

14  
2ej



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGON INGENIERIA**

**MODELO FISICO DE UN PUENTE  
DE ARMADURA ESPACIAL**

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :

**I N G E N I E R O C I V I L**

PRESENTA :

**ANDRES BENIGNO GARCIA HERNANDEZ**

MEXICO, D. F.

1988

**TESIS CON  
FALSA DE ORIGEN**



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

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

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

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

## I N D I C E

		PAGINAS
	INTRODUCCION	1
	OBJETIVOS	3
<b>CAPITULO</b>	<b>T E M A</b>	
I	MARCO HISTORICO Y TEORICO	4
I.1	MARCO HISTORICO	4 - 9
I.2	MARCO TEORICO	10
	MODELOS MATEMATICOS	11 - 12
	MODELOS FISICOS	13 - 17
	VENTAJAS QUE OFRECE EL USO DE MODELOS FISICOS	18 - 19
	TEORIA DE LA SIMILITUD	20 - 23
	ANALISIS DIMENSIONAL	24 - 31
	TEORIA DE MODELOS	32 - 33
	E X T E N S O M E T R I A	34 - 54
	ANTECEDENTES DEL PROTOTIPO EN ESTUDIO	55 - 56
II	ANALISIS DIMENSIONAL	57
II.1	FACTORES DE ESCALA Y ECUACIONES DE PREDICCION	59
	a) ESCALA DE LINEAS	59
	b) ESCALA DE MODULOS DE ELASTICIDAD	59

c)	ESCALA DE FUERZAS	61 - 62
d)	ESCALA DE RIGIDECES PARA ELEMENTOS SUJETOS A CARGA AXIAL	63
	ESCALA DE AREAS	64
	ESCALA PARA ELEMENTOS SUJETOS A FLEXION	65
	ESCALA DE MOMENTOS DE INERCIA	67
e)	ECUACION DE PREDICION	68
f)	E S F U E R Z O	68
II.2	PESO PROPIO DE LA ESTRUCTURA	69
II.3	DISPOSITIVO DE CARGA VIVA	71 - 80
III	FABRICACION DEL MODELO	81
a)	ESCALA DE LINEAS	81
b)	MATERIALES DE CONSTRUCCION	81
c)	ASPECTO ECONOMICO	82
d)	DIMENSIONAMIENTO DEL MODELO	83 - 97
e)	CONSTRUCCION DEL MODELO	97 - 113
IV	INSTRUMENTACION DEL MODELO	114
a)	EXTENSOMETROS ELECTRICOS	114 - 116
b)	MICROMETROS MECANICOS	116
V	ENSAYE DEL MODELO FISICO	117
a)	OBTENCION DE DEFORMACIONES UNITARIAS	117 - 120
b)	OBTENCION FISICAS DE FLECHAS EN EL MODELO	120

c)	RESULTADOS	120 - 172
VI	INTERPRETACION DE RESULTADOS	173 - 175
VII	CONCLUSIONES	176 - 177
	BIBLIOGRAFIA	178

## I N T R O D U C C I O N

=====

EN MÉXICO, LA INVESTIGACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS A TRAVÉS DE MÉTODOS EXPERIMENTALES COMO LOS MODELOS FÍSICOS HA SIDO MUY POCO DESARROLLADA Y AÚN MENOS DIFUNDA.

ESTO PROBABLEMENTE SE HA DEBIDO AL GRAN AVANCE DE LAS COMPUTADORAS, Y A QUE SE HAN DISEMINADO EN EL MERCADO GRAN NÚMERO DE PROGRAMAS DE CÓMPUTO PARA ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS, QUE CON GRAN RAPIDEZ DAN SOLUCIÓN A NUESTROS PROBLEMAS.

SIN EMBARGO, ESTOS MODELOS MATEMÁTICOS NO HAN LOGRADO LA PERFECCIÓN, YA QUE NO HAN PODIDO REPRODUCIR VERDADERAMENTE LAS CONDICIONES DE FRONTERA DENTRO DE LA ESTRUCTURA O SU INTERACCIÓN CON ALGÚN OTRO MEDIO CON EL QUE ESTÉ EN CONTACTO.

TAMBIÉN DIRÉ QUE DEBIDO A LAS NUEVAS NECESIDADES QUE SE GENERAN DÍA CON DÍA, SE HACE NECESARIO CREAR ESTRUCTURAS ESPECIALES, DE LAS CUALES NO SE TIENE CONOCIMIENTO ADECUADO Y LOS MODELOS MATEMÁTICOS QUE SE NECESITARÍAN PARA CONOCER ESTAS NUEVAS ESTRUCTURAS APARTE DE SOFISTICADOS, CONSUMIRÍAN MUCHÍSIMAS HORAS-HOMBRE-MÁQUINA PARA ELABORAR PROGRAMAS QUE PRONOSTICARÁN EL COMPORTA

## MIENTO DE LA NUEVA ESTRUCTURA.

ESTE PROBLEMA TIENE SU SOLUCIÓN EN LA ELABORACIÓN - Y ENSAYE DE MODELOS FÍSICOS, QUE APARTE DE SER RÁPIDOS Y FÁCILES DE CONSTRUIR, SI REPRODUCEN EN CASI EL 100% LAS- CONDICIONES DE FRONTERA E INTERACCIÓN ESTRUCTURA-MEDIO - AMBIENTE QUE SON DE GRAN IMPORTANCIA EN EL COMPORTAMIENT- O DE UNA ESTRUCTURA.

CON BASE EN LOS PÁRRAFOS ANTERIORES HE DESARROLLADO ESTE TRABAJO DE TESIS, EN EL QUE EXONGO AL PRINCIPIO UN MARCO HISTÓRICO Y UN MARCO TEÓRICO PARA QUE TODO ÁQUEL - QUE LEA ESTA TESIS CONOZCA Y COMPRENDA LA IMPORTANCIA DE- LOS MODELOS FÍSICOS DENTRO DE LA INGENIERÍA. POSTERIOR-- MENTE EXHIBO UN EJEMPLO DE APLICACIÓN EN EL CUAL MUESTRO TODOS LOS PASOS A SEGUIR PARA PODER DISEÑAR, FABRICAR, - ANALIZAR E INTERPRETAR UN MODELO FÍSICO.

## OBJETIVOS

### OBJETIVOS GENERALES:

- COMPRENDER QUE ES UN MODELO FÍSICO, LAS TEORÍAS -  
QUE LO GOBIERNAN Y SUS APLICACIONES.
- SABER USAR COMO UNA HERRAMIENTA DE TRABAJO LOS -  
MODELOS FÍSICOS.

### OBJETIVOS PARTICULARES:

- DISEÑAR Y CONSTRUIR UN MODELO FÍSICO.
- ESTUDIAR EL COMPORTAMIENTO DEL MODELO ANTE CARGAS  
VIVAS ESTÁTICAS.
- INTERPRETAR RESULTADOS.



## I MARCO HISTORICO Y TEORICO

### 1.1 MARCO HISTORICO

DESDE LA ANTIGUEDAD EL HOMBRE YA EXPERIMENTABA SIN-SABERLO, CON MODELOS FÍSICOS.

DEBIDO A QUE EN LA ANTIGUEDAD NO SE TENÍA NINGÚN -- CONOCIMIENTO DE LAS CIENCIAS CONOCIDAS COMO EXACTAS, Y -- COMO POR NECESIDAD SE TENÍAN QUE CONSTRUIR OBRAS QUE -- SATISFACIERAN LOS REQUERIMIENTOS MÁS PRIMORDIALES DEL -- HOMBRE, ÉSTE REALIZÓ SUS EDIFICACIONES EMPLEANDO COMO -- ÚNICAS HERRAMIENTAS SU INGENIO E INTUICIÓN.

UTILIZANDO LA OBSERVACIÓN, EL HOMBRE FUE ANALIZANDO Y COMPRENDIENDO EL COMPORTAMIENTO DE LAS OBRAS QUE HABÍA CONSTRUÍDO. ASÍ EL HOMBRE COMENZÓ A CUALIFICAR Y A CUANTIFICAR LOS PROCESOS CONSTRUCTIVOS Y LOS MATERIALES EMPLEADOS. VIENDO QUE ALGUNOS MATERIALES CON CIERTAS CARACTERÍSTICAS, Y COLOCÁNDOLOS EN CIERTAS FORMAS GEOMÉTRICAS PROPORCIONABAN MAYOR RESISTENCIA Y DURABILIDAD A SUS -- CONSTRUCCIONES, ÉSTE COMENZÓ A ELABORAR MÉTODOS Y NORMAS DE CONSTRUCCIÓN PARA LOGRAR UNA MEJOR RACIONALIZACIÓN Y-SEGURIDAD DE SUS OBRAS.

LO ANTERIOR NO HUBIESE SIDO POSIBLE A NO SER PORQUE EL HOMBRE, EN SU AFÁN DE CONOCER LAS PROPIEDADES Y COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES, ENSAYÓ CON MODELOS FÍSICOS DE ESTRUCTURAS A ESCALA NATURAL. CLARO ESTÁ QUE NO -

SABÍA QUE ESTABA ENSAYANDO CON MODELOS FÍSICOS, LO ÚNICO QUE BUSCABA ERA LOGRAR OBRAS SEGURAS Y FUNCIONALES QUE SIRVIERAN A SUS PROPÓSITOS DE SERVICIO PARA EL GÉNERO HUMANO.

BASÁNDOSE EN LA OBSERVACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE ESOS PRIMEROS MODELOS FÍSICOS, Y EN EL DESARROLLO DE LAS CIENCIAS FÍSICO-MATEMÁTICAS EL HOMBRE GENERÓ TEORÍAS QUE INTENTABAN REPRESENTAR EL COMPORTAMIENTO FÍSICO DE LAS ESTRUCTURAS POR MEDIO DE ECUACIONES MATEMÁTICAS (CONOCIDAS EN LA ACTUALIDAD COMO MODELOS MATEMÁTICOS).

HACIA FINES DEL SIGLO XIX MULLER-BRESLAU Y MOHR LLEVARON A LO QUE AHORA ES CONOCIDO COMO LA TEORÍA CLÁSICA A UN ALTO GRADO DE PERFECCIÓN. ESTIMULADOS AL RESPECTO POR PROBLEMAS PRÁCTICOS COMO LA DIFÍCIL TAREA DE PUENTEAR EL RHIN, GENERARON UNA GRAN VARIEDAD DE TEOREMAS Y TÉCNICAS. LOS MÉTODOS GRÁFICOS DE MULLER-BRESLAU PARA PRODUCIR LÍNEAS DE INFLUENCIA DABA AL DISEÑADOR DE PUENTES MÉTODOS CONVENIENTES Y EFECTIVOS PARA TRATAR CON ESTRUCTURAS COMPLEJAS DE DIVERSAS REDUNDANTES.

CON EL DESARROLLO DE EDIFICIOS MUY ALTOS EN AMÉRICA, LA MAYOR DIFUSIÓN DEL ACERO SOLDADO Y MARCOS MONOLÍTICOS DE CONCRETO REFORZADO EN LA CONSTRUCCIÓN, SE PUSO A LOS DISEÑADORES FRENTE AL PROBLEMA DE ESTRUCTURAS ALTAMENTE REDUNDANTES. PARA EL ANÁLISIS DE ESTE TIPO DE ESTRUCTURAS SE HICIERON MÉTODOS MATEMÁTICOS SISTEMATIZADOS, COMO EL MÉTODO PENDIENTE-DEFLEXIÓN DE WILSON Y MANEY EN 1915. PERO EL ERROR ARITMÉTICO Y LA LABOR FÍSICA

CA INVOLUCRADOS EN LA SOLUCIÓN OBTENIDA POR ESTE PROCEDIMIENTO ERA MUY GRANDE, POR LO QUE SE DEBÍAN BUSCAR SOLUCIONES MEJORES.

UNA ALTERNATIVA ERAN LOS MODELOS FÍSICOS; DE LO QUE YA SE TENÍA ALGÚN ANTECEDENTE.

UNO DE LOS MÁS ANTIGUOS EJEMPLOS DEL USO DE MODELOS FÍSICOS COMO AYUDA EN EL DISEÑO DE ESTRUCTURAS, FUE LA -- INVESTIGACIÓN DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO PARA EL PUENTE -- BRITANNIA DE VIGAS TUBULARES SOBRE EL DESFILADERO MENAI - DE STEPHENSON AND FAIRBAIRN EN 1846. EL MODELO EN ESTE - CASO FUE FABRICADO A UNA ESCALA DE 1:6 EN TODAS SUS DIMEN - SIONES, Y HECHO DEL MISMO MATERIAL QUE EL PROTOTIPO. EL - MODELO FUE CARGADO DIRECTAMENTE Y DE UNA MANERA SIMILAR - AL PROTOTIPO Y ENSAYADO A LA DESTRUCCIÓN.

EN 1908 SE REALIZARON MODELOS DE CAUCHO PARA INVESTI - GAR ESFUERZOS EN PRESAS.

EN 1922 BEGGS INTRODUJO SU MÉTODO INDIRECTO PARA EL - ANÁLISIS DE MODELOS DE ESTRUCTURAS LINEALES, EMPLEANDO CO - MO MATERIALES CARTÓN O CELULOIDE E INSTRUMENTOS DE MEDI - CIÓN DE SU PROPIO DISEÑO (DEFORMÍMETRO DE BEGGS). ESTE MÉ - TODO CONSISTÍA EN APLICAR DESPLAZAMIENTOS EN LOS APOYOS Y MIEMBROS DE LA ESTRUCTURA PARA OBTENER LÍNEAS DE INFLUEN - CIA PARA REACCIONES Y FUERZAS INTERNAS DE LA ESTRUCTURA - CON BASE A CURVAS DE DEFORMACIÓN DEL MODELO SIN NECESIDAD DE REPRODUCIR A ESCALA LA CARGA DEL PROTOTIPO Y APLICARLA AL MODELO.

OTTO GOTTSCHALK DE BUENOS AIRES, PUBLICÓ SU VERSIÓN-

DEL MÉTODO INDIRECTO DE MODELOS EN 1926. SU APARATO, EL CUAL FUE LLAMADO EL "CONTINOSTAT", CONSISTIÓ DE UNA VARIEDAD DE LÁMINAS DE ACERO UNIDAS CON MEDIAS ABRAZADERAS MONTADAS VERTICALMENTE SOBRE RODILLOS PARA REPRESENTAR ESTRUCTURAS DE PORTAL Y VIGAS CONTINUAS. EL MÉTODO CONSISTÍA EN APLICAR DESPLAZAMIENTOS ARBITRARIOS INTERNA O EXTERNAMENTE AL MODELO PARA OBTENER LÍNEAS DE INFLUENCIA.

RIECKHOF INVENTÓ UN APARATO LLAMADO "EL NUPUBEST" QUE TUVO MUCHO EN COMÚN CON EL "CONTINOSTAT" DE GOTTSCHALK. ESTE CONSISTIÓ EN UN JUEGO DE LÁMINAS DE ACERO CON DISPOSITIVOS DE ABRAZADERA PARA LOGRAR LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO, APLICANDO TAMBIÉN DESPLAZAMIENTOS INTERNOS Y EXTERNOS PARA OBTENER LÍNEAS DE INFLUENCIA. RIECKHOF PROPUSO UNA ALTERNATIVA APROXIMADA PARA EL ANÁLISIS DE ESTRUCTURAS DE MIEMBROS RECTOS. RIECKHOF USÓ SU NUPUBEST EN EL PLANO HORIZONTAL Y LO SOPORTÓ SOBRE RODILLOS PARA ELIMINAR EFECTOS DE FRICCIÓN.

EN 1932, BAKER INVENTÓ UN MÉTODO DIRECTO PARA MODELOS DE CONSTRUCCIÓN RÍGIDA BASADO EN EL MÉTODO DE PENDIENTE-DEFLEXIÓN.

EL ESTUDIO DE MODELOS DE PUENTES SUSPENDIDOS HA SIDO UNA COMPROBACIÓN INVALUABLE DURANTE EL DESARROLLO DE LOS DISEÑOS. LA SOLUCIÓN MECÁNICA DE LA CARGA VIVA, ESFUERZOS POR TEMPERATURA Y DEFLEXIONES DE UN PUENTE SUSPENDIDO EN PORTLAND, OREGÓN, POR MEDIO DE UN MODELO DE ACERO FUE LA PRIMERA LLEVADA A CABO EN LOS ESTADOS UNIDOS EN 1930.

EL USO DE MODELOS ESTUDIADOS DIÓ RESULTADOS MUY PRÓ

XIMOS AL DISEÑO ANALÍTICO; VALORES DE ANÁLISIS DE UN MODELO FUERON ADOPTADOS COMO DATOS PRELIMINARES Y PARA LA REVISIÓN DEL DISEÑO DEL GRAN PUENTE DE SAN FRANCISCO. TAMBIÉN SE HAN USADO MODELOS EXTENSIVA Y EFICAZMENTE EN EL DISEÑO DE TODOS LOS GRANDES PUENTES SUSPENDIDOS EN NORTE AMÉRICA Y EUROPA.

CON LA INTRODUCCIÓN DE PUENTES SOSTENIDOS POR CABLES (ATIRANTADOS) EN LA INGENIERÍA DE PUENTES, EL ANÁLISIS DE MODELOS HA SIDO SATISFACTORIO Y DE MUY BUENOS RESULTADOS, APLICADOS AL DISEÑO DE PRACTICAMENTE TODOS LOS PUENTES -- ATIRANTADOS EN EUROPA Y OTRAS PARTES DEL MUNDO.

UN CASO ESPECIAL FUE LA FALLA ESTRUCTURAL DEL TACOMA-NARROW, PUENTE SUSPENDIDO QUE SE COLAPSÓ EN 1942, DEBIDO A INESTABILIDAD AERODINÁMICA, RESULTANDO EN UNA EXCESIVA VIBRACIÓN TRANSVERSAL DEL PUENTE COMPLETO Y, DESPUÉS, EN VIBRACIÓN TORSIONAL DE LA CUBIERTA CUANDO LOS CABLES PRINCIPALES OSCILARON CIEN Y OCHENTA GRADOS FUERA DE FASE. EL DISEÑO DEL SISTEMA DE PISO FUE TAL, QUE EL EFECTO AERODINÁMICO DEL VIENTO CRUZANDO EXCITABA LA VIBRACIÓN -- TRANSVERSAL. DEBIDO A LA COMPLEJIDAD DEL ANÁLISIS MATEMÁTICO DEL COMPORTAMIENTO DE PUENTES SUSPENDIDOS, SUJETOS A FUERZAS AERODINÁMICAS, SE CONSTRUYÓ UN MODELO A ESCALA -- DEL PUENTE Y FUERON HECHAS PRUEBAS DE TÚNEL DE VIENTO SOBRE ÉSTE PARA DETERMINAR MODIFICACIONES ADECUADAS, LAS -- CUALES, DIERAN A LA RECONSTRUCCIÓN DEL PUENTE INMUNIDAD -- DE EFECTOS DE VIENTO. EN VISTA DE LA FALLA DEL PUENTE -- TACOMA-NARROW EXTENSAS PRUEBAS DE TÚNEL DE VIENTO FUERON REALIZADAS EN MODELOS FÍSICOS EN EL LABORATORIO DE FÍSICA

NACIONAL EN BRETAÑA, EN RELACIÓN CON EL DISEÑO DEL PUEBTE  
SUSPENDIDO PROPUESTO CERCA DEL MONTE DEL RÍO SEVERN.

ESTOS EJEMPLOS MUESTRAN LA GRAN AYUDA QUE PRESTAN -  
LOS MODELOS FÍSICOS DENTRO DEL CAMPO DE LA INGENIERÍA.

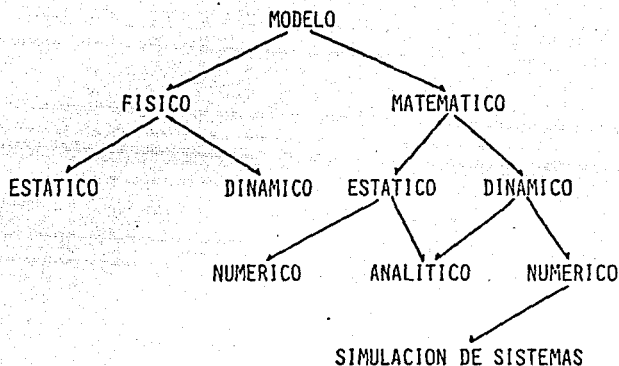
## 1.2 MARCO TEORICO

COMENZAREMOS POR DEFINIR. ¿QUÉ ES UN MODELO?

UN MODELO ES LA REPRESENTACIÓN FÍSICA O MATEMÁTICA - DE LAS CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE UN SISTEMA REAL; - A TRAVÉS DEL CUAL, SE TRATARÁ DE PREDECIR EL COMPORTAMIENTO QUE TENDRÁ EL SISTEMA REAL ANTE DIVERSAS O DETERMINADAS SOLICITACIONES; APLICANDO ÉSTAS, YA TRANSFORMADAS AL MODELO.

SE HAN UTILIZADO MUCHOS TIPOS DE MODELOS EN LOS ESTUDIOS DE SISTEMAS, ADEMÁS DE HABERSE CLASIFICADO EN UNA -- GRAN DIVERSIDAD DE FORMAS. DEPENDIENDO DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA, ÉSTE PUEDE SER: CONTÍNUO O DISCRETO, - DETERMINISTA O ESTOCÁSTICO, 'ETC. EN ESTE ESTUDIO ORDENAREMOS A LOS MODELOS EN DOS GRUPOS: FÍSICOS Y MATEMÁTICOS.

EN EL DIAGRAMA MOSTRAMOS LA CLASIFICACIÓN DE ÉSTOS.



### MODELOS MATEMATICOS

EN UN MODELO MATEMÁTICO, LAS PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA SE REPRESENTAN MEDIANTE VARIABLES MATEMÁTICAS. LAS ACTIVIDADES SE DESCRIBEN MEDIANTE FUNCIONES MATEMÁTICAS QUE INTERRELACIONAN LAS VARIABLES. SE CONSIDERAN LOS MODELOS MATEMÁTICOS COMO ESTÁTICOS O DINÁMICOS.

**MODELO ESTÁTICO.**- UN MODELO ESTÁTICO CONSIDERA LAS RELACIONES ENTRE LAS PROPIEDADES DEL SISTEMA CUANDO ÉSTE-



ESTÁ EQUILIBRADO. SI SE CAMBIA EL PUNTO DE EQUILIBRIO ALTERANDO UNA O MÁS DE LAS PROPIEDADES, EL MODELO PERMITE DEDUCIR LOS NUEVOS VALORES DE TODAS LAS PROPIEDADES, PERO NO MUESTRA LA MANERA EN QUE CAMBIARON A SUS NUEVOS VALORES. DEPENDIENDO DE LA NATURALEZA DEL MODELO, ES POSIBLE RESOLVERLO ANALÍTICAMENTE O PUEDE SER NECESARIO RESOLVERLO NUMÉRICAMENTE.

MODELO DINÁMICO.- UN MODELO DINÁMICO PERMITE DEDUCIR LOS CAMBIOS DE LAS PROPIEDADES DEL SISTEMA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO.

DEPENDIENDO DE LA COMPLEJIDAD DEL MODELO, LA DEDUCCIÓN PUEDE HACERSE CON UNA SOLUCIÓN ANALÍTICA O CON UN COMPUTO NUMÉRICO.

LOS MODELOS MATEMÁTICOS DINÁMICOS QUE SE PUEDEN RESOLVER ANALÍTICAMENTE Y QUE DAN RESULTADOS PRÁCTICOS NO SON MUY COMUNES. ES MÁS FRECUENTE QUE TENGA QUE RESOLVERSE EL MODELO MEDIANTE MÉTODOS NUMÉRICOS.

LA SOLUCIÓN DE MODELOS MATEMÁTICOS ANTES TEDIOSOS Y MUY TARDADOS, TIENE GRAN AUGE EN LA ACTUALIDAD, DEBIDO A QUE EL USO GENERALIZADO DE LAS COMPUTADORAS Y LA CREACIÓN DE PROGRAMAS PARA DIVERSOS SISTEMAS HA VENIDO A DAR UNA MAYOR RAPIDEZ EN LA OBTENCIÓN DE SOLUCIONES EN ÉSTOS.

ALGUNOS DE LOS MÉTODOS MÁS EMPLEADOS EN LA SOLUCIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS SON: DIFERENCIAS FINITAS, ELEMENTOS FINITOS, SIMULACIÓN, ETC.

## M O D E L O S   F Í S I C O S

LOS MODELOS FÍSICOS PREDICEN EL COMPORTAMIENTO QUE -  
TENDRÁ EL SISTEMA REAL EN ESTUDIO.

EN UN MODELO FÍSICO LAS PROPIEDADES Y CARACTERÍSTI--  
CAS DEL SISTEMA SE REPRESENTAN MEDIANTE MEDIDAS FÍSICAS.-  
DEPENDIENDO DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN, ESTAS MEDIDAS PUE-  
DEN SER: LONGITUD, MASA, FUERZA, TIEMPO, VOLTAJE, CALOR,-  
ETC.

UN MODELO FÍSICO DEBE SEGUIR LOS MISMOS PRINCIPIOS -  
QUE GOBIERNAN AL SISTEMA REAL.

LA DISTINCIÓN DE LOS MODELOS FÍSICOS EN ESTÁTICOS Y-  
DINÁMICOS ESTÁ FUNDAMENTADA EN EL TIPO DE APLICACIÓN DE -  
LAS SOLICITACIONES: ES DECIR, SI LAS CARGAS APLICADAS EN-  
FUNCIÓN DEL TIEMPO SON CONSTANTES SE CLASIFICA AL MODELO-  
COMO ESTÁTICO Y SI EN CAMBIO LAS FUERZAS APLICADAS AL MODE-  
LO SON VARIABLES EN FUNCIÓN DEL TIEMPO SE LE DENOMINA CO-  
MO DINÁMICO.

TAMBIÉN LOS MODELOS SE PUEDEN CLASIFICAR EN FUNCIÓN-  
DE SUS PROPIEDADES Y CARACTERÍSTICAS, EN 3 GRUPOS:

SEMEJANTES O ICÓNICOS.- SON UNA REPRODUCCIÓN A ESCALA DEL  
PROTOTIPO. A SU VEZ SE SUBDIVIDEN EN:

A) VERDADEROS.- SON AQUELLOS EN QUE TODAS LAS CARACTERÍS-  
TICAS SIGNIFICANTES DEL PROTOTIPO SON COMPLETAMENTE REPRO-  
DUCIDAS A ESCALA.

B).- ADECUADOS.- SON AQUELLOS EN LOS QUE PUEDEN HACERSE PREDICCIONES DE UNA O VARIAS CARACTERÍSTICAS DEL PROTOTIPO PERO QUE NO NECESARIAMENTE PUEDE PROPORCIONAR PREDICCIONES DE OTRAS CARACTERÍSTICAS.

DISTORSIONADOS.- EL MODELO ES UNA REPRODUCCIÓN DEL PROTOTIPO PERO SE UTILIZAN 2 O MÁS ESCALAS.

DESEMEJANTES O ANÁLOGOS.- NO HAY PARECIDO DIRECTO ENTRE MODELO Y PROTOTIPO. POR LO GENERAL LA ANALOGÍA ESTÁ EN FUNCIÓN DE LAS TEORÍAS QUE GOBIERNAN EL COMPORTAMIENTO DE LOS SISTEMAS.

LOS EJEMPLOS MEJOR CONOCIDOS DE MODELOS FÍSICOS - SON:

MODELOS A ESCALA ESTRUCTURALES.- SON CONSTRUÍDOS CON EL PROPÓSITO DE OBTENER INFORMACIÓN CONCERNIENTE AL COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA BAJO CARGA. SE ACOSTUMBRA CONSIDERAR EL PROBLEMA COMO EL DE VALUAR DEFLEXIONES Y ESFUERZOS. LAS DEFLEXIONES Y LOS ESFUERZOS SON FUNCIONES DE: - LAS RESTRICCIONES Y FUERZAS APLICADAS A LA ESTRUCTURA, - LA GEOMETRÍA DE LA ESTRUCTURA Y LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EMPLEADOS EN LA MISMA.

ESTOS MODELOS SE ESTUDIAN PARA TODAS O ALGUNA DE LAS SIGUIENTES SOLICITACIONES:

- 1) FUERZA NORMAL
- 2) FUERZA CORTANTE
- 3) FLEXIÓN
- 4) TORSIÓN

ESTOS MODELOS SE HAN REALIZADO PARA EDIFICIOS, PUENTES, PRESAS, SUELOS, CASCARONES Y EN GENERAL PARA ESTRUCTURAS ESPECIALES CUYO ANÁLISIS MATEMÁTICO ES SUMAMENTE COMPLICADO.

MODELOS A ESCALA PARA TÚNEL DE VIENTO Y TANQUES DE AGUA.

ESTOS SE FABRICAN PARA ESTUDIAR EL DISEÑO AERODINÁMICO E HIDRODINÁMICO DE AERONAVES Y NAVES ACUÁTICAS RESPECTIVAMENTE. TAMBIÉN SE APLICAN A ESTRUCTURAS CIVILES QUE TRABAJAN BAJO ESTE TIPO DE SOLICITACIONES. HACEMOS NOTAR QUE LA RELACIÓN MÁS IMPORTANTE EN ESTE TIPO DE MODELO ES LA SIMILITUD GEOMÉTRICA.

TAMBIÉN SE HAN REALIZADO MODELOS FÍSICOS PARA CONOCER EL COMPORTAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS ANTE LOS MOVIMIENTOS SÍSMICOS.

MODELOS ANALÓGICOS.- ALGUNOS MODELOS FÍSICOS DINÁMICOS SE APOYAN EN UNA ANALOGÍA ENTRE EL SISTEMA QUE SE ESTUDIA Y ALGÚN OTRO SISTEMA DE ALGUNA NATURALEZA DISTINTA.

PARA ILUSTRAR ESTE TIPO DE MODELO, CONSIDERE LOS DOS SISTEMAS QUE SE MUESTRAN EN LA FIGURA 1. LA FIGURA 1-A REPRESENTA UNA MASA SUJETA A UNA FUERZA  $F(t)$  APLICADA QUE VARÍA CON EL TIEMPO, UN RESORTE CUYA FUERZA ES PROPORCIONAL A SU EXTENSIÓN O CONTRACCIÓN Y UN AMORTIGUADOR QUE EJERCE UNA FUERZA DE AMORTIGUACIÓN PROPORCIONAL A LA VELOCIDAD DE LA MASA. EL SISTEMA PUEDE REPRESENTAR, POR EJEMPLO, LA SUSPENSIÓN DEL NEUMÁTICO DE UN AUTOMÓVIL CUANDO SE SUPONE QUE LA CARROCERÍA DEL MISMO ESTÁ INMÓVIL EN UNA DIRECCIÓN VERTICAL. LA SIGUIENTE ECUACIÓN DIFERENCIAL - -

DESCRIBE EL MOVIMIENTO DEL SISTEMA:

$$M\ddot{X} + D\dot{X} + KX = F(t)$$

X: DESPLAZAMIENTO

K: RIGIDEZ DEL RESORTE

D: COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO VISCOSO

M: MASA

LA FIGURA 1-B REPRESENTA UN CIRCUITO ELÉCTRICO CON UNA INDUCTANCIA L, UNA RESISTENCIA R Y UNA CAPACITANCIA C, CONECTADAS EN SERIE CON UNA FUENTE DE VOLTAJE QUE VARÍA EN EL TIEMPO DE ACUERDO CON LA FUNCIÓN E(T). SI Q ES LA CARGA EN LA CAPACITANCIA, LA SIGUIENTE ECUACIÓN DIFERENCIAL GOBIERNA EL COMPORTAMIENTO DEL CIRCUITO.

$$L\ddot{Q} + R\dot{Q} + \frac{Q}{C} = \frac{E(t)}{C}$$

UNA INSPECCIÓN DE ESTAS 2 ECUACIONES MUESTRA QUE -- TIENEN EXACTAMENTE LA MISMA FORMA Y QUE OCURREN LAS SIGUIENTES EQUIVALENCIAS ENTRE LAS CANTIDADES Y ENTRE AMBOS SISTEMAS:

X: DESPLAZAMIENTO

$\dot{X}$ : VELOCIDAD

F: FUERZA

M: MASA

D: FACTOR DE AMORTIGUACIÓN

K: RIGIDEZ DE RESORTE

Q: CARGA

$\dot{Q}$ : CORRIENTE I

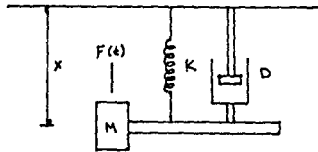
E: VOLTAJE

L: INDUCTANCIA

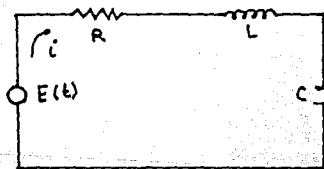
R: RESISTENCIA

$\frac{1}{C}$ : CAPACITANCIA INVERSA

EL SISTEMA MECÁNICO Y EL ELÉCTRICO SON MODELOS MUTUOS O ANÁLOGOS Y SE PUEDE ESTUDIAR EL COMPORTAMIENTO DE CUALQUIERA CON EL OTRO. LA ANALOGÍA REALIZADA ENTRE LOS DOS SISTEMAS SE ESTABLECIÓ MOSTRANDO QUE AMBOS SISTEMAS OBEDECEN LA MISMA ECUACIÓN MATEMÁTICA. ESTE TIPO DE MODELOS TAMBIÉN SE UTILIZA EN PROBLEMAS DE INTERCAMBIO DE CALOR Y EL SISTEMA NERVIOSO HUMANO.



A) SISTEMA MECÁNICO



B) SISTEMA ELÉCTRICO

FIGURA 1

## VENTAJAS QUE OFRECE EL USO DE MODELOS FISICOS

- A) PARA UN NUEVO DISEÑO, DEL CUAL NO HAY EXPERIENCIA - PRÁCTICA, EL MODELO TOMA EN CUENTA LA NOVEDAD DE LA FORMA ESTRUCTURAL.
- B) DONDE UN DATO DE PRUEBA ES APROVECHABLE Y UN ANÁLISIS MATEMÁTICO RIGUROSO ES IMPRACTICABLE POR LAS -- COMPLICACIONES QUE ENCIERRA.
- C) EN LA REVISIÓN PERIÓDICA DE UN MÉTODO DE ANÁLISIS - RUTINARIO DE DISEÑO USADO PARA UN GRUPO DE ESTRUCTURAS.
- D) DONDE SE PUEDE OBTENER UN AHORRO APRECIABLE DE UN MÉTODO RUTINARIO SOBRE LOS MÉTODOS MATEMÁTICOS DISPONIBLES.
- E) EL MODELO FÍSICO PERMITE REPRESENTAR LAS CUALIDADES ESTRUCTURALES DEL PROTOTIPO Y DAR CONTINUIDAD A LOS MIEMBROS ESTRUCTURALES ADYACENTES DEL SISTEMA, LO - QUE ES CONOCIDO COMO CONDICIONES DE FRONTERA EN LOS MODELOS MATEMÁTICOS Y QUE SON MUY DÍFICILES DE SIMULAR EN ÉSTOS CON RESULTADOS SATISFACTORIOS.
- F) EL ANÁLISIS MATEMÁTICO PUEDE SER MÁS COMPLEJO Y TEDIOSO QUE EL ANÁLISIS DEL MODELO FÍSICO, EL CUAL -- PROPORCIONA UNA RÁPIDA SOLUCIÓN CON RESULTADOS SATISFACTORIOS.
- G) ES BUENO TENER UNA PRUEBA INDEPENDIENTE DE UNA SOLUCIÓN MATEMÁTICA DE UN PROBLEMA.

- H) PARA CORREGIR ERRORES DE CÁLCULO INHERENTES A UN MODELO MATEMÁTICO.
- I) PARA UNA MEJOR Y MÁS FÁCIL COMPRESIÓN DEL COMPORTAMIENTO FÍSICO DE UNA ESTRUCTURA, YA QUE - EN LOS MODELOS MATEMÁTICOS NO SE APRECIA DICHO COMPORTAMIENTO, ÉSTE PUNTO ES DE GRAN INTERÉS- EN LA RELACIÓN ENSEÑANZA-APRENDIZAJE PARA LOS- ESTUDIANTES A CUALQUIER NIVEL.



## TEORIA DE LA SIMILITUD

LOS PRINCIPIOS QUE RIGEN LA MANERA ADECUADA DE CONCEBIR Y CONSTRUIR UN MODELO, CONSTITUYEN LA TEORÍA DE LA SIMILITUD.

KLINE, QUIEN ESTABLECIÓ LA TEORÍA DE LA SIMILITUD -- EXPRESÓ LO SIGUIENTE "... SI DOS SISTEMAS OBEDECEN AL MISMO GRUPO DE ECUACIONES Y CONDICIONES GOBERNANTES, Y SI LOS VALORES DE TODOS LOS PARÁMETROS Y LAS CONDICIONES SE HACEN IDÉNTICAS, LOS DOS SISTEMAS DEBEN DE EXHIBIR COMPORTAMIENTOS SIMILARES CON TAL QUE EXISTA UNA SOLUCIÓN PARA EL GRUPO DE ECUACIONES Y CONDICIONES..."

EN OTRAS PALABRAS, LA TEORÍA DE LA SIMILITUD NOS DICE QUÉ CONDICIONES SE DEBEN SATISFACER PARA QUE EL COMPORTAMIENTO DE DOS ENTIDADES SEPARADAS (PROTOTIPO Y MODELO) SEA SEMEJANTE, Y LAS TÉCNICAS QUE SE DEBEN SEGUIR PARA PREDECIR CON EXACTITUD COMO SE COMPORTARÁ UNA DE ELLAS - POR OBSERVACIONES EFECTUADAS EN LA OTRA.

DE ESAS OBSERVACIONES, EL COMPORTAMIENTO DEL PROTOTIPO PUEDE SER PREDECIDO CONSIDERANDO QUE MODELO Y PROTOTIPO SE COMPORTAN CUALITATIVAMENTE EN FORMA SEMEJANTE Y, -- QUE UNA RELACIÓN CUANTITATIVA PUEDE SER ESTABLECIDA ENTRE ELLOS.

LA TEORÍA DE LA SIMILITUD SE DESARROLLA A PARTIR DEL ANÁLISIS DIMENSIONAL, EL CUAL ESTÁ BASADO EN NUESTROS CON

CEPTOS Y MÉTODOS DE MEDIDAS Y OBSERVACIONES.

LAS OBSERVACIONES TIENEN DOS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES: CUALIDAD Y CANTIDAD.

EL ASPECTO CUALITATIVO SIRVE PARA IDENTIFICAR LAS -- CARACTERÍSTICAS DE COMPORTAMIENTO, DE TAL MODO QUE EL FENÓMENO PUEDE SER PROPIAMENTE DESCRITO O AL MENOS IDENTIFICADO DE CUALQUIER OTRO FENÓMENO.

LAS CARACTERÍSTICAS CUALITATIVAS DE LA OBSERVACIÓN - PUEDEN SER DESCRITAS EN TÉRMINOS DE OPERACIONES ESTANDARIZADAS QUE IDENTIFICAN CLASES DE CANTIDADES, COMO LONGITUD (L), FUERZA (F) Y TIEMPO (T). ESTAS CARACTERÍSTICAS CUALITATIVAS SON LLAMADAS LAS DIMENSIONES DE LA CANTIDAD OBSERVADA.

EL ASPECTO CUANTITATIVO ES NECESARIO PARA VALUAR EL GRADO DE OCURRENCIA DEL FENÓMENO Y PARA DISTINGUIRLO DE - OTROS CUALITATIVAMENTE IGUALES PERO DE DIFERENTE MAGNITUD.

LAS CARACTERÍSTICAS CUANTITATIVAS COMPRENDEN UN NÚMERO Y UN PATRÓN DE COMPARACIÓN, COMO POR EJEMPLO: (5M, - - 10KG, 15 MIN.).

EL PATRÓN DE COMPARACIÓN, QUE ES ARBITRAMIENTE ESTABLECIDO, SE LLAMA UNIDAD. POR EJEMPLO, UNA CARGA DISTRIBUIDA LINEALMENTE ES EXPRESADA EN DIMENSIONES ( $FL^{-1}$ ) Y EN UNIDADES (TON/M) O (KG/CM).

SE RECONOCEN COMO NECESARIOS PARA DESCRIBIR CUAL- --

QUIER FENÓMENO MECÁNICO, 3 FACTORES CUALITATIVOS, QUE -- SON: FUERZA, TIEMPO Y LONGITUD. ESTOS 3 FACTORES SON LLAMADOS BÁSICOS PORQUE TODOS LOS DEMÁS PUEDEN SER DESCRITOS EN TÉRMINOS DE ELLOS. EN PROBLEMAS EN QUE INTERVIENEN -- CALOR O ELECTRICIDAD HAY QUE USAR CANTIDADES BÁSICAS ADICIONALES. ESTOS FACTORES HAN SIDO TOMADOS COMO BÁSICOS EN FUNCIÓN A SU SIMPLICIDAD.

CABE ANOTAR QUE PARA PROPÓSITOS CIENTÍFICOS, LAS 3 - CANTIDADES BÁSICAS SON USUALMENTE CONSIDERADAS COMO: MA-- SA, LONGITUD Y TIEMPO. MIENTRAS QUE PARA PROPÓSITOS DE -- INGENIERÍA SON: FUERZA, LONGITUD Y TIEMPO.

ESTAS 4 CANTIDADES ESTÁN INTERRELACIONADAS A TRAVÉS-- DE LA 2A. LEY DE NEWTON.

$$F=MA$$

QUE SE ESCRIBE DIMENSIONALMENTE

$$F=MLT^{-2}$$

CUALQUIER CANTIDAD PUEDE SER VALUADA EN TÉRMINOS DE LAS - OTRAS TRES.

LA TEORÍA DE LA SIMILITUD DEMUESTRA QUE CUALQUIER -- CANTIDAD PUEDE SER EXPRESADA EN TÉRMINOS DE LAS CANTIDA-- DES BÁSICAS, E INDICARSE COMO EL PRODUCTO DE LAS MISMAS - ELEVADAS A POTENCIAS APROPIADAS, O SEA, CUALQUIER CANTI-- DAD PURAMENTE MECÁNICA A, PUEDE SER EXPRESADA DIMENSIONAL-- MENTE COMO:

$$A=F^c1L^c2T^c3$$

ES IMPORTANTE HACER ÉNFASIS EN QUE LA SIMILITUD VA MÁS ALLÁ DE LOS ASPECTOS SUPERFICIALES DE SIMILITUD GEOMÉTRICA, CON LO CUAL ERRÓNEAMENTE SE CONFUNDE; LA SIMILITUD DEBE ENTENDERSE COMO LA CORRESPONDENCIA CONOCIDA Y USUALMENTE LIMITADA ENTRE EL COMPORTAMIENTO DEL MODELO ESTRUCTURAL Y EL PROTOTIPO CON SIMILITUD GEOMÉTRICA O -- SIN ELLA. LA SIMILITUD RARA VEZ ES PERFECTA DEBIDO A QUE COMÚNMENTE ES IMPOSIBLE SATISFACER TODAS LAS CONDICIONES REQUERIDAS PARA LOGRARLA.

DEPENDIENDO DE LOS OBJETIVOS QUE SE QUIERAN ALCANZAR EN UNA INVESTIGACIÓN, SE PLANTEARÁN LAS DIFERENTES RELACIONES DE SIMILITUD QUE SE UTILIZARÁN EN CADA ESTUDIO PARTICULAR.

AL FACTOR QUE RELACIONA LAS CUALIDADES Y CANTIDADES HOMÓLOGAS ENTRE MODELO Y PROTOTIPO SE LE DESIGNA COMO -- "ESCALA".

A CONTINUACIÓN PRESENTAMOS ALGUNAS RELACIONES DE SIMILITUD EN FUNCIÓN DEL FACTOR DE ESCALA (K):

ESCALA DE LÍNEAS ( $K_L$ )

$$K_L = \frac{L_P}{L_M} ; \quad L_P: \text{LONGITUD DEL PROTOTIPO}$$

$$L_M: \text{LONGITUD DEL MODELO}$$

ESCALA DE FUERZAS ( $K_F$ )

$$K_F = \frac{F_P}{F_M} ; \quad F_P: \text{FUERZA EN EL PROTOTIPO}$$

$$F_M: \text{FUERZA EN EL MODELO}$$

## ANÁLISIS DIMENSIONAL

EL ANÁLISIS DIMENSIONAL CONSTITUYE UN PROCEDIMIENTO SENCILLO Y PURAMENTE MATEMÁTICO PARA DETERMINAR LOS PARÁMETROS Y ECUACIONES DE PREDICCIÓN APLICABLES A UN PROBLEMA.

EL ANÁLISIS DIMENSIONAL SE BASA EN LOS SIGUIENTES - AXIOMAS Y TEOREMAS:

AXIOMA 1.- SÓLO PUEDE EXISTIR IGUALDAD NUMÉRICA ABSOLUTA CUANDO LAS CANTIDADES SON SIMILARES CUALITATIVAMENTE.

AXIOMA 2.- LA RELACIÓN ENTRE LAS MAGNITUDES DE 2 CANTIDADES DADAS ES INDEPENDIENTE DE LAS UNIDADES USADAS EN LA MEDIDA.

TEOREMA 1.- CUALQUIER CANTIDAD SECUNDARIA ( $\alpha$ ), PUEDE SER EXPRESADA POR UN COEFICIENTE ADIMENSIONAL ( $C_\alpha$ ) MULTIPLICADO POR CIERTAS CANTIDADES PRIMARIAS ( $A_M$ ) ELEVADAS A UNA POTENCIA APROPIADA ( $C_M$ ). ESTO ES:

$$\alpha = C_\alpha A_1^{C_1} A_2^{C_2} A_3^{C_3} \dots A_M^{C_M} \dots (A)$$

EN GENERAL  $C_\alpha$  DEBE SER DETERMINADO EXPERIMENTALMENTE.

PARA DEJAR EN CLARO EL CONCEPTO DE CANTI-

DAD PRIMARIA Y CANTIDAD SECUNDARIA PONDREMOS-  
EL SIGUIENTE EJEMPLO:

SE PIDE DETERMINAR UNA ECUACIÓN GENERAL -  
QUE EXPRESA LA DISTANCIA (S) QUE RECORRE EN -  
UN TIEMPO (T), UN CUERPO QUE CAE LIBREMENTE A  
PARTIR DEL REPOSO.

EN ESTE CASO LAS CANTIDADES PRIMARIAS - -  
SON: LA GRAVEDAD (G) Y EL TIEMPO, Y LA CANTI-  
DAD SECUNDARIA ES LA DISTANCIA RECORRIDA (S).  
ENTONCES:

$$S = F(G, T)$$

DE ACUERDO CON (A), LA ANTERIOR ECUACIÓN PUE-  
DE ESCRIBIRSE COMO:

$$s = c_1 g t^2 \quad \text{--- (B)}$$

Y EN SU FORMA DIMENSIONAL LA ECUACIÓN ES:

$$L = (LT^{-2}) c_1 (T) c_2$$

SEGÚN EL AXIOMA 1, EL EXPONENTE DE L DEBE  
SER EL MISMO DE CADA LADO DE LA ECUACIÓN POR-  
LO QUE, PODEMOS ESCRIBIR LAS SIGUIENTES ECUA-  
CIONES AUXILIARES PARA ENCONTRAR LOS VALORES-  
DE LOS COEFICIENTES:

$$1 = c_1 \quad \text{Y} \quad 0 = -2c_1 + c_2$$

$$\Rightarrow c_2 = 2c_1$$

$$\therefore c_2 = 2$$

SUSTITUYENDO  $c_1$  Y  $c_2$  EN (B) TENEMOS

$$S = C_{\alpha} g T^2; \text{ EXPERIMENTALMENTE } C_{\alpha} = \frac{1}{2}$$

SI EL NÚMERO DE CANTIDADES PRIMARIAS EXCEDE EL NÚMERO DE DIMENSIONES INCLUIDAS, NO HABRÁ ECUACIONES AUXILIARES SUFICIENTES PARA VALUAR LOS EXPONENTES. CUANDO HAY UNA CANTIDAD PRIMARIA EN EXCESO, UNA SOLUCIÓN ES VALUAR TODOS MENOS UNO DE LOS EXPONENTES EN TÉRMINOS DE ESTE MISMO.

#### TEOREMA $\Pi$ O DE VASCHY-BUCKINHAM

TODA RELACIÓN DIMENSIONALMENTE HOMOGÉNEA, COMO LA REPRESENTADA POR LA ECUACIÓN  $F(A_1, A_2, A_3, \dots, A_M) = 0$  ENTRE M MAGNITUDES FÍSICAS  $A_i$  SUSCEPTIBLES DE SER EXPRESADAS EN TÉRMINOS DE N DIMENSIONES FUNDAMENTALES DE MEDIDA, IMPLICA LA EXISTENCIA DE OTRA RELACIÓN DE LA FORMA  $F(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \dots, \Pi_{M-N}) = 0$ , ENTRE M-N PARÁMETROS  $\Pi_i$ . DICHS PARÁMETROS TIENEN LA PROPIEDAD DE SER FUNCIONES MONÓMICAS, ADIMENSIONALES E INDEPENDIENTES ENTRE SÍ, Y SON LOS PRODUCTOS DE GRUPOS DISTINTOS DE LAS POTENCIAS DE  $A_1, A_2, A_3, \dots, A_M$  DE LA FORMA:

$$\Pi_j = A_1^{c_1} A_2^{c_2} A_3^{c_3} \dots A_M^{c_M}$$

LOS EXPONENTES  $c_j$  SE RELACIONAN ENTRE SÍ DE ACUERDO CON LAS DIMENSIONES DE CADA MAGNITUD VARIABLE  $A_j$ , DE TAL MANERA QUE CON LAS  $N$  DIMENSIONES FUNDAMENTALES SE OBTIENE UN SISTEMA DE  $N$  ECUACIONES CON  $M$  INCÓGNITAS:

$$c_1, c_2, c_3, \dots, c_M.$$

PODRÁN ENTONCES, ELEGIRSE ARBITRARIAMENTE LOS VALORES DE UN NÚMERO  $M-N$  DE LAS INCÓGNITAS  $c_j$ , PARA LO CUAL CONVIENE SELECCIONAR  $N$  DE LAS  $M$  MAGNITUDES VARIABLES  $A_j$ , PARA QUE APAREZCAN EN CADA UNO DE LOS  $M-N$  PARÁMETROS  $\pi_j$  QUE SE LLAMARÁN VARIABLES REPRESENTATIVAS.

EL TEOREMA  $\pi$  NOS DICE DE CUANTOS TÉRMINOS  $\pi$  SON NECESARIOS PARA EXPRESAR UNA RELACIÓN ENTRE LAS VARIABLES -

- 1.- SI TODOS LOS TÉRMINOS DE UNA ECUACIÓN SE REDUCEN A LAS MISMAS CANTIDADES BÁSICAS (TIENEN LAS MISMAS DIMENSIONES) SE DICE QUE LA ECUACIÓN ES HOMOGÉNEA. SI UNA ECUACIÓN HOMOGÉNEA TIENE CONSTANTES CON DIMENSIONES, LA ECUACIÓN ES HOMOGÉNEA RESTRINGIDA. SI LA ECUACIÓN ES VÁLIDA EN CUALQUIER SISTEMA DE UNIDADES, ES HOMOGÉNEA GENERAL.

LA HOMOGENEIDAD ES CONDICIÓN NECESARIA PERO NO SUFICIENTE PARA LA VALIDEZ GENERAL DE UNA ECUACIÓN.



DE CUALQUIER FENÓMENO. EXPRESADO ALGÉBRICAMENTE TENEMOS:

$$S=M-N$$

- S: NÚMERO DE TÉRMINOS  $\pi$   
 M: NÚMERO TOTAL DE MAGNITUDES FÍSICAS CONSIDERADAS  
 N: NÚMERO DE DIMENSIONES BÁSICAS CONSIDERADAS.

PARA DETERMINAR CUALES SON LOS TÉRMINOS  $\pi$  BUSCADOS EXISTEN VARIOS PROCEDIMIENTOS, PUDIENDO SER UNO EL SIGUIENTE:

- ESCRIBIR LAS ECUACIONES DIMENSIONALES AUXILIARES
- ASIGNAR VALORES NUMÉRICOS ARBITRARIOS A "s" DE LOS EXPONENTES DESCONOCIDOS (s=NÚMERO DE TÉRMINOS  $\pi$ )
- RESOLVER EL CONJUNTO DE ECUACIONES SIMULTÁNEAS RESULTANTES
- COMBINAR LOS RESULTADOS PARA OBTENER UN TÉRMINO  $\pi$
- REPETIR LOS PASOS (B) A (D) HASTA QUE "s" TÉRMINOS HAYAN SIDO DETERMINADOS
- COMBINAR LOS RESULTADOS EN LA FORMA MOSTRADA ABAJO:

$$\pi_1 = f(\pi_2, \pi_2, \pi_3, \pi_4, \dots, \pi_s)$$

PARA ILUSTRAR EL PROCEDIMIENTO RESOLVEREMOS EL SIGUIENTE PROBLEMA:

SI LA DISTANCIA RECORRIDA POR UN CUERPO QUE CAE LIBREMENTE, SE SUPONE QUE DEPENDE DE SU VELOCIDAD INICIAL, DEL TIEMPO Y DE LA ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD, ENCONTRAR LOS TÉRMINOS  $\pi$ .

$$S = F(G, V, T)$$

EN FORMA DIMENSIONAL

$$C_1 G^{C_2} V^{C_3} T^{C_4} = 1 \text{ --- (1)}$$

$$L^{C_1} (LT^{-2})^{C_2} (LT^{-1})^{C_3} T^{C_4} = 0$$

A) ESCRIBIR LAS ECUACIONES DIMENSIONALES AUXILIARES

$$\text{PARA L: } C_1 + C_2 + C_3 = 0 \text{ --- (A)}$$

$$\text{PARA T: } -2C_2 - C_3 + C_4 = 0 \text{ --- (B)}$$

B) COMO SOLO 2 ECUACIONES SON DISPONIBLES PARA VALUAR 4 INCÓGNITAS, DEBEN ASIGNARSE VALORES ARBITRARIOS A 2 DE ELLAS.

MUCHAS COMBINACIONES SON POSIBLES, TANTO EN LO QUE SE REFIERE A CUALES SERÁN LAS CANTIDADES PRIMARIAS A LAS QUE SE LES ASIGNEN VALORES ARBITRARIOS, ASÍ COMO LA MAGNITUD DE LOS MISMOS. LO MÁS SENCILLO ES ASIGNAR VALORES DE 1, 0 Y -1.

LAS CANTIDADES PRIMARIAS A LAS QUE ASIGNAREMOS VALORES ARBITRARIOS SERÁN  $C_2$  Y  $C_3$ .

DEBE CUMPLIRSE SIEMPRE QUE EL DETERMINANTE DE LAS CANTIDADES RESTANTES (EN ESTE CASO  $C_1$  Y  $C_4$ ) SEA DIFERENTE DE CERO.

$$\begin{vmatrix} C_1 & C_4 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} = 1$$

COMO EL DETERMINANTE NO ES IGUAL A CERO, LAS ECUACIONES RESULTANTES SON INDEPENDIENTES Y NUESTRA SELECCIÓN ES

VÁLIDA.

LOS VALORES ARBITRARIOS QUE DAREMOS A LOS 2 COEFICIENTES RESTANTES SERÁN:

$$c_2 = 0$$

$$c_3 = -1$$

- C) SUSTITUYENDO ESTOS VALORES EN LAS ECUACIONES (A) Y (B)

$$c_1 + 0 - 1 = 0 \quad ; c_1 = 1$$

$$-2(0) - (-1) + c_4 = 0; c_4 = -1$$

- D) COMBINAMOS LOS RESULTADOS OBTENIDOS, SUSTITUYENDO -- LOS VALORES DE LOS COEFICIENTES EN LA ECUACIÓN (1),- ELIMINANDO

A  $c_n$

$$\pi_1 = \frac{s}{VT}$$

- E) REPETIMOS EL PROCEDIMIENTO HASTA OBTENER EL NÚMERO -- "s" DE TÉRMINOS  $\pi$  NECESARIOS.

$$c_2 = 1$$

$$c_3 = -1$$

SUSTITUYENDO EN LAS ECUACIONES (A) Y (B)

$$c_1 + 1 - 1 = 0 \quad ; c_1 = 0$$

$$-2(1) - (-1) + c_4 = 0 \quad ; c_4 = 1$$

ENTONCES

$$\pi_2 = \frac{GT}{V}$$

F) LA SOLUCIÓN PUEDE SER ESCRITA COMO:

$$\frac{S}{VT} = F \left( \frac{GT}{V} \right)$$

EXISTE UN NÚMERO INFINITO DE SOLUCIONES CORRECTAS, -  
DEPENDIENDO DE CUALES SEAN LAS CONSTANTES SELECCIONADAS Y  
DE LOS VALORES QUE A ÉSTAS SE LES ASIGNEN, DE ENTRE TODAS  
ELLAS SOLO UN PEQUEÑO NÚMERO SERÁ SIMPLE Y CONVENIENTE Y-  
SOLO LA EXPERIENCIA PUEDE AYUDAR A SELECCIONAR LAS CONS-  
TANTES MÁS CONVENIENTES.

PODEMOS DECIR QUE EL ANÁLISIS DIMENSIONAL ES DE GRAN  
UTILIDAD PARA:

- 1) COMPROBAR CUALITATIVAMENTE LAS ECUACIONES.
- 2) DETERMINAR LAS DIMENSIONES DE LOS COEFICIENTES EMPÍ-  
RICOS.
- 3) ESTABLECER Y REALIZAR EXPERIMENTOS GENERALIZANDO LOS  
RESULTADOS.
- 4) FORMULAR LEYES DE SIMILITUD DE CONSIDERABLE IMPORTAN-  
CIA EN LA INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL.

## TEORIA DE MODELOS

UNA TEORÍA GENERAL PARA EL DISEÑO DE MODELOS PUEDE -  
SER FÁCILMENTE DESARROLLADA A PARTIR DE LA ECUACIÓN GENERAL  
DEL TEOREMA  $\Pi$ .

LA ECUACIÓN GENERAL PARA EL PROTOTIPO PUEDE ESCRIBIRSE:

$$\Pi_1 = F(\Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \dots, \Pi_s) \dots \dots (1)$$

COMO ESTA ECUACIÓN ES COMPLETAMENTE GENERAL, SE PUEDE  
DE APLICAR A CUALQUIER OTRO SISTEMA QUE SEA FUNCIÓN DE --  
LAS MISMAS VARIABLES. POR LO TANTO PUEDE SER APLICADA A --  
OTRO SISTEMA LLAMADO EL MODELO, ENTONCES:

$$\Pi_{1M} = F(\Pi_{2M}, \Pi_{3M}, \Pi_{4M}, \dots, \Pi_{sM}) \dots \dots (2)$$

UNA ECUACIÓN PARA PREDECIR  $\Pi_1$  A PARTIR DE  $\Pi_{1M}$  PUEDE  
SER ENCONTRADA DIRECTAMENTE AL DIVIDIR (1) ENTRE (2).

$$\frac{\Pi_1}{\Pi_{1M}} = \frac{F(\Pi_2, \Pi_3, \Pi_4, \dots, \Pi_s)}{F(\Pi_{2M}, \Pi_{3M}, \Pi_{4M}, \dots, \Pi_{sM})} \dots \dots (3)$$

SI EL MODELO ES DISEÑADO DE MODO QUE:

$$\Pi_{2M} = \Pi_2$$

$$\Pi_{3M} = \Pi_3$$

$$\begin{array}{r} \pi_{4M} = \pi_4 \\ \vdots \\ \vdots \\ \pi_{SM} = \pi_S \end{array} \quad (4)$$

DE AQUÍ OBTENEMOS QUE:

$$\begin{aligned} & F(\pi_2, \pi_3, \pi_4, \dots, \pi_S) = \\ & = F(\pi_{2M}, \pi_{3M}, \pi_{4M}, \dots, \pi_{SM}) \dots \dots \dots (5) \end{aligned}$$

LA NATURALEZA DE LA FUNCIÓN ES IDÉNTICA PARA EL MODELO Y PARA EL PROTOTIPO PORQUE LA ECUACIÓN (1) ES ENTERAMENTE GENERAL.

DE (3) Y (5) SE DEDUCE QUE:

$$\pi_1 = \pi_{1M} \dots \dots \dots (6)$$

LA ECUACIÓN (6) ES LA ECUACIÓN DE PREDICCIÓN, QUE -- DEBE SER VÁLIDA SI LAS CONDICIONES DE DISEÑO Y OPERACIÓN (4), SON SATISFECHAS.

## EXTENSOMETRIA

### INTRODUCCIÓN.

EL DESARROLLO DE LOS MÉTODOS DE MEDIDA DE ESFUERZOS DE HISTORIA RECIENTE. DE HECHO HA VENIDO IMPUESTO POR LAS NECESIDADES DE PRODUCCIÓN MASIFICADA, QUE RECIBIÓ UN IMPULSO DEFINITIVO A RAÍZ DE LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL. EN EL PRÓLOGO DE UN LIBRO DE RESISTENCIA DE MATERIALES DE 1930 YA ES PATENTE ESA SITUACIÓN: "LOS TIPOS DE MÁQUINAS Y ESTRUCTURAS CAMBIAN MUY RÁPIDAMENTE, CON PREFERENCIA EN LAS NUEVAS RAMAS DE LA INDUSTRIA Y, POR LO GENERAL, EL TIEMPO NO PERMITE QUE SE REÚNAN LOS DATOS EMPÍRICOS NECESARIOS. EL TAMAÑO Y COSTO DE LAS ESTRUCTURAS AUMENTA -- CONSTANTEMENTE, LO QUE ORIGINA UNA EXIGENCIA CADA VEZ MAYOR EN LA SEGURIDAD DE LAS MISMAS.

CADA VEZ TIENE MÁS IMPORTANCIA EN EL PROYECTO EL FACTOR ECONOMÍA, DADAS LAS CONDICIONES ACTUALES DE COMPETENCIA. LA CONSTRUCCIÓN DEBE REUNIR LAS CONDICIONES NECESARIAS DE SOLIDEZ Y SEGURIDAD Y, SIN EMBARGO, REDUCIR AL MÍNIMO EL GASTO DEL MATERIAL. EN ESTAS CONDICIONES, EL PROBLEMA SE PRESENTA EXCEPCIONALMENTE DIFÍCIL PARA EL PROYECTISTA. LA REDUCCIÓN DE PESO IMPLICA UN AUMENTO EN LAS FATIGAS DE TRABAJO, QUE SOLAMENTE PUEDE CONSEGUIRSE MEDIANTE UN CUIDADOSO ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN DE LAS FATIGAS EN LA ESTRUCTURA Y LA INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL DE -

LAS PROPIEDADES MECÁNICAS DE LOS MATERIALES UTILIZADOS.-  
 "(S. TIMOSHENKO, RESISTENCIA DE MATERIALES, MADRID - - -  
 1944)".

EL SOBREDIMENSIONAMIENTO EN EL DISEÑO Y EL ANÁLISIS EMPÍRICO POR ENSAYO Y ERROR SON TÉCNICAS INAPLICABLES EN LOS SECTORES MÁS AVANZADOS DE LA INDUSTRIA. SE REQUIEREN VEHÍCULOS VELOCES, MÁQUINAS SOMETIDAS A ALTOS REGÍMENES-DE TRABAJO, ESTRUCTURAS GIGANTESCAS, ETC., TODO ELLO RÁPIDO Y BARATO. DE AHÍ LA NECESIDAD DE INSTRUMENTOS CAPACES DE DETERMINAR ESFUERZOS EXPERIMENTALES, BAJO CONDICIONES REALES.

DEFINICIÓN DE EXTENSOMETRÍA. CONCEPTOS BÁSICOS.

ROBERT HOOKE ESTABLECIÓ EN 1678 LA RELACIÓN QUE - - EXISTE ENTRE TENSIONES Y DEFORMACIONES EN LOS CUERPOS SO METIDOS A SOLICITACIONES MECÁNICAS. SI EL MATERIAL ES -- ISÓTROPY Y HOMOGÉNEO Y NO SE SOBREPASA SU LÍMITE ELÁSTICO, ENTONCES LA RELACIÓN ES LINEAL. BASÁNDOSE EN ESTE -- PRINCIPIO, LA EXTENSOMETRÍA ES EL MÉTODO QUE TIENE POR - OBJETO LA MEDIDA DE LAS DEFORMACIONES SUPERFICIALES DE - LOS CUERPOS.

EL CONCEPTO DE DEFORMACIÓN ES ANÁLOGO AL DE ALARGAMIENTO UNITARIO Y SE EXPRESA MEDIANTE UNA RELACIÓN ADI-- MENSIONAL:

$$\epsilon = \frac{\delta l}{l}$$



POR LO GENERAL SE EMPLEA COMO UNIDAD LA MICRODEFORMACIÓN ( $\mu\epsilon$ ) QUE EQUIVALE A  $1 \times 10^{-6}$  Y CORRESPONDE A UNA VARIACIÓN DE UNA MICRA EN UNA LONGITUD DE UN METRO.

EL ESFUERZO O TENSIÓN QUE SOPORTA UNA ESTRUCTURA SE DEFINE EN TÉRMINOS DE FUERZA POR ÁREA - - - - - (N/MM<sup>2</sup>, KG/CM<sup>2</sup>, ...).

EL MÓDULO DE ELASTICIDAD LONGITUDINAL (E), LLAMADO TAMBIÉN MÓDULO DE YOUNG, CARACTERIZA LA APTITUD DE UN MATERIAL PARA EL ALARGAMIENTO. REPRESENTA UN ESFUERZO DE TRACCIÓN TEÓRICO QUE, EN EL SUPUESTO DE UNA ELASTICIDAD ILIMITADA, PRODUCIRÍA UN ALARGAMIENTO IGUAL A LA LONGITUD INICIAL.

POR DEBAJO DEL LÍMITE ELÁSTICO SE CUMPLE LA RELACIÓN DE HOOKE (VER FIGURA)

$$\text{MÓDULO DE ELASTICIDAD } E = \frac{\text{ESFUERZO DE TRACCIÓN } \sigma}{\text{ALARGAMIENTO } \epsilon}$$

PERO NO SOLO SE PRODUCE DEFORMACIÓN EN LA DIRECCIÓN LA FUERZA APLICADA, PORQUE RESULTA QUE EL AUMENTO DE LONGITUD VA ACOMPAÑADO DE UNA DISMINUCIÓN DE SECCIÓN (EFECTO DE POISSON). CON RESPECTO A LA FIGURA 2, LA ECUACIÓN (2) ES VÁLIDA PARA EL EJE X, PERO NO ASÍ PARA LOS EJES Y, Z, AFECTADOS DE CONTRACCIÓN:

$$\text{EJE X: } \epsilon_x = \frac{\sigma_x}{E}$$

$$\text{EJE Y: } \epsilon_y = -\nu \frac{\sigma_x}{E} = -\nu \epsilon_x$$

$$\text{EJE Z: } \epsilon_z = \frac{-\nu \sigma_x}{E} = -\nu \epsilon_x$$

LA LETRA ( $\nu$ ) SIMBOLIZA EL COEFICIENTE DE POISSON, CUYO VALOR ES PRÓXIMO A 0,3 PARA LOS METALES MÁS USUALES.

TODOS ESTOS CONCEPTOS PERTENECEN A LA TEORÍA DE RESISTENCIA DE MATERIALES Y SON INDISPENSABLES PARA EL ESTUDIO DE ESFUERZOS A PARTIR DE LA MEDIDA DE DEFORMACIONES SUPERFICIALES.

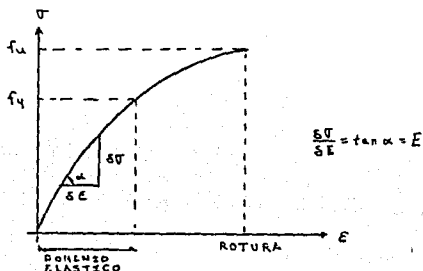


FIGURA 1. CURVA TENSIÓN-ALARGAMIENTO DE UN METAL TÍPICO.

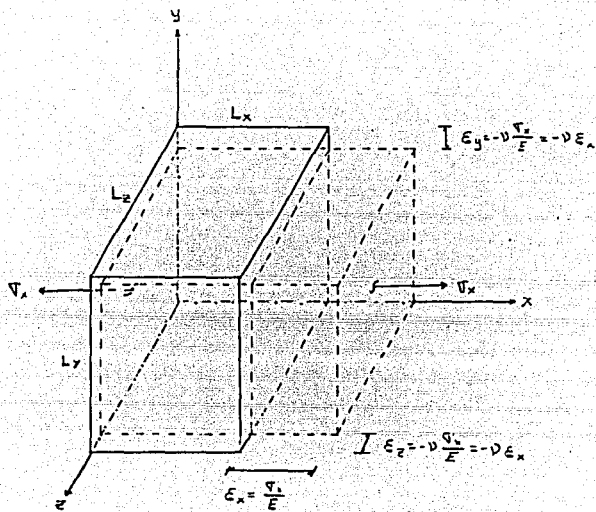


FIGURA 2. EFECTO DE POISSON.

## CLASIFICACIÓN DE LAS MEDIDAS EXTENSOMÉTRICAS.

TOMAMOS COMO CRITERIO LA EVOLUCIÓN EN EL TIEMPO DE LOS ESFUERZOS A MEDIR.

- A) MEDIDAS ESTÁTICAS.- COMPRENDEN EL ESTUDIO DE ESFUERZOS QUE VARÍAN LENTAMENTE EN FUNCIÓN DEL TIEMPO, COMO ES EL CASO DE LA ESTRUCTURA DE UNA PRESA CUANDO CRECEN LAS AGUAS.
- B) MEDIDAS ESTÁTICAS/DINÁMICAS.- CONSISTEN EN LA MEDIDA SIMULTÁNEA DE ESFUERZOS SUJETOS A VARIACIÓN RÁPIDA (CHOQUES, VIBRACIONES) Y DE ESFUERZOS DE DESARROLLO LENTO. ES EL CASO DE UN PUENTE CUANDO SOPORTA EL PASO DE UN VEHÍCULO.
- C) MEDIDAS DINÁMICAS.- SE LIMITAN A LAS COMPONENTES DE VARIACIÓN RÁPIDA. UN CASO TÍPICO ES LA MEDIDA DE VIBRACIONES EN EL EQUILIBRIO DE ROTORES.

EN CUANTO A LOS ESFUERZOS PODEMOS CLASIFICARLOS SEGÚN EL ESTADO DE SOLICITACIÓN CONSIDERADO (TRACCIÓN, COMPRESIÓN, FLEXIÓN, TORSIÓN, CORTE, Y SUS DIFERENTES COMBINACIONES).

## LAS GALGAS EXTENSOMÉTRICAS.

DE ENTRE LOS DIFERENTES PROCEDIMIENTOS QUE EXISTEN PARA CONVERTIR LAS DEFORMACIONES EN SEÑALES ELÉCTRICAS - PROPORCIONALES, EL MÁS EXTENDIDO ES EL QUE UTILIZA ELEMENTOS CUYA RESISTENCIA ELÉCTRICA VARÍA EN FUNCIÓN DE --

PEQUEÑOS CAMBIOS DE LONGITUD, ESOS ELEMENTOS VAN ADHERIDOS A LA SUPERFICIE DEL MATERIAL DE PRUEBA FORMANDO UN CONJUNTO SOLIDARIO, Y RECIBEN EL NOMBRE DE GALGAS EXTENSOMÉTRICAS O EXTENSÓMETROS.

TIPOS DE GALGA EXTENSOMÉTRICA.

GALGAS METÁLICAS.-

- A) GALGA DE FILAMENTO (WIRE STRAIN GAUGE). EL ELEMENTO SENSIBLE ES UN HILO CONDUCTOR METÁLICO (ALEACIONES DE NÍQUEL CON COBRE O CROMO) CON UNA SECCIÓN CIRCULAR DE 0.025 MM, APROXIMADAMENTE DE DIÁMETRO, Y ENCOLADO SOBRE UN SOPORTE AISLANTE DE RESINA EPÓXICA, POLIÉSTER O MATERIAL ANÁLOGO. PARA OFRECER LA MÁXIMA LONGITUD ACTIVA DENTRO DE UNA ÁREA REDUCIDA, EL HILO PRESENTA VARIOS REPLIEGUES SIGUIENDO LA DISPOSICIÓN QUE SE MUESTRA EN LA FIGURA 3.
- B) GALGAS DE TRAMA PELICULAR (FOIL STRAIN GAUGE). EL ELEMENTO SENSIBLE ES UNA PELÍCULA DE METAL DE POCAS MICRAS DE ESPESOR, RECORTADA MEDIANTE ATAQUE FOTOQUÍMICO U OTRA TÉCNICA ADECUADA. LA LONGITUD ACTIVA ESTÁ BIEN DETERMINADA, PUES LOS BUCLES Y LAS PISTAS DE CONEXIÓN SON PRÁCTICAMENTE INSENSIBLES A CAUSA DE SU ANCHURA FIGURA 4.

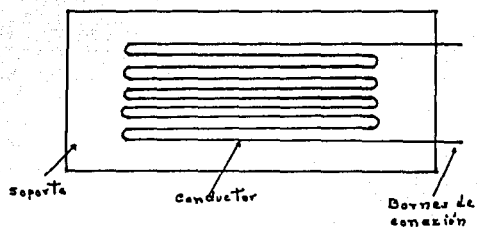


FIGURA 3. CONSTITUCIÓN DE UNA GALGA DE FILAMENTO

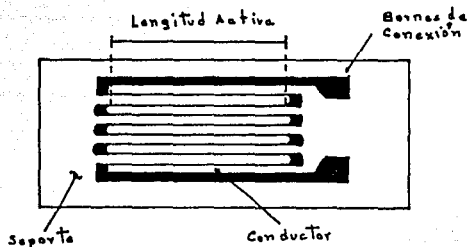


FIGURA 4. CONSTITUCIÓN DE UNA GALGA DE TRAMA PELICULAR

EL PRINCIPIO DE MEDIDA DE LAS GALGAS METÁLICAS SE BASA EN TRES PREMISAS:

- EL VALOR DE LA RESISTENCIA DE UN CONDUCTOR ES FUNCIÓN DE SUS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS (EFECTO ENUNCIADO POR LORD KELVIN).
- A TODO AUMENTO DE LONGITUD CORRESPONDE UNA DISMINUCIÓN DE SECCIÓN (EFECTO DE POISSON).
- LA VARIACIÓN DE RESISTIVIDAD ES PROPORCIONAL A LA VARIACIÓN RELATIVA DE VOLUMEN (EFECTO ENUNCIADO POR BRIDGMAN).

DE TODO ESTO RESULTA LA ECUACIÓN:

$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta l}{l}$$

DONDE K ES EL FACTOR DE GALGA, CUYO CÁLCULO CORRE A CARGO DEL FABRICANTE.

GALGAS SEMICONDUCTORAS.

EL ELEMENTO SENSIBLE ES UNA BANDA DE CRISTAL SEMICONDUCTOR CON UN CIERTO GRADO DE CONTAMINACIÓN. LA RESISTIVIDAD DEL CRISTAL DEPENDE DE LA CONCENTRACIÓN ESPECÍFICA DE PORTADORES Y DE ORIENTACIÓN CRISTALOGRÁFICA RESPECTO AL ESFUERZO PRINCIPAL (EFECTO PIEZORRESISTIVO). SU SENSIBILIDAD A LOS CAMBIOS DE LONGITUD ES 50 O 60 VECES MAYOR QUE LA DE UNA GALGA METÁLICA, AUNQUE TAMBIÉN ACUSA MÁS VARIA-

#### CIONES DE TEMPERATURA.

LAS GALGAS SEMICONDUCTORAS TIENEN UNA RESPUESTA DINÁMICA EXCELENTE HASTA 10 KHZ Y PERMITEN LA MEDIDA DE ESFUERZOS DEL ORDEN DE  $0.001 \mu \epsilon$ , GRACIAS A SU ALTO FACTOR DE SENSIBILIDAD. POR EL CONTRARIO SOPORTAN MENOS SOLICITUDES QUE LAS METÁLICAS Y SON AFECTADAS POR LOS CAMBIOS DE TEMPERATURA.

LAS GALGAS DE FILAMENTO Y DE TRAMA SON MUCHO MÁS PRECISAS Y PUEDEN SER AUTOCOMPENSADAS PARA CONTRARRESTAR AL COEFICIENTE DE DILATACIÓN LINEAL DE LOS MATERIALES SOMETIDOS A PRUEBA.

#### BANDAS BIAXIALES (ROSETAS).

LAS MEDIDAS EXTENSOMÉTRICAS NO SON CORRECTAS SI LAS ISOSTÁTICAS DE LA ESTRUCTURA BAJO ENSAYO NO PASAN A TRAVÉS DE LA PARTE ACTIVA DEL EXTENSÓMETRO, PERO NO SIEMPRE SE DISPONE DE INFORMACIÓN SUFICIENTE PARA ALINEAR LA GALGA EN LA DIRECCIÓN PRECISA. SE RECURRE ENTONCES A GALGAS DE VARIOS ELEMENTOS, COLOCADOS ENTRE SÍ A  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ,  $90^\circ$  O  $120^\circ$ .

LA INFORMACIÓN RELATIVA DE CADA UNO DE ELLOS PERMITE DEDUCIR EL SENTIDO Y MAGNITUD DE LOS ESFUERZOS PRINCIPALES, POR CÁLCULO TABULADO O CON LA AYUDA DEL CÍRCULO MOHR. COMO SEA QUE LAS GALGAS VAYAN MONTADAS EN LA SUPERFICIE, EL PLANO DE MEDIDA CORRESPONDE A UN ESTADO BIAXIAL DE DEFORMACIONES FIGURA 5.



## BANDAS PARA ESFUERZOS RADIALES Y TANGENCIALES.

LAS GALGAS DE TRAMA PELICULAR ADMITEN CONFIGURACIONES ESPECIALES QUE HACEN POSIBLE LA MEDIDA DIRECTA DE -- ESFUERZOS RADIALES Y TANGENCIALES FIGURA 6.

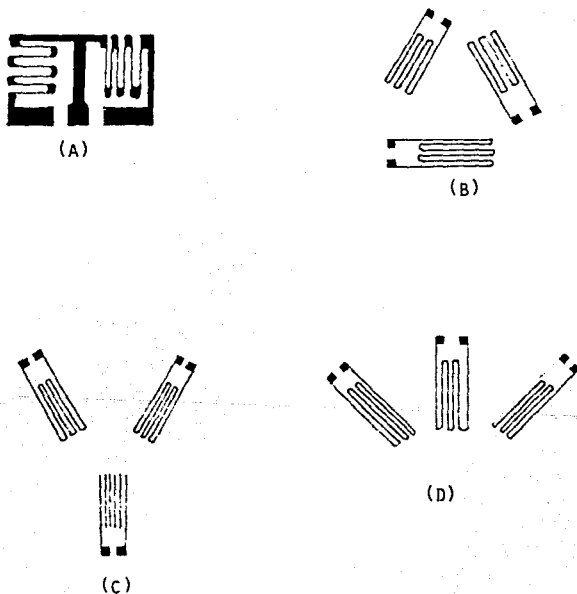


FIGURA 5. BANDAS BIAJIALES. SIRVEN PARA MEDIR DEFORMACIONES EN DOS O MAS DIRECCIONES - (A) ROSETA DE DOS ELEMENTOS A 90°; (B) ROSETA DE TRES ELEMENTOS A 60°; (C) ROSETA DE TRES ELEMENTOS A 120°; (D) ROSETA DE TRES ELEMENTOS A 45°.

### EL PUENTE DE WHEASTONE.

LAS BANDAS EXTENSOMÉTRICAS VARÍAN DE RESISTENCIA -- CUANDO SUFREN DEFORMACIÓN. PARA MEDIR ESA VARIACIÓN DE RESISTENCIA SE UTILIZA EL PUENTE DE WHEASTONE CON PREFERENCIA A CUALQUIER OTRO CIRCUÍTO. EL PUENTE DE WHEASTONE ES UN SISTEMA PASIVO FORMADO POR CUATRO IMPEDANCIAS MONTADAS DOS A DOS EN SERIE, TAL COMO SE INDICA EN LA FIGURA 7. LA TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN E ES APLICADA A DOS VÉRTICES -- OPUESTOS, Y EN LOS DOS RESTANTES SE RECOGE LA TENSIÓN DE MEDIDA V.

CONDICIÓN DE EQUILIBRIO.

EL PUENTE ESTÁ EQUILIBRADO CUANDO NO APARECE NINGUNA DIFERENCIA DE POTENCIAL EN LA DIAGONAL DE MEDIDA. PARA -- ELLO ES PRECISO QUE:

$$\begin{array}{l}
 V_1 = V_2 \qquad \qquad \qquad I_A R_1 = I_B R_2 \\
 \text{Y} \quad V_3 = V_4 \qquad \qquad \qquad I_A R_3 = I_B R_4
 \end{array}$$

LO QUE ES IGUAL

ENTONCES

$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_4} \quad (1)$$

LUEGO CUALQUIER CAMBIO EN LA RELACIÓN  $R_1/R_3$  PUEDE SER --  
EQUILIBRADO MEDIANTE EL REAJUSTE DE LA RELACIÓN  $R_2/R_4$ , ES  
DECIR, ACTUANDO SOBRE LAS RESISTENCIAS DEL LADO OPUESTO.

LA TENSIÓN DE DESEQUILIBRIO VIENE DETERMINADA POR --  
LA DIFERENCIA ENTRE  $V_1$  Y  $V_2$  (O ENTRE  $V_2$  Y  $V_4$ ). POR --  
KIRCHOFF:

$$V = E \left[ \frac{R_1}{R_1 + R_3} - \frac{R_2}{R_2 + R_4} \right] \quad (2)$$

PARA PEQUEÑAS VARIACIONES DE  $R_1, R_2, R_3$  Y  $R_4$

$$V = E \left[ \frac{R_1 + \delta R_1}{R_1 + \delta R_1 + R_3 + \delta R_3} - \frac{R_2 + \delta R_2}{R_2 + \delta R_2 + R_4 + \delta R_4} - \left( \frac{R_1}{R_1 + R_3} - \frac{R_2}{R_2 + R_4} \right) \right]$$

$$= E \left[ \frac{R_1 R_3}{(R_1 + R_3)^2} \left( \frac{\delta R_1}{R_1} - \frac{\delta R_3}{R_3} \right) - \frac{R_2 R_4}{(R_2 + R_4)^2} \left( \frac{\delta R_2}{R_2} - \frac{\delta R_4}{R_4} \right) \right] \quad (3)$$

SI SE CUMPLE LA CONDICIÓN DE EQUILIBRIO INICIAL (1)

$$V = E \frac{R_1 R_3}{(R_1 + R_3)^2} \left[ \frac{\delta R_1}{R_1} - \frac{\delta R_2}{R_2} - \frac{\delta R_2}{R_2} - \frac{\delta R_3}{R_3} + \frac{\delta R_4}{R_4} \right] \quad (4)$$

DE DONDE SE DEDUCE QUE LAS RESISTENCIAS INFLUYEN CON DISTINTO SIGNO SOBRE LA TENSIÓN DE SALIDA SEGÚN LA RAMA CONSIDERADA.

PARTIENDO DE UNA RESISTENCIA CUALQUIERA, SE CUMPLE LA REGLA DE QUE LAS RESISTENCIAS SITUADAS EN RAMAS ADYACENTES INFLUYEN EN SENTIDO CONTRARIO, MIENTRAS QUE LA DE LA RAMA OPUESTA LO HACE EN EL MISMO SENTIDO. ESTA REGLA ES MUY IMPORTANTE A EFECTOS PRÁCTICOS, PUES INDICA COMO TIENEN QUE ESTAR MONTADAS LAS GALGAS EN CADA CASO (FIGURA 8).

CUANDO LA RESISTENCIA DE TODAS LAS RAMAS TIENE EL MISMO VALOR, LA ECUACIÓN (4) QUEDA:

$$V = \frac{E}{4} \left( \frac{\delta R_1}{R_1} - \frac{\delta R_2}{R_2} - \frac{\delta R_3}{R_3} + \frac{\delta R_4}{R_4} \right)$$

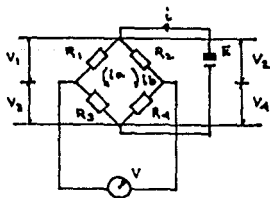


FIGURA 7. ESQUEMA DEL PRINCIPIO DEL PUNTE DE WHEASTONE.

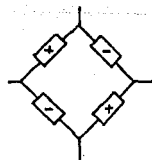


FIGURA 8. REGLA DE LOS SIGNOS.

## MÉTODOS DE MEDIDA.

PARTIENDO DEL PUENTE DE WHEASTONE COMO CIRCUITO FUNDAMENTAL, SON DOS LOS PROCEDIMIENTOS PARA MEDIR EL DESE--  
QUILIBRIO QUE SE PRODUCE TRAS LA DEFORMACIÓN DE LAS GAL--  
GAS: EL MÉTODO DIRECTO Y EL MÉTODO DE CERO.

### MÉTODO DIRECTO.

CONSISTE EN MEDIR LA DIFERENCIA DE POTENCIAL PRESEN--  
TE EN LOS BORNES DE SALIDA DEL PUENTE, CON LA AYUDA DE UN  
VOLTÍMETRO DE PRECISIÓN. ESTE PROCEDIMIENTO EXIGE AMPLIFI--  
CACIÓN PREVIA DE LA SEÑAL Y UNA FUENTE DE EXCITACIÓN MUY--  
ESTABLE.

### MÉTODO DE CERO.

CONSISTE EN RESTABLECER EL EQUILIBRIO EN EL PUENTE,--  
YA SEA INTRODUCIENDO RESISTENCIAS EN LAS RAMAS O BIEN UNA  
TENSIÓN OPUESTA A LA DEL DESEQUILIBRIO. ESTE ÚLTIMO PROC--  
DIMIENTO SE CONOCE TAMBIÉN COMO MÉTODO DE OPOSICIÓN.

EN EL MÉTODO DE CERO, LA FIDELIDAD DE LA MEDIDA ES -  
INDEPENDIENTE DE LA TENSIÓN DE ALIMENTACIÓN Y DE LAS VA--  
RIACIONES DE GANANCIA DEL AMPLIFICADOR. TODO DEPENDE DE -  
LA FIABILIDAD DEL POTENCIÓMETRO, QUE ESTÁ ASOCIADO A UN -  
CUADRANTE O CONTADOR DONDE SE LEEN DIRECTAMENTE LAS MICRO  
DEFORMACIONES.

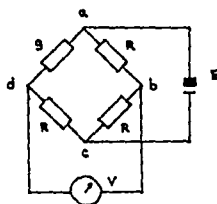
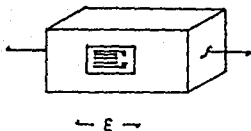
POR CONTRA, AUNQUE SE UTILICE UN SERVOMECANISMO, SE EMPLEA BASTANTE TIEMPO EN RESTABLECER EL EQUILIBRIO, DE AHÍ QUE ESTÉ RESERVADO A LAS MEDIDAS ESTÁTICAS.

#### MONTAJES DE MEDIDA CON GALGAS EXTENSOMÉTRICAS.

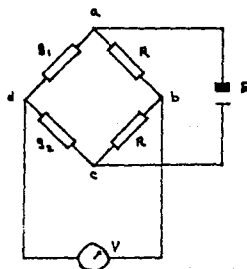
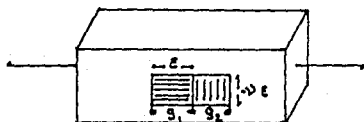
EL PUNTE DE WHEASTONE SE PRESTA A DIFERENTES MONTAJES CON GALGAS EXTENSOMÉTRICAS. EL ESTUDIO DE CADA UNO DE ELLOS PARTE DE CASOS CONCRETOS DONDE ES PRECISO MEDIR UNA SOLICITACIÓN DETERMINADA.

CASO 1: BARRA PRISMÁTICA DE EJE RECTO SOMETIDA A TRACCIÓN SIMPLE.

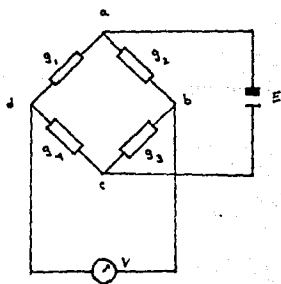
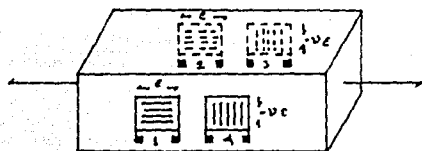
PRIMER MONTAJE: UNA GALGA ACTIVA, ALINEADA EN LA DIRECCIÓN DE LA FUERZA. CIRCUITO DE 1/4 DE PUNTE, ALIMENTADO A TENSIÓN CONSTANTE. NO HAY COMPENSACIÓN DE TEMPERATURA Y LA RESPUESTA NO ES LINEAL.



SEGUNDO MONTAJE: 2 GALGAS ACTIVAS EN RAMAS ADYACENTES; -- UNA DE ELLAS ALINEADA EN LA DIRECCIÓN DE FUERZA APLICADA Y LA OTRA EN DIRECCIÓN PERPENDICULAR, ACUSANDO EL EFECTO-DE POISSON. CIRCUITO DE 1/2 PUENTE ( $E$  CONSTANTE). HAY COMPENSACIÓN DE TEMPERATURA Y LA RESPUESTA NO ES LINEAL.



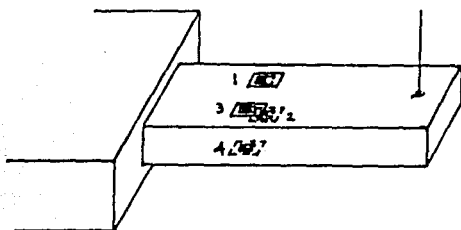
TERCER MONTAJE: 4 GALGAS ACTIVAS, DOS DE RAMAS OPUESTAS - EN LA DIRECCIÓN DE LA FUERZA APLICADA Y LAS DOS RESTANTES EN LA DIRECCIÓN PERPENDICULAR DEL EFECTO DE POISSON. CIRCUITO PUENTE COMPLETO,  $E=cte$ . HAY COMPENSACIÓN DE TEMPERATURA PERO LA RESPUESTA NO ES LINEAL.





CASO 2: BARRA PRISMÁTICA DE EJE RECTO SOMETIDA A FLE-  
XIÓN SIMPLE.

EN ESTE CASO SE PRODUCEN EFECTOS IGUALES Y OPUESTOS.  
CUARTO MONTAJE: 4 GALGAS ACTIVAS, DOS A DOS EN RAMAS --  
OPUESTAS Y SOMETIDAS A ESFUERZOS IGUALES PERO DE SIGNO --  
CONTRARIO. CIRCUITO DE PUENTE COMPLETO,  $E=cte$ . HAY COMPEN-  
SACIÓN DE TEMPERATURA Y LA RESPUESTA ES LINEAL.



CASO 3: BARRA PRISMÁTICA DE EJE RECTO SOMETIDA A FLE-  
XIÓN Y TRACCIÓN.

CUANDO LA SOLICITACIÓN EN FLEXIÓN VA ACOMPAÑADA DE -  
TRACCIÓN O COMPRESIÓN, LOS ESFUERZOS DEJAN DE SER IGUALES  
EN LAS DOS SUPERFICIES CONSIDERADAS.

LAS GALGAS GA1 Y GA2 ACUSAN ESFUERZOS COMPUESTOS:

$$GA1: \quad \epsilon_T + \epsilon_F \quad \text{Y} \quad GA2: \quad \epsilon_T - \epsilon_F$$

SI VAN MONTADAS EN RAMAS OPUESTAS:

$$(\epsilon_T + \epsilon_F) + (\epsilon_T + \epsilon_F) = 2 \epsilon_T$$

SI VAN MONTADAS EN RAMAS ADYACENTES:

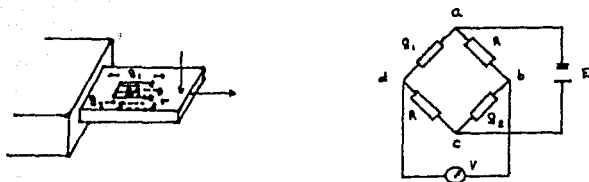
$$(\epsilon_T + \epsilon_F) - (\epsilon_T - \epsilon_F) = 2 \epsilon_F$$

DE MODO QUE LA REGLA DE LOS SIGNOS PERMITE SEPARAR -  
LOS DOS ESFUERZOS A EFECTOS DE MEDIDA. ES DECIR CADA MON-  
TAJE SE COMPORTA COMO SI LAS GALGAS ESTUVIERAN SOMETIDAS-  
A ESFUERZOS IGUALES.

QUINTO MONTAJE: DOS GALGAS ACTIVAS EN RAMAS OPUESTAS, SO-  
METIDAS A ESFUERZOS DE FLEXIÓN Y TRACCIÓN. CIRCUITO 1/2 -  
PUENTE. LOS EFECTOS DE LA FLEXIÓN SE ANULAN. NO HAY COM-  
PENSACIÓN DE TEMPERATURA Y LA RESPUESTA NO ES LINEAL.

SEXTO MONTAJE: 2 GALGAS ACTIVAS EN RAMAS ADYACENTES, SOME-  
TIDAS A ESFUERZOS DE FLEXIÓN Y TRACCIÓN. LOS EFECTOS DE -  
LA TRACCIÓN (O COMPRESIÓN) SE ANULAN LA RESPUESTA ES - -

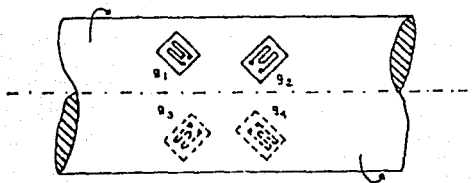
LINEAL Y HAY COMPENSACIÓN POR TEMPERATURA.



CASO 4: ÁRBOL SOMETIDO A UN PAR DE TRACCIÓN.

EN ESTE CASO LAS GALGAS EXPERIMENTAN LAS DEFORMACIONES MÁXIMAS SI VAN MONTADAS EN DIRECCIONES QUE FORMA 45° CON LAS GENERATRICES. EMPLEANDO EL MONTAJE CUATRO, SON 4 GALGAS ACTIVAS QUE ACUSAN DEFORMACIONES IGUALES Y DE SIGNO CONTRARIO 2 A 2. LA RELACIÓN ENTRE ESFUERZO Y DEFORMACIÓN ESTÁ DETERMINADA POR UN MÓDULO DE ELASTICIDAD (G), - DE HABER TRACCIÓN Y FLEXIÓN SE ELIMINARÁN ENTRE SÍ. HAY COMPENSACIÓN DE TEMPERATURA Y LA RESPUESTA ES LINEAL.

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$



## ANTECEDENTES DEL PROTOTIPO EN ESTUDIO

EN MÉXICO LOS PUENTES CUYA SUPERESTRUCTURA ESTÁ -- CONSTITUIDA POR UNA ARMADURA ESPACIAL DE AUTOSOORTE SON DE UN EMPLEO RELATIVAMENTE NUEVO EN LOS CAMINOS DEL PAÍS Y, POR LO TANTO, NO SE CUENTA CON UN CONOCIMIENTO PROFUNDO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE ESTOS PUENTES ANTE LAS CARGAS DE SERVICIO.

BASÁNDOSE EN LA NECESIDAD DE TENER UN CONOCIMIENTO ADECUADO DEL COMPORTAMIENTO DE LOS PUENTES DE ARMADURA ESPACIAL DE AUTOSOORTE SE DECIDIÓ LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO FÍSICO DE UN PUENTE DE ARMADURA ESPACIAL LLAMADO -- "IXTAPA".

### LOCALIZACIÓN DEL PROTOTIPO

EL PUENTE "IXTAPA" SE ENCUENTRA UBICADO EN EL TRAMO LOS RANCHITOS DE LA CARRETERA IXTAPA-LAS PALMAS EN EL -- ESTADO DE JALISCO.

### DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO

LA SUPERESTRUCTURA DEL PUENTE SE COMPONE DE UNA ARMADURA ESPACIAL DEL AUTOSOORTE Y UNA LOSA DE CONCRETO -- REFORZADO CON UNA SUPERFICIE DE RODAMIENTO ASFÁLTICA. EL PUENTE CONSTA DE TRES TRAMOS DE 35,00 M, DE CLARO CADA -- UNO, CON UN ANCHO DE CALZADA DE 8,00 M, Y DOS BANQUETAS--

#### EXTREMAS DE 0,80 M

LA ARMADURA SE COMPONE DE DIAGONALES, MONTANTES Y CUERDAS SUPERIORES DE SECCIÓN TRANSVERSAL CAJÓN Y ANGULAR EN ACERO A-36; LAS CUERDAS INFERIORES ESTÁN FORMADAS POR PAQUETES DE VARILLAS DE ACERO DE ALTA RESISTENCIA.

LA LOSA DE CONCRETO ESTÁ COLADA MONOLÍTICAMENTE CON LAS CUERDAS SUPERIORES DE LA ARMADURA.

LAS DIMENSIONES Y SECCIONES TRANSVERSALES DE LA ESTRUCTURA SE PUEDEN OBSERVAR EN EL PLANO ESTRUCTURAL, QUE SE MUESTRA A CONTINUACIÓN.

## II.- ANALISIS DIMENSIONAL

EN ESTE CAPÍTULO SE DEFINEN Y PRESENTAN, LAS RELACIONES DE SIMILITUD (ESCALAS) Y ECUACIONES DE PREDICCIÓN REQUERIDAS PARA EL DISEÑO DEL MODELO FÍSICO Y LA PREDICCIÓN DEL COMPORTAMIENTO DEL PROTOTIPO EN FUNCIÓN DE LAS OBSERVACIONES EFECTUADAS EN EL MODELO.

COMENZAREMOS POR DECIR QUE EL MODELO QUE ES OBJETO - DE NUESTRO ESTUDIO SE CLASIFICA COMO: UN MODELO ESTRUCTURAL ESTÁTICO VERDADERO.

PRIMERAMENTE INDICAREMOS LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES A EMPLEAR, DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LOS ELEMENTOS Y LAS SOLICITACIONES QUE APLICAREMOS AL MODELO; YA -- QUE LAS RESPUESTAS QUE DESEAMOS CONOCER EN LA ESTRUCTURA- (DEFORMACIÓN, GIRO, DESPLAZAMIENTO, FUERZA NORMAL, CORTANTE, FLEXIÓN O TORSIÓN), SON FUNCIÓN DE DICHAS PROPIEDADES Y SOLICITACIONES. EN NUESTRO CASO PARTICULAR, LAS RESPUESTAS QUE DESEAMOS CONOCER CON ESTE ESTUDIO SON: DEFORMACIONES, ESFUERZOS Y DESPLAZAMIENTOS EN LA ESTRUCTURA.

ES IMPORTANTE ANOTAR QUE UN MODELO ESTRUCTURAL VERDADERO DEBERÍA SER DISEÑADO PARA DAR UNA ADECUADA PREDICCIÓN DE TODAS LAS RESPUESTAS SEÑALADAS ANTERIORMENTE.

## PROPIEDADES DE LOS MATERIALES EN PROTOTIPO Y MODELO.

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES		
ELEMENTO	PROTOTIPO	MODELO
LOSA DE TABLERO	CONCRETO REFORZADO $E_C=250,000\text{Kg}/\text{cm}^2$ $\nu_C=0.18$	PLÁSTICO ACRÍLICO TRANSPARENTE $E_A=28,000\text{Kg}/\text{cm}^2$ $\nu_A=0.4$
ARMADURA ESPACIAL DE AUTOSOPORTE	ACERO A-36 Y ACERO DE ALTA RESISTENCIA $E_S=2.1 \times 10^6 \text{Kg}/\text{cm}^2$ $\nu_S=0.30$	PLÁSTICO ACRÍLICO TRANSPARENTE $E_A=28,000\text{Kg}/\text{cm}^2$ $\nu_A=0.4$

PROPIEDADES REQUERIDAS DE LOS ELEMENTOS:

LONGITUD, SECCIÓN TRANSVERSAL Y RIGIDEZ AXIAL.

SOLICITACIONES EN LA ESTRUCTURA:

PESO PROPIO Y CARGA VIVA (ESTÁTICA).

RESPUESTAS:

DEFORMACIÓN, ESFUERZO Y DEFLEXIÓN.

UNA VEZ ENUNCIADOS LOS DATOS CON QUE CONTAMOS Y LOS OBJETIVOS QUE PERSEGUIMOS, PODEMOS LLEVAR A CABO EL ANÁLISIS DIMENSIONAL.

## II.1 FACTORES DE ESCALA Y ECUACIONES DE PREDICCIÓN.

A) ESCALA DE LÍNEAS ( $\lambda$ ),.- LA ESCALA DE LÍNEAS LA DEFINE EL DISEÑADOR EN FUNCIÓN DE LOS SIGUIENTES PARÁMETROS: LAS DIMENSIONES MÁXIMAS Y MÍNIMAS DEL PROTOTIPO EL TAMAÑO DE LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN Y LA FACILIDAD PARA MANIOBRAR EN EL MODELO.

LA ESCALA DE LÍNEAS SE DEFINE COMO:

$$\lambda = \frac{L_P}{L_M} \quad \text{DONDE} \quad \begin{array}{l} L_P: \text{LONGITUD DEL PROTOTIPO} \\ L_M: \text{LONGITUD DEL MODELO} \end{array}$$

PARA NUESTRO MODELO DECIDIMOS:

$$\lambda = 15$$

LAS DIMENSIONES GENERALES DEL MODELO (EXCEPTO SECCIONES TRANSVERSALES) SE OBTIENEN DIVIDIENDO LAS CORRESPONDIENTES DEL PROTOTIPO ENTRE LA ESCALA DE LÍNEAS.

B) ESCALA DE MÓDULOS DE ELASTICIDAD ( $K_E$ ),.- ES FUNCIÓN DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES DEL PROTOTIPO Y LOS QUE SE PIENSAN USAR PARA FABRICAR EL MODELO.



SE DEFINE COMO:

$$K = \frac{E_P}{E_M} \quad \text{DONDE}$$

$E_P$  : MOD. DE ELAST. DEL MATERIAL DEL PROTOTIPO

$E_M$  : MOD. DE ELAST. DEL MATERIAL DEL MODELO

CUANDO TENEMOS 2 MATERIALES DIFERENTES EN EL PROTOTIPO, COMO ES NUESTRO CASO (CONCRETO Y ACERO), SE DEBE CUMPLIR LA SIGUIENTE RELACIÓN:

$E_P$  : MÓDULO DEL CONCRETO

$E_{1P}$  : MÓDULO DE ACERO

$E_M$  : MÓDULO DEL MATERIAL QUE SE USARÁ EN LUGAR DEL CONCRETO.

$E_{1M}$  : MÓDULO DEL MATERIAL QUE SE USARÁ EN LUGAR DEL ACERO.

$$\frac{E_{1M}}{E_M} = \frac{E_{1P}}{E_P} \quad \text{DONDE}$$

OTRA ALTERNATIVA (CUANDO ES POSIBLE), ES CAMBIAR LAS SECCIONES DE UN MATERIAL A OTRO POR EL MÉTODO DE LA SECCIÓN TRANSFORMADA Y TRABAJAR CON UN SOLO MATERIAL.

EN NUESTRO CASO TRANSFORMAMOS EL ACERO A CONCRETO CON EL SIGUIENTE FACTOR:

$$N = \frac{E_S}{E_C} = 8.4$$

Y LA RELACIÓN:  $A_C = A_S (N)$

ENTONCES EL VALOR DE LA ESCALA DE MÓDULOS ES:

$$K_E = \frac{0.25 \times 10^6}{0.028 \times 10^6} = 8.9286$$

C) ESCALA DE FUERZAS ( $K_F$ ) .-

DE LA RELACIÓN BÁSICA  $\frac{E_P}{E_M} = \frac{V_P}{V_M}$  SE TIENE:

$$\frac{E_P (FL^{-2})_P}{E_M (FL^{-2})_M} = \frac{F_P}{F_M} \left( \frac{L_P}{L_M} \right)^{-2} = \frac{F_P}{F_M} \lambda^{-2}$$

DONDE

$$\frac{F_P}{F_M} = \frac{E_P}{E_M} \lambda^2$$

Y COMO  $\frac{F_P}{F_M} = K_F$  Y  $K_E = \frac{E_P}{E_M} \Rightarrow$   $K_F = K_E \lambda^2$

PARA CARGA CONCENTRADA SE TIENE:

$$K_F = 2008.9286$$

PARA CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA POR UNIDAD DE LONGITUD ( $K_W$ ).

$$K_W = \frac{W_P}{W_M} = \frac{(FL^{-1})_P}{(FL^{-1})_M} = K_F \lambda^{-1} \Rightarrow$$
 $K_W = K_E \lambda$

$$\underline{K_W = 133.93}$$

PARA CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUÍDA POR UNIDAD DE ÁREA -  
( $K_Q$ ).

$$K_Q = \frac{Q_P}{Q_M} = \frac{(FL^{-2})_P}{(FL^{-2})_M} = K_F \lambda^{-2} \quad \boxed{K_Q = K_E}$$

$$\underline{K_Q = 8.9286}$$

PARA CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUÍDA POR UNIDAD DE VOLU-  
MEN ( $K_Y$ ).

$$K_Y = \frac{Y_P}{Y_M} = \frac{(FL^{-3})_P}{(FL^{-3})_M} = K_F \lambda^{-3} \quad \boxed{K_Y = K_E \lambda^{-1}}$$

$$\underline{K_Y = 0.5953}$$

D) ESCALAS DE RIGIDECES PARA:

ELEMENTOS SUJETOS A CARGA AXIAL (  $\psi_A$  )

$$\psi_A = \frac{R_P}{R_M} \quad \text{DONDE} \quad R_P = \frac{(EA)_P}{L_P} P \quad \text{Y} \quad R_M = \frac{(EA)_M}{L_M}$$

$$\psi_A = \frac{(EA)_M}{L_P} / \frac{(EA)_M}{L_M} = \frac{(EA)_P L_M}{(EA)_M L_P}$$

$$\text{YA QUE: } \frac{L_M}{L_P} = \lambda^{-1}; \quad \frac{A_P}{A_M} = \frac{L_P^2}{L_M^2} = \lambda^2$$

$$\text{Y } \frac{E_P}{E_M} = K_E \quad \text{SE TIENE:}$$

$$\psi_A = K_E \lambda^{-1} \lambda^2 = K_E \Rightarrow \boxed{\psi_A = K_E \lambda}$$

$$\psi_A = 133,93$$

OBTENCIÓN DE LA ESCALA DE ÁREAS ( $K_A$ ) EN FUNCIÓN DE LA ESCALA DE RIGIDEZ AXIAL ( $\psi_A$ ).

$$\psi_A = \frac{R_P}{R_M} = \left( \frac{E_A}{L} \right)_P \div \left( \frac{E_A}{L} \right)_M \frac{E_A}{L_M} = \frac{E_P A_P L_M}{E_M A_M L_P}$$

DESPEJANDO AÚN TENEMOS:

$$A_M = \frac{E_P A_P L_M}{E_M L_P \psi_A} = K_E A_P \lambda^{-1} \psi_A^{-1}$$

SI SABEMOS QUE  $\psi_A = K_E$  Y LA SUSTITUIAMOS EN LA EXPRESIÓN ANTERIOR TENEMOS QUE:

$$A_M = K_E A_P \lambda^{-1} K_E^{-1} \lambda^{-1} = A_P \lambda^{-2}$$

DE LO ANTERIOR SE DEDUCE QUE LA ESCALA DE ÁREAS ES:

$$K_A = \frac{A_P}{A_M} = \lambda^2$$

EL ÁREA REQUERIDA PARA LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL MODELO SE OBTIENE DIVIDIENDO EL ÁREA DEL PROTOTIPO ENTRE LA ESCALA DE LÍNEAS AL CUADRADO.

PARA ELEMENTOS SUJETOS A FLEXIÓN.

AQUÍ SE DEBE CUMPLIR LA RELACIÓN ENTRE LA RIGIDEZ -  
ANGULAR Y LINEAL DEL PROTOTIPO Y DEL MODELO.

RIGIDEZ ANGULAR (  $\psi_{\theta}$  )

$$\psi_{\theta} = \frac{(4EI)_P}{L_P} / \frac{(4EI)_M}{L_M} =$$

$$\frac{E_P I_P L_M}{E_M I_M L_P} = \frac{F_P L_P^{-2} L_P^4 L_M}{F_M L_M^{-2} L_M^4 L_P} = K_F \lambda^{-2} \lambda^4 \lambda^{-1}$$

$$\psi_{\theta} = K_F \lambda$$

UNA VEZ OBTENIDA LA ESCALA DE RIGIDEZ ANGULAR, OBTENEMOS LA ESCALA DE MOMENTOS DE INERCIA:

$$K_I = \frac{I_P}{I_M}$$

LA CUAL SE OBTIENE DESPEJANDO LOS MOMENTOS DE INERCIA DE LA RELACIÓN DE RIGIDEZES ANGULARES.

$$\psi_{\theta} = \frac{4E_P I_P L_M}{4E_M I_M L_P} = \frac{F_P L_P^{-2} I_P L_M}{F_M L_M^{-2} I_M L_P}$$

$$\frac{I_P}{I_M} = \psi_0 \frac{F_M L_M^{-2} L_P}{F_P L_P^{-2} L_M} = \psi_0 K_F^{-1} \lambda^2 \lambda$$

SUSTITUYENDO EL VALOR DE  $\psi_0$  EN LA ECUACION TENEMOS:

$$\frac{I_P}{I_M} = K_F \lambda K_F^{-1} \lambda^3 = \lambda^4 I_M = \frac{I_P}{\lambda^4}$$

ESTA EXPRESION NOS INDICA QUE PARA OBTENER EL MOMENTO DE INERCIA DEL MODELO DEBEMOS DIVIDIR EL MOMENTO DE INERCIA DEL PROTOTIPO ENTRE LA ESCALA DE LINEAS ELEVADA A LA CUARTA POTENCIA.

AL CUMPLIR CON ESTA CONDICION ESTAMOS CUMPLIENDO -- CON LA RELACION QUE DEBE EXISTIR ENTRE LA RIGIDEZ DEL PROTOTIPO Y LA RIGIDEZ DEL MODELO.

RIGIDEZ LINEAL. ( $\psi_L$ )

$$\psi_L = \left( \frac{6EI}{L^2} \right)_P / \left( \frac{6EI}{L^2} \right)_M = \frac{6E_P I_P L_M^2}{6E_M I_M L_P^2} =$$

$$= \frac{F_P L_P^{-2} L_P^4 L_M^2}{F_M L_M^{-2} L_M^4 L_P^2} = K_F \lambda^{-2} \lambda^4 \lambda^{-2} =$$

$$\psi_L = K_F$$

## OBTENCION DE LA ESCALA DE MOMENTO DE INERCIA

$$\psi_L = \frac{6E_P I_P L^2 M}{6E_M I_M L^2 P} = \frac{F_P L^{-2} P I_P L^2 M}{F_M L^{-2} M I_M L^2 P}$$

$$\frac{I_P}{I_M} = \psi_L \frac{F_M L^{-2} M L^2 P}{F_P L^{-2} P L^2 M} = \psi_L K_F^{-1} \lambda^2 \lambda^2$$

SUSTITUYENDO EL VALOR  $\psi_L$  EN LA ECUACION TENEMOS:

$$\frac{I_P}{I_M} = K_F K_F^{-1} \lambda^4 \Rightarrow I_M = \frac{I_P}{4}$$

VEMOS QUE LA RELACION DE MOMENTOS DE INERCIA DEL --  
 PROTOTIPO Y DEL MODELO SATISFACE LA RELACION QUE DEBE --  
 HABER ENTRE LAS RIGIDECESES DEL PROTOTIPO Y DEL MODELO EN-  
 FLEXION, TANTO ANGULAR COMO LINEALMENTE.



LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LOS ELEMENTOS QUE COMPONEN UN MODELO DEBE SATISFACER LA ESCALA DE RIGIDECES DEPENDIENDO DEL TIPO DE SOLICITACIÓN A QUE ESTÉ SOMETIDA.

SE DEBE CUMPLIR QUE:

$$\nu_M = \nu_P \quad \text{DONDE: } \nu : \text{MÓDULO DE POISSON DEL MATERIAL.}$$

ESTA RELACIÓN JAMÁS SE CUMPLE, YA QUE EL MÓDULO DE POISSON ES UNA PROPIEDAD INTRINSECA DEL MATERIAL Y POR CONSIGUIENTE NO SE PUEDE CAMBIAR.

E) ECUACIÓN DE PREDICCIÓN  
DESPLAZAMIENTO O DEFLEXIÓN (  $\delta$  )

$$\Delta = \frac{\delta_P}{\delta_M} = \frac{L_P}{L_M} = \lambda$$

$$\delta_P = 15 \delta_M$$

F) ESFUERZO (  $\sigma$  ),.- PARA OBTENER LOS ESFUERZOS EN EL PROTOTIPO SE TRANSFORMAN EL ÁREA Y LA FUERZA DEL ELEMENTO DEL MODELO POR MEDIO DE LAS ESCALAS CORRESPONDIENTES OBTENIENDO EL ÁREA Y LA FUERZA DEL PROTOTIPO Y SE SUSTITUYEN EN LA SIGUIENTE ECUACIÓN:

$$\sigma_P = \frac{F_P}{A_P}$$

## II.2 PESO PROPIO DE LA ESTRUCTURA

LOS ESFUERZOS Y DISTORSIONES DEL PESO PROPIO SON OCASIONADOS POR LA FUERZA DE GRAVEDAD QUE ACTÚA EN LOS ELEMENTOS DE LA ESTRUCTURA EN ESTUDIO.

PARA OBTENER EL MISMO EFECTO DE PESO PROPIO, TANTO EN EL MODELO COMO EN EL PROTOTIPO, SE DEBE CUMPLIR LA RELACIÓN DE FUERZAS EN LA MODALIDAD EN QUE SE OBTENGA EL PESO PROPIO (POR UNIDAD DE VOLUMEN, DE ÁREA, DE LONGITUD O CARGA PUNTUAL).

ESTE REQUERIMIENTO PUEDE INTRODUCIR CIERTAS DIFICULTADES DESDE EL PUNTO DE VISTA PRÁCTICO, YA QUE POR LO GENERAL LOS MODELOS SON MÁS LIGEROS QUE LOS PROTOTIPOS DEBIDO AL MATERIAL CON QUE SON CONSTRUÍDOS.

EXISTEN TRES FORMAS FÁCILES DE SATISFACER ESE REQUISITO CUANDO SEA NECESARIO:

- 1) APLICAR FUERZAS EXTERNAS PARA SUPLIR LA DEFICIENCIA DE PESO EN EL MODELO.
- 2) LA FUERZA DE GRAVEDAD, QUE OCASIONA EL PESO PROPIO, DEBE SER REEMPLAZADA POR UN CAMPO GRAVITACIONAL DE MAGNITUD MAYOR (POR EJEMPLO UN CAMPO DE ACCELERACIÓN).
- 3) EL EFECTO DE GRAVEDAD PUEDE SER AUMENTADO POR UN CAMPO MAGNÉTICO.

CUANDO POR ALGUNA RAZÓN ES IMPOSIBLE SATISFACER LA RELACIÓN DE PESO PROPIO, EL MODELO SE DISTORSIONARÁ EN ESTA CONDICIÓN DE DISEÑO Y ENTONCES, SERÁ NECESARIO OBTENER UN FACTOR DE PREDICCIÓN QUE NOS PERMITA OBTENER UNA ECUACIÓN DE PREDICCIÓN ADECUADA, PARA CONOCER EL COMPORTAMIENTO REAL DEL PROTOTIPO EN FUNCIÓN DEL MODELO, DEBO DECIR QUE EL FACTOR DE PREDICCIÓN PUEDE OBTENERSE ALGUNA O EXPERIMENTALMENTE.

#### OBTENCIÓN DE LA DIFERENCIA DE PESO PROPIO ENTRE MODELO Y PROTOTIPO

DEBIDO A QUE, A LO LARGO DEL CLARO LONGITUDINAL DEL PUENTE LOS MÓDULOS DE LA ARMADURA NO TIENEN LAS MISMAS SECCIONES TRANSVERSALES EN SUS ELEMENTOS, SUS PESOS NO SON IGUALES. POR LO TANTO SE CALCULARÁN LOS DIFERENTES PESOS, DE LOS TRAMOS DE MÓDULOS IGUALES, (PRESENTADOS EN EL PLANO ESTRUCTURAL), Y SE TRANSFORMARÁN A CARGA UNIFORMEMENTE DISTRIBUIDA POR UNIDAD DE LONGITUD; ASIMISMO SE OBTENDRÁ EL PESO PROPIO DEL TABLERO DE PISO Y SE SUMARÁ A SU CORRESPONDIENTE EN LA ARMADURA.

DEBIDO A LA SIMETRÍA DE LA ESTRUCTURA SE OBTENDRÁN LOS PESOS PROPIOS DESDE EL APOYO HASTA LA MITAD DEL CLARO.

LOS RESULTADOS SE MUESTRAN EN LA SIGUIENTE TABLA:

TRAMO	LONGITUD PROTOTIPO (M)	LONGITUD MODELO (CM)	W PROTOTIPO (KG/M)	W REQ. MODELO (GR/CM)	W MODELO (GR/CM)	W FALTANTE MODELO (GR/CM)
1	0-3	0-20	4877.33	364.17	117.32	246.85
2	3-6	20-40	4849.54	362.10	112.66	249.44
3	6-9	40-60	4934.88	368.47	116.86	251.61
4	9-12	60-80	4918.73	367.26	114.88	252.38
5	12-15	80-100	4922.99	367.58	112.97	254.60
6	15-17	100-113.33	4866.19	363.34	112.98	250.36
7	17-18	113.33-120	4866.19	363.34	112.97	250.37

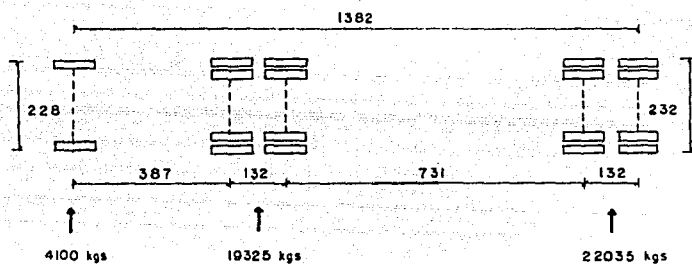
( $K_W=133.93$ );  $K_W$ : ESCALA DE FUERZAS PARA TRANSFORMAR EL --  
PESO DEL PROTOTIPO AL PESO DEL MODELO.

SE PROPONE COMPENSAR EL PESO FALTANTE POR MEDIO DE -  
LASTRES DE PLOMO, CON EL PESO REQUERIDO EN CADA CASO, CO-  
LOCADOS EN LA PARTE INFERIOR DE LA ARMADURA.

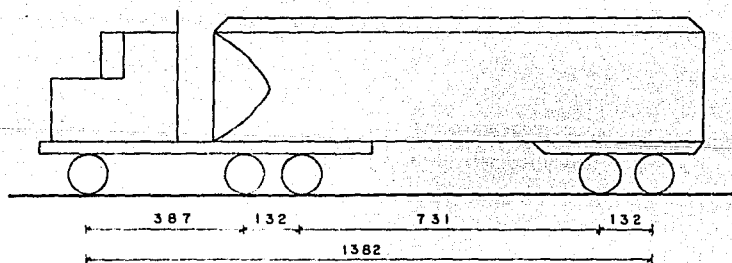
### 11.3 DISPOSITIVO DE CARGA VIA

LA CARGA VIVA QUE SOPORTARÁ EL PUENTE ES LA CORRES-  
PONDIENTE AL PESO DE UN CARRO TANQUE DE 45.46 TONELADAS -  
EL CUAL SEGÚN ESPECIFICACIONES DE LA ASSHTO, PRODUCE UNAS  
REACCIONES POR EJE DE 4100, 19325 Y 22035 Kg, RESPECTIVA-  
MENTE, UN ÁREA DE DESCARGA POR RUEDA OBTENIDA EXPERIMEN-  
TALMENTE DE 34 x 22 CM.

LA SEPARACIÓN DE EJES Y OTRAS DIMENSIONES SE MUESTRAN EN LA FIGURA A, QUE SE EXHIBE A CONTINUACIÓN:



PLANTA



ELEVACION

ESC 1:100  
ACOT: CM

UNA VEZ CONOCIDAS LAS REACCIONES POR EJE QUE PRODUCE EL CARRO TANQUE, SE PROCEDE MEDIANTE LA ESCALA DE FUERZAS A LA CONVERSIÓN DE LAS REACCIONES DEL PROTOTIPO A LAS REACCIONES QUE DEBEN DE SOLICITAR AL MODELO.

REACCIONES QUE DEBE PRODUCIR EL DISPOSITIVO DE CARGA VIVA DEL MODELO.

PARA LA TRANSFORMACIÓN EMPLEAREMOS LA ESCALA DE FUERZAS OBTENIDAS DEL ANÁLISIS DIMENSIONAL.

$$F_M = \frac{F_P}{K_F} = 2008.935$$

$F_M$  : FUERZA EN EL MODELO  
 $F_P$  : FUERZA EN EL PROTOTIPO  
 $K_F$  : ESCALA DE FUERZAS

$$F_M = \frac{F_P}{2008.935} = (4978 \times 10^{-7}) F_P$$

EJE 1 (SENCILLO)

$$F_M = (4978 \times 10^{-7}) (4100) = 2.041 \text{ Kg}$$

EJE 2 (TANDEM)

$$F_M = (4978 \times 10^{-7}) (19325) = 9.62 \text{ Kg.}$$

EJE 3 (TANDEM)

$$F_M = (4978 \times 10^{-7}) (22035) = 10.97 \text{ Kg.}$$

## REACCIONES DE PROTOTIPO Y MODELO

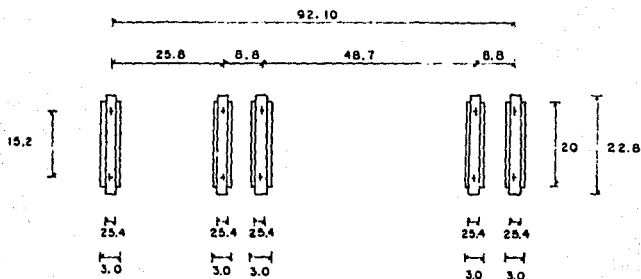
E J E	F <sub>P</sub> (Kg.)	F <sub>M</sub> (Kg.)
1	4100	2,041
2	19,325	9,62
3	22,035	10,97

UNA VEZ OBTENIDAS LAS REACCIONES QUE DEBE PRODUCIR -  
EL DISPOSITIVO DE CARGA VIVA DEL MODELO SE PROCEDE AL DI-  
SEÑO DEL MISMO.

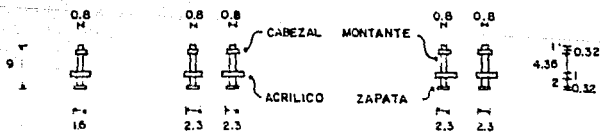
## DISEÑO DEL DISPOSITIVO DE CARGA VIVA.

DEBIDO A LA LABORIOSIDAD QUE IMPLICA REPRODUCIR A --  
ESCALA UN CARRO TANQUE CON LAS MISMAS REACCIONES Y GEOME-  
TRÍA DEL PROTOTIPO Y, YA QUE LO IMPORTANTE EN UN MODELO -  
ESTRUCTURAL SON LOS ELEMENTOS MECÁNICOS, SE PENSÓ EN - --

CONSTRUIR UN DISPOSITIVO DE CARGA QUE REPRODUJERA LAS --  
 REACCIONES DEL PROTOTIPO A ESCALA AUNQUE NO TUVIERA LA --  
 MISMA GEOMETRÍA DEL CARRO TANQUE. A CONTINUACIÓN SE EXHI-  
 BE EL DISPOSITIVO DE CARGA VIVA PARA EL MODELO.



### PLANTA



### ELEVACION

ESC. 1:100  
 ACOT. CM



UNA VEZ DEFINIDA LA GEOMETRÍA DEL DISPOSITIVO DE CARGA VIVA, EL PASO SIGUIENTE ES OBTENER LAS REACCIONES QUE PRODUCE EL MISMO Y COMPARARLAS CON LAS REQUERIDAS POR EL MODELO, LAS CUALES YA CONOCEMOS EN BASE AL ANÁLISIS REALIZADO ANTERIORMENTE; EN CASO DE HABER DIFERENCIA ENTRE AMBAS SE DEBERÁ CORREGIR ÉSTA PARA OBTENER LAS DESEADAS.

EN SEGUIDA SE MUESTRA EL PROCEDIMIENTO QUE SE EMPLEÓ PARA OBTENER LAS REACCIONES QUE PRODUCE EL DISPOSITIVO DE CARGA VIVA. TAMBIÉN SE EXHIBEN TABULADOS LOS VALORES DE LAS REACCIONES REQUERIDAS POR EL MODELO, LAS REACCIONES POR PESO PROPIO DEL DISPOSITIVO DE CARGA VIVA Y LA DIFERENCIA ENTRE AMBAS. DEBO HACER NOTAR QUE SE HACE MENCIÓN A DOS DISPOSITIVOS, YA QUE FUERON LOS NECESARIOS PARA EL ENSAYE.

OBTENCION DE REACCIONES QUE PRODUCEN LOS  
DISPOSITIVOS DE CARGA.

Peso por partes de los ejes  
del dispositivo 1.

Columna 1 = 39.5 gr.  
Columna 2 = 40.0 gr.  
Columna 3 = 47.0 gr.  
Columna 4 = 46.5 gr.  
Columna 5 = 46.0 gr.  
Columna 6 = 46.0 gr.  
Columna 7 = 46.0 gr.  
Columna 8 = 46.5 gr.  
Columna 9 = 46.5 gr.  
Columna 10 = 46.5 gr.

Acrílico 1 = 69.5 gr.  
Acrílico 2 = 72.5 gr.  
Acrílico 3 = 70.5 gr.  
Acrílico 4 = 71.5 gr.  
Acrílico 5 = 68.5 gr.

Cabezal 1 = 195.5 gr.  
Cabezal 2 = 270.5 gr.  
Cabezal 3 = 217.5 gr.

Peso por partes de los  
ejes del dispositivo 2.

Columna 1 = 39.5 gr.  
Columna 2 = 40.0 gr.  
Columna 3 = 46.8 gr.  
Columna 4 = 46.5 gr.  
Columna 5 = 46.9 gr.  
Columna 6 = 45.7 gr.  
Columna 7 = 46.4 gr.  
Columna 8 = 46.3 gr.  
Columna 9 = 47.5 gr.  
Columna 10 = 46.6 gr.

Acrílico 1 = 72.7 gr.  
Acrílico 2 = 72.2 gr.  
Acrílico 3 = 73.3 gr.  
Acrílico 4 = 72.7 gr.  
Acrílico 5 = 72.2 gr.

Cabezal 1 = 186.3 gr.  
Cabezal 2 = 220.4 gr.  
Cabezal 3 = 208.3 gr.

Peso por partes de los ejes  
del dispositivo 1.

Cabezal 4 = 216.0 gr.

Cabezal 5 = 213.0 gr.

Eje 1 = 344.5 gr.

Eje 2 = 386.5 gr.

Eje 3 = 380.0 gr.

Eje 4 = 380.0 gr.

Eje 5 = 374.0 gr.

Peso por ejes completos.

Eje 1 = 344.5 gr.

Eje 2 = 386.5 gr.

Eje 3 = 380.0 gr.

Eje 4 = 380.0 gr.

Eje 5 = 373.0 gr.

Peso por partes de los  
ejes del dispositivo 2.

Cabezal 4 = 210.1 gr.

Cabezal 5 = 207.2 gr.

Eje 1 = 338.5 gr.

Eje 2 = 386.1 gr.

Eje 3 = 374.2 gr.

Eje 4 = 375.5 gr.

Eje 5 = 374.5 gr.

Peso por ejes completos.

Eje 1 = 337.8 gr.

Eje 2 = 386.1 gr.

Eje 3 = 373.6 gr.

Eje 4 = 375.2 gr.

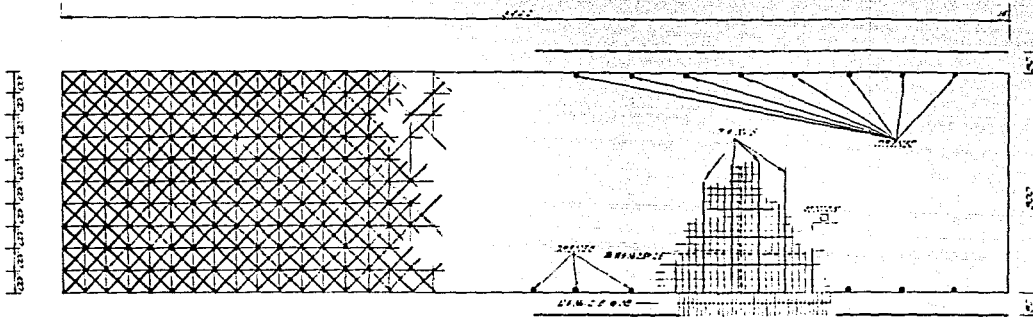
Eje 5 = 374.1 gr.

COMO SE PUEDE OBSERVAR EL PESO POR PARTES ES CASI --  
IDÉNTICO AL PESO POR EJES Y SE PUEDE TOMAR CUALQUIERA DE--  
LOS DOS GRUPOS DE VALORES PARA OBTENER LOS PESOS FALTAN--  
TES QUE NOS PRODUZCAN LAS REACCIONES REQUERIDAS POR EJES.

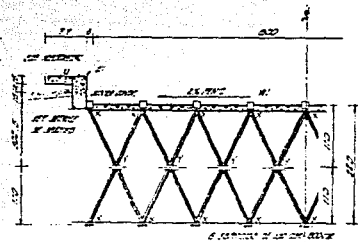
DISPOSITIVO # 1    Peso faltante.				
E j e	Reacción por eje	Peso propio	Por eje	Por rueda
1	2041	345	1696	848
2	4810	387	4425	2211
3	4810	380	4430	2215
4	5485	380	5105	2552
5	5485	373	5472	2736

DISPOSITIVO # 2    Peso faltante.				
E j e	Reacción por eje	Peso propio	Por eje	Por rueda
1	2041	338	1703	851
2	4810	386	4424	2212
3	4810	374	3346	2218
4	5485	375	5110	2555
5	5405	374	5110	2555

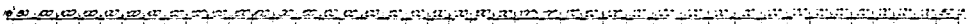
UNA VEZ OBTENIDO EL PESO FALTANTE PARA PRODUCIR LAS REACCIONES REQUERIDAS, SE PROCEDIÓ A CONSTRUIR UNOS CILINDROS DE ACERO CON LOS PESOS FALTANTES ENLISTADOS EN LAS - TABLAS IMPRESAS CON ANTERIORIDAD.



SECCION TRANSVERSAL



SECCION LONGITUDINAL

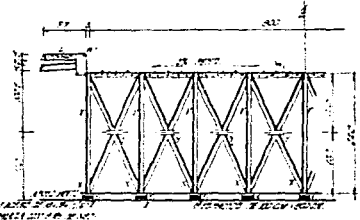


SECCION TRANSVERSAL

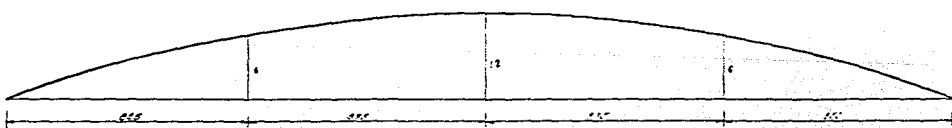
SECCION LONGITUDINAL



ELEVACION LONGITUDINAL

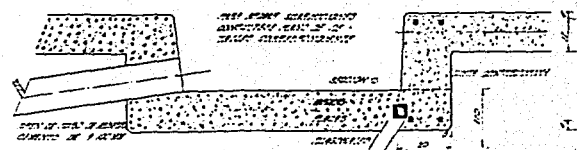


SECCION TRANSVERSAL EN ARZO



SECCION TRANSVERSAL EN ARZO

NOTAS:



DETALLE DE SECCION

- 1. SECCION TRANSVERSAL EN ARZO EN EL CENTRO DEL PUENTE.
- 2. SECCION LONGITUDINAL EN EL CENTRO DEL PUENTE.
- 3. SECCION TRANSVERSAL EN ARZO EN LOS EXTREMOS DEL PUENTE.
- 4. SECCION LONGITUDINAL EN LOS EXTREMOS DEL PUENTE.
- 5. SECCION TRANSVERSAL EN ARZO EN LOS CUARTOS DEL PUENTE.
- 6. SECCION LONGITUDINAL EN LOS CUARTOS DEL PUENTE.
- 7. SECCION TRANSVERSAL EN ARZO EN LOS OCTAVOS DEL PUENTE.
- 8. SECCION LONGITUDINAL EN LOS OCTAVOS DEL PUENTE.
- 9. SECCION TRANSVERSAL EN ARZO EN LOS TERCEROS DEL PUENTE.
- 10. SECCION LONGITUDINAL EN LOS TERCEROS DEL PUENTE.
- 11. SECCION TRANSVERSAL EN ARZO EN LOS CINCOSEXAVOS DEL PUENTE.
- 12. SECCION LONGITUDINAL EN LOS CINCOSEXAVOS DEL PUENTE.
- 13. SECCION TRANSVERSAL EN ARZO EN LOS SEPTICESAVOS DEL PUENTE.
- 14. SECCION LONGITUDINAL EN LOS SEPTICESAVOS DEL PUENTE.
- 15. SECCION TRANSVERSAL EN ARZO EN LOS NOVENOS DEL PUENTE.
- 16. SECCION LONGITUDINAL EN LOS NOVENOS DEL PUENTE.
- 17. SECCION TRANSVERSAL EN ARZO EN LOS DIEZESAVOS DEL PUENTE.
- 18. SECCION LONGITUDINAL EN LOS DIEZESAVOS DEL PUENTE.
- 19. SECCION TRANSVERSAL EN ARZO EN LOS ONCEAVOS DEL PUENTE.
- 20. SECCION LONGITUDINAL EN LOS ONCEAVOS DEL PUENTE.

SECCION	SECCION	SECCION	SECCION
1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16
17	18	19	20
21	22	23	24
25	26	27	28
29	30	31	32
33	34	35	36
37	38	39	40
41	42	43	44
45	46	47	48
49	50	51	52
53	54	55	56
57	58	59	60
61	62	63	64
65	66	67	68
69	70	71	72
73	74	75	76
77	78	79	80
81	82	83	84
85	86	87	88
89	90	91	92
93	94	95	96
97	98	99	100

### III.- FABRICACION DEL MODELO

EN LA FABRICACIÓN DEL MODELO FÍSICO DEL PUENTE - - - IXTAPA SE TOMARON EN CUENTA LAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO, QUE SON: LA ESCALA - DE LÍNEAS, MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN Y ASPECTO ECONÓMICO.

#### A) ESCALA DE LÍNEAS.

PARA DETERMINAR LA ESCALA DE LÍNEAS SE TOMÓ EN CUENTA LA NECESIDAD DE UNA BUENA REPRODUCCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DEL PROTOTIPO, LO CUAL SE LOGRÓ -- MEDIANTE UNA ESCALA DE LÍNEAS LO MÁS APROXIMADA A LA - -- UNIDAD.

TAMBIÉN SE TOMÓ EN CUENTA PARA ELEGIR LA ESCALA DE - LÍNEAS, LA FACILIDAD DE REPRODUCCIÓN DE LAS PIEZAS MÁS -- PEQUEÑAS DEL MODELO, LA REPRODUCCIÓN DE LAS CARGAS A QUE SE SOMETERÁ EL MODELO, LA REPRODUCCIÓN DE LOS DISPOSITI-- VOS DE CARGA Y LA FACILIDAD PARA COLOCAR LOS INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN EN EL MODELO.

TOMANDO EN CUENTA ESTOS REQUISITOS SE DETERMINÓ QUE-- UNA ESCALA DE LÍNEAS  $\lambda = 15$  NOS PROPORCIONARÍA CONDI-- CIONES ACEPTABLES PARA SATISFACER DICHS REQUISITOS,

#### B) MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

DEBIDO A QUE LOS MATERIALES CONSTITUTIVOS DEL PROTO-- TIPO, ACERO Y CONCRETO, NO SE PUEDEN CONSEGUIR EN TAMAÑO--

ADECUADO AL MODELO Y LOS MATERIALES EXISTENTES EN EL MERCADO NO SE PUEDEN ADECUAR AL TAMAÑO DEL MODELO, YA QUE -- PERDERÍAN SUS CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES, SE OPTÓ POR FABRICAR EL MODELO DE UN MATERIAL QUE TUVIERA UN BAJO -- MÓDULO DE ELASTICIDAD Y UN LÍMITE DE PROPORCIONALIDAD -- ELEVADO.

LAS CARACTERÍSTICAS ANTERIORES HACEN QUE EL MATERIAL DEL MODELO SEA SENSIBLE A LAS DEFORMACIONES Y TENGA UNA RECUPERACIÓN ACEPTABLE AL APLICAR Y QUITAR LAS CARGAS DE SERVICIO, LO QUE ES MUY VALIOSO EN LA OBSERVACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MODELO.

CONSIDERANDO LAS OBSERVACIONES ANTERIORES SE ELIGIÓ DE ENTRE VARIOS, COMO MATERIAL ADECUADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL MODELO UN PLÁSTICO ACRÍLICO QUE CUMPLE CON LOS REQUISITOS SEÑALADOS ANTERIORMENTE.

CON BASE EN PRUEBAS DE MUESTREO REALIZADAS EN LABORATORIO, SE OBTUVO UN MÓDULO DE ELASTICIDAD DEL ACRÍLICO:

$$E_A = 28.000.00 \text{ Kg/cm}^2$$

### C) ASPECTO ECONÓMICO.

ESTE PUNTO ES DE GRAN IMPORTANCIA EN LA FABRICACIÓN DE CUALQUIER MODELO FÍSICO, YA QUE DE ÉSTE DEPENDE LA REALIZACIÓN DEL MISMO.

PARA LA FABRICACIÓN DE ESTE MODELO SE HICIERON ANÁLISIS DE COSTOS PARA DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES Y --



ELECCIÓN DE INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN. DEL ANÁLISIS DE COSTOS SE TOMÓ LA DECISIÓN DE ELEGIR EL MATERIAL QUE NOS PROPORCIONARA LAS CARACTERÍSTICAS REQUERIDAS POR EL MODELO - AL MÁS BAJO COSTO POSIBLE.

#### D) DIMENSIONAMIENTO DEL MODELO.

UNA VEZ ELEGIDOS LOS MATERIALES, LA ESCALA DE LÍNEAS DEL MODELO Y DETERMINADAS TODAS LAS DIMENSIONES DEL PROTOTIPO (VER PLANO ESTRUCTURAL), SE PROCEDIÓ A DIMENSIONAR - MEDIANTE EL ANÁLISIS DIMENSIONAL Y LA TEORÍA DE SIMILITUD, EL MODELO PARA SU CONSTRUCCIÓN.

LAS PROPIEDADES DEL PROTOTIPO QUE SE CONSIDERARON EN EL ANÁLISIS DIMENSIONAL SE SELECCIONARON BUSCANDO TENER - UN COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MODELO LO MÁS APROXIMADO AL PROTOTIPO.

LAS ESCALAS QUE SE TOMARON EN CUENTA FUERON LAS - SIGUIENTES:

ESCALA DE MÓDULOS DE ELASTICIDAD:  $K_E$

ESCALA DE LÍNEAS:  $\lambda$

ESCALA DE FUERZAS:  $K_F$

ESCALA DE RIGIDECES:  $K_R$

DEBIDO A QUE EL PROTOTIPO ES UNA ESTRUCTURA HÍBRIDA - (CONCRETO Y ACERO) Y LA REPRODUCCIÓN DE LOS ELEMENTOS -

METÁLICOS SE DIFICULTA, SE PROCEDIÓ A TRANSFORMAR LOS ELEMENTOS METÁLICOS A ELEMENTOS DE CONCRETO, FACILITANDO ASÍ LA CONSTRUCCIÓN DE LOS MISMOS. A CONTINUACIÓN SE MUESTRAN LOS VALORES DE LAS SECCIONES TRANSFORMADAS Y LONGITUDES - DE ELEMENTOS.

#### DIMENSIONES GENERALES DEL MODELO

SE TRATA DE UN PUENTE DE 3 CLAROS INDEPENDIENTES SIMPLEMENTE APOYADOS. EL MODELO LO CONSTITUYE UNO DE ESOS 3-CLAROS.

A CONTINUACIÓN SE MUESTRAN LAS DIMENSIONES GENERALES DE PROTOTIPO Y MODELO

	CLARO (M)	ANCHO (M)	PERALTE (M)
PROTOTIPO	33.00	9.60	2.20
M O D E L O	2.20	0.64	0.15

LAS DIMENSIONES DEL MODELO SE OBTUVIERON DIVIDIENDO-LAS DIMENSIONES DEL PROTOTIPO, ENTRE LA ESCALA DE LÍNEAS

A CONTINUACIÓN SE MUESTRAN LAS PROPIEDADES MECÁNICAS QUE SE TOMARON EN CUENTA PARA DIMENSIONAR EL MODELO Y EL-DIMENSIONAMIENTO DE TODOS LOS ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN -EL MISMO.

PARA TRANSFORMAR LAS SECCIONES TRANSVERSALES DE LOS-  
ELEMENTOS DE ACERO A CONCRETO SE EMPLEÓ LA SIGUIENTE RELA-  
CIÓN:

$$A_C = N A_S ; N = 8,4$$

### D I A G O N A L E S

Elemento	Lp (cm)	Asp (cm <sup>2</sup> )	Acp (m <sup>2</sup> )
a	131	9.22	77.45
b	131	6.20	52.08
c	131	4.68	39.31
d	131	3.86	32.42
e	131	5.81	48.80
f	131	4.61	38.72
g	131	4.40	36.96
h	131	3.43	28.81
i	131	2.79	23.44
j	131	1.93	16.21

Lp: Longitud del Prototipo

Asp: Area de Acero del  
Prototipo

Acp: Area de concreto del  
Prototipo

## Cuerda inferior longitudinal

Elemento	Lp (cm)	Asp (cm <sup>2</sup> )	Acp (m <sup>2</sup> )
k	100	14.12	118.61
l	100	26.02	218.57
m	100	35.22	295.85
n	100	42.14	353.98
o	100	45.60	383.04

## M o n t a n t e s

Elemento	Lp (cm)	Asp (cm <sup>2</sup> )	Acp (m <sup>2</sup> )
V	220	15.76	132.18

## Elementos de autoaporte

Elemento	L <sub>p</sub> (m)	Asp (cm <sup>2</sup> )	Acp (m <sup>2</sup> )
p	100	6.20	52.80
q	100	11.62	97.61
r	100	15.36	129.02
s	100	18.52	156.07

Cuerda transversal inferior  
y placas de unión

Elemento	L <sub>p</sub> (cm)	Asp (cm <sup>2</sup> )	Acp (cm <sup>2</sup> )
t	100	1.99	16.72
x	0.95	324	2722
y	1.27	324	2722

UNA VEZ TRANSFORMADOS LOS ELEMENTOS DE ACERO A ELEMENTOS DE CONCRETO PROCEDEMOS A OBTENER LAS DIMENSIONES DE LOS ELEMENTOS PARA EL MODELO. PARA ESTE PROPÓSITO EMPLEARÉMO LA ESCALA DE LÍNEAS Y LA ESCALA DE ÁREAS.

$$L_M = \frac{L_P}{\lambda} ; \quad \lambda = 15; L_M \text{ LONGITUD DEL ELEMENTO EN EL -- MODELO.}$$

$$A_M = \frac{A_P}{\lambda^2} ; \quad \lambda^2 = 225; A_M: \text{ AREA DEL ELEMENTO EN EL -- MODELO.}$$

### D i a g o n a l e s

Elemento	Lm (cm)	Am (cm <sup>2</sup> )	L = $\sqrt[3]{A_m}$ (mm)
a	8.73	0.34	5.90
b	8.73	0.23	4.80
c	8.73	0.17	4.20
d	8.73	0.14	3.80
e	8.73	0.22	4.70
f	8.73	0.17	4.10
g	8.73	0.16	4.10
h	8.73	0.13	3.60
i	8.73	0.10	3.20
j	8.73	0.07	2.70

## Cuerda inferior longitudinal

Elemento	Lm (cm)	Am (cm <sup>2</sup> )	L = $\sqrt{Am}$ (mm)
----------	------------	--------------------------	-------------------------

k	6.67	0.53	7.30
l	6.67	0.97	9.90
m	6.67	1.31	11.50
n	6.67	1.57	12.50
o	6.67	1.70	13.00

## Montantes

Elemento	Lm (cm)	Am (cm <sup>2</sup> )	L = $\sqrt{Am}$ (mm)
----------	------------	--------------------------	-------------------------

	14.67	0.59	7.70
Elementos de autoaporte			
Elemento	Lm (cm)	Am (cm <sup>2</sup> )	L = $\sqrt{Am}$ (mm)
p	6.67	0.23	4.80
q	6.67	0.43	6.60

Elemento	Lm (cm)	Am (cm <sup>2</sup> )	L = $\sqrt{Am}$ (mm)
r	6.67	0.57	7.60
s	6.67	0.69	8.30

Cuerda transversal inferior y placas  
de unión

Elemento	Lm (cm)	Am (cm <sup>2</sup> )	L = $\sqrt{Am}$ (mm)
t	6.67	0.07	2.70
x	0.06	12.10	34.80
y	0.08	12.10	34.80

AHORA DIMENSIONAREMOS LA SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA-SUPERFICIE DE RODAMIENTO, LA CUAL ESTÁ FORMADA POR LA --LOSA, LAS GUARNICIONES Y BANQUETAS, LAS ACOTACIONES SE-MUESTRAN EN EL PLANO ESTRUCTURAL.

PARA PROPÓSITO DE DIMENSIONAMIENTO TABULAREMOS LAS-DIMENSIONES DE BANQUETAS, GUARNICIONES Y LOSA DEL PROTO-TIPO.



Elemento	ancho (cm)	peralte (cm)	área (cm <sup>2</sup> )
Banqueta	60	15	900
Guarnición	20	42	840
L o s a	800	15	12,000

SI AFECTAMOS LAS DIMENSIONES TABULADAS POR LA ESCALA DE LÍNEA Y ESCALA DE ÁREA, OBTENDREMOS LAS DIMENSIONES -- PARA EL MODELO.

Elemento	ancho (cm)	peralte (cm)	área (cm <sup>2</sup> )
Banqueta	4.00	1.00	4.00
Guarnición	1.33	2.80	3.73
L o s a	53.33	1.00	53.33

OBTENCIÓN DEL MOMENTO DE INERCIA DEL MODELO.

PRIMERAMENTE OBTENEMOS EL MOMENTO DE INERCIA DEL PROTOTIPO, EMPLEANDO EL TEOREMA DE LOS EJES PARALELOS O DE - STEINER.

$$I_x = I_0 + Ad^2$$

Y DIVIDIENDO LA SECCIÓN EN ÁREAS DE LA SIGUIENTE MANERA:

ÁREA 1 : BANQUETAS

ÁREA 2 : GUARNICIÓN

ÁREA 3 : L O S A

Elemento	$I_o = \frac{bh^3}{12}$	área	d <sup>2</sup>
Banqueta	16,875	900	1,190.25
Guarnición	123,480	840	441.00
1/2 losa	112,500	6000	56.25
	252,855	7,740	1,687.50

$$I_x = 252,855 + (7,740) (1,687.50)$$

$$I_x = 13,314,105 \text{ cm}^4$$

$$I_o = I_x - Ad^2$$

$$I_o = 13,314,105 - (7,740) (1,687.50)$$

$$I_o = 252,855 \text{ cm}^4$$

$$\text{ENTONCES } I_p = (252,855) (2)$$

$$I_p = 505,710 \text{ cm}^4$$

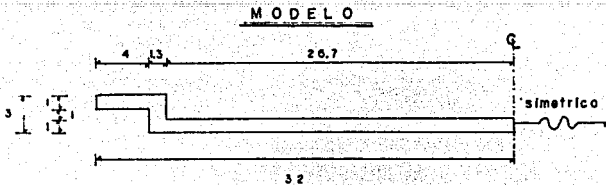
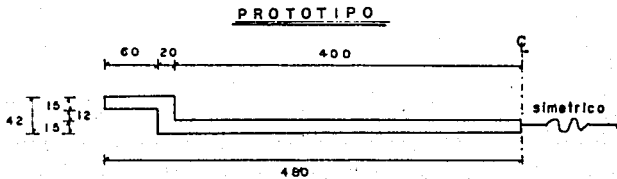
DEL ANÁLISIS DIMENSIONAL SABEMOS QUE:

$$\frac{I_P}{I_M} = \lambda^4 \quad \Rightarrow I_M = \frac{I_P}{\lambda^4}$$

$$I_M = \frac{505,710}{(15)^4} = 9.99 \text{ cm}^4$$

QUE ES EL MOMENTO DE INERCIA DEL MODELO.

A CONTINUACIÓN SE PRESENTA UN DIBUJO DE LA SECCIÓN --  
TRANSVERSAL DEL PUENTE CON LAS DIMENSIONES DE PROTOTIPO Y  
MODELO.



ESC. 1:50  
ACOT. cm

UNA VEZ OBTENIDAS LAS DIMENSIONES DEL MODELO SE DEBE REVISAR QUE CUMPLAN SATISFACTORIAMENTE CON LAS RELACIONES OBTENIDAS DEL ANÁLISIS DIMENSIONAL.

EN ESTE CASO LAS RELACIONES QUE SE DEBEN SATISFACERSON:

- RIGIDEZ AXIAL ( $\psi_A$ ) PARA ELEMENTOS SOMETIDOS A -- FUERZA AXIAL.

$$\psi = \frac{R_P}{R_M} ; \quad R_P : \text{RIGIDEZ AXIAL DEL PROTOTIPO}$$

$$R_M : \text{RIGIDEZ AXIAL DE MODELO}$$

- RIGIDEZ ANGULAR ( $\psi_\theta$ ) Y RIGIDEZ LINEAL ( $\psi_L$ ) PARA-ELEMENTOS SOMETIDOS A FLEXIÓN.

$$\psi_\theta = \frac{R_P}{R_M} ; \quad R_P : \text{RIGIDEZ ANGULAR DEL PROTOTIPO}$$

$$R_M : \text{RIGIDEZ ANGULAR DEL MODELO}$$

$$\psi_L = \frac{R_P}{R_M} ; \quad R_P : \text{RIGIDEZ LINEAL DEL PROTOTIPO}$$

$$R_M : \text{RIGIDEZ LINEAL DEL MODELO.}$$

PARA EJEMPLIFICAR REVISAREMOS EL ELEMENTO DIAGONAL -

(A) SUJETO A CARGA AXIAL

PARA QUE EL COMPORTAMIENTO DEL MODELO SEA REPRESENTA

TIVO DEL PROTOTIPO SE DEBE CUMPLIR QUE:

LA RIGIDEZ DEL MODELO MULTIPLICADA POR LA ESCALA DE RIGIDEZ NOS DE COMO RESULTADO LA RIGIDEZ DEL PROTOTIPO.

RIGIDEZ DEL PROTOTIPO.

$$R_p = \frac{AE}{L}$$

A = 77.45 CM<sup>2</sup>  
 E = 250,000 KG/CM<sup>2</sup>  
 L = 131 CM

$$R_p = \frac{(77.45) (250,000)}{131}$$

$$R_p = 147,805.34 \text{ KG/CM}^2$$

RIGIDEZ DEL MODELO

$$R_M = \frac{EA}{L}$$

A = 0.34 CM  
 E = 28,000 KG/CM<sup>2</sup>  
 L = 8.73

$$R_M = \frac{(28,000) (0.34)}{8.73}$$

$$R_M = 1,090.49 \text{ KG/CM}$$

SI RECORDAMOS DEL CAPÍTULO DE ANÁLISIS DIMENSIONAL - SABEMOS QUE LA ESCALA DE RIGIDEZ PARA CARGA AXIAL ES:

$$\psi_A = K_E \lambda ; \quad K_E : \text{ESCALA DE MÓDULOS DE ELASTICIDAD}$$

$$\lambda : \text{ESCALA DE LÍNEAS}$$

$$K_E = \frac{250,000}{28,000} = 8.93$$

$$\lambda = 15$$

$$\psi_A = 8.93 \times 15 = 133.93$$

SI MULTIPLICAMOS LA ESCALA DE RIGIDEZES POR LA RIGIDEZ DEL MODELO DEBEMOS OBTENER LA RIGIDEZ DEL PROTOTIPO.

$$R_P = R_M \times \psi_A$$

$$R_P = 1,090.49 \times 133.93$$

$$R_P = 146,047.11 \text{ KG/CM}$$

LO QUE DEMUESTRA QUE EL COMPORTAMIENTO DEL MODELO ES REPRESENTATIVO DEL PROTOTIPO Y EL DISEÑO ES ADECUADO.

PARA REVISAR ELEMENTOS A FLEXIÓN SE SIGUE EL MISMO PROCEDIMIENTO, POR LO QUE DEJAMOS AL LECTOR LA REVISIÓN DE UN ELEMENTO A FLEXIÓN COMO EJERCICIO.

### E) CONSTRUCCIÓN DEL MODELO.

UNA VEZ DETERMINADAS LAS DIMENSIONES TEÓRICAS DE LOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL MODELO SE PROCEDIÓ A SU CONSTRUCCIÓN.

EN EL PROCESO DE CONSTRUCCIÓN SE PRESENTÓ EL PROBLEMA DE LAS DIMENSIONES EN QUE SE VENDÍA EL MATERIAL CONQUE SE IBA A CONSTRUIR EL MODELO, POR UN LADO Y POR EL OTRO - EL TRATAR DE DAR LAS DIMENSIONES REQUERIDAS POR LOS ELEMENTOS A FABRICAR. TODAS LAS DIMENSIONES DE LOS ELEMENTOS SE REDONDEARON AL INMEDIATO SUPERIOR O INFERIOR MÁS CERCA NO DEBIDO A LA IMPOSIBILIDAD DE LOGRAR LA PRECISIÓN IDEAL A CAUSA DE LAS DIMENSIONES QUE SE TRABAJARON (MM).

LA LOSA SOLO PRESENTABA UN PROBLEMA PARA SU CONSTRUCCIÓN QUE ERA LA CONTRA FLECHA DE PROYECTO. ESTE PROBLEMA SE SOLUCIONÓ FABRICANDO LA LOSA EN 4 TRAMOS QUE FORMABAN CUERDAS CON LA CONTRA FLECHA.

LOS ELEMENTOS MONTANTES Y LAS CUERDAS INFERIORES LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES Y LAS PLACAS DE UNIÓN NO -- TUVIERON NINGÚN PROBLEMA PARA SER CONSTRUÍDAS.

EL PROBLEMA PRINCIPAL DE LA FABRICACIÓN DEL MODELO - FUE LA CONSTRUCCIÓN DE LOS MÓDULOS O PIÑAS QUE FORMAN LA ARMADURA ESPACIAL, YA QUE POR SU FORMA (VER FIGURAS E.1 Y E.2) PRESENTABAN CIERTA DIFICULTAD PARA QUE LOS ELEMENTOS SE LOGRARAN UNIR TENIENDO LOS ÁNGULOS REQUERIDOS Y UN ACOMPLAMIENTO DE LAS SUPERFICIES A UNIR PERFECTO, REQUISITO -

INDISPENSABLE PARA UN FUNCIONAMIENTO ESTRUCTURAL CORRECTO DE LA ARMADURA ESPACIAL. PARA SOLUCIONAR ESTE PROBLEMA SE TUVIERON QUE CALCULAR LOS ÁNGULOS DEL PLANO DE CORTE DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES DE LOS ELEMENTOS DIAGONALES QUE FORMABAN LOS MÓDULOS Y SUS DIMENSIONES FINALES.

A CONTINUACIÓN SE EXHIBEN, LA GEOMETRÍA DE UN ELEMENTO DIAGONAL EN EL ESPACIO Y SU PLANO DE CORTE (VER FIGURA E.3 Y E.4) Y EL PROCESO DE CÁLCULO PARA OBTENER LAS DIMENSIONES FINALES DE LOS ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DE LOS MÓDULOS PARA LAS DIFERENTES SECCIONES TRANSVERSALES QUE FORMAN LAS MISMAS.

OBTENCIÓN DEL ÁNGULO DEL PLANO DE CORTE DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES DE LOS ELEMENTOS DIAGONALES Y SUS DIMENSIONES FINALES.

PARA UNA SECCION TRANSVERSAL DE  $b = 6$  MM

$$D = 3.13 \quad \sqrt{2} = 4.426 \text{ CM}$$

$$c = 0.6 \quad \sqrt{2} = 0.848 \text{ CM}$$

POR TRIÁNGULO SEMEJANTES

$$\widehat{102} \sim \widehat{234}$$

$$\frac{0.848}{D'} = \frac{7.33}{L'} \Rightarrow L' = 8.64 D'$$



Y DEL TEOREMA DE PITÁGORAS

$$(L')^2 = (D-D')^2 + (7,33)^2$$

SUSTITUYENDO L' EN FUNCIÓN DE D' TENEMOS

$$(8,64)^2 - (D')^2 - D^2 - 2 D D' + (D')^2 + 53,73$$

$$74,65 (D')^2 - (D')^2 - 53,73 - 1959 + 8,852 D' = 0$$

$$73,69 (D')^2 + 8,852 D' - 73,32 = 0$$

$$(D')^2 + 0,12 D' - 0,995 = 0$$

$$D' = \frac{-0,12 \pm \sqrt{(0,12)^2 + 4 (1) (0,995)}}{2}$$

$$D'_1 = 0,939$$

$$D' = 0,94 \text{ CM}$$

=====

$$D'_2 = -2,118$$

DEL  $\widehat{102}$

$$\cos \alpha = \frac{0,848}{0,94} = 0,902$$

$$\alpha = \text{ÁNG} \cos (0,902) = 25,5^\circ$$

=====

$$L' = 8,11 \text{ CM}$$

=====

$$\overline{12} = \sqrt{(D')^2 - c^2} = \sqrt{(,094)^2 - (0.848)^2}$$

$$\overline{12} = 0.418 \text{ CM}$$

$$\text{TG } 25.50 = \frac{X}{0.6}$$

$$X = 0.6 \text{ TG } (25.50)$$

$$X = 0.286 \text{ CM}$$

SE EMPLEARÁN PARALELEPÍPEDOS DE SECCIÓN TRANSVERSAL-  
DE 0.6 X 0.6 CM Y LONGITUD  $L = 8.53$  CM Y SE HARÁN CORTES  
EN LOS EXTREMOS CON LA INCLINACIÓN Y DIMENSIONES DESCRIT-  
TOS.

PARA UNA SECCION TRANSVERSAL DE  $b = 5$  MM

$$D = 3.13 \sqrt{2} = 4.42 \text{ CM}$$

$$c = 0.5 \sqrt{2} = 0.7071 \text{ CM}$$

POR TRIÁNGULOS SEMEJANTES

$$\widehat{102} \sim \widehat{234}$$

$$\frac{0,7071}{D'} = \frac{7,33}{L'} \Rightarrow L' = 10,366 D'$$

$$(L')^2 = (D - D')^2 + (7,33)^2$$

SUST.  $L'$  EN FUNCIÓN DE  $D'$  TENEMOS

$$(10,366 D')^2 = D^2 - 2D D' + (D')^2 + 53,73$$

$$107,454 (D')^2 = (D')^2 - 53,73 - 19,59 + 8,852 D' = 0$$

$$106,454 (D')^2 + 8,852 D' - 73,32 = 0$$

$$D' = \frac{-0,08315 + \sqrt{(0,08315)^2 + 4(0,68875)}}{2}$$

$$D'_1 = 0,7894$$

$$D' = 0,79 \text{ CM}$$

=====

$$D'_2 = -0,872$$

DEL  $\hat{102}$

$$\cos \alpha = \frac{0,7071}{0,79} = 0,895$$

$$= \text{ANG COS}(0,895) = 26,48^\circ$$

=====

$$\underline{\underline{L' = 8.189 = 8.2 \text{ CM}}}$$

$$\underline{\underline{L2 = \sqrt{(D')^2 - c^2} = \sqrt{(0.79)^2 - (0.7071)^2}}}$$

$$\underline{\underline{L2 = 0.352 \text{ CM}}}$$

$$\text{Tg } 26.48^\circ = \frac{X}{0.5}$$

$$\underline{\underline{X = 0.249 \text{ CM}}}$$

SE EMPLEARON ELEMENTOS DE SECCIÓN TRANSVERSAL DE - -  
5 x 5 MM Y LONGITUD L = 8.54 CM Y SE HARÁN CORTES EN LOS-  
EXTREMOS CON LA INCLINACIÓN Y DIMENSIONES DESCRITAS.

PARA UNA SECCION TRANSVERSAL DE b = 4 MM

$$D = 3.13 \sqrt{2} = 4.426 \text{ CM}$$

$$c = 0.4 \sqrt{2} = 0.5657 \text{ CM}$$

POR TIRÁNGULOS SEMEJANTES

$$\widehat{102} \sim \widehat{234}$$

$$\frac{0,5657}{D'} = \frac{7,33}{L'} \Rightarrow L' = 12,9577 \cdot D'$$

$$(L')^2 = (D-D')^2 + (7,33)^2$$

SUSTITUYENDO L' EN FUNCIÓN DE D' TENEMOS

$$(12,958 D')^2 = D^2 - 2D \cdot D' + (D')^2 + 53,73$$

$$167,903 (D')^2 - (D')^2 - 33,73 - 19,59 + 8,852 D' = 0$$

$$166,903 (D')^2 + 8,852 D' - 73,32 = 0$$

$$(D')^2 + 0,053 D' - 0,4393 = 0$$

$$D' = \frac{-0,053 + \sqrt{(0,053)^2 + 4(0,4393)}}{2}$$

$$D'_1 = 0,6368 \text{ CM}$$

$$D' = 0,637 \text{ CM}$$

=====

$$D'_2 = -0,6898 \text{ CM}$$

DEL  $\hat{102}$

$$\cos \alpha = \frac{0,5657}{0,6368} = 0,888$$

$$\alpha = \text{ANG. COS. } (0,888) = 27,33^\circ$$

=====

$$L' = 8,251 \text{ CM}$$

=====

$$\overline{12} = \sqrt{(D')^2 - c^2} = \sqrt{(0,637)^2 - (0,5657)^2}$$

$$\overline{12} = 0,2928 \text{ CM}$$

=====

$$\text{TAN } 27,33 = \frac{X}{0,4}$$

$$X = 0,4 \text{ TAN } (27,33)$$

$$X = 0,2067 \text{ CM}$$

=====

SE EMPLEARÁN ELEMENTOS DE SECCIÓN TRANSVERSAL DE - -  
4 X 4 MM Y LONGITUD L = 8,544 CM Y SE HARÁN CORTES EN LOS  
EXTREMOS CON LA INCLINACIÓN Y DIMENSIONES DESCRITAS.

PARA UNA SECCION TRANSVERSAL DE B = 3 MM

$$D = 3,13 \quad \sqrt{2} = 4,426 \text{ CM}$$

$$c = 0,3 \quad \sqrt{2} = 0,4242 \text{ CM}$$

POR TRIÁNGULOS SEMEJANTES

$$\widehat{102} \sim \widehat{234}$$

$$\frac{0,4242}{D'} = \frac{7,33}{L'} = L' = 17,277 D'$$

$$(L')^2 = (D-D')^2 + (7,33)^2$$

SUST.  $L'$  EN FUNCIÓN DE  $D'$  TENEMOS

$$(17,277 D')^2 = D^2 - 2D D' + (D')^2 + 53,73$$

$$298,494 (D')^2 - (D')^2 + 8,852 D' - 53,73 - 19,59 = 0$$

$$297,494 (D')^2 + 8,852 D' - 73,32 = 0$$

$$(D')^2 + 0,0297 D' - 0,246 = 0$$

$$D' = \frac{-0,0297 + \sqrt{(0,0297)^2 + 4(0,246)}}{2}$$

$$D'_1 = 0,48 \text{ CM}$$

$$D' = 0,48 \text{ CM}$$

=====

$$D'_2 = -0,51 \text{ CM}$$

DEL  $\hat{102}$

$$\cos \alpha = \frac{0,4242}{0,4818} = 0,8805$$

$$\alpha = \text{ANG COS } (0,8806) = 28,28^\circ$$

=====

$$L' = 8,293 \text{ CM}$$

=====

$$\overline{12} = \sqrt{(D')^2 - c^2} = \sqrt{(0,48)^2 - (0,4242)^2}$$

$$\overline{12} = 0,2246 \text{ CM}$$

=====

$$\text{TG } 28,28^\circ = \frac{X}{0,3}$$

$$X = 0,3 \text{ TG } (28,28^\circ)$$

$$X = 0,161 \text{ CM}$$

=====

SE EMPLEARÁN ELEMENTOS DE SECCIÓN TRANSVERSAL DE - -  
 3 X 3 MM Y LONGITUD L = 8,5 CM Y SE HARÁN CORTES EN LOS -  
 EXTREMOS CON LA INCLINACIÓN Y DIMENSIONES DESCRITAS.



UNA VEZ CONSTRUIDOS LOS ELEMENTOS DIAGONALES, SE PROCEDIÓ A UNIRLOS PARA FORMAR LAS PIÑAS O MÓDULOS.

DEBIDO A LA GEOMETRÍA DE LOS MÓDULOS SE IDEÓ UN CONO TRUNCADO DE PLÁSTICO ACRÍLICO, (VER FIGURA E.5), EN EL -- QUE SE APOYARAN LOS ELEMENTOS DIAGONALES SOBRE LA SUPERFICIE LATERAL DEL CONO TRUNCADO, QUE TENÍA CUATRO GUÍAS EN FORMA DE CAHAL CON EL ÁNGULO REQUERIDO POR LOS ELEMENTOS DIAGONALES.

CON ESTE DISPOSITIVO SE LOGRARON LOS REQUISITOS DE -- PENDIENTE, SEPARACIÓN Y ÁNGULO PREESCRITOS EN EL DISEÑO.

UNA VEZ CONSTRUIDOS LOS MÓDULOS SE UNIERON A LA LOSA Y POSTERIORMENTE SE COLOCARON LOS MONTANTES EXTREMOS Y -- LAS CUERDAS INFERIORES. PARA UNIR TODOS LOS ELEMENTOS DEL MODELO SE EMPLEÓ UN ADHESIVO ESPECIAL PARA PEGAR ACRÍLICO CON LA RESISTENCIA ADECUADA, LLAMADO COMERCIALMENTE -- PEGACRIL EXTRA.

## DIMENSIONES DE LAS DIAGONALES

b	6.00
c	8.48
d	44.26
d'	9.40
L'	81.10
x	2.86
$\alpha$	25.5°
$\overline{12}$	4.18
$\alpha_1$	19.2°

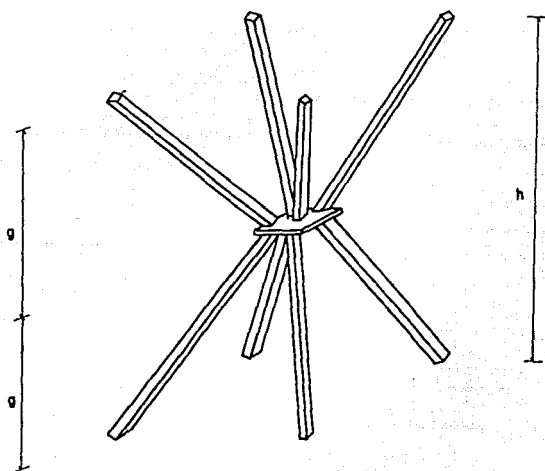
b	5.00
c	7.07
d	44.26
d'	7.90
L'	82.00
x	2.49
$\alpha$	26.48°
$\overline{12}$	3.52
$\alpha_1$	19.4°

b	4.00
c	5.66
d	44.26
d'	6.37
L'	82.51
x	2.07
$\alpha$	27.33°
$\overline{12}$	2.93
$\alpha_1$	20.1°

b	3.00
c	4.24
d	44.26
d'	4.80
L'	82.93
x	1.61
$\alpha$	28.28°
$\overline{12}$	2.25
$\alpha_1$	20.56°

DIM : m m

MODULO TIPO DE LA ARMADURA  
ESPACIAL

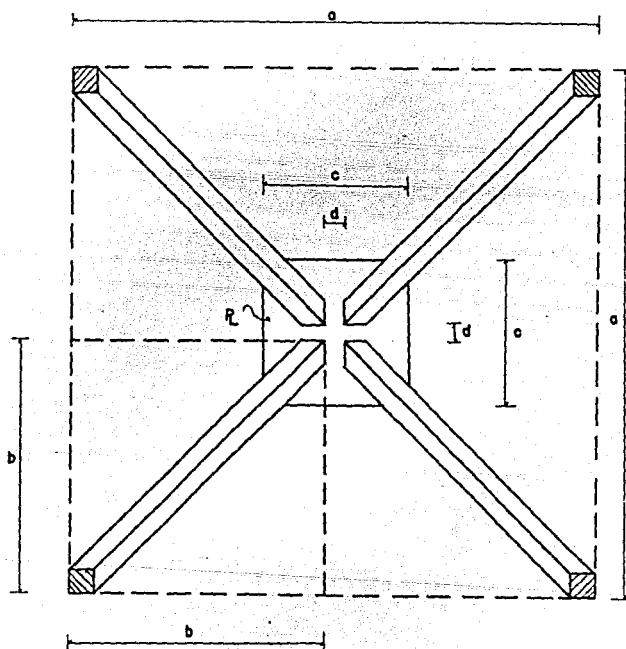


PROTOTIPO	
h	220 cm.
g	110 cm.

MODELO	
h	14.66 cm.
g	7.33 cm.

FIG. E.1

## MODULO TIPO DE LA ARMADURA ESPACIAL



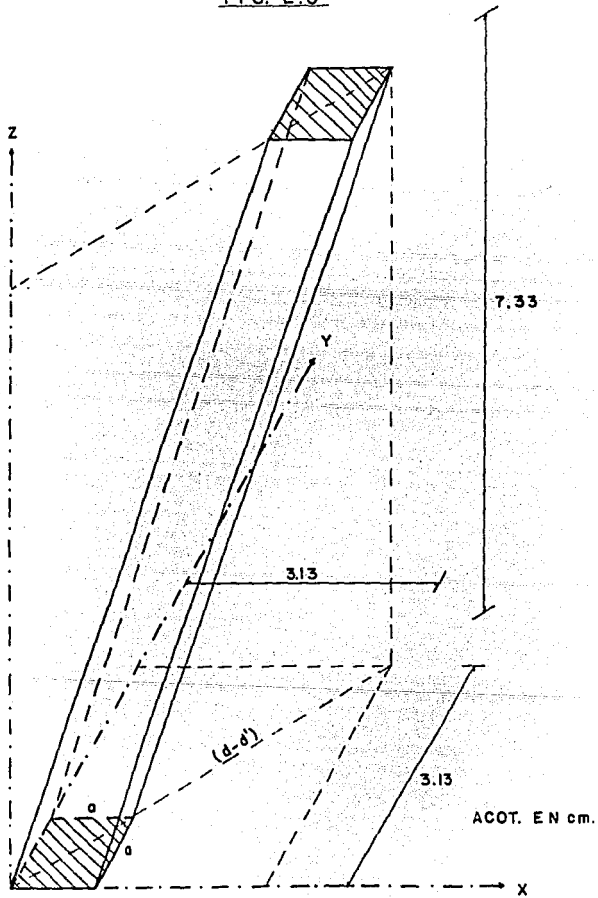
PLANTA

FIG. E.2

PROTOTIPO	
a	100 cm.
b	49 cm.
c	6.35 cm.
d	2 cm.

MODELO	
a	6.46 cm.
b	3.13 cm.
c	1.80 cm.
d	0.2 cm.

FIG. E.3



ELEMENTO DIAGONAL ESPACIAL

PLANO DE CORTE DE LAS DIAGONALES

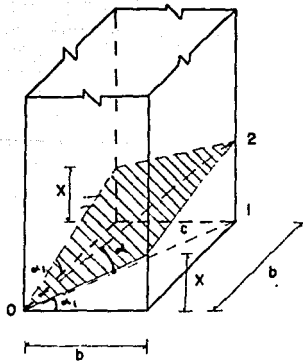
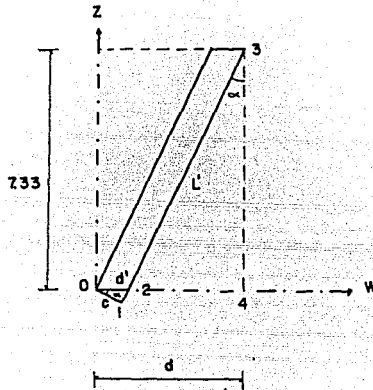


FIG. E. 4

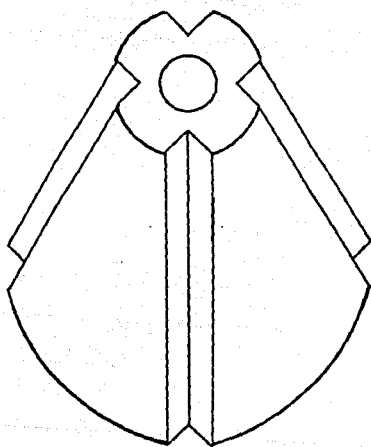


FIG. E.5 CONO TRUNCADO DE ACRILICO

#### IV INSTRUMENTACION DEL MODELO

UNA VEZ FABRICADOS EL MODELO DEL PUENTE Y EL DISPOSITIVO DE CARGA, SE PROCEDIÓ A LA INSTRUMENTACIÓN DEL - - - PUENTE.

LA INSTRUMENTACIÓN DEL MODELO SE PENSÓ PARA OBTENER-DEFORMACIONES Y DESPLAZAMIENTOS EN EL MISMO, PARA LOGRAR-ESTOS OBJETIVOS SE INSTRUMENTÓ CON EXTENSÓMETROS ELÉCTRICOS Y MICRÓMETROS MECÁNICOS, LOS PRIMEROS LEERÍAN DEFORMACIONES Y LOS SEGUNDOS DESPLAZAMIENTOS.

##### A) EXTENSÓMETROS ELÉCTRICOS.

BASADOS EN QUE EL PUENTE PRESENTA SIMETRÍA TANTO LONGITUDINAL COMO TRANSVERSAL, SE DECIDIÓ INSTRUMENTAR ÚNICAMENTE UN CUARTO DEL MODELO DEL PUENTE QUE SERÁ REPRESENTATIVO DEL MISMO.

EL MODELO SE INSTRUMENTÓ CON EXTENSÓMETROS UNIAXIALES DE RESISTENCIA ELÉCTRICA SR4 DEL TIPO KFP-5-C1-65, DE 120  $\Omega$  , MARCA KYOWA, PEGABLES EN ACRÍLICO.

SE COLOCARON EXTENSÓMETROS AL CENTRO, AL CUARTO Y EN EL APOYO DEL CLARO. LA POSICIÓN, IDENTIFICACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LOS EXTENSÓMETROS COLOCADOS, QUE HACEN UN TOTAL DE 223 PUNTOS INSTRUMENTADOS, SE EXHIBEN EN EL PLANO DE - INSTRUMENTACIÓN QUE SE MUESTRA AL FINAL DEL CAPÍTULO.



LOS EXTENSÓMETROS FUERON ADHERIDOS A LA SUPERFICIE - DE LOS ELEMENTOS POR MEDIO DE UNA RESINA EPÓXICA Y UN CATALIZADOR CON UN PROPORCIONAMIENTO DE 3 GOTAS DE CATALIZADOR POR UN GRAMO DE RESINA, DE MARCA MM BOND TIPO AE- -- 10/15.

LOS EXTENSÓMETROS SE PROTEGIERON CONTRA LOS EFECTOS- DE LA HUMEDAD CON UNA CAPA DE ACRÍLICO FLEXIBLE MARCA - - M-COAT.

COMO DE MUCHOS ESTUDIOS SE HA COMPROBADO QUE EL CIRCUITO DE UN CUARTO DE PUENTE PRESENTA INESTABILIDAD SE -- DEICIDIÓ EMPLEAR EN EL MODELO EL CIRCUITO DE MEDIO PUENTE DE WHEATSTONE QUE ES MUY ESTABLE.

PARA EVITAR ERRORES DE LECTURAS POR TEMPERATURA SE - COLOCARON 14 COMPENSADORAS POR TEMPERATURA PEGADAS EN UNA PLACA DE ACRÍLICO DEL MISMO ESPESOR Y MATERIAL DEL MODELO AL LADO DEL MISMO.

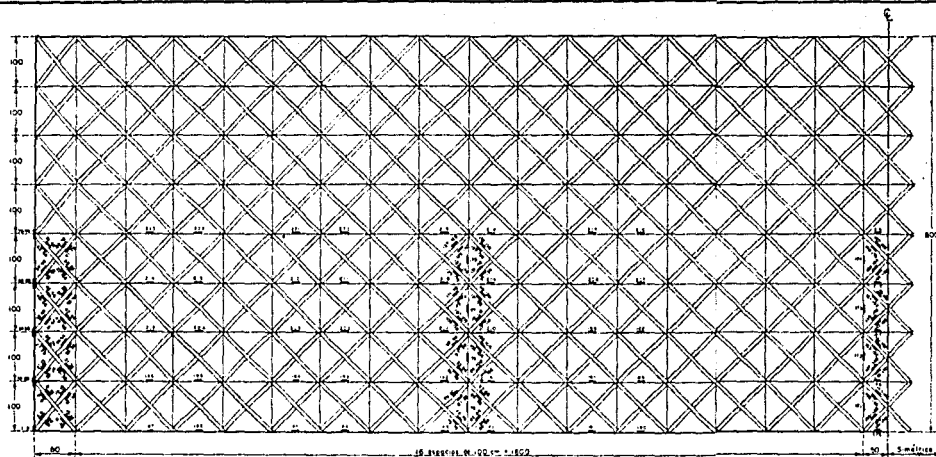
PARA EL ALAMBRADO DE LA INSTRUMENTACIÓN SE EMPLEÓ -- ALAMBRE CALIBRE 25.

EL ALAMBRADO DE LOS EXTENSÓMETROS SE UNIÓ A UNA PLACA CON TERMINALES INSTALADA EN UN EXTREMO DEL MODELO QUE NOS FACILITÓ LAS MANIOBRAS DE SOLDADURA DEL ALAMBRADO. DE LA PLACA DE TERMINALES SE HIZO OTRO ALAMBRADO A CUATRO -- CONMUTADORES TIPO SS-24R MARCA KIOWA, CON 24 CANALES CADA UNO, QUE A SU VEZ SE INTERCONECTARON CON UN PUENTE ANALÓGICO TIPO SM60AT DE LA MISMA MARCA, EL CUAL COMPLETABA EL PUENTE DE WHEATSTONE, Y NOS PROPORCIONABA POR MEDIO DE UN

**DIAL LAS LECTURAS DE DEFORMACIÓN.****B) MICRÓMETROS MECÁNICOS**

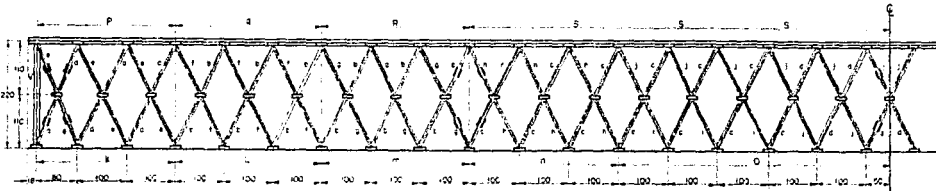
PARA CONOCER EL DESPLAZAMIENTO VERTICAL QUE SUFRIRÍA EL MODELO ANTE LAS DIFERENTES SOLICITACIONES DE CARGA SE OPTÓ POR COLOCAR MICRÓMETROS MECÁNICOS DE CARÁTULA CON -- APROXIMACIÓN DE CENTÉSIMA DE MÍLIMETRO Y CARRERA DE - - - 2,54 CM., DE MARCA CSE.

SE INSTALARON 3 MICRÓMETROS, POR ABAJO DE LA CUERDA-INFERIOR LONGITUDINAL CENTRAL DEL MODELO, AL CENTRO Y EN-LOS CUARTOS DEL CLARO.

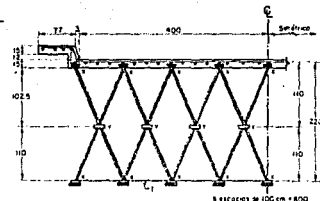


ESTRUCTURA ESPACIAL

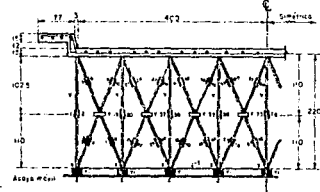
PLANTA ESTRUCTURAL



ELEVACION LONGITUDINAL

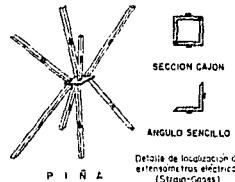


SECCION TRANSVERSAL



SECCION TRANSVERSAL EN APOSOS

ELEMENTO	SECCION
1	2 1/2 x 3/8"
2	2 1/2 x 3/8"
3	1/2 x 1/2 x 1/2"
4	1/2 x 1/2 x 1/2"
5	1/2 x 1/2 x 1/2"
6	1/2 x 1/2 x 1/2"
7	1/2 x 1/2 x 1/2"
8	1/2 x 1/2 x 1/2"
9	1/2 x 1/2 x 1/2"
10	1/2 x 1/2 x 1/2"
11	1/2 x 1/2 x 1/2"
12	1/2 x 1/2 x 1/2"
13	1/2 x 1/2 x 1/2"
14	1/2 x 1/2 x 1/2"
15	1/2 x 1/2 x 1/2"
16	1/2 x 1/2 x 1/2"
17	1/2 x 1/2 x 1/2"
18	1/2 x 1/2 x 1/2"
19	1/2 x 1/2 x 1/2"
20	1/2 x 1/2 x 1/2"
21	1/2 x 1/2 x 1/2"
22	1/2 x 1/2 x 1/2"
23	1/2 x 1/2 x 1/2"
24	1/2 x 1/2 x 1/2"
25	1/2 x 1/2 x 1/2"
26	1/2 x 1/2 x 1/2"
27	1/2 x 1/2 x 1/2"
28	1/2 x 1/2 x 1/2"
29	1/2 x 1/2 x 1/2"
30	1/2 x 1/2 x 1/2"
31	1/2 x 1/2 x 1/2"
32	1/2 x 1/2 x 1/2"
33	1/2 x 1/2 x 1/2"
34	1/2 x 1/2 x 1/2"
35	1/2 x 1/2 x 1/2"
36	1/2 x 1/2 x 1/2"
37	1/2 x 1/2 x 1/2"
38	1/2 x 1/2 x 1/2"
39	1/2 x 1/2 x 1/2"
40	1/2 x 1/2 x 1/2"
41	1/2 x 1/2 x 1/2"
42	1/2 x 1/2 x 1/2"
43	1/2 x 1/2 x 1/2"
44	1/2 x 1/2 x 1/2"
45	1/2 x 1/2 x 1/2"
46	1/2 x 1/2 x 1/2"
47	1/2 x 1/2 x 1/2"
48	1/2 x 1/2 x 1/2"
49	1/2 x 1/2 x 1/2"
50	1/2 x 1/2 x 1/2"
51	1/2 x 1/2 x 1/2"
52	1/2 x 1/2 x 1/2"
53	1/2 x 1/2 x 1/2"
54	1/2 x 1/2 x 1/2"
55	1/2 x 1/2 x 1/2"
56	1/2 x 1/2 x 1/2"
57	1/2 x 1/2 x 1/2"
58	1/2 x 1/2 x 1/2"
59	1/2 x 1/2 x 1/2"
60	1/2 x 1/2 x 1/2"
61	1/2 x 1/2 x 1/2"
62	1/2 x 1/2 x 1/2"
63	1/2 x 1/2 x 1/2"
64	1/2 x 1/2 x 1/2"
65	1/2 x 1/2 x 1/2"
66	1/2 x 1/2 x 1/2"
67	1/2 x 1/2 x 1/2"
68	1/2 x 1/2 x 1/2"
69	1/2 x 1/2 x 1/2"
70	1/2 x 1/2 x 1/2"
71	1/2 x 1/2 x 1/2"
72	1/2 x 1/2 x 1/2"
73	1/2 x 1/2 x 1/2"
74	1/2 x 1/2 x 1/2"
75	1/2 x 1/2 x 1/2"
76	1/2 x 1/2 x 1/2"
77	1/2 x 1/2 x 1/2"
78	1/2 x 1/2 x 1/2"
79	1/2 x 1/2 x 1/2"
80	1/2 x 1/2 x 1/2"
81	1/2 x 1/2 x 1/2"
82	1/2 x 1/2 x 1/2"
83	1/2 x 1/2 x 1/2"
84	1/2 x 1/2 x 1/2"
85	1/2 x 1/2 x 1/2"
86	1/2 x 1/2 x 1/2"
87	1/2 x 1/2 x 1/2"
88	1/2 x 1/2 x 1/2"
89	1/2 x 1/2 x 1/2"
90	1/2 x 1/2 x 1/2"
91	1/2 x 1/2 x 1/2"
92	1/2 x 1/2 x 1/2"
93	1/2 x 1/2 x 1/2"
94	1/2 x 1/2 x 1/2"
95	1/2 x 1/2 x 1/2"
96	1/2 x 1/2 x 1/2"
97	1/2 x 1/2 x 1/2"
98	1/2 x 1/2 x 1/2"
99	1/2 x 1/2 x 1/2"
100	1/2 x 1/2 x 1/2"



**PUENTE 'IXTAPA'**  
INSTRUMENTACION  
DISTRIBUCION DE EXTENSOMETROS

Elaborado: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_  
 Revisado: \_\_\_\_\_  
 Aprobado: \_\_\_\_\_

No. de Extensometros: \_\_\_\_\_  
 No. de Puntos: \_\_\_\_\_

No. de Extensometros: \_\_\_\_\_  
 No. de Puntos: \_\_\_\_\_

No

## V ENSAYE DEL MODELO FISICO

PARA LA OBSERVACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA, SE PENSÓ EN UNA COMBINACIÓN DE POSICIONES DE LOS -- DISPOSITIVOS DE CARGA QUE PRODUCESEN LAS MÁXIMAS SOLICITACIONES AL PUENTE, INDUCIENDO LOS MAYORES MOMENTOS Y - - - CORTANTES.

LAS POSICIONES DE LOS DISPOSITIVOS DE CARGA QUE SE - REALIZARON FUERON LAS SIGUIENTES:

- UN CAMIÓN AL CENTRO DEL CLARO.
- DOS CAMIONES EN SENTIDO CONTRARIO AL CENTRO DEL - -- CLARO.
- UN CAMIÓN CON SU EJE SENCILLO EN EL APOYO.
- UN CAMIÓN CON SU SEGUNDO EJE EN TANDEM EN EL APOYO.
- DOS CAMIONES EN SENTIDO CONTRARIO CON LAS POSICIONES DE CARGA DE LOS DOS PUNTOS ANTERIORES.

### A) OBTENCIÓN DE DEFORMACIONES UNITARIAS

UNA VEZ DEFINIDAS Y MARCADAS EN EL MODELO LAS POSI-- CIONES DE CARGA, SE PROCEDE A EFECTUAR LAS DIFERENTES - - PRUEBAS EN FORMA ESTÁTICA.

EXISTEN 2 PROCEDIMIENTOS PARA LLEVAR A CABO EL ENSA-- YE DE UN MODELO. A CONTINUACIÓN SE DESCRIBEN AMBOS:

### PROCEDIMIENTO 1

CADA UNA DE LAS PRUEBAS SE INICIA REGISTRANDO LA LECTURA DE DEFORMACIÓN EN CADA PUNTO INSTRUMENTADO. A ESTA LECTURA LE LLAMAREMOS ( $E_0$ ).

CABE ACLARAR QUE ESTA LECTURA ES SIN EL EFECTO DE LAS CARGAS POR PESO PROPIO Y POR CARGA VIVA.

ENSEGUIDA SE APLICA LA CARGA POR PESO PROPIO AL MODELO Y SE REGISTRARÁN LAS LECTURAS DE DEFORMACIÓN DE CADA PUNTO INSTRUMENTADO. A ESTAS LECTURAS LES LLAMAREMOS ( $E_1$ ).

CABE RECORDAR AL LECTOR QUE LAS LECTURAS DE DEFORMACIÓN DE CADA PUNTO Y SU VARIACIÓN SE OBTIENEN DIRECTAMENTE DE LA PANTALLA DEL DIAL DEL PUENTE DE WHEATSTONE.

LAS VARIACIONES EN LAS LECTURAS DE DEFORMACIÓN SE OBTIENEN RESTANDO  $E_0$  DE  $E_1$  Y LOS VALORES OBTENIDOS DE ESTA DIFERENCIA NOS MUESTRAN EL EFECTO DE EL PESO PROPIO EN LA ESTRUCTURA.

$$\Delta E = E_1 - E_0$$

EL SIGUIENTE PASO ES APLICAR LA CARGA VIVA Y REGISTRAR LOS VALORES DE LAS LECTURAS DE DEFORMACIÓN EN TODOS LOS PUNTOS INSTRUMENTADOS. A ESTA LECTURA LE LLAMAREMOS ( $E_2$ ).

PARA CONOCER LA DEFORMACIÓN QUE PRODUCE LA CARGA -- VIVA AL MODELO, DEBEMOS SUSTRAR  $E_1$  DE  $E_2$ .

ESTA DIFERENCIA MUESTRA EL EFECTO DE LA CARGA VIVA- EN LA ESTRUCTURA.

$$\Delta E = E_2 - E_1$$

A CONTINUACIÓN SE RETIRA LA CARGA VIVA Y SE DA UN -- CIERTO TIEMPO DE RECUPERACIÓN A LA ESTRUCTURA Y ENSEGUI- DA SE REGISTRAN LAS LECTURAS DE DEFORMACIÓN. A ESTAS LEC- TURAS LAS LLAMAREMOS ( $E_1'$ ), DEBO HACER NOTAR QUE ( $E_1'$ ) DE- BE SER IGUAL O MUY CERCANA A ( $E_1$ ), EN CASO CONTRARIO SE- DEBE REVISAR ESE PUNTO YA QUE HAY POSIBILIDAD DE ERROR.

UNA VEZ TOMADAS ESTAS LECTURAS SE PROCEDE A RETIRAR LA CARGA POR PESO PROPIO, DEJANDO TAMBIÉN UN TIEMPO PARA QUE LA ESTRUCTURA DISIPE LA ENERGÍA DE DEFORMACIÓN ALMA- CENADA DURANTE LA APLICACIÓN DE LA CARGA.

ENSEGUIDA SE REGISTRAN LAS LECTURAS DE DEFORMACIÓN- DE TODOS LOS PUNTOS INSTRUMENTADOS. A ESTAS LECTURAS LES LLAMAREMOS ( $E_0'$ ) E IGUAL QUE SE INDICA EN PÁRRAFOS ANTE-- RIORES DEBE SER IGUAL O MUY CERCANA A ( $E_0$ ) EN CASO CON-- TRARIO HAY QUE REVISAR EL PUNTO O REPETIR EL ENSAYE.

PARA EVITAR ERRORES DE LECTURAS O IMPREVISTOS ES -- RECOMENDABLE REPETIR EL ENSAYE CUANDO MENOS 3 VECES Y -- PROMEDIAR LAS LECTURAS DE DEFORMACIÓN OBTENIDAS PARA CA- DA ENSAYE CON SUS CORRESPONDIENTES.

## PROCEDIMIENTO 2

CUANDO NO ES POSIBLE POR ALGÚN MOTIVO APLICAR AL MISMO TIEMPO LAS CARGAS POR PESO PROPIO Y CARGA VIVA, SE PUEDEN REALIZAR DOS PRUEBAS POR SEPARADO; UNA QUE INDIQUE LA INFLUENCIA DEL PESO PROPIO EN LA ESTRUCTURA Y NOS PROPORCIONE UN FACTOR DE PREDICCIÓN EXPERIMENTAL PARA CORREGIR LA OTRA.

LA OTRA PRUEBA NOS MUESTRA LOS EFECTOS DEBIDOS A CARGA VIVA EN LA ESTRUCTURA SIN QUE INFLUYA EL PESO PROPIO.

### b) OBTENCIÓN FÍSICA DE FLECHAS EN EL MODELO

PARA LA OBTENCIÓN DE LAS FLECHAS FÍSICAS SE PROCEDIÓ A COLOCAR LOS DISPOSITIVOS DE CARGA DE ACUERDO A CADA POSICIÓN PREVISTA Y SE TOMARON LAS LECTURAS EN LOS MICRÓMETROS. ÉSTAS PRUEBAS SE REALIZARON AL MISMO TIEMPO QUE LAS HECHAS PARA OBTENCIÓN DE DEFORMACIONES, POR LO TANTO EL RESULTADO FUE EL PROMEDIO DE TRES LECTURAS, LOS RESULTADOS SE MUESTRAN ADELANTE.

### c) RESULTADOS

A CONTINUACIÓN SE MUESTRAN LOS RESULTADOS DEL ENSAYE DEL MODELO FÍSICO.

PRIMERAMENTE SE MUESTRAN LOS DESPLAZAMIENTOS PROVOCADOS POR LOS DIFERENTES CASOS DE CARGA.

ENSEGUIDA EN FORMA TABULADA SE MUESTRAN LAS DEFORMACIONES Y ESFUERZOS QUE REGISTRARON CADA UNO DE LOS PUNTOS INSTRUMENTADOS EN EL MODELO Y SU CONVERSIÓN MEDIANTE LAS RELACIONES OBTENIDAS EN EL ANÁLISIS DIMENSIONAL A LOS ESFUERZOS QUE TENDRÍA EL PROTOTIPO EN ESOS PUNTOS SI FUERA SOLICITADO CON CARGAS SEMEJANTES A LAS QUE SE APLICARON EN EL MODELO Y POR ÚLTIMO SE MUESTRA UN REGISTRO SOBRE LA INVERSIÓN DE ESFUERZOS EN CADA PUNTO DEBIDA A LA APLICACIÓN DE LAS CINCO CARGAS DIFERENTES.

RELACIONES EMPLEADAS PARA OBTENER RESULTADOS PARA OBTENER EL DESPLAZAMIENTOS EN EL PROTOTIPO,

$$\delta_P = \lambda \delta_M ; \quad \delta_P : \text{DESPLAZAMIENTO EN EL PROTOTIPO}$$

$$\delta_M : \text{DESPLAZAMIENTO EN EL MODELO}$$

$$\lambda : \text{ESCALA DE LÍNEAS} = 15$$

PARA OBTENER ESFUERZOS, ÁREAS, FUERZAS EN EL MODELO Y PROTOTIPO,

$$\sigma_M = E_M E_{OM} \quad \sigma_M : \text{ESFUERZO EN EL MODELO}$$

$$\sigma_M = \frac{F_M}{A_M} \quad E_M : \text{MOD. DE ELAST. EN EL MODELO}$$

$$E_{OM} : \text{DEFORMACIÓN UNITARIA EN EL MODELO}$$

$$F_P = K_F F_M \quad F_M : \text{FUERZA EN EL MODELO}$$

$$K_F : \text{ESCALA DE FUERZAS}$$

$$A_P = \lambda^2 A_M \quad F_P : \text{FUERZA EN EL PROTOTIPO}$$



$$\sigma_p = \frac{F_p}{A_p}$$

$A_M$  : ÁREA EN EL MODELO

$A_p$  : ÁREA EN EL PROTOTIPO

$\sigma_p$  : ESFUERZO EN EL PROTOTIPO

OBTENCION FISICA DE FLECHAS DEL PUENTE  
" IXTAPA "

Un camión al centro del claro (  $\longrightarrow$  )

$\frac{L}{4}$	Micro 1 :	-0.67 mm
$\frac{E}{2}$	Micro 2 :	-0.93 mm
$\frac{3}{4} L$	Micro 3 :	-0.57 mm

Dos camiones al centro del claro (encontrados) (  $\longleftrightarrow$  )

$\frac{L}{4}$	Micro 1 :	-1.27 mm
$\frac{E}{2}$	Micro 2 :	-1.86 mm
$\frac{3}{4} L$	Micro 3 :	-1.26 mm

Un camión en el apoyo (  $\longrightarrow$  )

$\frac{L}{4}$	Micro 1 :	-0.27 mm
$\frac{E}{2}$	Micro 2 :	-0.54 mm
$\frac{3}{4} L$	Micro 3 :	-0.52 mm

Un camión en el apoyo

( ← )

$$\frac{L}{4} \text{ Micro 1 : } -0.27 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{4} \text{ Micro 2 : } -0.54 \text{ mm}$$

$$\frac{3L}{4} \text{ Micro 3 : } -0.54 \text{ mm}$$

Dos camiones en el apoyo (encontrados)

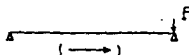
( ↔ )

$$\frac{L}{4} \text{ Micro 1 : } -0.55 \text{ mm}$$

$$\frac{L}{4} \text{ Micro 2 : } -1.10 \text{ mm}$$

$$\frac{3L}{4} \text{ Micro 3 : } -1.10 \text{ mm}$$

POSICION DE LA CARGA  
Nº 1



FECHA \_\_\_\_\_  
HOJA Nº \_\_\_\_\_

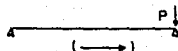
PUNTO	$\delta$	$\nabla_m$	$A_m$	$F_m$	$F_p$	$A_p$	$\nabla_p$
1	- 5	-0.14	0.5734	-0.08	- 161	15.76	- 10
2	- 60	-1.68	0.5734	-0.96	-1,935	15.76	-123
3	- 50	-1.40	0.3442	-0.48	- 968	9.22	-105
4	-140	-3.92	0.3442	-1.35	-2,711	9.22	-294
5	35	0.98	0.2169	0.21	427	5.81	73
6	70	1.96	0.2169	0.43	854	5.81	147
7	0	0	0.3442	0	0	9.22	0
8	- 80	- 2.24	0.3442	-0.77	-1,549	9.22	-168
9	- 65	1.82	0.2169	0.39	793	5.81	136
10	70	1.96	0.2169	0.43	854	5.81	147
11	195	5.46	0.2169	1.18	2,379	5.81	409
12	35	0.98	0.2169	0.21	427	5.81	73
13	-115	-3.22	0.3442	-1.11	-2,227	9.22	-241
14	- 10	-0.28	0.3442	-0.10	- 194	9.22	- 21
15	40	1.12	0.2169	0.24	488	5.81	84
16	0	0	0.2169	0	0	5.81	0
17	- 80	-2.24	0.3442	-0.77	-1,549	9.22	-115
18	- 55	-1.54	0.3442	-0.53	-1,055	9.22	-115
19	- 15	-0.42	0.5734	-0.24	488	15.76	- 31
20	0	0	0.5734	0	0	15.76	0
21	- 10	-0.28	0.3442	-0.10	- 194	9.22	- 21
22	- 80	-2.24	0.3442	-0.77	-1,549	9.22	-168
23	-210	-5.88	0.2169	-1.28	-2,562	5.81	-441
24	85	2.58	0.2169	0.52	1,037	5.81	178
25	0	0	0.3442	0	0	9.22	0
26	- 85	-2.38	0.3442	-0.82	-1,646	9.22	178
27	15	0.42	0.2169	0.09	183	5.81	31
28	105	2.94	0.2169	0.64	1,281	5.81	220
29	90	2.52	0.2169	0.55	1,098	5.81	189
30	60	1.68	0.2169	0.36	732	5.81	126

POSICION DE LA CARGA  
N.º 1

P1  
1  
FECHA  
HOJA N.º 2

PUNTO	S	$V_m$	$A_m$	$F_m$	$F_D$	$A_D$	$V_D$
31	-100	-2.80	0.3442	-0.96	-1.936	9.22	-210
32	-30	-0.84	0.3442	-0.29	-581	9.22	-63
33	55	1.54	0.2169	0.33	671	5.81	115
34	20	0.56	0.2169	0.12	244	5.81	42
35	-105	-2.94	0.3442	-1.01	-2.033	9.22	-220
36	-30	-0.84	0.3442	-0.29	-581	9.22	-63
37	-40	-1.12	0.5734	-0.64	-1.290	15.76	-82
38	-40	-1.12	0.5734	-0.64	-1.290	15.76	-82
39	-110	-3.08	0.3442	-1.06	-2.130	9.22	-231
40	-125	-3.50	0.3442	-1.20	-2.420	9.22	-262
41	10	0.28	0.2169	0.06	122	5.81	21
42	75	2.10	0.2169	0.46	915	5.81	157
43	-25	-0.70	0.3442	-0.24	-484	9.22	-52
44	-110	-3.08	0.3442	-1.06	-2.130	9.22	-231
45	0	0	0.2169	0	0	5.81	0
46	60	1.68	0.2169	0.36	732	5.81	126
47	70	1.96	0.2169	0.43	854	5.81	147
48	50	1.40	0.2169	0.30	610	5.81	105
49	-100	-2.80	0.3442	-0.96	-1.936	9.22	-210
50	-30	-0.84	0.3442	-0.29	-581	9.22	-63
51	65	1.82	0.2169	0.39	793	5.81	136
52	120	3.36	0.2169	0.73	1.464	5.81	252
53	-115	-3.22	0.3442	-1.11	-2.227	9.22	-241
54	-55	-1.54	0.3442	-0.53	-1.065	9.22	-115
55	-55	-1.54	0.5734	-0.88	-1.774	15.76	-115
56	-25	-0.70	0.5734	-0.40	-806	15.76	-51
57	0	0	0.3442	0	0	9.22	0
58	-110	-3.08	0.3442	-1.06	-2.130	9.22	-231
59	-10	-0.28	0.2169	-0.06	-122	5.81	-21
60	60	1.68	0.2169	0.36	732	5.81	126

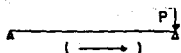
POSICION DE LA CARGA  
Nº 1



FECHA  
HOJA Nº 3

PUNTO	$\delta$	$\nabla_m$	$A_m$	$F_m$	$F_p$	$A_p$	$\nabla_p$
61	20	0.56	0.3442	0.19	387	9.22	42
62	-120	-3.36	0.3442	-1.16	-2.323	9.22	-252
63	5	0.14	0.2169	-0.03	61	5.81	10
64	90	2.52	0.2169	0.55	1.098	5.81	189
65	35	2.38	0.2169	0.52	1.037	5.81	178
66	110	3.08	0.2169	0.67	1.342	5.81	251
67	-90	-2.52	0.3442	-0.37	-1.743	9.22	-189
68	-15	-0.42	0.3442	-0.14	-290	9.22	-31
69	150	4.20	0.2169	0.91	1.930	5.81	315
70	30	0.56	0.2169	0.12	244	5.81	42
71	-105	-2.94	0.3442	-1.01	-2.033	9.22	-220
72	-30	-0.34	0.3442	-0.29	-581	9.22	-63
73	-30	-0.84	0.5734	-0.48	-968	15.76	-61
74	-10	-0.28	0.5734	-0.16	-323	15.76	-20
75	70	1.96	0.1643	0.32	647	4.40	147
76	50	1.40	0.1643	0.23	462	4.40	105
77	-20	-0.56	0.2315	-0.13	-260	6.20	0
78	0	0	0.2315	0	0	6.20	0
79	40	1.12	0.1643	0.18	370	4.40	84
80	35	0.98	0.1643	0.16	323	4.40	74
81	-100	-2.8	0.2315	-0.65	-1,502	6.20	-210
82	-10	-0.28	0.2315	-0.06	-130	6.20	-21
83	0	0	0.1747	0	0	4.68	0
84	-25	-0.70	0.1747	-0.12	-246	4.68	-52
85	15	0.42	0.1281	0.05	108	3.43	32
86	60	1.68	0.1281	0.22	432	3.43	126
87	30	0.84	0.1747	0.15	295	4.68	63
88	-20	-0.56	0.1747	-0.10	-197	4.68	-42
89	45	1.26	0.1281	0.16	324	3.43	95
90	60	1.68	0.1281	0.22	432	3.43	126

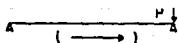
POSICION DE LA CARGA  
No 1



FECHA  
HOJA N° 4

PUNTO	S	$\bar{v}_m$	$A_m$	$F_m$	$F_p$	$A_p$	$\bar{v}_p$
91	140	3.92	0.1643	0.64	1.294	4.40	294
92	120	3.36	0.1643	0.55	1.109	4.40	252
93	- 30	-0.84	0.2315	-0.19	- 391	6.20	- 63
94	10	0.28	0.2315	-0.06	130	6.20	21
95	70	1.96	0.1643	0.32	647	4.40	147
96	55	1.54	0.1643	0.25	508	4.40	116
97	- 15	-0.42	0.2315	-0.10	- 195	6.20	- 32
98	15	0.42	0.2315	0.10	195	6.20	32
99	10	0.28	0.1747	0.05	98	4.68	21
100	- 35	-0.98	0.1747	-0.17	- 344	4.68	- 75
101	20	0.56	0.1281	0.07	144	3.43	42
102	60	1.68	0.1281	0.22	432	3.43	126
103	10	0.28	0.1747	-0.05	98	4.68	21
104	- 25	-0.70	0.1747	-0.12	- 246	4.68	- 52
105	40	1.12	0.1281	0.14	288	3.43	84
106	7	1.96	0.1281	0.25	504	3.43	147
107	55	1.54	0.1643	0.25	508	4.40	116
108	70	1.96	0.1643	0.32	647	4.40	147
109	- 20	-0.56	0.2315	-0.13	- 260	6.20	- 42
110	30	0.84	0.2315	0.19	391	6.20	63
111	60	1.68	0.1643	0.28	555	4.40	126
112	25	0.70	0.1643	0.12	231	4.40	53
113	- 30	0.84	0.2315	-0.19	- 391	6.20	- 63
114	20	0.56	0.2315	0.13	260	6.20	42
115	0	0	0.1747	0	0	4.68	0
116	- 50	-1.40	0.1747	-0.24	- 491	4.68	-105
117	35	0.98	0.1281	0.13	252	3.43	74
118	80	2.24	0.1281	0.29	576	3.43	168
119	10	0.28	0.1747	0.05	98	4.68	21
120	- 25	-0.70	0.1747	-0.12	- 246	4.68	- 52

POSICION DE LA CARGA  
N.º 1

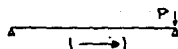


FECHA  
HOJA N.º 5

PUNTO	$\delta$	$\nabla_m$	$A_m$	$F_m$	$F_p$	$\Delta_p$	$\nabla_p$
121	40	1.12	0.1281	0.11	288	3.43	81
122	20	0.56	0.1281	0.07	144	3.43	42
123	70	1.96	0.1643	0.32	617	4.40	147
124	70	1.96	0.1643	0.32	617	4.40	147
125	0	0	0.2315	0	0	6.20	0
126	30	0.84	0.2315	0.19	391	6.20	63
127	50	1.40	0.1643	0.23	462	4.40	105
128	30	0.84	0.1643	0.14	277	4.40	63
129	-15	-0.42	0.2315	-0.10	-195	6.20	-32
130	10	0.28	0.2315	0.06	130	6.20	21
131	-15	-0.42	0.1747	-0.07	-147	4.68	-31
132	-60	-1.68	0.1747	-0.29	-590	4.68	-126
133	20	0.56	0.1281	0.07	144	3.43	42
134	80	2.24	0.1281	0.29	576	3.43	168
135	5	0.14	0.1747	0.02	49	4.68	10
136	-30	-0.84	0.1747	-0.15	-295	4.68	-63
137	30	0.84	0.1281	0.11	216	3.43	63
138	70	1.96	0.1281	0.25	504	3.43	147
139	50	0.84	0.1441	0.12	245	3.86	63
140	140	3.92	0.1441	0.56	1,135	3.86	294
141	20	0.56	0.0721	0.04	81	1.93	42
142	-50	-1.40	0.0721	-0.10	-205	1.93	-105
143	10	0.28	0.1441	0.04	81	3.86	21
144	70	1.96	0.1441	0.28	567	3.86	147
145	10	0.28	0.0721	0.02	41	1.93	21
146	-10	-0.28	0.0721	-0.02	-41	1.93	-21
147	20	0.56	0.1441	0.08	162	3.86	42
148	70	1.96	0.1441	0.28	567	3.86	147
149	0	0	0.0721	0	0	1.93	0
150	-40	-1.12	0.0721	-0.08	-162	1.93	-84



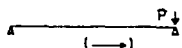
POSICION DE LA CARGA  
N.º 1



FECHA \_\_\_\_\_  
HOJA N.º 6

PUNTO	$\delta$	$\bar{v}_m$	$A_m$	$F_m$	$F_p$	$A_p$	$\bar{v}_p$
151	20	0.56	0.1441	0.08	162	3.86	42
152	50	1.40	0.1441	0.20	405	3.86	105
153	0	0	0.0721	0	0	1.93	0
154	-40	-1.12	0.0721	-0.08	-162	1.93	-34
155	30	0.84	0.1441	0.12	243	3.86	63
156	70	1.96	0.1441	0.28	567	3.86	147
157	50	0.84	0.0721	0.06	122	1.93	63
158	-60	-1.68	0.0721	-0.12	-243	1.93	-126
159	20	0.56	0.1441	0.08	162	3.86	42
160	80	2.24	0.1441	0.32	648	3.86	168
161	10	0.28	0.0721	0.02	41	1.93	21
162	-60	-1.68	0.0721	-0.12	-243	1.93	-126
163	30	0.84	0.1441	0.12	243	3.86	63
164	50	1.40	0.1441	0.20	405	3.86	105
165	0	0	0.0721	0	0	1.93	0
166	-40	-1.12	0.0721	-0.08	-162	1.93	-34
167	40	1.12	0.1441	0.16	324	3.86	84
168	90	2.52	0.1441	0.36	730	3.86	189
169	10	0.28	0.0721	0.02	41	1.93	21
170	60	1.68	0.0721	0.12	243	1.93	126
171	10	0.28	0.0743	0.02	42	1.99	21
172	0	0	0.0743	0	0	1.99	0
173	20	0.56	0.0743	0.04	84	1.99	42
174	35	0.98	0.0743	0.07	146	1.99	74
175	-5	-0.14	0.0743	-0.01	-21	1.99	-11
176	90	2.52	0.0743	0.19	376	1.99	189
177	25	0.70	0.0743	0.05	104	1.99	53
178	40	1.12	0.0743	0.08	167	1.99	84
179	120	3.36	1.7023	5.72	11,491	45.60	252
180	60	1.68	1.7023	2.86	5,745	45.60	126

POSICION DE LA CARGA  
N.º 1

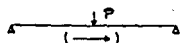


FECHA  
HOJA Nº

PUNTO	S	$\bar{V}_m$	$A_m$	$F_m$	$F_p$	$A_p$	$\bar{V}_p$
181	45	1.26	1.5732	1.98	3.982	42.14	94
182	60	1.68	1.5732	2.64	5.310	42.14	126
183	55	1.54	1.3148	2.02	4.068	35.22	115
184	50	1.40	1.3148	1.84	3.698	35.22	105
185	50	1.40	0.9714	1.36	2.732	26.02	105
186	35	0.98	0.9714	0.95	1.912	26.02	73
187	90	2.52	0.5271	1.33	2.668	14.12	189
188	60	1.68	1.7023	2.86	5.745	45.60	126
189	75	2.10	1.7023	3.57	7.182	45.60	157
190	75	2.10	1.5732	3.30	6.637	42.14	157
191	85	2.38	1.5732	3.74	7.522	42.14	178
192	75	2.10	1.3148	2.70	5.547	35.22	157
193	65	1.82	1.3148	2.39	4.807	35.22	136
194	60	1.68	0.9714	1.63	3.278	26.02	126
195	45	1.26	0.9714	1.22	2.459	26.02	94
196	45	1.26	0.5271	0.66	1.334	14.12	94
197	100	4.48	1.7023	7.63	15.321	45.60	336
198	100	2.80	1.7023	4.77	9.575	45.60	210
199	100	2.80	1.5732	4.40	8.849	42.14	210
200	180	5.04	1.5732	7.93	15.929	42.14	378
201	110	3.08	1.3148	4.05	9.135	35.22	231
202	80	2.24	1.3148	2.95	5.917	35.22	168
203	60	1.68	0.9714	1.63	3.278	26.02	126
204	60	1.68	0.9714	1.63	3.278	26.02	126
205	40	1.12	0.5271	0.59	1.136	14.12	84
206	155	4.34	1.7023	7.39	14.842	45.60	325
207	100	2.80	1.7023	4.77	9.575	45.60	210
208	170	4.76	1.5732	7.49	15.044	42.14	357
209	220	6.16	1.5732	9.69	19.468	42.14	462
210	120	3.36	1.3148	4.42	8.875	35.22	252



POSICION DE LA CARGA  
N.º 2

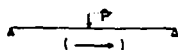


FECHA  
HOJA N.º

1

PUNTO	$\delta$	$\nabla_m$	$A_m$	$F_m$	$F_D$	$A_D$	$\nabla_D$
1	- 5	-0.14	0.5734	-0.09	- 161	15.76	- 10
2	0	0	0.5734	0	0	15.76	0
3	10	0.28	0.3442	0.10	194	9.22	21
4	-150	-4.20	0.3442	-1.45	-2,904	9.22	-315
5	- 20	-0.56	0.2169	-0.12	- 244	5.81	- 42
6	60	1.68	0.2169	0.36	732	5.81	126
7	30	0.84	0.3442	0.29	581	9.22	63
8	-125	-3.50	0.3442	-1.20	-2,420	9.22	-262
9	- 15	-0.42	0.2169	-0.09	- 183	5.81	- 31
10	60	1.68	0.2169	0.36	732	5.81	126
11	55	1.54	0.2169	0.33	671	5.81	115
12	35	0.98	0.2169	0.21	427	5.81	73
13	- 90	-2.52	0.3442	-0.87	-1,745	9.22	-189
14	- 30	-0.84	0.3442	0.29	- 581	9.22	- 63
15	30	0.84	0.2169	0.18	366	5.81	63
16	0	0	0.2169	0	0	5.81	0
17	- 80	-2.24	0.3442	-0.77	-1,549	9.22	-168
18	- 25	-0.70	0.3442	-0.24	- 484	9.22	- 52
19	- 10	-0.28	0.5734	-0.16	- 323	15.76	- 20
20	- 5	-0.14	0.5734	-0.08	- 161	15.76	- 10
21	25	0.70	0.3442	0.24	484	9.22	52
22	-135	-3.78	0.3442	-1.30	-2,614	9.22	-283
23	- 15	-0.42	0.2169	-0.09	- 183	5.81	- 31
24	50	1.40	0.2169	0.30	610	5.81	105
25	-160	-4.48	0.3442	-1.54	-3,098	9.22	-336
26	145	4.06	0.3442	1.40	2,507	9.22	304
27	20	0.56	0.2169	0.12	244	5.81	42
28	- 70	-1.96	0.2169	-0.43	- 854	5.81	-147
29	- 55	-1.54	0.2169	-0.33	- 671	5.81	-115
30	- 45	-1.26	0.2169	-0.27	- 549	5.81	- 94

POSICION DE LA CARGA  
N.º 2



FECHA  
HOJA N.º 2

PUNTO	6	$\nabla_m$	$A_m$	$F_m$	$F_D$	$A_D$	$\nabla_D$
31	50	1.40	0.3442	0.48	968	9.22	105
32	- 20	0.56	0.3442	0.19	387	9.22	42
33	- 30	-0.84	0.2169	-0.18	- 366	5.81	- 63
34	- 20	-0.56	0.2169	-0.12	- 244	5.81	- 42
35	45	1.26	0.3442	0.43	871	9.22	94
36	- 10	-0.28	0.3442	-0.10	- 194	9.22	- 21
37	- 45	-1.26	0.5734	-0.72	-1,451	15.76	- 92
38	- 60	-1.68	0.5734	-0.96	-1,935	15.76	-123
39	- 85	-2.38	0.3442	-0.82	-1,646	9.22	-178
40	-130	-3.64	0.3442	-1.25	-2,517	9.22	-273
41	40	1.12	0.2169	0.24	488	5.81	84
42	- 80	-2.24	0.2169	-0.49	- 976	5.81	-168
43	-100	-2.80	0.3442	-0.96	-1,936	9.22	-210
44	150	4.20	0.3442	1.45	2,904	9.22	315
45	115	3.22	0.2169	0.70	1,403	5.81	241
46	- 95	-2.66	0.2169	-0.58	-1,159	5.81	-199
47	- 70	-1.96	0.2169	-0.43	- 854	5.81	-147
48	- 55	-1.54	0.2169	-0.33	- 671	5.81	-115
49	40	1.12	0.3442	0.39	774	9.22	84
50	- 10	-0.28	0.3442	-0.10	- 194	9.22	- 21
51	- 15	-0.42	0.2169	-0.09	- 183	5.81	- 31
52	- 10	-0.28	0.2169	-0.06	- 122	5.81	- 21
53	40	1.12	0.3442	0.39	774	9.22	84
54	- 10	-0.28	0.3442	-0.10	- 194	9.22	- 21
55	-100	-2.80	0.5734	-1.61	-3,225	15.76	-205
56	- 40	-1.12	0.5734	-0.64	-1,290	15.76	- 82
57	-100	-2.80	0.3442	-0.96	-1,936	9.22	-210
58	-120	-3.36	0.3442	-1.16	-2,323	9.22	-252
59	45	1.26	0.2169	0.27	549	5.81	94
60	- 60	-1.68	0.2169	-0.36	- 732	5.81	-126

POSICION DE LA CARGA  
N.º 2



FECHA \_\_\_\_\_  
HOJA N.º \_\_\_\_\_

PUNTO	6	$\nabla_m$	$A_m$	$F_m$	$F_D$	$A_D$	$\nabla_D$
61	-100	-3.90	0.3442	-0.96	-1.936	9.22	-210
62	150	4.20	0.3442	1.45	2.904	9.22	315
63	10	0.28	0.2169	0.06	122	5.81	21
64	-80	-2.24	0.2169	-0.49	-976	5.81	-169
65	-50	-1.40	0.2169	-0.30	-610	5.81	-94
66	-140	-3.92	0.2169	-0.85	-1.708	5.81	-105
67	25	0.70	0.3442	0.24	484	9.22	52
68	0	0	0.3442	0	0	9.22	0
69	-25	-0.70	0.2169	-0.15	-305	5.81	-52
70	-20	-0.56	0.2169	-0.12	-244	5.81	-42
71	35	0.98	0.3442	0.34	678	9.22	73
72	10	0.28	0.3442	0.10	104	9.22	21
73	-20	-0.56	0.5734	-0.32	-635	15.76	-41
74	-25	-0.56	0.5734	-0.40	-806	15.76	-51
75	-120	-3.36	0.1645	-0.55	-1.109	4.40	-252
76	-50	-1.40	0.1645	-0.23	-462	4.40	-105
77	30	0.84	0.2315	0.19	391	6.20	63
78	-90	-2.52	0.2315	-0.58	-1.172	6.20	-189
79	-90	-2.52	0.1645	-0.41	-852	4.40	-189
80	-10	-0.28	0.1645	-0.05	-97	4.40	-21
81	30	0.84	0.2315	0.19	391	6.20	63
82	-10	-0.28	0.2315	-0.06	-130	6.20	-21
83	20	0.56	0.1747	0.10	187	4.68	42
84	100	2.80	0.1747	0.49	983	4.68	210
85	-45	-1.26	0.1251	-0.15	-324	3.45	-85
86	-110	-3.05	0.1251	-0.39	-793	3.45	-231
87	-95	-2.66	0.1747	-0.50	-934	4.68	-189
88	120	3.36	0.1747	0.59	1.179	4.68	252
89	-50	-1.40	0.1251	-0.13	-360	3.45	-105
90	-110	-3.03	0.1251	-0.39	-793	3.45	-231

POSICION DE LA CARGA  
N.º 2



FECHA \_\_\_\_\_  
HOJA N.º \_\_\_\_\_

PUNTO	S	$V_m$	$A_m$	$F_m$	$F_p$	$A_p$	$V_p$
91	-130	-5.04	0.1643	-0.83	-1.664	4.40	-378
92	-155	-4.31	0.1643	-0.71	-1.432	4.40	-376
93	25	0.70	0.2315	0.16	326	6.20	53
94	-25	-0.70	0.2315	-0.16	-326	6.20	-53
95	-105	-2.94	0.1643	-0.44	-970	4.40	-221
96	-40	-1.12	0.1643	-0.19	-370	4.40	-34
97	-95	-2.56	0.2315	-0.62	-1.237	6.20	-200
98	-60	-1.63	0.2315	-0.39	-781	6.20	-126
99	-35	-0.98	0.1747	-0.17	-344	4.68	-75
100	-120	-3.36	0.1747	-0.59	-1.179	4.68	-252
101	-30	-0.34	0.1281	-0.11	-216	3.43	-63
102	45	1.26	0.1281	-0.16	324	3.43	95
103	-55	-1.54	0.1747	-0.27	-540	4.68	-115
104	-170	-4.76	0.1747	-0.83	-1.671	4.68	-357
105	-5	-0.14	0.1281	-0.02	-36	3.43	-11
106	75	2.10	0.1281	0.27	540	3.43	158
107	35	0.99	0.1643	0.16	323	4.40	74
108	25	0.70	0.1643	0.12	231	4.40	53
109	-120	-3.36	0.2315	-0.78	-1.563	6.20	-252
110	-40	-1.12	0.2315	-0.26	-521	6.20	-84
111	20	0.56	0.1643	0.09	185	4.40	42
112	-10	-0.28	0.1643	-0.05	-92	4.40	-21
113	-120	-3.36	0.2315	-0.78	-1.563	6.20	-252
114	-60	-1.68	0.2315	-0.39	-781	6.20	-126
115	-60	-1.68	0.1747	-0.29	-590	4.68	-126
116	-130	-5.04	0.1747	-0.85	-1.769	4.68	-373
117	-10	-0.28	0.1281	-0.04	-72	3.43	-21
118	65	1.82	0.1281	0.23	468	3.43	157
119	-35	-1.26	0.1747	-0.22	-447	4.68	-94
120	-130	-5.04	0.1747	-0.85	-1.769	4.68	-378

POSICION DE LA CARGA

Nº 2

( ← )

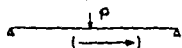
FECHA

Nº 5

PUNTO	6	$\Delta M$	$A_m$	$F_m$	$F_D$	$A_D$	$V_D$
121	40	1.12	0.1281	0.14	288	3.43	54
122	90	2.52	0.1281	0.32	649	3.43	189
123	110	3.08	0.1643	0.51	1,017	4.40	231
124	75	2.10	0.1643	0.55	693	4.40	158
125	-180	-5.04	0.2315	-1.17	-2,344	6.20	-578
126	5	0.14	0.2315	0.03	65	6.20	11
127	60	1.68	0.1643	0.28	555	4.40	126
128	30	0.84	0.1643	0.14	277	4.40	63
129	-70	-1.96	0.2315	-0.45	-912	6.20	-147
130	-10	-0.28	0.2315	-0.06	-130	6.20	-21
131	-55	-1.54	0.1747	-0.27	-340	4.68	-115
132	-125	-3.50	0.1747	-0.61	-1,128	4.68	-262
133	15	0.42	0.1281	0.03	108	3.43	32
134	120	3.36	0.1281	0.43	865	3.43	252
135	-10	-0.28	0.1747	-0.05	-98	4.68	-21
136	-85	-2.38	0.1747	-0.42	-835	4.68	-178
137	30	0.84	0.1281	0.11	216	3.43	63
138	120	3.36	0.1281	0.43	865	3.43	252
139	0	0	0.1441	0	0	3.86	0
140	80	2.24	0.1441	0.32	648	3.86	168
141	65	1.82	0.0721	0.15	264	1.93	137
142	80	2.24	0.0721	0.16	324	1.93	168
143	0	0	0.1441	0	0	3.86	0
144	10	0.28	0.1441	0.04	81	3.86	21
145	20	0.56	0.0721	0.04	81	1.93	42
146	20	0.56	0.0721	0.04	81	1.93	42
147	-35	-0.98	0.1441	-0.14	-284	1.93	-75
148	-20	-0.56	0.1441	-0.08	-162	3.86	-42
149	70	1.96	0.0721	0.14	284	1.93	147
150	130	3.64	0.0721	0.26	327	1.93	253



POSICION DE LA CARGA  
N.º 2

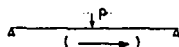


FECHA  
HOJA N.º

6

PUNTO	S	$\nabla_m$	$A_m$	$F_m$	$F_p$	$A_p$	$\nabla_p$
151	10	0.28	0.1441	0.04	81	3.86	21
152	0	0	0.1441	0	0	3.86	0
153	10	-0.28	0.0721	0.02	41	1.93	21
154	30	0.84	0.0721	0.06	122	1.93	63
155	-10	-0.28	0.1441	-0.04	-81	3.86	-21
156	0	0	0.1441	0	0	3.86	0
157	50	1.40	0.0721	0.10	203	1.93	105
158	40	1.12	0.0721	0.08	162	1.93	84
159	20	0.56	0.1441	0.08	162	3.86	42
160	25	0.70	0.1441	0.10	203	3.86	52
161	20	0.56	0.0721	0.04	81	1.93	42
162	10	0.28	0.0721	0.02	41	1.93	21
163	0	0	0.1441	0	0	3.86	0
164	10	0.28	0.1441	0.04	81	3.86	21
165	10	0.28	0.0721	0.02	41	1.93	21
166	0	0	0.0721	0	0	1.93	0
167	35	0.98	0.1441	0.14	284	3.86	73
168	85	2.38	0.1441	0.34	699	3.86	178
169	30	0.84	0.0721	0.06	122	1.93	63
170	-20	-0.56	0.0721	-0.04	-81	1.93	-42
171	-20	-0.56	0.0743	-0.04	-84	1.99	-42
172	20	0.56	0.0743	0.04	84	1.99	42
173	40	1.12	0.0743	0.08	167	1.99	84
174	50	1.40	0.0743	0.10	209	1.99	105
175	-40	-1.12	0.0743	-0.08	-167	1.99	-84
176	-20	-0.56	0.0743	-0.04	-84	1.99	-42
177	-15	-0.42	0.0743	-0.03	-63	1.99	-32
178	-15	-0.42	0.0743	-0.03	-63	1.99	-32
179	25	2.10	1.7023	3.57	7,182	45.60	157
180	80	2.24	1.7023	3.81	7,630	45.60	168

POSICION DE LA CARGA  
No. 2

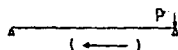


FECHA  
HOJA No. 7

PUNTO	S	$\bar{V}_m$	$A_m$	$F_m$	$F_p$	$A_p$	$\bar{V}_p$
181	60	1.68	1.5732	2.64	5.310	42.14	126
182	65	1.82	1.5732	2.86	5.752	42.14	136
183	55	1.54	1.3148	2.02	4.068	35.22	115
184	40	1.12	1.3148	1.47	2.958	35.22	84
185	35	0.98	0.9714	0.95	1.912	26.02	73
186	25	0.70	0.9714	0.68	1.366	26.02	52
187	10	0.28	0.5271	0.15	296	14.12	31
188	160	4.48	1.7023	7.63	15.321	45.60	336
189	105	2.94	1.7023	5.00	10.054	45.60	220
190	85	2.38	1.5732	3.74	7.522	42.14	178
191	90	2.24	1.5732	3.52	7.079	42.14	168
192	70	1.96	1.3148	2.58	5.177	35.22	147
193	45	1.26	1.3148	1.66	3.328	35.22	94
194	50	1.40	0.9714	1.36	2.732	26.02	105
195	20	0.56	0.9714	0.54	1.093	26.02	42
196	5	0.14	0.5271	0.07	148	14.12	10
197	100	2.80	1.7023	4.77	9.575	45.60	210
198	100	2.80	1.7023	4.77	9.575	45.60	210
199	85	2.38	1.5732	3.74	7.522	42.14	178
200	80	2.24	1.5732	3.52	7.079	42.14	168
201	70	1.96	1.3148	2.58	5.177	35.22	147
202	60	1.68	1.3148	2.21	4.437	35.22	126
203	45	1.26	0.9714	1.22	2.459	26.02	94
204	20	0.56	0.9714	0.54	1.093	26.02	42
205	5	0.14	0.5271	0.07	148	14.12	10
206	105	2.94	1.7023	5.00	10.054	45.60	220
207	100	2.80	1.7023	4.77	9.575	45.60	210
208	90	2.52	1.5732	3.96	7.964	42.14	189
209	80	2.24	1.5732	3.52	7.079	42.14	168
210	70	1.96	1.3148	2.58	5.177	35.22	147

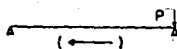


POSICION DE LA CARGA  
Nº 3



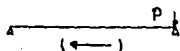
FECHA \_\_\_\_\_  
HOJA Nº 1

PUNTO	S	$V_m$	$A_m$	$F_m$	$F_D$	$A_D$	$V_D$
1	6	-0.17	0.5734	-0.09	-194	15.76	-12
2	10	-0.28	0.5734	-0.16	-323	15.76	-20
3	15	-0.42	0.3442	-0.14	-290	9.22	-31
4	155	-3.78	0.3442	-1.30	-2,611	9.22	-283
5	10	-0.28	0.2169	-0.06	-122	5.81	-21
6	60	1.68	0.2169	0.36	732	5.81	126
7	0	0	0.3442	0	0	5.81	0
8	105	-2.94	0.3442	-1.01	-2,033	5.81	-220
9	0	0	0.2169	0	0	5.81	0
10	65	1.82	0.2169	0.39	793	5.81	136
11	130	3.64	0.2169	0.79	1,586	5.81	273
12	30	0.84	0.2169	0.18	366	5.81	63
13	90	-2.52	0.3442	-0.87	-1,743	9.22	-189
14	30	-0.84	0.3442	-0.29	-581	9.22	-63
15	35	0.98	0.2169	0.21	427	5.81	73
16	5	0.14	0.2169	0.03	61	5.81	10
17	80	-2.24	0.3442	-0.77	-1,549	9.22	-168
18	35	-0.98	0.3442	-0.39	-678	9.22	-73
19	15	-0.42	0.5734	-0.24	-185	15.76	-31
20	10	0.28	0.5734	0.16	323	15.76	20
21	5	0.14	0.3442	0.05	97	9.22	10
22	130	-3.64	0.3442	-1.25	-2,517	9.22	-273
23	10	-0.28	0.2169	-0.06	-122	5.81	-21
24	50	1.40	0.2169	0.30	610	5.81	105
25	5	0.14	0.3442	0.05	97	9.22	10
26	110	-3.92	0.3442	-1.35	-2,711	9.22	-294
27	5	0.14	0.2169	0.03	61	5.81	10
28	65	1.82	0.2169	0.39	793	5.81	136
29	45	1.26	0.2169	0.27	549	5.81	93
30	10	0.28	0.2169	0.06	122	5.81	21



PUNTO	$\delta$	$\nabla_m$	$A_m$	$F_m$	$F_p$	$A_p$	$\nabla_p$
31	- 90	-2.52	0.3442	-0.87	-1.743	9.22	-189
32	- 90	-2.52	0.3442	-0.87	-1.743	9.22	-189
33	50	1.4	0.2169	0.30	610	5.81	105
34	20	0.56	0.2169	0.12	244	5.81	42
35	-100	-2.8	0.3442	-0.96	-1.936	9.22	-210
36	- 40	-1.12	0.3442	-0.38	- 774	9.22	- 84
37	- 25	-0.7	0.5734	-0.40	- 806	15.76	- 51
38	- 35	-0.98	0.5734	-0.56	-1.129	15.76	- 72
39	-100	-2.8	0.3442	-0.96	-1.936	9.22	-210
40	-238	-6.66	0.3442	-2.29	-4.608	9.22	-500
41	- 50	-1.4	0.2169	-0.30	- 610	5.81	-105
42	40	1.12	0.2169	0.24	488	5.81	84
43	- 15	-0.42	0.3442	0.14	- 290	9.22	- 31
44	-180	-5.04	0.3442	-1.73	-3.485	9.22	-378
45	- 35	-0.98	0.2169	-0.21	- 427	5.81	- 73
46	50	1.4	0.2169	0.30	610	5.81	105
47	40	1.12	0.2169	0.24	488	5.81	84
48	0	0	0.2169	0	0	5.81	0
49	-130	-3.64	0.3442	-1.25	-2.517	9.22	-275
50	- 45	-1.26	0.3442	-0.45	- 871	9.22	- 64
51	45	1.26	0.2169	0.27	549	5.81	94
52	- 20	-0.56	0.2169	-0.12	- 244	5.81	- 42
53	-160	-4.48	0.3442	-1.54	-3.098	9.22	-336
54	- 55	-1.54	0.3442	-0.55	-1.065	9.22	-115
55	- 90	-2.52	0.5734	-1.44	-2.903	15.76	-184
56	- 70	-1.96	0.5734	-1.12	-2.258	15.76	-143
57	- 5	-0.14	0.3442	-0.05	- 97	9.22	- 10
58	-175	-1.9	0.3442	-1.68	-3.388	9.22	-367
59	- 65	-1.82	0.2169	-0.39	- 793	5.81	-136
60	35	0.98	0.2169	0.21	427	5.81	73

POSICION DE LA CARGA  
Nº 3



FECHA  
HOJA Nº 3

PUNTO	6	$\nabla_m$	$A_m$	$F_m$	$F_D$	$A_D$	$\nabla_D$
61	- 10	-0.28	0.3442	-0.1	- 194	9.22	- 21
62	-185	-5.18	0.3442	-1.78	-3,582	9.22	-388
63	- 15	-0.42	0.2169	-0.09	- 183	5.81	- 31
64	80	2.24	0.2169	0.49	976	5.81	168
65	-15	1.26	0.2169	0.27	549	5.81	94
66	80	2.24	0.2169	0.49	976	5.81	168
67	-130	-3.64	0.3442	-1.25	-2,517	9.22	-273
68	- 50	-1.4	0.3442	-0.48	- 968	9.22	-105
69	125	3.5	0.2169	0.76	1,525	5.81	262
70	- 20	-0.56	0.2169	-0.12	- 244	5.81	- 32
71	-135	-3.78	0.3442	-1.30	-2,614	9.22	-283
72	- 55	-1.54	0.3442	-0.55	-1,065	9.22	-115
73	- 40	-1.12	0.5734	-0.64	-1,290	15.76	- 82
74	- 20	-0.56	0.5734	-0.32	- 645	15.76	- 41
75	30	0.84	0.1643	0.13	277	4.40	63
76	10	0.28	0.1643	0.05	92	4.40	21
77	- 20	-0.56	0.2315	-0.13	- 260	6.20	- 42
78	15	0.42	0.2315	0.10	195	6.20	32
79	35	0.98	0.1643	0.16	323	4.40	74
80	20	0.56	0.1643	0.09	185	4.40	42
81	- 30	-0.84	0.2315	-0.19	- 391	6.20	- 63
82	- 15	-0.42	0.2315	-0.10	- 195	6.20	- 32
83	- 30	-0.84	0.1747	-0.15	- 295	4.68	- 63
84	- 50	-1.4	0.1747	-0.24	- 391	4.68	-105
85	15	0.42	0.1281	0.05	108	3.43	32
86	30	0.84	0.1281	0.11	216	3.43	63
87	0	0	0.1747	0	0	4.68	0
88	- 20	-0.56	0.1747	-0.10	- 192	4.68	- 42
89	- 10	-0.28	0.1281	-0.04	- 72	3.43	- 21
90	15	0.42	0.1281	0.05	108	3.43	32

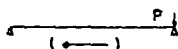
POSICION DE LA CARGA  
Nº 3

P  
A  
( ← )

FECHA  
HOJA Nº

PUNTO	S	$\nabla_m$	$A_m$	$F_m$	$F_p$	$A_p$	$\nabla_p$
91	105	2.94	0.1643	0.48	970	4.40	221
92	0	0	0.1643	0	0	4.40	0
93	-25	-0.7	0.2315	-0.16	-326	6.20	-55
94	10	0.28	0.2315	0.06	130	6.20	21
95	50	1.4	0.1643	0.23	462	4.40	105
96	50	1.4	0.1643	0.23	462	4.40	105
97	-60	-1.68	0.2315	-0.40	-781	6.20	-126
98	-10	-0.28	0.2315	-0.06	-130	6.20	-21
99	-20	-0.56	0.1747	-0.10	-197	4.68	-42
100	-30	-0.84	0.1747	-0.15	-295	4.68	-63
101	45	1.26	0.1281	0.16	324	3.43	95
102	40	1.12	0.1281	0.14	288	3.43	81
103	40	1.12	0.1747	0.20	395	4.68	84
104	0	0	0.1747	0	0	4.68	0
105	-10	-0.28	0.1281	-0.04	-72	3.43	-21
106	5	0.14	0.1281	0.02	36	3.43	11
107	45	1.26	0.1643	0.20	416	4.40	95
108	0	0	0.1643	0	0	4.40	0
109	-40	-1.12	0.2315	-0.26	-521	6.20	-84
110	35	0.98	0.2315	0.23	456	6.20	74
111	60	1.68	0.1643	0.28	555	4.40	126
112	30	0.84	0.1643	0.14	277	4.40	63
113	-70	-1.96	0.2315	-0.45	-912	6.20	-147
114	-10	-0.28	0.2315	-0.06	-130	6.20	-21
115	-30	-0.84	0.1747	-0.15	-295	4.68	-63
116	-55	-1.54	0.1747	-0.27	-540	4.68	-115
117	10	0.28	0.1281	0.04	72	3.43	21
118	20	0.56	0.1281	0.07	144	3.43	42
119	10	0.28	0.1747	0.05	98	4.68	21
120	-5	-0.14	0.1747	-0.02	-49	4.68	-10

POSICION DE LA CARGA  
N.º 3



FECHA \_\_\_\_\_  
HOJA N.º 5

PUNTO	S	$\nabla_m$	$A_m$	$F_m$	$F_p$	$A_p$	$\nabla_p$
121	- 45	1.26	0.1281	0.16	324	3.43	95
122	- 20	0.56	0.1281	0.07	144	3.43	42
123	55	1.54	0.1643	0.25	508	4.40	116
124	30	0.84	0.1643	0.14	277	4.40	63
125	- 60	1.68	0.2315	0.40	781	6.20	176
126	0	0	0.2315	0	0	6.20	0
127	50	1.4	0.1643	0.23	462	4.40	105
128	20	0.56	0.1643	0.09	185	4.40	42
129	-120	3.36	0.2315	0.78	1,563	6.20	252
130	- 10	0.28	0.2315	0.06	130	6.20	21
131	- 35	0.98	0.1747	0.17	344	4.68	73
132	- 50	1.4	0.1747	0.24	491	4.68	105
133	- 15	0.42	0.1281	0.05	108	3.43	32
134	10	0.28	0.1281	0.04	72	3.43	21
135	- 15	0.42	0.1747	0.07	147	4.68	31
136	- 40	1.12	0.1747	0.20	393	4.68	84
137	- 10	0.28	0.1281	0.04	72	3.43	21
138	15	0.42	0.1281	0.05	108	3.43	32
139	15	0.42	0.1441	0.06	122	3.86	31
140	40	1.12	0.1441	0.16	324	3.86	84
141	- 10	0.28	0.0721	0.02	41	1.93	21
142	- 45	1.26	0.0721	0.09	183	1.93	95
143	0	0	0.1441	0	0	3.86	0
144	40	1.12	0.1441	0.16	324	3.86	84
145	- 10	0.28	0.0721	0.02	41	1.93	21
146	- 20	0.56	0.0721	0.04	81	1.93	42
147	0	0	0.1441	0	0	3.86	0
148	35	0.98	0.1441	0.14	284	3.86	73
149	0	0	0.0721	0	0	1.93	0
150	- 30	0.84	0.0721	0.06	122	1.93	63



POSICION DE LA CARGA  
N.º 3

$\overline{P}$   
A  $\leftarrow$

FECHA  
HOJA N.º

6

PUNTO	$\delta$	$\sqrt{m}$	$A_m$	$F_m$	$F_D$	$A_D$	$\sqrt{D}$
151	0	0	0.1441	0	0	3.86	0
152	40	1.12	0.1441	0.16	324	3.86	54
153	- 10	0.28	0.0721	0.02	41	1.93	21
154	- 40	1.12	0.0721	0.08	162	1.93	84
155	10	0.28	0.1441	0.04	81	3.86	21
156	30	0.84	0.1441	0.12	243	3.86	63
157	0	0	0.0721	0	0	1.93	0
158	- 50	1.4	0.0721	0.10	203	1.93	105
159	10	0.28	0.1441	0.04	81	3.86	21
160	40	1.12	0.1441	0.16	324	3.86	84
161	- 10	0.28	0.0721	0.02	41	1.93	21
162	- 50	1.4	0.0721	0.10	203	1.93	105
163	0	0	0.1441	0	0	3.86	0
164	40	1.12	0.1441	0.16	324	3.86	84
165	- 30	0.84	0.0721	0.06	122	1.93	63
166	- 60	1.68	0.0721	0.12	243	1.93	126
167	10	0.28	0.1441	0.04	81	3.86	21
168	30	0.84	0.1441	0.12	243	3.86	63
169	0	0	0.0721	0	0	1.93	0
170	- 40	1.12	0.0721	0.08	162	1.93	84
171	- 110	3.06	0.0743	0.23	460	1.99	231
172	0	0	0.0743	0	0	1.99	0
173	0	0	0.0743	0	0	1.99	0
174	5	0.14	0.0743	0.01	21	1.99	11
175	- 10	0.28	0.0743	0.02	42	1.99	21
176	30	0.84	0.0743	0.06	125	1.99	63
177	70	1.96	0.0743	0.14	293	1.99	147
178	100	2.8	0.0743	0.20	418	1.99	210
179	25	0.7	1.7023	1.19	3.393	45.60	52
180	35	0.98	1.7023	1.67	3.351	45.60	73

POSICION DE LA CARGA  
Nº 3

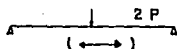
$\frac{P}{2}$   
( ← )

FECHA  
HOJA Nº 7

PUNTO	$\delta$	$V_m$	$A_m$	$F_m$	$F_p$	$A_p$	$V_p$
181	25	0.7	1.5732	1.10	2,212	42.14	52
182	40	1.12	1.5732	1.76	3,540	42.14	84
183	30	0.34	1.3148	1.10	2,210	35.22	63
184	35	0.98	1.3148	1.29	2,539	35.22	73
185	30	0.84	0.9714	0.82	1,639	26.02	63
186	30	0.84	0.9714	0.82	1,639	26.02	63
187	10	0.28	0.5271	0.15	296	14.12	21
188	40	1.12	1.7023	1.90	3,830	45.60	84
189	45	1.26	1.7023	2.14	4,309	45.60	94
190	45	1.26	1.5732	1.98	3,982	42.14	94
191	55	1.54	1.5732	2.42	4,867	42.14	115
192	40	1.12	1.3148	1.47	2,958	35.22	84
193	45	1.26	1.3148	1.66	3,328	35.22	94
194	40	1.12	0.9714	1.10	2,186	26.02	84
195	30	0.84	0.9714	0.82	1,639	26.02	63
196	25	0.7	0.5271	0.37	741	14.12	52
197	40	1.12	1.7023	1.91	3,830	45.60	84
198	60	1.68	1.7023	2.86	5,745	45.60	126
199	55	1.54	1.5732	2.40	4,867	42.14	115
200	120	3.36	1.5732	5.30	10,619	42.14	252
201	55	1.54	1.3148	2.00	4,068	35.22	115
202	65	1.54	1.3148	2.00	4,068	35.22	115
203	45	1.26	0.9714	1.22	2,459	26.02	94
204	35	0.98	0.9714	0.95	1,912	26.02	73
205	25	0.7	0.5271	0.40	741	14.12	52
206	40	1.12	1.7023	1.90	3,830	45.60	84
207	60	1.68	1.7023	2.86	5,745	45.60	126
208	110	3.08	1.5732	4.35	9,734	42.14	231
209	55	1.54	1.5732	2.40	4,867	42.14	115
210	55	1.54	1.3148	2.02	4,068	35.22	115



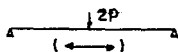
POSICION DE LA CARGA  
N.º 4



FECHA \_\_\_\_\_  
HOJA N.º 1

PUNTO	S	$\bar{V}_m$	$A_m$	$F_m$	$F_p$	$A_p$	$\bar{V}_p$
1	30	0.84	0.5734	0.48	968	15.76	61
2	30	0.84	0.5734	0.48	968	15.76	61
3	50	1.4	0.3442	0.48	968	9.22	105
4	-320	-8.96	0.3442	-3.08	-6,196	9.22	-672
5	-70	-1.96	0.2169	-0.43	-854	5.81	-147
6	120	3.36	0.2169	0.73	1,464	5.81	252
7	55	1.54	0.3442	0.53	1,065	9.22	115
8	-340	-9.52	0.3442	-3.28	-6,583	9.22	-714
9	-50	-1.4	0.2169	-0.30	-610	5.81	-105
10	140	3.92	0.2169	0.85	1,708	5.81	294
11	175	4.9	0.2169	1.1	2,135	5.81	367
12	70	1.96	0.2169	0.43	854	5.81	147
13	-230	-6.44	0.3442	-2.27	-4,455	9.22	-483
14	-90	-2.52	0.3442	-0.87	-1,743	9.22	-189
15	45	1.26	0.2169	0.27	549	5.81	94
16	0	0	0.2169	0	0	5.81	0
17	-160	-4.48	0.3442	-1.54	-3,098	9.22	-336
18	-50	-1.4	0.3442	-0.48	-968	9.22	-105
19	-5	-0.14	0.5734	-0.08	-161	15.76	-10
20	-10	-0.28	0.5734	-0.16	-323	15.76	-20
21	100	2.8	0.3442	0.96	1,936	9.22	210
22	-312	-874	0.3442	-3.01	-6,041	9.22	-655
23	-85	-2.38	0.2169	-0.52	-1,037	5.81	-178
24	80	2.24	0.2169	0.49	976	5.81	168
25	65	1.82	0.3442	0.63	1,258	9.22	136
26	-290	-8.12	0.3442	-2.79	-5,615	9.22	-136
27	-25	-0.70	0.2169	-0.15	-305	5.81	-52
28	110	3.08	0.2169	0.67	1,342	5.81	231
29	70	1.96	0.2169	0.43	854	5.81	147
30	30	0.84	0.2169	0.18	366	5.81	63

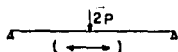
POSICION DE LA CARGA  
N.º 4



FECHA  
HOJA N.º 2

PUNTO	S	$\nabla_m$	$A_m$	$F_m$	$F_p$	$A_p$	$\nabla_p$
31	-200	-5.6	0.3442	-1.93	-3,872	9.22	-420
32	-130	-3.64	0.3442	-1.25	-2,517	9.22	-273
33	55	1.54	0.2169	0.33	671	5.81	115
34	25	0.7	0.2169	0.15	305	5.81	52
35	-150	-4.2	0.3442	-1.45	-2,904	9.22	-315
36	-40	-1.12	0.3442	-0.39	-774	9.22	-84
37	10	0.28	0.5734	0.16	323	15.76	20
38	20	0.56	0.5734	0.32	645	15.76	41
39	165	4.62	0.3442	1.60	3,195	9.22	346
40	-353	-9.88	0.3442	-3.40	-6,835	9.22	-741
41	-90	-2.52	0.2169	0.55	1,098	5.81	-189
42	110	3.08	0.2169	0.67	1,342	5.81	231
43	75	2.1	0.3442	0.72	1,352	9.22	157
44	-350	-9.8	0.3442	-3.37	-6,776	9.22	-735
45	-30	-0.84	0.2169	-0.18	-366	5.81	-63
46	130	3.64	0.2169	0.79	1,586	5.81	273
47	100	2.8	0.2169	0.61	1,220	5.81	210
48	60	1.68	0.2169	0.364	732	5.81	126
49	-185	-5.18	0.3442	-1.78	-3,582	9.22	-388
50	-50	-1.4	0.3442	-0.48	-968	9.22	-105
51	50	1.4	0.2169	0.30	610	5.81	105
52	10	0.28	0.2169	0.06	122	5.81	21
53	-165	-4.62	0.3442	-1.60	-3,195	9.22	-346
54	-30	-0.84	0.3442	-0.29	-581	9.22	-63
55	10	0.28	0.5734	0.16	323	15.76	20
56	100	2.8	0.5734	1.60	3,225	15.76	205
57	100	2.8	0.3442	0.96	1,936	9.22	210
58	-260	-7.28	0.3442	-2.51	-5,034	9.22	-546
59	-90	-2.52	0.2169	-0.55	-1,098	5.81	-189
60	170	4.76	0.2169	1.0	2,074	5.81	357

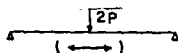
POSICION DE LA CARGA  
Nº 4



FECHA  
HOJA Nº 3

PUNTO	S	$\bar{V}_m$	$A_m$	$F_m$	$F_p$	$A_p$	$\bar{V}_p$
61	110	3.08	0.3442	1.10	2,130	9.22	231
62	-350	-9.8	0.3442	-3.40	-6,776	9.22	-735
63	-45	-1.26	0.2169	-0.27	-549	5.81	-94
64	145	4.06	0.2169	0.88	1,769	5.81	304
65	85	2.38	0.2169	0.516	1,037	5.81	178
66	135	3.78	0.2169	0.819	1,647	5.81	283
67	-140	-392	0.3442	-1.34	-2,711	9.22	-294
68	-50	-1.4	0.3442	-0.48	-968	9.22	-105
69	130	3.64	0.2169	0.79	1,586	5.81	273
70	20	0.56	0.2169	0.12	244	5.81	42
71	-150	-4.2	0.3442	-1.44	-2,904	9.22	-315
72	-40	-1.12	0.3442	-0.38	-774	9.22	-84
73	95	2.66	0.5734	1.53	3,064	15.76	194
74	5	0.14	0.5734	0.08	161	15.76	10
75	225	6.3	0.1643	1.03	2,079	4.40	473
76	135	4.06	0.1643	0.66	1,340	4.40	305
77	-195	-5.46	0.2315	-1.26	-2,539	6.20	-410
78	20	0.56	0.2315	0.13	260	6.20	42
79	150	4.2	0.1643	0.69	1,386	4.40	315
80	40	1.12	0.1643	0.18	370	4.40	84
81	-225	-6.3	0.2315	-1.45	-2,930	6.20	-473
82	-25	-0.7	0.2315	-0.16	-326	6.20	-53
83	-90	-2.52	0.1747	-0.44	-884	4.68	-189
84	-320	-8.96	0.1747	-1.57	-3,145	4.68	-672
85	105	2.94	0.1281	0.37	757	3.43	221
86	210	5.88	0.1281	0.75	1,513	3.43	441
87	10	0.28	0.1747	0.05	98	4.68	21
88	-240	-6.7	0.1747	-1.17	-2,358	4.68	-504
89	65	1.82	0.1281	0.23	468	3.43	137
90	365	10.22	0.1281	1.31	2,630	3.43	767

POSICION DE LA CARGA  
N.º 4



FECHA \_\_\_\_\_  
HOJA N.º 4

PUNTO	$\xi$	$\bar{v}_m$	$A_m$	$F_m$	$F_p$	$A_p$	$\bar{v}_p$
91	185	5.18	0.1643	0.85	1,710	4.40	389
92	140	3.92	0.1643	0.64	1,294	4.40	294
93	-150	-4.2	0.2315	-0.97	-1,953	6.20	-315
94	5	0.14	0.2315	0.03	65	6.20	11
95	190	5.32	0.1643	0.87	1,756	4.40	399
96	85	2.38	0.1643	0.39	786	4.40	179
97	-150	-4.2	0.2315	-1.0	-1,953	6.20	-315
98	-15	-0.42	0.2315	-0.1	-195	6.20	-32
99	-20	-0.56	0.1747	-0.1	-197	4.68	-42
100	-210	-5.88	0.1747	-1.0	-2,064	4.68	-441
101	-10	-0.28	0.1281	-0.04	-72	3.43	-21
102	210	5.88	0.1281	0.75	1,513	3.43	441
103	-65	-1.8	0.1747	-0.32	-639	4.68	-136
104	-185	-5.18	0.1747	-0.90	-1,818	4.68	-388
105	30	0.84	0.1281	0.11	216	3.43	63
106	225	6.3	0.1281	0.81	1,621	3.43	473
107	280	7.84	0.1643	1.29	2,588	4.40	588
108	185	5.18	0.1643	0.85	1,710	4.40	389
109	-180	-5.0	0.2315	-1.16	-2,344	6.20	-378
110	30	0.84	0.2315	0.19	391	6.20	63
111	190	5.32	0.1643	0.87	1,756	4.40	399
112	65	1.82	0.1643	0.30	601	4.40	137
113	-150	-4.2	0.2315	-1.0	-1,953	6.20	-315
114	-15	-0.42	0.2315	-0.1	-195	6.20	-32
115	-30	-0.84	0.1747	-0.15	-295	4.68	-63
116	-303	-8.48	-0.1747	-1.48	-2,978	4.68	-636
117	60	1.68	0.1281	0.21	432	3.43	126
118	290	8.12	0.1281	1.0	2,090	3.43	609
119	-20	-0.56	0.1747	-0.1	-197	4.68	-42
120	-170	-4.76	0.1747	-0.83	-1,671	4.68	-557

POSICION DE LA CARGA

Nº 4

2P

FECHA

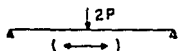
HOJA Nº

5

PUNTO	S	$V_m$	$A_m$	$F_m$	$F_p$	$A_p$	$V_p$
121	80	2.24	0.1281	0.30	576	3.43	168
122	210	5.90	0.1281	0.75	1,513	3.43	441
123	225	6.30	0.1643	1.04	2,079	4.40	473
124	150	4.2	0.1643	0.70	1,386	4.40	315
125	-140	-3.9	0.2315	-0.91	-1,823	6.20	-294
126	5	0.14	0.2315	0.03	65	6.20	11
127	125	3.5	0.1643	0.60	1,155	4.40	263
128	70	2.0	0.1643	0.32	647	4.40	147
129	-210	-6.0	0.2315	-1.4	-2,735	6.20	-441
130	-30	-0.84	0.2315	-0.19	-391	6.20	-63
131	-110	-3.0	0.1747	-0.53	-1,081	4.68	-231
132	-265	-7.1	0.1747	-1.3	-2,604	4.68	-556
133	30	0.84	0.1281	0.11	216	3.43	63
134	225	6.3	0.1281	0.80	1,621	3.43	473
135	-20	-0.56	0.1747	-0.1	-197	4.68	-42
136	-195	-5.4	0.1747	-1.0	-1,916	4.68	-409
137	60	1.68	0.1281	0.21	432	3.43	126
138	230	6.44	0.1281	0.82	1,657	3.43	483
139	15	0.42	0.1441	0.06	122	3.86	31
140	0	0	0.1441	0	0	3.86	0
141	20	0.56	0.0721	0.04	81	1.93	42
142	0	0	0.0721	0	0	1.93	0
143	20	0.56	0.1441	0.08	162	3.86	42
144	10	0.28	0.1441	0.04	81	3.86	21
145	0	0	0.0721	0	0	1.93	0
146	20	0.56	0.0721	0.04	81	1.93	42
147	-30	-0.84	0.1441	-0.12	-243	3.86	-63
148	-30	-0.84	0.1441	-0.12	-243	3.86	-63
149	30	0.84	0.0721	0.06	122	1.93	63
150	25	0.7	0.0721	0.05	101	1.93	53

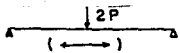


POSICION DE LA CARGA  
N.º 4



FECHA \_\_\_\_\_  
HOJA N.º 6

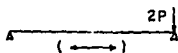
PUNTO	b	$\nabla_m$	$A_m$	$F_m$	$F_p$	$A_p$	$\nabla_p$
151	20	0.56	0.1441	0.08	162	3.86	42
152	0	0	0.1441	0	0	3.86	0
153	40	1.12	0.0721	0.08	162	1.93	84
154	50	1.4	0.0721	0.10	203	1.93	105
155	- 20	-0.56	0.1441	-0.08	- 162	3.86	- 42
156	- 40	-1.12	0.1441	-0.16	- 324	3.86	- 84
157	20	0.56	0.0721	0.04	81	1.93	42
158	60	1.68	0.0721	0.12	243	1.93	126
159	15	0.42	0.1441	0.06	122	3.86	31
160	10	0.28	0.1441	0.04	81	3.86	21
161	40	1.12	0.0721	0.08	162	1.93	84
162	50	1.4	0.0721	0.10	203	1.93	105
163	- 20	-0.56	0.1441	-0.08	- 162	3.86	- 42
164	- 30	-0.84	0.1441	-0.12	- 243	3.86	- 63
165	20	0.56	0.0721	0.04	81	1.93	42
166	30	0.84	0.0721	0.06	122	1.93	63
167	30	0.84	0.1441	0.12	243	3.86	63
168	20	0.56	0.1441	0.08	162	3.86	42
169	30	0.84	0.0721	0.06	122	1.93	63
170	50	1.4	0.0721	0.10	203	1.93	105
171	- 20	-0.56	0.0743	-0.04	- 84	1.99	- 42
172	- 10	-0.28	0.0743	-0.02	- 42	1.99	- 21
173	5	0.14	0.0743	0.01	21	1.99	11
174	10	0.28	0.0743	0.02	- 42	1.99	21
175	- 25	-0.7	0.0743	-0.05	- 104	1.99	- 53
176	- 10	-0.28	0.0743	-0.02	- 42	1.99	- 21
177	0	0	0.0743	0	0	1.99	0
178	- 5	-0.14	0.0743	-0.01	- 21	1.99	- 11
179	145	4.06	1.7023	7.0	13.882	45.60	304
180	150	4.2	1.7023	7.10	14.361	45.60	315



PUNTO	S	$V_m$	$A_m$	$F_m$	$F_p$	$A_p$	$V_p$
181	110	3.08	1.5732	4.85	9,734	42.14	231
182	210	5.88	1.5732	9.25	18,583	42.14	441
183	120	3.36	1.3148	4.42	8,875	35.22	252
184	180	5.0	1.3148	6.63	13,313	35.22	378
185	100	2.8	0.9714	2.72	5,464	26.02	210
186	75	2.1	0.0714	2.04	4,098	26.02	157
187	120	3.36	0.5271	1.77	3,558	14.12	252
188	250	7.0	1.7023	11.9	23,939	45.60	525
189	205	5.74	1.7023	9.77	19,630	45.60	430
190	180	5.0	1.5732	8.0	15,929	42.14	378
191	195	5.46	1.5732	8.59	17,256	42.14	409
192	165	4.62	1.3148	6.0	12,203	35.22	346
193	205	5.74	1.3148	7.5	15,161	35.22	430
194	115	3.22	0.9714	3.13	6,284	26.02	241
195	70	1.96	0.9714	1.9	3,825	26.02	147
196	35	0.98	0.5271	0.52	1,038	14.12	73
197	200	5.6	1.7023	9.53	19,151	45.60	420
198	205	5.74	1.7023	9.77	19,630	45.60	430
199	170	4.76	1.5732	7.49	15,044	42.14	357
200	280	8.12	1.5732	12.77	25,663	42.14	609
201	170	4.76	1.3248	6.26	12,573	35.22	357
202	130	3.64	1.3148	4.78	9,615	35.22	273
203	10	0.28	0.9714	0.27	546	26.02	21
204	65	1.82	0.9714	1.77	3,552	26.02	136
205	30	0.84	0.5271	0.44	889	14.12	63
206	200	5.6	1.7023	9.5	19,151	45.60	420
207	195	5.46	1.7023	9.29	18,672	45.60	409
208	160	4.48	1.5732	7.04	14,159	42.14	336
209	195	5.46	1.5732	8.59	17,256	42.14	409
210	170	4.76	1.3148	6.26	12,573	35.22	357



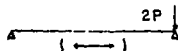
POSICION DE LA CARGA  
Nº 5



FECHA \_\_\_\_\_  
HOJA Nº 1

PUNTO	S	$\nabla_m$	$A_m$	$F_m$	$F_p$	$A_p$	$\nabla_p$
1	15	0.42	0.5734	0.24	482	15.76	31
2	5	0.14	0.5734	0.08	161	15.76	10
3	25	0.70	0.3442	0.24	484	9.22	52
4	-308	-8.62	0.3442	-297	-5,963	9.22	-647
5	-70	1.96	0.2169	0.43	854	5.81	147
6	130	3.36	0.2169	0.73	1,464	5.81	252
7	40	1.12	0.3442	0.39	774	9.22	84
8	-315	-8.82	0.3442	-3.04	-6,099	9.22	-661
9	-10	-0.28	0.2169	-0.06	-122	5.81	-21
10	155	4.34	0.2169	0.94	1,891	5.81	325
11	205	5.74	0.2169	1.25	2,501	5.81	430
12	70	1.96	0.2169	0.43	854	5.81	147
13	-208	-5.82	0.3442	-2.0	-4,027	9.22	-437
14	-60	-1.68	0.3442	-0.58	-1,162	9.22	-126
15	75	2.10	0.2169	0.46	915	5.81	157
16	0	0	0.2169	0	0	5.81	0
17	-185	-5.18	0.3442	-1.78	-3,582	9.22	-388
18	-60	-1.68	0.3442	-0.58	-1,162	9.22	-126
19	-130	-3.64	0.5734	-2.09	-4,193	15.76	-266
20	-70	-1.96	0.5734	-1.12	-2,258	15.76	-143
21	75	2.10	0.3442	0.72	1,452	9.22	157
22	-285	-7.98	0.3442	-2.75	-5,518	9.22	-598
23	-100	-2.80	0.2169	-0.61	-1,220	5.81	-210
24	60	1.68	0.2169	0.36	732	5.81	126
25	90	2.52	0.3442	0.87	1,743	9.22	189
26	-298	-8.34	0.3442	-2.87	-5,770	9.22	-626
27	20	0.56	0.2169	0.12	244	5.81	42
28	180	5.04	0.2169	1.09	2,196	5.81	378
29	120	3.36	0.2169	0.73	1,464	5.81	252
30	45	1.26	0.2169	0.27	549	5.81	94

POSICION DE LA CARGA  
Nº 5



FÉCHA  
HOJA Nº 2

PUNTO	S	$V_m$	$A_m$	$F_m$	$F_D$	$A_D$	$V_D$
31	-240	-6.72	0.3442	-2.31	-4.647	9.22	-504
32	-125	-3.50	0.3442	-1.20	-2.420	9.22	-262
33	75	2.10	0.2169	0.46	915	5.81	157
34	5	0.14	0.2169	0.03	61	5.81	10
35	-190	-5.32	0.3442	-1.83	-3.679	9.22	-399
36	-35	-0.98	0.3442	-0.34	-678	9.22	-73
37	-5	-0.14	0.5734	-0.08	-161	15.76	-10
38	-100	-2.80	0.5734	-1.61	-3.225	15.76	-205
39	115	3.22	0.3442	1.11	2.227	9.22	241
40	-355	-9.94	0.3442	-3.42	-6.873	9.22	-745
41	-95	-2.66	0.2169	-0.58	-1.159	5.81	-199
42	135	3.78	0.2169	0.52	1.647	5.81	283
43	50	1.40	0.3442	0.48	968	9.22	105
44	-375	-10.50	0.3442	-3.61	-7.260	9.22	-787
45	-20	-0.56	0.2169	-0.17	-244	5.81	-42
46	165	4.62	0.2169	1.00	2.013	5.81	346
47	150	4.20	0.2169	0.91	1.830	5.81	315
48	80	2.24	0.2169	0.49	976	5.81	168
49	-240	-6.72	0.3442	-2.31	-4.647	9.22	-504
50	-40	-1.12	0.3442	-0.39	-774	9.22	-84
51	75	2.10	0.2169	0.46	915	5.81	157
52	10	0.28	0.2169	0.06	122	5.81	21
53	-320	-6.16	0.3442	-2.12	-4.259	9.22	-462
54	-45	-1.26	0.3442	-0.43	-871	9.22	-94
55	-55	-1.54	0.5734	-0.88	-1.774	15.76	-115
56	-50	-1.40	0.5734	-0.8	-1.613	15.76	-102
57	70	1.96	0.3442	0.67	1.355	9.22	147
58	-325	-9.10	0.3442	-3.13	-6.292	9.22	-682
59	-110	-3.08	0.2169	-0.67	-1.342	5.81	-231
60	185	5.18	0.2169	1.12	2.257	5.81	388

POSICION DE LA CARGA  
Nº 5

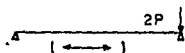
2P  
A ← → A

FECHA  
HOJA Nº

3

PUNTO	G	$V_m$	$A_m$	$F_m$	$F_p$	$A_p$	$V_p$
61	60	1.68	0.3442	0.58	1,162	9.22	126
62	-390	-10.92	0.3442	-3.76	-7,551	9.22	-815
63	-30	-0.84	0.2169	-0.18	-366	5.81	-63
64	180	5.04	0.2169	1.09	2,196	5.81	378
65	120	3.36	0.2169	0.73	1,464	5.81	252
66	150	4.20	0.2169	0.91	1,830	5.81	315
67	-210	-5.88	0.3442	-2.02	-4,066	9.22	-441
68	-60	-1.68	0.3442	-0.58	-1,162	9.22	-126
69	160	4.48	0.2169	0.97	1,952	5.81	336
70	-5	-0.14	0.2169	-0.03	-61	5.81	-10
71	-200	-5.60	0.3442	-1.93	-3,872	9.22	-420
72	-40	-11.12	0.3442	-0.39	-774	9.22	-84
73	-60	-1.68	0.5734	-0.96	-1,935	15.76	-123
74	-40	-1.12	0.5734	-0.64	-1,290	15.76	-82
75	115	3.22	0.1643	0.53	1,063	4.40	242
76	60	1.68	0.1643	0.28	555	4.40	126
77	-95	-2.66	0.2315	-0.62	-1,237	6.20	-200
78	40	1.12	0.2315	0.26	521	6.20	84
79	90	2.52	0.1643	0.41	832	4.40	189
80	20	0.56	0.1643	0.09	185	4.40	42
81	-155	-4.34	0.2315	-1.00	-2,018	6.20	-326
82	-10	-0.28	0.2315	-0.06	-150	6.20	-21
83	-55	-1.54	0.1747	-0.27	-540	4.68	-115
84	-85	-2.38	0.1747	-0.42	-835	4.68	-178
85	30	0.84	0.1281	0.11	216	3.43	63
86	65	1.82	0.1281	0.23	468	3.43	137
87	20	0.56	0.1747	0.10	197	4.68	42
88	-20	-0.56	0.1747	-0.10	-197	4.68	-42
89	10	0.28	0.1281	0.04	72	3.43	21
90	55	1.54	0.1281	0.20	396	3.43	116

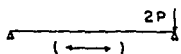
POSICION DE LA CARGA  
Nº 5



FECHA  
HOJA Nº 4

PUNTO	G	$V_m$	$A_m$	$F_m$	$F_p$	$A_p$	$V_p$
91	165	4.62	0.1643	0.76	1.525	4.40	317
92	130	3.64	0.1643	0.60	1.201	4.40	273
93	-70	-1.96	0.2315	-0.45	-0.12	6.20	-147
94	20	0.56	0.2315	0.13	260	6.20	42
95	90	2.52	0.1643	0.41	832	4.40	189
96	35	0.98	0.1643	0.16	323	4.40	74
97	-65	-1.82	0.2315	-0.42	-846	6.20	-137
98	15	0.42	0.2315	0.10	195	6.20	32
99	-35	-0.98	0.1747	-0.17	-344	4.68	-73
100	-85	-2.38	0.1747	-0.42	-835	4.68	-178
101	-20	-0.56	0.1281	-0.07	-144	3.43	-12
102	50	1.40	0.1281	0.18	360	3.43	105
103	0	0	0.1747	0	0	4.68	0
104	-50	-1.40	0.1747	-0.24	-491	4.68	-105
105	30	0.84	0.1281	0.11	216	3.43	63
106	60	1.68	0.1281	0.22	432	3.43	126
107	185	5.18	0.1643	0.85	1.710	4.40	389
108	80	2.24	0.1643	0.37	739	4.40	168
109	-80	-2.24	0.2315	-0.52	-1.042	6.20	-168
110	30	0.84	0.2315	0.19	391	6.20	63
111	100	2.80	0.1643	0.46	924	4.40	210
112	30	0.84	0.1643	0.14	277	4.40	63
113	-80	-2.24	0.2315	-0.52	-1.042	6.20	-168
114	5	0.14	0.2315	-0.03	65	6.20	11
115	-30	-0.84	0.1747	-0.15	-295	4.68	-63
116	-150	-4.20	0.1747	-0.73	-1.474	4.68	-315
117	10	0.28	0.1281	0.04	72	3.43	21
118	60	1.68	0.1281	0.22	432	3.43	126
119	5	0.14	0.1747	0.02	49	4.68	10
120	-45	-1.26	0.1747	-0.22	-442	4.68	-94

POSICION DE LA CARGA  
Nº 5

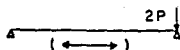


FECHA \_\_\_\_\_  
HOJA Nº 5

PUNTO	G	$V_m$	$A_m$	$F_m$	$F_p$	$A_p$	$V_p$
121	20	0.56	0.1281	0.07	144	3.43	42
122	15	0.42	0.1281	0.05	108	3.43	32
123	100	2.80	0.1643	0.46	924	4.40	210
124	90	2.52	0.1643	0.41	832	4.40	189
125	-90	-2.52	0.2315	0.53	-1,172	6.20	-189
126	15	0.42	0.2315	0.10	195	6.20	32
127	50	1.40	0.1643	0.25	462	4.40	105
128	5	0.14	0.1643	0.02	46	4.40	11
129	-110	-3.08	0.2315	-0.71	-1,432	6.20	-231
130	15	0.42	0.2315	0.10	195	6.20	32
131	-45	-1.26	0.1747	-0.22	-442	4.68	-94
132	-90	-2.52	0.1747	-0.44	-884	4.68	-189
133	-15	-0.42	0.1281	-0.05	-108	3.43	-32
134	55	1.54	0.1281	0.20	396	3.43	116
135	-15	-0.42	0.1747	-0.07	-147	4.68	-31
136	-70	-1.96	0.1747	-0.34	-688	4.68	-147
137	40	1.12	0.1281	0.14	288	3.43	84
138	95	2.66	0.1281	0.34	685	3.43	200
139	45	1.26	0.1441	0.18	365	3.86	94
140	125	3.50	0.1441	0.50	1,013	3.86	262
141	80	2.24	0.0721	0.16	324	1.93	168
142	-30	-0.84	0.0721	-0.06	-122	1.93	-63
143	25	0.70	0.1441	0.10	203	3.86	52
144	110	3.08	0.1441	0.41	832	3.86	231
145	110	3.08	0.0721	0.22	446	1.93	231
146	20	0.56	0.0721	0.04	81	1.93	42
147	40	1.12	0.1441	0.16	324	3.86	84
148	100	2.80	0.1441	0.40	811	3.86	210
149	70	1.96	0.0721	0.14	284	1.93	147
150	20	0.56	0.0721	0.04	81	1.93	42



POSICION DE LA CARGA  
Nº 5



FECHA  
HOJA Nº

6

PUNTO	S	$V_m$	$A_m$	$F_m$	$F_p$	$A_p$	$V_p$
151	40	1.12	0.1441	0.16	324	3.86	84
152	90	2.52	0.1441	0.36	730	3.86	189
153	70	1.96	0.0721	0.14	284	1.93	147
154	30	0.84	0.0721	0.06	122	1.93	63
155	40	1.12	0.1441	0.16	324	3.86	84
156	110	3.08	0.1441	0.44	892	3.86	231
157	80	2.24	0.0721	0.16	324	1.93	168
158	20	0.56	0.0721	0.04	81	1.93	42
159	35	0.98	0.1441	0.14	284	3.86	73
160	110	3.08	0.1441	0.44	892	3.86	231
161	130	4.20	0.0721	0.30	608	1.93	315
162	0	0	0.0721	0	0	1.93	0
163	40	1.12	0.1441	0.16	324	3.86	84
164	115	3.22	0.1441	0.46	932	3.86	241
165	40	1.12	0.0721	0.08	162	1.93	84
166	- 50	-1.40	0.0721	-0.10	- 203	1.93	-105
167	40	1.12	0.1441	0.16	324	3.86	84
168	160	4.48	0.1441	0.65	1,297	3.86	336
169	30	0.84	0.0721	0.06	122	1.93	63
170	60	1.68	0.0721	0.12	243	1.93	126
171	0	0	0.0743	0	0	1.99	0
172	- 30	- 0.4	0.0743	-0.06	- 125	1.99	- 63
173	- 20	-0.56	0.0743	-0.04	- 84	1.99	- 42
174	- 15	-0.42	0.0743	-0.03	- 63	1.99	- 32
175	- 40	-1.12	0.0743	-0.08	- 167	1.99	- 84
176	5	0.14	0.0743	0.01	21	1.99	11
177	0	0	0.0743	0	0	1.99	0
178	20	0.56	0.0743	0.04	84	1.99	42
179	95	2.66	1.7023	4.53	9,095	45.60	199
180	100	2.80	1.7023	4.77	9,574	45.60	210

POSICION DE LA CARGA  
Nº 5



FECHA  
HOJA Nº 7

PUNTO	S	$\nabla_m$	$A_m$	$F_m$	$F_p$	$A_p$	$\nabla_p$
181	80	2.24	1.5732	3.52	7.079	42.14	168
182	100	2.80	1.5732	4.40	8.849	42.14	210
183	80	2.24	1.3148	2.95	5.917	35.22	168
184	150	4.20	1.3148	5.52	11.094	35.22	315
185	65	1.82	0.9714	1.77	3.552	26.02	136
186	60	1.68	0.9714	1.65	3.278	26.02	126
187	100	2.80	0.5271	1.48	2.965	14.12	210
188	100	2.80	1.7023	4.77	9.575	45.60	210
189	120	3.36	1.7023	5.72	11.491	45.60	252
190	220	6.16	1.5732	9.69	19.468	42.14	462
191	130	3.64	1.5732	5.73	11.504	42.14	273
192	110	3.08	1.3148	4.05	8.135	35.22	231
193	105	2.94	1.3148	3.87	7.766	35.22	220
194	90	2.52	0.9714	2.45	4.918	26.02	189
195	60	1.68	0.9714	1.65	3.278	26.02	126
196	50	1.40	0.5271	0.74	1.482	14.12	105
197	85	2.38	1.7023	4.05	8.139	45.60	178
198	120	3.36	1.7023	5.72	11.491	45.60	252
199	105	2.94	1.5732	4.63	9.292	42.14	220
200	190	5.32	1.5732	8.37	16.814	42.14	399
201	110	3.08	1.3248	4.05	8.135	35.22	231
202	115	3.22	1.3148	4.23	8.505	35.22	241
203	85	2.38	0.9714	2.31	4.645	26.02	178
204	80	2.24	0.9714	2.18	4.371	26.02	168
205	70	1.96	0.5271	1.03	2.075	14.12	147
206	95	2.66	1.7023	4.53	9.097	45.60	199
207	115	3.22	1.7023	5.48	11.012	45.60	241
208	175	4.90	1.5732	7.71	15.486	42.14	367
209	130	3.64	1.5732	5.73	11.504	42.14	273
210	120	3.36	1.3148	4.42	8.875	35.22	252



## ESFUERZOS DE LAS PRUEBAS DE CARGA Y ESFUERZOS MAXIMOS

FECHA \_\_\_\_\_

HOJAS<sup>o</sup> 1

EXT. N°	E S F U E R Z O S					ESFUERZOS MAXIMOS		OBSERVACIONES SOBRE INVERSION DE ESFUERZOS
	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PRUEBA 5	C	T	
1	- 10	- 10	- 12	61	31	- 12	61	SI
2	-123	0	- 20	61	10	-123	61	SI
3	-105	21	- 31	105	52	-105	105	SI
4	- 14	-315	-283	-672	647	-672	647	SI
5	73	- 42	- 21	-147	147	-147	147	SI
6	147	126	126	252	252	0	252	NO
7	0	63	0	115	84	- 0	115	NO
8	-168	-262	-220	-714	-661	-714	0	NO
9	136	- 31	0	-105	- 21	-105	136	SI
10	147	126	136	294	325	- 0	325	NO
11	109	115	273	367	430	- 0	430	NO
12	73	75	63	147	147	- 0	147	NO
13	-241	-189	-189	-483	-437	-483	0	NO
14	- 21	- 63	- 63	-189	-126	-189	0	NO
15	84	63	73	94	157	- 0	157	NO
16	0	0	0	0	0	- 0	10	NO
17	-168	-168	-168	-356	-388	-388	0	NO
18	-115	- 52	- 73	-105	-126	-126	0	NO
19	- 31	- 20	- 31	- 10	-266	-266	0	NO
20	0	- 10	20	- 20	-143	-143	20	SI
21	- 21	52	10	210	157	- 21	210	SI
22	-168	-283	-273	-655	-598	-655	0	NO
23	-441	- 31	- 21	-178	-210	-441	0	NO
24	178	105	105	168	126	- 0	178	NO
25	0	-336	10	136	189	-336	189	SI
26	-178	304	-294	-609	-626	-626	304	SI
27	31	42	10	- 52	42	- 52	42	SI
28	220	-147	156	231	378	-147	378	SI
29	189	-115	94	147	252	-115	252	SI
30	126	- 94	21	63	94	- 94	126	SI

## ESFUERZOS DE LAS PRUEBAS DE CARGA Y ESFUERZOS MAXIMOS

FECHA \_\_\_\_\_

HOJA Nº 2

EXT. Nº	E S F U E R Z O S					ESFUERZOS M A X I M O S		OBSERVACIONES SOBRE INVERSION DE ESFUERZOS
	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PRUEBA 5	C	T	
31	-210	105	-189	-120	-504	-504	105	SI
32	-63	42	-189	-273	-262	-273	42	SI
33	115	-63	105	115	157	-63	157	SI
34	42	-42	42	52	10	-42	52	SI
35	-220	94	-210	-315	-399	-399	94	SI
36	-63	-21	-84	-84	-73	-84	0	NO
37	-82	-92	-51	20	-10	-92	20	SI
38	-82	-123	-72	41	-205	-205	41	SI
39	-231	-178	-210	346	241	-231	346	SI
40	-262	-273	-500	-741	-745	-745	0	NO
41	21	84	-105	-189	-199	-199	84	SI
42	157	-168	84	231	283	-168	283	SI
43	-52	-210	-31	157	105	-210	157	SI
44	-231	315	-378	-735	-787	-787	315	SI
45	0	241	-73	-63	-42	-73	241	SI
46	126	-199	105	273	346	-199	346	SI
47	147	-147	84	210	315	-147	315	SI
48	105	-115	0	126	168	-115	168	SI
49	-210	84	-273	-388	-504	-504	84	SI
50	-63	-21	-94	-105	-84	-105	0	NO
51	136	-31	94	105	157	-31	157	SI
52	252	-21	-42	21	21	-42	252	SI
53	-241	84	-336	-346	-462	-462	84	SI
54	-115	-21	-115	-63	-94	-115	0	NO
55	-113	-205	-184	20	-113	-205	20	SI
56	-51	-82	-143	205	-102	-143	205	SI
57	0	-210	-10	210	147	-210	210	SI
58	-231	-252	-367	-546	-682	-682	0	NO
59	-21	94	-136	-189	-231	-231	94	SI
60	126	-126	73	357	388	-126	388	SI

## ESFUERZOS DE LAS PRUEBAS DE CARGA Y ESFUERZOS MAXIMOS

FECHA \_\_\_\_\_

HOJAS 3

EXT. N°	E S F U E R Z O S					ESFUERZOS MAXIMOS		OBSERVACIONES SOBRE INVERSION DE ESFUERZOS
	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PRUEBA 5	C	T	
61	42	-210	- 21	231	126	-210	231	SI
62	-252	315	-358	-735	-819	-819	315	SI
63	10	21	- 31	- 94	- 63	- 94	21	SI
64	189	-168	168	304	378	-168	378	SI
65	178	-105	94	178	252	-105	252	SI
66	231	-294	168	283	315	-294	315	SI
67	-189	52	-273	-294	-441	-441	52	SI
68	- 31	0	-105	-105	-126	-126	0	NO
69	315	- 52	262	274	356	- 52	356	SI
70	42	- 42	- 42	42	- 10	- 42	42	SI
71	-220	73	-283	-315	-420	-420	73	SI
72	- 63	21	-115	- 84	- 84	-115	21	SI
73	- 61	- 41	- 82	194	-123	-123	194	SI
74	- 20	- 51	- 41	10	- 82	- 82	10	SI
75	147	-252	63	473	242	-252	473	SI
76	105	-105	21	305	126	-105	305	SI
77	- 42	63	- 42	-410	-400	-410	63	SI
78	0	-189	32	42	84	-189	84	SI
79	84	-189	71	315	189	-189	315	SI
80	74	- 21	42	84	42	- 21	84	SI
81	-210	63	- 63	-473	-326	-473	63	SI
82	- 21	- 21	- 32	- 53	- 21	- 53	0	NO
83	0	42	- 63	-189	-115	-189	42	SI
84	- 52	210	-105	-672	-178	-672	210	SI
85	32	- 95	32	221	63	- 95	221	SI
86	126	-231	63	441	137	-231	441	SI
87	63	-199	0	21	42	-199	63	SI
88	- 42	252	- 42	-504	- 42	-504	252	SI
89	95	-105	- 21	137	21	-105	137	SI
90	126	-231	32	767	116	-231	767	SI

ESFUERZOS DE LAS PRUEBAS DE CARGA Y ESFUERZOS MAXIMOS

FECHA \_\_\_\_\_

HOJA Nº \_\_\_\_\_

4

EXT. Nº	E S F U E R Z O S					ESFUERZOS MAXIMOS		OBSERVACIONES SOBRE INVERSION DE ESFUERZOS
	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PRUEBA 5	C	T	
91	284	378	221	389	347	-378	389	SI. EXCEDE
92	252	-326	0	294	275	-326	294	SI
93	- 63	53	- 53	-315	-147	-315	53	SI
94	21	- 53	21	11	42	- 53	42	SI
95	147	-221	105	399	189	-221	399	SI
96	116	- 84	105	179	74	- 84	179	SI
97	- 32	-200	-126	-315	-137	-315	0	NO
98	32	-126	- 21	- 32	32	-126	32	SI
99	21	- 73	- 42	- 42	- 73	- 73	21	SI
100	- 73	-252	- 63	-441	-178	-441	0	NO
101	42	- 63	95	- 21	- 42	- 63	95	SI
102	126	95	84	441	105	- 0	441	NO
103	21	-115	84	-136	0	-136	84	SI
104	- 52	-357	0	-388	-105	-388	0	NO
105	84	- 11	- 21	63	63	- 21	84	SI
106	147	158	11	473	126	- 0	473	NO
107	116	74	95	588	389	- 0	588	NO
108	147	53	0	389	168	- 0	389	NO
109	- 42	-252	- 84	-378	-168	-378	0	NO
110	63	- 84	74	63	63	- 84	74	SI
111	126	42	126	399	210	- 0	399	NO
112	53	- 21	63	137	63	- 21	137	SI
113	- 63	-252	-147	-315	-168	-315	0	NO
114	42	-126	- 21	- 32	- 11	-126	42	SI
115	0	-126	- 63	- 63	- 63	-126	0	NO
116	-105	-378	-115	-636	-315	-636	0	NO
117	74	- 21	21	126	21	- 21	126	SI
118	168	137	42	609	126	- 0	609	NO
119	21	- 94	21	- 42	10	- 94	21	SI
120	- 52	-378	- 10	-357	- 94	-378	0	NO

## ESFUERZOS DE LAS PRUEBAS DE CARGA Y ESFUERZOS MAXIMOS

FECHA \_\_\_\_\_

HOJAS 5

EXT. Nº	E S F U E R Z O S					ESFUERZOS MAXIMOS		OBSERVACIONES SOBRE INVERSION DE ESFUERZOS
	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PRUEBA 5	C	T	
121	84	84	95	168	42	- 0	168	NO
122	42	189	42	441	32	- 0	441	NO
123	147	231	116	473	210	- 0	473	NO
124	147	158	63	315	189	- 0	315	NO
125	0	-378	126	-294	-189	-378	126	SI
126	63	11	0	11	32	- 0	63	NO
127	105	126	105	263	105	- 0	263	NO
128	63	63	42	147	11	- 0	147	NO
129	- 32	-147	252	-441	-231	-441	252	SI
130	21	- 21	21	- 63	32	- 63	32	SI
131	- 31	-115	73	-231	- 94	-231	75	SI
132	-126	-262	105	-556	-189	-556	105	SI
133	42	32	32	63	- 32	- 32	63	SI
134	128	252	21	473	116	- 0	473	NO
135	10	- 21	31	- 42	- 31	- 42	31	SI
136	- 63	-178	84	-409	-147	-409	84	SI
137	63	63	21	126	84	- 0	126	NO
138	117	252	32	483	200	- 0	483	NO
139	63	0	31	31	94	- 0	94	NO
140	294	168	84	0	262	- 0	294	NO
141	42	137	21	42	168	- 0	168	NO
142	-105	168	95	0	- 63	-105	168	SI
143	21	0	0	42	52	- 0	52	NO
144	147	21	84	21	231	- 0	231	NO
145	21	42	21	0	231	- 0	231	NO
146	- 21	42	42	42	42	- 21	42	SI
147	42	- 73	0	- 63	84	- 73	84	SI
148	147	- 42	73	- 63	210	- 63	210	SI
149	0	147	0	63	147	- 0	147	NO
150	- 84	273	63	33	42	- 84	273	SI



## ESFUERZOS DE LAS PRUEBAS DE CARGA Y ESFUERZOS MAXIMOS

FECHA

6

1:0JANº

EXT. Nº	E S F U E R Z O S					ESFUERZOS MAXIMOS		OBSERVACIONES SOBRE INVERSION DE ESFUERZOS
	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PRUEBA 5	C	T	
151	42	21	0	42	84	- 0	84	NO
152	105	0	84	0	189	- 0	189	NO
153	0	21	21	84	147	- 0	147	NO
154	- 84	63	84	105	63	- 84	105	SI
155	63	- 21	21	- 42	84	- 42	84	SI
156	147	0	63	- 84	231	- 84	231	SI
157	63	105	0	42	168	- 0	168	NO
158	-126	84	105	126	42	-126	126	SI
159	42	42	21	84	315	- 0	73	NO
160	168	52	84	21	231	- 0	231	NO
161	21	42	21	84	315	- 0	315	NO
162	-126	21	105	105	0	-126	105	SI
163	63	0	0	- 42	84	- 42	84	SI
164	105	21	84	- 63	241	- 63	241	SI
165	0	21	63	42	84	- 0	84	NO
166	- 84	0	126	63	-105	-105	126	SI
167	84	73	21	63	84	- 0	84	NO
168	189	178	63	42	336	- 0	336	NO
169	21	63	0	63	63	- 0	63	NO
170	126	- 42	84	105	126	- 42	126	SI
171	21	- 42	231	- 42	0	- 42	231	SI
172	0	42	0	- 21	- 63	- 63	42	SI
173	42	84	0	11	- 42	- 42	84	SI
174	74	105	11	21	- 32	- 32	105	SI
175	- 11	- 84	21	- 53	- 84	- 84	21	SI
176	189	- 42	63	- 21	11	- 42	189	SI
177	53	- 32	147	0	0	- 32	147	SI
178	64	- 32	210	- 11	42	- 32	210	SI
179	252	157	52	304	199	- 0	304	NO
180	126	168	73	315	210	- 0	315	NO

## ESFUERZOS DE LAS PRUEBAS DE CARGA Y ESFUERZOS MAXIMOS

FECHA \_\_\_\_\_

HOJANº

7

EXT. Nº	E S F U E R Z O S					ESFUERZOS MAXIMOS		OBSERVACIONES SOBRE INVERSION DE ESFUERZOS
	PRUEBA 1	PRUEBA 2	PRUEBA 3	PRUEBA 4	PRUEBA 5	C	T	
181	94	126	52	231	168	- 0	231	NO
182	126	136	84	441	210	- 0	441	NO
183	115	115	63	252	168	- 0	252	NO
184	105	84	73	378	315	- 0	378	NO
185	105	73	63	210	136	- 0	210	NO
186	73	52	63	157	126	- 0	157	NO
187	189	21	21	252	210	- 0	252	NO
188	126	336	84	525	210	- 0	525	NO
189	157	220	94	430	252	- 0	430	NO
190	157	178	94	378	462	- 0	462	NO
191	178	168	115	409	273	- 0	409	NO
192	157	147	84	346	231	- 0	346	NO
193	136	94	94	430	220	- 0	430	NO
194	126	105	84	241	189	- 0	241	NO
195	94	42	63	147	126	- 0	147	NO
196	94	10	52	73	105	- 0	105	NO
197	336	210	84	420	178	- 0	420	NO
198	210	210	126	430	252	- 0	430	NO
199	210	178	115	357	220	- 0	357	NO
200	378	168	252	609	399	- 0	609	NO
201	231	147	115	357	231	- 0	357	NO
202	168	126	115	273	241	- 0	273	NO
203	126	94	94	21	178	- 0	178	NO
204	126	42	73	136	168	- 0	168	NO
205	84	10	52	63	147	- 0	147	NO
206	325	220	84	420	199	- 0	420	NO
207	210	210	126	409	241	- 0	409	NO
208	357	189	231	336	367	- 0	367	NO
209	462	168	115	409	273	- 0	462	NO
210	252	147	115	357	252	- 0	357	NO



## VI INTERPRETACION DE RESULTADOS

ANTES QUE NADA, DEBO ACLARAR, QUE POR CAUSAS AJENAS A MI VOLUNTAD, EL MODELO FÍSICO SE ENSAYÓ PARCIALMENTE. ES DECIR, SE LLEVÓ A CABO EL ENSAYE DEL MODELO PARA CARGA -- VIVA SIN INCLUIR EL EFECTO DEL PESO PROPIO DEL MODELO, ES TO PROVOCÓ UNA DISTORSIÓN DE PESO VOLUMÉTRICO EN EL MODELO, POR LO QUE LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN ESTE ESTUDIO - DEBEN SER MODIFICADOS POR UN FACTOR DE PREDICCIÓN QUE TOMARÁ EN CUENTA EL EFECTO DEL PESO PROPIO DEL MODELO, DICHO FACTOR SE OBTIENE EXPERIMENTALMENTE Y DESGRACIADAMENTE NO ME FUE POSIBLE INCLUIRLO EN ESTE TRABAJO.

YA QUE EL MODELO QUE ENSAYAMOS ES UNA ARMADURA ESPACIAL ANALIZAREMOS EL COMPORTAMIENTO Y LAS DEFORMACIONES - QUE TUVO EL MISMO ANTE LAS DIFERENTES SOLICITACIONES APLICADAS; EXAMINANDO POR SEPARADO LOS ELEMENTOS QUE FORMAN - LA ARMADURA ESPACIAL.

### M O N T A N T E S

ESTOS ELEMENTOS PRESENTAN EFECTOS DE FLEXOCOMPRESIÓN Y FLEXOTENSIÓN.

### D I A G O N A L E S

PRESENTAN EFECTOS DE FLEXOCOMPRESIÓN , FLEXOTENSIÓN - Y FLEXIÓN.

#### CUERDAS INFERIORES TRANSVERSALES

PRESENTAN EFECTOS DE TENSIÓN Y COMPRESIÓN.

#### CUERDAS INFERIORES LONGITUDINALES

PRESENTAN EFECTOS DE TENSIÓN ÚNICAMENTE.

LAS DEFORMACIONES Y POR CONSIGUIENTES LOS ESFUERZOS MÁXIMOS REGISTRADOS OCURRIERON EN SU MAYORÍA PARA LOS CASOS DE CARGA 2, 4 Y 5.

SE OBSERVÓ QUE EN LA MAYORÍA DE LOS ELEMENTOS DIAGONALES, MONTANTES Y CUERDAS INFERIORES TRANSVERSALES SE PRESENTÓ, ANTE LOS DIFERENTES CASOS DE CARGA, EL EFECTO DE INVERSIÓN DE ESFUERZOS. LAS CUERDAS INFERIORES LONGITUDINALES NO PRESENTARON EFECTOS DE INVERSIÓN DE ESFUERZOS ANTE LOS DIFERENTES CASOS DE CARGA.

EN GENERAL PODEMOS DECIR QUE LOS ELEMENTOS DE LA ARMADURA TRABAJAN A COMPRESIÓN Y/O TENSIÓN; YA QUE LOS EFECTOS DE FLEXIÓN, QUE SUMADOS A LA COMPRESIÓN Y/O TENSIÓN EN LOS ELEMENTOS DE LA ARMADURA PROVOCAN LA FLEXOCOMPRESIÓN Y/O FLEXOTENSIÓN EN LOS MISMOS, SON PEQUEÑOS Y PROBABLEMENTE DEBIDOS AL EMPOTRAMIENTO QUE PROVOCA EL PEGAMENTO EN LOS NUDOS DEL MODELO Y LA SOLDADURA EN LOS DEL PROTOTIPO IMPIDIENDO EL LIBRE GIRO DE LOS NUDOS.

EN ALGUNOS CASOS EN QUE SE PRESENTARON COMPORTAMIENTOS EXTRAÑOS DE ELEMENTOS, PROBABLEMENTE FUERON DEBIDOS A

### FALLAS EN EL PEGAMENTO DE LOS EXTENSÓMETROS.

SE REGISTRARON LOS ESFUERZOS MÁXIMOS DE CADA ELEMENTO INSTRUMENTADO, DE ENTRE TODAS LAS FUERZAS QUE SE LLEVARON A CABO, PARA PODER COMPARARLOS CON LOS ESFUERZOS PERMISIBLES DENTRO DEL DISEÑO ELÁSTICO SEGÚN FUERA EL CASO. EL ESFUERZO ADMISIBLE EN TENSIÓN ES  $F_A = 0,6 F_Y$ ;  $F_Y = 2530 \text{ KG/CM}^2$ . PARA LOS ESFUERZOS EN COMPRESIÓN SE DEBEN TOMAR EN CUENTA LAS RELACIONES DE ESBELTEZ DE LOS ELEMENTOS.

POR ÚLTIMO DIRÉ QUE LAS DEFORMACIONES EN LOS ELEMENTOS NO SIGUEN UN PATRÓN DE COMPORTAMIENTO DEFINIDO A EXCEPCIÓN DE LAS CUERDAS INFERIORES LONGITUDINALES QUE SE COMPORTAN COMO LAS FIBRAS EN TENSIÓN DE UNA VIGA.

LAS FLECHAS OBTENIDAS NO DEBEN SOBREPASAR LA FLECHA PERMISIBLE MARCADA POR LAS ESPECIFICACIONES ASSHTO.

$$Y_{\text{MÁX.}} \leq \frac{L}{800}$$

## VII CONCLUSIONES

TODO TRABAJO DEBE CONSTAR DE UNA PARTE TEÓRICA Y UNA PARTE PRÁCTICA.

PIENSO QUE ESTE TRABAJO DE TESIS HA CUMPLIDO CON - - ESTOS REQUISITOS.

SE CUBRIERON AMPLIAMENTE LOS OBJETIVOS GENERALES, YA QUE SE PRESENTÓ EN FORMA BREVE UNA CRÓNICA HISTÓRICA Y UN MARCO TEÓRICO, EN LOS QUE SE MOSTRARON LAS TEORÍAS Y - - LEYES QUE GOBIERNAN EL ANÁLISIS, DISEÑO E INTERPRETACIÓN DE LOS MODELOS FÍSICOS, PARA QUE TODO AQUEL QUE NO CONOZCA Y SE QUIERA ADENTRAR EN EL CAMPO DE LA INVESTIGACIÓN- CONOZCA, COMPRENDA Y SEPA TRABAJAR CON MODELOS FÍSICOS.

EN CUANTO A LOS OBJETIVOS PARTICULARES, SE PRESENTÓ- PASO POR PASO EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO FÍSICO, APLICANDO LAS TEORÍAS ENUNCIADAS CON ANTELACIÓN.

SE PRESENTARON DOS PROCEDIMIENTOS DE ENSAYE EN MODELOS.

SE ESTUDIÓ EL COMPORTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA CUYO - MODELO SE FABRICÓ Y SE INTERPRETARON LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL ENSAYE DEL MISMO, CUMPLIÉNDOSE CON ÉSTO LOS - - OBJETIVOS PARTICULARES.

EN CUANTO A LA ESTRUCTURA ESTUDIADA, DEBIDO A LA - -

COMPLEJIDAD DE LOS ELEMENTOS MECÁNICOS QUE SE OBSERVARON, SERÍA CONVENIENTE OBTENER VALORES DE INFLUENCIA TANTO DE LA LOSA DEL SISTEMA DE PISO COMO DE LOS ELEMENTOS DE LA ARMADURA PARA LOGRAR UN MAYOR CONOCIMIENTO DE ESTE TIPO DE ESTRUCTURA.

SE DEBE BUSCAR ELIMINAR LA FLEXIÓN EN LOS ELEMENTOS DE LA ARMADURA EMPLEANDO UN TIPO DE ARTICULACIÓN O NUDO QUE PERMITA EL GIRO DEL MISMO.

ES MUY IMPORTANTE EL ESTUDIO Y DISEÑO POR FATIGA DE LA ESTRUCTURA DEBIDO A LA INVERSIÓN DE ESFUERZOS QUE SE OBSERVÓ EN LOS ELEMENTOS DE LA ARMADURA, POR LO QUE SERÍA MUY CONVENIENTE E INTERESANTE REALIZAR UN ESTUDIO DEL COMPORTAMIENTO DE ESTE TIPO DE ESTRUCTURAS ANTE CARGAS DINÁMICAS.



## B I B L I O G R A F I A

MODEL ANALYSIS OF STRUCTURES.  
T.M. CHARLTON.

MODEL FOR CONCRETE STRUCTURES.  
ACI PUBLICATION No. 24.

REPORTE DEL ESTUDIO REALIZADO EN EL LABORATORIO  
NACIONAL DE INGENIERIA CIVIL EN LISBOA, PORTUGAL.  
ING. JUAN LEAUTAUD ORTIZ.

TRANSDUCTORES Y MEDIDORES ELECTRONICOS.  
SERIE: MUNDO.

ELECTRONICO.  
MARCOMBO BOIXAREU EDITORES.

RESISTENCIA DE MATERIALES.  
WILLIAM A. NASH.  
SERIE DE COMPENDIOS SCHAUM.

MANUAL AHMSA. CONSTRUCCION DE ACERO

PUNTES ATIRANTADOS.  
H.S. TROITSKY.