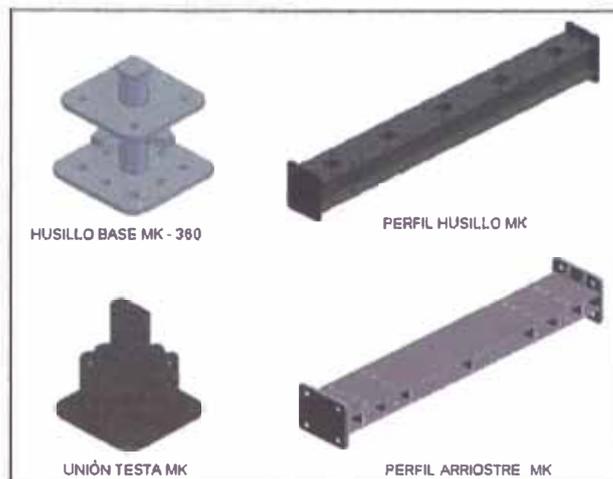


Figura N°2.16.- Principales elementos de la base-cuerpo-cabeza de cimbras MK.
Fuente: Guía de usuario Estructura MK.

En la figura N°2.17 se presentan los diversos elementos mencionados configurando una cercha MK típicamente utilizada para el soporte de estructuras.

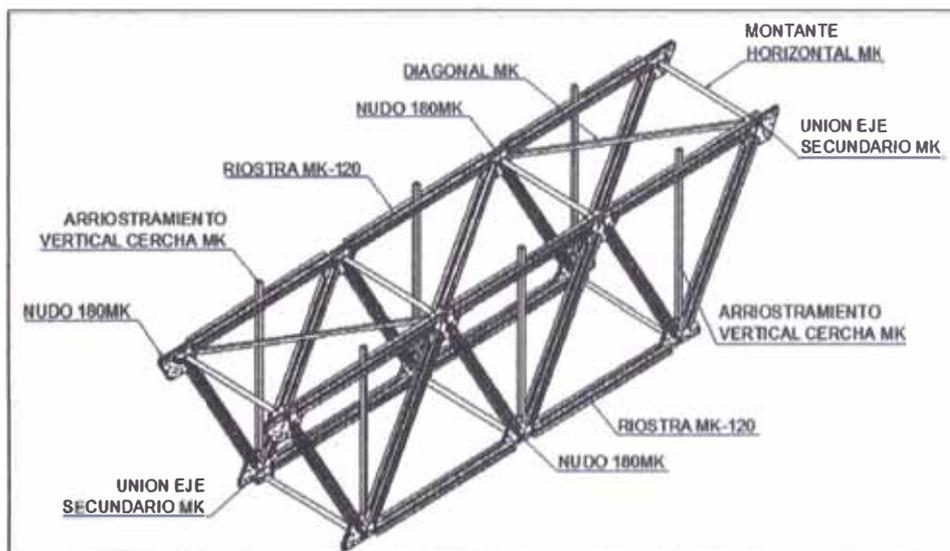


Figura N°2.17.- Isometría de cercha MK.
Fuente: Guía de usuario Estructura MK.

En la figura N°2.18 se presenta los elementos comúnmente empleados en la configuración de cimbras MK.

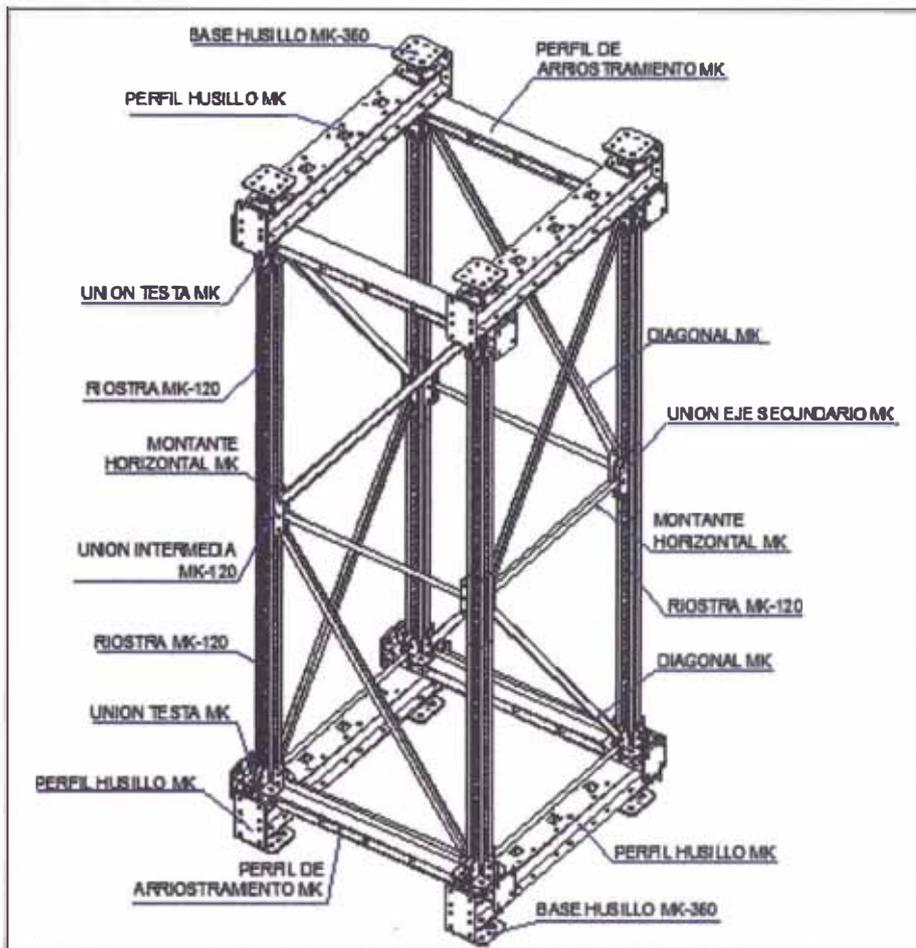


Figura N°2.18.- Isometría de cimbra MK.
Fuente: Guía de usuario Estructura MK.

CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES

Las diversas estructuras conformadas con el sistema MK siempre deben ser analizadas para verificar que las capacidades resistentes de sus elementos superen a las cargas actuantes. El criterio de análisis utilizado es el de esfuerzos admisibles considerando las cargas de servicio actuantes. En el anexo N°04 se presentan cuadros con las estructuras típicas de cerchas, cimbras MK y sus cargas resistentes de acuerdo a su configuración, magnitudes y posiciones de las cargas, presentadas en los manuales de diseño de los productos.

Las riostras MK presentan alta resistencia a los esfuerzos de compresión, tracción, esfuerzos cortantes y momentos flectores. En el cuadro N°2.4 se presenta la carga a compresión admisible de una riostra MK-120, dicho valor depende de la longitud libre de la riostra, cuando menor sea esta longitud, es decir, tenga un mayor arriostramiento, la riostra podrá desarrollar mayor capacidad de carga a compresión.

Cuadro N°2.4.- Capacidad admisible a compresión de una riostra MK-120

Longitud Libre (m)	Carga a Compresión (ton)
1.50	36.00
2.00	33.60
2.50	28.70
3.00	24.00

Fuente: Manual de Aplicación General del Departamento Técnico Ulma Perú.

Para poder alcanzar la resistencia indicada en el cuadro N°2.4, la unión riostra MK – nudo MK deberá tener 6 tornillos de conexión necesariamente. En el cuadro N°2.5 se presenta el momento flector y fuerza cortante resistente de la riostra MK-120.

Cuadro N°2.5.- Momento flector y fuerza cortante admisible de la riostra MK-120

Elemento	Momento Admisible (ton. m)	Corte Admisible (ton)
RIOSTRA MK-120	1.89	14.00

Fuente: Manual de Aplicación General del Departamento Técnico Ulma Perú.

En las cimbras MK el elemento limitante en la capacidad de carga admisible es el husillo base, se comercializan el husillo base 360 MK y el husillo base 150 MK, el primero con una capacidad máxima de carga de 36 ton. y el segundo de 15 ton. Adicionalmente se deberá verificar cada uno de los elementos componentes de las cerchas MK y de las cimbras MK para poder dar conformidad a la modulación realizada.

2.3 CONSIDERACIONES PARA LA ELECCIÓN DE UN SISTEMA DE ENCOFRADOS PARA SUPERESTRUCTURAS DE PUENTES

El diseño y construcción empleado para un puente es único e irreplicable para otro puente, son muchas las variables que hacen que los diseños y procesos de construcción varíen de un puente a otro, de manera que no se pretende aquí establecer una relación rígida entre un tipo de puente y el sistema de soporte de encofrado a utilizar, sin embargo se pueden plantear lineamientos en base a experiencias ya realizadas sobre el sistema constructivo a emplear para encofrar la superestructura de un puente.

Las principales variables a tomar en cuenta en el momento de seleccionar el sistema de soporte y encofrado para la superestructura de un puente son:

2.3.1. LUZ DEL TRAMO Y TAMAÑO DEL PUENTE

El sistema de soporte dependerá de la luz del puente, dado que pequeñas luces pueden ser solucionadas con sistemas más sencillos que uno de grandes luces, además el tamaño del puente también representa un factor importante, si es un puente de muchos tramos que incluso puede tener tramos de luces pequeñas se debería pensar en un sistema modular que nos permita avanzar de forma rápida.

2.3.2. GÁLIBO

El gálibo también juega un papel fundamental en la elección del sistema de encofrado, cuando se tienen alturas demasiado grandes se descarta cualquier tipo de sistema con apuntalamientos y se utiliza principalmente los falsos puentes o los sistemas de carros de avance.

2.3.3. TIPO DE PUENTE

La geometría del puente también es un factor importante, según la superestructura tenga sección de losa, vigas "I", vigas "T", vigas cajón, sea un puente en arco, atirantado, aporticado, etc. se tendrá una determinada solución.

2.3.4. OBSTÁCULO A SALVAR

Es imprescindible conocer el obstáculo que se pretende salvar con la construcción del puente y la época en la que se llevará a cabo su construcción, en especial si se va a cruzar un río o quebrada, de eso dependerá el sistema de soporte a emplear, si lo que se va a cruzar es una vía de tráfico, se requerirá establecer si se puede cortar el tráfico durante la etapa de construcción o se plantea un sistema que permita desarrollar el tráfico normal mientras se construye el puente, con falsos puentes o carros de avance.

En el cuadro N°2.6 se plantean criterios y lineamientos para la elección de un sistema de encofrados para superestructuras de puentes de concreto en función de la luz del tramo a encofrar, del sistema de encofrado disponible que se podría utilizar y el tipo de puente, a su vez estas se refieren con observaciones que consideran las demás variables descritas anteriormente. Cabe indicar que en puentes de tamaños importantes se puede tener combinaciones de los diversos

sistemas, y apoyados de elementos de madera que permitan resolver situaciones particulares donde el empleo de sistema de encofrado modular no se justifique.

Cuadro N°2.6.- Recomendaciones para la elección del sistema de soporte

LUZ (m)	SISTEMA CONSTRUCTIVO					OBSERVACIÓN
	MADERA	METÁLICOS		CARROS/ VIGAS		
		CIMBRAS BRIO	TORRES ALUPROP	SISTEMA MK	VIGAS	
0-10	✓		✓			Para puentes tipo losa (montones) ⁽¹⁾
10-30		✓	✓		✓	Para puentes tipo: vigas T, T o cañón ⁽²⁾
30-50			✓		✓	Para puentes tipo: vigas T, T, cajón y arcos ⁽³⁾
> 50 o de varios tramos			✓		✓	Para puentes tipo: vigas cañón, arcos, atirantados y colgantes ⁽⁴⁾

(1) Generalmente para cruzar quebradas o vías de poco tráfico; se puede utilizar soporte a base de madera, sistema BRIO; y si la losa tiene un espesor considerable con altas cargas usar el sistema Aluprop.

(2) Generalmente usados para cruzar quebradas, ríos o vías de regular tráfico; se puede utilizar como estructura de soporte la cimbra BRIO o las torres Aluprop; en el caso que la construcción se realice en épocas de estiaje o se pueda catar el tráfico y establecer desvíos, caso contrario a las condiciones anteriores se deberá utilizar falsos puentes con el sistema MK y complementarlo con los sistemas mencionados inicialmente.

(3) Generalmente usados para cruzar ríos o vías de alto tráfico; se puede utilizar como estructura de soporte las torres Aluprop y la zona por donde cruza el río o por donde se dejara pasar el tráfico se utilizará un falso puente con el sistema MK o el apoyo de vigas de acero para el encofrado del tablero se recomienda usar el sistema BRIO y apoyarse con soluciones con madera.

(4) Generalmente usados para cruzar ríos caudalosos o vías de alto tráfico; si el puente es de un tramo se recomienda usar falsos puentes con estructuras del sistema MK (Cercha MK y Cimbras MK) y torres Aluprop, en puentes de varios tramos se puede emplear los sistemas de carro de avance o vigas de lanzamiento.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO III

ANÁLISIS Y APLICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ENCOFRADOS MODULARES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DEL PUENTE BAYOVAR – PROYECTO TREN ELÉCTRICO

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

3.1.1 GENERALIDADES

El proyecto de Transporte de Metro de Lima y Callao cuenta con un plan maestro de red básica compuesto por 5 líneas, las cuales cruzan de extremo a extremo la ciudad y están interconectadas entre sí. Dicho proyecto busca solucionar, apoyado con obras complementarias y reformas de transporte, el problema de transporte masivo en la ciudad de Lima. En la figura N°3.1 se muestra esta red.



Figura N°3.1.- Red básica de Metro de Lima.
Fuente: Consorcio Tren Eléctrico.

La Línea 1 del proyecto recorre desde el distrito de Villa el Salvador hasta San Juan de Lurigancho. La Línea 1 ha sido dividida en dos tramos, el primero de ellos ya se encuentra en funcionamiento y el segundo inicio su funcionamiento a mediados del año 2014. La Línea 1 tiene una longitud total de 33.88 Km cuenta con un patio taller para mantenimiento, un patio de maniobras, 26 estaciones de pasajeros, viaductos elevados, puentes en los cruces con avenidas principales y

dos puentes especiales uno sobre la Vía de Evitamiento (de 240 m de longitud) y el otro sobre el río Rímac (de 274 m de longitud). Se espera que el recorrido total de la Línea 1 se logre con una duración de 45 minutos.

En el distrito de San Juan de Lurigancho, todo el recorrido del tren es por la avenida Próceres de la Independencia, y en el cruce con la Avenida Héroes del Cenepa se encuentra la estación Bayovar y el puente con el mismo nombre. En la figura N°3.2 se muestra la ubicación del puente y las estaciones conformantes del tramo II de la Línea 1 del Proyecto Tren Eléctrico. El presente capítulo presentará los sistemas de encofrados modulares utilizados para la construcción de la superestructura del puente Bayovar, los planos y los cálculos justificatorios.



Figura N°3.2.- Ubicación del puente Bayovar.
Fuente: Consorcio Tren Eléctrico.

3.1.2 CARACTERÍSTICAS DEL PUENTE BAYOVAR

De acuerdo a la clasificación de los tipos de puentes presentados en el capítulo el puente Bayovar se puede clasificar según como lo describe el cuadro N°3.1. Es un puente de tres tramos de sección cajón variable apoyado sobre pilares de concreto armado, presentando luces de 25 m el primer tramo, 52 m el segundo tramo (tramo central) y 25 m el tercer tramo, con una longitud total de 102 m y un ancho de tablero de 8.34 m, diseñado para el paso de dos líneas de ferrocarril. La geometría, progresivas, ejes, cotas y otros detalles se muestran en los planos presentados en el anexo N°01. En la figura N°3.3 se presenta una vista en elevación del puente y en la figura N°3.4 se presenta la vista en planta del mismo.

Cuadro N°3.1.- Clasificación de Puente Bayovar

CRITERIO DE CLASIFICACIÓN	TIPO
Funcionalidad	Ferrovionario
Material de Superestructura	Concreto
Sistema Estructural	Vigas Cajón
Tipo de Apoyo	Continuo
Tiempo de Vida Útil	Definitivo
Proceso Constructivo	Vaciado en sitio
Trazo Geométrico	Recto

Fuente: Elaboración propia.

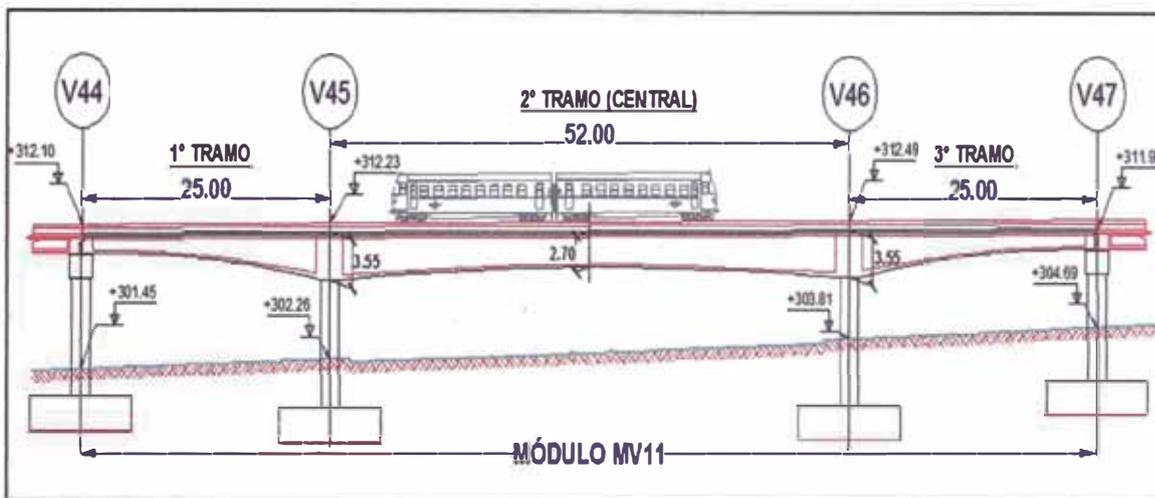


Figura N°3.3.- Vista en elevación del puente Bayovar.

Fuente: Consorcio Tren Eléctrico.

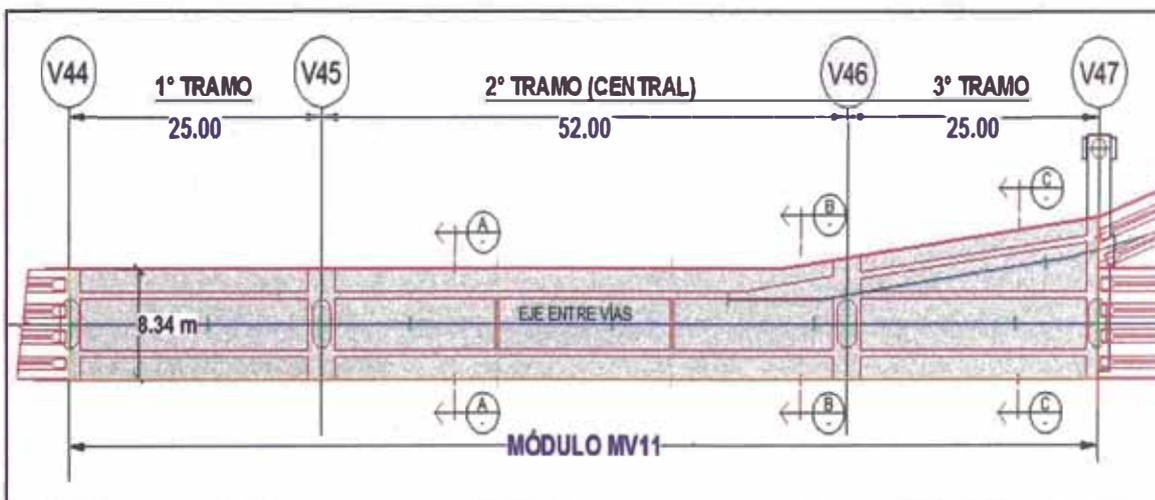


Figura N°3.4.- Vista en planta del puente Bayovar.

Fuente: Consorcio Tren Eléctrico.

3.2 ESTRUCTURACIÓN DEL SISTEMA DE ENCOFRADO

3.2.1 PROBLEMÁTICA PRESENTADA PARA LA CONSTRUCCIÓN

El principal problema para la construcción del puente Bayovar era la de encofrar y dar soporte al encofrado de la superestructura del puente permitiendo en todo momento el libre tránsito por la avenida Bayovar, que es la avenida que cruzaría al puente en su 2° tramo (tramo central) entre los ejes V45 y V46 y para ello debería salvar una luz importante de 52 m; el encofrado y el soporte para el primer y tercer tramo se podría estructurar desde el nivel del terreno porque su montaje y puesta en obra no interrumpiría el tránsito vehicular ni peatonal. En la figura N°3.5 se muestra el esquema de la proyección de puente Bayovar sobre las avenidas Próceres de la Independencia y Bayovar.



Figura N°3.5.-Esquema de proyección del Puente Bayovar.

Fuente: Consorcio Tren Eléctrico.

Se debería considerar también la configuración del soporte y el encofrado de la superestructura del puente para un vaciado de concreto en 3 etapas, la primera correspondería al vaciado del concreto de la losa inferior, la segunda etapa el vaciado de concreto de los hastiales de la sección cajón y se finalizaría con la tercera etapa del vaciado de concreto de la losa superior (tablero).

3.2.2 ESTRUCTURACIÓN

Por las características del puente Bayovar y en base a las recomendaciones planteadas en el cuadro N°2.7 del presente informe se optó por una solución combinada de sistemas de encofrados modulares.

Para el segundo tramo (tramo central) debido a su luz de 52 m y la necesidad de tener un libre tránsito peatonal y vehicular se decidió utilizar sobre las vías transitables un falso puente con estructuras metálicas del sistema MK (cimbras MK y cerchas MK, se tenía un gálibo de 6.35 m) y en las zonas no transitables (extremos del tramo central) un conjunto de torres de apeo estructurado con elementos del sistema Aluprop.

En el primer y tercer tramo del puente se utilizó de forma mayoritaria el sistema de torres Aluprop para el soporte de la losa inferior del puente. En los tres tramos del puente para el soporte de la losa superior y para acomodarse a la geometría del mismo se empleó el sistema de castillos BRIO. Para conectar los diversos sistemas de soporte (BRIO, Aluprop y cercha MK) y lograr una adecuada transferencia de cargas se utilizaron entre dichos sistemas, camas de vigas de madera de sección "I" denominadas vigas VM20. Para el encofrado de los hastiales se utilizó el sistema de paneles metálicos Comain.

En el presente informe se presentan los planos y cálculos de la estructura del encofrado referidos al segundo tramo del puente (tramo entre los ejes V45 y V46), puesto que abarca en mayor cantidad los sistemas de encofrados modulares utilizados en la construcción del puente, además, de tener las mayores demandas de cargas y exigencias constructivas.

En la figura N°3.6 se presenta una vista en elevación de los sistemas de encofrados modulares empleados para la construcción de la superestructura del tramo central (2° tramo) del puente Bayovar ubicado entre los ejes V45 y V46.

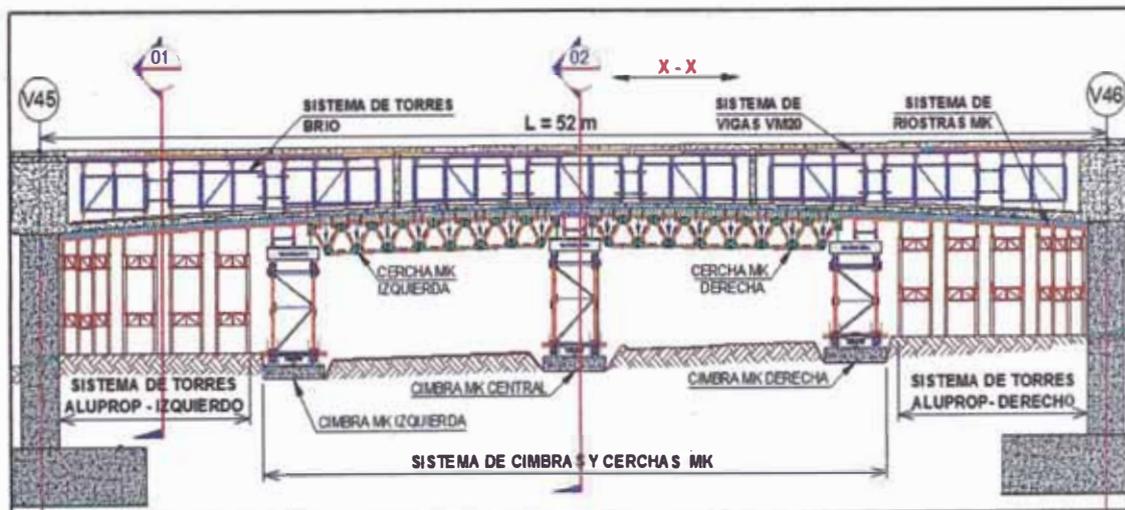


Figura N°3.6.- Elevación del soporte y encofrado del Puente Bayovar.

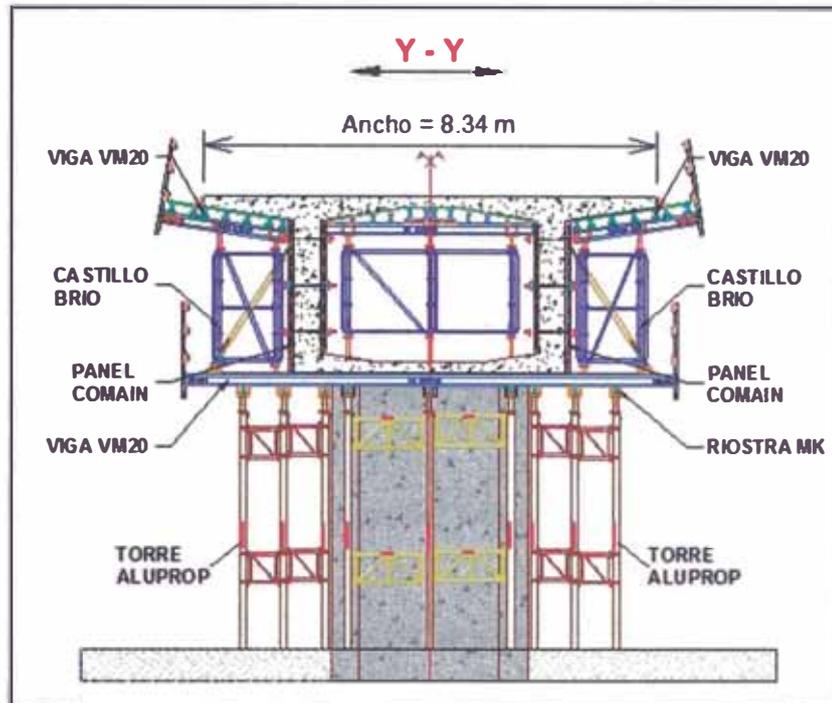


Figura N°3.7.- Sección 01- Torres, castillos y vigas de madera.

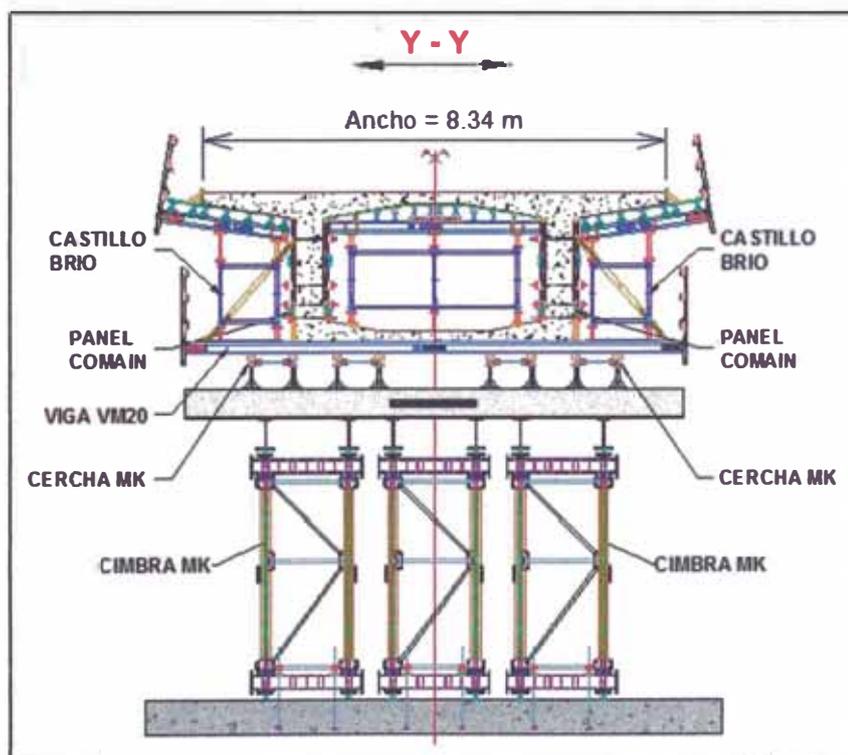


Figura N°3.8.- Sección 02- Cimbras, cerchas, castillos y vigas de madera.

En el anexo N°2 se presentan los planos del soporte y encofrados utilizados en la construcción del puente Bayovar.

3.3 SOLICITACIONES PARA EL DISEÑO.

3.3.1 NORMATIVA Y BASES DE CÁLCULO

Los criterios utilizados están basados en las siguientes normas:

- Manual de diseño de puentes del Perú.
- Normas Estándar ACI 347-04 (American Concrete Institute) - Normas de diseño de encofrados de placas y columnas de concreto armado.
- Norma Española UNE-EN 12812 –Cimbras, requisitos de comportamiento y diseño general.
- Manual de Aplicación General del Departamento Técnico de Ulma Perú Encofrados.

Se usará el método de los esfuerzos admisibles (ASD).

3.3.2 CARGAS ESTÁTICAS CONSIDERADAS.

Las cargas estáticas consideradas para el siguiente análisis son las siguientes:

-PESO PROPIO: Este tipo de carga corresponde al peso propio de los elementos componentes del sistema de soporte y la estructura encofrante (puntales, vigas de madera, vigas metálicas, paneles, etc.)

-ENCOFRADO: Correspondiente al encofrado y soporte de la losa superior y aleros, se ha considerado una carga máxima de 85 kg/m^2 .

-CONCRETO: Este tipo de carga corresponde al peso y presión del concreto que incide sobre los elementos del soporte y encofrado respectivamente de la superestructura en análisis, se ha considerado un peso específico del concreto igual a 2500 kg/m^3 .

-SOBRECARGA: Este tipo de carga corresponde a la carga por personal de trabajo al momento de realizar las labores del montaje del encofrado, ferrallado y vertido del concreto, se ha considerado una sobrecarga de 150 kg/m^2 .

-IMPERFECCIONES: Se considera una fuerza horizontal en cabeza de las torres que equivale a posibles imperfecciones de montaje o excentricidades causadas por holguras de las uniones. La Norma Española UNE-EN 12812 señala tomar el 1% (para cimbras cuya altura sea menor a los 10 m.) de la carga

vertical que actúa sobre la base de apoyo; para el análisis será aplicado en la dirección Y.

-SISMO: La carga sísmica representara un porcentaje de la carga permanente y será aplicado como carga puntual en el centro de masa de la estructura. Se realizará el análisis sísmico para un factor del 10% de la carga permanente, este factor es usado con fines prácticos para estimar los esfuerzos actuantes en los elementos de la estructura del encofrado. Para el análisis esta carga será aplicada en las direcciones X y Y.

3.3.3 CASOS DE CARGA.

Cuadro N°3.2.- Casos de carga

LC	DESCRIPCIÓN	TIPO DE CARGA
1	PESO PROPIO	Permanente
2	CONCRETO	Permanente
3	ENCOFRADO	Permanente
4	SOBRECARGA	Permanente
5	IMPERFECCIONES	
6	SISMO XX	
7	SISMO YY	

Fuente: Elaboración propia.

3.3.4 COMBINACIONES DE CARGA

Cuadro N°3.3.- Combinaciones de carga.

LG	DESCRIPCIÓN	COMBINACIONES DE CARGA
1	E.L.S	LC1 + LC2 + LC3 +LC4
2	COMB1	LC1 + LC2 + LC3 +LC4+LC5
3	COMB SXX	LC1 + LC2 + LC3 +LC4 + LC5+LC6
4	COMB SYY	LC1 + LC2 + LC3 +LC4 + LC5+LC7

Fuente: Elaboración propia.

3.4 ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

Para verificar cada uno de los elementos componentes de la estructura del encofrado y del soporte se utilizará el método de los esfuerzos admisibles, en el cual se debe verificar que la capacidad admisible del elemento debe ser mayor que la carga actuante en servicio. Se calcularán las cargas actuantes en la parte superior de la superestructura y se seguirá un proceso de transmisión de cargas para ir revisando cada uno de los elementos componentes con mayor sollicitación

de esfuerzos que son aquellos que forman parte de la estructura del encofrado de la losa inferior de la superestructura del puente.

La verificación de los elementos del soporte y encofrado de la losa inferior (torres Aluprop, cimbras MK, cerchas MK, riostras MK y vigas de madera VM20) de la superestructura del puente Bayovar se realizarán apoyados en un modelamiento estructural realizado mediante el programa SAP 2000 para el sistema en conjunto. El modelo estará conformado por elementos frame, los cuales son elementos lineales que resisten fuerzas axiales, momentos flectores y fuerzas cortantes. Los elementos frame representan a los elementos que forman parte de la estructura del soporte y encofrado (sistemas modulares), dichos elementos tendrán un tipo de material, una sección determinada y las rigideces respectivas en sus conexiones que serán incluidas en el modelamiento para obtener un comportamiento estructural lo más cercano a la realidad. En la figura N°3.9 se presenta una vista isométrica del modelo computarizado.

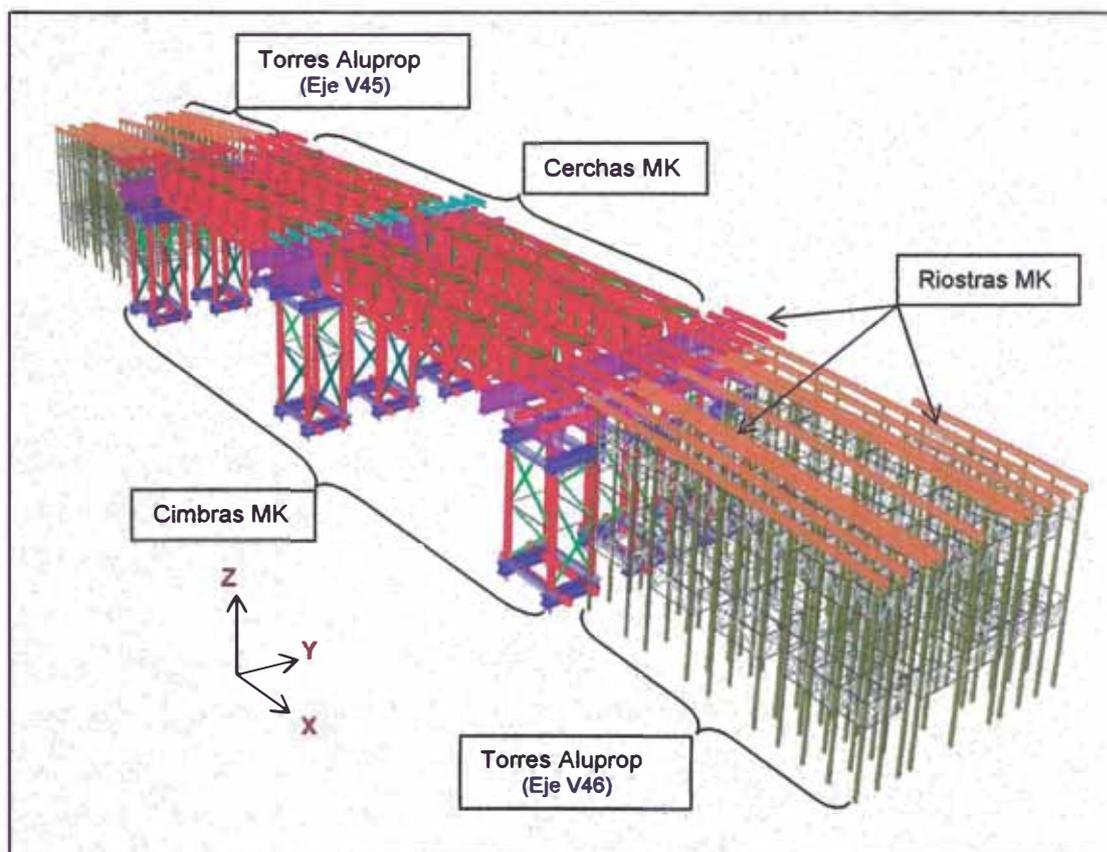


Figura N°3.9.- Elevación - Modelo simplificado 3D SAP 2000 - elementos frame.

3.4.1 CÁLCULOS Y RESULTADOS

Las capacidades admisibles de los elementos de los encofrados modulares que forman parte de la estructura del soporte del puente fueron presentadas en el capítulo II, además para el control de las deflexiones se tomará en cuenta una deformación máxima en vigas de madera y metálicas de 3 mm, para las cerchas y cimbras los valores de deformaciones serán dados como referencia para el control del contratista.

La sección cajón del puente Bayovar no tiene un peralte constante contempla un peralte máximo de 3.55 m. cerca a zona de los pilares (eje V45 o V46) y un peralte mínimo igual a 2.70 m en su tramo central. En la figura N°3.10 se muestra los peraltes máximos y mínimos de la sección cajón del puente Bayovar.

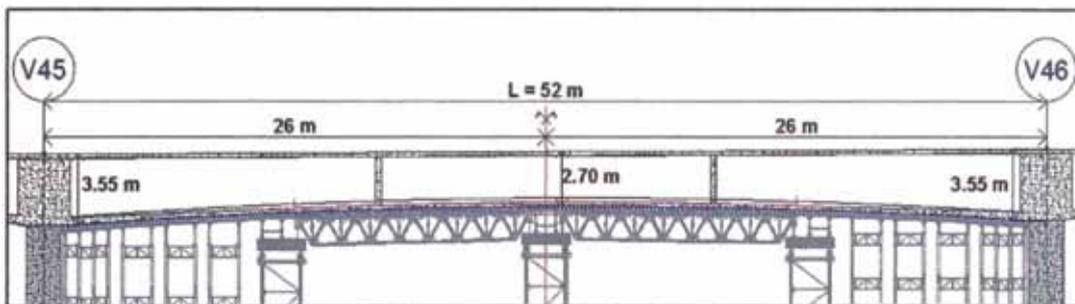


Figura N°3.10.- Variación de peralte de la sección cajón del puente Bayovar.

Para el análisis asumimos que las cargas actuantes se distribuyen sobre la estructura encofrante según un ancho tributario, esta distribución de cargas lo realizan las vigas VM20 sobre sus elementos de apoyo (riostras MK), así tenemos una distribución de cargas sobre cada riostra MK. Según la disposición de las riostras MK en la estructura del soporte tendremos que trabajaran como vigas de apoyo (vigas primarias) de las vigas VM20 (vigas secundarias) en la zona correspondiente al sistema de torres Aluprop, es decir en los extremos del tramo central, y como apoyo de las vigas VM20 cuando cumplan la función de brida superior de las cerchas MK en el tramo central. Para estimar el ancho tributario para cada riostra MK se tomo como criterio establecer que cada riostra MK absorbe las cargas actuantes que cubre su longitud. Por lo tanto se ha subdividido longitudinalmente la superestructura del puente entre los ejes V45 y V46 para realizar convenientemente la transmisión de cargas hacia el soporte respectivo. En la figuras N°3.11, N°3.12 y N°3.13 se presentan la subdivisión de la viga cajón según el criterio establecido para el análisis.

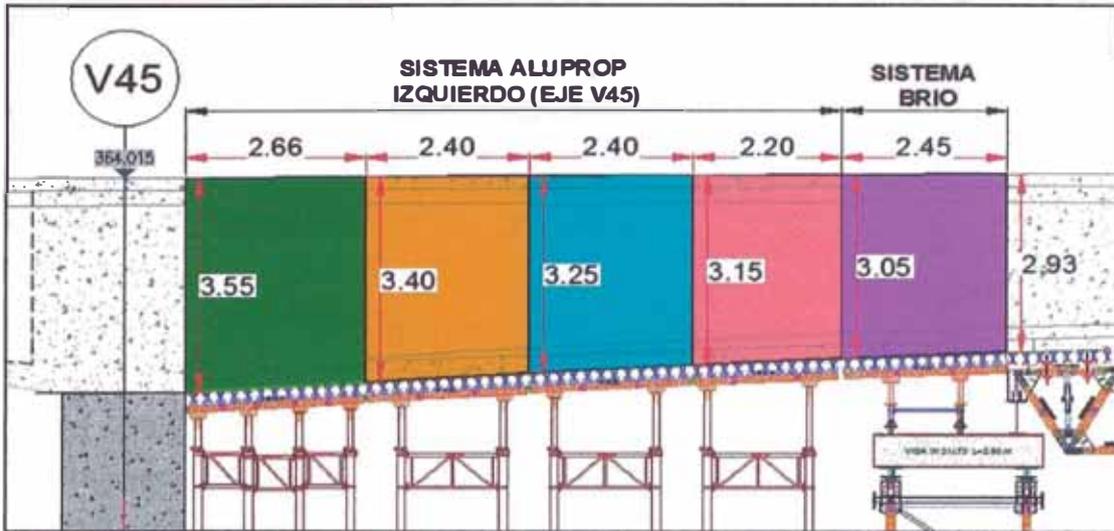


Figura N°3.11.-Subdivisión de viga cajón (peralte = 3.55 m a 2.93 m) - Eje V45.

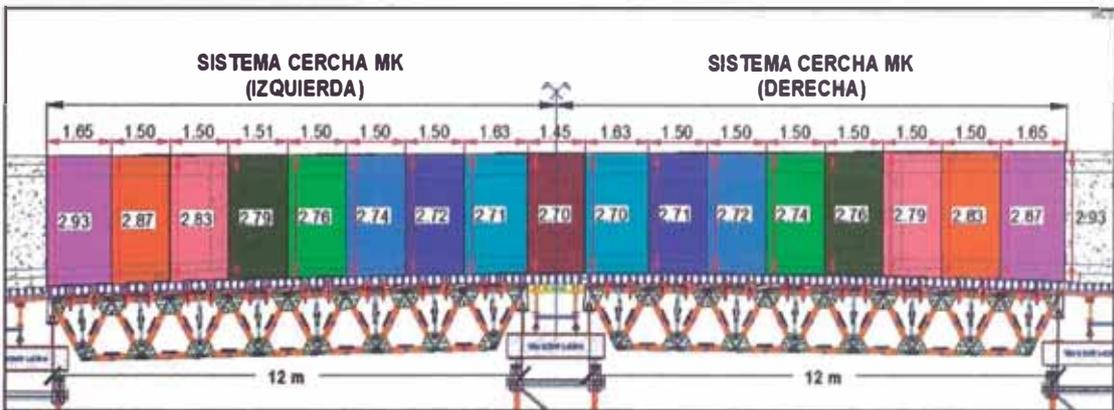


Figura N°3.12.- Subdivisión viga cajón (peralte = 2.93 m. a 2.70 m.) - tramo central.

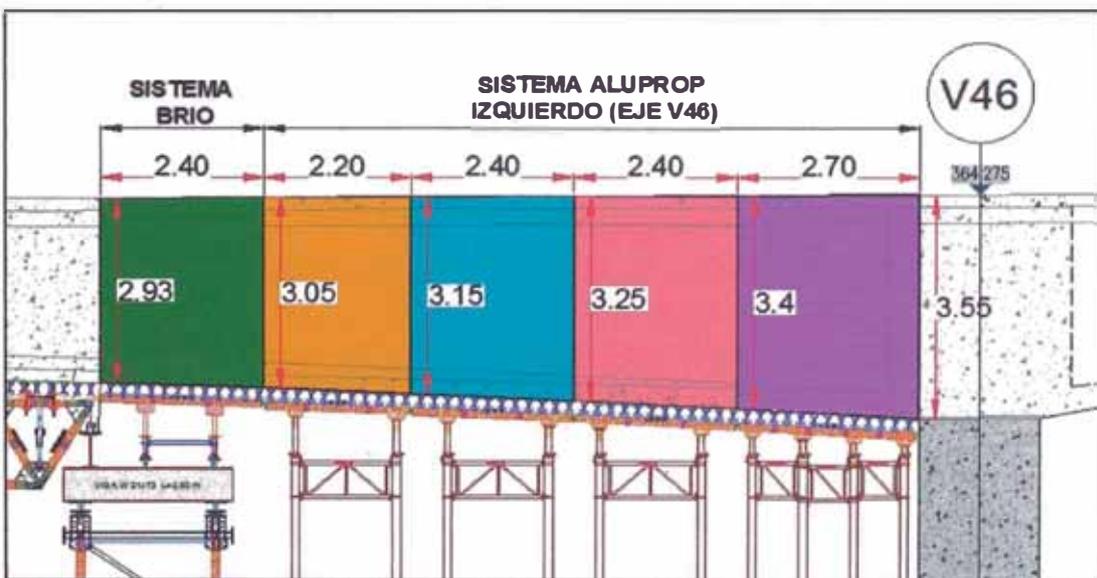


Figura N°3.13.- Subdivisión de viga cajón (peralte = 3.55 m a 2.93 m) - Eje V46.

a) VIGAS VM20 (Viga Secundaria).

Las vigas VM20 son los elementos transmisores de las cargas por peso de concreto, peso por estructura de encofrado y sobrecarga de trabajo que se originan en la superestructura del puente; estas vigas se distribuyen a lo largo de todo el fondo de losa inferior. En la ejecución del puente Bayovar se utilizaron vigas VM20 de longitudes iguales a 1.90 m, 4.00 m y 9.00 m sus disposiciones en planta se observan en el plano PV-FP-02 del Anexo N°2. La ubicación de las vigas VM20 se muestran en las figuras N°3.14, 3.16 y 3.18 y mediante ellas podremos esquematizar la distribución de cargas actuantes sobre estos elementos teniendo presente que variaran según el peralte de la sección donde se analice además para el control de las deflexiones se tomará en cuenta una deformación máxima en vigas de madera y metálicas de 3 mm (Pacheco, 2006); es lógico pensar que las mayores exigencias de cargas en las vigas VM20 se darán en las secciones del puente de mayor peralte, de esta forma tenemos los siguientes casos:

Caso N° 01: Eje V45 (peralte = 3.55 m)

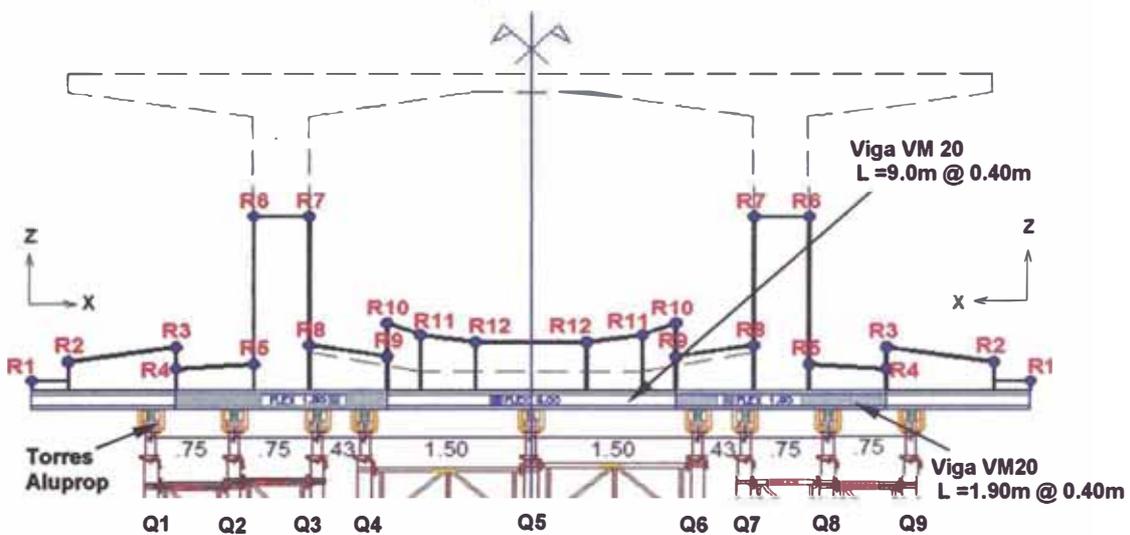
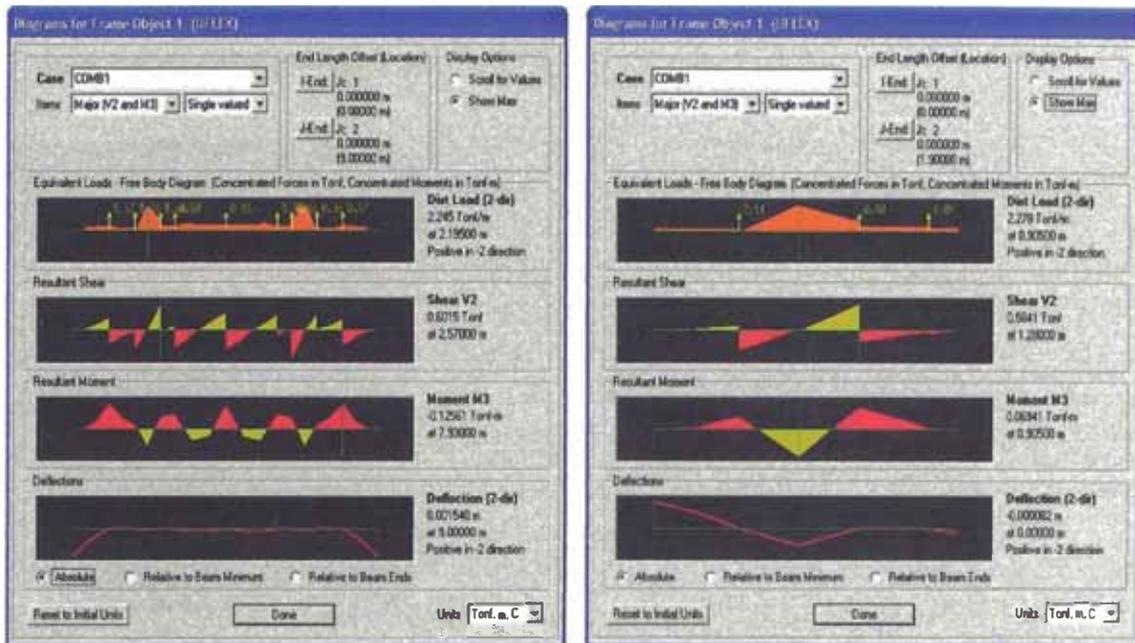


Figura N°3.14.- Vigas VM20 (1.90m y 9.0m) en torres Aluprop - eje V45.

El cálculo de las cargas distribuidas “R”, “P” y “S” se desarrollara en el anexo N°3 para posteriormente aplicarlas a los modelos bidimensionales de las vigas VM20 elaborados con el Programa SAP 2000.

En la figura N°3.15 se muestra los esfuerzos máximos de fuerza cortante y momento flector de la viga VM20 para el caso N°1, en la parte izquierda se

presenta los esfuerzos para la viga de longitud igual a 9.0 m y en la parte derecha los esfuerzos para la viga de longitud igual a 1.9 m.



(a)

(b)

Figura N°3.15.- Fuerza Cortante (ton) y Momento Flector (ton-m) máximos sobre vigas VM20 L = 9.0 m (a) y L= 1.90 m (b) Eje V45- SAP 2000.

Caso N° 02: Eje V46 (peralte = 3.55 m)

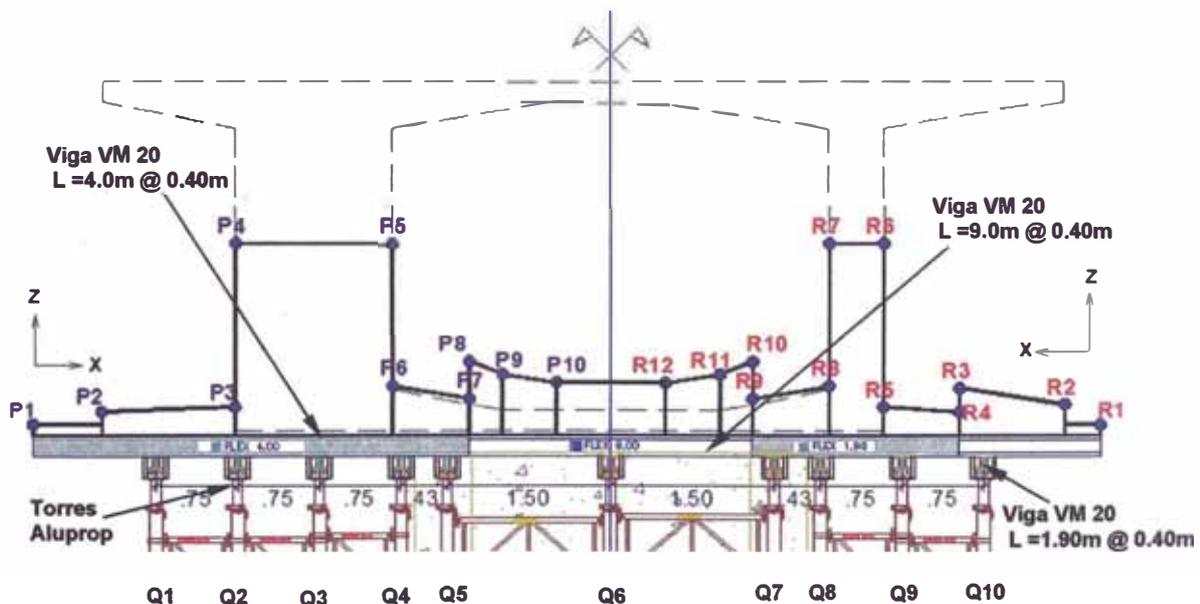


Figura N°3.16.- Vigas VM 20 (1.90m, 4.00m y 9.0m) torres Aluprop- eje V46.

En la figura N°3.17 se muestra los esfuerzos máximos de fuerza cortante y momento flector de la viga VM20 para el caso N°2, en la parte izquierda se presenta los esfuerzos para la viga de longitud igual a 9.0 m y en la parte derecha los esfuerzos para la viga de longitud igual a 1.9 m.

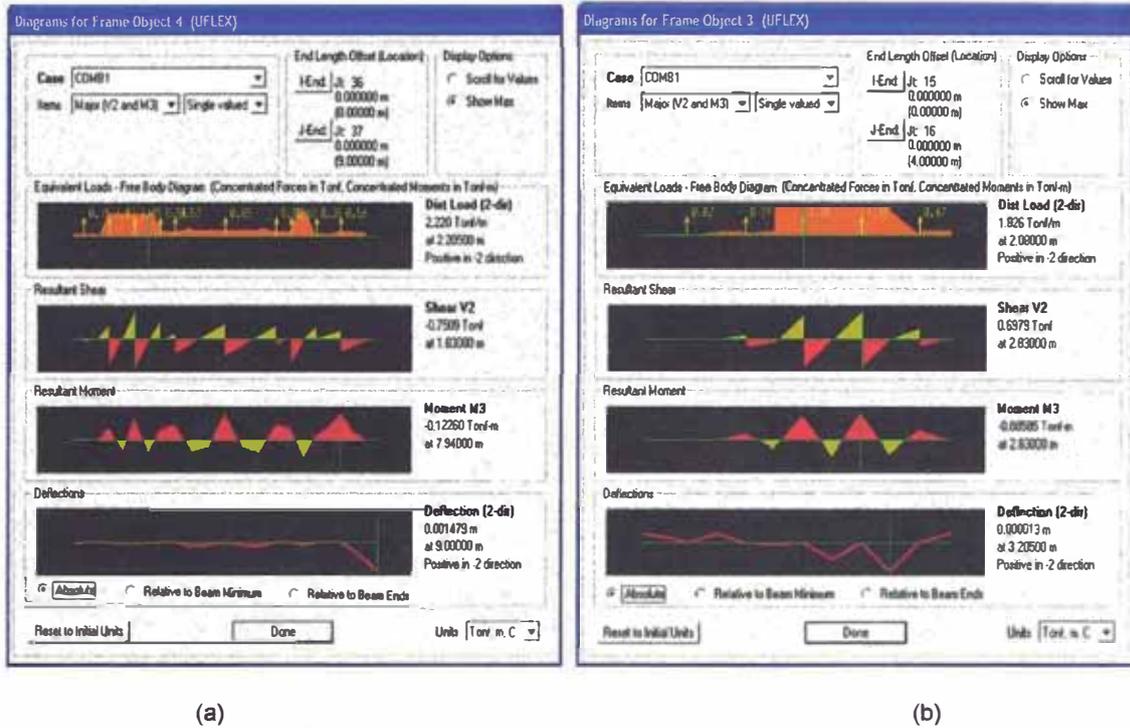


Figura N°3.17.- Fuerza Cortante (ton) y Momento Flector (ton-m) máximos sobre viga VM20 L = 9.0 m (a) y L=1.90 m (b) Eje V46- SAP 2000.

Caso N° 03: Tramo central (peralte = 2.93 m)

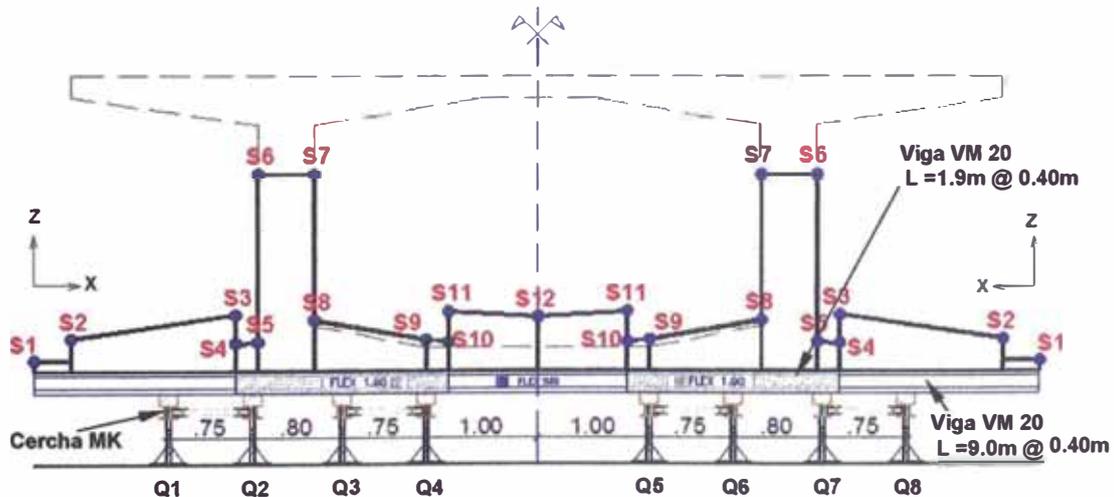


Figura N°3.18.- Vigas VM 20 (1.90m y 9.0m) Cerchas MK- tramo central

En la figura N°3.19 se muestra los esfuerzos máximos de fuerza cortante y momento flector de la viga VM20 para el caso N°2, en la parte izquierda se presenta los esfuerzos para la viga de longitud igual a 9.0 m y en la parte derecha los esfuerzos para la viga de longitud igual a 1.9 m.

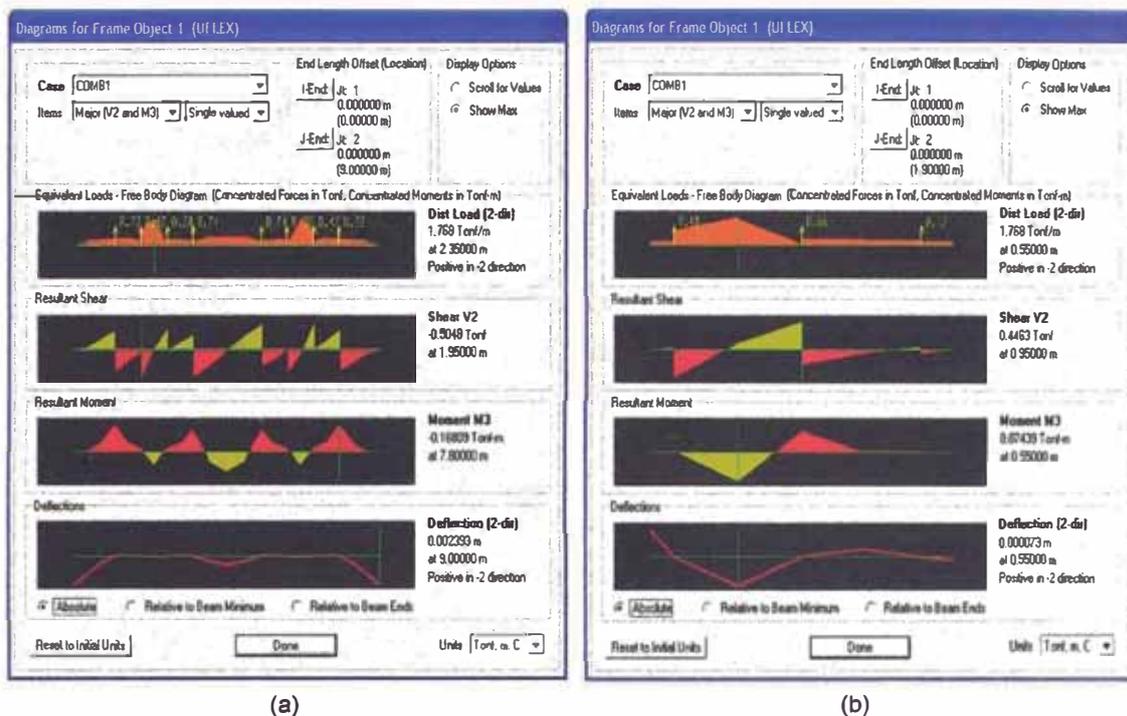


Figura N°3.19.- Fuerza Cortante (ton) y Momento Flector (ton-m) máximos sobre viga VM20 L = 9.0 m (a) y L=1.90 m (b) Tramo Central- SAP 2000

En el cuadro N°3.4 se muestran un resumen de los resultados obtenidos tras los análisis realizados en las vigas VM20 para los casos I, II y III:

Cuadro N°3.4.- Verificación de vigas VM20

VM 20 longitud (m)	V 2-2- max. ton	M3-3 max. ton.m	δ max. mm	V. admisible ton	M.admisible ton.m	δ admisible mm	Observación
1.90	0.75	0.17	2.40	1.10	0.50	3.00	Cumple
4.00	0.58	0.07	0.00	1.10	0.50	3.00	Cumple
9.00	0.70	0.09	0.00	1.10	0.50	3.00	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

De la aplicación de las cargas se concluye que la viga VM20 **cumple** con los requerimientos de cargas actuantes aplicadas.

Como indicamos anteriormente las vigas VM20 se ubican a lo largo de la losa inferior del puente y están distribuidos uniformemente sobre sus elementos de apoyo (riostros MK-120), por tal motivo y en forma conveniente las reacciones

que se producen en las vigas VM20 las distribuiremos linealmente sobre las riostras MK-120 (vigas primarias) y sobre las bridas superiores de las cerchas MK por medio de una carga "w". En las figuras N°3.20, 3.21 y 3.22 se muestran de modo esquemático la distribución de las cargas "w" sobre las riostras MK-120.



Figura N°3.20.- Esquema de cargas (ton/m) sobre riostras MK – Eje V45.



Figura N°3.21.- Esquema de cargas (ton/m) sobre riostras MK – Eje V46.



Figura N°3.22.- Esquema de cargas (ton/m) sobre Brida superior de cerchas– Tramo Central

El cálculo de las cargas distribuidas "w1 al w21" se desarrollaran en el anexo 03 para posteriormente aplicarlas al modelo tridimensional elaborado con el Programa SAP 2000. En la figura N°3.23 se muestran de modo esquemático la distribución de las cargas actuantes "w" sobre el modelo computarizado.

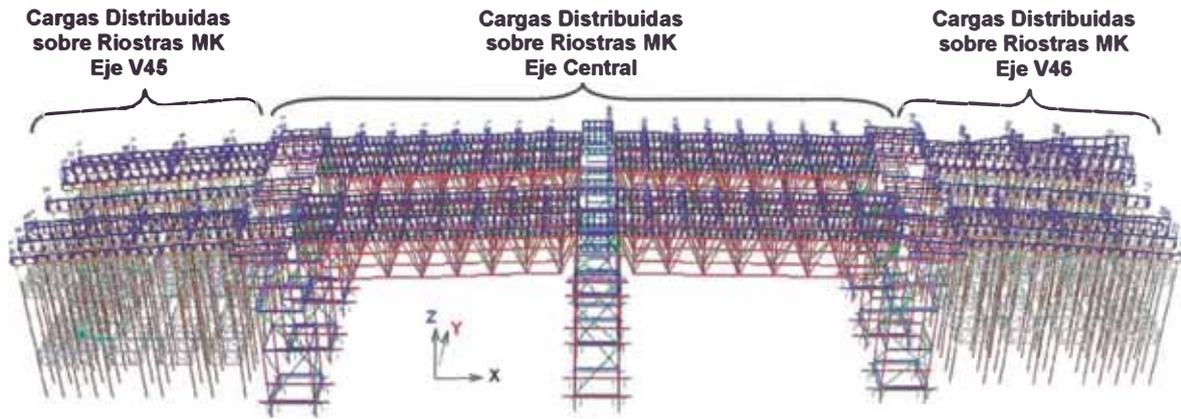


Figura N°3.23.- Esquema de cargas (ton/m) sobre las riostras MK (vigas primarias) y bridas superiores de las cerchas MK – SAP 2000.

Las reacciones obtenidas (F3) en los puntos de apoyo de las torres y cimbras, se recogen en el anexo N°5. En el cuadro N°3.5 se muestran un resumen de las reacciones en los puntos de apoyo de las torres y cimbras.

Cuadro N°3.5.- Resumen de reacciones en los puntos de apoyo de las torres y cimbras

SISTEMA DE ENCOFRADO	COMBINACION	$\Sigma F3$ (ton)	10% $\Sigma F3$ (ton)	F3 Máximo (ton)	1% F3 Máximo (ton)
SISTEMA ALUPROP IZQUIERDO-EJE V45	E.L.S	185.85	18.59	4.20	0.04
SISTEMA CIMBRA MK IZQUIERDO -EJE V45	E.L.S	162.87	16.29	17.08	0.17
SISTEMA CIMBRA MK CENTRAL	E.L.S	265.86	26.59	23.60	0.24
SISTEMA CIMBRA MK DERECHO -EJE V46	E.L.S	163.85	16.39	17.71	0.18
SISTEMA ALUPROP DERECHO-EJE V46	E.L.S	226.46	22.65	6.16	0.06
	SISMO XX		100.5		
	SISMO YY		100.5		

Fuente: Elaboración propia.

En el cuadro N°3.6 se muestra las fuerzas horizontales por imperfecciones que se han de aplicar en el modelo computarizado de las torres y cimbras.

Cuadro N°3.6.- Fuerza horizontal por imperfecciones en las torres y cimbras

SISTEMA DE ENCOFRADO	Fuerza horizontal por Imperfecciones (ton)
SISTEMA ALUPROP IZQUIERDO-EJE V45	0.04
SISTEMA CIMBRA MK IZQUIERDO -EJE V45	0.17
SISTEMA CIMBRA MK CENTRAL	0.24
SISTEMA CIMBRA MK DERECHO -EJE V46	0.18
SISTEMA ALUPROP DERECHO-EJE V46	0.06

Fuente: Elaboración propia.

En este capítulo solo se presentara los valores máximos de los esfuerzos actuantes obtenidos para cada combinación de cargas del elemento analizado para su comparación posterior con los esfuerzos admisibles del mismo elemento.

b) RIOSTRAS MK-120 (Viga Primaria).

Se presenta el análisis de las riostras MK-120, que son el sistema de apoyo de las vigas VM20 en el fondo de losa inferior de la superestructura del puente. Según el Manual de Aplicación General del Departamento Técnico de Ulma Encofrados estos elementos presentan una capacidad resistente de momento flector de **1.89 ton-m** y una de fuerza cortante de **14.00 ton**. En las figuras N°3.24 y 3.25 se muestran las riostras MK-120 que son parte del análisis.

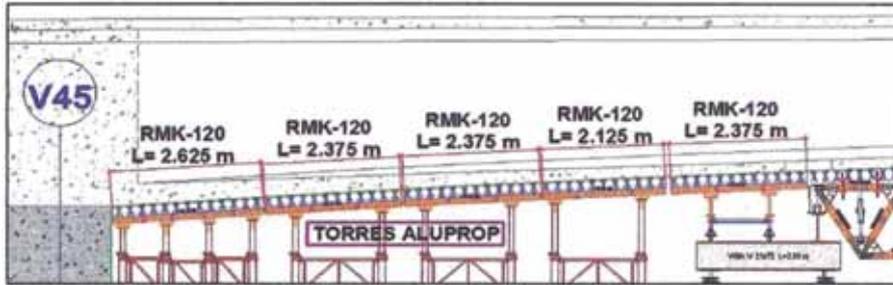


Figura N°3.24.- Riostras MK primarias en torres Aluprop izquierdo – Eje V45.

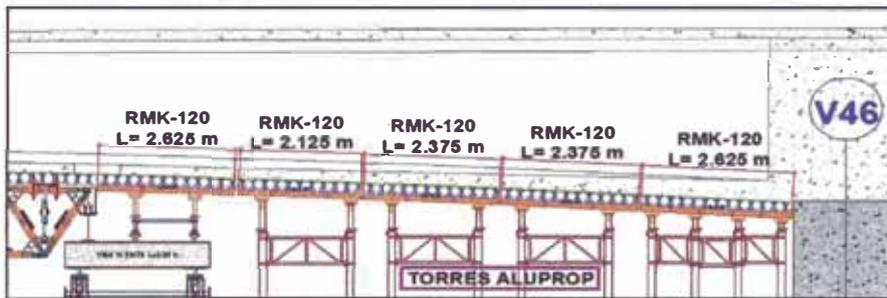


Figura N°3.25.- Riostras MK primarias en torres Aluprop derecho – Eje V46.

De la aplicación de las cargas en el soporte principal del encofrado de la superestructura del puente, se ha obtenido en las riostras MK-120 los valores máximos de Fuerza Cortante y Momento Flector para las combinaciones: COMB1, COMB SXX y COMB SYY que se describen en los cuadros N°3.7, 3.8 y 3.9 respectivamente.

Cuadro N°3.7.- Esfuerzos resultantes en riostra MK- Sist. Aluprop - COMB1 (SAP2000)

Riostra MK-	Combinación Carga	V 2-2 (ton)	M 3-3 (ton)	V. admisible (ton)	M. admisible (ton.m)	Obs.
Máximo	COMB 1	3.440	0.688	14.00	1.89	Cumple
Mínimo	COMB 1	-3.986	-0.808	14.00	1.89	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto se deduce que las riostras MK-120 (vigas primarias) que descansan sobre las torres Aluprop para la combinación de carga COMB1 **cumplen** con los requerimientos solicitados.

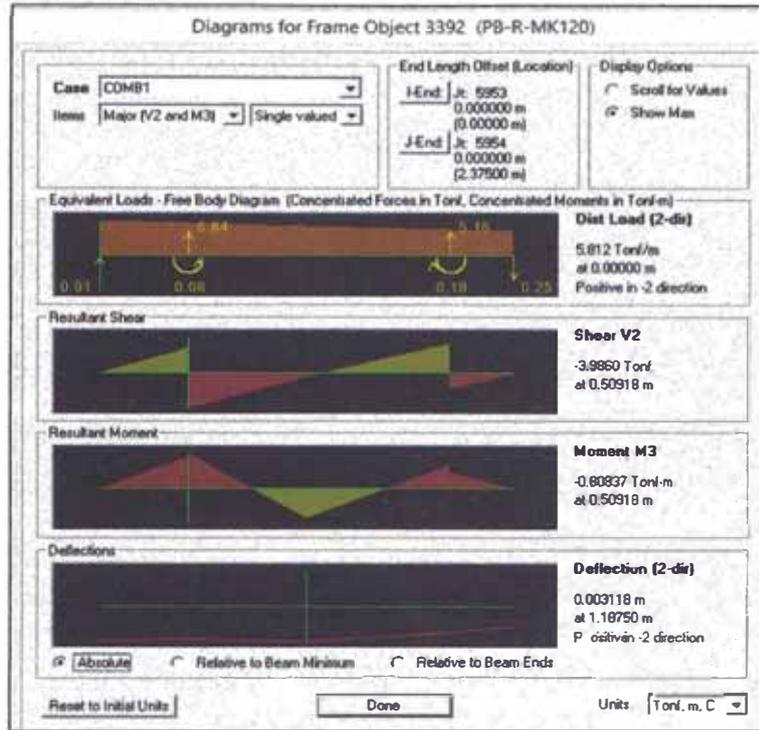


Figura N°3.26.- Fuerza Cortante y Momento Flector máximos sobre RMK-120 (COMB 1)
SAP 2000

Cuadro N°3.8.- Esfuerzos resultantes en Riostra MK- Sist. Aluprop – COMB SXX (SAP2000)

Riostra MK - 120	Combinación Carga	V 2-2 (ton)	M 3-3 (ton)	V. admisible (ton)	M. admisible (ton.m)	Obs.
Máximo	COMB SXX	3.425	0.687	14.00	1.89	Cumple
Mínimo	COMB SXX	-3.998	-0.818	14.00	1.89	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

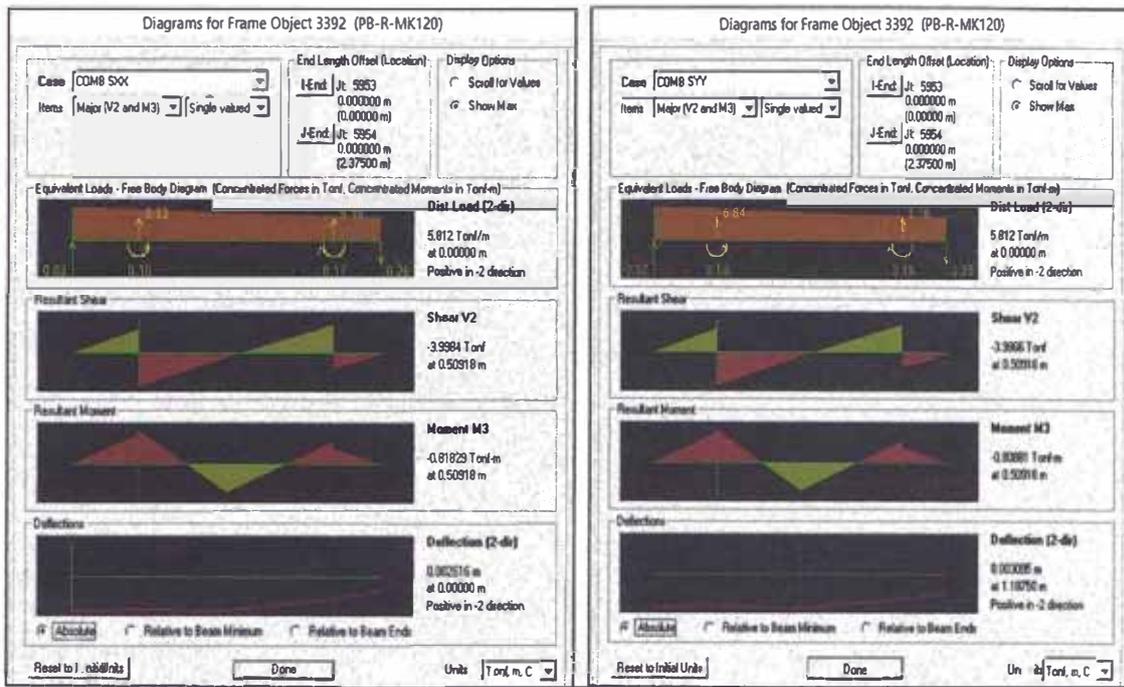
Por lo tanto se deduce que las riostras MK-120 (vigas primarias) que descansan sobre los puntales Aluprop para la combinación de carga COMB SXX **cumplen** con los requerimientos solicitados.

Cuadro N°3.9.- Esfuerzos resultantes en las Riostras MK- Sistema Aluprop - COMB SYY.

Riostra MK - 120	Combinación Carga	V 2-2 (ton)	M 3-3 (ton)	V. admisible (ton)	M. admisible (ton-m)	Obs.
Máximo	COMB SYY	3.439	0.688	14.00	1.89	Cumple
Mínimo	COMB SYY	-3.987	-0.809	14.00	1.89	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto se deduce que las riostras MK-120 (vigas primarias) que descansan sobre los puntales Aluprop para la combinación de carga COMB SYY **cumplen** con los requerimientos solicitados.



(a)

(b)

Figura N°3.27.- Fuerza Cortante y Momento Flector máximos sobre Riostras MK-120 COMB SXX (a) y COMB SYX (b) - SAP 2000

En la figura N°3.28 se muestran la riostra MK-120 más cargada según el análisis en el modelo computacional.



Figura N°3.28.- Esquema de riostra MK-120 más cargada.

En el cuadro N°3.10 se presenta la flecha máxima en la riostra MK-120 más cargada según las combinaciones de carga para el control de deformaciones.

Cuadro N°3.10.- Verificación de flechas en las Riostras MK-120.

Combinación	δ máxima (mm)	δ admisible (mm)	Observaciones
COMB 1	3.118	3.000	TOLERABLE
COMB SXX	2.616	3.000	CUMPLE
COMB SYX	3.095	3.000	TOLERABLE

Fuente: Elaboración propia.

c) PUNTALES ALUPROP

Se presenta el análisis de los puntales Aluprop, que son los elementos de apoyo de las riostras MK-120 en el soporte de la losa inferior de la superestructura del puente. Las reacciones obtenidas de las riostras MK-120 son transmitidas directamente a los puntales de las torres Aluprop; estas torres presentan una altura máxima de 5.50 m. Según el anexo N°4 la capacidad por pie de torre Aluprop (para la altura, distribución en planta y cantidad de marcos de arriostramiento que señalan los planos de diseño del encofrado) es de 7.11 ton. En la figura N°3.29 se muestra el esquema de las reacciones en los puntos de apoyo de las torres Aluprop.

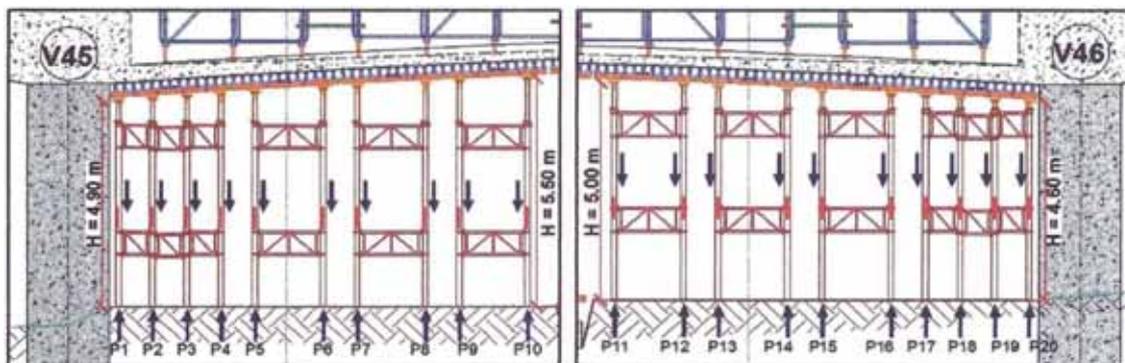


Figura N°3.29.- Reacciones en puntos de apoyo de las torres Aluprop Eje V45 y Eje V46.

De la aplicación de las cargas en el soporte principal del encofrado de la superestructura del puente, se ha obtenido las reacciones máximas y mínimas en los puntales Aluprop para las combinaciones: COMB1, COMB SXX y COMB SYY que se muestran en los cuadros N°3.11, 3.12 y 3.13 respectivamente.

Cuadro N°3.11.- Esfuerzos resultantes en los puntales Aluprop – COMB1

Valores	Combinación carga	P. Actuante (ton)	P. Admisible (ton)	Obs.
Máximo	COMB1	6.09	7.11	Cumple
Mínimo	COMB1	0.60	7.11	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto se deduce que los puntales Aluprop para la combinación de carga COMB1 **cumplen** con los requerimientos solicitados a compresión.

Cuadro N°3.12.- Esfuerzos resultantes en los Puntales Aluprop – COMB SXX

Valores	Combinación carga	P. Actuante (ton)	P. Admisible (ton)	Obs.
Máximo	COMB SXX	6.40	7.11	Cumple
Mínimo	COMB SXX	0.21	7.11	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto se deduce que los puntales Aluprop para la combinación de carga COMB SXX **cumplen** con los requerimientos solicitados a compresión.

Cuadro N°3.13.- Esfuerzos resultantes en los puntales Aluprop – COMB SYY

Valores	Combinación carga	P. Actuante (ton)	P. Admisible (ton)	Obs.
Máximo	COMB SYY	5.79	7.11	Cumple
Mínimo	COMB SYY	0.37	7.11	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto se deduce que los puntales Aluprop para la combinación de carga COMB SYY **cumplen** con los requerimientos solicitados a compresión.

d) CERCHAS MK-120

Las cerchas MK-120 en conjunto con las cimbras MK son las estructuras que conforman el falso puente para el soporte del encofrado del puente Bayovar (ver plano PV-FP-03). Las cerchas reciben la carga directamente de las vigas VM20 que descansan a lo largo de las bridas superiores de la cercha metálica como se muestra en la figura N°3.30. Sus características estructurales y la capacidad admisible de los elementos que la conforman fueron descritas en el capítulo II.

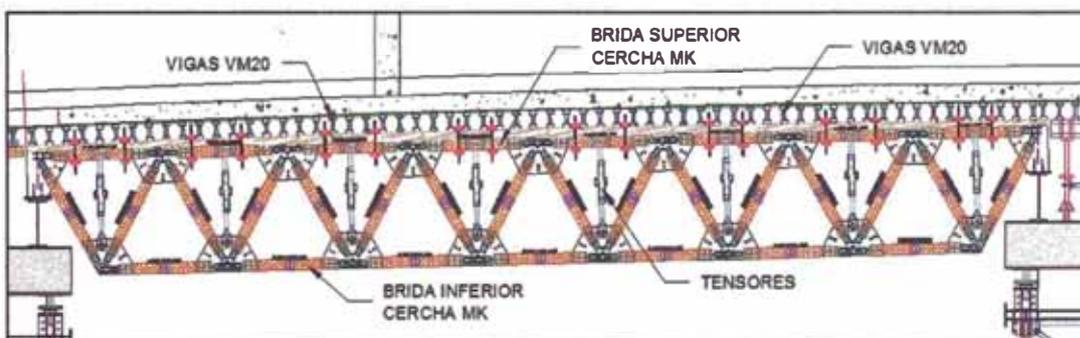


Figura N°3.30.- Elevación de cercha MK-120.

De la aplicación de las cargas en el soporte principal del encofrado de la superestructura del puente, se ha obtenido en las riostras MK-120 (elemento principal de las cerchas MK-120) los valores máximos de Fuerza Axial, Fuerza Cortante y Momento Flector para las combinaciones: COMB1, COMB SXX y COMB SYY que se describen en los cuadros N°3.7, 3.8 y 3.9 respectivamente. Se presenta el análisis de las riostras MK-120 que conforman la cercha más cargada como se muestra en la figura N°3.31.

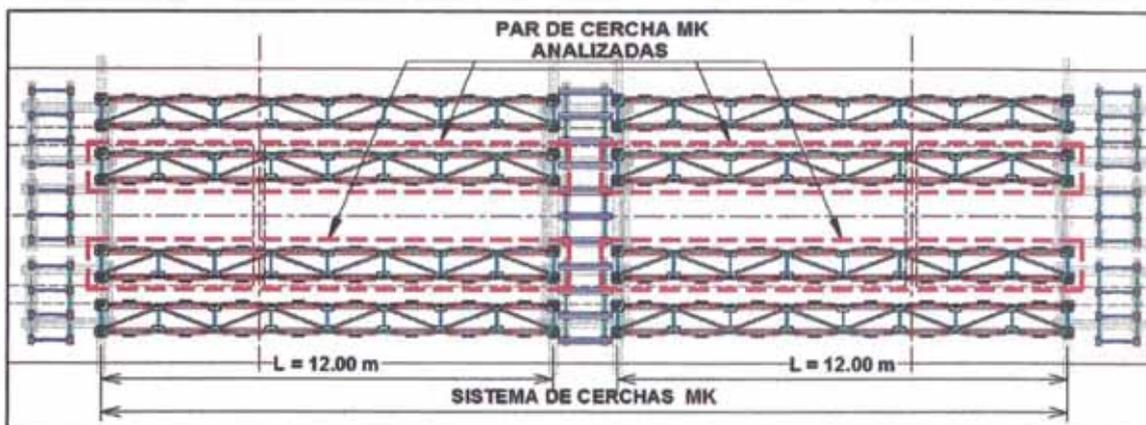


Figura N°3.31.- Planta – cercha MK considerada para el análisis.

En la figuras N°3.32, 3.33 y 3.34 se muestran los diagramas de fuerzas axiales, momentos flectores y fuerzas cortantes en la cercha MK-120 más cargada.

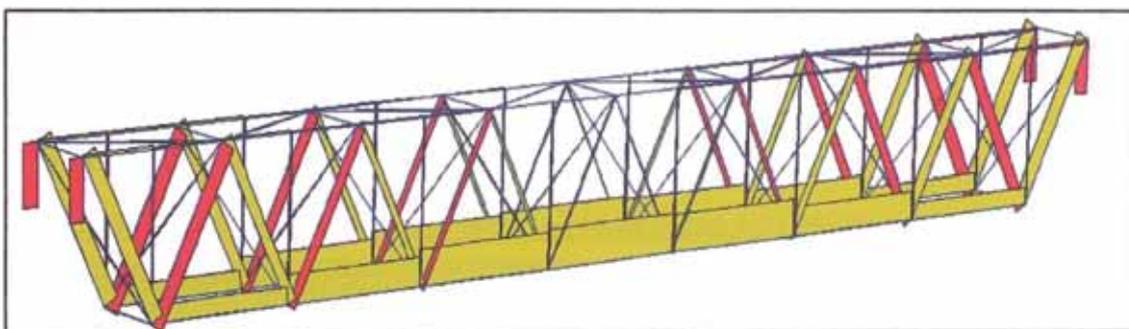


Figura N°3.32.- Diagrama de fuerzas axiales (ton) COMB1- SAP 2000.

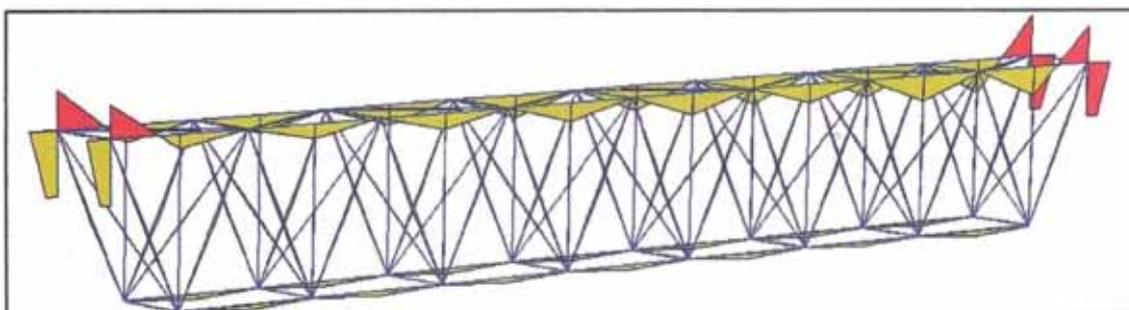


Figura N°3.33.- Diagrama de Momentos Flectores (ton.m) COMB1- SAP 2000.

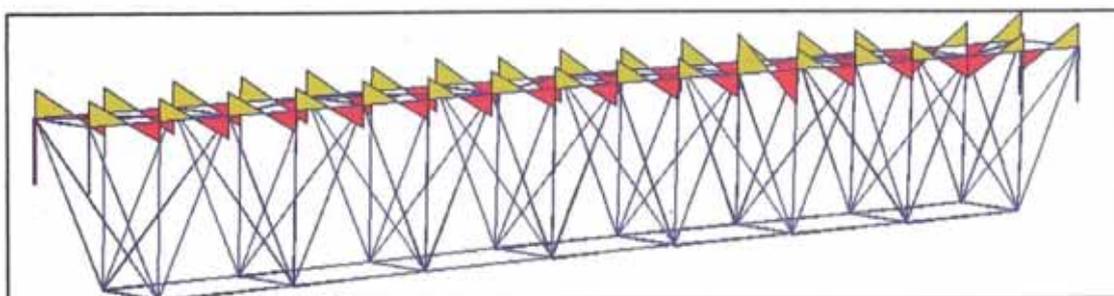


Figura N°3.34.- Diagrama de fuerzas cortantes (ton) COMB1- SAP 2000.

Cuadro N°3.14.- Esfuerzos resultantes en las Riostras MK-120 (CERCHA) – COMB1

Riostra MK-120	Combinación Carga	P (ton)	V 2-2 (ton)	M 3-3 (ton.m)	P. admisible (ton)	V. admisible (ton)	M. admisible (ton.m)	Obs.
Máximo	COMB 1	34.98	2.76	0.10	36.00	14.00	1.89	Cumple
Mínimo	COMB 1	-15.46	-1.37	-1.28	36.00	14.00	1.89	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto se deduce que las riostras MK-120 para la combinación de carga COMB1 cumplen con los requerimientos solicitados.

Cuadro N°3.15.- Esfuerzos resultantes en las Riostras MK-120 (CERCHA) – COMB SXX.

Riostra MK-120	Combinación Carga	P (ton)	V 2-2 (ton)	M 3-3 (ton.m)	P. admisible (ton)	V. admisible (ton)	M. admisible (ton.m)	Obs.
Máximo	COMB SXX	35.27	5.54	1.66	36.00	14.00	1.89	Cumple
Mínimo	COMB SXX	-15.92	-2.94	-3.24	36.00	14.00	1.89	No cumple

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto se deduce que las riostras MK-120 para la combinación de carga COMB SXX no cumplen con los requerimientos solicitados por flexión.

Cuadro N°3.16.- Esfuerzos resultantes en las Riostras MK-120 (CERCHA) – COMB SYY

Riostra MK-120	Combinación Carga	P (ton)	V 2-2 (ton)	M 3-3 (ton.m)	P. admisible (ton)	V. admisible (ton)	M. admisible (ton.m)	Obs.
Máximo	COMB SYY	35.03	2.79	0.10	36.00	14.00	1.89	Cumple
Mínimo	COMB SYY	-15.45	-1.37	-1.31	36.00	14.00	1.89	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto se deduce que las riostras MK-120 para la combinación de carga COMB SYY cumplen con los requerimientos solicitados.

En la figura N°3.35 se presenta el diagrama de deformaciones en la cercha MK para la combinación de carga COMB1, es importante tener presente estas deformaciones en la cercha metálica para realizar los ajustes correspondientes en los demás elementos del encofrado que se encuentren por encima de ella, como por ejemplo para estimar las contraflechas.

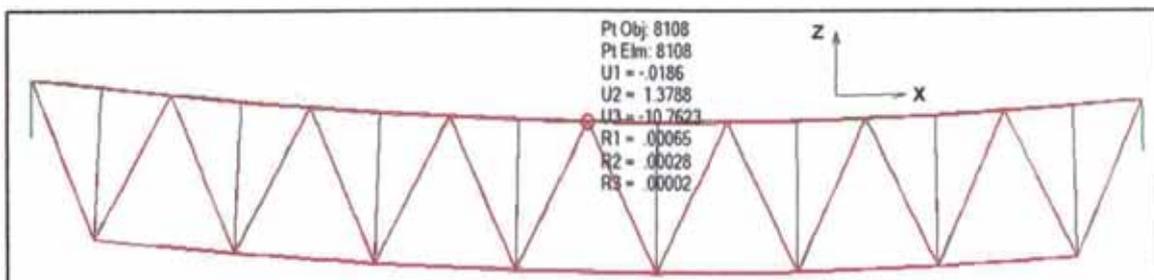


Figura N°3.35.- Máximas deformaciones en la cercha MK (mm) COMB1-SAP 2000.

Cuadro N°3.17.- Deformaciones en cercha MK-120

Combinación	U1 (x) (mm)	U2 (y) (mm)	U3 (z) (mm)
COMB 1	-0.186	1.378	-10.762
COMB SXX	10.216	1.432	-10.704
COMB SYY	0.082	9.841	-10.866

Fuente: Elaboración propia.

e) VIGAS DE REPARTO W 21 pulg. x 73 lb./pie

La estructura de soporte complementaria (cabezales con husillo) y los apoyos de las cerchas MK-120 descansan y descargan directamente sobre las vigas metálicas W21x73 de longitudes iguales a 9 m y 2.5 m como se muestran en las figuras N° 3.36 y 3.37 respectivamente. Estas vigas metálicas de sección "I" tienen la función de repartir las cargas hacia los cabezales de las cimbras MK-120 para finalmente transmitir las cargas actuantes al piso de fundación. Según el Manual de Aplicación General del Departamento Técnico de Ulma Encofrados estas vigas presentan una capacidad resistente de momento flector de **37.56 ton.m** y una de fuerza cortante de **63.27 ton**.

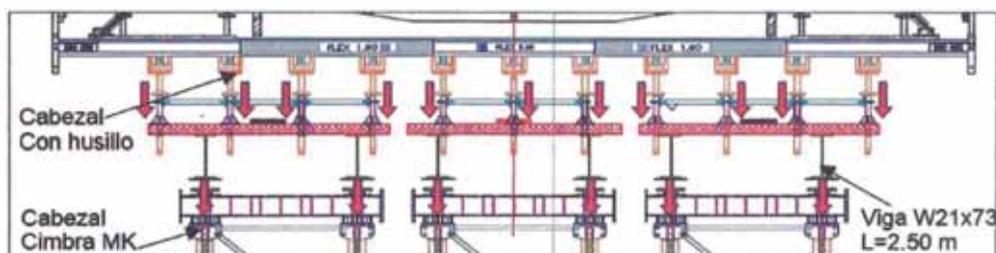


Figura N°3.36.- Vigas de reparto W 21x73 bajo estructura BRIO.

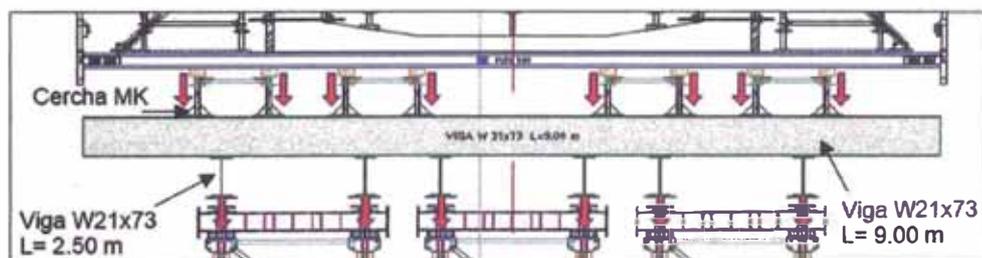


Figura N°3.37.- Vigas de reparto W 21x73 bajo cerchas MK-120.

De la aplicación de las cargas en el soporte principal del encofrado de la superestructura del puente, se ha obtenido en las vigas W21x73 los valores máximos de Fuerza Cortante y Momento Flector para las combinaciones de carga: COMB1, COMB SXX y COMB SYY que se describen en los cuadros N°3.18, 3.19 y 3.20 respectivamente.

Cuadro N°3.18.- Esfuerzos resultantes en las vigas W21x73 – COMB1

VIGA 21x73 L = 9.00 m	Combinación Carga	V2-2 (ton)	M3-3 (ton.m)	V. admisible (ton)	M. admisible (ton.m)	Obs.
Máximo	COMB 1	20.316	7.764	63.27	37.56	Cumple
Mínimo	COMB 1	-22.663	-2.597	63.27	37.56	Cumple

VIGA 21x73 L = 2.50 m	Combinación Carga	V2-2 (ton)	M3-3 (ton.m)	V. admisible (ton)	M. admisible (ton.m)	Obs.
Máximo	COMB 1	25.325	5.891	63.27	37.56	Cumple
Mínimo	COMB 1	-26.035	-0.592	63.27	37.56	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto se deduce que las vigas W21x73 para la combinación de carga COMB1 cumplen con los requerimientos solicitados.

Cuadro N°3.19.- Esfuerzos resultantes en las vigas W21x73 – COMB SXX

VIGA 21x73 L = 9.00 m	Combinación Carga	V2-2 (ton)	M3-3 (ton.m)	V. admisible (ton)	M. admisible (ton.m)	Obs.
Máximo	COMB SXX	21.067	7.566	63.27	37.56	Cumple
Mínimo	COMB SXX	-23.115	-2.670	63.27	37.56	Cumple

VIGA 21x73 L = 2.50 m	Combinación Carga	V2-2 (ton)	M3-3 (ton.m)	V. admisible (ton)	M. admisible (ton.m)	Obs.
Máximo	COMB SXX	27.169	8.338	63.27	37.56	Cumple
Mínimo	COMB SXX	-23.200	-1.927	63.27	37.56	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto se deduce que las vigas W21x73 para la combinación de carga COMB SXX cumplen con los requerimientos solicitados.

Cuadro N°3.20.- Esfuerzos resultantes en las vigas W21x73 – COMB SYY

VIGA 21x73 L = 9.00 m	Combinación Carga	V2-2 (ton)	M3-3 (ton.m)	V. admisible (ton)	M. admisible (ton.m)	Obs.
Máximo	COMB SYY	16.520	10.248	63.27	37.56	Cumple
Mínimo	COMB SYY	-33.668	-6.546	63.27	37.56	Cumple

VIGA 21x73 L = 2.50 m	Combinación Carga	V2-2 (ton)	M3-3 (ton.m)	V. admisible (ton)	M. admisible (ton.m)	Obs.
Máximo	COMB SYY	35.167	7.911	63.27	37.56	Cumple
Mínimo	COMB SYY	-36.029	-0.842	63.27	37.56	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto se deduce que las vigas W21x73 para la combinación de carga COMB SYY cumplen con los requerimientos solicitados.

f) CIMBRAS MK

Las Cimbras MK-120 son las encargadas de transmitir al piso de fundación las cargas provenientes de la superestructura del puente que transmitieron en su mayoría las cerchas MK-120. Sus características estructurales y la capacidad admisible de los elementos que la conforman fueron descritas en el capítulo II. En la estructuración del falso puente se ha contemplado 3 sistemas de Cimbras MK-120 como se muestran en la figura N°3.38 y N°3.39, cada sistema de cimbras está constituido por 3 Torres MK-120.

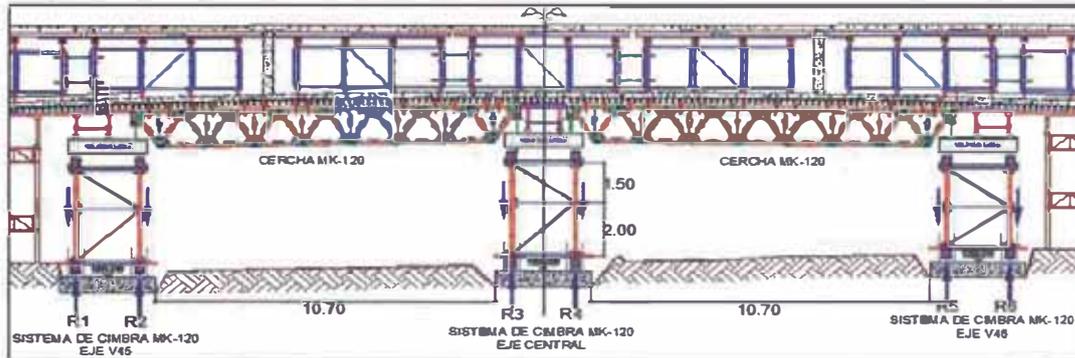


Figura N°3.38.- Cimbras MK eje V45, central y eje V46 respectivamente- Elevación.

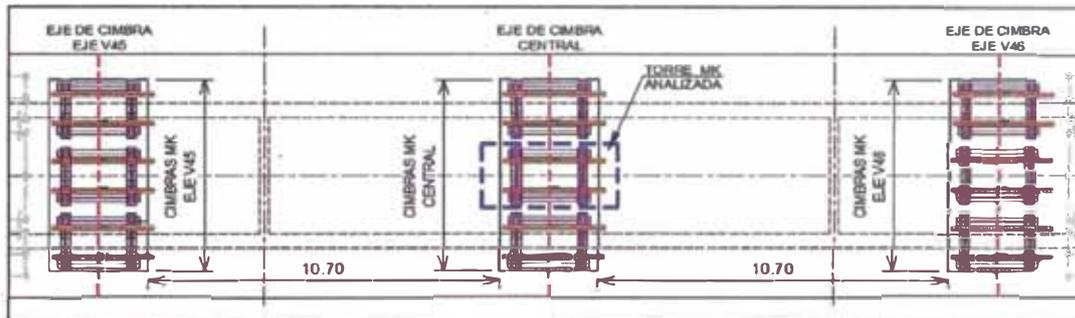


Figura N°3.39.- Cimbras MK eje V45, central y eje V46 respectivamente- Planta.

De la aplicación de las cargas en el soporte principal del encofrado de la superestructura del puente, se ha obtenido en las riostras MK-120 (elemento principal de las cimbras MK-120) los valores máximos de Fuerza Axial, Fuerza Cortante y Momento Flector para las combinaciones: COMB1, COMB SXX y COMB SYY que se describen en los cuadros N°3.21, 3.22 y 3.23 respectivamente. Se presenta el análisis de las riostras MK-120 que conforman la cimbra más cargada (sistema de cimbra central). En el cuadro N°2.4 del capítulo II se presenta la carga a compresión admisible de una riostra MK-120, dicho valor depende de la longitud libre de la riostra, en la figura N°3.38 se observa que la altura de arrioste para la cimbra central es de 2.00 m, por lo tanto, la capacidad admisible de la riostra MK-120 es de 33.60 ton a compresión.

Cuadro N°3.21.- Esfuerzos resultantes en riostra MK-120 (CIMBRA MK) – COMB1

CIMBRAMK-CENTRAL Riostra MK-120	Combinación Carga	P (ton)	V2-2 (ton)	M3-3 (ton.m)	P. admisible (ton)	V. admisible (ton)	M. admisible (ton.m)	Obs.
Máximo	COMB 1	-21.047	0.301	0.082	33.60	14.00	1.89	Cumple
Mínimo	COMB 1	-24.692	-0.295	-0.079	33.60	14.00	1.89	

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto se deduce que las vigas Riostras MK-120 para la combinación de carga COMB1 **cumplen** con los requerimientos solicitados.

En las figuras N°3.40 y 3.41 se muestran la fuerza axial máxima y las reacciones en los apoyos de la cimbra MK-120 analizada para la COMB 1.

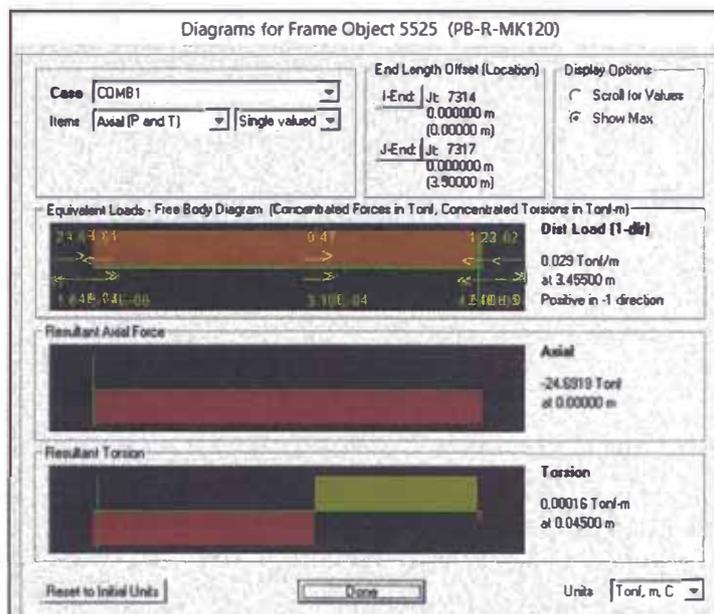


Figura N°3.40.- Diagrama de fuerzas axiales cimbra MK central para COMB1 - SAP 2000.

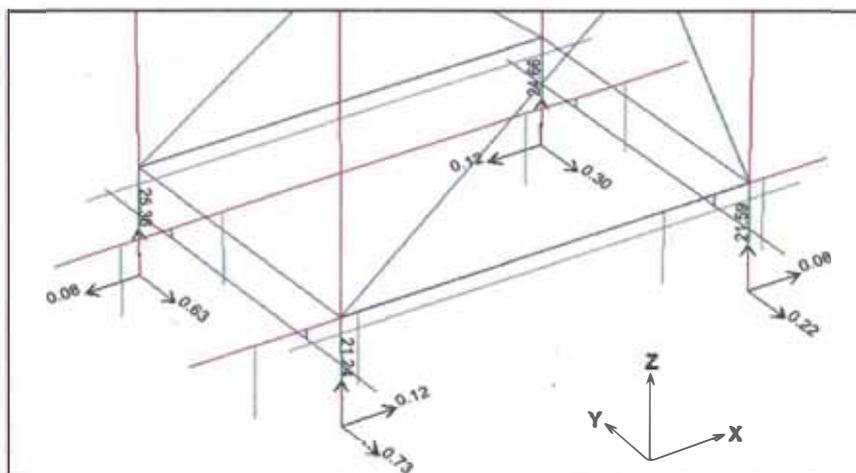


Figura N°3.41.- Reacciones (ton) en apoyos (Husillo Base 360) – COMB1

Cuadro N°3.22.- Esfuerzos resultantes en Riostra MK-120 (CIMBRA MK) – COMB SXX

CIMBRAMK-CENTRAL Riostra MK-120	Combinación Carga	P (ton)	V2-2 (ton)	M3-3 (ton.m)	P. admisible (ton)	V. admisible (ton)	M. admisible (ton.m)	Obs.
Máximo	COMB SXX	-4.021	5.460	0.239	33.60	14.00	1.89	NO Cumple
Mínimo	COMB SXX	-37.862	-0.198	-0.246	33.60	14.00	1.89	

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto se deduce que las vigas Riostras MK-120 para la combinación de carga COMB SXX **no cumplen** con los requerimientos solicitados a compresión.

En las figuras N°3.42 y 3.43 se muestran la fuerza axial máxima y las reacciones en los apoyos de la cimbra MK-120 analizada para la COMB SXX.

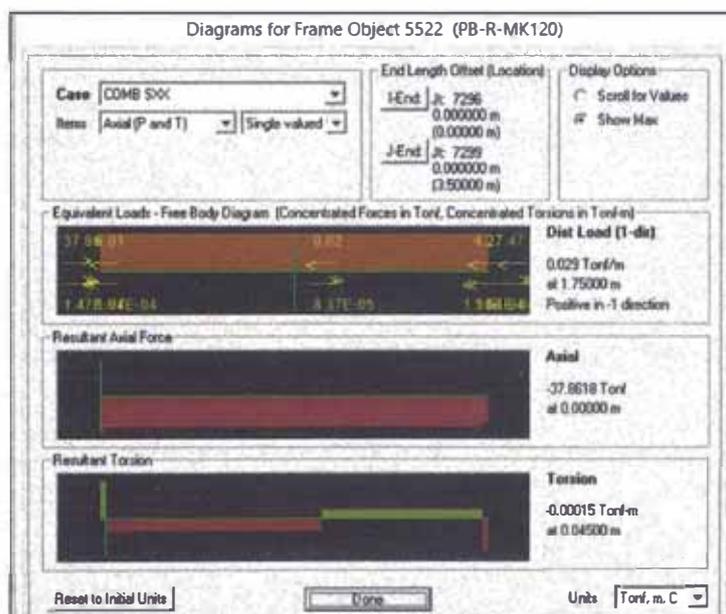


Figura N°3.42.- Diagrama de fuerzas axiales cimbra MK central para COMB SXX-SAP 2000.

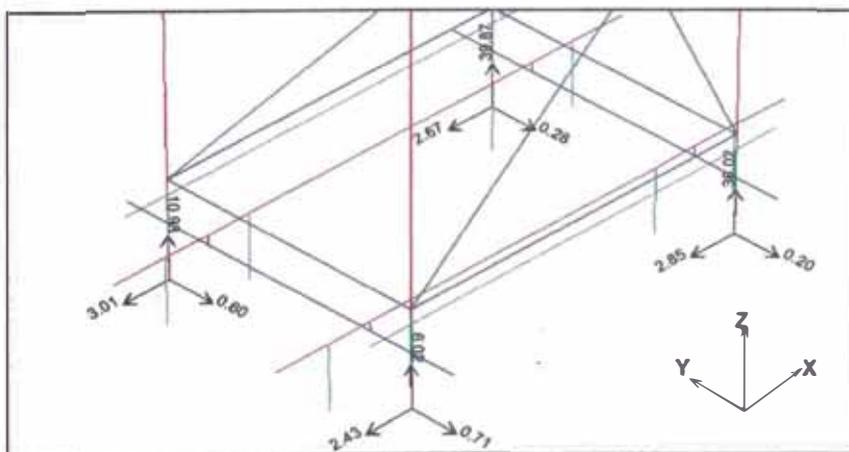


Figura N°3.43.- Reacciones (ton) en apoyos (Husillo Base 360) – COMB SXX

Cuadro N°3.23.- Esfuerzos resultantes en Riostra MK-120 (Cimbra MK) – COMB SYY

CIMBRA MK-CENTRAL Riostra MK-120	Combinación Carga	P (ton)	V2-2 (ton)	M3-3 (ton.m)	P. admisible (ton)	V. admisible (ton)	M. admisible (ton.m)	Obs.
Máximo	COMB SYY	-2.859	0.297	0.100	33.60	14.00	1.89	NO Cumple
Mínimo	COMB SYY	-36.537	-0.422	-0.083	33.60	14.00	1.89	

Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto se deduce que las Riostras MK-120 para la combinación de cargas COMB SYY **no cumplen** con los requerimientos solicitados a compresión.

En las figuras N°3.44 y 3.45 se muestran la fuerza axial máxima y las reacciones en los apoyos de la cimbra MK-120 analizada para la COMB SYY.

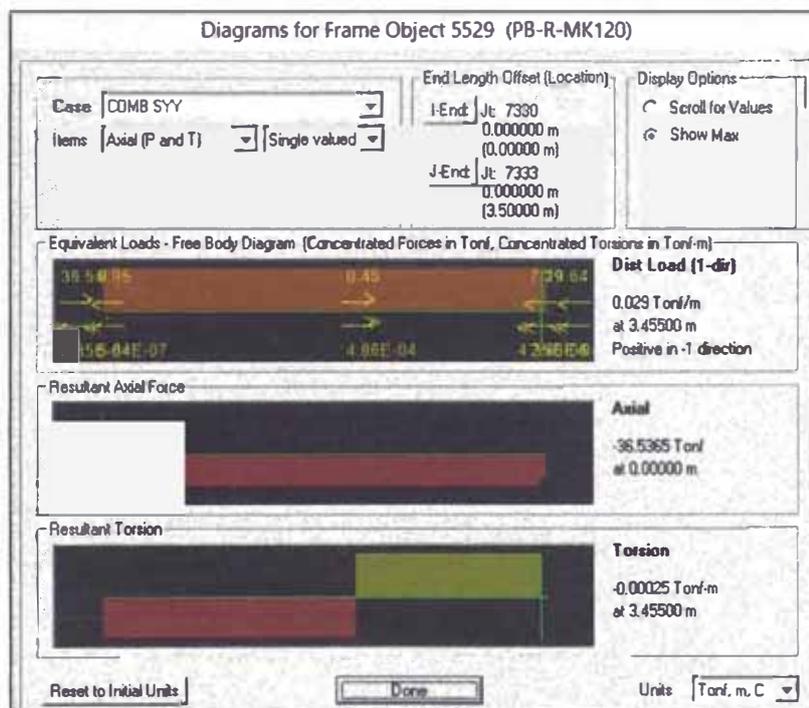


Figura N°3.44.- Diagrama de fuerzas axiales cimbra MK central para COMB SYY- SAP 2000.

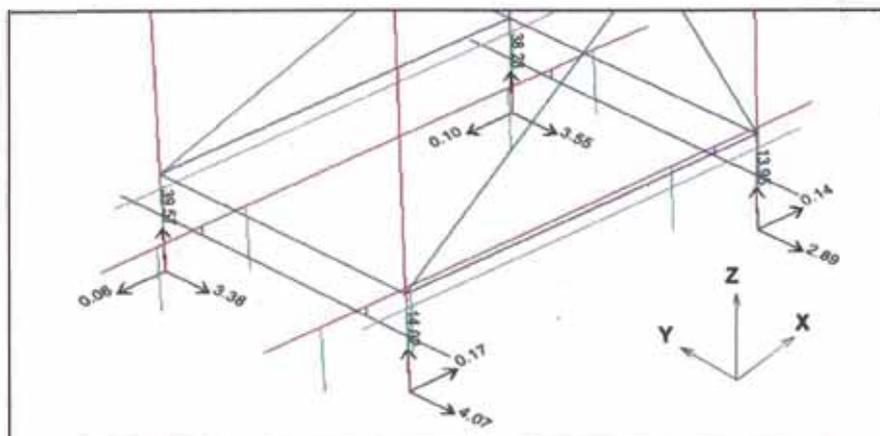
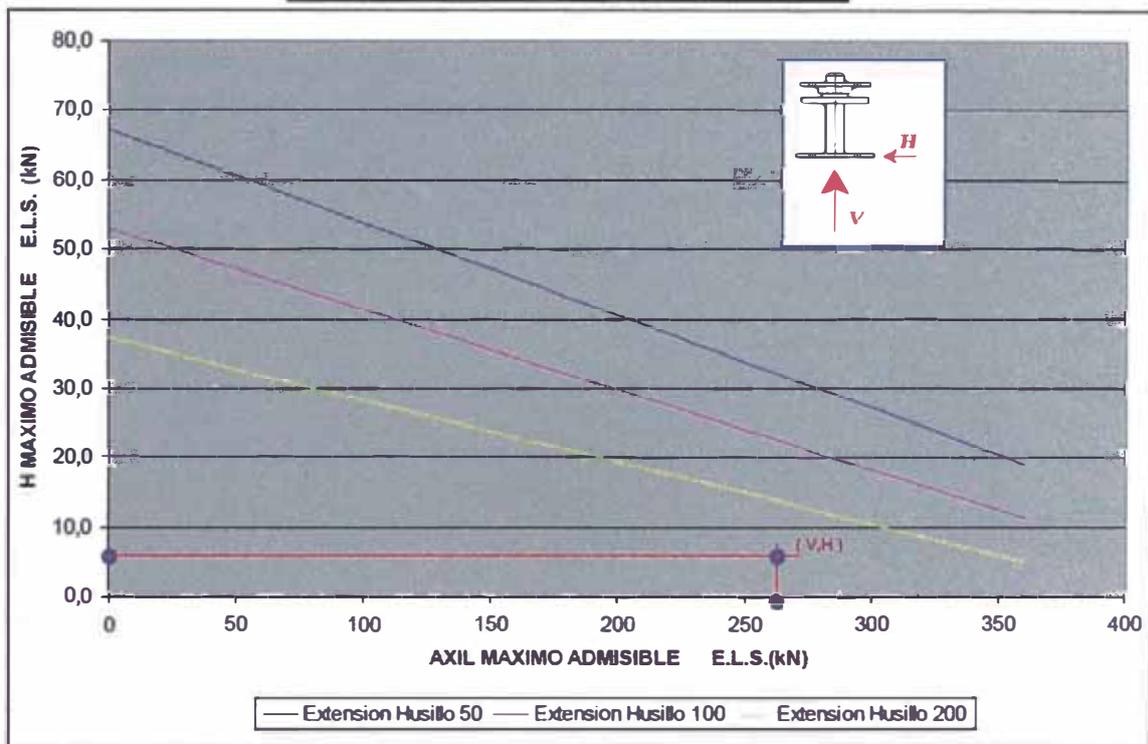


Figura N°3.45.- Reacciones (ton) en apoyos (Husillo Base 360) – COMB SYY

Las cimbras MK transmiten las cargas hacia el piso de fundación mediante los Husillos Base 360 (puntos de apoyo de las cimbras). La capacidad del Husillo Base 360 se indica en el Cuadro N°3.24, en el aparecen las combinaciones de esfuerzos axiales (V) y horizontales (H) para diferentes extensiones del husillo. Se realizará la verificación del Husillo Base 360 para los esfuerzos axiales máximos (V, H) obtenidos de la aplicación de cargas para la COMB 1 (ver figura N°3.41).

$$\triangleright V_{\text{máximo}} = 253.6 \text{ KN} \quad \text{y} \quad H_{\text{máximo}} = 6.30 \text{ KN}$$

Cuadro N°3.24.- Combinación Axial-H Admisible



Fuente: Manual de Aplicación General del Departamento Técnico de Ulma.

Se observa que para la combinación de reacciones (V, H) obtenidas del cálculo para la combinación de cargas COMB1, se encuentran debajo de la curva correspondiente (Extension Husillo 200), por lo tanto se verifica las cargas de uso de los Husillos Base 360.

Finalmente se presenta en la figura N°3.46 las deformaciones máximas en la cimbra central MK-120 para las combinaciones estudiadas.

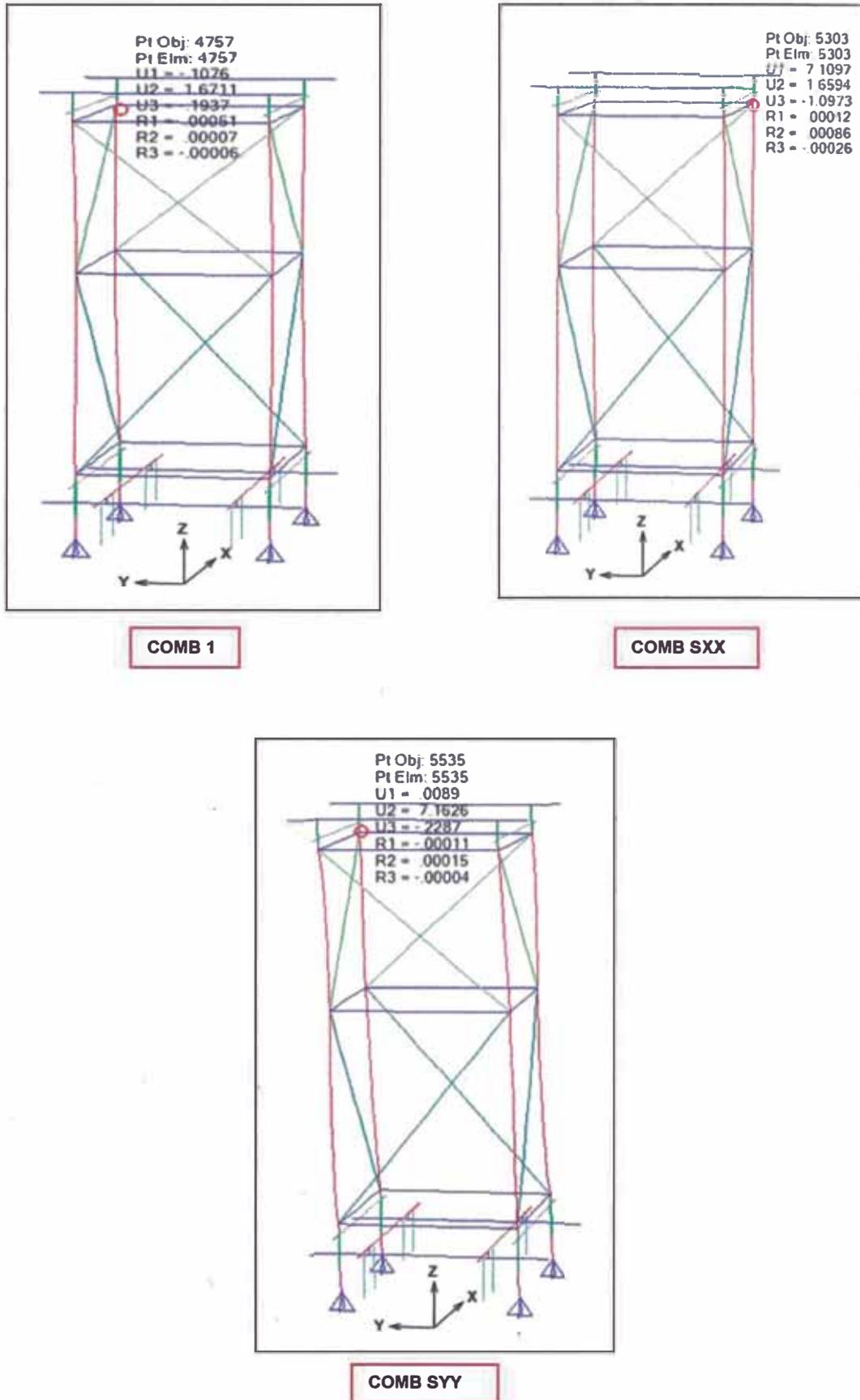


Figura N°3.46.- Deformaciones (mm) en cimbras MK en el tramo central.

3.5 MONTAJE

Se presenta a continuación la descripción general del proceso de armado y montaje de las estructuras básicas de los sistemas desarrollados: una cimbra Brío, una torre Aluprop, una cercha MK y una cimbra MK. En el anexo N°10 Panel fotográfico se presenta imágenes del montaje de estas estructuras en el puente Bayovar.

3.5.1 CIMBRA BRÍO

A continuación se describen los pasos para el armado de una cimbra Brío rectangular de dos niveles en altura:

-1^{er} Nivel de elementos horizontales

Sobre los husillos con placa base se deben colocar los tubos con disco, estos tubos cuentan con un disco que permite enganchar los brazos horizontales del 1^{er} nivel. En la figura N°3.47 izquierda se aprecia el 1^o nivel de elementos horizontales montados.

-2^{do} nivel de elementos horizontales..

Se debe introducir los pies verticales en los tubos con disco, luego se deben montar las plataformas de trabajo sobre los brazos ya colocados. Después se procede a colocar el 2^{do} nivel de brazos en los discos de los pies y se enganchan las diagonales. En la figura N°3.47 derecha se presenta el 2^{do} nivel de brazos colocado.

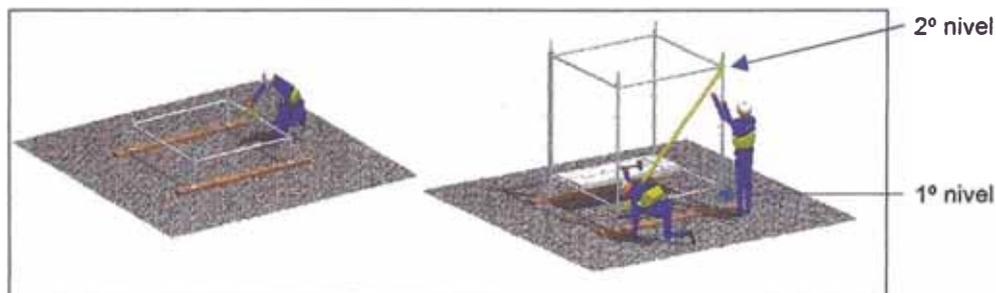


Figura N°3.47.- Montaje de 1^{er} y 2^{do} nivel de elementos horizontales.

-3^{er} nivel de elementos horizontales.

Se deben colocar las plataformas sobre los brazos montados, y mediante la escalerilla que presentan se puede subir al 2^{do} nivel. Luego se deben colocar los pies verticales sobre los anteriores con ayuda de un enchufe perteneciente al

sistema Brío, y proceder a montar los brazos del 3^{er} nivel de elementos horizontales y las diagonales. En la figura N°3.48 izquierda se presenta los 2 niveles de cimbra colocados.

-Colocación de cabezales.

Finalmente proceder a la colocación de los cabezales (sencillos o con husillo regulador). Posteriormente se procederá a colocar las vigas de soporte del encofrado horizontal sobre los cabezales y retirar los elementos de seguridad y plataformas. En la figura N°3.48 derecha se muestra la cimbra Brío montada.

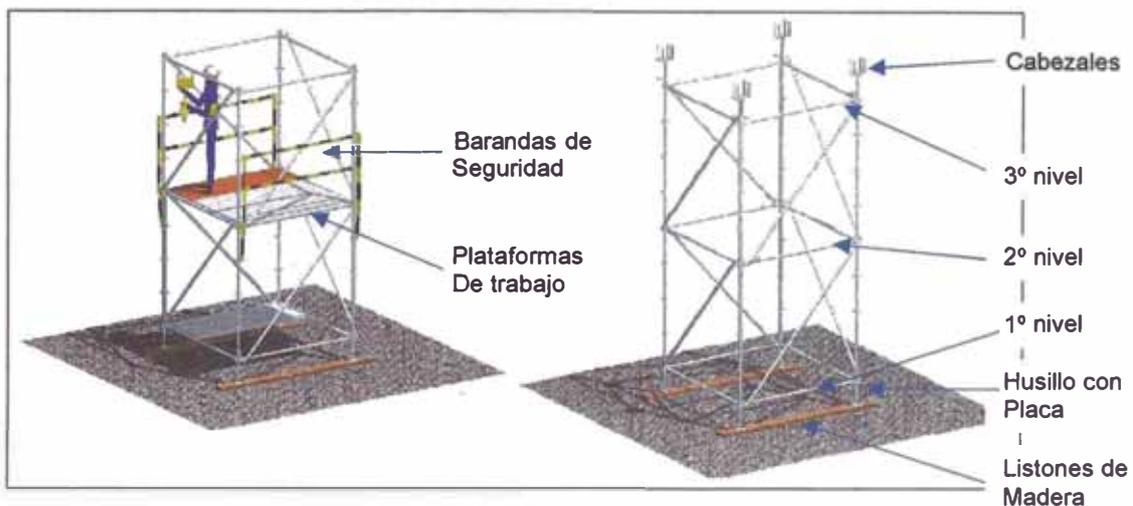


Figura N°3.48.-Montaje de 3^{er} nivel de elementos horizontales y cabezales.

3.5.2 TORRE ALUPROP

Se presenta el proceso de armado e izado de una torre Aluprop de altura menor a 6 metros (1 puntal en altura) con 2 niveles de marcos de arriostramiento, sin embargo el criterio es el mismo para torres de alturas mayores, siempre menores a 12 metros (que tienen 2 puntales en altura).

-Armado de la torre Aluprop

Se debe colocar listones de madera en el piso para el apoyo de los marcos de arriostramiento, luego se procede a conectarlos con los puntales ya regulados a la altura requerida. Posteriormente se colocan los marcos de arriostramiento laterales (figura N°3.49 izquierda) y se procede con la colocación de los siguientes dos puntales. Finalmente se debe cerrar la torre con los marcos de arriostramiento faltantes (figura N°3.49 derecha).

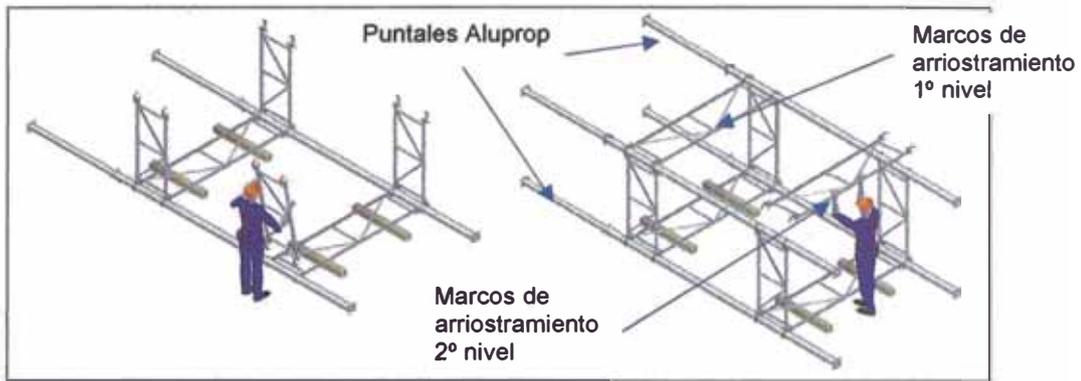


Figura N°3.49.- Armado de torre Aluprop.

-Izado y colocación de la torre Aluprop

Con la torre en el suelo, se debe atar 4 eslingas a los marcos de arriostamiento del 1º nivel (figura N°3.50 izquierda) para que luego puedan ser retiradas desde el suelo, luego se procede con el izaje y desplazamiento hasta su posición final (figura N°3.50 derecha). Una vez en su posición final, se colocan en la parte superior de la torre los cabezales para recibir las vigas del encofrado horizontal a soportar.

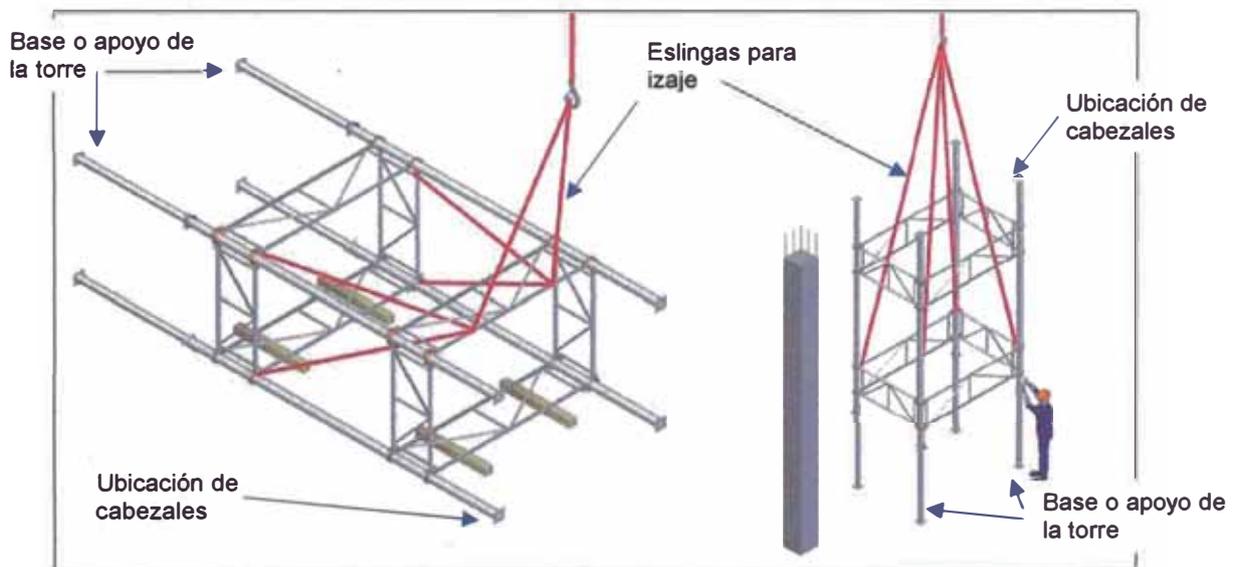


Figura N°3.50.- Izado de torre Aluprop.

3.5.3 CERCHAS MK

Se describe a continuación el proceso de armado y montaje de un cuerpo de cerchas MK, el cual incluye dos cerchas MK y los elementos que las arriostran

lateralmente. Las cerchas MK son armadas en piso para posteriormente ser izadas con grúa, siempre se deben montar en pares para mantener su estabilidad.

-Armado de cercha MK

Se debe colocar listones de madera sobre los cuales se coloca la riostra MK exterior de la cercha, luego se procede a colocar el nudo exterior que servirá de apoyo de la cercha sobre las cimbras MK u otra estructura de soporte (figura N°3.51 izquierda), con el primer nudo colocado se procede a colocar el resto de riostras y nudos con sus respectivos tornillos (figura N°3.51 derecha).



Figura N°3.51.- Colocación de riostras MK y nudos MK.

Una vez terminado este proceso (figura N°3.52 izquierda) se colocan las uniones de eje secundario y uniones de eje secundario terminal (ver anexo N°03) que servirán para conectar el arriostramiento lateral entre cerchas (figura N°3.52 derecha).



Figura N°3.52.- Colocación de elementos de unión.

-Izado y armado de cuerpo de cerchas MK

Posteriormente se procede con el izado de la cercha (figura N°3.53 izquierda). De forma similar se arma otra cercha MK y se coloca junto a su par (figura N°3.53 derecha).

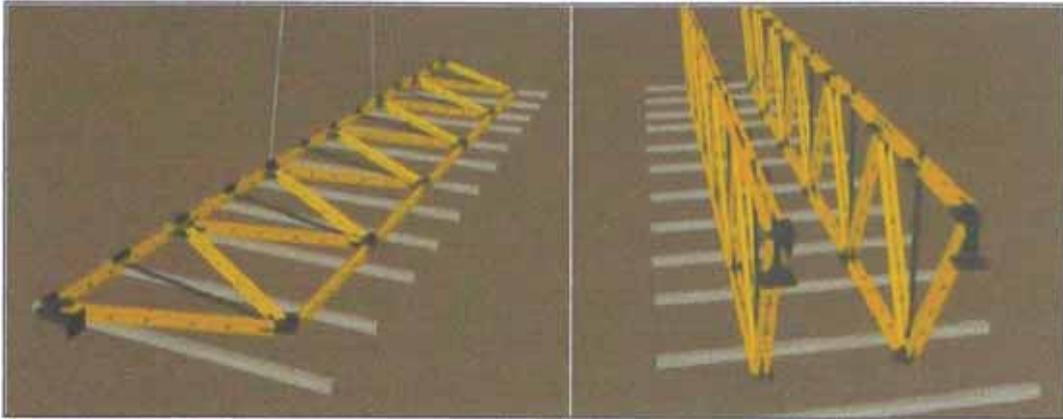


Figura N°3.53.- Izado de cerchas MK.

Finalmente se procede a colocar los elementos de arriostramiento: montantes MK y diagonales MK (figura N°3.54 izquierda). Una vez completado todo el conjunto (figura N°3.54 derecha) se procede a su izado y colocación en la posición final sobre las cimbras MK o sobre otra estructura de soporte.

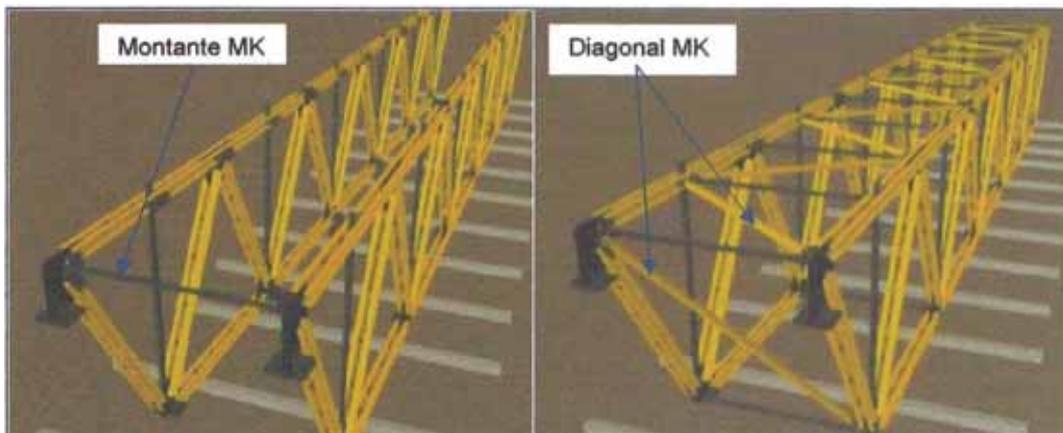


Figura N°3.54.- Par de cerchas MK.

3.5.4 CIMBRAS MK

Se describe a continuación el proceso de armado y montaje de una cimbra MK. La cimbra MK está conformada por una base, el cuerpo y la cabeza de la torre, son armadas en el piso para posteriormente ser izadas con ayuda de una grúa.

-Construcción de la Base

La cimbra MK deberá descansar sobre un bloque de concreto para poder anclar en él barras roscadas que impidan el volteo de la torre, dicho bloque tendrá condición de temporal (ver figura N°3.55 derecha).

-Armado de la base de la cimbra

Se colocan listones de madera sobre los cuales se coloca y ensamblan los elementos de la base: el perfil de arriostamiento, el perfil husillo y el husillo base 360 MK (figura N°3.55 izquierda). Una vez armada, la base es izada y volteada (dado que el husillo base 360 MK es quien debe estar en contacto con el suelo) para luego ser colocada en su posición final sobre el bloque de concreto (figura N°3.56 izquierda). Posteriormente se colocan riostras MK para que sirvan de tope a las barras roscadas ancladas en el bloque (figura N°3.56 derecha).

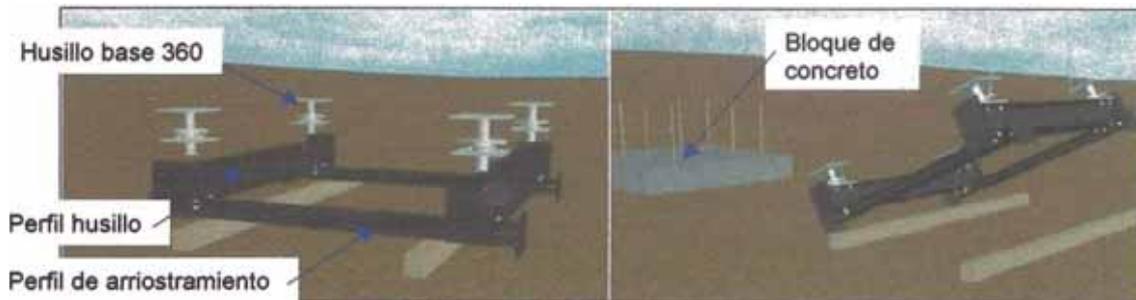


Figura N°3.55.- Armado de la base de la cimbra MK.



Figura N°3.56.- Montaje de la base de la cimbra MK.

-Armado del cuerpo de la cimbra

Se colocan listones de madera sobre los cuales se coloca la riostra MK que conforma una de las patas de la cimbra, posteriormente se colocan los elementos de conexión tanto con la base como con el siguiente cuerpo de cimbra (figura N°3.57 izquierda). De manera similar preparar otra pata para luego juntarlas y colocar los elementos de arriostamiento lateral (Montante y diagonal MK, figura N°3.57 derecha).

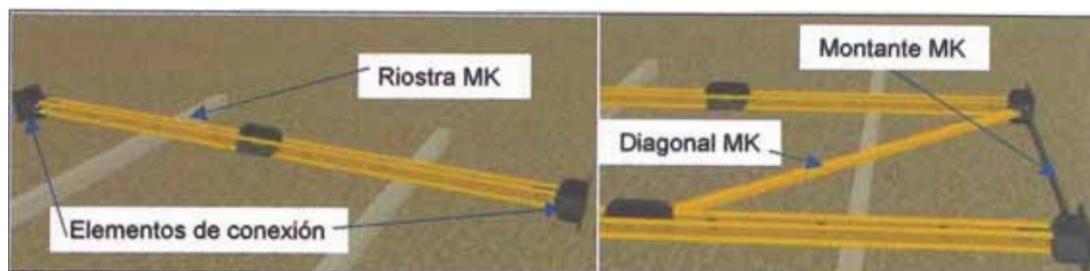


Figura N°3.57.- Armado de cuerpo de la cimbra MK.

Posteriormente se procede con el izaje para luego ser enfrentado con otra estructura igual (figura N°3.58 izquierda), luego se debe colocar los elementos de arriostamiento que completan el cuerpo de la cimbra (figura N°3.58 derecha).



Figura N°3.58.- Colocación de arriostamiento lateral.

Seguidamente se procede con el izaje y colocación de este primer cuerpo de la cimbra sobre la base (figura N°3.59 izquierda), se debe verificar la correcta colocación de tornillos en todas las conexiones. De manera similar se van colocando los cuerpos típicos que sean necesarios. Para cubrir la altura exacta generalmente se coloca en la parte superior un cuerpo no típico de ajuste (figura N°3.59 derecha).

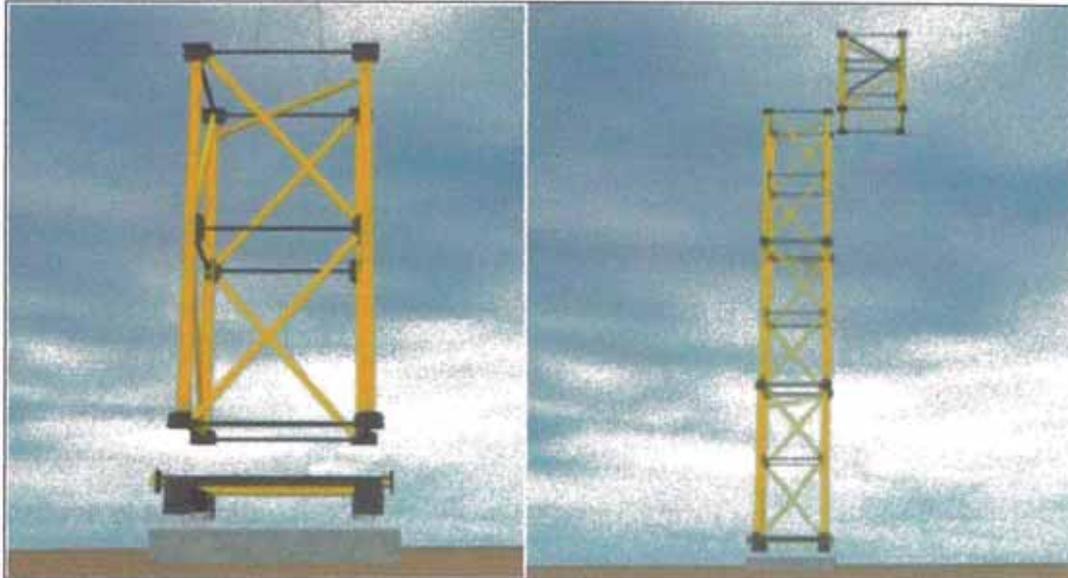


Figura N°3.59.- Montaje del cuerpo de la cimbra MK.

-Armado de la cabeza de la cimbra

De forma similar a la base, se coloca el perfil de arriostramiento, perfil husillo y husillo base 360 MK (figura N°3.60 izquierda), los cuales son izados y colocados en su posición final en la cima de la cimbra (figura N°3.60 derecha).

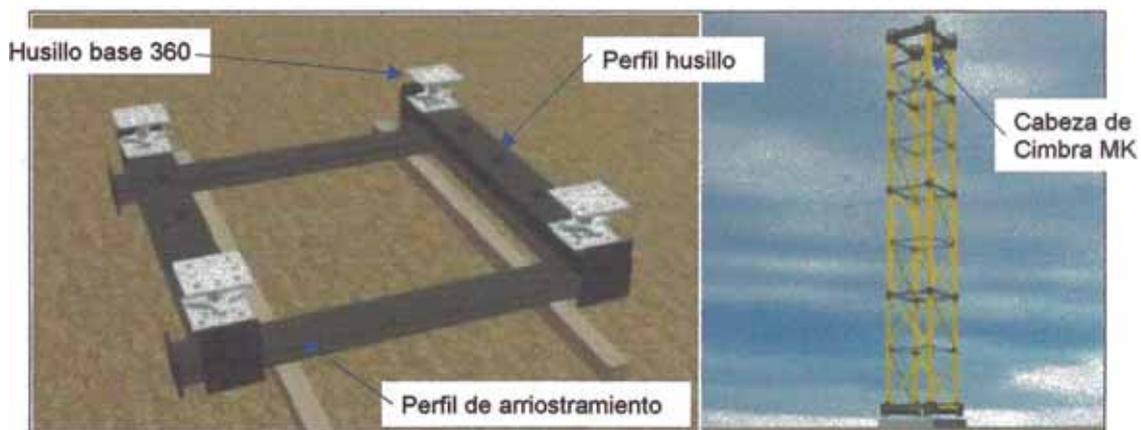


Figura N°3.60.- Montaje de la cabeza de la cimbra MK.

CAPÍTULO IV

COSTOS Y PRESUPUESTOS DE LOS SISTEMAS DE ENCOFRADOS MODULARES EMPLEADOS

En el presente capítulo se presentan los metrados y el presupuesto de la estructura de soporte y encofrado del tramo central de luz 52 m del puente Bayovar del proyecto Tren Eléctrico Línea 1 tramo 2 (ver planos PV-FP-01 hasta PV-FP-06 en el anexo N°2), el cual fue desarrollado en el capítulo anterior. Los metrados y el presupuesto presentados incluyen toda la estructura de soporte y apuntalamientos, los encofrados de los muros de la sección cajón mas no incluye el encofrado de los pilares, escaleras de acceso, elementos y accesorios de seguridad.

4.1 METRADOS

Para un mejor control de los equipos suministrados se ha dividido el metrado en cinco partes: las cerchas y las cimbras MK (sistema MK), las torres Aluprop (sistema Aluprop), el soporte de la losa inferior (riostros MK, vigas VM20, y sus accesorios de fijación entre sistemas), el soporte de la losa superior (vigas VM20 y cimbra Brío) y el encofrado de los hastiales (sistema Comain).

Los metrados incluyen todas las piezas necesarias para la ejecución de los planos presentados en el anexo N°2. La planilla de metrados completa se presenta en el anexo N°8.

4.2 PRESUPUESTO

Para la realización del presupuesto se ha tomado en consideración las planillas de metrados presentadas en el anexo N°8.

Generalmente los sistemas de encofrados son entregados a los contratistas en alquiler por mes y en algunos casos como venta de los equipos, en el anexo N°9 se presentan los presupuestos detallados de cada parte del sistema de soporte y encofrado (según desagregado realizado en anexo N°8 planilla de metrados). Además se presentan los costos tanto de alquiler como de venta, los valores presentados corresponden a precios de lista los cuales podrían estar sujetos a descuentos dependiendo la magnitud y el tipo de proyecto y no incluyen en el monto del Impuesto General a las Ventas (I.G.V.). En el cuadro N°4.1 se presenta un resumen final del presupuesto del sistema de soporte y encofrado

además de las condiciones comerciales generados entre el proveedor de los equipos y el contratista utilizadas comúnmente.

Cuadro Nº4.1.-Resumen del presupuesto total puente Bayovar.

ITEM	DESCRIPCION	JGOS	MES	UNID.	METRADO	PRECIO ALQUILER		PRECIO VENTA		Peso Aprox. (Kg.)
						UNITARIO (Soles)/mes	PARCIAL (Soles)	UNITARIO (Soles)/und	Monto (Soles)	
1.00	SUPERESTRUCTURA EJES V45-V46 PUENTE BAYOVAR MV11 L _{total} =52.00m.									
1.01	FALSO PUENTE MK. Se considera las cimbras MK (9) y cerchas MK (16).	1.00	2.00	jgo.	1.00	54,070.73	108,141.46	1,806,029.43	1,806,029.43	74,138.92
1.02	TORRES ALUPROP. Se considera el total de torres Aluprop.	1.00	2.00	jgo.	1.00	16,760.20	33,520.40	554,293.60	554,293.60	12,243.60
1.03	SOPORTE DE LOSA INFERIOR. Se considera las ríostres MK, Vigas VM20 y accesorios de fijación entre sistemas	1.00	2.00	jgo.	1.00	15,102.39	30,204.78	298,446.51	298,446.51	18,088.49
1.04	SOPORTE DE LOSA SUPERIOR. Se considera las Vigas VM20 y Sistema Brío para encofrado de losa superior en el tramo central y en los volados.	1.00	2.00	jgo.	1.00	18,675.34	37,350.68	415,444.44	415,444.44	22,438.37
1.05	ENCOFRADO DE HASTIALES. Se considera toda la panelería metálica del sistema de encofrado Comain.	1.00	0.50	jgo.	1.00	19,721.61	9,860.81	643,384.31	643,384.31	24,364.17
TOTALES							Si. 219,078.13		Si. 3,717,598.29	151,273.55
COSTO/ml de puente							Si. 4,213.04		Si. 71,492.27	

CONDICIONES :

- Los precios no incluyen I.G.V
- No incluye transportes, equipos ubicados en almacén.
- Se destinará un supervisor de campo (no permanente) para apoyar en la capacitación y durante la ejecución de la obra.
- No incluye plataformas de trabajo ni escaleras de acceso.

Fuente: Elaboración propia.

Para la presentación del cuadro N°4.1 se ha tenido en cuenta lo siguiente:

-Se tomó en cuenta el tiempo que el equipo permaneció en alquiler, tanto el falso puente, las torres Aluprop y los soportes de la losa inferior y superior del puente estuvieron en alquiler por dos meses (25 días de armado de cerchas MK, cimbras MK, torres Aluprop, cimbras Brío y su montaje; 5 días de vaciados, 21 días adicionales para que el concreto alcance la resistencia requerida y 9 días para el desmontaje y desencofrados hasta devolver todos al almacén). Los encofrados verticales de los hastiales estuvieron en obra quince días, dado que estos pueden retirarse al día siguiente de ser vaciados.

-El cuadro presenta el monto total que significó al proyecto el alquiler de equipos de encofrado modulares en el tiempo que estuvo en la obra (**\$/219,078.13**), además presenta el costo que hubiera significado la venta de los mismos (**\$/3,717,598.29**).

-Dada la longitud total del tramo central del puente de 52.00 m., se presenta el costo del alquiler por metro lineal del encofrado del puente (**\$/4,213.04**), así como el costo por metro lineal de la venta (**\$/71,492.27**), los cuales pueden tomarse como ratios de referencia para obras de características similares.

-El cuadro también presenta el peso total del equipo (**151,273.55 Kg.**) para que se tome en cuenta en la cantidad de viajes y el tipo de vehículo a emplear para su transporte, es decir estimar el costo por flete.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- En la actualidad la técnica de encofrados más utilizada en nuestro país para la construcción de puentes es la a base de encofrados metálicos modulares, sin embargo ya se están empezando a desarrollar proyectos con sistema de carros de avance teniendo como pioneros los puentes sobre la Vía de Evitamiento y sobre el Río Rímac en el proyecto Tren Eléctrico Línea 1 Tramo 2 actualmente en funcionamiento.

- Para el diseño y construcción de falsos puentes y estructuras de soporte de encofrados deberá tenerse en cuenta todas las cargas actuando en conjunto y considerando las diversas etapas de la construcción. Todos los elementos deberán ser verificados mediante algún método confiable, siendo utilizado de forma amplia en nuestro medio el método de los esfuerzos admisibles.

- En puentes sobre ríos y quebradas es indispensable contar con el estudio de hidrología e hidráulica, debiendo programarse los trabajos de encofrado de la superestructura en época de estiaje, en la cual se pueda encauzar fácilmente el río y se pueda trabajar apoyándose sobre el terreno con algún sistema de apuntalamiento metálico, pudiendo ser la cimbra BRÍO o las torres ALUPROP.

-El uso de los encofrados metálicos modulares presenta la gran ventaja de que están formados por piezas modulares estandarizadas, las cuales permiten solucionar distintas configuraciones geométricas. Además presenta la posibilidad de darle un alto número de usos en comparación con las piezas de madera y presentan mayor capacidad resistente. Además por su fácil armado y montaje contribuyen directamente con el control de la seguridad en obra.

-Mediante la recopilación de experiencias previas se puede establecer criterios para la elección de un sistema de encofrados para la construcción de puentes, sin embargo se requiere estudiar minuciosamente las diversas variables involucradas que cada puente pudiera presentar, como: la luz del tramo, el gálibo, el tipo de puente y el obstáculo a salvar; con ello se podrá establecer la

mejor solución desde el punto de vista técnico y económico. Además se debe conocer las diversas virtudes y limitaciones del sistema de encofrado a utilizar.

-Los puentes generalmente usados en nuestro país para el cruce de grandes avenidas y ríos presentan luces entre 30 y 50 metros, para estos el sistema de encofrados metálico más recomendable es el de las torres ALUPROP, Sistema MK o en muchos casos una combinación de ellos con el complemento de las cimbras BRÍO y remates de madera.

-Se ha verificado que todos los elementos utilizados en el soporte y encofrado del puente Bayovar para la combinación de cargas E.L.S y COMB1 presentan cargas de servicio menores a sus capacidades admisibles, además las flechas, obtenidas de los cálculos resultan menores que las máximas tolerables.

-La viga VM20 crítica (secundaria) presenta un momento flector de 0.17 ton.m y una fuerza cortante de 0.75 ton para la combinación de carga E.L.S. Teniendo en cuenta su capacidad resistente se encuentra trabajando en un 34.0% debido al momento y un 68.18% debido a la fuerza cortante.

-La riostra MK-120 crítica (Vigas primarias en torres ALUPROP) presenta un momento flector de 0.82 ton.m y una fuerza cortante de 4.00 ton para la combinación de carga COMB SXX. Teniendo en cuenta su capacidad resistente se encuentra trabajando en un 43.39% debido al momento y un 28.57% debido a la fuerza cortante.

-El puntal ALUPROP crítico presenta una carga vertical de 6.40 ton para la combinación de carga COMB SXX. Teniendo en cuenta su capacidad resistente se encuentra trabajando en un 90.00% de su capacidad a carga axial.

-La riostra MK-120 crítica en las cerchas MK presenta una carga axial actuante de 35.27 ton, un momento flector de 1.66 ton.m y una fuerza cortante de 5.54 ton para la combinación de carga COMB SXX. Teniendo en cuenta su capacidad resistente se encuentra trabajando en un 97.97% de su capacidad axial, un 87.83% debido al momento y un 39.57% debido a la fuerza cortante.

-La riostra MK-120 crítica en las cimbras MK presenta una carga axial actuante de 37.86 ton para la combinación de carga COMB SXX. Teniendo en cuenta su capacidad resistente se encuentra trabajando en un 112.68% de su capacidad axial. Por lo tanto se deduce que la riostra MK-120 para la combinación de cargas COMB SXX no cumple con los requerimientos solicitados a compresión.

-Se estableció para el alquiler de la estructura de soporte y encofrado de la superestructura del puente Bayovar un costo por metro lineal de S/.4,213.04, el cual no incluye el I.G.V. ni tampoco descuentos, se puede tomar este valor como ratio para poder calcular de forma preliminar el costo de soporte y encofrados de superestructuras de puentes de similares características.

5.2 RECOMENDACIONES

-Los resultados obtenidos para la combinación de carga COMB SXX en la riostra MK-120 de las cimbras nos indican que se necesita que la riostra MK-120 desarrolle mayor capacidad de carga a compresión para el correcto funcionamiento del soporte. La capacidad máxima admisible de la riostra MK-120 es de 36.00 ton, valor que se alcanza para una longitud libre de riostra (1.50 m) y el uso de 6 tornillos de conexión con sus elementos de unión, este valor máximo está limitado por el rasgado de los orificios (\varnothing 17 mm) que tiene la riostra MK-120 y que utiliza para las diferentes conexiones que requiere. Por lo tanto se recomienda cambiar la riostra MK-120 por otra cuyas propiedades mecánicas le permitan cumplir con las demandas de cargas axiales actuantes.

- El análisis por acción de fuerzas horizontales por sismo en las direcciones “X” e “Y” considera un porcentaje de la carga permanente (10%). Este porcentaje usado está basado en una práctica usual en el diseño de esta clase de estructuras temporales, no está basado en una interpretación de la NTE. E030 por lo que se recomienda realizar estudios específicos para determinar parámetros de diseño sísmico para esta clase de estructuras (encofrados).

-Se requiere una adecuada difusión de las nuevas tecnologías en encofrados en puentes que puedan ser impartidas desde la universidad mediante ferias, tesis, boletines, etc. dada su importancia en el desarrollo de los proyectos de puentes y que permita a los futuros ingenieros su dominio y adecuada aplicación.

BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO HIGHWAY SUBCOMMITTEE ON BRIDGES AND STRUCTURES, AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 6th edition, EEUU, 2012.
- Aceros Arequipa, Manual del Maestro Constructor, 1º Edición, Lima-Perú 2010.
- Aranís García-Rossell César, Análisis y Diseño de Puentes de Concreto Armado, ACI UNI 1º Edición, Lima-Perú, 2006.
- Ferrovial Agroman Constructora, Curso de Encofrados, España.
- García Mendoza Miguel Ángel, "Sistema de Encofrados ULMA en Edificaciones y Obras Civiles", Informe de Suficiencia para la Titulación Profesional FIC-UNI, 2005.
- Instituto de la Construcción y Gerencia, Análisis, Diseño y Construcción de Puentes 3º Edición, Lima-Perú, 2012.
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones, Manual de Diseño de Puentes, Lima-Perú, 2003.
- Pacheco Zuñiga Julio, El maestro de obra, Sencico 2º Edición, Lima-Perú, 2006.
- Pastor G. Luis, Puentes y Obras de Arte, Ed. Ciencias, Lima-Perú, 2000.
- Regal Alberto, Los Puentes del Antiguo Perú, FIC-UNI, 1965.
- Ramírez Goicochea Luis Enrique, "Procesos Constructivos del Puente Tsejtsi en Arco de Concreto Postensado de 80 m.", Titulación por Examen Profesional FIC-UNI, 1995.
- Ulma Construcción, Catalogo General de Productos, España.
- Ulma Construcción, Guía de Usuario ESTRUCTURA MK, España.
- Ulma Construcción, Guía de Usuario CIMBRA MK, España.
- Ulma Construcción, Guía de Usuario BRIO, España.
- Ulma Construcción, TORRES ALUPROP, España.