

- 
- 
- 

# **Seminario Internacional de Ingeniería de Puentes**

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

## **AMPLIACION DE LUCES EN PUENTES PRETENSADOS UNA SOLUCION CREATIVA**

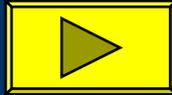
Conferencia del Ing. Tomás del Carril  
30 de Noviembre de 2006

**QUITO – ECUADOR - 2006**

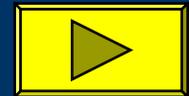
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
-

# INDICE DE LA CONFERENCIA

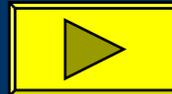
1. INTRODUCCION



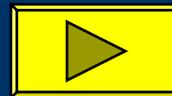
2. CARACTERISTICAS DE LAS ESTRUCTURAS EXISTENTES



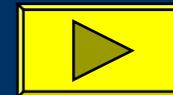
3. DESARROLLO DE LA IDEA



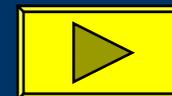
4. ANALISIS DE ALTERNATIVAS



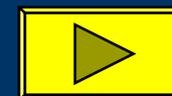
5. AJUSTE DE LA ALTERNATIVA ELEGIDA



6. DISEÑO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA



7. CONCRECION DE LA IDEA: LA CONSTRUCCION



# INDICE DE LA CONFERENCIA

## 1. INTRODUCCION

## 2. CARACTERISTICAS DE LAS ESTRUCTURAS EXISTENTES

## 3. DESARROLLO DE LA IDEA

## 4. ANALISIS DE ALTERNATIVAS

## 5. AJUSTE DE LA ALTERNATIVA ELEGIDA

## 6. DISEÑO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

## 7. CONCRECION DE LA IDEA: LA CONSTRUCCION

# UBICACION DEL PROYECTO



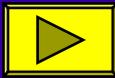
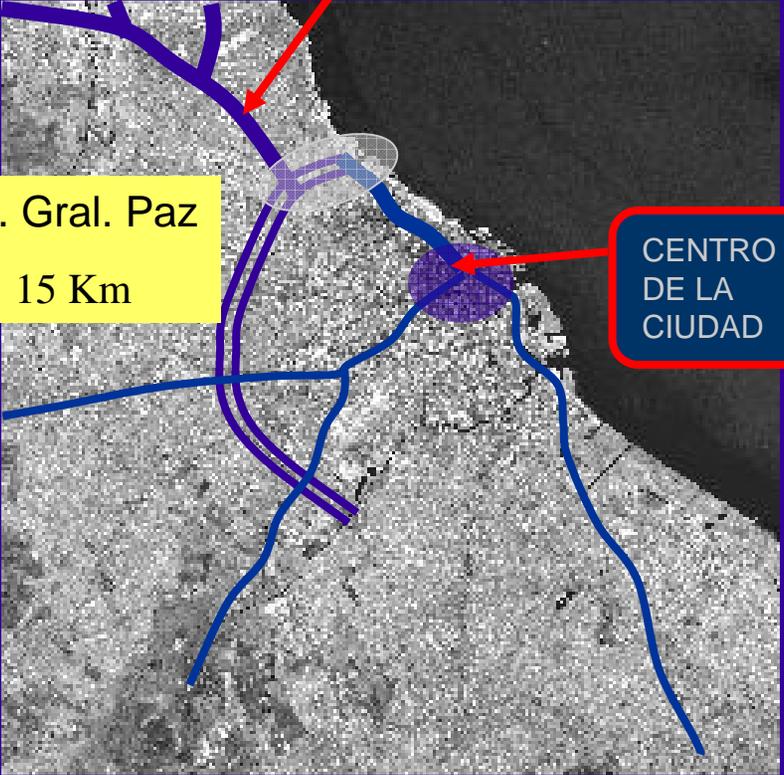
**ARGENTINA**  
2.767.000 Km<sup>2</sup>  
36.600.000 Habs.

**AUTOPISTAS DEL SOL  
CONCESION (160 Km)**

**BUENOS AIRES**  
CAPITAL  
FEDERAL:  
2.965.400 Habs.  
GRAN BS. AS.:  
11.300.000 Habs.

**Av. Gral. Paz  
15 Km**

**CENTRO  
DE LA  
CIUDAD**



- 
- 
- 

## VISTA GENERAL DEL PROYECTO



# VISTA GENERAL DEL PUENTE DE LA CALLE SUPERI



- 
- VISTA DEL PUENTE DE LA CALLE ZAPIOLA ANTES DE LA OBRA
- 

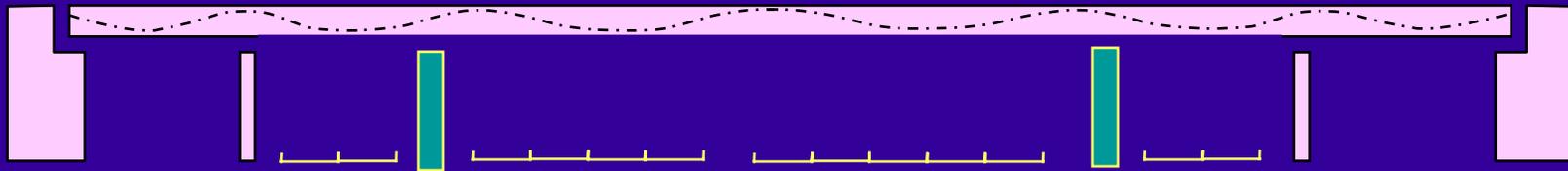


- 
- 
- **CARACTERISTICAS DE LAS ESTRUCTURAS EXISTENTES**

**PLANTA**



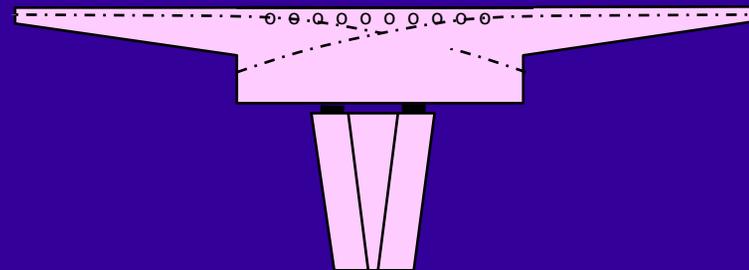
**CORTE LONGITUDINAL**



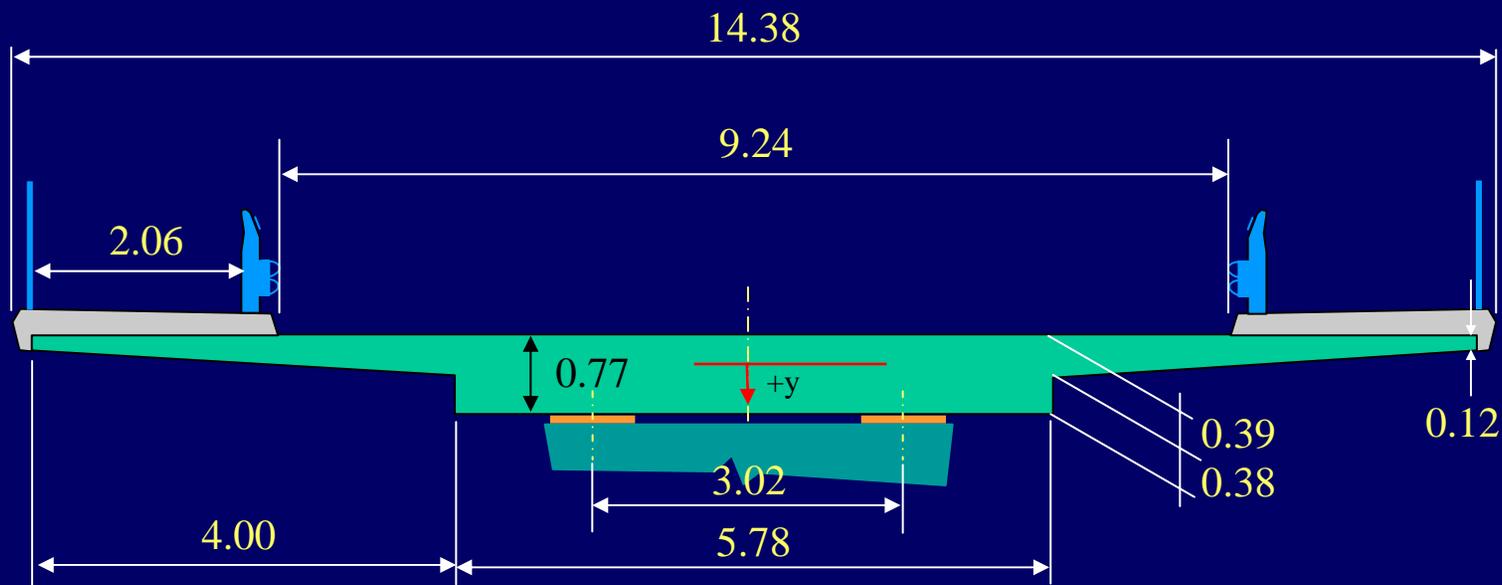
**SECCION TRANSVERSAL EN TRAMOS**



**SECCION TRANSVERSAL EN APOYOS**



# CARACTERÍSTICAS DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES DE LOS PUENTES EXISTENTES

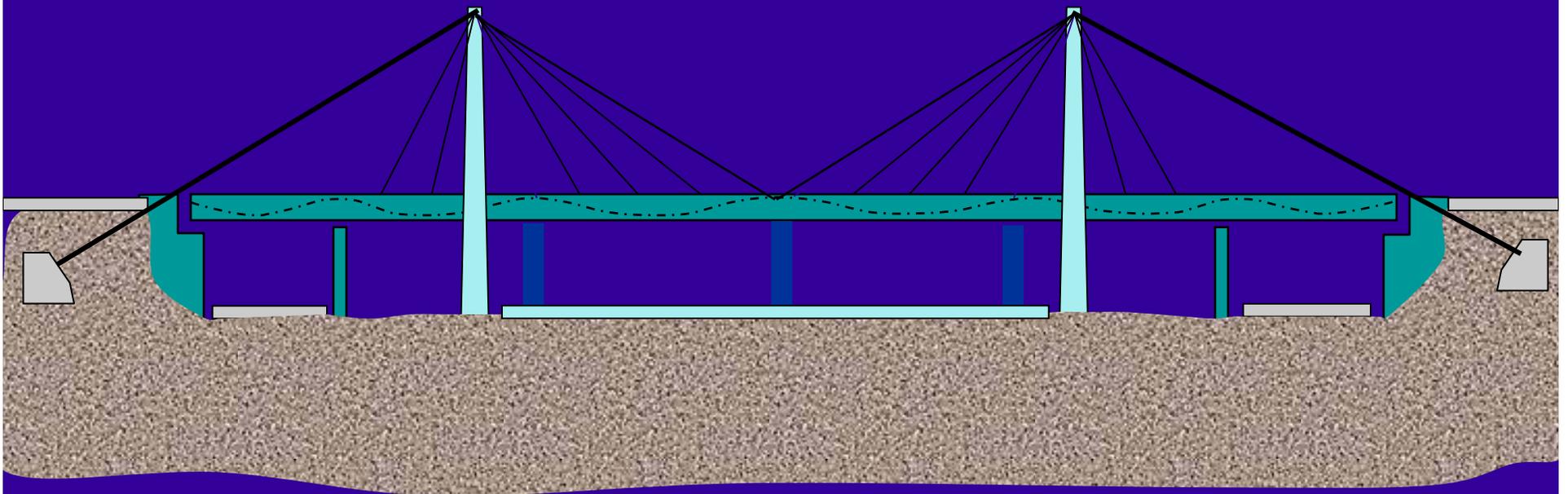


AREA DE LA SECCION:	6.50 m <sup>2</sup>
PESO UNITARIO:	16.2 t/m
POSICION DEL BARICENTRO:	Ysup: -0.323 m Yinf: +0.447 m
MOMENTO DE INERCIA :	I: 0.3956 m <sup>4</sup>



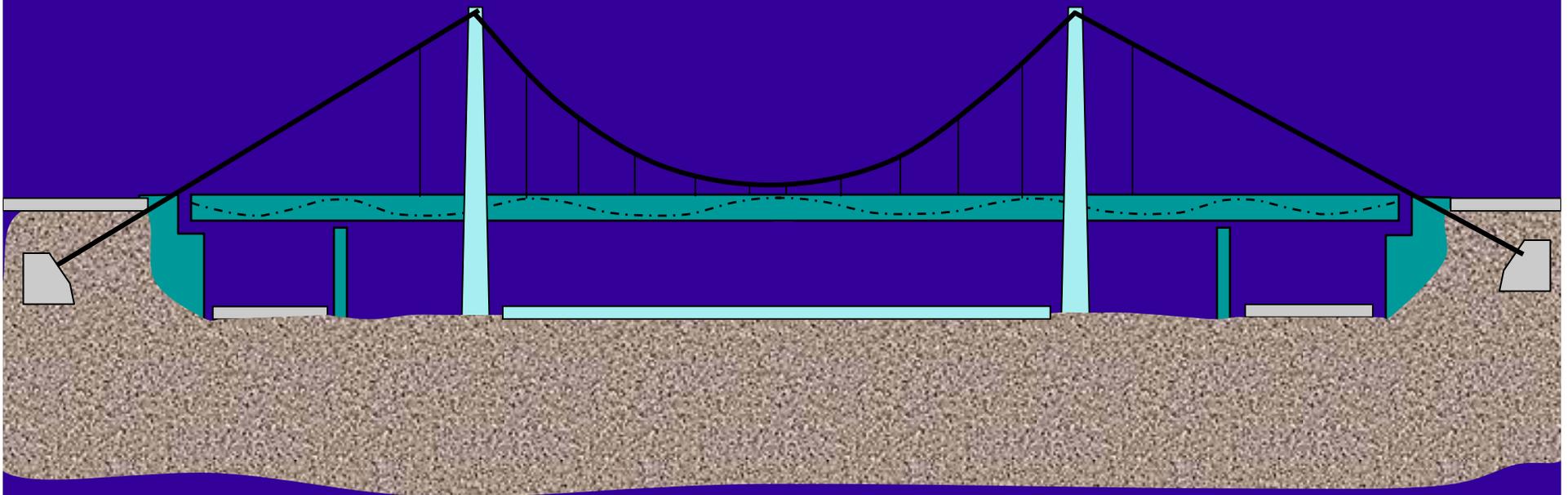
- 
- 
- 

## ALTERNATIVA 1: PUENTE DE OBENQUES



- SOLUCIONES ESTETICAS INTERESANTES
- FALTA DE PROPORCION PARA ESTE TIPO DE PUENTE

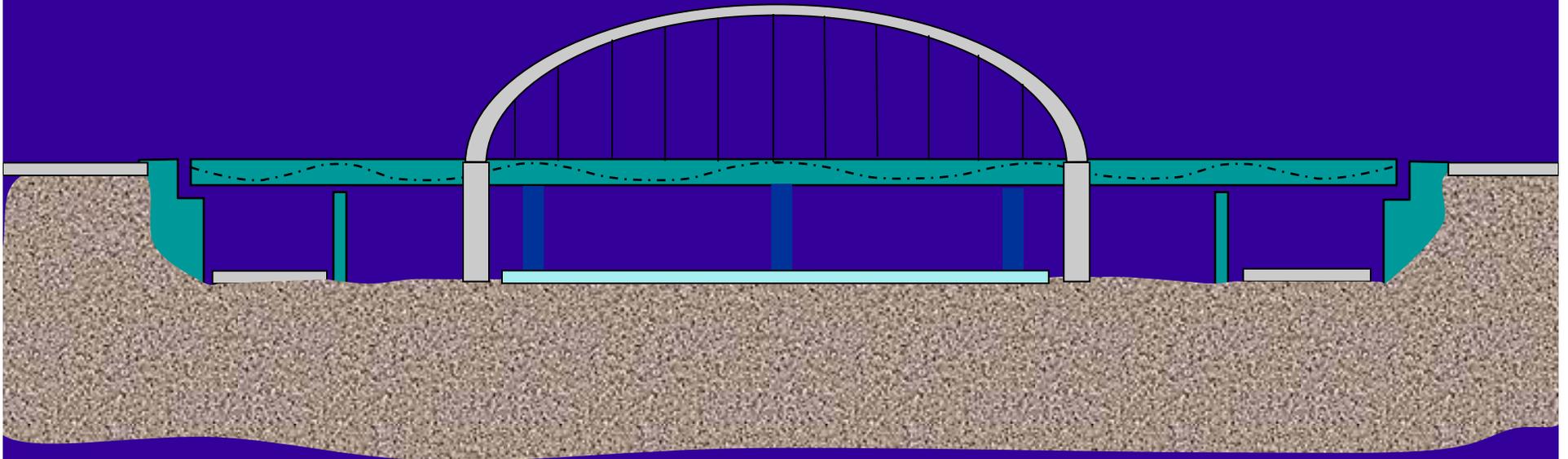
## ALTERNATIVA 2: PUENTE SUSPENDIDO



- SOLUCIONES ESTETICAS MENOS ACEPTABLES
- ABSOLUTA FALTA DE PROPORCION ESTRUCTURAL

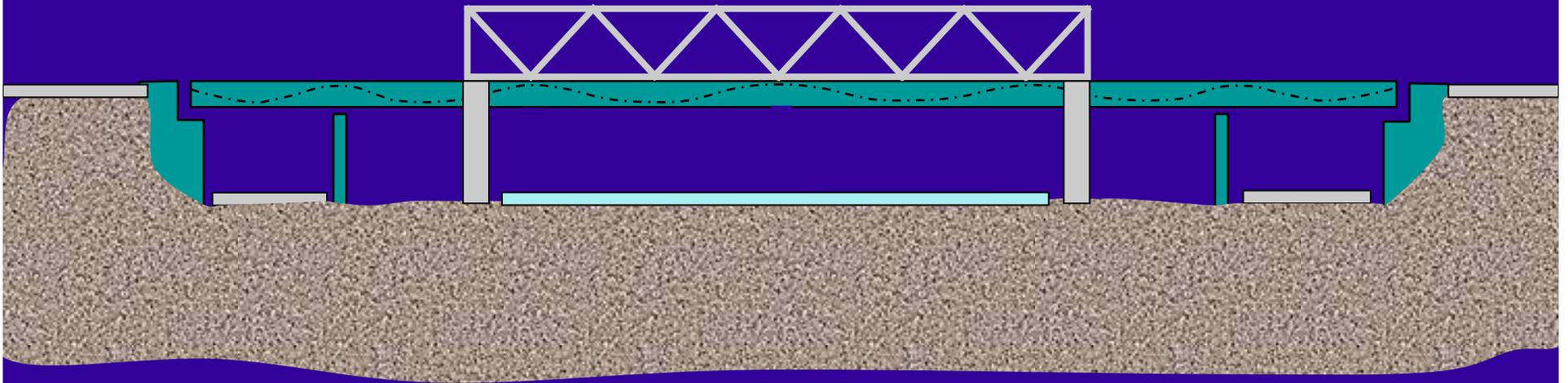
- 
- 
- 

## ALTERNATIVA 3: PUENTES EN ARCO



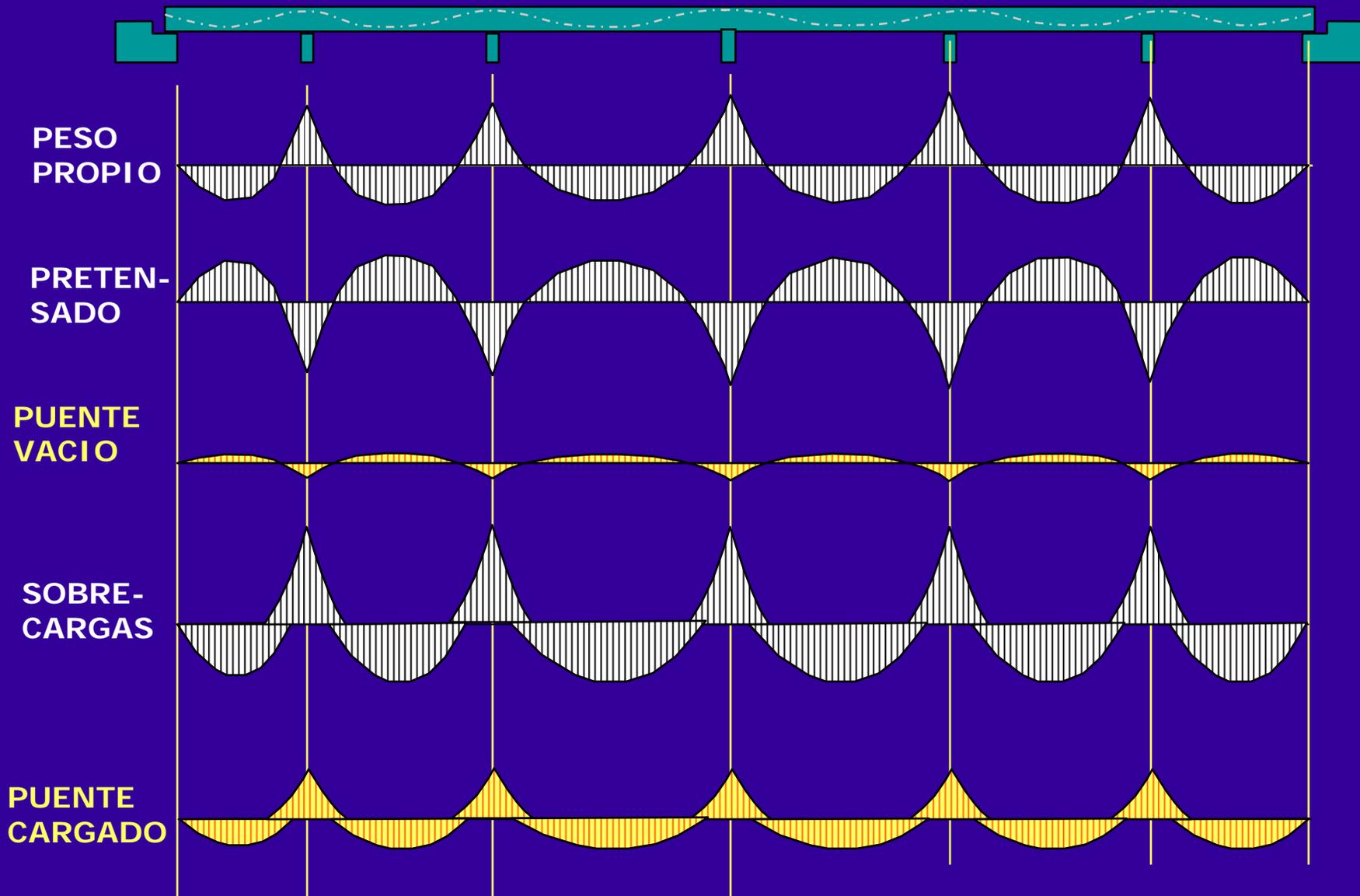
- SOLUCIONES ESTETICAS INTERSANTES
- ALGUNAS COMPLEJIDADES CONSTRUCTIVAS

## ALTERNATIVA 4: VIGA RETICULADA



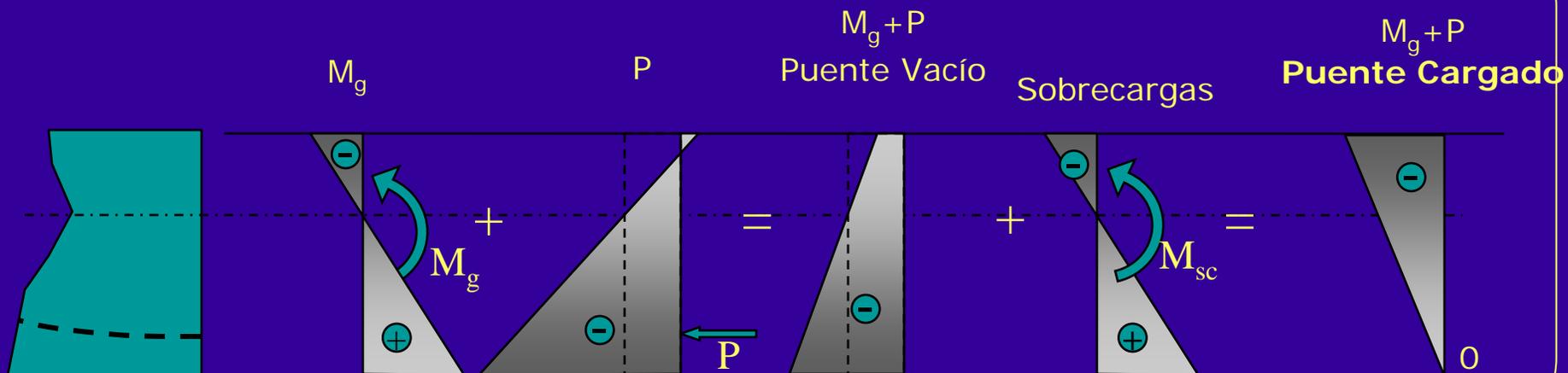
- SOLUCIONES ESTETICAS DEFICIENTES
- SOLUCION DE MINIMA DESDE EL PUNTO DE VISTA ESTRUCTURAL
- SOLUCION SIMPLE DESDE EL PUNTO DE VISTA CONSTRUCTIVO

# MOMENTOS FLEXORES EN LA DIRECCION LONGITUDINAL

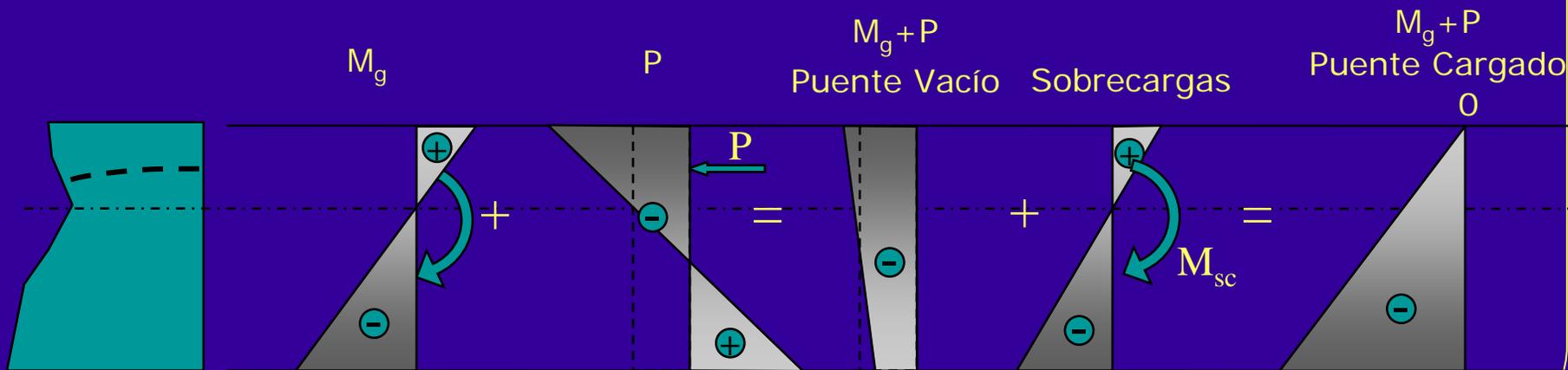


# DIAGRAMAS DE TENSIONES MORMALES

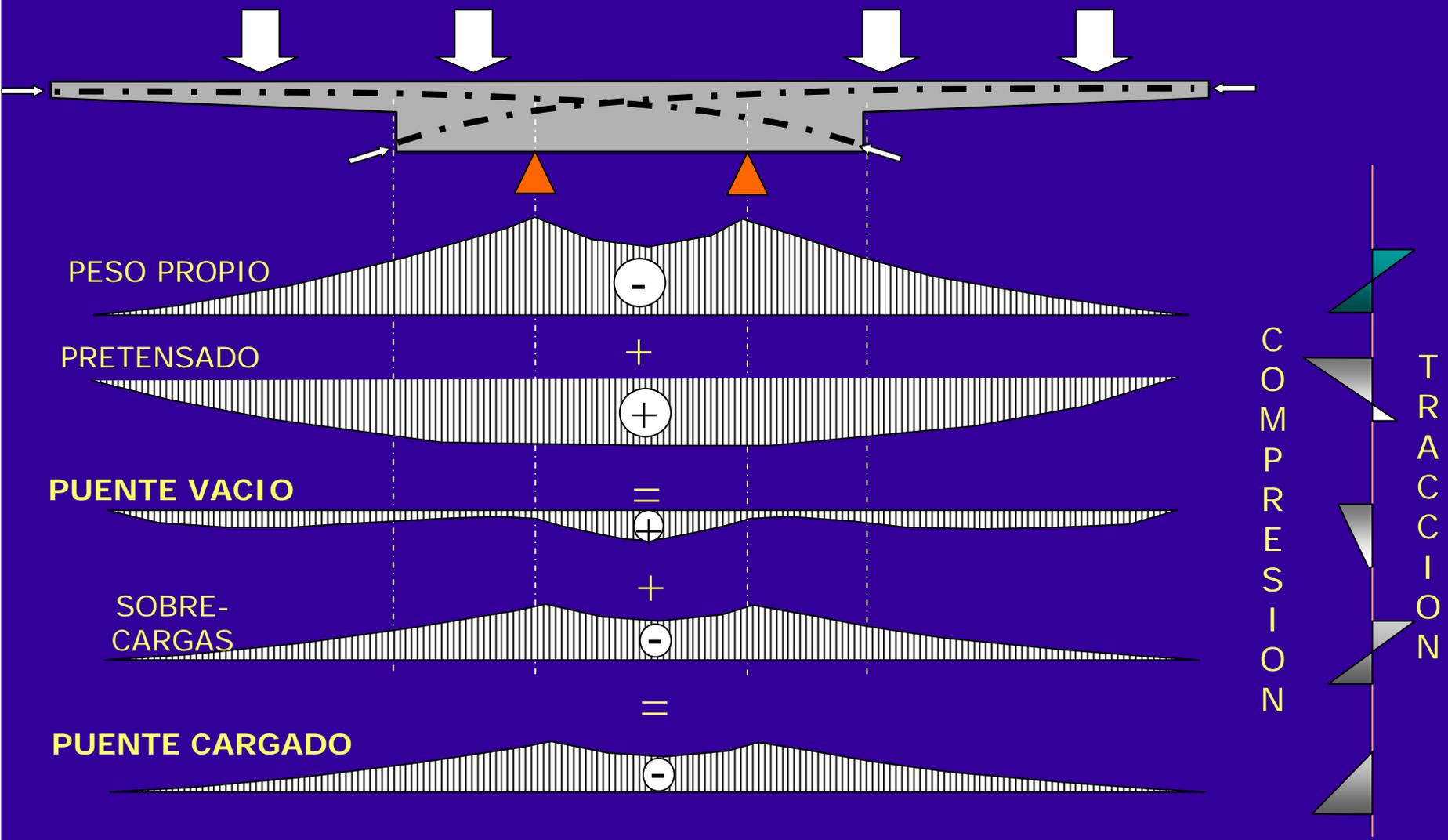
## TENSIONES EN EL CENTRO DE LOS TRAMOS



## TENSIONES EN LAS SECCIONES DE APOYOS



# TENSIONES NORMALES EN LA DIRECCION TRANSVERSAL



# ESTADOS DE TENSION LUEGO DEL PRETENSADO

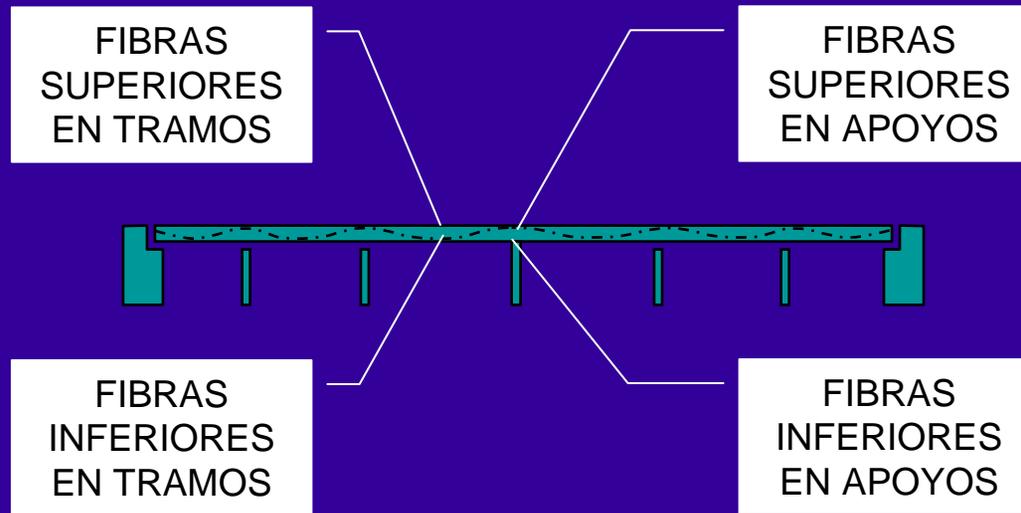
## DIRECCION LONGITUDINAL

**PUENTE VACIO:**  
LIMITE DE TRACCION

**PUENTE CARGADO:**  
ALTA COMPRESION

**PUENTE VACIO :**  
ALTA COMPRESION

**PUENTE CARGADO :**  
LIMITE DE TRACCION



**PUENTE VACIO :**  
ALTA COMPRESION

**PUENTE CARGADO :**  
LIMITE DE TRACCION

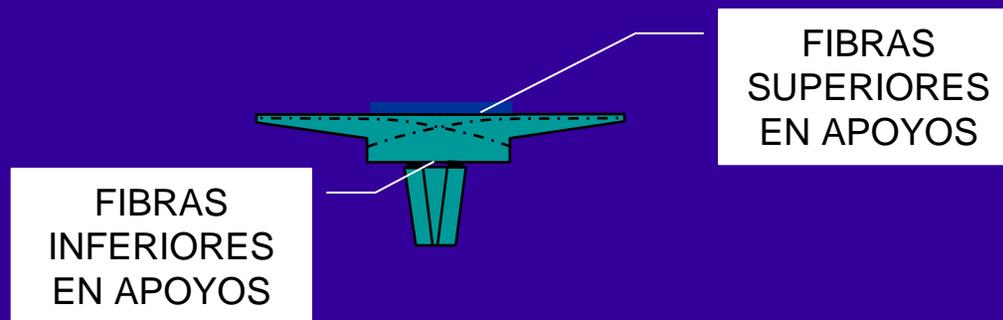
**PUENTE VACIO :**  
LIMITE DE TRACCION

**PUENTE CARGADO :**  
ALTA COMPRESION

## DIRECCION TRANSVERSAL

**VOLADIZO DESCARG.:**  
LIMITE DE TRACCION

**VOLADIZO CARGADO:**  
ALTA COMPRESION



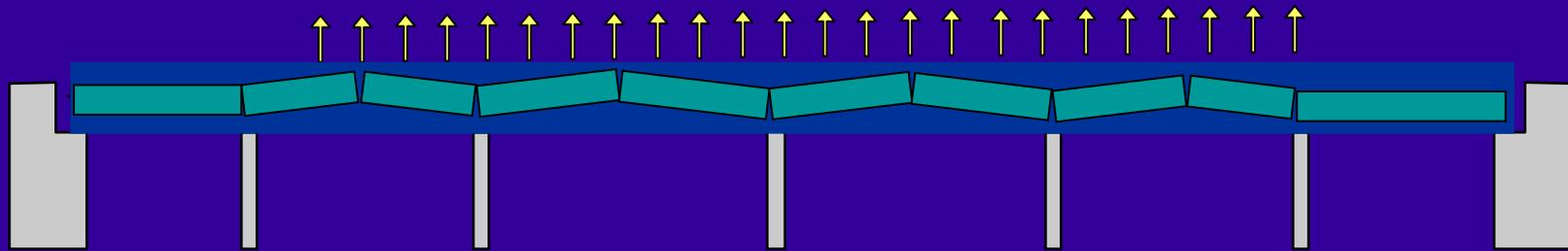
**VOLADIZO DESCARG.:**  
ALTA COMPRESION

**VOLADIZO CARGADO:**  
LIMITE DE TRACCION

## 1<sup>RA</sup> CONCLUSION

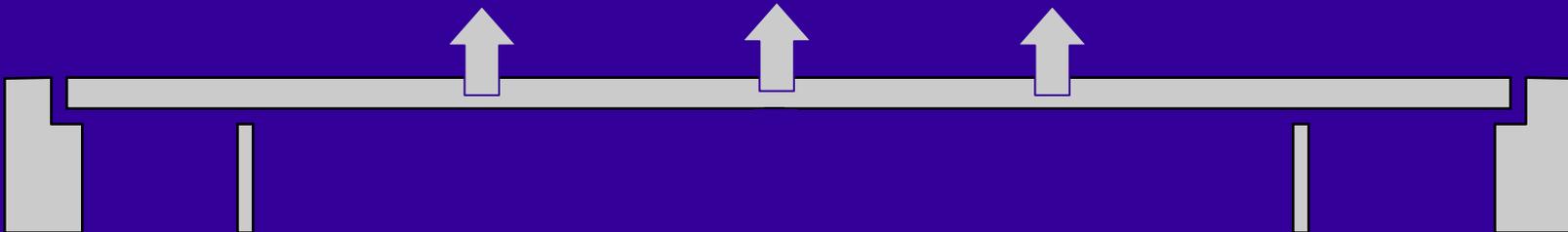
NO ES POSIBLE SUSPENDER LA ESTRUCTURA EXISTENTES DESDE PUNTOS INTERMEDIOS

HABRIA SOBRETENSION EN VARIOS PUNTOS POR "ELIMINAR" PESO

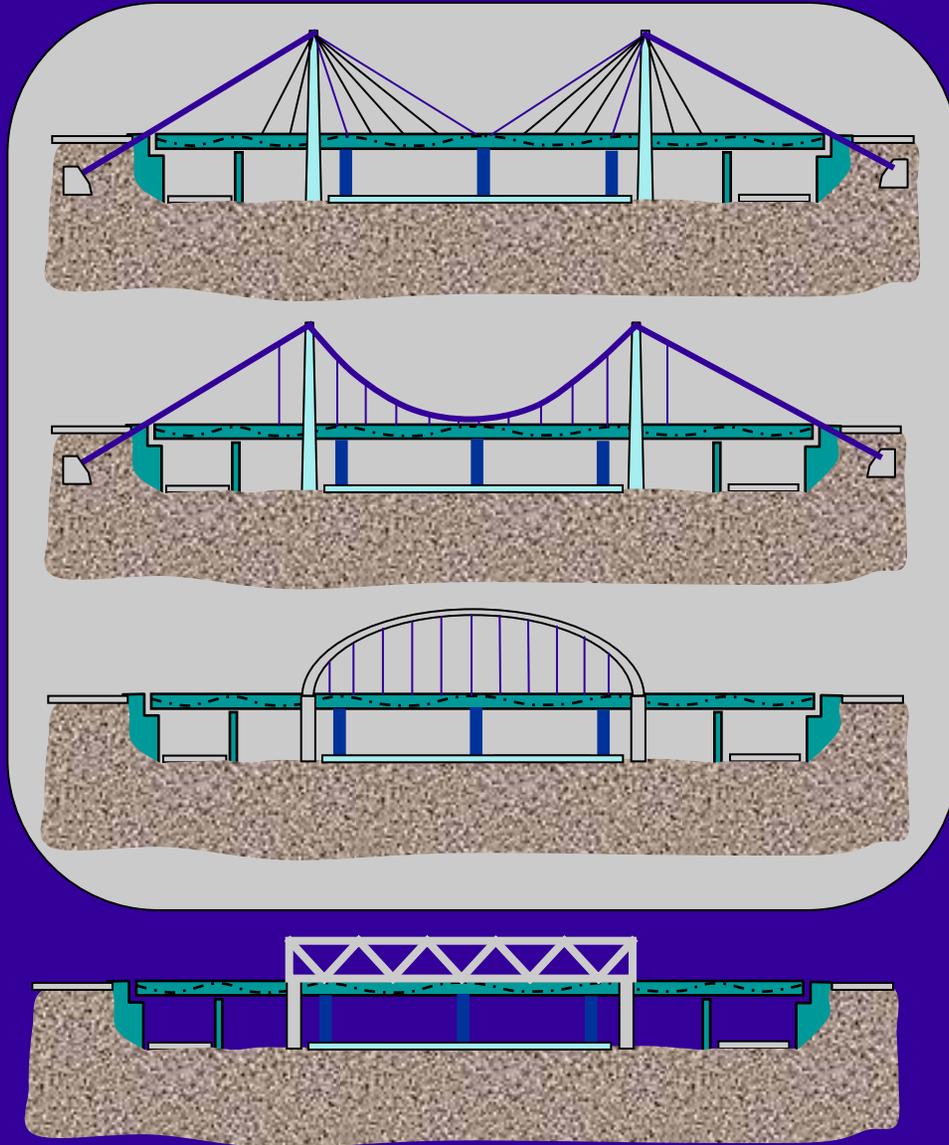


### DIRECCION LONGITUDINAL

LA SUPERESTRUCTURA DEBIA SUSPENDERSE DESDE LOS MISMOS PUNTOS EN LOS QUE SE ENCONTRABA APOYADA



## AJUSTE DE LAS SOLUCIONES CONCEPTUALES



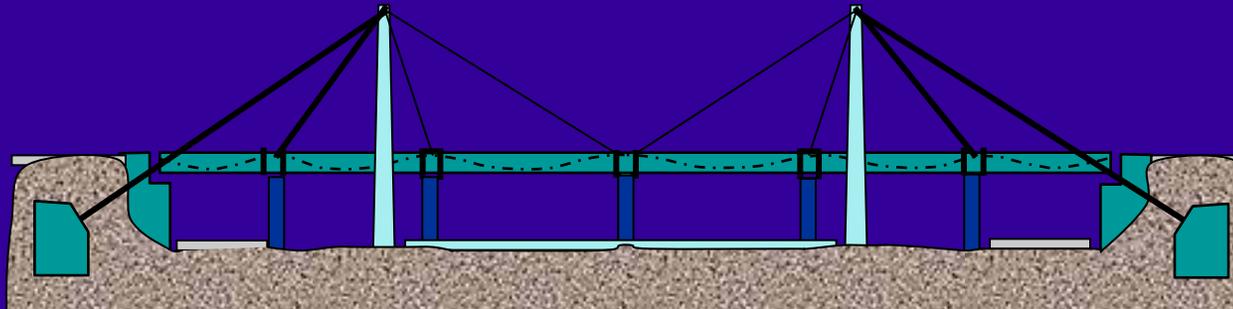
- EN ESTAS TRES ALTERNATIVAS SE ELIMINA PESO
- DEBEN MODIFICARSE PARA SUSPENDER LA ESTRUCTURA SOLO EN LOS ACTUALES PUNTOS DE APOYO
- EL PUENTE SUSPENDIDO Y EL ARCO, SON INADECUADOS PARA SOPORTAR GRANDES CARGAS CONCENTRADAS
- SOLO LA SOLUCIÓN CON OBEQUES PUEDE ADECUARSE A ESTA EXIGENCIA

- ESTA SOLUCION DEBE ADECUARSE PARA SUSPENDER LA ESTRUCTURA DE HORMIGON SOLAMENTE DESDE TRES PUNTOS

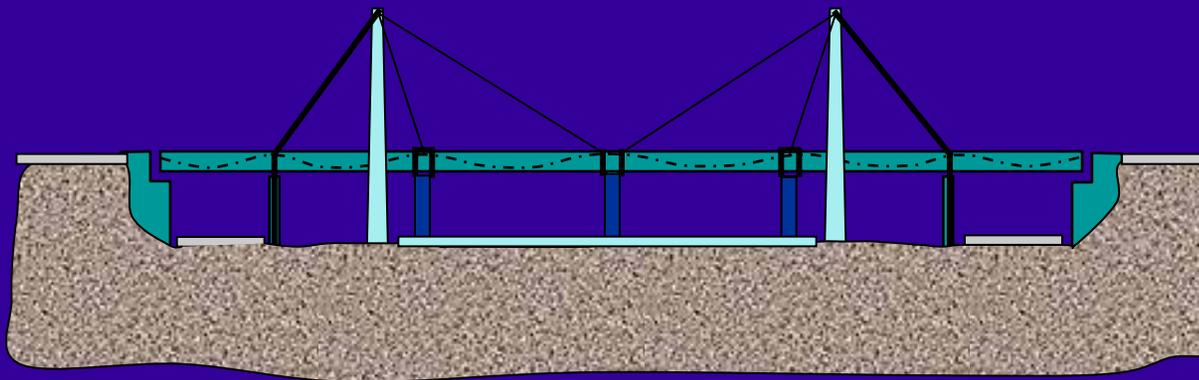
- 
- 
- 

## VARIANTES PARA LA 1<sup>RA</sup> ALTERNATIVA

ALTERNATIVA 1.1: ELIMINAR TODOS LOS APOYOS Y EJECUTAR MACIZOS DE ANCLAJE PARA LOS OBENQUES DE RETENCION EN AMBOS EXTREMOS



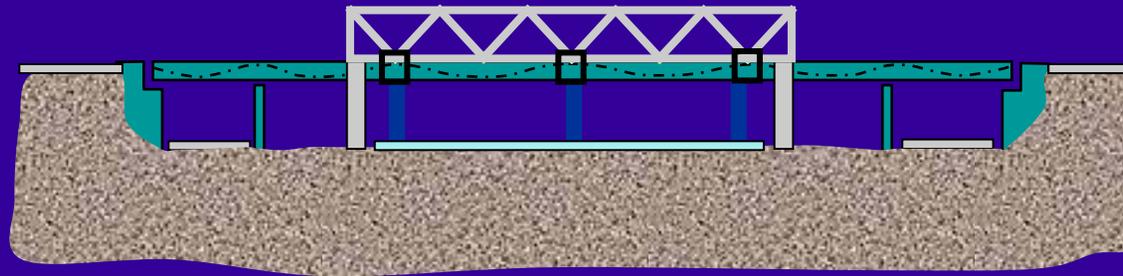
ALTERNATIVA 1.2: LAS PILAS LATERALES SE MODIFICAN PARA CONSTITUIRSE EN ANCLAJES PARA LOS OBENQUES DE RETENCION



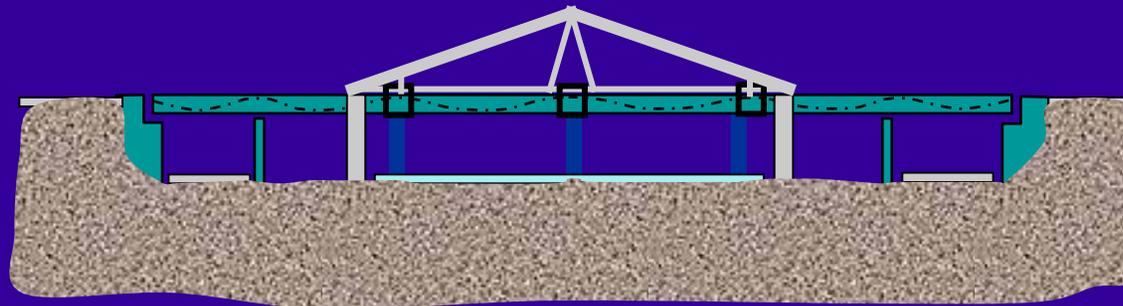
- 
- 
- 

## VARIANTES PARA LA 4<sup>ta</sup> ALTERNATIVA

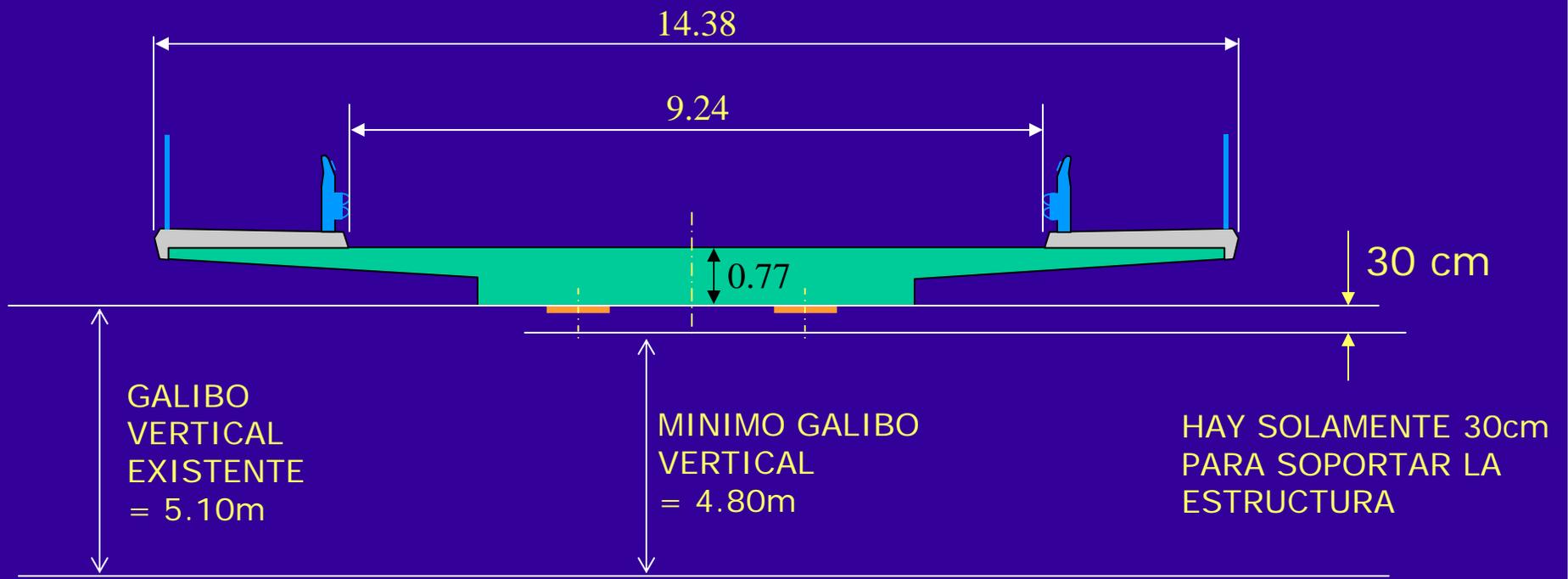
ALTERNATIVA 4.1: SUSPENDER LAS CARGAS DESDE UNA VIGA RETICULADA, SOLAMENTE DESDE TRES PUNTOS



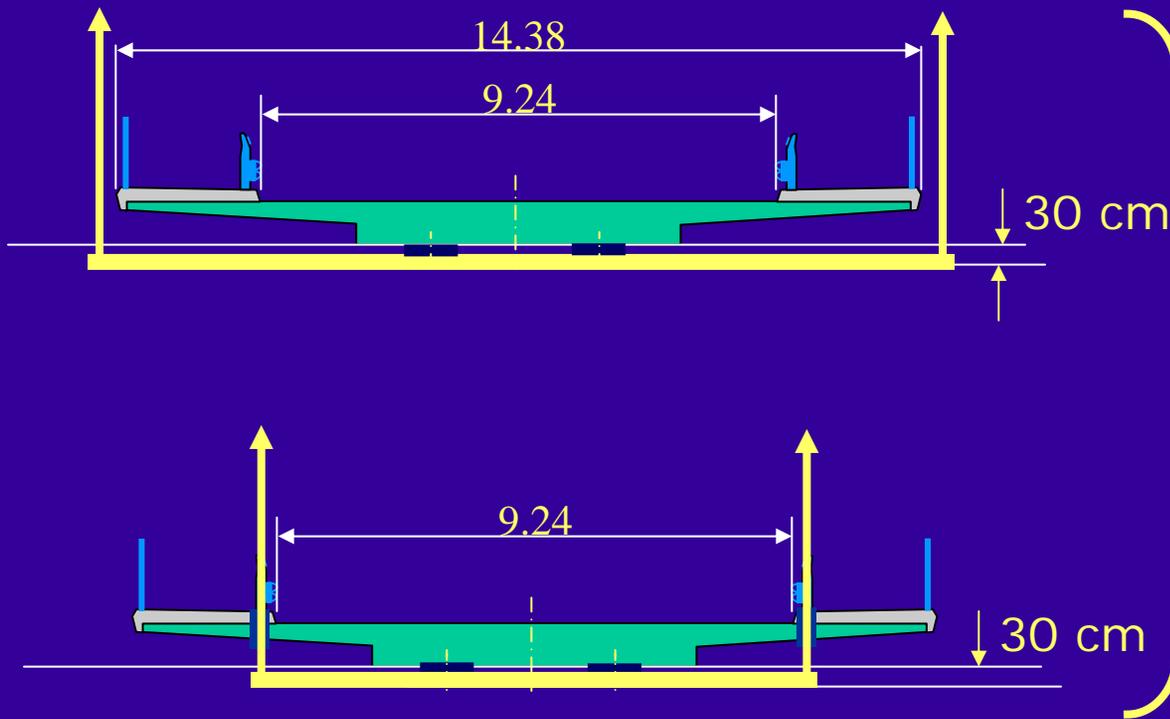
ALTERNATIVA 4.2: VIGA RETICULADA TRIANGULAR QUE SOPORTA LA SUPERESTRUCTURA EXISTENTE, EN TRES PUNTOS



# PROBLEMAS EN LA DIRECCION TRANSVERSAL

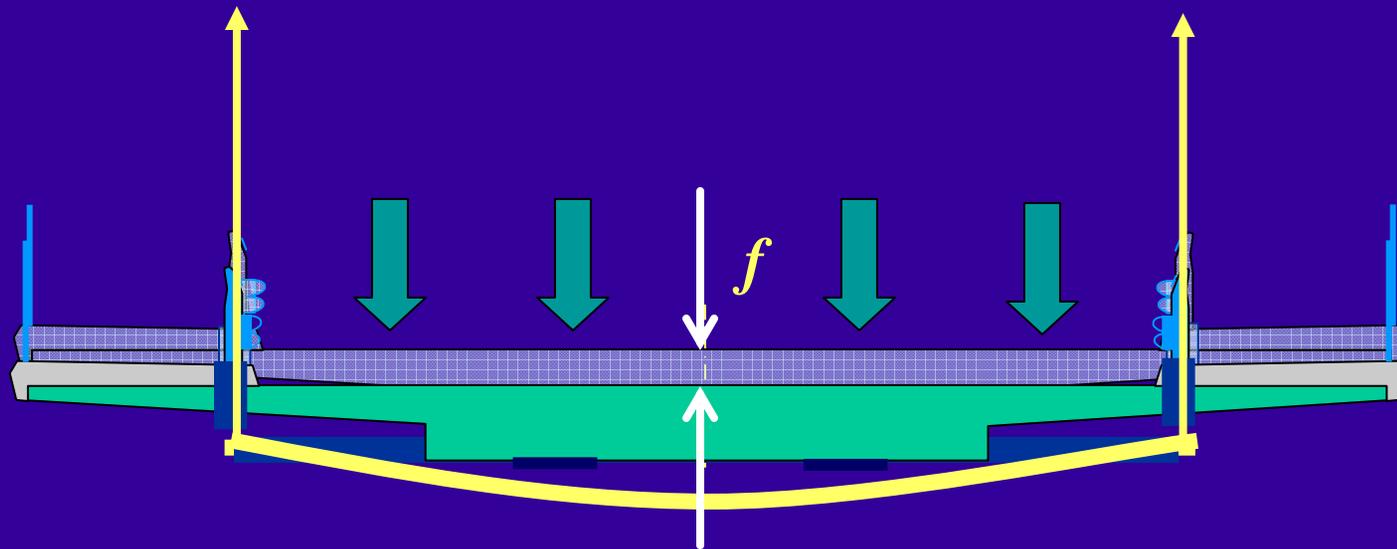


- 
- 
- ALTERNATIVAS PARA LA SUSPENSION EN DIRECCION TRANSVERSAL



LA VIGA DE SOPORTE ES MUY FLEXIBLE. LAS FLECHAS SON INADMISIBLES EN AMBOS CASOS

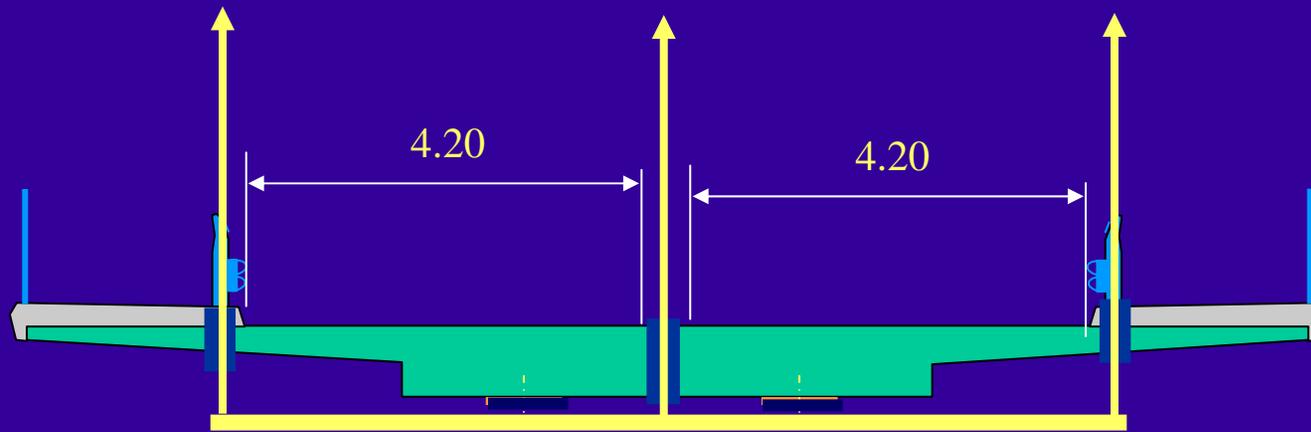
## FLEXIBILIDAD DE LA VIGA TRANSVERSAL



- LA CARGAS PRODUCEN GRANDES FLECHAS EN LA VIGA TRANSVERSAL QUE SOPORTA LAS REACCIONES
- LA VIGA TIENE UNA LUZ DE 9.8m, Y SOLO 30cm DE ALTURA
- SOBRE LA VIGA ACTUA TODA LA CARGA DE LOS DOS TRAMOS ADYACENTES AL APOYO CONSIDERADO

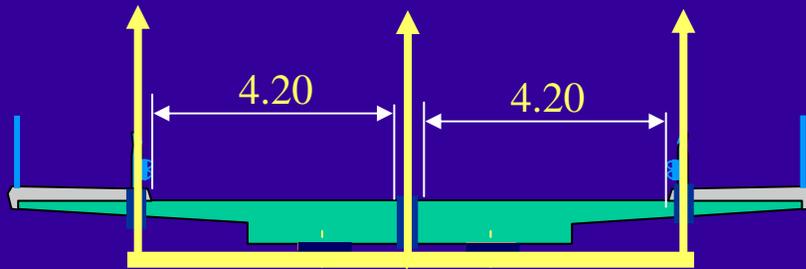
- 
- 
- 

## RIGIDIZACION DEL SISTEMA TRANSVERSAL



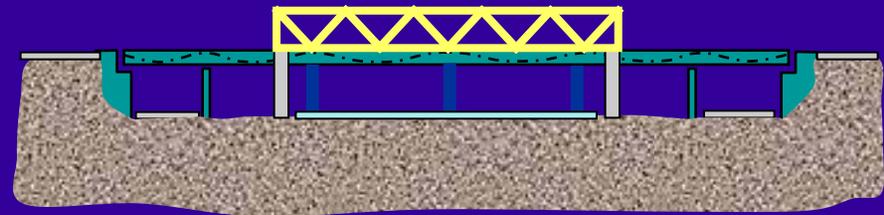
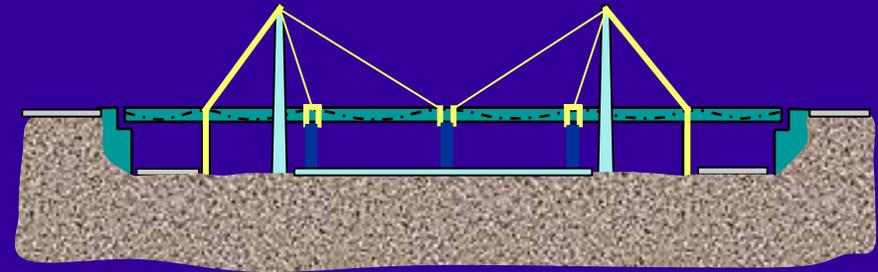
PARA MANTENER EN UN MAXIMO LA ALTURA DEL GALIBO BAJO EL PUENTE

## 2<sup>DA</sup> CONCLUSION

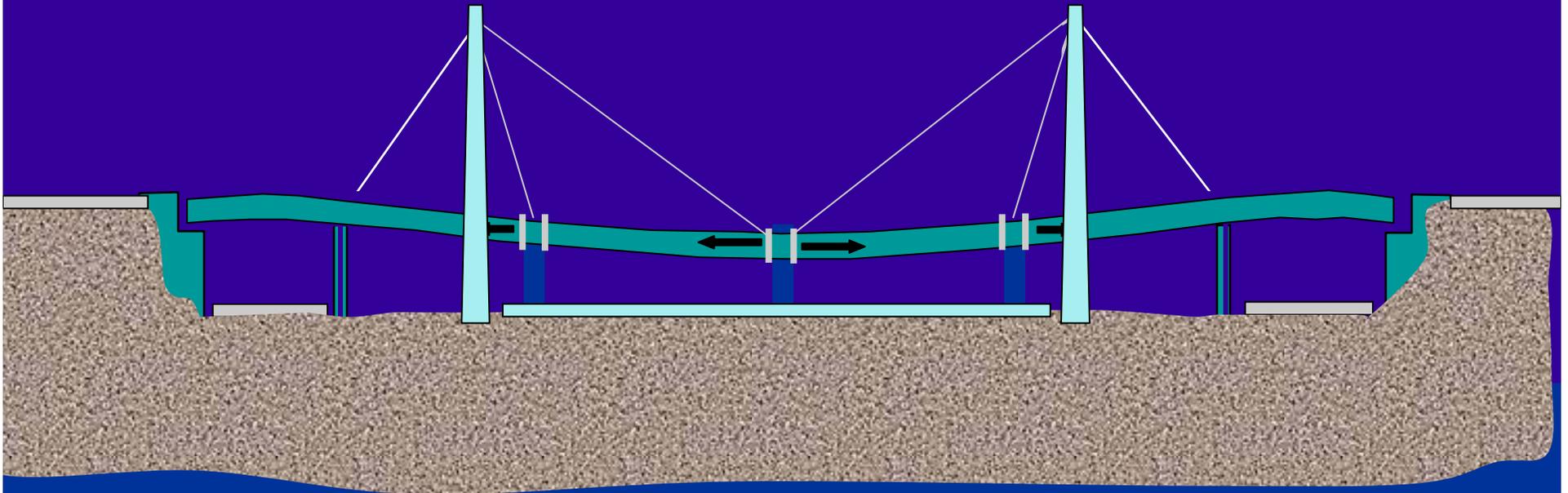


### DIRECCION TRANSVERSAL

LA SUPERESTRUCTURA  
DEBE SUSPENDERSE  
EN TRES PLANOS



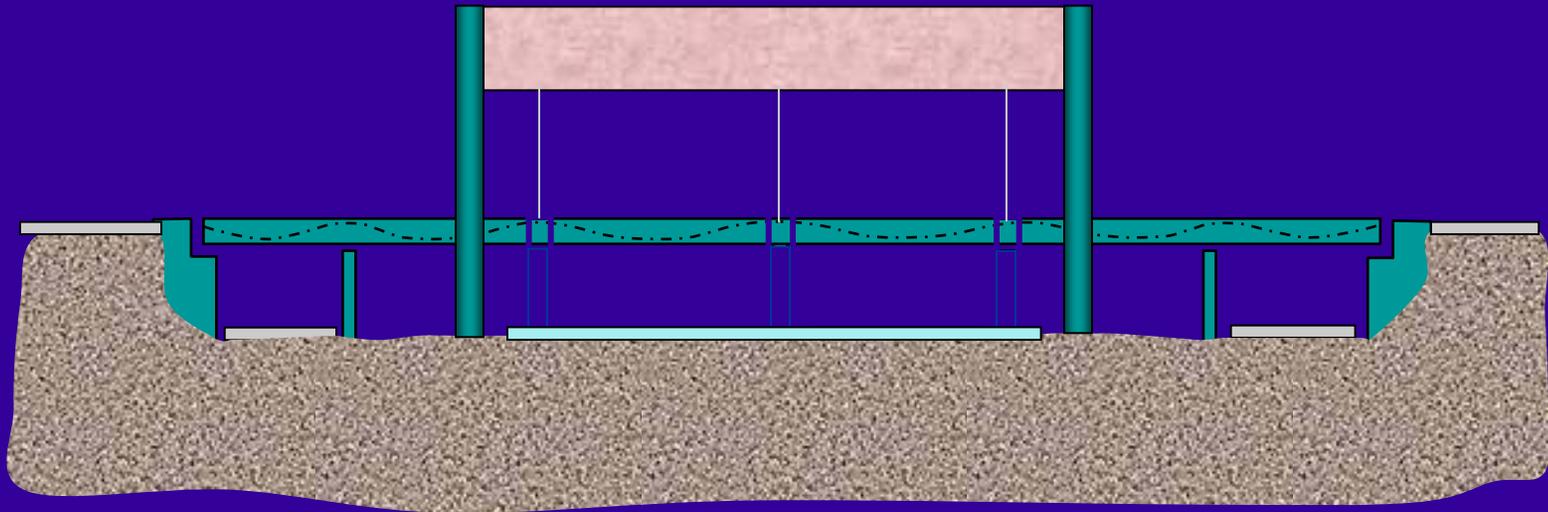
## AJUSTES A LA 1<sup>RA</sup> ALTERNATIVA



- EL SISTEMA RESULTA DEMASIADO FLEXIBLE
- SE INTRODUCEN ESFUERZOS ADICIONALES DE COMPRESION EN EL TABLERO
- EL ANGULO PLANO DE LOS TENSORES MAGNIFICA LA FLEXIBILIDAD
- SE REQUIERE UNA RIGIDIZACION DE LOS PILONES Y EL TABLERO

**UNA SOLUCION EXTREMA PARA ESTOS PROBLEMAS CONSISTE EN SUSPENDER EL TABLERO MEDIANTE TENSORES VERTICALES**

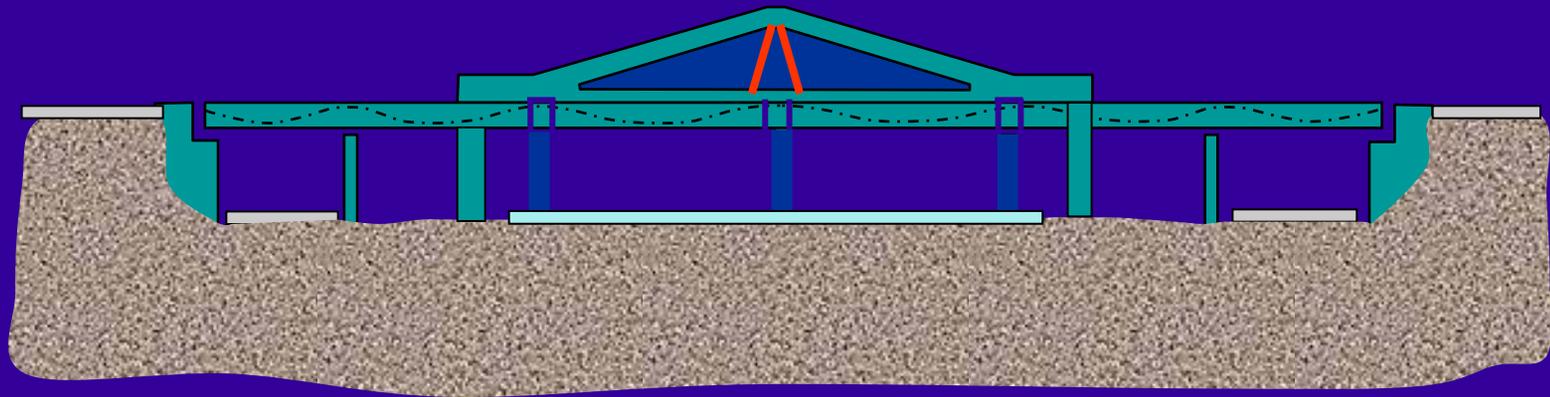
## ALTERNATIVA 5: "MESA"



- PRESENTA UN ASPECTO SIMILAR A LAS ESTACIONES DE PEAJE
- EXISTEN POSIBILIDADES PARA MEJORAR SU ASPECTO ESTETICO
- SE CONSIDERARON ESTRUCTURALMENTE SANAS Y SIMPLES
- NO OBSTANTE TRATARSE DE ESTRUCTURAS PESADAS Y MONUMENTALES, PODRIAN CONVERTIRSE EN EMBLEMATICAS COMO ENTRADA AL SISTEMA DE AUTOPISTAS DEL SOL

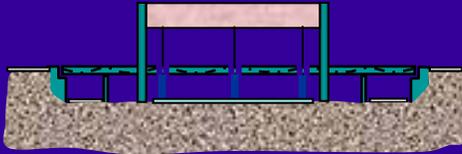
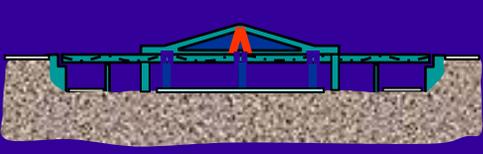


## ALTERNATIVA 4.2: "PERCHA"



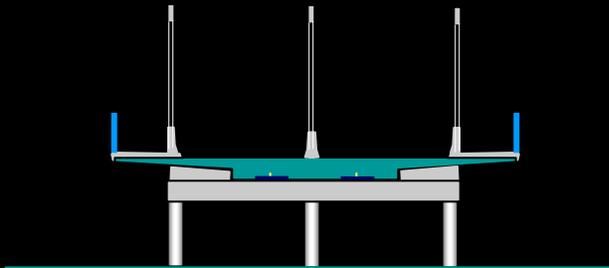
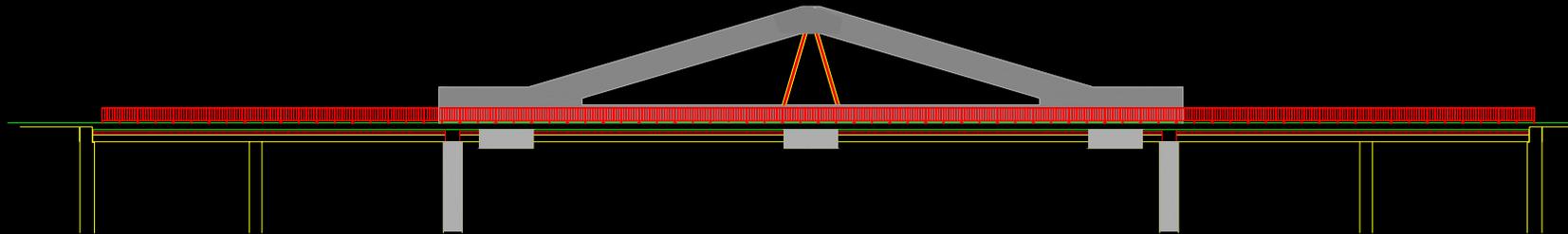
- ESTRUCTURALMENTE SIMPLE, SOLUCION DE MINIMA
- SE PREVIERON ALTERNATIVAS PARA MEJORAR SU ESTETICA
- ESTRUCTURALMENTE SANA
- CONSTRUCTIVAMENTE SIMPLE
- OFRECE CIERTA TRANSPARENCIA Y LIVIANDAD

# COMPARACION DE ALTERNATIVAS

CRITERIO	DEMOLICION		
TRANSITO	CERRADO	ABIERTO	ABIERTO
IMPACTO DE OBRA	ALTO	BAJO	BAJO
PRESENCIA	PUENTE NUEVO	EXCESIVO	EL MENOR
PLAZOS	INCIERTO	CONTROLADO	CONTROLADO
CONSTRUCCION	COMPLEJA	SENCILLA	SENCILLA
TRANSPARENCIA	DESEABLE	PESADA	LIVIANA
ESTRUCTURA	DESEABLE	SANA-SIMPLE	OPTIMIZADA
ESTETICA	DESEABLE	POBRE	FUNCIONAL
COSTO	COSTOSA	MODERADO	EL MENOR
MANTENIMIENTO	EL MENOR	MEDIO	MEDIO

# MEJORAMIENTO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

VISTA LONGITUDINAL PUENTE ZAPIOLA  
esc. 1:100



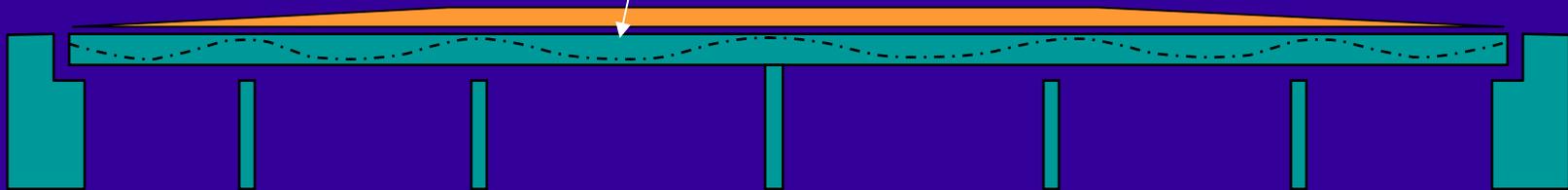
## ASPECTOS NO SATISFACTORIOS QUE REQUIEREN MEJORAS

- EL PLANO CENTRAL DE ESTRUCTURA SE ALEJA DE LO IDEAL
- LA OBLICUIDAD HARÍA A LA ESTRUCTURA VISUALMENTE PESADA
- LAS VIGAS TRANSVERSALES REDUCEN EL GALIBO INFERIOR

- 
- SE CONSIDERAN NUEVAS POSIBILIDADES PARA MEJORAR LA SOLUCION
- 

LA RASANTE DE LA CALLE SE PUEDE ELEVAR UNOS 60 cm.  
ESTO PROVEE EL ESPACIO NECESARIO PARA COLOCAR LOS DISPOSITIVOS DE SUSPENSION DEL TABLERO EXISTENTE  
LAS PENDIENTES EN AMBOS EXTREMOS SE LIMITARON AL 5%

**CORTE LONGITUDINAL**



**CORTE TRANSVERSAL**

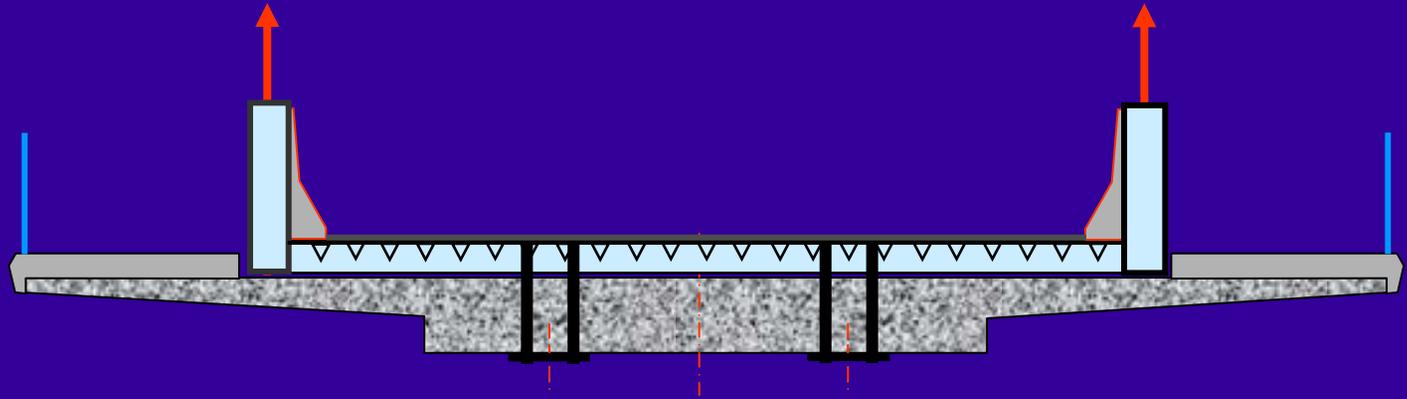




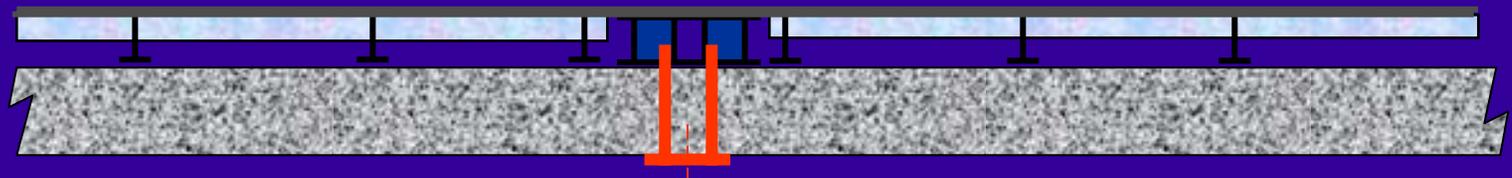
- 
- 
- 

SOLUCION MODIFICADA:  
UN PUENTE COMPLETAMENTE NUEVO SOPORTA LA  
SOBRECARGA, ADEMAS DEL PESO DEL PUENTE EXISTENTE

SECCION  
TRANSVERSAL



SECCION  
LONGITUDINAL



# MAQUETA FOTOGRAFICA



- 
- 
- 

## MAQUETA FOTOGRAFICA (VISTA AEREA)



# INDICE DE LA CONFERENCIA

1. INTRODUCCION

2. CARACTERISTICAS DE LAS ESTRUCTURAS EXISTENTES

3. DESARROLLO DE LA IDEA

4. ANALISIS DE ALTERNATIVAS

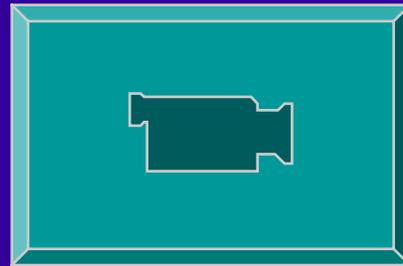
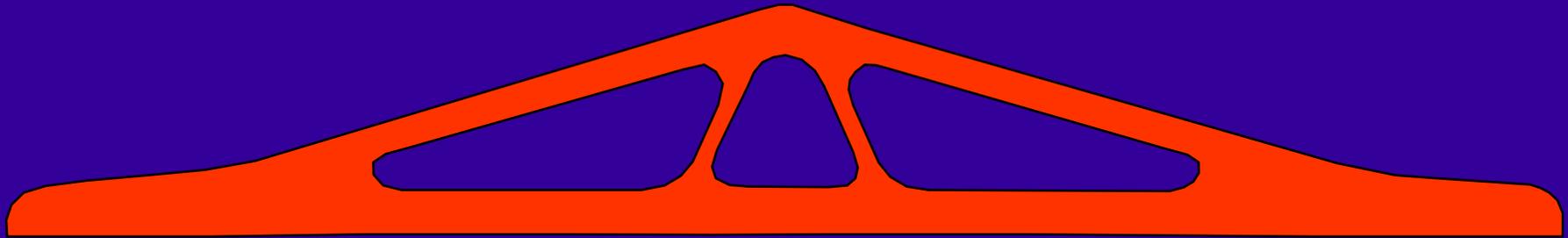
**5. AJUSTE DE LA ALTERNATIVA ELEGIDA**

6. DISEÑO DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

7. CONCRECION DE LA IDEA: LA CONSTRUCCION

- 
- 
- 

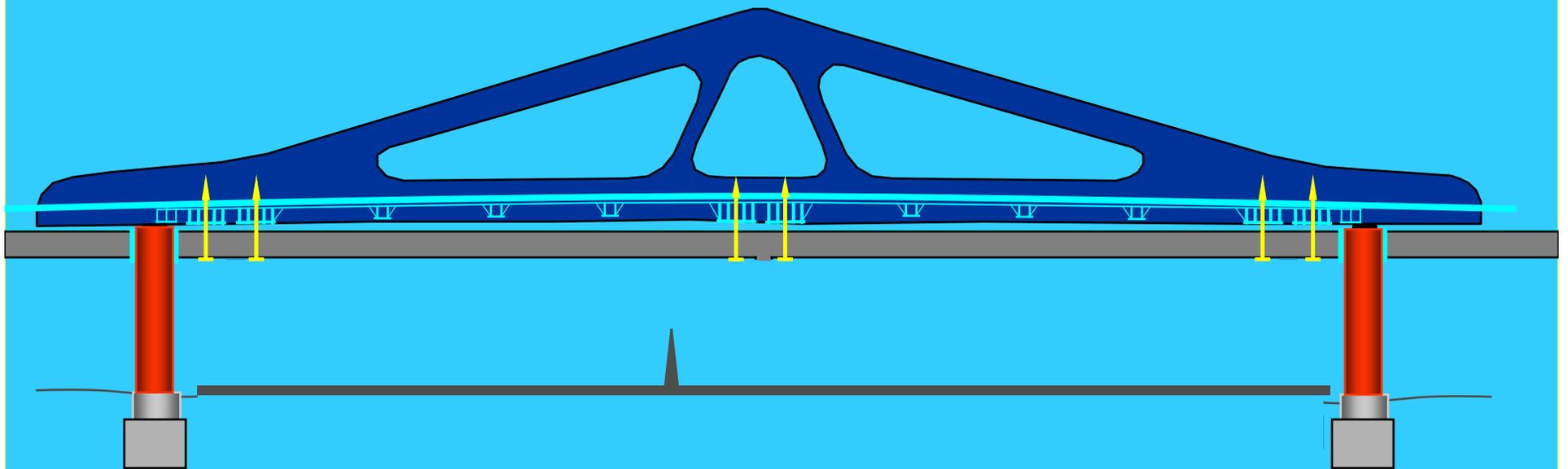
# AJUSTES ESTETICOS



- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
-

- 
- 
- 

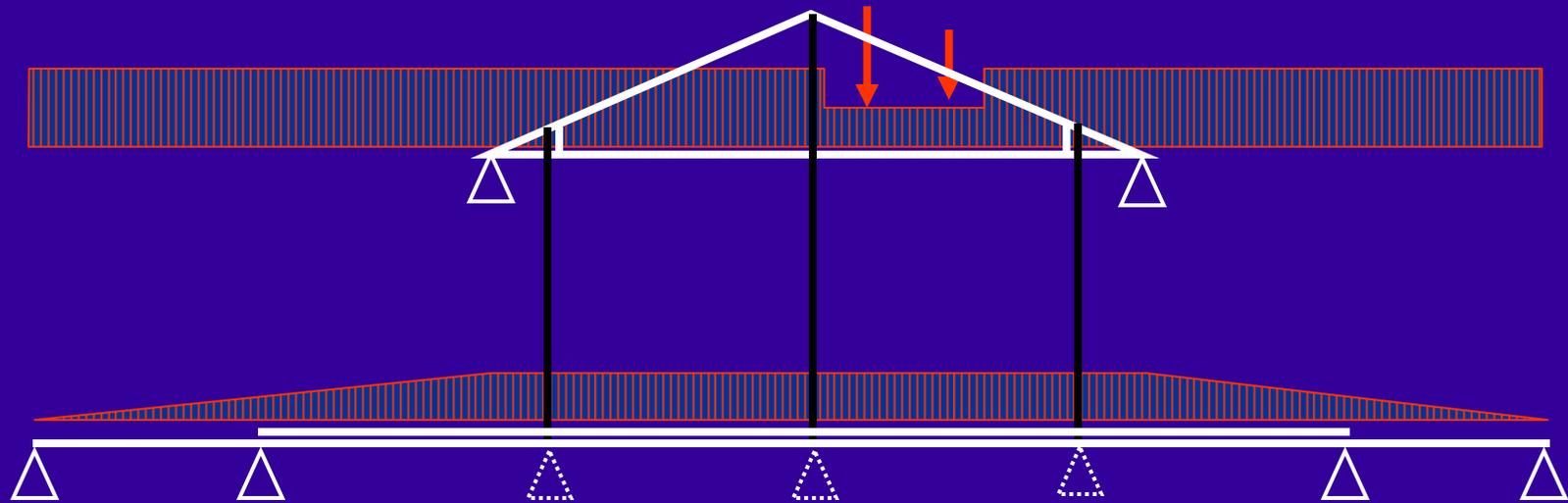
## PROCEDIMIENTO DE MONTAJE



- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
-

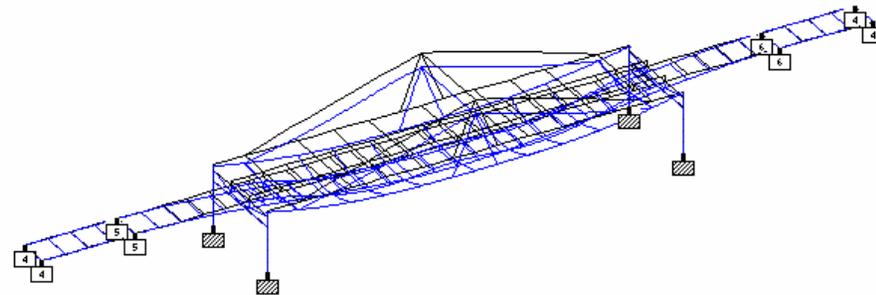
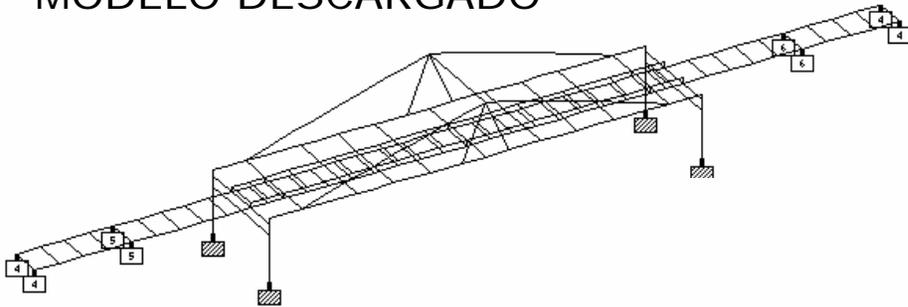
- 
- 
- 

## ESQUEMA ESTATICO



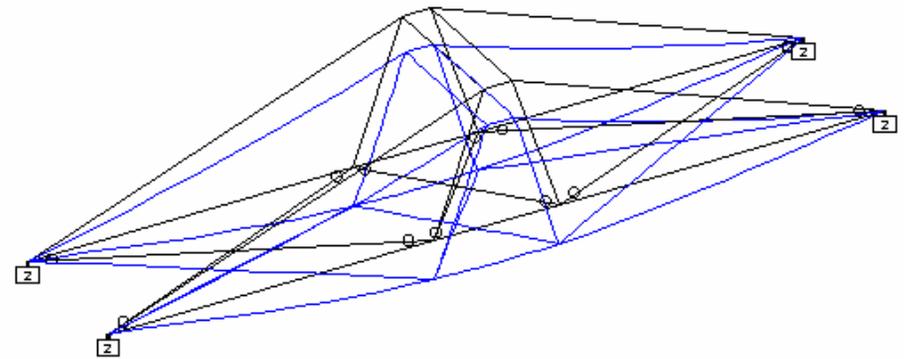
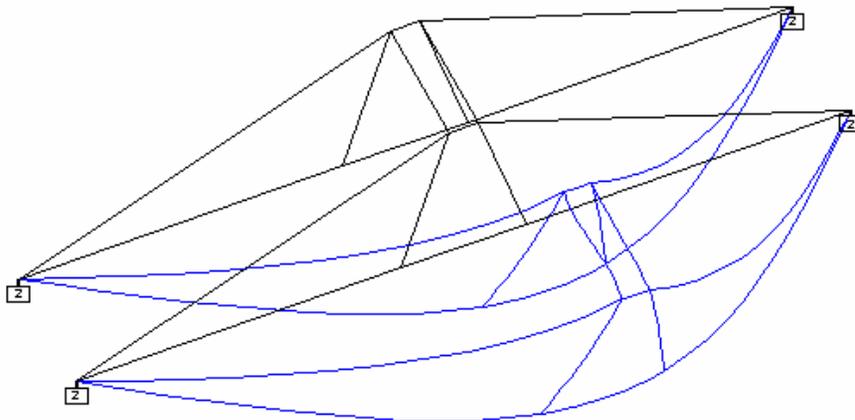
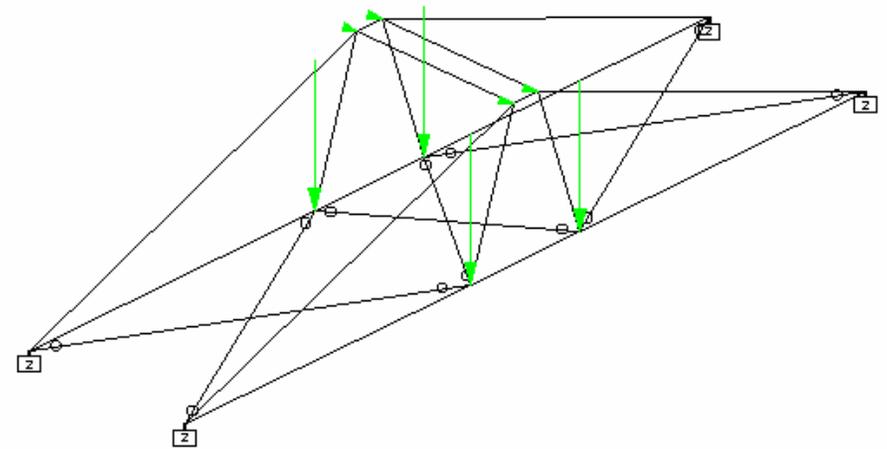
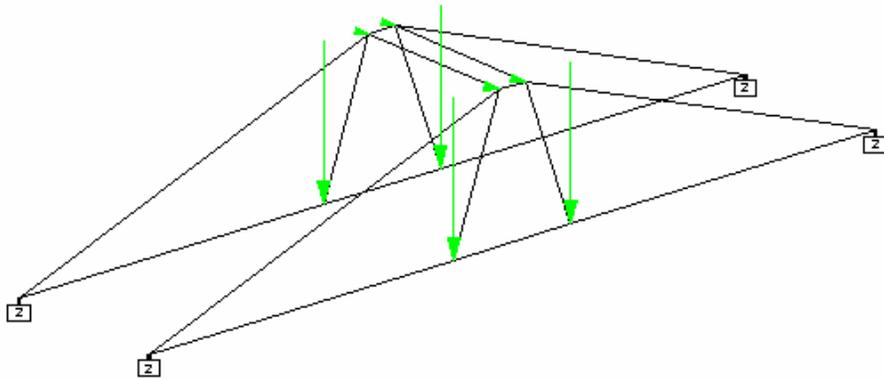
# MODELOS DE ANALISIS ESTRUCTURAL

MODELO DESCARGADO

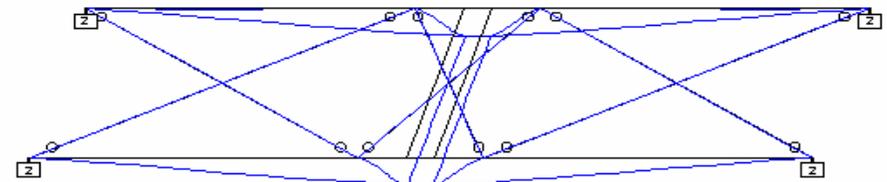
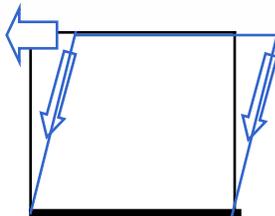


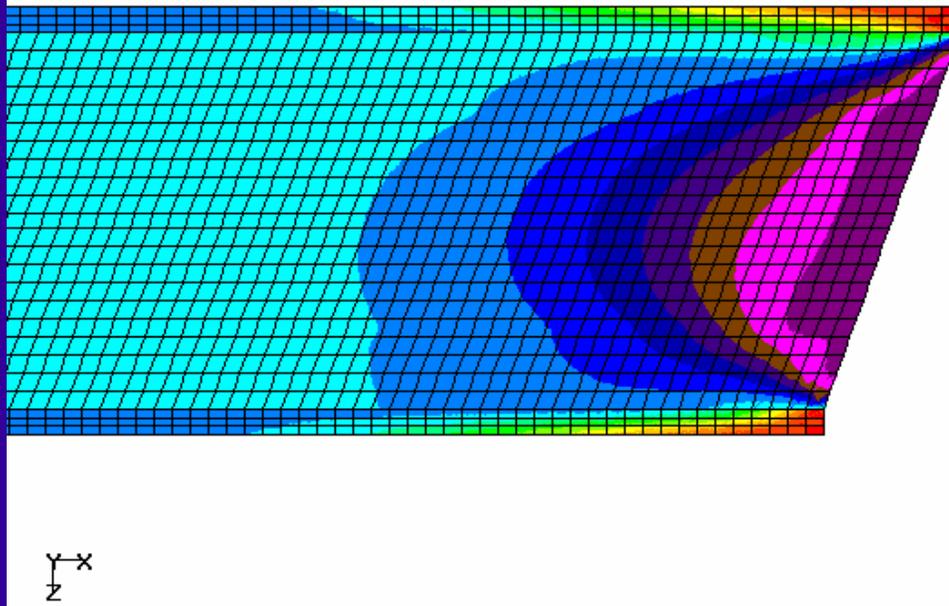
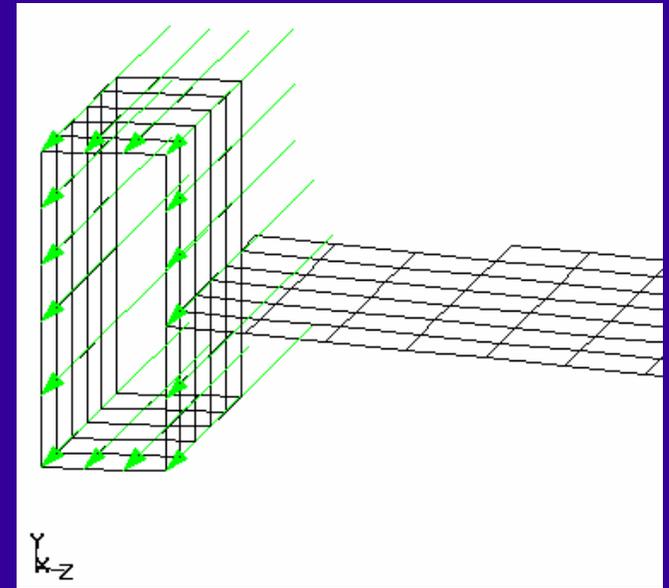
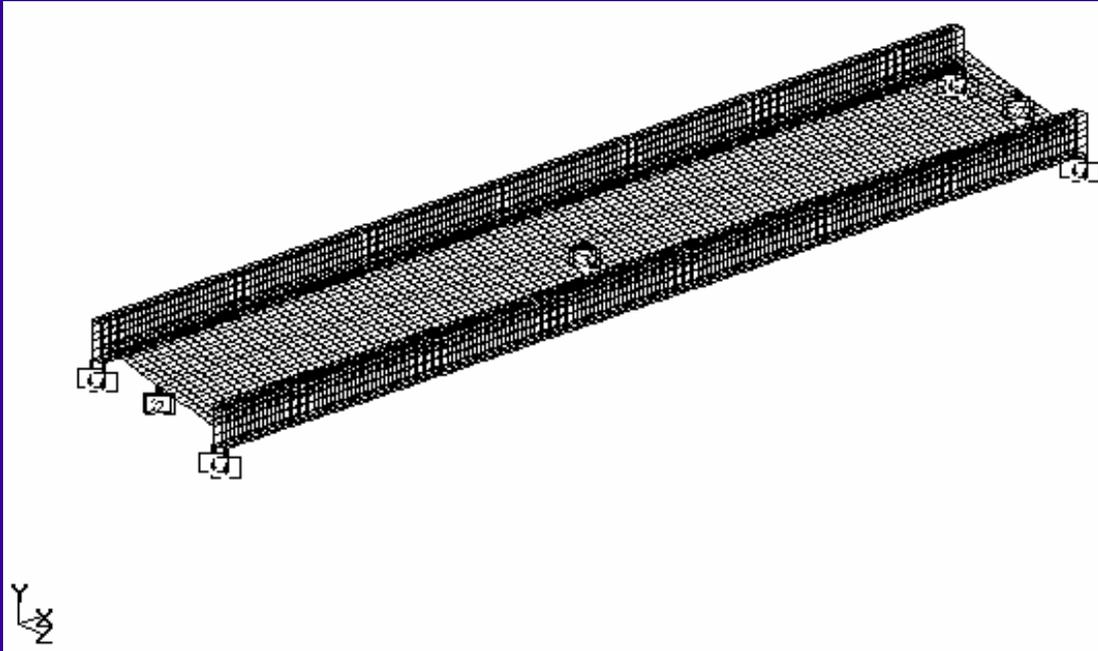
DESPLAZAMIENTOS DEBIDOS  
A CARGA MAXIMA

# • • PANDEO DEL CORDON COMPRIMIDO



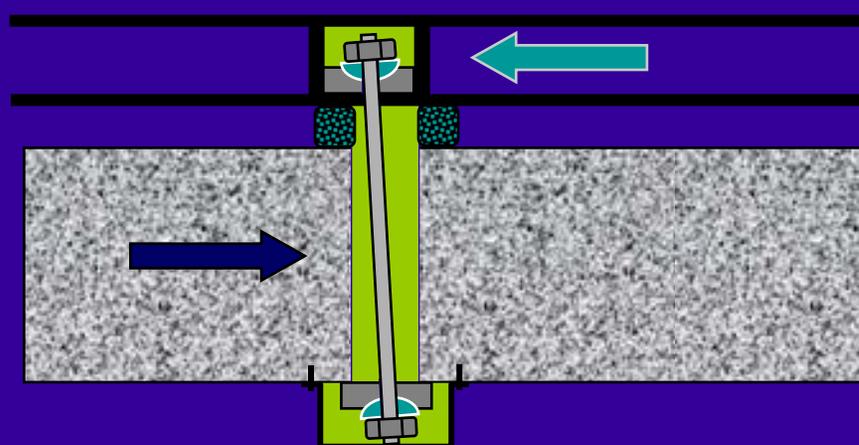
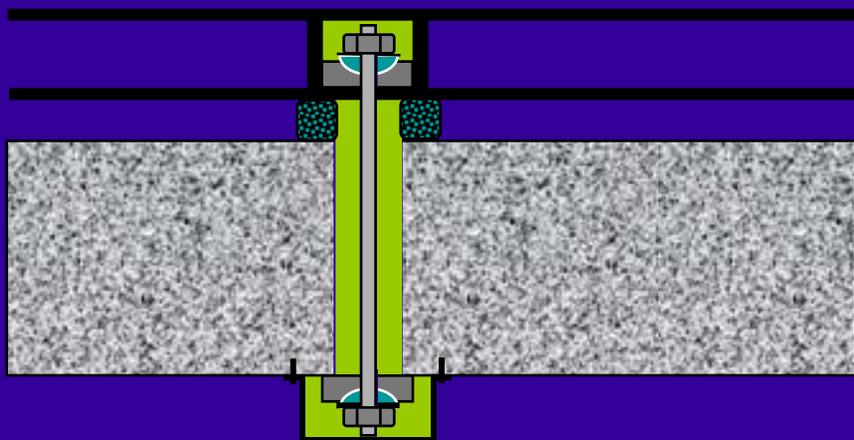
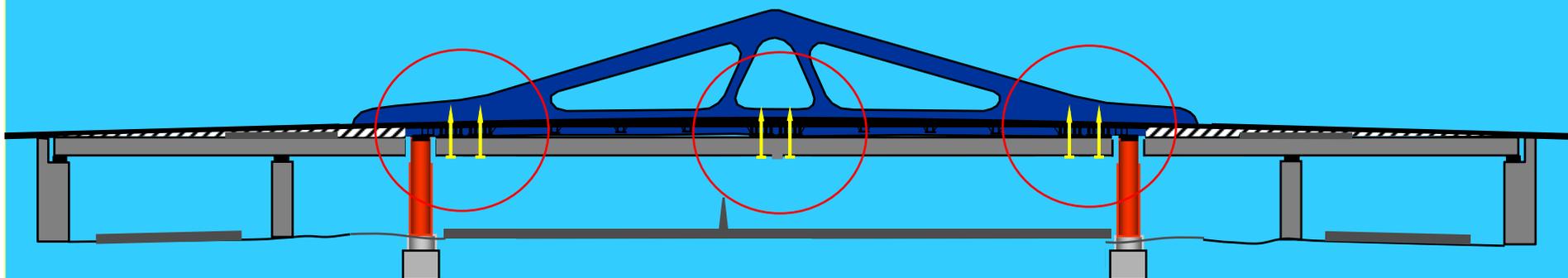
Y  
Z





## EVALUACION DEL FUNCIONAMIENTO DEL TABLERO ORTOTROPICO COMO TENSOR

# DETALLE DE LOS ELEMENTOS DE SUSPENSION



# DUCTILIDAD

DUCTILIDAD ESTRUCTURAL



SE CONTROLA CON EL DISEÑO

REDUNDANCIA ESTRUCTURAL

DUCTILIDAD DEL ACERO



SE CONTROLA MEDIANTE EL ALARGAMIENTO DE ROTURA

$$\varepsilon_{Rot} - \varepsilon_{Flu} = 17\% - 0.2\% \cong 17\%$$

DUCTILIDAD A FRACTURA



NOTCH TOUGHNESS  
O  
DUCTILIDAD A FRACTURA

CONTROLARLA SI:

- fisuras preexistentes
- fatiga
- concentracion de tensiones
- acumulac. de dislocaciones
- soldadura
- forja, etc.

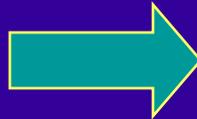
# BULONES DE SUSPENSION

ACERO SAE 4140  
D=2"  
NORMALIZADO



1. CUMPLE LAS EXIGENCIAS DE
2. RESISTENCIA
3. DURABILIDAD (debido al bajo rango de variabilidad de las tensiones)

~~TEMPLE  
REVENIDO~~



1. NO ES NECESARIO INCREMENTAR LA RESISTENCIA
2. IMPLICA RIESGO DE FORMACION DE FISURAS O GRIETAS DE TEMPLE U OTRO DEFECTO TIPICO DE ESTE TRATAMIENTO

VALOR DE ENSAYO DE CHARPY (CVN)  
CURVA DE TRANSICION  
TEMPERATURA DE DUCTILIDAD NULA (NDT)

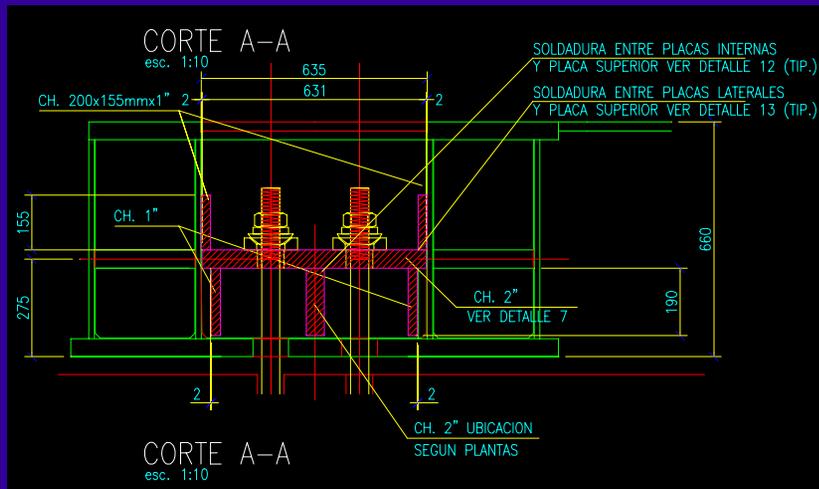
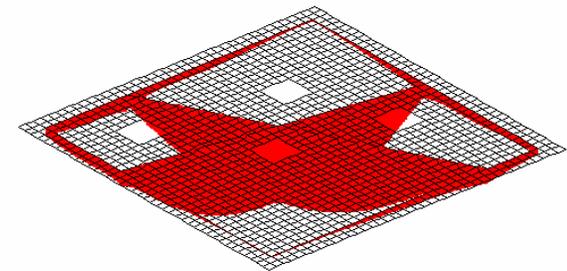
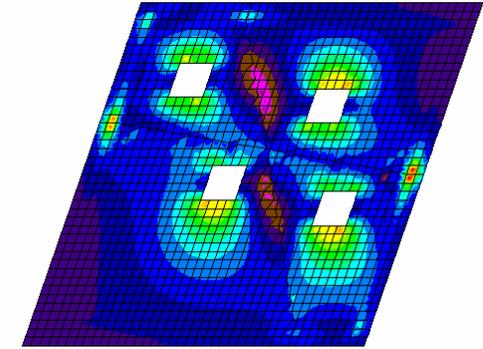
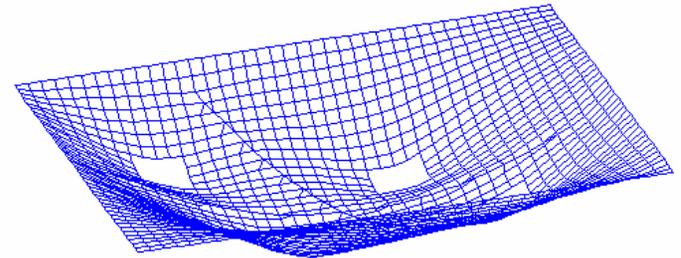
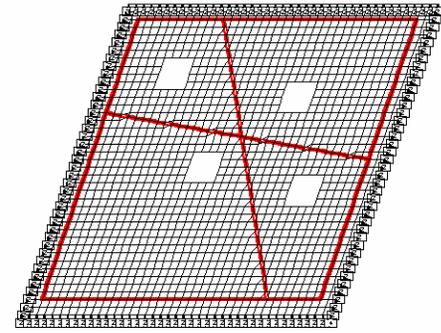
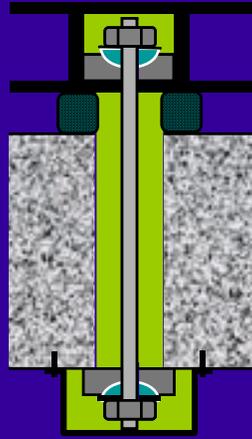
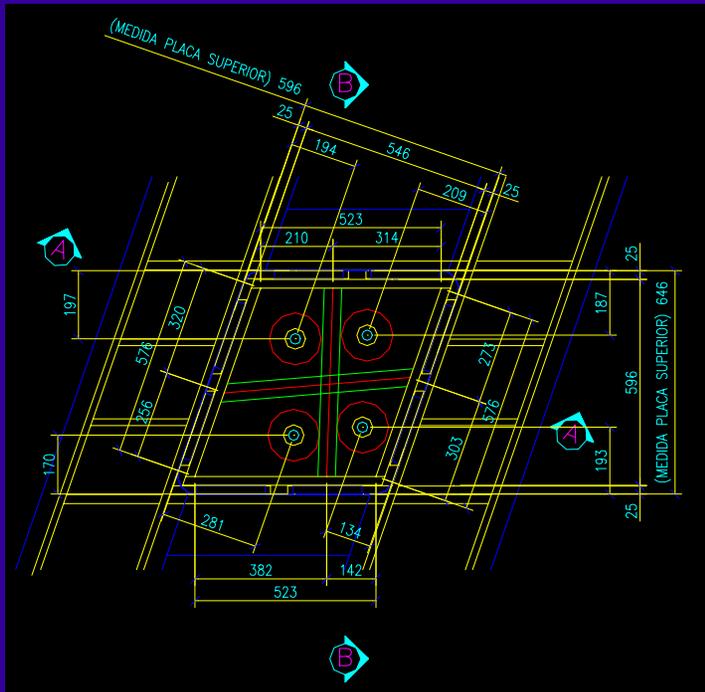


1. SON DE RELATIVA IMPORTANCIA EN ESTE CASO
2. NO SON EXIGIDOS POR LAS NORMAS AASHTO: "Steel Anchor Bolts" M314-90 (1996)

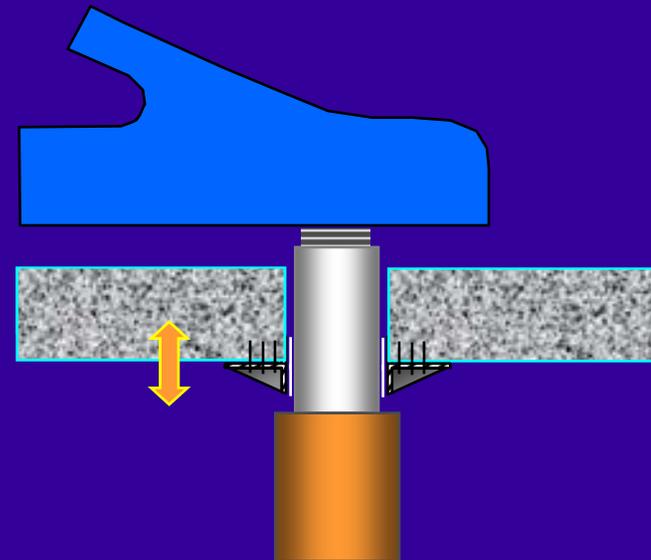
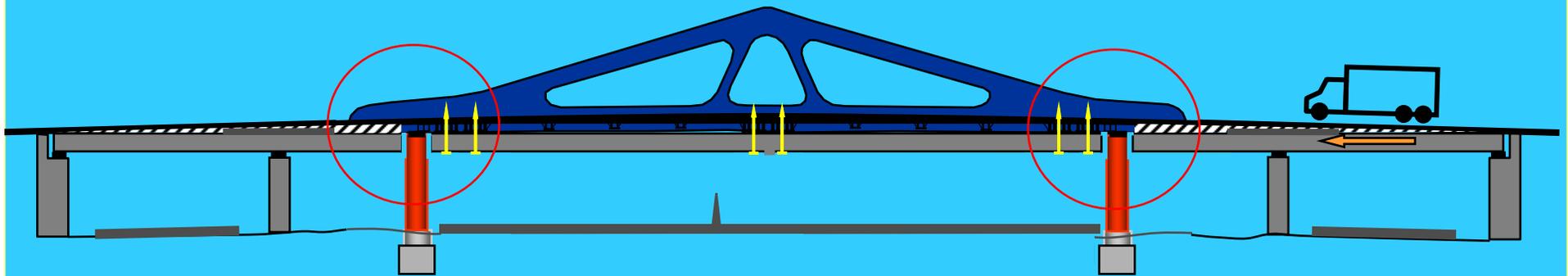
**COMPROBAR INTEGRIDAD  
DEL MATERIAL  
(TINTAS PENETRANTES  
ULTRASONIDO)**

**LOGRAR UNIFORMIDAD DE  
ESFUERZOS EN CADA  
GRUPO DE BULONES**

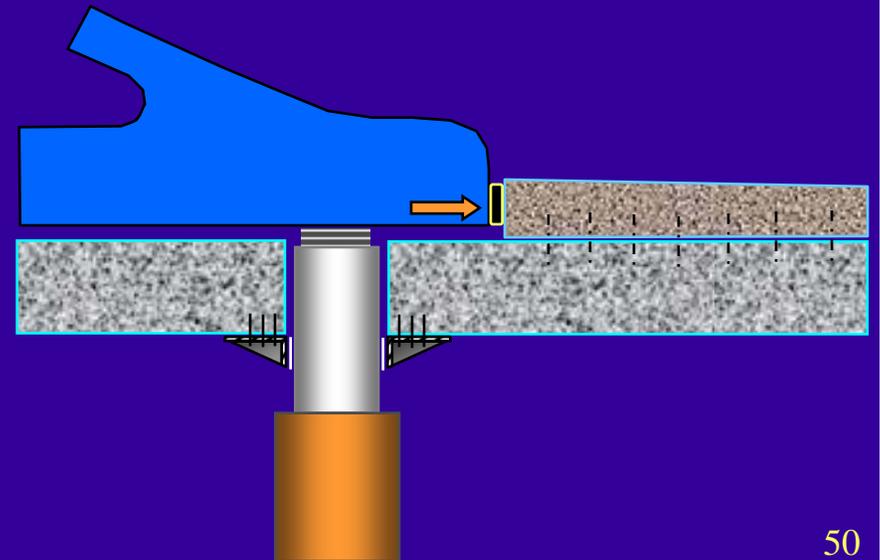
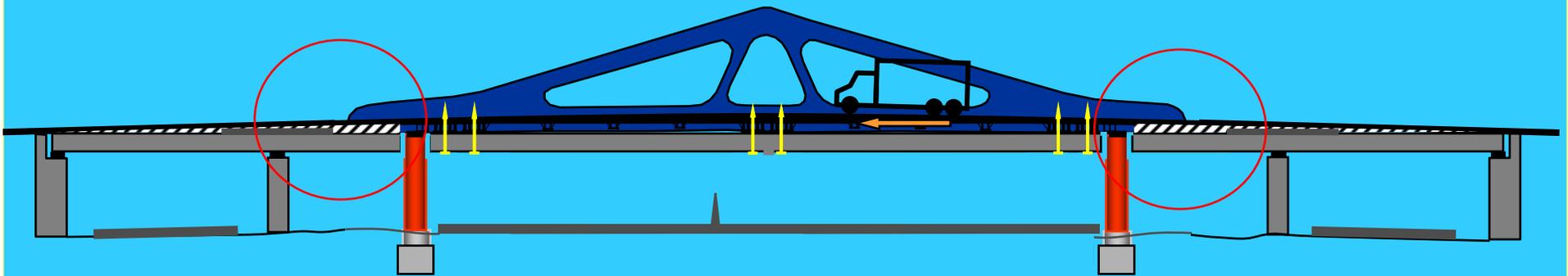
# ROTULAS EN BARRAS DE SUSPENSION



# FRENADO SOBRE EL PUENTE DE HORMIGON



# FRENADO SOBRE EL PUENTE DE ACERO



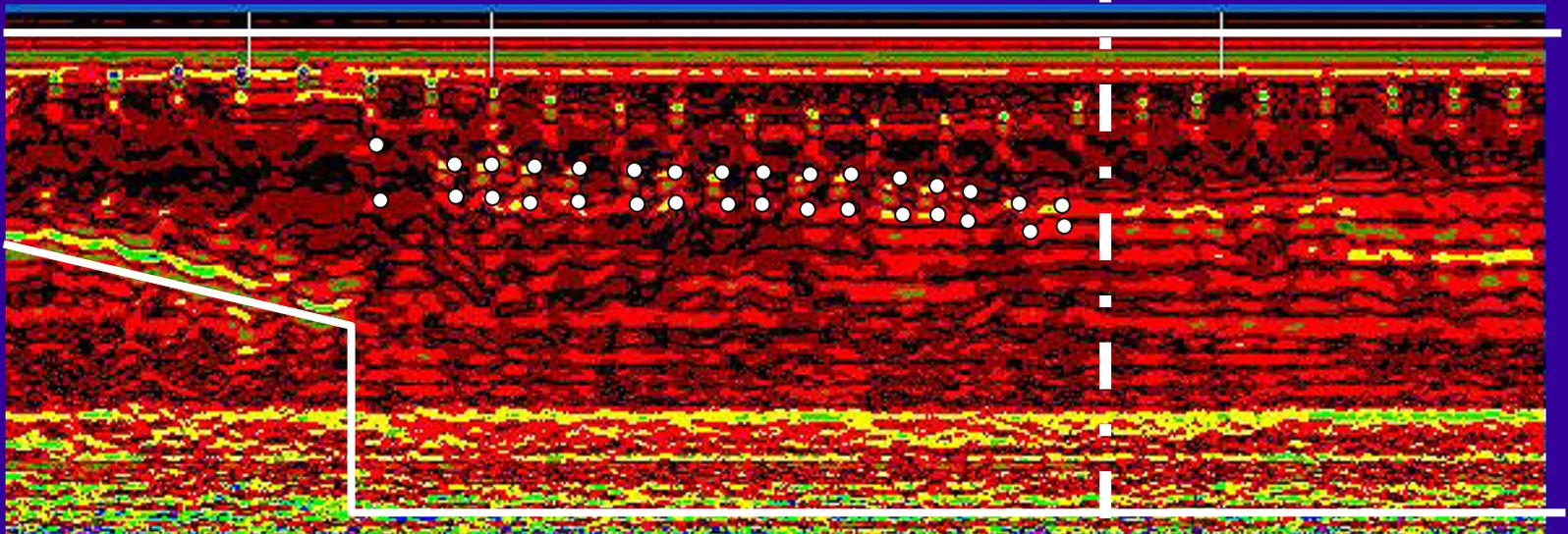
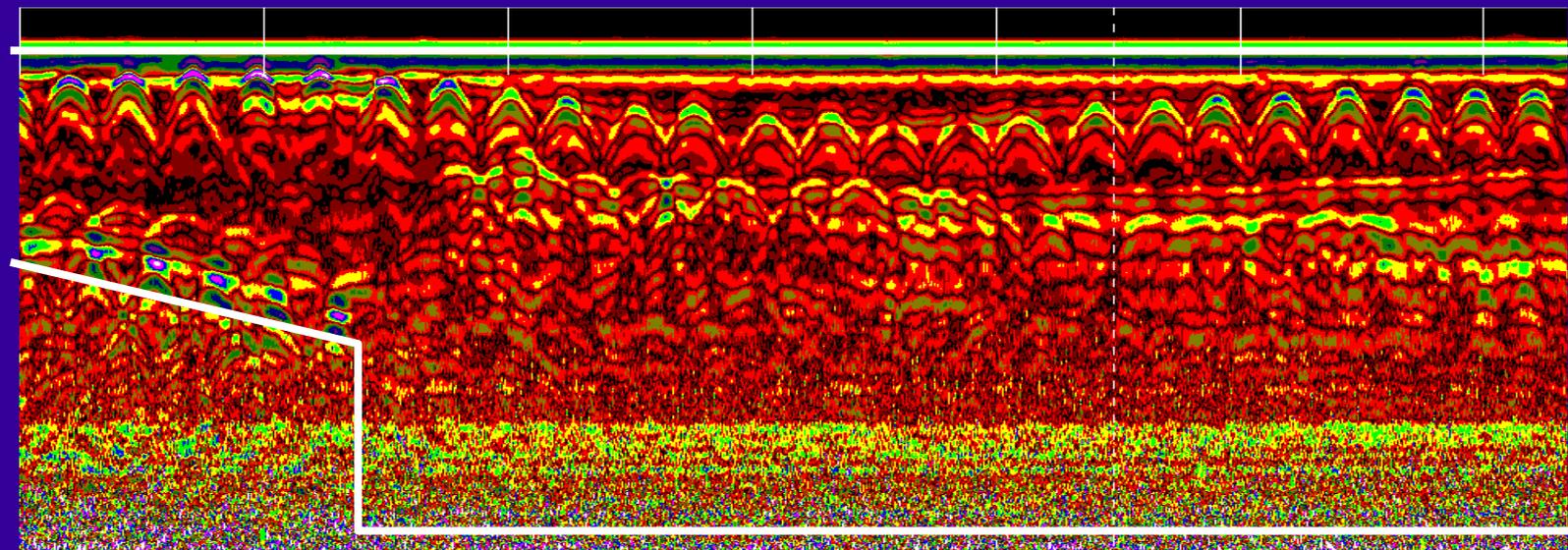
# CONSTRUCCION

1. INVESTIGACION DE LAS ESTRUCTURAS EXISTENTES
2. CONSTRUCCION DE LAS FUNDACIONES Y NUEVAS PILAS
3. AGUJEROS EN LOS TABLEROS EXISTENTES
4. FABRICACION DE LA ESTRUCTURA DE ACERO
5. TRANSPORTE Y MONTAJE DE LAS VIGAS RETICULADAS PRINCIPALES
6. PUESTA EN CARGA DE LOS TENSORES DIAGONALES
7. MONTAJE DE LAS VIGAS TRANSVERSALES
8. MONTAJE DEL TABLERO ORTOTROPICO
9. MONTAJE DE LAS BARRAS DE SUSPENSION
10. CORTE DE LA PILA CENTRAL
11. TRANSFERENCIA DE CARGAS AL PUENTE METALICO
12. ENSAYO DE CARGA

1

# INVESTIGACION DE LAS ESTRUCTURAS EXISTENTES

•  
DETECCION DE CABLES DE PRETENSADO EN TABLERO EXISTENTE  
•  
(USANDO GEORADAR)



## PREPARACION DEL TABLERO EXISTENTE





# 2

## FUNDACIONES Y NUEVAS PILAS

## VISTA INFERIOR



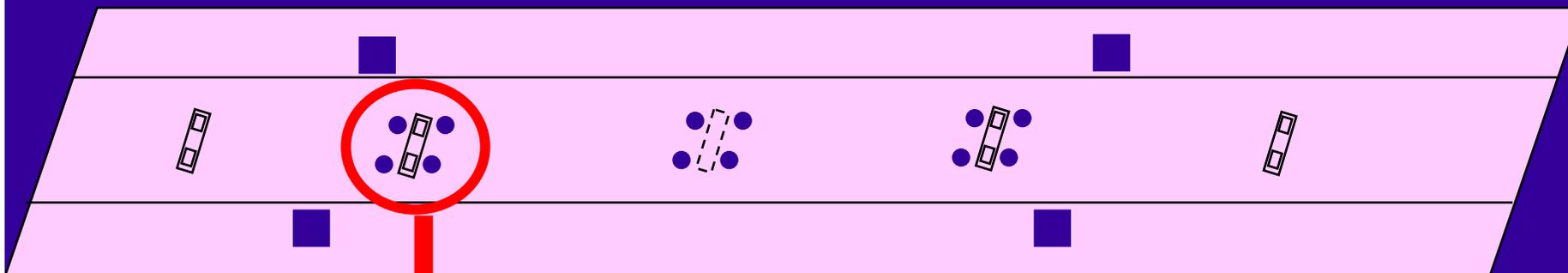
## VISTA DE LA NUEVA COLUMNA PASANDO A TRAVES DEL TABLERO EXISTENTE



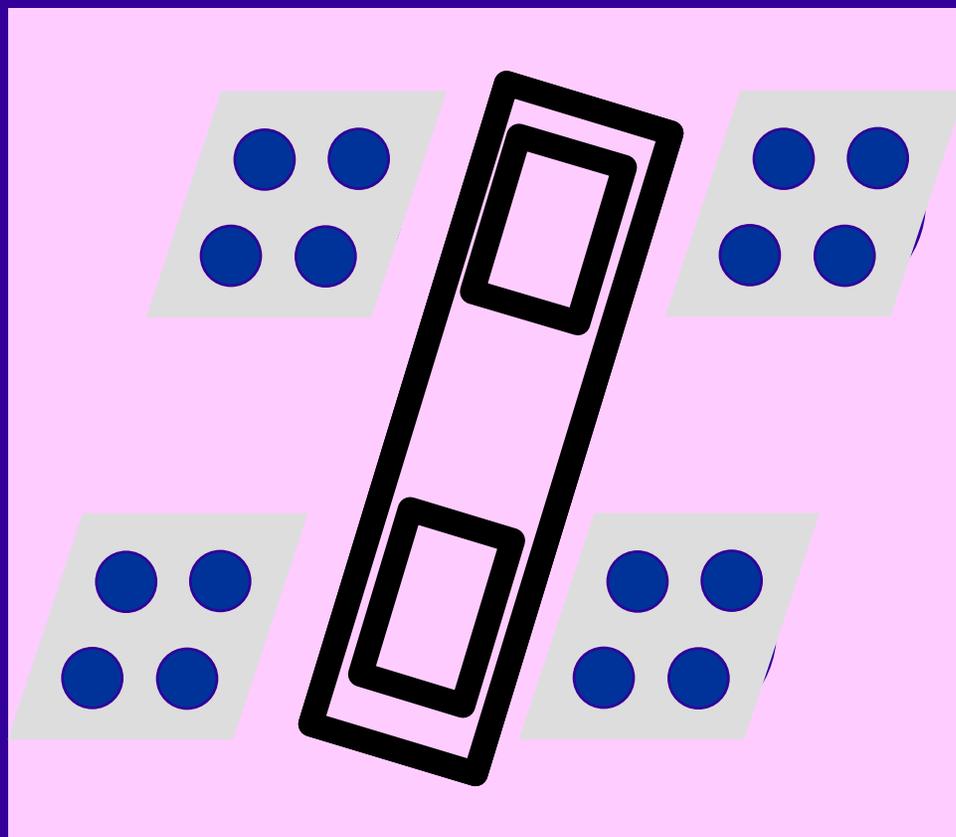
# 3

## AGUJEROS EN EL TABLERO EXISTENTE PARA EL PASO DE LAS BARRAS DE SUSPENSION

• POSICION DE LOS AGUJEROS REQUERIDOS PARA LAS  
• BARRAS DE SUSPENSION



16 AGUJEROS, DE  
10cm DE  
DIAMETRO EN  
CADA PILA



- DEMOLICIONES PARA DETERMINAR LA POSICION EXACTA DE LOS CABLES DE PRETENSADO



# AGUJEROS PARA LAS BARRAS DE SUSPENSION



# 4

## FABRICACION DE LA ESTRUCTURA DE ACERO

## VISTA GENERAL – PIEZAS EXTREMAS



## VIGAS TRANSVERSALES PRINCIPALES



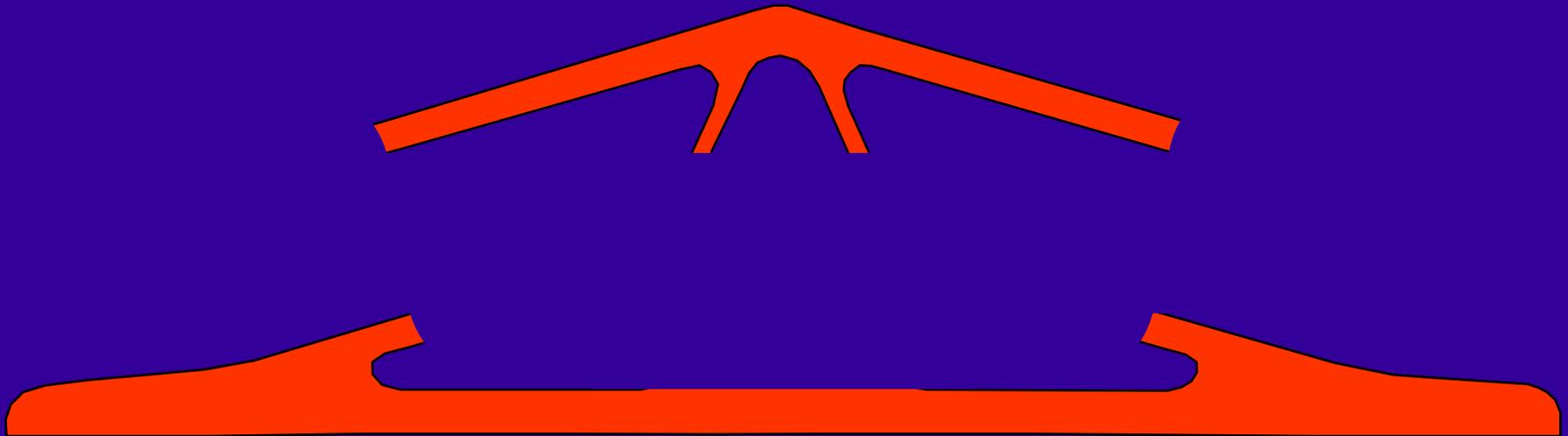
•  
•  
•

# 5

## TRANSPORTE Y MONTAJE DE LAS VIGAS RETICULADAS PRINCIPALES

- 
- 
- 

## DIVISION DE LAS VIGAS PRINCIPALES PARA POSIBILITAR SU TRANSPORTE





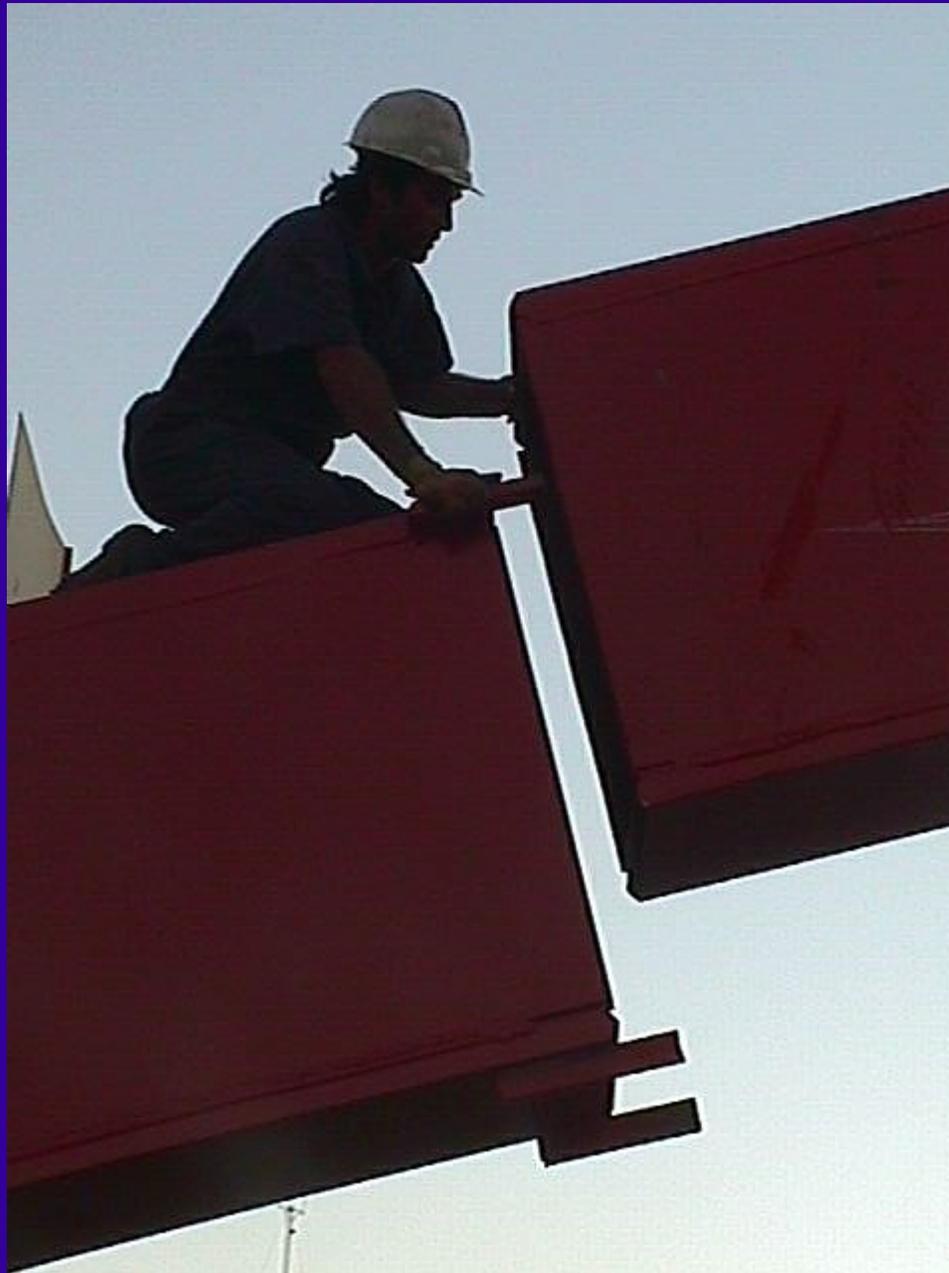
## MONTAJE DEL CORDON SUPERIOR







## UNION DE PIEZAS EN OBRA



## TRABAJO EN EL INTERIOR DE LAS VIGAS



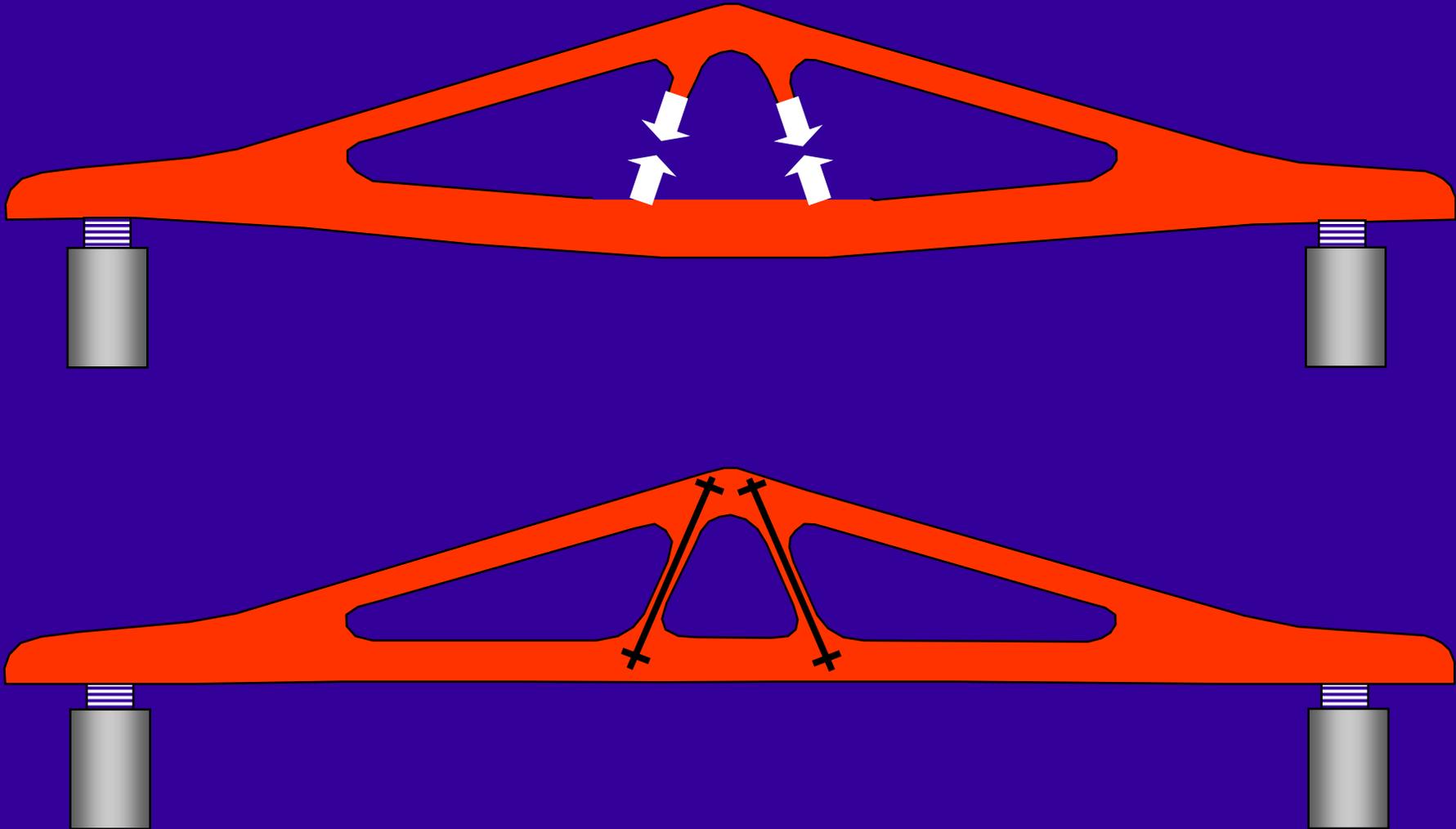
# MONTAJE DEL ARRIOSTRAMIENTO SUPERIOR



# 6

## PUESTA EN CARGA DE LOS TENSORES DIAGONALES

TENSORES DIAGONALES





7

# MONTAJE DE LAS VIGAS TRANSVERSALES

- 
- 
- 



- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
-

- 
- 
- 

## ENSAYO DE TINTAS PENETRANTES PARA LAS SOLDADURAS EJECUTADAS EN OBRA



8

# MONTAJE DEL TABLERO ORTOTROPICO

- 
- 
- 



- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
-

# DETALLES DE TERMINACION PREVIO A LA PUESTA EN CARGA





9

# MONTAJE DE LAS BARRAS DE SUSPENSION

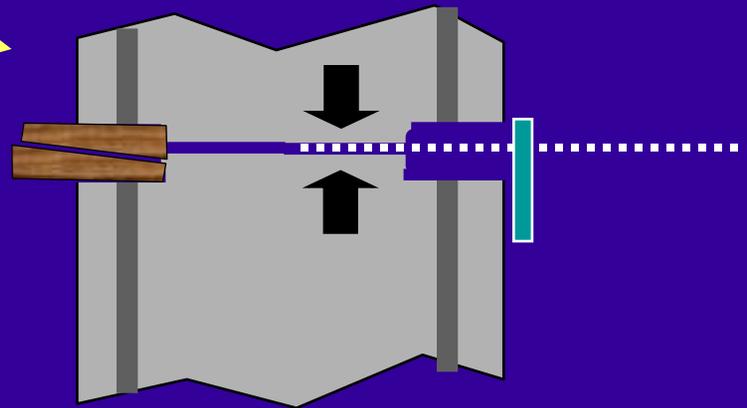
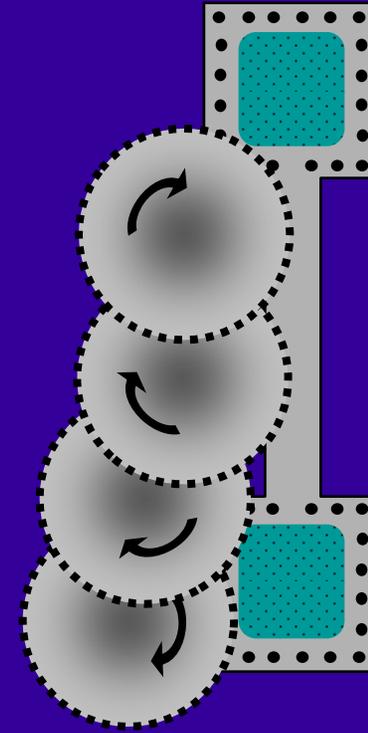
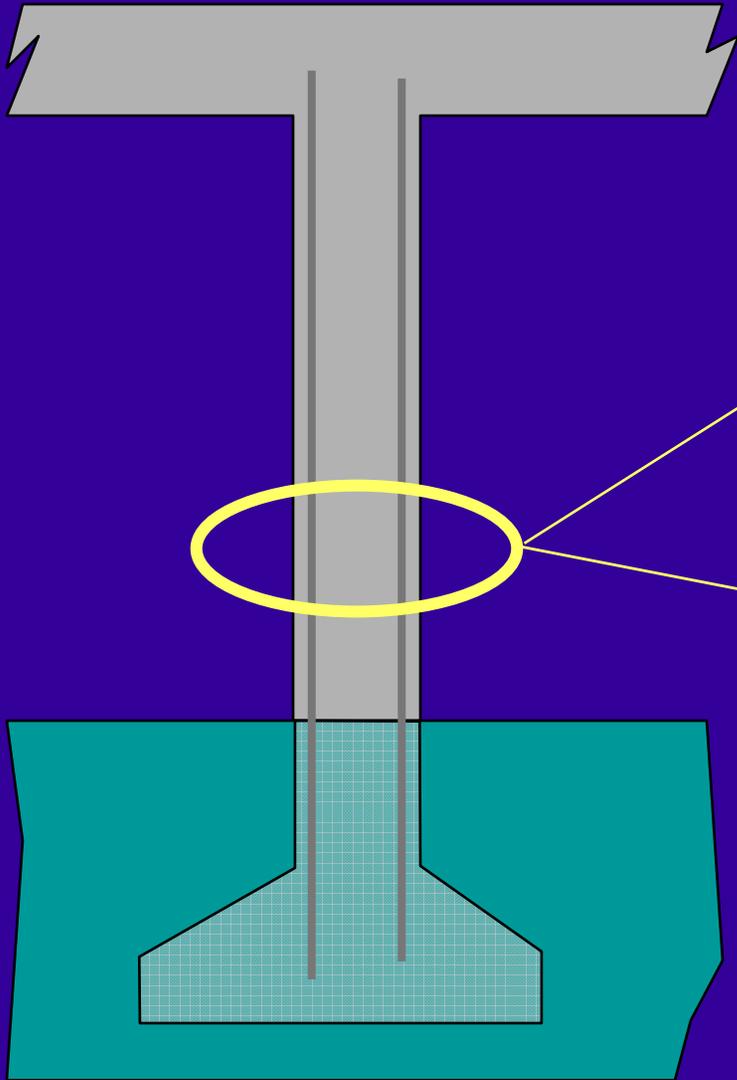


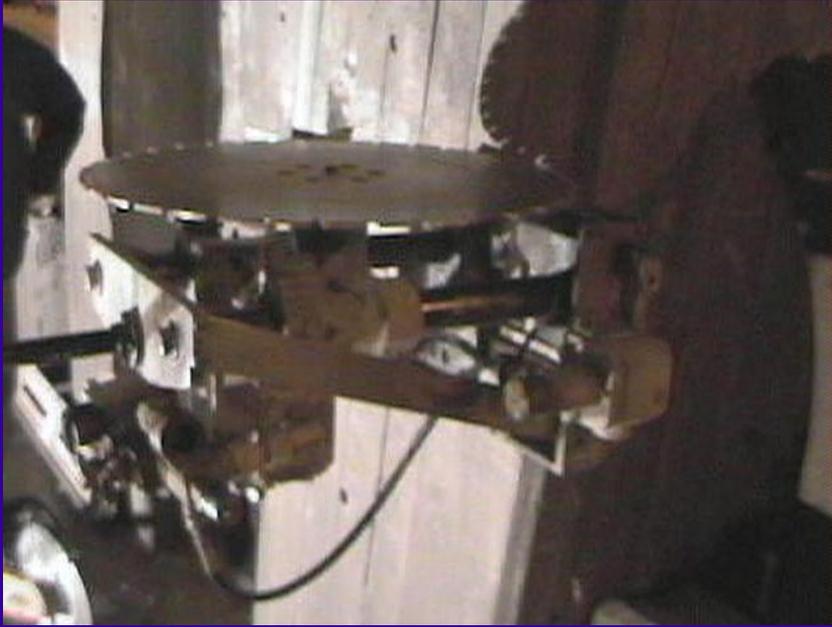
## ROTULAS SKF



10

# CORTE DE LA PILA CENTRAL





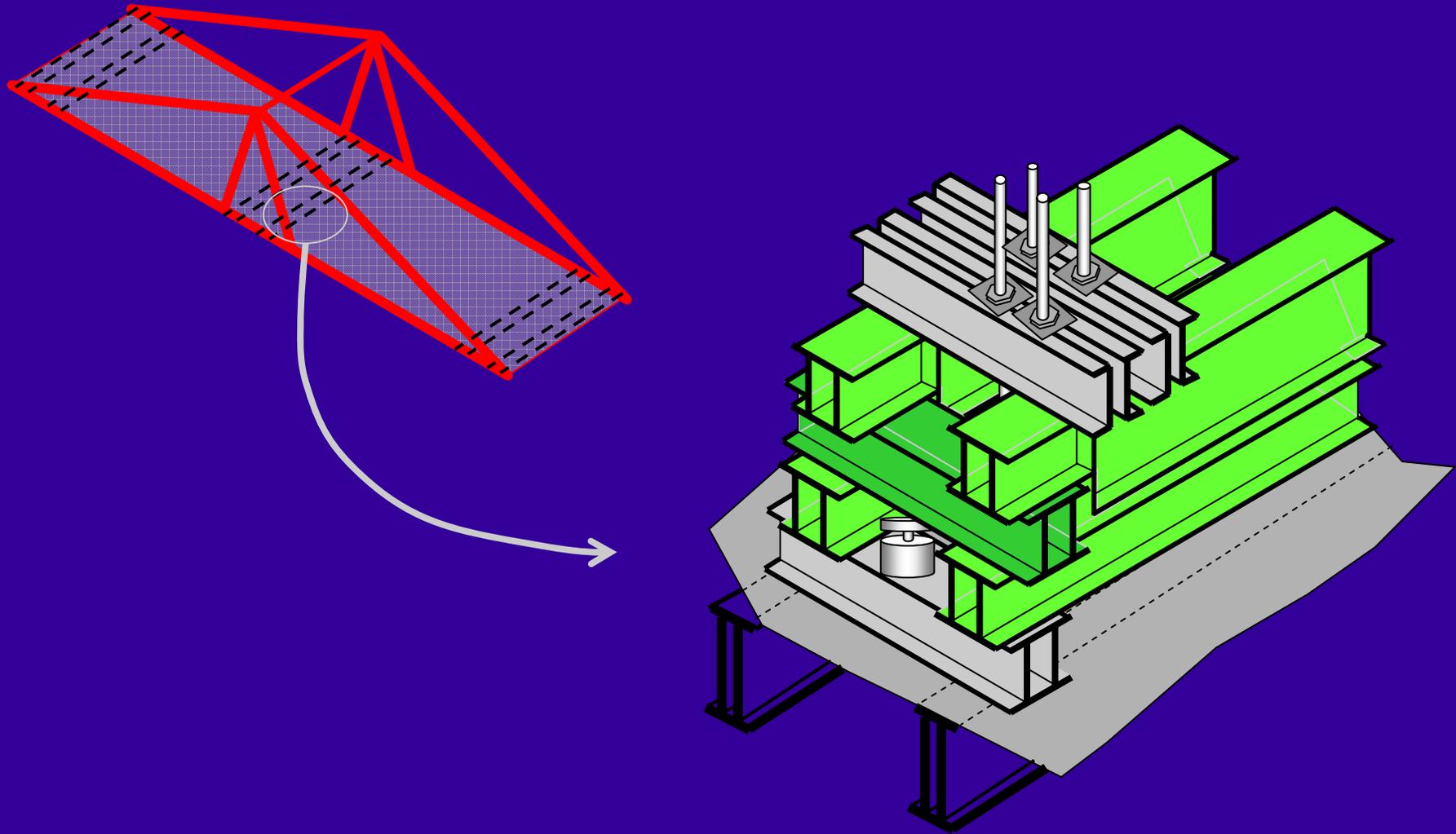


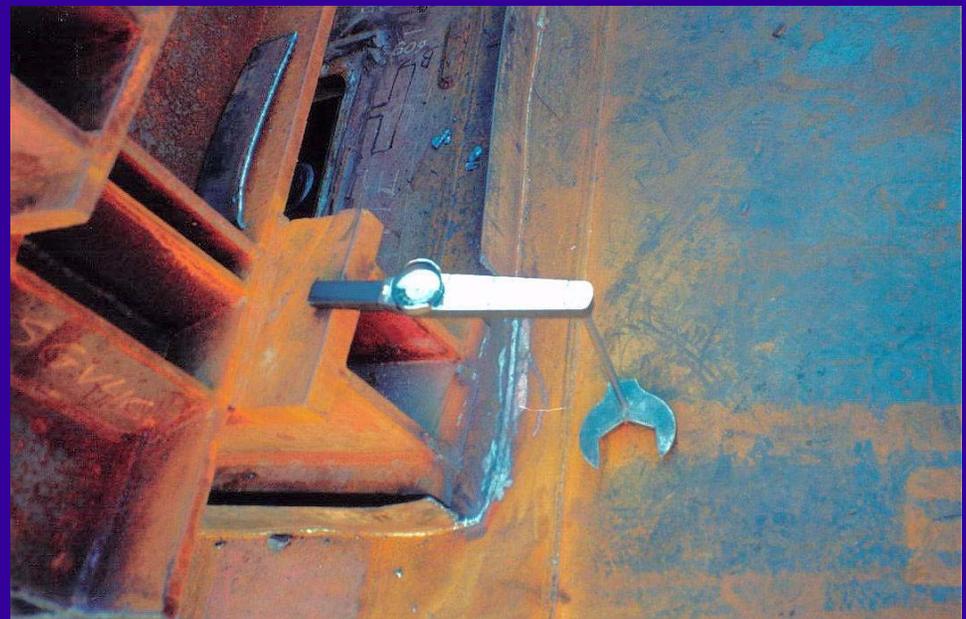
11

# TRANSFERENCIA DE CARGA AL PUENTE METALICO



# ESTRUCTURA DE GATEO





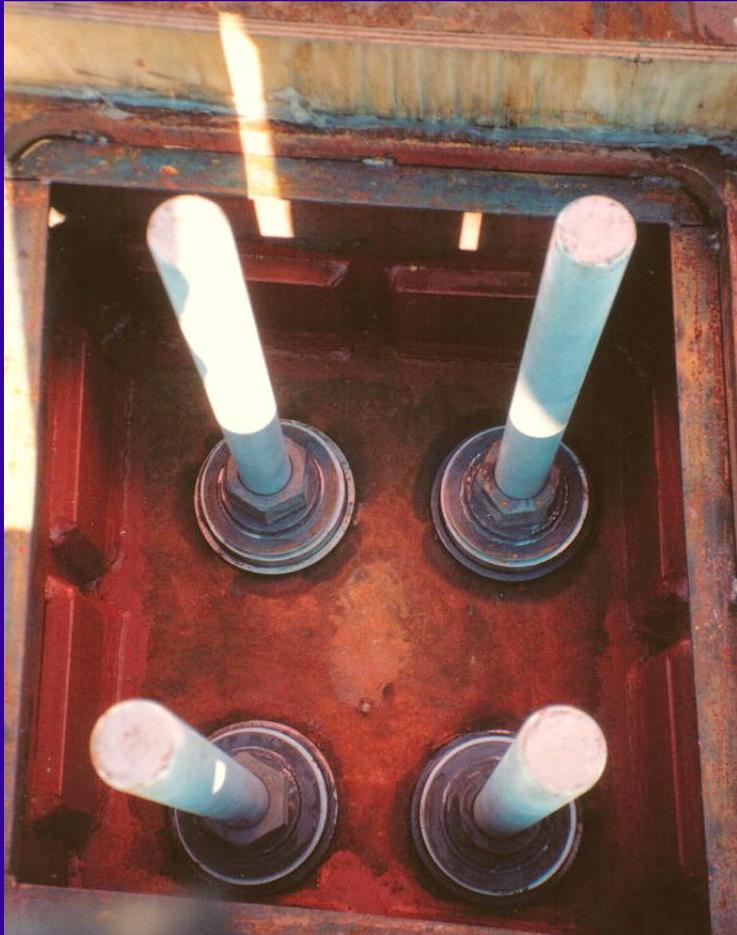
## TRANSPORTE DE LA ESTRUCTURA DE GATEO







- 
- 
- 



- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
- 
-

12

# ENSAYO DE CARGA







# TERMINACION DEL ENSANCHE







Ing. Tomás A. del Carril

•  
•  
•  
•  
•  
•  
•  
•  
•  
•  
•  
•

# FIN DE LA PRESENTACION



Gracias por su atención

• • • • • • • • • •