



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

“ A C A T L A N ”



Análisis de un Sistema Actualizado
de Cargas Vivas, para Puentes
Ferroviarios en la República Mexicana

TESIS PROFESIONAL
Que para obtener el Título de
INGENIERO CIVIL

presenta:

Ma. Adriana Morales García



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

INDICE

	Pág.
INTRODUCCION	1
CAPITULO I.- DETERMINACION DE CARGAS VIVAS QUE PRODUCEN ESFUERZOS MAXIMOS	3
I.1.- Locomotoras	3
I.1.1.- Clasificación de Locomotoras	5
I.1.1.a.- Según su Uso.....	5
I.1.1.b.- Según la A.A.R. (American Association Railways).....	5
I.1.2.- Locomotoras Existentes en Ferrocarriles Nacionales de México (hasta febrero de 1985)..	6
I.1.3.- Determinación de Serie y Tipo de Locomotoras Más Frecuentes y Más Pesadas.....	9
I.1.3.1.- Locomotoras B-B (4 ejes)	9
I.1.3.2.- Locomotoras C-C (6 ejes)	15
I.1.4.- Límites de Potencia para el Acoplamiento de Dos o Más Locomotoras a la Cabeza de un Tren	20
I.2.- Carros de Carga	22
I.2.1.- Clasificación de Carros	22
I.2.2.- Carros Existentes en Ferrocarriles Nacionales de México (hasta enero de 1985)	24
I.2.3.- Determinación del Tipo de Carro Más Frecuente y Más Pesado.....	26
I.3.- Arreglo de Locomotoras y Carros Más Frecuentes y Más Pesados	31

	Pág.
CAPITULO II.- DETERMINACION DE ELEMENTOS MECANICOS:.	34
II.1.- Líneas de Influencia	34
II.1.1.- Línea de Influencia para Reacción	34
II.1.2.- Línea de Influencia para Fuerza Cortante ..	36
II.1.3.- Línea de Influencia para Momento Flexionante	37
II.2.- Tablas de Momentos	38
II.3.- Momento Flexionante Máximo	45
II.4.- Fuerza Cortante Máxima	48
II.5.- Determinación de Elementos Mecánicos Máximos para los Trenes de Carga Representativos	50
II.5.1.- Locomotoras B-B más frecuentes	50
II.5.2.- Locomotoras C-C más frecuentes	59
II.5.3.- Locomotoras B-B más pesadas	66
II.5.4.- Locomotoras C-C más pesadas	71
CAPITULO III.- ANALISIS COMPARATIVO	77
III.1.- Carga Cooper	77
III.2.- Análisis Comparativo	85
CONCLUSIONES	96
BIBLIOGRAFIA	98

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

Un aspecto fundamental en el análisis y diseño estructural de un puente ferroviario es la determinación de las cargas vivas que se consideran para ello.

Debido a lo anterior el objetivo de este trabajo es realizar una comparación de los efectos que producen en un puente los modelos de carga hasta ahora utilizados, cargas Cooper tipo E; y los de cargas reales obtenidos de acuerdo al - equipo rodante con que cuentan actualmente los Ferrocarriles Nacionales de México; con el fin de saber si las cargas Cooper son adecuadas a la realidad, en nuestro país y, en su caso, presentar una propuesta actualizada.

El motivo por el cual se considera necesario hacer esta revisión y comparación es debido a que el modelo de cargas - Cooper tipo E se realizó con locomotoras de vapor en el año de 1894, mientras que las locomotoras que circulan por la - red ferroviaria Nacional en la actualidad son diésel eléctricas, con muy diferentes características de peso y distribución de ejes.

El desarrollo que se sigue para realizar el objetivo deseado es, primeramente, la recopilación de información de todo el equipo rodante existente hasta principios de 1985 en - Ferrocarriles Nacionales de México en lo referente a locomotoras y carros de carga y, posteriormente, la determinación del tipo de locomotoras y carros de arrastre más frecuentes

y más pesados; para proponer los arreglos de carga por ejes motrices representativos.

En el capítulo II, una vez definidos los trenes o arreglos de carga representativos, se calculan los elementos mecánicos máximos que provocan para diferentes claros de puentes.

El análisis comparativo se realiza en el capítulo III en términos de los elementos mecánicos máximos, tanto de las cargas Cooper como de las cargas reales.

Finalmente, se establecen las conclusiones que se obtuvieron del estudio realizado.

CAPITULO I

DETERMINACION DE CARGAS VIVAS QUE PRODUCEN ESFUERZOS MAXIMOS

Las cargas vivas que actúan sobre puentes de ferrocarril son debidas a las cargas móviles de locomotoras y carros que los cruzan.

En este capítulo se presentan las características representativas y pesos de todos los tipos de locomotoras y carros de ferrocarril que transitan por la red ferroviaria de la República Mexicana, existentes hasta febrero de 1985 (información proporcionada por Ferrocarriles Nacionales de México).

En base a dicha información se determinan los tipos de locomotoras y carros con mayor peso, así como los que con mayor frecuencia transitan por la red ferroviaria; para proponer los arreglos de cargas que puedan producir esfuerzos máximos en un puente.

I.1.- Locomotoras.

Las locomotoras son vehículos ferroviarios que producen o transforman potencia, destinados a desplazar y arrastrar otros carros.

Existen locomotoras de vapor, eléctricas, diésel mecánicas, diésel hidráulicas y diésel eléctricas. Estas últimas son del tipo que se utilizan en el país.

El peso total de una locomotora diésel eléctrica está soportado por dos dispositivos llamados "trucks" colocados en cada uno de sus extremos. Cada truck está formado por dos o tres ejes motrices conectados entre sí. Se define como eje motriz al eje de dos ruedas paralelas. Como se muestra en la figura I.1.

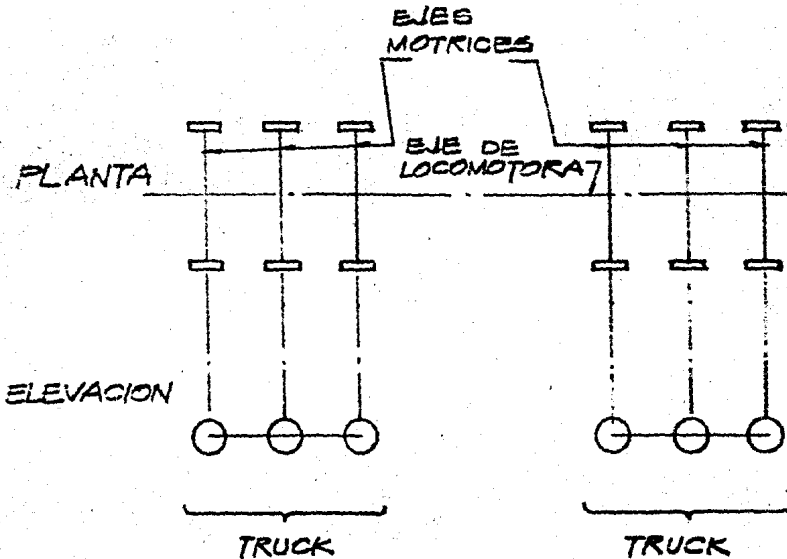


Figura I.1 -- Ejes Motrices y Trucks

I.1.1.- Clasificación de Locomotoras.

I.1.1.a.- Según su Uso.

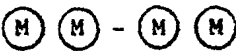
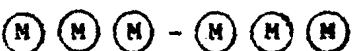
De acuerdo a la clase de servicio que deban prestar se clasifican en:

a) Locomotoras para patio.- Son aquéllas que están destinadas a maniobrar dentro de un patio; lugar de reparación, mantenimiento, almacenamiento y acoplamiento de trenes, vagones y locomotoras.

b) Locomotoras para camino.- Se emplean para desplazar trenes de pasajeros y carga.

I.1.1.b.- Según la A. A. R. (American Association Railways).

El sistema de clasificación de locomotoras diésel eléctricas que propone la A. A. R. y que utiliza Ferrocarriles Nacionales de México para sus locomotoras en operación, se basa en la disposición de ejes motrices y trucks (Ver figura I.2).

DESIGNACION	DISPOSICION ESQUEMATICA	DESCRIPCION
A.A.R.		
B - B		Unidad con dos trucks; dos ejes motrices por truck.
C - C		Unidad con dos trucks; tres ejes motrices por truck.

M : eje motriz

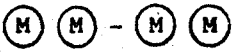
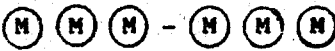
B : dos ejes motrices

- : indica separación entre trucks

Figura I.2.- Disposición de Ejes y Trucks
según la A. A. R.

I.1.2.- Locomotoras Existentes en Ferrocarriles Nacio- nales de México (hasta febrero de 1985).

En las tablas I.1 y I.2 se muestran algunas caracterís-
ticas representativas de locomotoras diésel eléctricas B - B
(4 ejes) y C - C (6 ejes) en existencia hasta febrero de 1985.

DESIGNACION	DISPOSICION ESQUEMATICA	DESCRIPCION
A.A.R.		
B - B		Unidad con dos trucks; dos ejes motrices por truck.
C - C		Unidad con dos trucks; tres ejes motrices por truck.

M : eje motriz
B : dos ejes motrices
- : indica separación entre trucks

Figura I.2.- Disposición de Ejes y Trucks según la A. A. R.

I.1.2.- Locomotoras Existentes en Ferrocarriles Nacionales de México (hasta febrero de 1985).

En las tablas I.1 y I.2 se muestran algunas características representativas de locomotoras diésel eléctricas B - B (4 ejes) y C - C (6 ejes) en existencia hasta febrero de 1985.

Serie	Pesos ton	Longitud m	Peso/Longitud ton/m	Peso/No.Ejes ton	Locomotoras en Existencia	P=Patio C=Camino	Potencia H.P.
5400	55.0	11.223	4.90	13.75	20	P-C	800
5500	104.3	14.014	7.44	26.08	1	P	1000
5600	110.8	16.757	6.61	27.70	15	P-C	1000
5800	85.4	14.427	5.92	21.35	71	P-C	1310
6200	111.5	15.240	7.32	27.88	1	C	1350
6600	108.2	17.043	6.35	27.05	1	P-C	1500
7000	115.6	16.662	6.94	28.9	1	C	1750
7100	110.8	17.119	6.47	27.7	8	P-C	1750
7200	117.1	17.367	6.74	29.28	74	P-C	1800
7500	117.9	17.119	6.89	29.48	32	P-C	1800
8100	116.8	18.084	6.46	29.20	39	P-C	2400
8200	120.3	17.119	7.03	30.08	49	P-C	2500
8400	119.0	18.034	6.60	29.75	9	P-C	3000
8800	100.0	14.224	7.03	25.0	60	P-C	1500
9000	109.771	16.662	6.59	27.44	36	C	1800
9100	111.586	18.339	6.08	27.90	160	C	2250
9200	113.4	18.034	6.29	28.35	131	C	2000
9500	116.12	18.085	6.42	29.03	66	C	2400
9700	115.818	18.339	6.32	28.95	41	C	3000
9800	112.493	15.291	7.36	28.12	25	C	1500
MLW200	108.96	18.544	5.88	27.24	4	C	2000
FUS100	104.3	13.862	7.52	26.08	8	P	900
FUS300	110.0	17.214	6.39	27.50	1	C	1600
FUS500	108.96	18.316	5.94	27.24	2	C	2000

Fuente: Subgerencia de Fuerza Motriz y Equipo de Arrastre,
Ferrocarriles Nacionales de México

Tabla I.1.- Locomotoras B-B (4 ejes)

Serie	Pesos ton	Longitud m	Peso/Longitud ton/m	Peso/No.Ejes ton	Locomotoras en Existencia	P=Patío C=Camino	Potencia H.P.
5900	73.9	14.904	4.96	12.316	1	P-C	1200
6700	165.198	20.498	8.06	27.533	283	C	3000
6800	147.40	17.830	8.27	24.566	4	C	1600
7300	112.40	18.592	6.04	18.733	19	P-C	1800
7400	155.40	17.722	8.77	25.90	64	P-C	1800
7700	166.015	19.66	8.44	27.669	17	C	2500
8300	179.50	21.183	8.05	28.416	30	P-C	2750
8500	166.925	20.015	8.34	27.82	84	P-C	3000
8600	172.368	21.297	8.09	28.728	16	C	3000
8700	166.925	20.980	7.95	27.82	102	C	3000
8900	163.296	20.498	7.97	27.216	127	C	3600
DH600	155.60	21.183	7.34	25.933	18	C	2750
DH700	165.0	20.498	8.05	27.50	12	C	3000
DH800	167.072	19.963	8.37	27.845	3	C	3000

Fuente: Subgerencia de Fuerza Motriz y Equipo de Arrastre,
Ferrocarriles Nacionales de México

Tabla I.2.- Locomotoras C-C (6 ejes)

I.1.3.- Determinación de Serie y Tipo de Locomotoras Más Frecuentes y Más Pesadas.

I.1.3.1.- Locomotoras B - B (4 ejes).

Para obtener la locomotora más frecuente se hace una distribución de frecuencias basándose en la tabla I.1, agrupando datos tomando como variables el peso y número de locomotoras.

Pesos (ton)	Número de Locomotoras (frecuencia)
108 - 108.99	7
109 - 109.99	36
110 - 110.99	23
111 - 111.99	161
112 - 112.99	25
113 - 113.99	131
114 - 114.99	0
115 - 115.99	42
116 - 116.99	105
117 - 117.99	106
118 - 118.99	0
119 - 119.99	9
120 - 120.99	49

Tabla I.3.- Distribución de Frecuencias de Locomotoras B - B.

En la tabla anterior no se incluyen los pesos de locomotoras de las series 5500, FUS-100 y FUS-300, ya que son para el servicio de patio. Tampoco las locomotoras de las series 5400, 5800 y 8800 se tomaron en cuenta porque el valor de los pesos se aleja considerablemente del primer intervalo de clase (108 - 108.99), aunque sus frecuencias son representativas, no caen dentro de la locomotora más común.

La figura I.3 muestra un histograma que representa gráficamente la distribución de frecuencias de la tabla I.3.

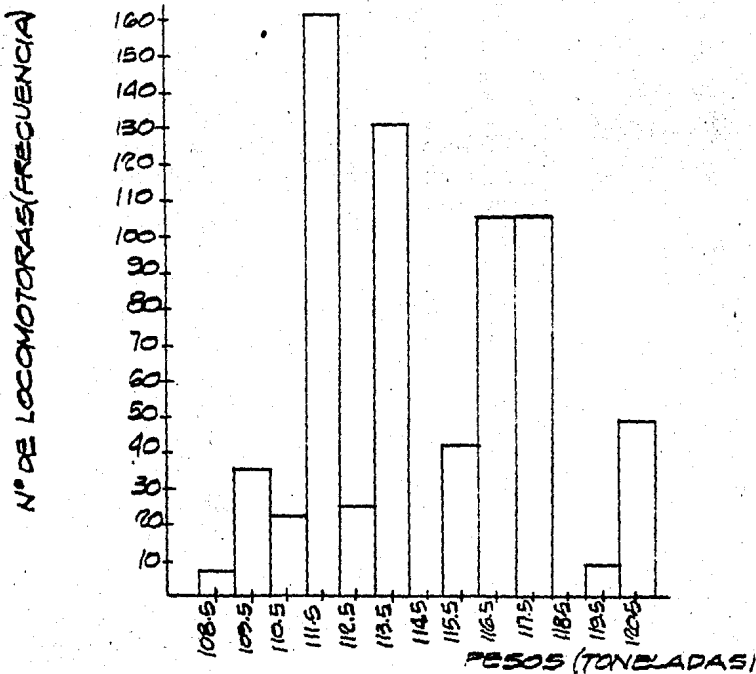
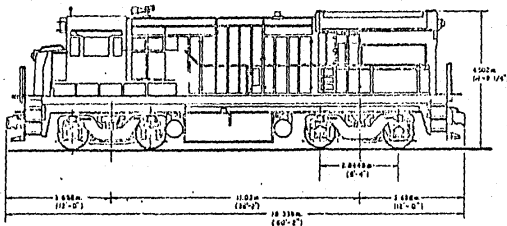
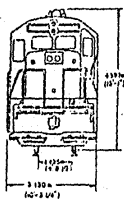


Figura I.3.- Histograma de Frecuencias de Locomotoras B-B

La locomotora más frecuente corresponde al intervalo de 111 a 111.99 toneladas y pertenece a la serie 9100 (Ver figura I.4).

La locomotora más pesada es de la serie 8200 (Ver figura I.5).

CLASE DE-37 Nos 9100 A 9129 G.E. - CAMINO



PLANTAS EN SERVICIO
EN 1975

DATOS GENERALES

MODELO: U-33-B
 POTENCIA NOMINAL PARA TRACCION: 2150 HP
 DEFENICION: E.B.P.
 VELOCIDAD DE CRUCEL: 74.10
 VELOCIDAD MAXIMA ADMISIBLE: 103.50 KM/H (64.30 MPH)
 PESO MAXIMO DE CRUCEL: 107.10 (236,000 LB)
 PESO SOBRE MOTORES: TOTAL 41,344 kg (91,000 LB)

MOTOR DIESEL

NUMERO: 77 D.M.2
 CICLO: 4 TIEMPOS
 ENCHUFO POR MOTOR: 12 IN. 7/8"
 DIAMETRO Y CARRERA: 230 x 235 mm (9 1/8 x 9 3/8")
 RELACION DE COMPRESION: 18:1
 VELOCIDAD MAXIMA: 1030 R.P.M.
 VELOCIDAD EN CRUCEL: 600 R.P.M.
 VELOCIDAD PUENTES DE ADMISION: 657 R.P.M.
 VELOCIDAD PUENTES DE ADMISION: 497 R.P.M.

APERTURA VALVULAS DE ESCAPE: 85° R.P.M.
 CIERRE VALVULAS DE ESCAPE: 67° R.P.M.
 ANCHO DE INYECCION: 24° R.P.M.
 CREEN DE INYENDIDO: 10-14, 20-24, 30-34, 40-44, 46-51, 48-51
 TUNDOCARTEJER: BCO-45
 PRESION DE LUBRICANTE: 2.10-2.50 kg/cm² (30-35 PSI)
 PRESION DE COMBUSTIBLE: 3.81 kg/cm² (55 PSI)
 PESO DEL MOTOR DIESEL SEC: 13,200 kg (29,100 LB)

TRUCAS

DIAMETRO DE RUEDAS: 1,015 mm (40")
 NUMERO DE EJES MOTORES: 4
 RUEDAS: 103 x 304 mm (4'-0 1/2" x 12")
 COINTEL: TRANSCORTE TUBERO

FRENOS DE AIR

SENO: 24 L
 COMPRESION: 80-90 PSI
 MANTENIMIENTO A 100 R.P.M.: 8 SECS (100 RPM)
 CUMPLADO DE TIEMPO: 600-115 x 102.1 mm (18' x 3")

DEPOSITOS PRINCIPALES:

GRUPO ELECTRICO
 GENERADOR PRINCIPAL: 600
 VOLTAJES NOMINALES: 615 V
 PESO GENERADOR PRINCIPAL: CUATRO - 26,352
 MOTORES DE TRACCION: 1
 CILINDROS CONTINUIDAD: 2,375 kg (5,250 LB)
 GENERADOR AUXILIAR: 6127
 POTENCIA: 10 KW
 FRENOS DINAMICO: 700 KW
 REGULADORES: DC-10-155 x 152 x 150 mm

ABASTECIMIENTOS

LUBRICANTE: 1,030 L (270 GAL)
 COMBUSTIBLE: 6,375 L (1,680 GAL)
 AGUA MOTOR DIESEL: 4,375 L (1,150 GAL)
 ARENA: 176 m³ (150 m³)

849/687

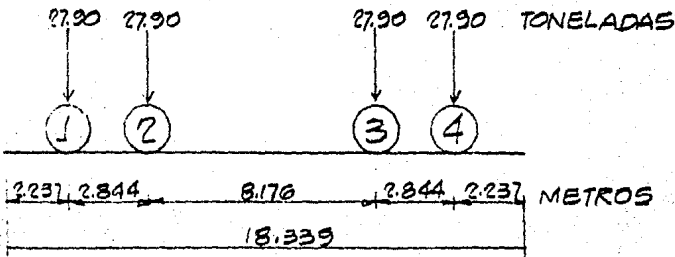
DEPARTAMENTO TECNICO

REPORTE DE 37

Figura 1.4.- Locomotora B-B Más Frecuente

La distribución del peso total en los ejes motrices y la separación de los mismos de locomotoras B - B representativas, se muestran en la figura I.6.

Locomotora más frecuente. Serie 9100.



Locomotora más pesada. Serie 8200.

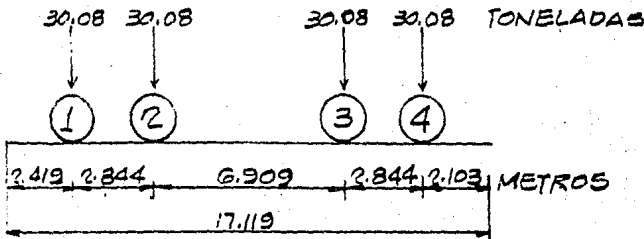


Figura I.6.- Distribución de Pesos en Locomotoras B-B

I.1.3.2.- Locomotoras C - C (6 ejes).

La distribución de frecuencias siguiente se hace basándose en la tabla I.2.

Pesos (ton)	Número de Locomotoras (frecuencia)
147 - 149.99	4
150 - 152.99	0
153 - 155.99	82
156 - 158.99	0
159 - 161.99	0
162 - 164.99	127
165 - 167.99	501
168 - 170.99	30
171 - 173.99	16

Tabla I.4.- Distribución de Frecuencias de Locomotoras C - C.

Las series 5900 y 7300 no se incluyen en la tabla I.4, porque el valor de los pesos se aleja considerablemente del primer intervalo (147 - 149.99) y tales valores no son representativos.

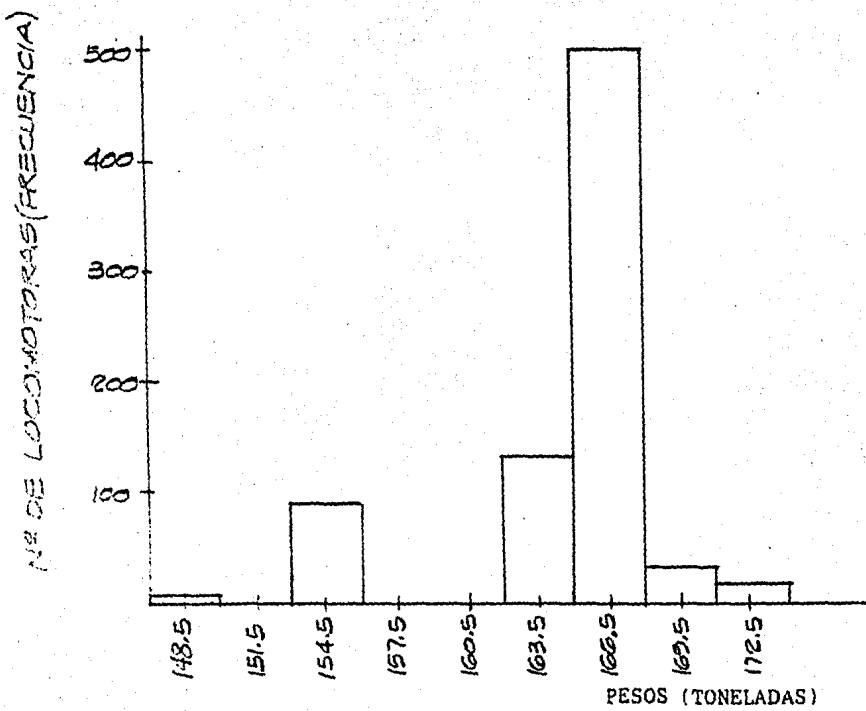
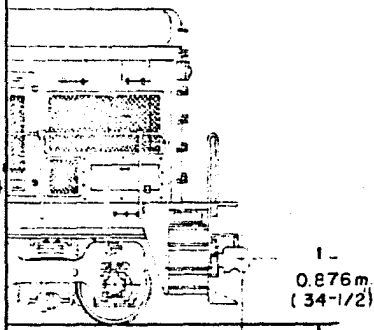
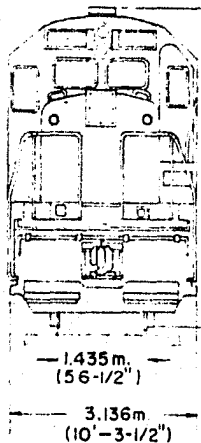


Figura I.7.- Histograma de Frecuencias de Locomotoras C-C

La locomotora con mayor frecuencia pertenece al intervalo de 165 a 167.99 toneladas, dentro del cual la locomotora representativa es de la serie 6700 (Ver figura I.8).

La locomotora más pesada corresponde a la serie 8600 (Ver figura I.9).



DATOS GENERALES

MODELO	C-30-7
POTENCIA NOMINAL PARA TRACCION	3,000 h.p.
DESIGNACION A. A. R.	C-C
RELACION DE ENGRANES	74:18
VELOCIDAD MAXIMA AJUSTADA	105 Km /hr. (66 m.p.h.)
FUERZA TRACTIVA CONTINUADA	41,095 Kg. (90,600 lb.)
A LA VELOCIDAD MINIMA DE	15.4 Km./hr. (9.6 m.p.h.)
RADIO MINIMO DE CURVATURA	83.21m. (273.1 ft.)
PESO SOBRE MOTRICES	165,198 Kg. (364,000 lb.)

600 v.
6,257.3 kg. (13,795 lb.)
6-GE-752-EB
1,190 amp.
3,175.1 kg. (7,000 lb.)
5 GY 27 JI
12 kv. - 74 v. - 160 amp.
740 amp.
8-64v.-420 amp.-hr.

MOTOR DIESEL

MODELO	FDL-16
CICLO	4 tiempos
CILINDROS POR MOTOR	16 en "V"
DIAMETRO Y CARRERA	228.6 x 266.7
RELACION DE COMPRESION	12.7:1
VELOCIDAD MAXIMA	1,050 r.p.m.
VELOCIDAD EN HOLGAR	450 r.p.m.
APERTURA VALVULAS DE ADMISION	65° a.p.m.s.
CIERRE VALVULAS DE ADMISION	45° d.p.m.i.
APERTURA VALVULAS DE ESCAPE	55° a.p.m.i.
CIERRE VALVULAS DE ESCAPE	61° d.p.m.s.
PUNTO DE INYECCION	23° a.p.m.s.

ALMACENAMIENTO DE VAPOR

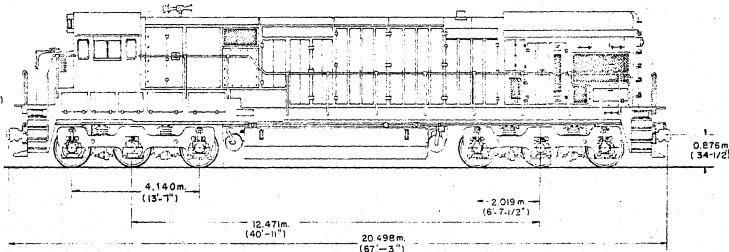
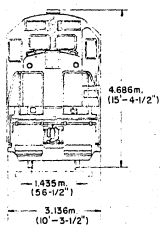
No usa
1,438 lt. (380 gal.)
15,141 lt. (4,000 gal.)
1,381.6 lt. (365 gal.)
1.70 m ³ (60 pies ³ .)

REQUISITOS

NOTAS

RODILLOS HYATT
12,302lt. (3,250 gal.)

Nos. 6700 A 6799 G.E. - CAMINO



DATOS GENERALES

MODELO C-30-7
 POTENCIA NOMINAL PARA TRACCION 3000 h.p.
 REGULACION A. A. R. C-6
 RELACION DE ENGRANES 74:18
 VELOCIDAD MAXIMA AJUSTADA 105 Km./hr. (65 millas/hr.)
 FUERZA TRACTIVA CONTINUADA 41,095 Kg. (90,800 lb.)
 A LA VELOCIDAD MINIMA DE 15.4 Km./hr. (9.6 millas/hr.)
 RADIO MINIMO DE CURVATURA 83.21m. (273 pies)
 PESO SOBRE MOTRICES 165,186 Kg. (366,000 lb.)

MOTOR DIESEL

MODELO FDL-16
 CICLO 4 tiempos
 CILINDROS POR MOTOR 16 en V
 DIAMETRO Y CARRERA 228.6 x 266.7 mm. (9\"/>

ORDEN DE ENCENDIDO IR-1L, 3R-3L, 7R-7L, 4R-4L, 8R-8L, 6R-6L, 2R-2L, 5R-5L
 PRESION DE LUBRICANTE 5.27-7.03 Kg./cm.² (175-100 lb./pulg.²)
 PRESION DE COMBUSTIBLE 2.81 Kg./cm.² (40 lb./pulg.²)
 PESO DEL MOTOR SECO 19,735 Kg. (43,510 lb.)
 TURBOCARGADOR BCO-65

TRUCKS

DIAMETRO DE RUEDAS 1,016 mm. (40\")
 NUMERO DE EJES MOTRICES 6
 MUÑONES 165.1 x 304.8 mm. (6-1/2\"/>

FRENOS DE AIRE

EQUIPO 26 L
 COMPRESOR 60 - w B O
 DESPLAZAMIENTO a 1,050 r.p.m. 8.381 m³/min (296 pies³/min.)
 CILINDROS DE FRENO 9-279.4 x 152.4 mm. (11\"/>

EQUIPO ELECTRICO

GENERADOR PRINCIPAL GT A - II - C I

TENSION NOMINAL 600 v.
 PESO 6,257.3 kg. (13,795 lb.)
 MOTORES DE TRACCION 6-GE - 152 - EB
 CARGA CONTINUADA 1,190 amp.
 PESO 3,175.1 kg. (7,000 lb.)
 GENERADOR AUXILIAR 5 Gy 27 J1
 POTENCIA 12 kw. - 74 v - 166 amp.
 FRENO DINAMICO 740 amp.
 ACUMULADORES 8-64v - 420 amp.-hr.

GENERADOR DE VAPOR

MODELO No uso
 ABASTECIMIENTOS
 LUBRICANTE 1,438 lt. (380 gal.)
 COMBUSTIBLE ** 15,141 lt. (4,000 gal.)
 AGUA MOTOR DIESEL 1,391.6 lt. (365 gal.)
 ARENA 1.70 m³ (160 pies³)

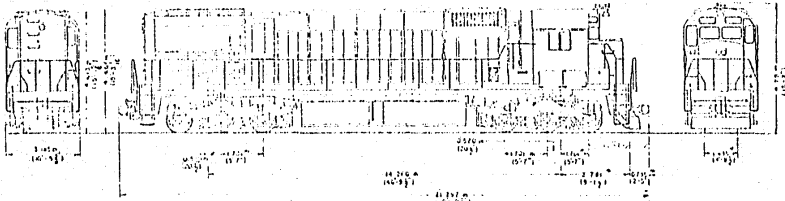
NOTAS

* LOC. 6700 RODILLOS HYATT
 ** LOCs. 6701 a 6729 12,302 lt. (3,250 gal.)

Figura 1.3.- Locomotora Más Frecuencia

Fallas de origen

CLASE DE--32 Nos. 8600 A 8619 MLW-CAMINO.



Fallas de origen

<u>DETALLES GENERALES</u>	<u>DESCRIPCIÓN DE PARTES</u>	<u>QUANTIDADES</u>	<u>NOTAS</u>
MOTOR DE GAS	MOTOR DE GAS	1	EQUIPO MEXICANO
EQUIPO MEXICANO	EQUIPO MEXICANO	1	
EQUIPO AMERICANO	EQUIPO AMERICANO	1	
EQUIPO EUROPEO	EQUIPO EUROPEO	1	
EQUIPO JAPONÉS	EQUIPO JAPONÉS	1	

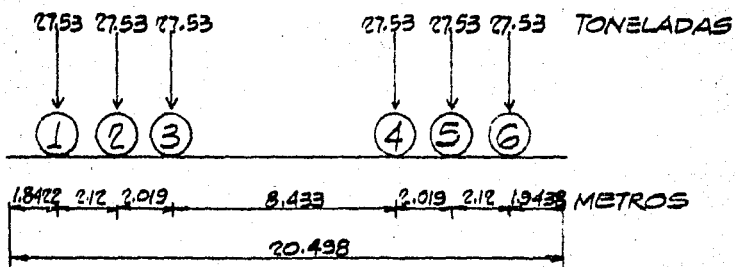
DEPARTAMENTO TÉCNICO

MADE DE ...

Figura 1.9.- Locomotora C-C Más Pesada

La distribución del peso total en los ejes motrices y la separación de los mismos de locomotoras C - C, se representan en la figura I.10.

Locomotora más frecuente. Serie 6700.



Locomotora más pesada. Serie 8600.

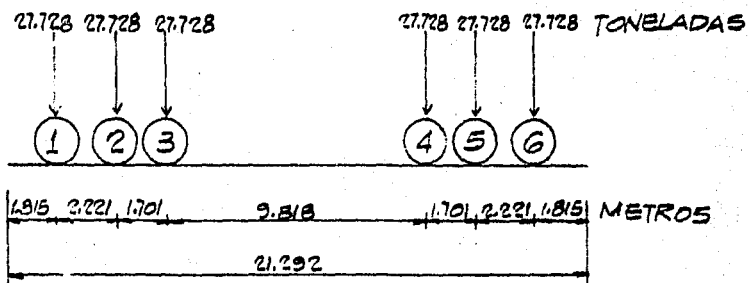


Figura I.10.- Distribución de Pesos en Locomotoras C - C

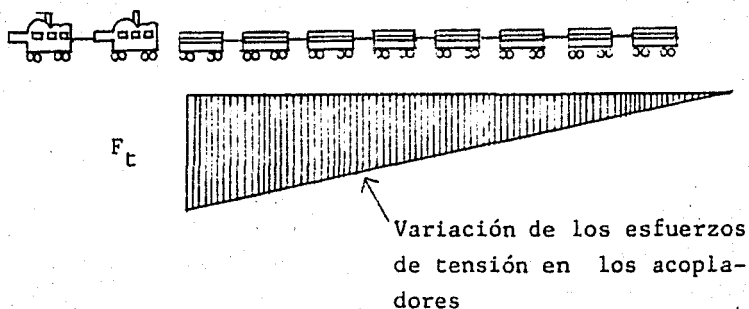
I.1.4.- Límites de Potencia para el Acoplamiento de Dos o Más Locomotoras a la Cabeza de un Tren.

En la práctica es común acoplar dos o más locomotoras a la cabeza de un tren para tener mayor capacidad de arrastre. El número de locomotoras acopladas está fundamentalmente en función de la resistencia a la tensión de los acopladores.

Los acopladores son dispositivos que enganchan entre sí a los elementos de equipo rodante de un tren, ya sean locomotoras y carros.

La resistencia a la ruptura de un acoplador de tipo americano (que es usado en el equipo de F. N. de M.) es en promedio de 260 000 Kgs. y su resistencia en el límite elástico es del orden de 136 000 Kgs. para efectos prácticos la A. A. R. considera que el esfuerzo de tensión de un acoplador no debe rebasar el valor de 90 800 Kgs.

El esfuerzo de tensión en los acopladores de un tren que es remolcado por su locomotora colocada a la cabeza, varía a lo largo del mismo decreciendo gradualmente desde el frente hasta el final, lugar en que se anula (Ver figura - I.11).



F_t = Fuerza tractiva máxima en acopladores

Figura 1.11.- Variación de los Esfuerzos de Tensión en los Acopladores.

La fuerza tractiva máxima igual al esfuerzo máximo de tensión de un acoplador (90 800 Kgs.) puede ser generada en función del tonelaje de arrastre y de la velocidad de desplazamiento del tren. Por lo cual y considerando las velocidades mínimas de operación de locomotoras el Departamento de Estudios y Proyectos de F. N. de M. ha establecido mediante un estudio técnico límites de potencia para el acoplamiento de locomotoras según su serie:

No. de locomotoras acopladas \leq 7500/H.P. (excepto para series 8200 y 8400)

No. de locomotoras acopladas \leq 9000/H.P. (para series 8200 y 8400)

Cabe hacer la aclaración que en algunos casos se dan límites de potencia para acoplamiento de locomotoras en base a la existencia de curvas en el trazo de la vía, pero dichos valores son menores que los anteriores.

Por lo tanto, el número de locomotoras acopladas en nuestras locomotoras representativas queda como sigue:

Serie	Clasificación A.A.R.	Potencia H.P.	No. de locomotoras acopladas
9100	B - B	2250	3
8200	B - B	2500	3
6700	C - C	3000	2
8600	C - C	3000	2

Tabla I.5 .- No. de Locomotoras Acopladas.

I.2.- Carros de Carga.

I.2.1.- Clasificación de Carros.

Los carros de carga que remolcan las locomotoras de acuerdo al servicio que prestan, se clasifican en:

Furgones o Carros Caja.- Se emplean especialmente para carga que requiere protección contra la interperie. Equipado con puertas laterales.

Jaulas.- Son carros para el transporte de ganado vivo. Están techados, con costados y puertas laterales de reja.

Góndolas.- Carros sin techo, con costados fijos, extremos fijos o movibles; transportan rollos de acero.

Tolvas.- Carros sin techo, de planos inclinados para descarga por gravedad con costados y extremos fijos; el piso forma dos o más tolvas divididas con puertas articuladas para descargar entre rieles o fuera de ellos.

Plataformas.- Carros sin frentes ni costados, transportan tubos, vidrios, barriles, automóviles, etc.

Tanques.- Para servicio general de líquidos, ya sean aceites o combustibles.

Cabooses.- Carros acondicionados para proporcionar comodidad a las tripulaciones de los trenes de carga, equipado con literas, estufa, calefacción, baños, etc.

Los carros de carga están marcados en la parte exterior mostrando su capacidad nominal, la tara del carro y el límite de carga.

Tara.- Es el peso total del carro vacío.

Límite de carga.- Es el peso máximo permisible que puede cargarse en los carros, el cual se obtiene restando la tara del carro al peso total permisible sobre el riel, basado en la medida de los ejes con que están equipados, según la tabla I.6 que propone la A.A.R.

Capacidad nominal.- Es la capacidad para la cual los carros son construidos. Puede ser igual pero nunca mayor que el límite de carga.

Medida de los muñones (pulgadas)	Peso total sobre el riel (cuatro ejes por carro) (ton)	Capacidad nominal (ton)
4½ x 8	47.7	27.0
5 x 9	64.4	39.5
5½ x 10	80.3	49.5
6 x 11	99.8	69.5
6½ x 12	119.3	90.5
7 x 12	142.9	113.0

Tabla I.6.- Peso Total Permissible sobre el Riel y Capacidad Nominal de Carros para Carga.

I.2.2.- Carros Existentes en Ferrocarriles Nacionales de México (hasta enero de 1985).

En la tabla I.7 se muestra el número de carros existentes de cada tipo, en cuanto a su capacidad nominal.

TIPO DE CARROS	C A P A C I D A D N O M I N A L (TONELADAS)										
	27.20	36.30	45.00	49.896	63.50	65.80	70.00	72.40	75.523	88.00	90.00
FURGONES			4361	5115			13815				
JAULAS	8	259	91	14							
CONDOLAS		11	182	26	994		6460			3737	1905
TOLVAS	3	3	24		547		533				830
PLATAFORMAS	10	88	7		144	222	786				
TANQUES	17	81	282					50	489		230
CAHOUSES	19	222	1	527							
TOTALES	57	664	4948	5671	1685	222	21594	50	489	3737	2965

Fuente: Oficina Cuentas de Equipo, Ferrocarriles Nacionales de México.

TABLA I.7.- Carros de Carga

I.2.3.- Determinación del Tipo de Carro Más Frecuente y Más Pesado.

En base a la tabla I.7 se hace la distribución de frecuencias (tabla I.8), tomando como variables a la capacidad nominal y al número de carros.

Capacidad Nominal (ton)	Número de Carros (frecuencia)
20 - 29.99	57
30 - 39.99	664
40 - 49.99	10 619
50 - 59.99	0
60 - 69.99	1 907
70 - 79.99	22 133
80 - 89.99	3 737
90 - 99.99	2 965

Tabla I.8.- Distribución de Frecuencias de Carros para Carga.

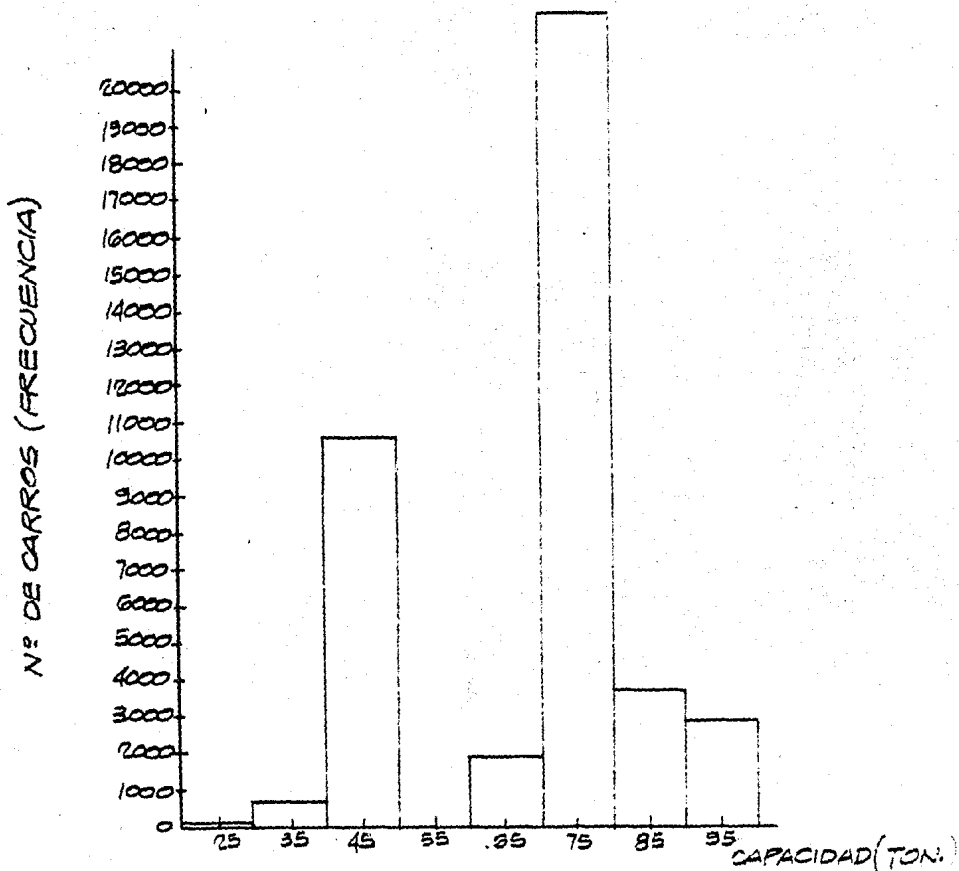


Figura I.12.- Histograma de Frecuencias de Carros para Carga

El carro con mayor frecuencia pertenece al intervalo de 70 a 70.99 toneladas, por lo tanto el carro tipo es un furgón o carro caja con capacidad de 70 toneladas (Ver figura I.13).

El carro más pesado es una góndola con capacidad de 90 toneladas (Ver figura I.14).

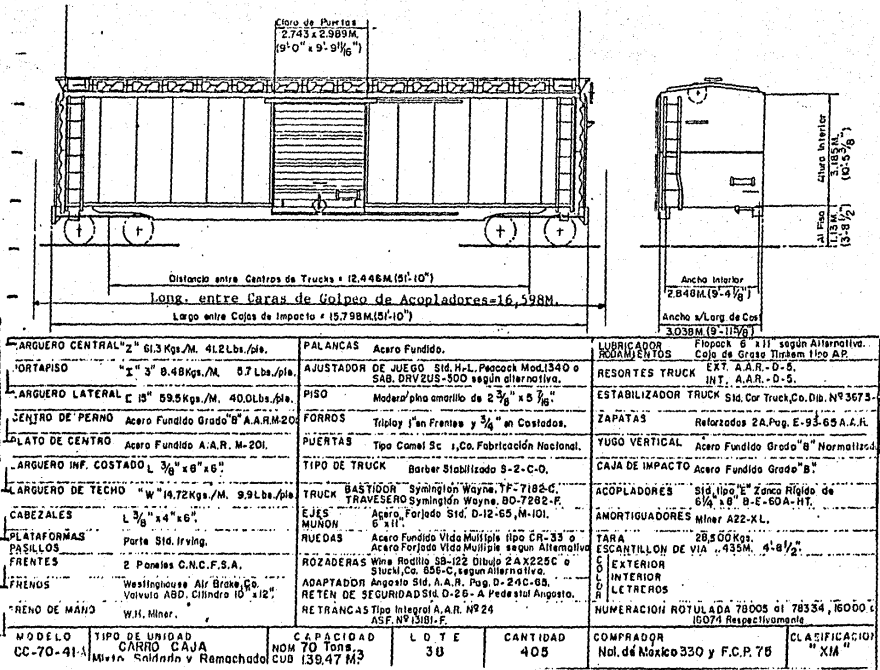


Figura 1.13.- Carro para Carga Más Frecuente

La distribución del peso total sobre los ejes y la carga uniformemente repartida por metro lineal de vía, de carros para carga representativos se presentan en las figuras I.15 y I.16.

Carro más frecuente. Furgón o carro caja.

$$\text{Peso total} = \text{Capacidad nominal} + \text{Tara} = 70.0 + 28.5 = 98.5 \text{ ton.}$$

$$\text{Peso sobre ejes} = \frac{\text{Peso Total}}{\text{No. de Ejes}} = \frac{98.5}{4} = 24.625 \text{ ton}$$

$$\text{Carga uniformemente repartida} = \frac{\text{Peso total}}{\text{Longitud}} = \frac{98.5}{16.598} =$$

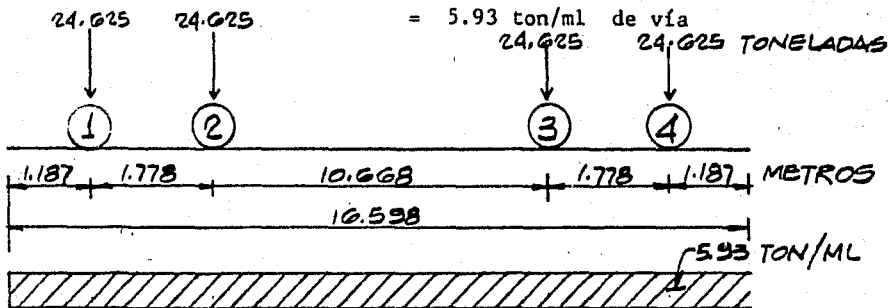


Figura I.15.- Carro más Frecuente.
Furgón o Carro Caja

Carro más pesado. Góndola Metalera.

$$\text{Peso total} = \text{Capacidad nominal} + \text{Tara} = 90.0 + 20.3 = 110.3 \text{ ton.}$$

$$\text{Peso sobre ejes} = \frac{\text{Peso total}}{\text{No. de Ejes}} = \frac{110.3}{4} = 27.575 \text{ ton}$$

$$\text{Carga uniformemente repartida} = \frac{\text{Peso Total}}{\text{Longitud}} = \frac{110.3}{9.858} = 11.18 \text{ ton/ml de vía}$$

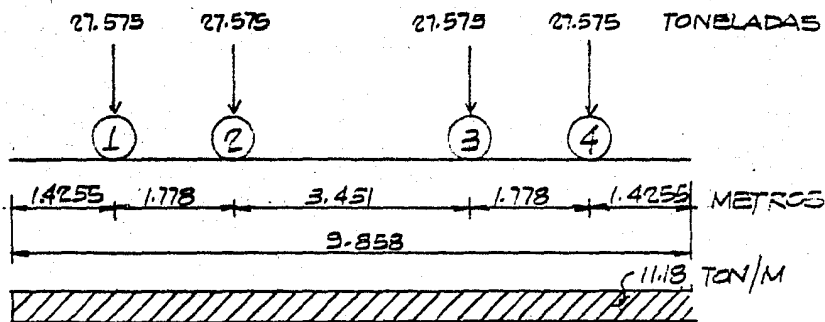
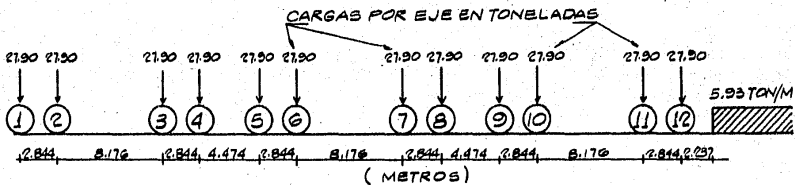


Figura I.16.- Carro más Pesado.
Góndola Metalera

I.3.- Arreglo de Locomotoras y Carros Más Frecuentes y Más Pesados.

Los arreglos representativos de locomotoras y carga uniformemente repartida de carros más frecuentes y más pesados se muestran en las figuras I.17 y I.18.

3 LOCOMOTORAS B-B MAS FRECUENTES (SERIE 9100) ACOPLADAS, SEGUIDAS POR LA CARGA UNIFORMEMENTE REPARTIDA DEL CARRO DE CARGA MAS FRECUENTE (FURGON ó CARRO CAJA)



2 LOCOMOTORAS C-C MAS FRECUENTES (SERIE 6700) ACOPLADAS, SEGUIDAS POR LA CARGA UNIFORMEMENTE REPARTIDA DEL CARRO DE CARGA MAS FRECUENTE

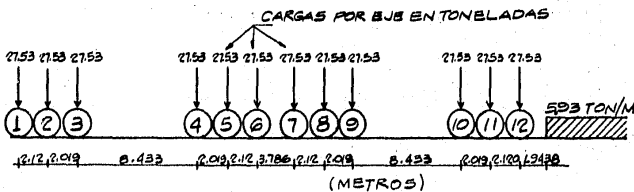
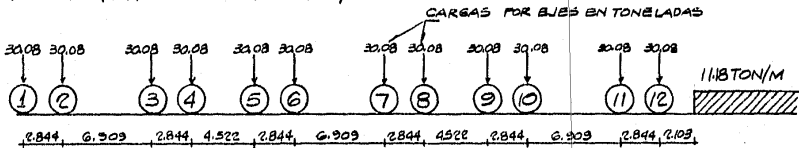


FIGURA I.17.-ARREGLO DE LOCOMOTORAS Y CARGA UNIFORME DE CARROS MAS FRECUENTES (SOBRE LA VIA)

3 LOCOMOTORAS B-B MAS PESADAS (SERIE B200) ACOPLADAS, SEGUIDAS POR LA CARGA UNIFORMEMENTE REPARTIDA DEL CARRO DE CARGA MAS PESADO (GONDOLA METALERA)



2 LOCOMOTORAS C-C MAS PESADAS (SERIE B600) ACOPLADAS, SEGUIDAS POR LA CARGA UNIFORMEMENTE REPARTIDA DEL CARRO MAS PESADO

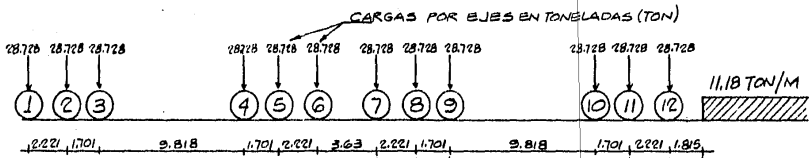


FIGURA I. 18.-ARREGLO DE LOCOMOTORAS Y CARGA UNIFORME DE CARROS MAS PESADOS (SOBRE LA VIA)

CAPITULO II

DETERMINACION DE ELEMENTOS MECANICOS

Una vez que se obtuvieron los arreglos representativos de carga móvil en el Capítulo I para un puente ferroviario, es necesario conocer la posición de dichas cargas en las que se producen esfuerzos máximos en alguna sección de una viga. Este tipo de problemas puede resolverse mediante líneas de influencia.

II.1.- Líneas de Influencia.

Una línea de influencia es la representación gráfica de los efectos que se producen en una sección de un miembro estructural, debida a una carga unitaria que se desplaza a lo largo de la misma.

II.1.1.- Línea de Influencia para Reacción.

En la figura II.1 tenemos una viga simplemente apoyada, sujeta a la acción de una carga unitaria P rodante.

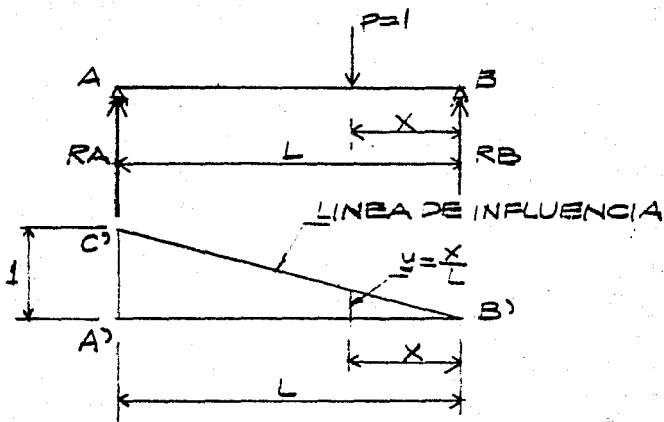


Figura II.1.- Línea de Influencia para Reacción

Si calculamos la reacción en A, tendremos

$$R_A = \frac{x}{L}$$

ecuación que representa una línea recta ($B' C'$).

Si $x = 0$; $R_A = 1$

Si $x = L$; $R_A = 0$

La ordenada, y , de cualquier punto de la recta $B' C'$ representa el valor de la reacción, R_A , cuando la carga unitaria se encuentra colocada en el punto en el cual se midió la ordenada. Por lo tanto la recta $B' C'$ es la línea de influencia de la reacción en el apoyo A.

II.1.2.- Línea de Influencia para Fuerza Cortante.

En la figura II.2, cuando la carga unitaria P se desplaza a la derecha de S , el cortante V en S se mantiene igual a la reacción en A :

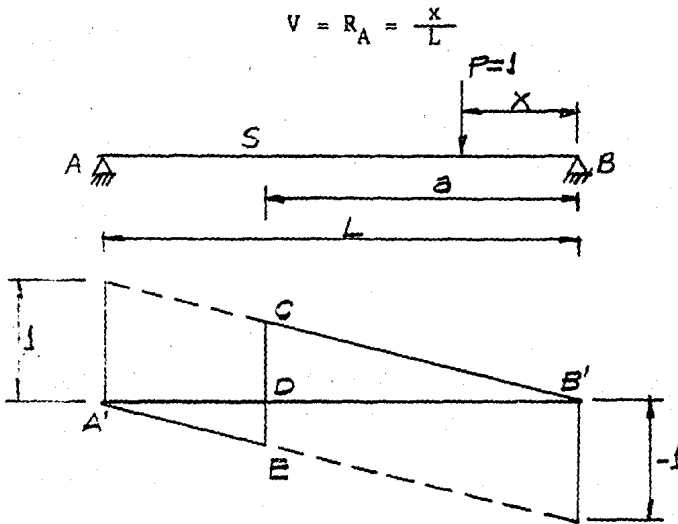


Figura II.2.- Línea de Influencia para Fuerza Cortante

El diagrama $B'CD$ corresponde a la línea de influencia de la fuerza cortante a medida que la carga unitaria P se desplaza a la derecha de S .

Si la carga concentrada pasa a la izquierda de S , el cortante será:

$$V = R_A - 1 = \frac{x}{L} - 1$$

El valor de V es siempre negativo para $a < x < L$ y está representado por la recta $A'E$. Las rectas $A'E$ y CB'

son paralelas.

La línea de influencia del cortante en S, es A'ECB'.

II.1.3.- Línea de Influencia para Momento Flexionante.

Sea una trabe AB (figura II.3), sujeta a la acción de la carga móvil P a la derecha de la sección entre S y B, el momento flexionante en dicha sección será:

$$M = R_A a = \frac{Px}{L} a$$

Si $P = 1$

$$M = \frac{ax}{L} \quad (0 \leq x < b)$$

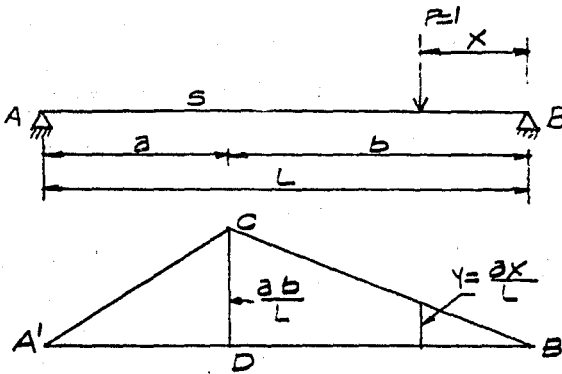


Figura II.3.- Línea de Influencia para Momento Flexionante

El momento flexionante M está representado por la recta $B'C$ y la ordenada CD es ab/L .

Cuando la carga P se encuentra entre S y A entonces:

$$M = \frac{Px}{L} a - P(x - b) \quad (b \leq x \leq L)$$

Si $P = 1$

$$M = \frac{xa}{L} - (x-b) = x \left(\frac{a}{L} - 1 \right) + b$$

La gráfica de M es la recta inclinada $A'C$. Y su ordenada máxima corresponde a $x = b$, de donde

$$M = \frac{ab}{L}$$

La línea de influencia del momento flexionante en S es el triángulo $A'CB'$.

En el caso de que la acción sobre la estructura sea debida a una carga uniformemente repartida, los elementos mecánicos de la línea de influencia son iguales al área bajo la línea de influencia en el tramo en que se presente la carga uniforme.

II.2.- Tablas de Momentos.

Cuando se tiene una serie de cargas aisladas de magnitud y separación dadas, es difícil visualizar cuál de ellas ha de colocarse en la ordenada máxima de la línea de influencia para que la función sea máxima. Por lo que con los arreglos representativos de locomotoras obtenidos en el Capítulo I se elaboran las tablas de momentos II.1, II.2, II.3 y II.4 como ayudas para la obtención de las reacciones, cortan

tes y momentos flexionantes máximos, en algún tramo de una viga.

Las tablas de momentos nos muestran lo siguiente:

Renglón 1.- Separación entre ruedas, en metros.

Renglón 2.- Número de rueda. Las ruedas están numeradas sucesivamente de izquierda a derecha.

Renglón 3.- Las cifras colocadas debajo de las ruedas representan la carga sobre un riel, expresadas en toneladas. La carga uniformemente repartida en toneladas/metro.

Renglón 4.- Distancias de cada una de las ruedas a rueda 1.

Renglón 5.- Sumas sucesivas de todas las cargas a la izquierda.

Renglón 6.- Suma de momentos de todas las cargas comprendidas entre una rueda y la rueda 1, respecto a la rueda dada, en toneladas-metro.

Por ejemplo en la tabla II.1 en el renglón 6 la suma de momentos de las ruedas 1 a 5 respecto a rueda 5 es:

$$13.95(18.338 + 15.494 + 7.318 + 4.474) = 636.45 \text{ (ton-m)}$$

Los renglones restantes dan las distancias, cargas y

momentos respecto a cada rueda, de todas las cargas comprendidas entre ella y otra rueda cualquiera que le preceda. - Así por ejemplo, en la tabla II.1, los datos de las ruedas 3, ... 8 con respecto a la rueda 8, son:

distancia total = 21.182 m

suma de cargas = 83.70 ton

suma de momentos=938.11 ton - m

1 DISTANCIAS (M)

2.844, 8.176, 2.844, 4.474, 2.844, 8.176, 2.844, 4.474, 2.844, 8.176, 2.844, 2.237

2 RUEDAS

(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12) 

3 CARGAS (TON)

13.95 13.95 13.95 13.95 13.95 13.95 13.95 13.95 13.95 13.95 13.95 13.95 2.977/M

4 DISTANCIAS A 1

0 2.844 11.02 13.864 18.338 21.182 23.358 32.202 36.676 39.52 47.696 50.54 52.777

5 SUMA CARGAS

13.95 27.90 41.85 55.80 69.75 83.70 97.65 111.60 125.55 139.50 153.45 167.4 167.4

2 SUMA MOMENTOS

0 39.67 267.78 386.81 636.45 834.82 1519.16 1706.81 2296.17 2652.23 3703.78 4230.10 4604.67

D 0 8.176 11.02 15.494 18.338 26.614 29.358 33.832 36.676 44.852 47.696 49.933
 P 13.95 27.90 41.85 55.80 69.75 83.70 97.65 111.60 125.55 139.50 153.45 153.45
 M 0 114.06 193.40 380.64 539.33 1109.61 1347.65 1784.94 2101.93 3128.42 3525.16 3868.43

D 0 2.844 7.318 10.162 18.338 21.182 25.656 28.50 36.676 39.52 41.757
 P 13.95 27.90 41.85 55.80 69.75 83.70 97.65 111.60 125.55 139.50 139.50
 M 0 39.67 164.50 283.52 739.74 938.11 1312.58 1590.30 2002.71 2899.81 3711.87

D 0 4.474 7.318 15.494 18.338 22.812 25.656 33.832 36.676 38.913
 P 13.95 27.90 41.85 55.80 69.75 83.70 97.65 111.60 125.55 125.55
 M 0 62.41 141.76 483.93 642.62 954.68 1192.72 1491.11 2308.60 2589.36

D 0 2.844 11.02 13.864 18.338 21.182 23.358 32.202 34.439
 P 13.95 27.90 41.85 55.80 69.75 83.70 97.65 111.60 111.60
 M 0 39.67 267.78 386.81 636.45 834.82 1519.16 1736.88 2046.53

D 0 8.176 11.02 15.494 18.338 26.614 29.358 31.595
 P 13.95 27.90 41.85 55.80 69.75 83.70 97.65 97.65
 M 0 114.06 193.40 380.64 539.33 1109.61 1347.65 1566.03

D 0 2.844 7.318 10.162 18.338 21.182 23.419
 P 13.95 27.90 41.85 55.80 69.75 83.70 83.70
 M 0 39.67 164.50 283.52 739.74 938.11 1125.35

D 0 4.474 7.318 18.454 18.338 20.575
 P 13.95 27.90 41.85 55.80 69.75 69.75
 M 0 62.41 141.76 483.93 642.62 798.65

DISTANCIAS (D) EN METROS
 SUMA DE CARGAS (P) EN TONELADAS
 SUMA DE MOMENTOS (M) EN TONELADAS-METRO

D 0 2.844 11.02 13.864 16.101
 P 13.95 27.90 41.85 55.80 55.80
 M 0 39.67 267.78 386.81 511.63

LAS CARGAS Y MOMENTOS SON POR RIEL
 (SOBRE LA VIA VALORES DOBLES)

D 0 8.176 11.02 13.257
 P 13.95 27.90 41.85 41.85
 M 0 114.06 193.40 287.02

D 0 2.844 5.081
 P 13.95 27.90 27.90
 M 0 37.67 102.08

D 0 2.237
 P 13.95 13.95
 M 0 31.21

TABLA DE MOMENTOS II.1
3 LOCOMOTORAS B-B MAS FRECUENTES

D 0
 P 0
 M 0

1 DISTANCIAS (M)

2.844 6.909 2.844 4.522 2.844 6.909 2.844 4.522 2.844 6.909 2.844 2.103

2 RUEDAS

(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12)

3 CARGAS (TON)

15.04 15.04 15.04 15.04 15.04 15.04 15.04 15.04 15.04 15.04 15.04 15.04

4 DISTANCIAS A 1

2.844 30.08 9.753 12.597 17.119 19.963 26.872 29.716 34.238 37.082 43.991 46.835 48.938

5 SUMA DE CARGAS

15.04 30.08 45.12 60.16 75.20 90.24 105.28 120.32 135.36 150.4 165.44 180.48 180.48

6 SUMA DE MOMENTOS

42.77 103.91 189.46 318.71 450.95 584.82 722.16 864.82 1016.16 1176.16 1344.82 1522.16 1609.34

D O 6.909 9.753 14.275 17.119 24.028 26.872 31.394 34.238 41.147 43.991 46.094

P 15.04 30.08 45.12 60.16 75.20 90.24 105.28 120.32 135.36 150.4 165.44 165.44

M O 103.91 189.46 333.49 564.59 1084.14 1340.79 1816.87 2159.06 3094.26 3522.0 3869.92

D O 2.844 7.366 10.21 17.119 19.963 24.485 27.329 34.238 37.082 39.926 46.094

P 15.04 30.08 42.91 60.16 75.20 90.24 105.28 120.32 135.36 150.4 165.44 165.44

M O 42.77 178.79 307.11 722.16 936.63 1344.10 1644.12 2475.41 3176.66

D O 4.522 7.366 14.275 17.119 21.641 24.485 31.394 34.238 36.341 39.185 46.094

P 15.04 30.08 45.12 60.16 75.20 90.24 105.28 120.32 135.36 150.4 165.44 165.44

M O 68.01 193.56 465.29 636.20 936.23 1232.89 1960.27 2302.46 2887.12

D O 2.844 9.753 12.597 17.119 19.963 26.872 29.716 31.819 34.663 37.507 46.094

P 15.04 30.08 45.12 60.16 75.20 90.24 105.28 120.32 135.36 150.4 165.44 165.44

M O 42.77 250.59 378.91 630.95 864.82 1148.74 1488.29 1787.71 2040.74

D O 6.909 9.753 14.275 17.119 24.028 26.872 31.394 34.238 41.147 43.991 46.094

P 15.04 30.08 45.12 60.16 75.20 90.24 105.28 120.32 135.36 150.4 165.44 165.44

M O 103.91 189.46 333.49 564.59 1084.14 1340.79 1816.87 2159.06 3094.26 3522.0 3869.92

D O 2.844 7.366 10.21 17.119 19.963 22.066 24.910 27.754 30.600 33.446 46.094

P 15.04 30.08 45.12 60.16 75.20 90.24 105.28 120.32 135.36 150.4 165.44 165.44

M O 42.77 178.79 307.11 722.16 936.63 1344.10 1644.12 2475.41 3176.66 3877.91 4609.34

D O 4.522 7.366 14.275 17.119 19.963 26.872 29.716 31.819 34.663 37.507 46.094

P 15.04 30.08 45.12 60.16 75.20 90.24 105.28 120.32 135.36 150.4 165.44 165.44

M O 68.01 193.56 465.29 636.20 936.23 1232.89 1960.27 2302.46 2887.12 3578.37 4609.34

D O 6.909 9.753 14.275 17.119 24.028 26.872 31.394 34.238 41.147 43.991 46.094

P 15.04 30.08 45.12 60.16 75.20 90.24 105.28 120.32 135.36 150.4 165.44 165.44

M O 103.91 189.46 333.49 564.59 1084.14 1340.79 1816.87 2159.06 3094.26 3522.0 3869.92

DISTANCIAS (D) EN METROS
 SUMA DE CARGAS (P) EN TONELADAS
 SUMA DE MOMENTOS (M) EN TONELADAS-METRO

D O 2.844 9.753 12.597 17.119 19.963 26.872 29.716 31.819 34.663 37.507 46.094
 P 15.04 30.08 45.12 60.16 75.20 90.24 105.28 120.32 135.36 150.4 165.44 165.44
 M O 42.77 250.59 378.91 630.95 864.82 1148.74 1488.29 1787.71 2040.74 2887.12 3578.37 4609.34

LAS CARGAS Y MOMENTOS, SON POR RIEL
 (SOBRE LA VIA VALORES DOBLES)

D O 6.909 9.753 11.856
 P 15.04 30.08 45.12
 M O 103.91 189.46 284.35

D O 2.844 4.947
 P 15.04 30.08
 M O 42.77 106.03

D O 2.103
 P 15.04 15.04
 M O 21.63

TABLA DE MOMENTOS II. 2
3 LOCOMOTORAS B-B MAS FRECUENTES

D O
 P O
 M O

1 DISTANCIAS (m) 2,120 2,019 8,433 2,019 2,120 3,786 2,120 2,019 8,433 2,019 2,120 1,943

2 RUEDAS (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12)

3 CARGAS (TON)	13.77	13.77	13.77	13.77	13.77	13.77	13.77	13.77	13.77	13.77	13.77	13.77	13.77	13.77	2.977/M
4 DISTANCIAS A L	0	2.12	4.139	12.572	14.591	16.711	20.497	22.617	24.636	33.069	35.088	37.208	39.228	39.518	
5 SUMA CARGAS	13.77	27.54	41.31	55.08	68.85	82.62	96.39	110.16	123.93	137.70	151.47	165.24	179.01	165.24	
6 SUMA MOMENTOS	0	29.19	84.80	433.71	544.38	690.34	1003.14	1207.49	1423.50	2475.50	2763.01	3074.14	3323.33	3323.33	

D	0	2.019	10.452	12.471	14.591	18.377	20.497	22.516	30.949	32.968	35.088	37.208	39.228	39.518	
P	13.77	27.54	41.31	55.08	68.85	82.62	96.39	110.16	123.93	137.70	151.47	165.24	179.01	151.47	
M	0	260.05	349.45	460.22	570.99	720.89	896.04	1092.65	2019.63	2263.83	2561.77	2856.20	3150.63	2856.20	

D	0	8.433	10.452	12.572	16.358	18.478	20.497	28.93	30.949	33.069	35.088	37.208	39.228	35.028	
P	13.77	27.54	41.31	55.08	68.85	82.62	96.39	110.16	123.93	137.70	151.47	165.24	179.01	151.47	
M	0	116.12	171.73	239.30	467.84	613.80	780.61	1573.46	1815.87	2263.83	2561.77	2856.20	3150.63	2346.26	

D	0	2.019	4.139	7.925	10.045	12.064	20.497	22.516	24.636	26.655	28.674	30.693	32.712	26.5728	
P	13.77	27.54	41.31	55.08	68.85	82.62	96.39	110.16	123.93	137.70	151.47	165.24	179.01	123.93	
M	0	27.80	86.19	246.59	359.36	498.36	1175.10	1389.71	1643.25	1846.15	2049.05	2251.95	2454.85	1846.15	

D	0	2.12	5.906	8.026	10.045	18.478	20.497	22.516	24.636	26.655	28.674	30.693	32.712	24.5608	
P	13.77	27.54	41.31	55.08	68.85	82.62	96.39	110.16	123.93	137.70	151.47	165.24	179.01	110.16	
M	0	23.19	133.46	221.04	332.24	512.85	1073.66	1284.01	1493.14	1702.27	1911.40	2120.53	2329.66	1493.14	

D	0	3.786	5.906	7.925	16.358	18.377	20.497	22.516	24.636	26.655	28.674	30.693	32.712	22.4408	
P	13.77	27.54	41.31	55.08	68.85	82.62	96.39	110.16	123.93	137.70	151.47	165.24	179.01	96.39	
M	0	52.13	110.52	193.92	658.41	797.42	972.58	1147.74	1322.90	1498.06	1673.22	1848.38	2023.54	1193.54	

D	0	2.120	4.139	12.572	14.591	16.711	20.497	22.617	24.636	33.069	35.088	37.208	39.228	18.6548	
P	13.77	27.54	41.31	55.08	68.85	82.62	96.39	110.16	123.93	137.70	151.47	165.24	179.01	86.62	
M	0	23.19	84.80	433.71	544.38	690.34	1003.14	1207.49	1423.50	2475.50	2763.01	3074.14	3323.33	86.62	

D	0	2.019	10.452	12.471	14.591	16.711	20.497	22.516	30.949	32.968	35.088	37.208	39.228	16.5348	
P	13.77	27.54	41.31	55.08	68.85	82.62	96.39	110.16	123.93	137.70	151.47	165.24	179.01	68.85	
M	0	27.70	260.05	349.45	460.22	570.99	720.89	896.04	1092.65	1289.26	1485.87	1682.48	1879.09	68.85	

D	0	8.433	10.452	12.572	14.591	16.711	20.497	22.617	24.636	33.069	35.088	37.208	39.228	14.5158	
P	13.77	27.54	41.31	55.08	68.85	82.62	96.39	110.16	123.93	137.70	151.47	165.24	179.01	55.08	
M	0	116.12	171.73	239.30	467.84	613.80	780.61	1573.46	1815.87	2263.83	2561.77	2856.20	3150.63	546.36	

D	0	2.019	4.139	6.028	8.026	10.045	12.064	14.083	16.102	18.121	20.140	22.159	24.178	6.028	
P	13.77	27.54	41.31	55.08	68.85	82.62	96.39	110.16	123.93	137.70	151.47	165.24	179.01	41.31	
M	0	27.80	86.19	164.38	242.57	320.76	398.95	477.14	555.33	633.52	711.71	790.00	868.19	164.38	

D	0	2.12	4.139	6.028	8.026	10.045	12.064	14.083	16.102	18.121	20.140	22.159	24.178	4.0638	
P	13.77	27.54	41.31	55.08	68.85	82.62	96.39	110.16	123.93	137.70	151.47	165.24	179.01	27.54	
M	0	23.19	84.80	164.38	242.57	320.76	398.95	477.14	555.33	633.52	711.71	790.00	868.19	86.72	

D	0	2.019	4.139	6.028	8.026	10.045	12.064	14.083	16.102	18.121	20.140	22.159	24.178	1.9408	
P	13.77	27.54	41.31	55.08	68.85	82.62	96.39	110.16	123.93	137.70	151.47	165.24	179.01	13.77	
M	0	27.70	260.05	349.45	460.22	570.99	720.89	896.04	1092.65	1289.26	1485.87	1682.48	1879.09	26.77	

D	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
P	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

TABLA DE MOMENTOS II.3
2 LOCOMOTORAS C-C MAS FRECUENTES

1 DISTANCIAS (m) 2,120 2,019 8,433 2,019 2,120 3,786 2,120 2,019 8,433 2,019 2,120 1,2439

2 RUEDAS

(1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) (11) (12)

3 CARGAS (TON)
4 DISTANCIAS A L
5 SUMA CARGAS
6 SUMA MOMENTOS

13.77	13.77	13.77	13.77	13.77	13.77	13.77	13.77	13.77	13.77	13.77	13.77	
0	2.12	4.139	12.572	14.591	16.711	20.497	22.617	24.636	33.063	35.088	37.208	39.1518
13.77	27.54	41.31	55.08	68.85	82.62	96.39	110.16	123.93	137.70	151.47	165.24	165.24
0	29.19	84.80	433.17	544.38	690.34	1003.14	1207.49	1423.30	2475.00	2753.02	3074.14	3395.33

2.977/M

D	0	2.019	10.452	12.471	14.591	18.377	20.497	22.516	30.949	32.968	35.088	37.0318
P	13.77	27.54	41.31	55.08	68.85	82.62	96.39	110.16	123.93	137.70	151.47	151.47
M	0	27.80	260.05	343.45	460.22	720.89	896.04	1090.65	2019.63	2269.88	2561.77	2856.20

O	0	8.433	10.452	12.572	16.358	18.478	20.497	28.93	30.949	33.069	35.088	35.088
P	13.77	27.54	41.31	55.08	68.85	82.62	96.39	110.16	123.93	137.70	151.47	151.47
M	0	116.12	171.73	259.30	467.84	619.80	780.61	1573.46	1815.87	2078.60	2346.26	2346.26

D	0	2.019	4.139	7.925	10.045	12.064	20.497	22.516	24.636	26.5798		
P	13.77	27.54	41.31	55.08	68.85	82.62	96.39	110.16	123.93	137.70	151.47	151.47
M	0	27.80	86.19	242.59	359.26	498.36	1195.10	1309.71	1623.25	1864.15		

D	0	2.12	5.906	8.026	10.045	18.478	20.497	22.617	24.5608			
P	13.77	27.54	41.31	55.08	68.85	82.62	96.39	110.16	110.16			
M	0	29.19	133.46	221.04	332.24	512.83	1073.66	1284.01	1498.14			

D	0	3.786	5.906	7.925	16.358	18.377	20.497	22.4408				
P	13.77	27.54	41.31	55.08	68.85	82.62	96.39	96.39				
M	0	52.13	110.52	193.92	658.41	797.42	972.58	1159.34				

D	0	2.120	4.139	12.572	14.591	16.771	18.6548					
P	13.77	27.54	41.31	55.08	68.85	82.62	86.62					
M	0	29.19	84.80	433.17	544.38	690.34	850.34					

D	0	2.019	10.452	12.471	14.591	16.5348						
P	13.77	27.54	41.31	55.08	68.85	68.85						
M	0	27.70	260.05	343.45	460.22	594.05						

DISTANCIAS (D) EN METROS
SUMA DE CARGAS (P) EN TONELADAS
SUMA DE MOMENTOS (M) EN TONELADAS-METRO

D	0	8.433	10.452	12.572	14.5158							
P	13.77	27.54	41.31	55.08	55.08							
M	0	116.12	171.73	259.30	366.36							

LAS CARGAS Y MOMENTOS SON POR RIEL
(SOBRE LA VIA VALORES DOBLES)

D	0	2.019	4.139	6.0828								
P	13.77	27.54	41.31	41.31								
M	0	27.80	86.19	166.49								

D	0	2.12	4.0638									
P	13.77	27.54	27.54									
M	0	29.19	82.72									

D	0	1.9438										
P	13.77	13.77										
M	0	26.77										

TABLA DE MOMENTOS II.3
2 LOCOMOTORAS C-C MAS FRECUENTES

D	0											
P	0											
M	0											

1. DISTANCIAS (m)

2.221 1.701 3.818 1.701 2.221 3.663 2.221 1.701 3.818 1.701 2.221 1.815

2. RUEDAS

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
3. CARGAS (TON)	14.36	14.36	14.36	14.36	14.36	14.36	14.36	14.36	14.36	14.36	14.36	14.36	5597/M
4. DISTANCIAS A I	0	2.221	3.922	13.74	15.441	17.602	21.292	23.513	25.214	26.032	36.733	38.954	40.769
5. SUMA CARGAS	14.36	28.72	43.08	57.44	71.80	86.16	100.52	114.88	129.24	143.60	157.96	172.32	172.32
6. SUMA MOMENTOS	0	31.89	80.74	503.70	601.41	760.89	1073.64	1236.89	1432.30	2764.18	3025.44	3336.27	3669.03
D	0	1.701	11.519	13.22	15.441	19.071	21.292	22.093	32.811	34.512	36.733	38.954	38.548
P	14.36	28.72	43.08	57.44	71.80	86.16	100.52	114.88	129.24	143.60	157.96	157.96	157.96
M	0	24.43	306.40	319.88	507.25	767.88	959.24	1130.22	2258.11	2477.95	2796.83	3083.59	3083.59
D	0	3.818	11.519	13.74	17.37	19.591	21.292	31.11	32.811	35.032	36.847	36.847	36.847
P	14.36	28.72	43.08	57.44	71.80	86.16	100.52	114.88	129.24	143.60	143.60	143.60	143.60
M	0	140.99	189.84	285.52	494.03	653.50	800.06	1786.91	1982.38	2269.42	2530.05	2530.05	2530.05
D	0	1.701	3.922	7.552	9.773	11.474	21.292	22.093	25.214	27.029	27.029	27.029	27.029
P	14.36	28.72	43.08	57.44	71.80	86.16	100.52	114.88	129.24	143.60	143.60	143.60	143.60
M	0	24.43	88.22	244.60	372.17	494.30	340.22	1511.20	1766.35	2009.92	2009.92	2009.92	2009.92
D	0	2.221	5.851	8.072	9.773	19.591	21.292	25.513	25.513	25.513	25.513	25.513	25.513
P	14.36	28.72	43.08	57.44	71.80	86.16	100.52	114.88	129.24	143.60	143.60	143.60	143.60
M	0	31.89	136.14	231.82	323.53	1034.46	1181.02	1404.27	1612.78	1612.78	1612.78	1612.78	1612.78
D	0	3.663	5.851	7.552	17.37	19.071	21.292	23.107	23.107	23.107	23.107	23.107	23.107
P	14.36	28.72	43.08	57.44	71.80	86.16	100.52	100.52	100.52	100.52	100.52	100.52	100.52
M	0	52.13	115.92	189.20	753.15	875.28	1066.64	1249.08	1249.08	1249.08	1249.08	1249.08	1249.08
D	0	2.221	3.922	13.74	15.441	17.602	17.602	17.602	17.602	17.602	17.602	17.602	17.602
P	14.36	28.72	43.08	57.44	71.80	86.16	86.16	86.16	86.16	86.16	86.16	86.16	86.16
M	0	31.89	80.74	503.70	601.41	760.88	917.26	917.26	917.26	917.26	917.26	917.26	917.26
D	0	17.01	11.519	13.22	15.441	17.256	17.256	17.256	17.256	17.256	17.256	17.256	17.256
P	14.36	28.72	43.08	57.44	71.80	71.80	71.80	71.80	71.80	71.80	71.80	71.80	71.80
M	0	24.43	306.40	319.88	507.25	637.57	637.57	637.57	637.57	637.57	637.57	637.57	637.57
D	0	17.01	3.922	13.22	15.441	17.256	17.256	17.256	17.256	17.256	17.256	17.256	17.256
P	14.36	28.72	43.08	57.44	71.80	71.80	71.80	71.80	71.80	71.80	71.80	71.80	71.80
M	0	24.43	88.22	168.22	168.22	168.22	168.22	168.22	168.22	168.22	168.22	168.22	168.22
D	0	2.221	3.922	13.22	15.441	17.256	17.256	17.256	17.256	17.256	17.256	17.256	17.256
P	14.36	28.72	43.08	57.44	71.80	71.80	71.80	71.80	71.80	71.80	71.80	71.80	71.80
M	0	31.89	80.74	28.72	28.72	28.72	28.72	28.72	28.72	28.72	28.72	28.72	28.72
D	0	1.815	1.815	1.815	1.815	1.815	1.815	1.815	1.815	1.815	1.815	1.815	1.815
P	14.36	14.36	14.36	14.36	14.36	14.36	14.36	14.36	14.36	14.36	14.36	14.36	14.36
M	0	26.06	26.06	26.06	26.06	26.06	26.06	26.06	26.06	26.06	26.06	26.06	26.06

DISTANCIAS (D) EN METROS
 SUMA DE CARGAS (P) EN TONELADAS
 SUMA DE MOMENTOS (M) EN TONELADAS-METRO

LAS CARGAS Y MOMENTOS SON POR RIEL
 (SOBRE LA VIA VALORES DOBLES)

TABLA DE MOMENTOS II. 4
2 LOCOMOTORAS C-C MAS FRECUENTES

D 0
 P 0
 M 0

III.3.- Momento Flexionante Máximo.

Si llamamos G_1 y G_2 a la resultante de las cargas colocadas a la derecha y a la izquierda de la sección C (Figura II.4), el momento flexionante producido en C por el tren de cargas es:

$$M_T = G_1 y_{G_1} + G_2 y_{G_2}$$

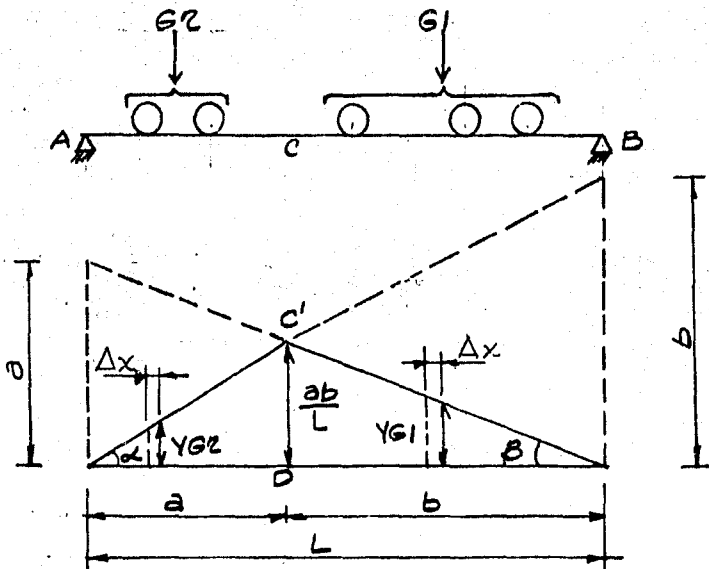


Figura II.4.- Momento Flexionante Máximo

Y si suponemos que el tren de cargas se mueve hacia la izquierda una cantidad Δx , entonces el momento en C sufrirá un incremento quedando su valor:

$$M_T + \Delta M_T = G_2 (y_{G_2} - (\tan \alpha) \Delta x) + G_1 (y_{G_1} + (\tan \beta) \Delta x)$$

$$\therefore \Delta M_T = G_1 (\tan \beta) \Delta x - G_2 (\tan \alpha) \Delta x$$

pero:

$$\tan \beta = \frac{ab/L}{b} = \frac{a}{L}$$

$$\tan \alpha = \frac{ab/L}{a} = \frac{b}{L}$$

$$\Rightarrow \Delta M_T = G_1 \left(\frac{a}{L} \right) \Delta x - G_2 \left(\frac{b}{L} \right) \Delta x$$

$$\Delta M_T = (G_1 a - G_2 b) \frac{\Delta x}{L}$$

$$\frac{\Delta M_T}{\Delta x} = (G_1 a - G_2 b) \frac{1}{L}$$

ΔM_T es máximo si Δx es máximo, puesto que G_1 , a , b y L son constantes.

El máximo Δx que se puede tener es cuando una rueda G_1 llega hasta el punto C.

Si una carga de G_1 pasa a formar parte de las G_2 , ΔM_T puede cambiar de signo y convertirse en negativo, por lo que el momento M_T empieza a disminuir.

Adicionalmente, de:

$$\frac{\Delta M_T}{\Delta x} L = G_1 a - G_2 b$$

Se establece que:

$$G_1 a - G_2 b \geq 0$$

$$G_1 a \geq G_2 b$$

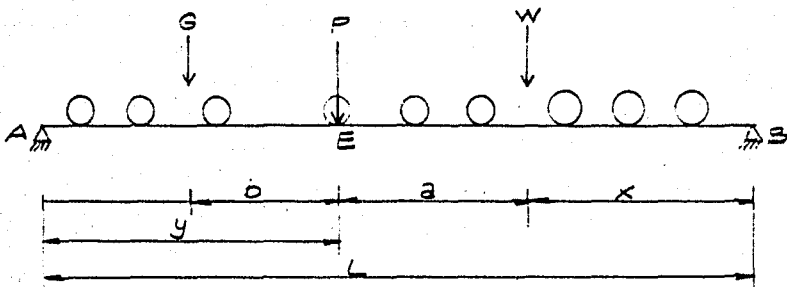
$$\frac{G_1}{b} \geq \frac{G_2}{a}$$

$\frac{G_1}{b}$ = "densidad" de carga a la derecha

$\frac{G_2}{a}$ = "densidad" de carga a la izquierda

Para que M_T sea máximo una de las cargas deberá estar aplicada en C, y que al pasar una carga de la derecha a la izquierda de la sección C el valor $G_1/b - G_2/a$ cambie de positivo a negativo.

El momento máximo absoluto debido a un sistema de cargas móviles en una viga simplemente apoyada, ocurre bajo una de las cargas del sistema, supongamos que ésta es la carga P (Ver Figura II.5).



W = Resultante de todas las cargas

G = Resultante de las cargas a la izquierda de P

P = Carga supuesta bajo la cual ocurre el momento máximo

Figura II.5.- Momento Máximo Absoluto

El momento en E es:

$$M_E = \frac{Wx}{L} y - G b$$

$$M_E = \frac{Wx}{L} (L - a - x) - G b$$

Derivando M_E respecto a x , e igualando a cero, queda:

$$\frac{dM_E}{dx} = \frac{W}{L} (L - a - 2x) = 0$$

$$L - a - 2x = 0$$

$$x = \frac{L}{2} - \frac{a}{2} = \frac{L - a}{2}$$

Por lo tanto: El momento flexionante máximo se produce sobre una rueda, cuando ésta y la resultante del sistema de cargas móviles equidistan del centro del claro.

Para determinar el momento flexionante máximo absoluto en una trabe, deberá aplicarse el criterio anterior para diferentes ruedas y así el mayor de los momentos calculados será el máximo absoluto.

II.4.- Fuerza Cortante Máxima.

Llamemos G_1 y G_2 a la suma de las cargas colocadas a la derecha y a la izquierda de la sección E, b a la distancia entre cargas (Figura II.6). El cortante en E está expresado por la suma algebraica de los productos de las cargas por sus correspondientes ordenadas.

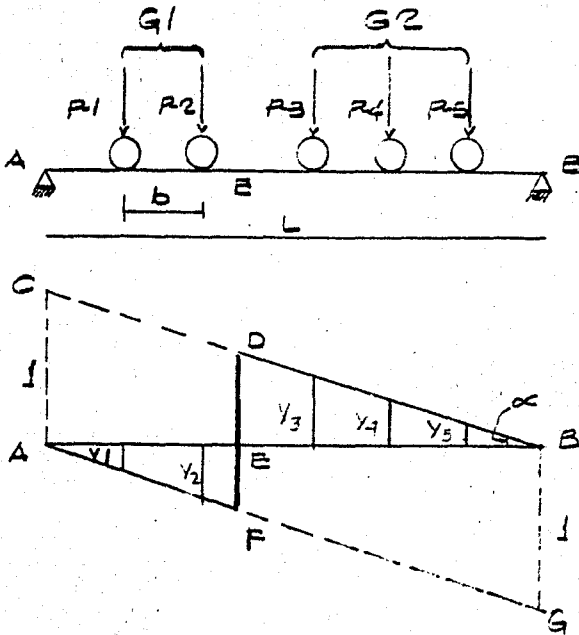


Figura II.6.- Fuerza Cortante Máxima

Supongamos que el tren de cargas móviles se desplaza una distancia b , entonces el cortante en E sufrirá un incremento ΔV , ya que las ordenadas del lado derecho de la sección han aumentado y las del lado izquierdo disminuido, por lo tanto el aumento será:

$$\begin{aligned} \Delta V &= (G_1 + G_2) b \tan \alpha \\ &= (G_1 + G_2) \frac{b}{L} \end{aligned}$$

haciendo $G = G_1 + G_2$

$$\Delta V = \frac{Gb}{L}$$

Si por el efecto del desplazamiento una carga que estaba a la derecha pasa a la izquierda, al incremento anterior habrá que restarle el valor de la carga que pasó a la izquierda de la sección E. Por lo tanto, el aumento total valdrá:

$$\Delta V = \frac{Gb}{L} - P$$

Si después de pasar una carga a la izquierda de la sección E, $\frac{Gb}{L} - P > 0$, quiere decir que aun con el paso de la carga al otro lado de la sección el cortante aumenta, por lo que podremos colocar la carga siguiente en E sin pasar al otro lado y obtener el cortante máximo.

Cuando $\frac{Gb}{L} - P < 0$, quiere decir que el cortante disminuye al pasar P a la izquierda y cuando dicha carga esté en la sección se producirá el máximo.

El cortante máximo absoluto en una viga simplemente apoyada debido a un tren de cargas móviles se producirá en una sección inmediatamente contigua a una de las reacciones de los extremos.

II.5.- Determinación de Elementos Mecánicos Máximos.

Se obtendrán los momentos flexionantes y fuerzas cortantes máximos de los trenes de carga representativos, para diferentes claros o longitudes de vigas simplemente apoyadas.

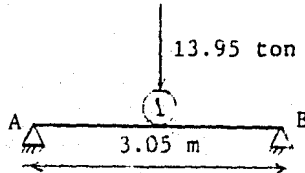
Las características de dichos arreglos de carga móvil se presentan en las tablas de momentos II.1, II.2, II.3 y II.4.

II.5.1.- Locomotoras B-B más frecuentes.

Se utilizará la tabla II.1 como ayuda para obtener los elementos mecánicos máximos.

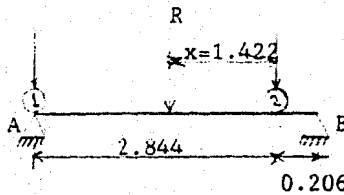
Claro de 3.05 metros (10 pies)

El momento máximo se produce en la rueda 1, estando al centro del claro



$$M_{\text{máx}} = \frac{13.95(3.05)}{4} = 10.64 \text{ ton-m}$$

La fuerza cortante máxima se produce bajo la rueda 1 en el apoyo A



La resultante R es igual a la suma de cargas de la rueda 1 a 2

$$R = \sum_1^2 P = 27.90 \text{ ton (Ver tabla II.1)}$$

Suma de momentos respecto a la rueda 2

$$\sum_1^2 M = 39.67 \text{ ton-m}$$

Posición de la Resultante respecto a la rueda 2

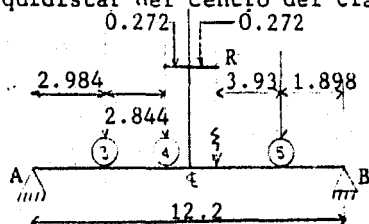
$$x = \frac{39.67}{27.90} = 1.422 \text{ m}$$

Por lo tanto la fuerza cortante máxima es:

$$V_{\text{máx}} = \frac{27.9}{3.05} (1.422 + 0.206) = 14.89 \text{ ton}$$

Claro de 12.2 metros (40 pies)

Por tanteos previos, se encuentra que la rueda bajo la cual se produce el momento máximo es la número 4. De manera que esta rueda y la resultante de las cargas móviles en el tramo deben equidistar del centro del claro.



$$R = \sum_3^5 P = 41.85 \text{ ton (Ver tabla II.1)}$$

$$\sum_3^5 M = 164.50 \text{ ton-m}$$

Distancia de la resultante a rueda 5

$$x = \frac{164.50}{41.85} = 3.93 \text{ m}$$

La reacción en el apoyo A

$$R_A = \frac{41.85}{12.20} (3.93 + 1.898) = 20 \text{ ton}$$

$$\sum_3^4 M = 39.67 \text{ ton-m}$$

El momento en rueda 4 vale:

$$M_4 = 20(5.828) - 39.67 = 76.89 \text{ ton-m}$$

En la posición del tren de cargas móviles también debe cumplirse el criterio establecido en el inciso II.3 para todos los casos en los que se obtenga el momento máximo:

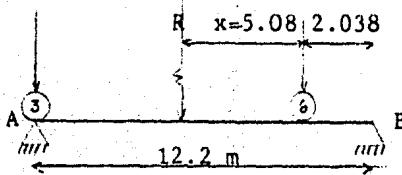
$$\frac{G_1}{b} = \frac{P_3}{6.372} = \frac{13.95}{6.372} = 2.10 \text{ ton/m}$$

$$\frac{G_2}{a} = \frac{\sum_3^4 P}{5.828} = \frac{27.90}{5.828} = 4.79 \text{ ton/m}$$

De donde:

$$\frac{G_1}{b} - \frac{G_2}{a} = 2.19 - 4.79 = -2.6 \text{ ton/m}$$

Cálculo de la fuerza cortante máxima, la cual se genera en rueda 3



$$R = \sum_3^6 P = 55.8 \text{ ton}$$

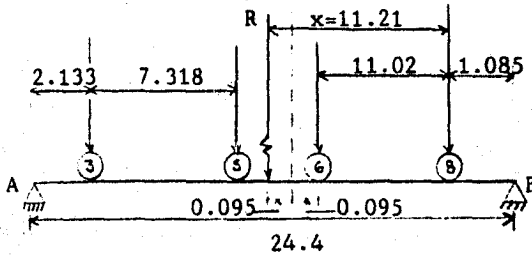
$$\sum_3^6 M = 283.52 \text{ ton-m}$$

$$x = \frac{283.52}{55.8} = 5.08 \text{ m}$$

$$V_{\text{máx}} = \frac{55.08}{12.2} (5.08 + 2.038) = 32.14$$

Claro de 24.4 metros (80 pies)

Momento Máximo, bajo rueda 6



$$R = \sum_3^8 P = 83.7 \text{ ton}$$

$$\sum_3^8 M = 938.1 \text{ ton-m}$$

Distancia de la resultante a rueda 8

$$x = \frac{938.1}{83.7} = 11.21$$

La reacción en el apoyo A

$$R_A = \frac{83.7}{24.4} (11.21 + 1.085) = 42.18 \text{ ton}$$

$$\sum_3^5 M = 164.50 \text{ ton-m}$$

El momento en rueda 6 es

$$M_6 = 42.18 (11.25) - 164.50 = 310.03 \text{ ton-m}$$

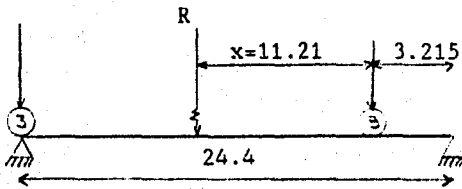
Además, se cumple:

$$\frac{G_1}{b} = \frac{\sum_6^8 P}{12.105} = \frac{41.85}{12.105} = 3.46 \text{ ton/m}$$

$$\frac{G_2}{a} = \frac{\sum_3^5 P}{12.295} = \frac{41.85}{12.295} = 3.40 \text{ ton/m}$$

$$\frac{G_1}{b} - \frac{G_2}{a} = 3.46 - 3.40 = 0.06 \quad 0$$

Cortante máximo, en el apoyo bajo rueda 3



$$R = \sum_3^8 P = 83.7 \text{ ton}$$

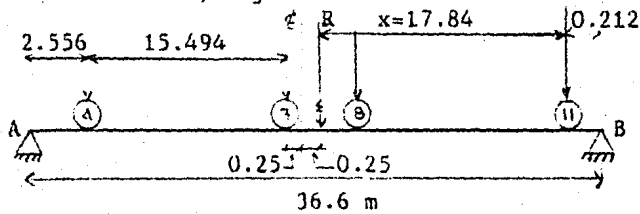
$$\sum_3^8 M = 938.11 \text{ ton}$$

$$x = \frac{938.11}{83.7} = 11.21 \text{ m}$$

$$V_{\text{máx}} = \frac{83.7}{24.4} (11.21 + 3.215) = 49.48 \text{ ton}$$

Claro de 36.6 metros (120 pies)

Momento máximo, bajo rueda 7



$$R = \sum_4^{11} P = 111.60 \text{ ton}$$

$$\sum_4^{11} M = 1991.11 \text{ ton-m}$$

$$x = \frac{1991.11}{111.60} = 17.84 \text{ m}$$

$$R_A = \frac{111.60}{36.6} (17.84 + 0.212) = 55.04 \text{ ton}$$

$$\sum_4^7 M = 483.93 \text{ ton-m}$$

$$M_7 = 55.04(18.298) - 483.93 = 523.19 \text{ ton-m}$$

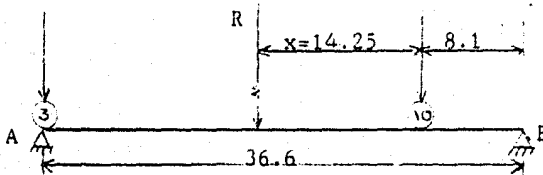
Se cumple:

$$\frac{G_1}{b} = \frac{\sum_8^{11} P}{18.552} = \frac{55.8}{18.552} = 3 \text{ ton/m}$$

$$\frac{G_2}{a} = \frac{\sum_4^7 P}{18.048} = \frac{55.8}{18.048} = 3.09 \text{ ton/m}$$

$$\frac{G_1}{b} - \frac{G_2}{a} = 3 - 3.09 = 0.09 \quad 0$$

Cortante máximo, bajo rueda 3



$$R = \sum_3^{10} P = 111.60 \text{ ton}$$

$$\sum_3^{10} M = 1590.30 \text{ ton-m}$$

$$x = \frac{1590.30}{111.60} = 14.25$$

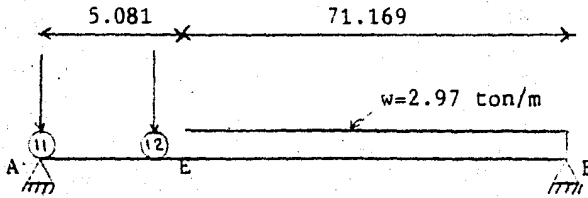
$$V_{\text{máx}} = \frac{111.60}{36.6} (14.25 + 8.1) = 68.15 \text{ ton}$$

Claro de 76.25 metros (250 pies)

Momento Máximo.- El momento máximo lo produce la carga uniformemente repartida

$$M = \frac{2.97 (76.25)^2}{8} = 2158.47 \text{ ton-m}$$

Cortante máximo, bajo rueda 11



E = lugar donde principia la carga uniformemente repartida

$$\sum_{11}^{12} M = 102.08 \text{ ton-m}$$

$$V_{\text{máx}} = \frac{27.9(71.169) + 102.08 + (2.97(71.169)^2)/2}{76.25} =$$

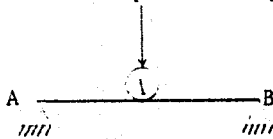
$$V_{\text{máx}} = 126.02 \text{ ton}$$

II.5.2.- Locomotoras C - C más frecuentes.

Claro de 3.05 metros (10 pies)

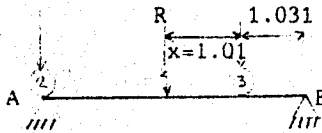
Se utilizará la tabla de momentos II.3

El momento máximo se produce bajo la rueda 1



$$M_{\text{máx}} = \frac{13.77 (3.05)}{4} = 10.5 \text{ ton-m}$$

Cortante máximo en rueda 2



$$R = \sum_2^3 P = 27.54 \text{ ton}$$

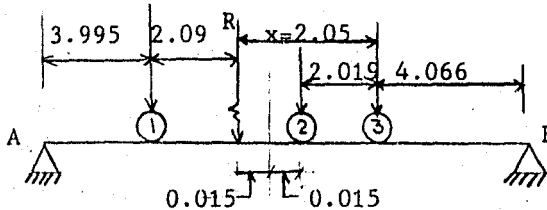
$$\sum_2^3 M = 27.80 \text{ ton-m}$$

$$x = \frac{27.8}{27.54} = 1.01 \text{ m}$$

$$V_{\text{máx}} = \frac{27.54}{3.05} (1.031 + 1.01) = 18.43 \text{ ton}$$

Claro de 12.2 metros (40 pies)

Momento máximo, bajo la rueda 2



$$R = \sum_1^3 P = 41.31 \text{ ton}$$

$$\sum_1^3 M = 84.8 \text{ ton-m}$$

$$x = \frac{84.8}{41.31} = 2.05 \text{ m}$$

$$R_A = \frac{41.31}{12.2} (2.05 + 4.066) = 20.70 \text{ ton}$$

$$\sum_1^2 M = 29.19$$

$$M_2 = 20.7(6.115) - 29.19 = 97.39 \text{ ton-m}$$

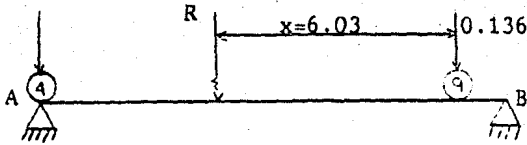
Se cumple:

$$\frac{G_1}{b} = \frac{P_3}{6.085} = \frac{13.77}{6.085} = 2.26 \text{ ton/m}$$

$$\frac{G_2}{a} = \frac{\sum_1^2 P}{6.115} = \frac{27.54}{6.115} = 4.50 \text{ ton/m}$$

$$2.26 - 4.50 = -2.24$$

Cortante máximo, en rueda 4



$$R = \sum_4^9 P = 82.62 \text{ ton}$$

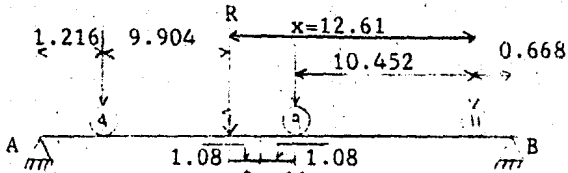
$$\sum_4^9 M = 498.36 \text{ ton-m}$$

$$x = \frac{498.36}{82.6} = 6.03 \text{ m}$$

$$V_{\text{máx}} = \frac{82.62}{12.2} (6.03 + 0.136) = 41.76 \text{ ton}$$

Claro de 24.4 metros (80 pies)

Momento máximo, en rueda 9



$$k = \sum_4^{11} P = 110.16 \text{ ton}$$

$$\sum_4^{11} M = 1389.71 \text{ ton-m}$$

$$x = \frac{1389.71}{110.16} = 12.61 \text{ m}$$

$$R_A = \frac{110.61}{24.4} (12.61 + 0.668) = 60.19 \text{ ton}$$

$$\sum_4^8 M = 359.36 \text{ ton-m}$$

$$M_9 = 60.19(13.28) - 359.36 = 439.96 \text{ ton-m}$$

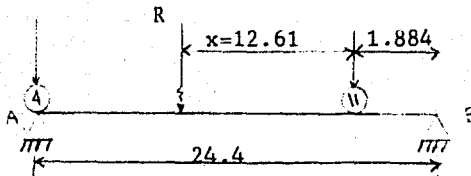
Se cumple:

$$\frac{G_1}{b} = \frac{\sum_9^{11} P}{11.12} = \frac{41.31}{11.12} = 3.71 \text{ ton/m}$$

$$\frac{G_2}{a} = \frac{\sum_4^8 P}{13.28} = \frac{55.08}{13.28} = 4.15 \text{ ton/m}$$

$$3.71 - 4.15 = -0.44 \text{ ton/m}$$

Cortante máximo, ocurre en el apoyo, bajo la rueda 4



$$R = \sum_4^{11} P = 110.10 \text{ ton}$$

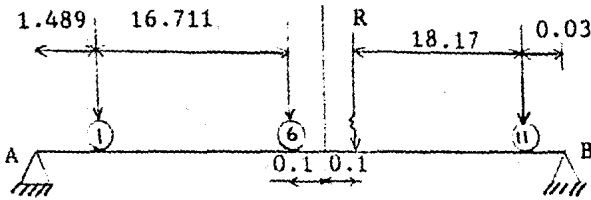
$$\sum_4^{11} M = 1389.71 \text{ ton-m}$$

$$x = \frac{1389.71}{110.10} = 12.61 \text{ m}$$

$$V_{\text{máx}} = \frac{110.10}{24.4} (12.61 + 1.884) = 65.4 \text{ ton}$$

Claro de 36.6 metros (120 pies)

El momento máximo se produce bajo la rueda 6



$$R = \sum_1^{11} P = 151.47 \text{ ton}$$

$$= \sum_1^{11} M = 2753.02 \text{ ton-m}$$

$$x = \frac{2753.02}{151.47} = 18.17 \text{ m}$$

$$R_A = \frac{151.47}{36.6} (18.17 + 0.03) = 75.32$$

$$\sum_1^6 M = 690.34 \text{ ton-m}$$

$$M_6 = 75.32(18.2) - 690.34 = 680.48 \text{ ton-m}$$

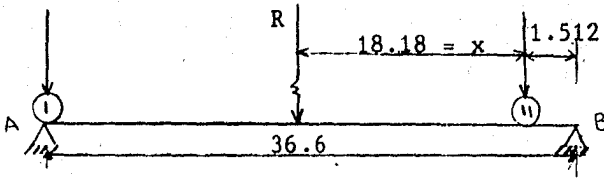
Se cumple el criterio establecido en el inciso II.3:

$$\frac{G_1}{b} = \frac{\sum_7^{11} P}{18.4} = \frac{68.85}{18.4} = 3.74 \text{ ton/m}$$

$$\frac{G_2}{a} = \frac{\sum_1^6 P}{18.2} = \frac{82.62}{18.2} = 4.54$$

$$3.74 - 4.54 = -0.8$$

Cortante máximo, en rueda 1



$$R = \sum_1^{11} P = 151.47 \text{ ton}$$

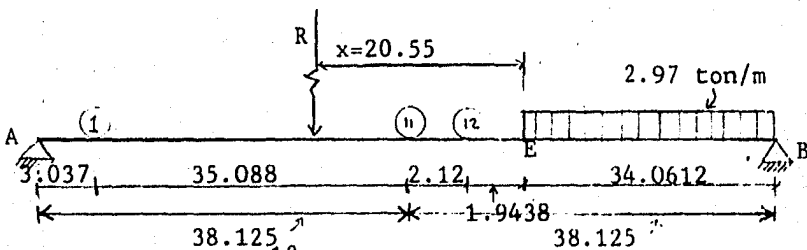
$$\sum_1^{11} M = 2753.02 \text{ ton-m}$$

$$x = \frac{2753.02}{151.47} = 18.18 \text{ m}$$

$$V_{\text{máx}} = \frac{151.47}{36.6} (18.18 + 1.512) = 81.50 \text{ ton}$$

Claro de 76.25 metros (250 pies)

El momento máximo se genera bajo la rueda 11, al centro del claro



$$R = \sum_1^{12} P = 165.24 \text{ ton}$$

$$\sum_1^E M = 3395.33 \text{ ton-m}$$

$$x = \frac{3395.33}{165.24} = 20.55$$

$$R_A = \frac{165.24(20.55 + 34.0612) + (2.97(34.0612)^2)/2}{76.25}$$

$$R_A = 140.94 \text{ ton}$$

$$\sum_1^{10} M = 2475.0 \text{ ton-m}$$

$$M_{11} = 140.94(38.125) - 24.75 = 2898.33 \text{ ton-m}$$

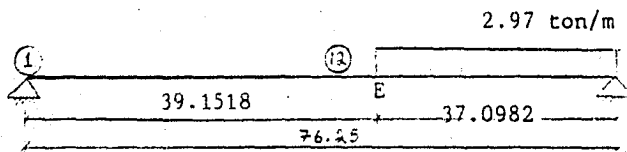
Además se cumple:

$$\frac{G_1}{b} = \frac{13.77 + 34.0612(2.97)}{38.125} = 3.01 \text{ ton/m}$$

$$\frac{G_2}{b} = \frac{\sum_1^{10} P}{38.125} = \frac{137.7}{38.125} = 3.61 \text{ ton/m}$$

$$3.01 - 3.61 = -0.6$$

Cortante máximo, se produce en rueda 1



$$\sum_1^E M = 3395.33 \text{ ton-m}$$

$$\sum_1^{12} P = 165.24 \text{ ton}$$

$$V_{\text{máx}} = \frac{165.24(37.0982) + 3395.33 + (2.97(37.0982)^2)/2}{76.25}$$

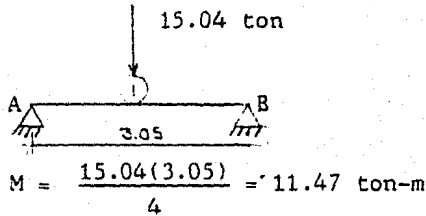
$$V_{\text{máx}} = 151.73 \text{ ton}$$

II.5.3.- Locomotoras B-B más pesadas.

Utilizaremos la tabla II.2 como ayuda para el cálculo de los momentos y cortantes máximos.

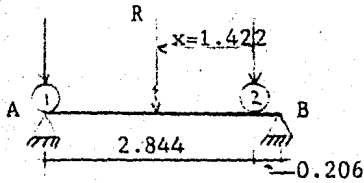
Claro de 3.05 metros (10 pies)

El momento máximo se produce bajo la rueda 1, estando al centro del claro



El cortante máximo se produce con la rueda 1 en el apoyo

A



Suma de cargas de rueda 1 a rueda 2

$$R = \sum_1^2 P = 30.08 \text{ ton}$$

Suma de momentos de rueda 1 a rueda 2

$$\sum_1^2 M = 42.77 \text{ ton-m}$$

La distancia de la resultante a la rueda 2 es:

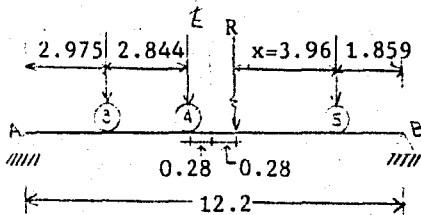
$$x = \frac{42.77}{30.08} = 1.422 \text{ m}$$

Por lo tanto el cortante máximo es:

$$V_{\text{máx}} = \frac{30.08}{3.05} (1.422 + 0.206) = 16.06 \text{ ton}$$

Claro de 12.2 metros (40 pies)

Por tanteos previos, se encuentra que la rueda bajo la cual se produce el momento máximo, es la 4.



$$R = \sum_3^5 P = 45.12 \text{ ton}$$

$$\sum_3^5 M = 178.79 \text{ ton-m}$$

Distancia de la resultante a rueda 5

$$x = \frac{178.79}{45.12} = 3.96 \text{ m}$$

La reacción en el apoyo A

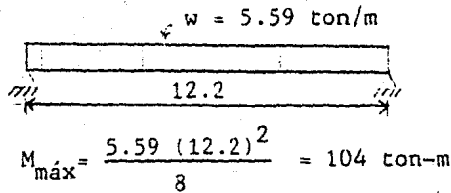
$$R_A = \frac{45.12}{12.2} (3.96 + 1.859) = 21.52 \text{ ton}$$

$$\sum_3^4 M = 42.77 \text{ ton-m}$$

El momento en la rueda 4 vale:

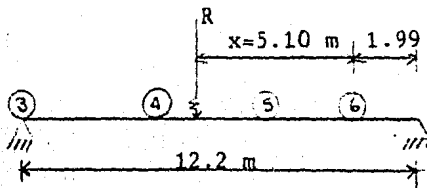
$$M_4 = 21.52(5.819) - 42.77 = 82.45 \text{ ton-m}$$

Ahora calcularemos el momento que nos genera la carga uniformemente repartida.



Por lo tanto el momento máximo absoluto lo produce la carga repartida.

Cálculo del cortante máximo, considerando las cargas aisladas. El cortante máximo se produce bajo la rueda 3 en el apoyo.



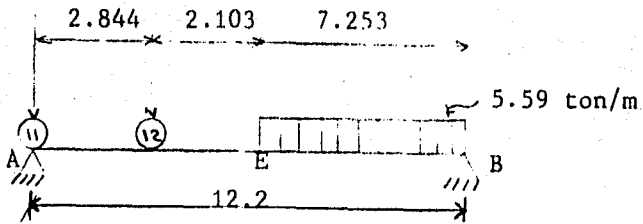
$$R = \sum_3^6 P = 60.16 \text{ ton}$$

$$\sum_3^6 M = 307.11 \text{ ton-m}$$

$$x = \frac{307.11}{60.16} = 5.10 \text{ m}$$

$$V_3 = \frac{60.16}{12.2} (5.10 + 1.99) = 34.96 \text{ ton}$$

Veamos otra posición del tren de cargas para la determinación del cortante máximo



$$\sum_{11}^{12} P = 30.08 \text{ ton}$$

E = lugar donde principia la carga uniformemente repartida

Suma de momentos de rueda 11 a E

$$\sum_{11}^E M = 106.03 \text{ ton-m}$$

Cortante máximo en rueda 11, apoyo A

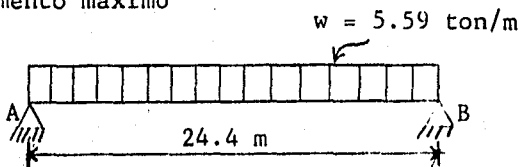
$$V_{\text{máx}} = \frac{30.08(7.253) + 106.03 + (5.59(7.253)^2)/2}{12.2}$$

Por lo tanto el cortante máximo absoluto es:

$$\Rightarrow V_{\text{máx}} = 38.63 \text{ ton} > V_3 = 34.96 \text{ ton}$$

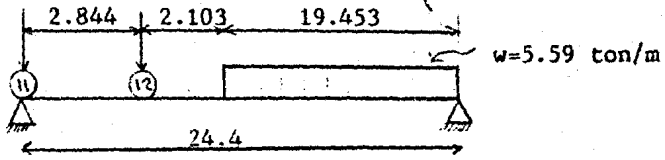
Claro de 24.4 metros (80 pies)

Momento máximo



$$M_{\text{máx}} = \frac{5.59 (24.4)^2}{8} = 416.01 \text{ ton-m}$$

Cortante máximo, bajo la rueda 11



$$\sum_{11}^{12} P = 30.08 \text{ ton}$$

$$\sum_{11}^E M = 106.03 \text{ ton-m}$$

$$V_{\text{máx}} = \frac{30.08(19.453) + 106.03 + (5.59(19.453)^2)/2}{24.4} = 71.67 \text{ ton}$$

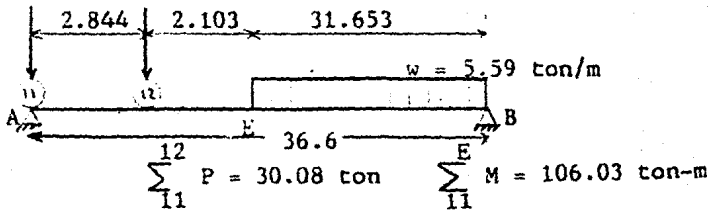
Claro de 36.6 metros (120 pies)

Momento máximo

El momento máximo lo produce la carga uniformemente repartida

$$M_{\text{máx}} = \frac{5.59(36.6)^2}{8} = 936.02 \text{ ton-m}$$

Cortante máximo, bajo la rueda 11



$$\sum_{11}^{12} P = 30.08 \text{ ton}$$

$$\sum_{11}^E M = 106.03 \text{ ton-m}$$

$$V_{\text{máx}} = \frac{30.08(31.653) + 106.03 + (5.59(31.653)^2)/2}{36.6} =$$

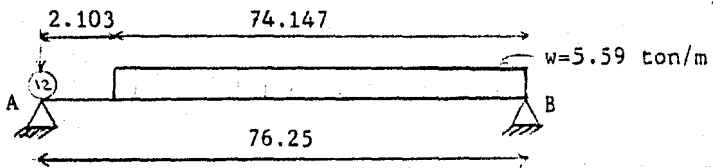
$$V_{\text{máx}} = 105.42 \text{ ton}$$

Claro de 76.25 metros (250 pies)

Momento máximo

$$M_{\text{máx}} = \frac{5.59(76.25)^2}{8} = 4062.58 \text{ ton-m}$$

Cortante máximo, bajo la rueda 12



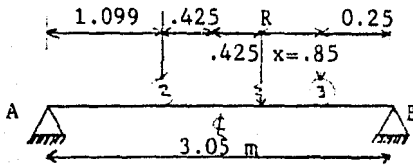
$$V_{\text{máx}} = \frac{15.04(76.25) + (5.59(74.147)^2)/2}{76.25} = 216.57 \text{ ton}$$

I.5.4.- Locomotoras C-C más pesadas.

Se utilizará la tabla de momentos II.4

Claro de 3.05 metros (10 pies)

El momento máximo se produce bajo la rueda 2



$$R = \sum_2^3 P = 28.72 \text{ ton}$$

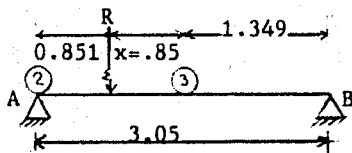
$$\sum_2^3 M = 24.43 \text{ ton-m}$$

$$x = \frac{24.43}{28.72} = 0.85 \text{ m}$$

$$R_A = \frac{28.72}{3.05} (0.85 + 0.25) = 10.36 \text{ ton}$$

$$M_2 = 10.36 (1.099) = 11.30 \text{ ton-m}$$

Cortante máximo, en el apoyo bajo la rueda 2



$$R = \sum_2^3 P = 28.72 \text{ ton}$$

$$\sum_2^3 M = 24.43 \text{ ton-m}$$

Distancia de la resultante a rueda 3

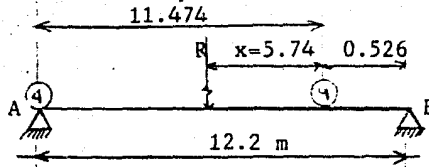
$$x = \frac{24.43}{28.72} = 0.85 \text{ m}$$

$$V_{\text{máx}} = \frac{28.72}{3.05} (0.85 + 1.349) = 20.71 \text{ ton}$$

Para los claros de 12.2 m (40 pies), 24.4 m (80 pies), 36.6 m (120 pies) y 76.25 m (250 pies) el momento máximo lo produce la carga uniformemente repartida de 5.59 ton/m, igual que en el arreglo de locomotoras B-B más pesadas de la tabla II.2. Por lo cual solamente calcularemos los cortantes máximos para los diferentes claros.

Claro de 12.2 m (40 pies)

El cortante máximo lo produce la rueda 4 en el apoyo A



$$R = \sum_4^9 P = 86.16 \text{ ton}$$

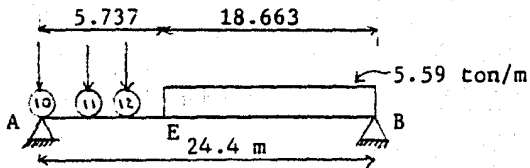
$$\sum_4^9 M = 494.3 \text{ ton-m}$$

$$x = \frac{494.3}{86.16} = 5.74 \text{ m}$$

$$V_{\text{máx}} = \frac{86.16}{12.2} (5.74 + 0.526) = 44.25 \text{ ton}$$

Claro de 24.4 m (120 pies)

Cortante máximo, bajo rueda 10



$$\sum_{10}^{12} P = 43.08 \text{ ton}$$

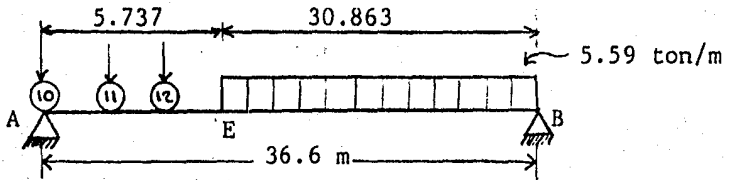
$$\sum_{10}^E M = 166.41 \text{ ton-m}$$

$$V_{\text{máx}} = \frac{43.08(18.663) + 166.41 + (5.59(18.663)^2)/2}{24.4} =$$

$$V_{\text{máx}} = 79.67 \text{ ton}$$

Claro de 36.6 m (120 pies)

Cortante máximo, bajo rueda 10



$$\sum_{10}^{12} P = 43.08 \text{ ton}$$

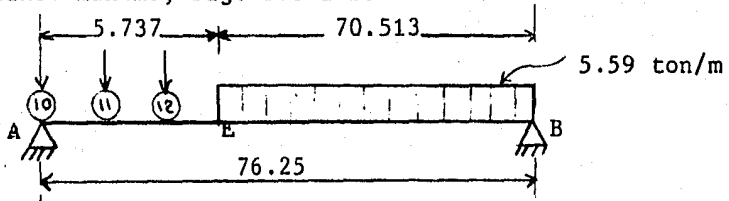
$$\sum_{10}^E M = 166.41 \text{ ton-m}$$

$$V_{\text{máx}} = \frac{43.08(30.863) + 166.41 + (5.59(30.863)^2/2)}{36.6} =$$

$$V_{\text{máx}} = 113.61 \text{ ton}$$

Claro de 76.25 m (250 pies)

Cortante máximo, bajo rueda 10



$$\sum_{10}^{12} P = 43.08 \text{ ton}$$

$$\sum_{10}^E M = 166.41 \text{ ton-m}$$

$$V_{\text{máx}} = \frac{43.08(70.513) + 166.41 + (5.59(70.513)^2/2)}{76.25} =$$

$$V_{\text{máx}} = 224.28 \text{ ton}$$

Los resultados obtenidos se resumen en las tablas II.5 a II.8.

Longitud		Momento Máximo	Fuerza Cortante Máxima (Apoyo)
pies	metros	ton-m	ton
10	3.05	10.69	14.89
40	12.2	76.89	32.14
80	24.4	310.03	49.84
120	36.6	523.19	68.15
250	76.25	2158.47	126.02

Tabla II.5.- Elementos Mecánicos Máximos
Locomotoras B-B Más Frecuentes

Longitud		Momento Máximo	Fuerza Cortante Máxima (Apoyo)
pies	metros	ton-m	ton
10	3.05	10.5	18.43
40	12.2	97.39	41.76
80	24.4	439.96	65.40
120	36.6	680.48	81.50
250	76.25	2898.33	151.73

Tabla II.6.- Elementos Mecánicos Máximos
Locomotoras C-C Más Frecuentes

Longitud		Momento Máximo	Fuerza Cortante Máxima (Apoyo)
pies	metros	ton-m	ton
10	3.05	11.47	16.06
40	12.2	104.0	38.64
80	24.4	416.01	71.69
120	36.6	936.02	105.44
250	76.25	4062.58	213.12

Tabla II.7.- Elementos Mecánicos Máximos
Locomotoras B-B Más Pesadas

Longitud		Momento Máximo	Fuerza Cortante Máxima (Apoyo)
pies	metros	ton-m	ton
10	3.05	11.39	20.71
40	12.2	104.63	44.25
80	24.4	416.01	79.66
120	36.6	936.02	113.61
250	76.25	4062.58	224.84

Tabla II.8.- Elementos Mecánicos Máximos
Locomotoras C-C Más Pesadas

CAPITULO III

ANALISIS COMPARATIVO

En éste capítulo se hace la comparación entre los modelos de carga Cooper, hasta ahora utilizados en el diseño de puentes ferroviarios y los arreglos de carga reales obtenidos en los capítulos anteriores con base en locomotoras diésel eléctricas y carros de ferrocarril existentes en Ferrocarriles Nacionales de México.

El análisis comparativo se realiza en términos de los elementos mecánicos calculados para diferentes claros de puentes ferroviarios, tanto de las cargas Cooper como de las cargas reales.

III.1.- Carga Cooper.

La carga Cooper tipo E, establecida por Theodore Cooper en 1894 consta de 2 locomotoras de vapor enganchadas entre sí, seguida cada una por un tónder y arrastrando juntas una carga uniforme que representa el peso de los vagones. Al frente de cada locomotora se localiza una carretilla guía (Ver figura - III.1.).

Las cargas Cooper tipo E se designan por la letra E seguida por un número que indica la carga en kips (1 kip=1000 libras) de los ejes motrices. Así, por ejemplo la carga Cooper E-35, con la que se inició el diseño de puentes, ejerce sobre el puente una fuerza concentrada por eje motriz de 35 kips (15.89 toneladas).

La distribución de la carga Cooper es la siguiente: Al eje de carretilla le corresponde el 50% del peso, N, de un eje motriz. Los ejes del tender concentran el 65% del peso, N, de un eje motriz. La carga uniforme que sigue a las locomotoras tiene una intensidad por pie de riel igual al 10% del peso, N, en el eje motriz. La separación entre ruedas no varía con el tipo.

En la figura III.1 se muestran las cargas Cooper E-N, - E-50 (50 kips = 22.7 ton), E-60 (27.24 ton) y E-72 (32.7 ton) que se ejercen sobre la vía.

Las especificaciones del A.R.E.A. (American Railways Engineering Association) tienen como carga estándar a la Cooper tipo E. Por lo tanto establecen una serie de ayudas (tablas y gráficas) de diseño, de las cuales es posible la obtención de los datos necesarios para el análisis de un puente, como son elementos mecánicos, condiciones de carga crítica, etc.

Las ayudas de diseño más utilizadas se muestran a continuación, de la siguiente manera:

a) En la tabla III.1, se presentan los momentos para la carga Cooper E-60, similar a las tablas II.1, II.2, II.3 y II.4 obtenidas para los arreglos de carga reales en el capítulo II.

b) La tabulación mostrada en la tabla III.2 proporciona valores máximos de cortante, momento y reacción de pila en diferentes longitudes de vigas simplemente apoyadas. La tabla esta diseñada para la carga Cooper E-60.

c) La tabla III.3 nos muestra la posición de las ruedas de una carga Cooper para el máximo momento.

d) En la figura III.2 podemos apreciar el Abaco de Steinman, el cual permite obtener una carga uniforme equivalente de la Cooper E-60 para fines de diseño.

Las cargas Cooper mantienen un arreglo de ejes invariable, lo que las distingue entre sí es la magnitud de la carga nominal en cada uno de sus ejes. Dicha magnitud varía linealmente entre los diferentes tipos de carga Cooper; por lo cual tomando como base las tablas III.1, III.2 y la figura III.2 de la carga E-60, podemos obtener valores para otro tipo de

Moement Tables for Chevrolet #60 Loaders and Trac Trac **For #52 Loaders, Structures, Tractors and Tractors as L.S.**

1 Spacing (ft.)	1 2 3 4 5 6 7 8 9									10 11 12 13 14 15 16 17 18								
	11	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
2 Weight (kips)	11	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180
3 Distance (ft.)	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102
4 Load (kips)	11	41	71	101	131	161	191	221	251	281	311	341	371	401	431	461	491	521
5 Moment (kips-ft.)	0	142	312	512	742	1002	1292	1602	1932	2282	2652	3042	3452	3882	4332	4802	5292	5802
6 Distance	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102
7 Load	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340
8 Moment	0	140	280	420	560	700	840	980	1120	1260	1400	1540	1680	1820	1960	2100	2240	2380
9 Distance	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102
10 Load	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340
11 Moment	0	140	280	420	560	700	840	980	1120	1260	1400	1540	1680	1820	1960	2100	2240	2380
12 Distance	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102
13 Load	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340
14 Moment	0	140	280	420	560	700	840	980	1120	1260	1400	1540	1680	1820	1960	2100	2240	2380
15 Distance	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102
16 Load	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340
17 Moment	0	140	280	420	560	700	840	980	1120	1260	1400	1540	1680	1820	1960	2100	2240	2380
18 Distance	0	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	78	84	90	96	102
19 Load	0	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340
20 Moment	0	140	280	420	560	700	840	980	1120	1260	1400	1540	1680	1820	1960	2100	2240	2380

The #60 loading schedule of two #15's on machine followed by a uniform load of 200 lb. per ft. of track; loads in kips, moments in kip-ft. All values are kips per foot of track. Multiply by track width to obtain values per foot of track. For #52 multiply loads, moments and moments by 1.2.

Distance in feet of wheel to track.
Weight load shown above all loads in kips.
Distance of all wheel loads in feet in kips.
Load and moment are an increased number of the loads shown are omitted in operation lines.

Tabla III.1.- Tabla de Momentos para La Carga Cooper E-60 por riel.

Order No. 11-636 Dewey 624.111

Maximum Moments, Shears and Floorbeam Reactions

Coopers & Lybrand (A. R. E. A.)

Moments in Upward Foot Loads
beam reaction in Downward Foot
Loading (marked * Value for one rail)

Span	No. of Rails	Max. Shear Ft.	Max. Moment K. Ft.			Equiv. Lnd. Load		
			End	1/4 Pt.	Center	At- ment	Dist.	Per Foot
10	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
11	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
12	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
13	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
14	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
15	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
16	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
17	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
18	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
19	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
20	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
21	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
22	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
23	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
24	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
25	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
26	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
27	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
28	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
29	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
30	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
31	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
32	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
33	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
34	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
35	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
36	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
37	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
38	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
39	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
40	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
41	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
42	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
43	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
44	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
45	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
46	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
47	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
48	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
49	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
50	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
51	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
52	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
53	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
54	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
55	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
56	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
57	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
58	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
59	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
60	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
61	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
62	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
63	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
64	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
65	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
66	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
67	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
68	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
69	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
70	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
71	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
72	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
73	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
74	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
75	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
76	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
77	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
78	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
79	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000
80	2	742.8	30.0	718.8	86.0	1500	9780	8000

Bridge, Railway, Maximum Moments Shears etc.

Span	No. of Rails	Max. Shear Ft.	Max. Moment K. Ft.			Equiv. Lnd. Load
			End	1/4 Pt.	Center	
50	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
51	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
52	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
53	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
54	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
55	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
56	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
57	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
58	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
59	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
60	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
61	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
62	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
63	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
64	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
65	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
66	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
67	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
68	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
69	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
70	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
71	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
72	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
73	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
74	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
75	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
76	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
77	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
78	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
79	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
80	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
81	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
82	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
83	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
84	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
85	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
86	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
87	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
88	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
89	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
90	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
91	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
92	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
93	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
94	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
95	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
96	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
97	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
98	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
99	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041
100	2	1041	105.8	88.0	104.8	1041

Tabla III.2.- Momentos, Cortantes y Reacciones de Pila
Máximos para la Carga Cooper E-60.

LEPAP, Philadelphia 1, Pa. Reprinted April, 1938

For more information, write to the
Cooper E-60 Bridge, Railway, Maximum Moments Shears etc.

Span	1'	15'	20'	25'	30'	35'	40'	45'	50'	55'	60'	65'	70'	75'	80'	85'	90'	95'	100'	105'	110'	115'	120'	
300° To 240°	2	3	3	4	4	5	5	6	7	7	8	9	10	11	12	13	14	15	17	17	18			
250° To 240°	2	3	3	4	4	5	5	6	7	8	8	9	10	11	12	13	14	15	17	17	18			
150° To 150°	2	3	3	4	4	5	5	6	7	8	8	9	10	11	12	13	14	15	17	17	18			
110° To 150°	3	3	3	4	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	12	13	14	15	17	17	18			
130°	3	3	3	4	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	12	13	14	15	17	17	18			
120°	3	3	3	4	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13	14	15	17	17	18			
110°	3	3	3	4	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13	14	15	17	17	18			
100°	3	3	3	4	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13	14	15	17	17	18			
90°	3	3	4	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13	14	15	17	17	18				
80°	3	3	4	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13	14	15	17	17	18				
70°	3	3	4	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13	14	15	17	17	18				
65°	3	3	4	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13	14	15	17	17	18				
60°	3	3	4	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13	14	15	17	17	18				
55°	4	4	4	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13	14	15	17	17	18				
50°	4	4	4	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13	14	15	17	17	18				
45°	4	4	4	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13	14	15	17	17	18				
40°	3	3	3	4	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13	14	15	17	17	18			
35°	3	3	3	4	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13	14	15	17	17	18			
30°	3	3	3	4	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13	14	15	17	17	18			
25°	3	3	3	4	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13	14	15	17	17	18			
20°	3	3	3	4	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13	14	15	17	17	18			
15°	3	3	3	4	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13	14	15	17	17	18			
10°	3	3	3	4	4	5	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13	14	15	17	17	18			

WHEEL DETERMINES MAXIMUM MOMENT
COOPER'S LOADINGS
CIVIL ENGINEERING

The shorter span is always followed by the longer one except when it is over-sized.

Tabla III.3.- Posición de las Ruedas de una Carga Cooper para el Máximo Momento.

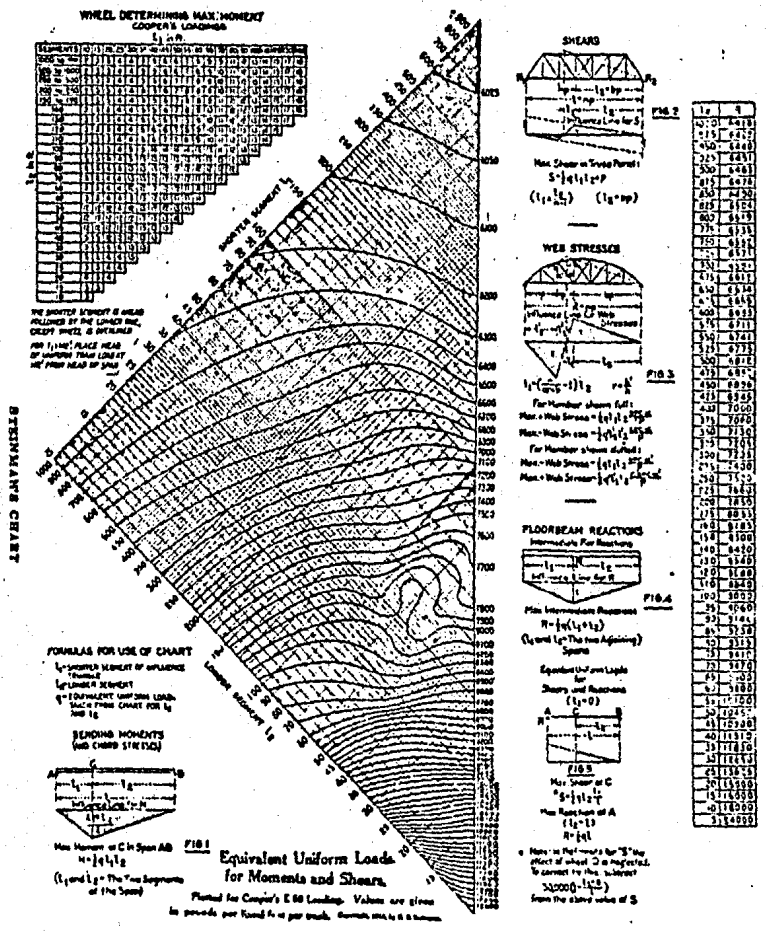


Figura III.2.- Abaco de Steinman para Cargas Uniformes Equivalentes.

carga Cooper proporcionalmente. Así, por ejemplo para la carga E-72 los datos de la carga E-60 se multiplican por 1.2 que resulta de dividir 72/60.

III.2.- Análisis Comparativo.

De la tabla III.2 obtenemos las fuerzas cortantes y momentos máximos para las cargas Cooper E-50, E-60 y E-72 en claros de 10, 40, 80, 120 y 250 pies, mostrados en las tablas III.4, III.5 y III.6 en unidades métricas. Así mismo en las tablas II.5 a II.8 del capítulo II, se calcularon los elementos mecánicos máximos con los arreglos de carga reales para iguales claros.

Longitud		Momento Máximo	Fuerza Cortante Máxima (Apoyo)
pies	metros	ton-m	ton
10	3.05	10.81	18.47
40	12.20	113.48	42.79
80	24.40	373.95	70.48
120	36.60	798.69	98.56
250	76.25	3045.03	177.74

Tabla III.4.- Carga Cooper E-50

Longitud		Momento Máximo	Fuerza Cortante Máxima (Apoyo)
pies	metros	ton-m	ton
10	3.05	12.97	22.16
40	12.2	136.17	51.35
80	24.40	448.74	84.58
120	36.60	958.43	118.27
250	76.25	3654.04	213.29

Tabla III.5.- Carga Cooper E-60

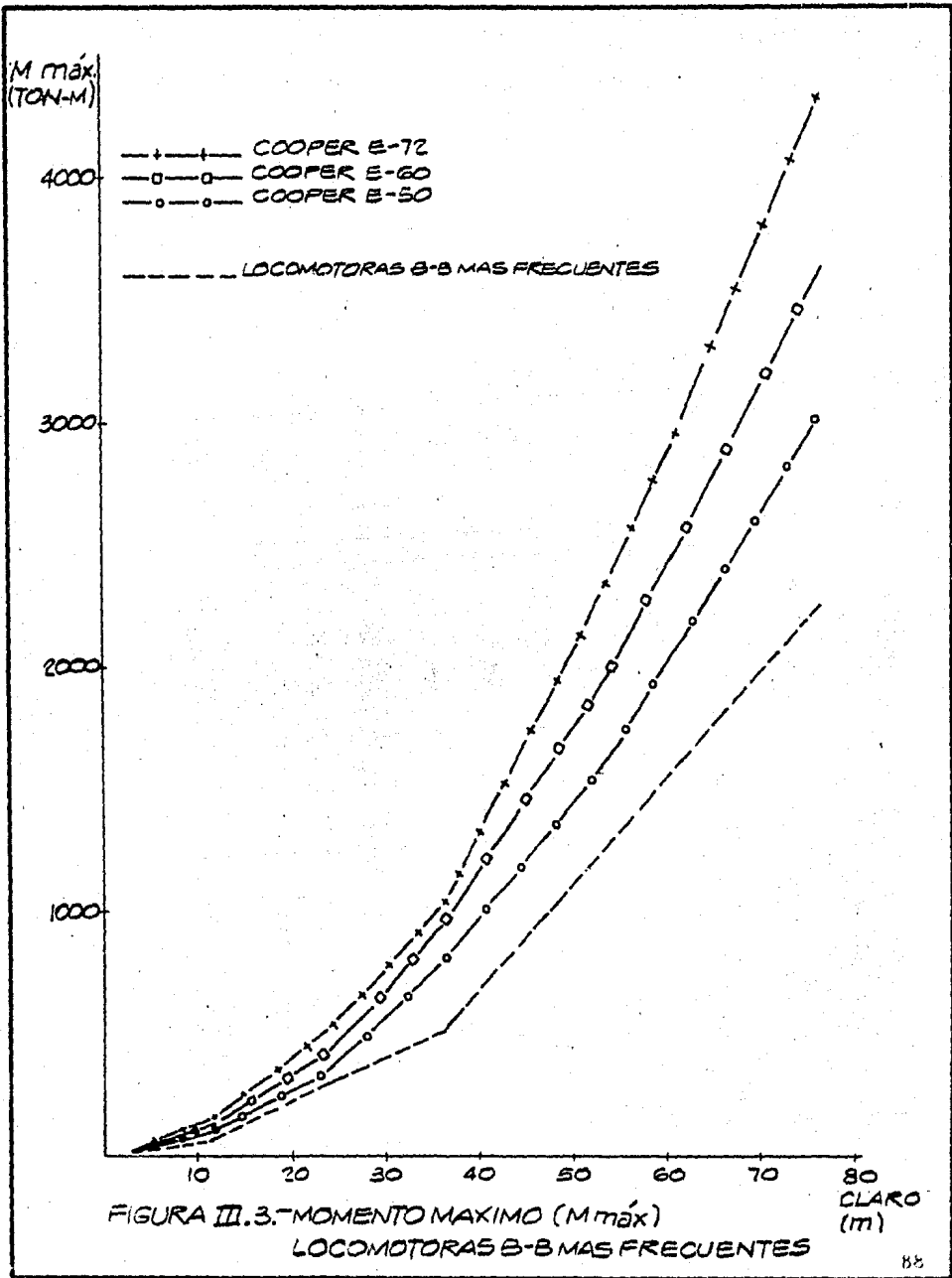
Longitud		Momento Máximo	Fuerza Cortante Máxima (Apoyo)
pies	metros	ton-m	ton
10	3.05	15.56	26.59
40	12.20	163.40	61.62
80	24.40	538.49	101.50
120	36.60	1150.12	141.92
250	76.25	4384.85	255.95

Tabla III.6.- Carga Cooper E-72

Los elementos mecánicos de las cargas Cooper aumentan proporcionalmente a la denominación de éstas, como se puede observar en las tablas anteriores.

En las figuras III.3 a III.10 se muestra una comparación entre los elementos mecánicos producidos por las cargas Cooper (E-50, E-60 y E-72) y los arreglos representativos de cargas reales de locomotoras diésel eléctricas. En ellas se observa lo siguiente:

- Los elementos mecánicos máximos de locomotoras B-B más frecuentes son inferiores a los de las cargas Cooper E-50, E-60 y E-72 (figuras III.3 y III.4).
- Los valores producidos por las locomotoras C-C más frecuentes son sensiblemente parecidos a los de la carga Cooper E-50. En claros de 15 a 30 metros son mayores los momentos de las locomotoras C-C e inferiores a los de la carga Cooper E-60 y E-72 (figuras III.5 y III.6).
- Los momentos máximos provocados por locomotoras B-B y C-C más pesadas son mayores que los de la Cooper E-50 (en claros superiores a 12.2m) y muy parecidos a la carga E-60, excepto para claros superiores a 36.6 m (120 pies), los cuales se asemejan a la Cooper E-72 (figuras III.7 y III.9).
- Los cortantes producidos por locomotoras B-B más pesadas son mayores a la carga E-50 para claros superiores a 24.4 m (80 pies). Y los cortantes de las locomotoras C-C más pesadas se parecen a la carga E-60. (figuras III.8 y III.10).



V máx.
(TON)

- +--- COOPER E-72
- COOPER E-60
- COOPER E-50
- LOCOMOTORAS B-B MAS FRECUENTES

300

200

100

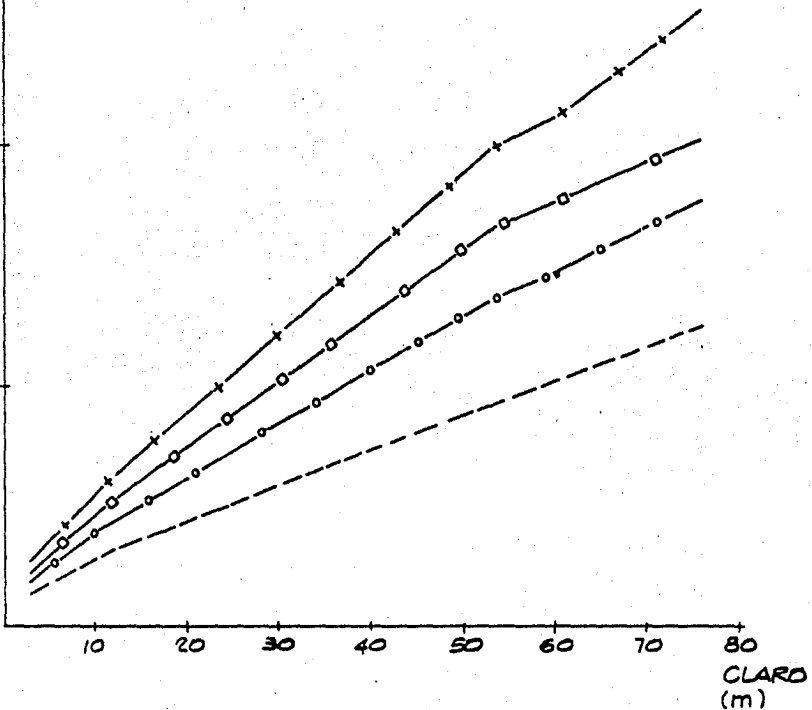


FIGURA III. 4.-CORTANTE MAXIMO (V máx.)
LOCOMOTORAS B-B MAS FRECUENTES

M máx.
(TON-M)

- +--+ COOPER E-72
- COOPER E-60
- COOPER E-50

- - - - LOCOMOTORAS C-C
MAS FRECUENTES

4000

3000

2000

1000

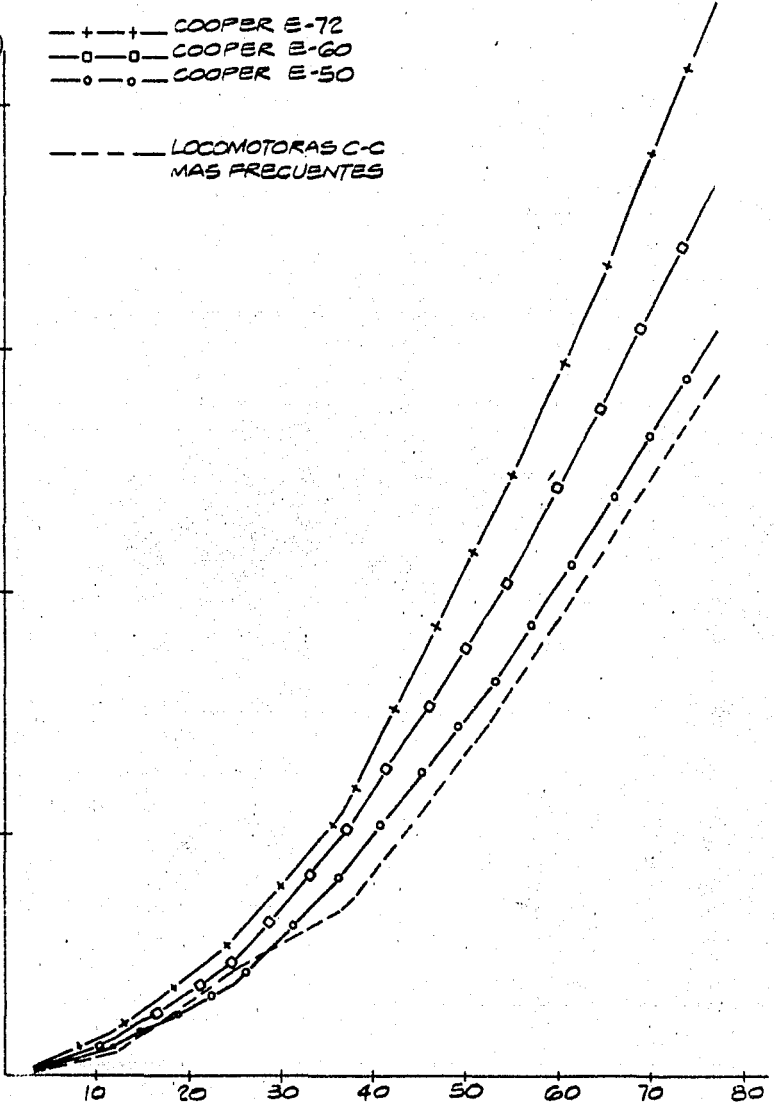


FIGURA III.5.-MOMENTO MAXIMO (M máx.)
LOCOMOTORAS C-C MAS FRECUENTES

V máx.
(TON)

—+—+— COOPER E-72
—□—□— COOPER E-60
—○—○— COOPER E-50

--- LOCOMOTORAS C-C
MAS FRECUENTES

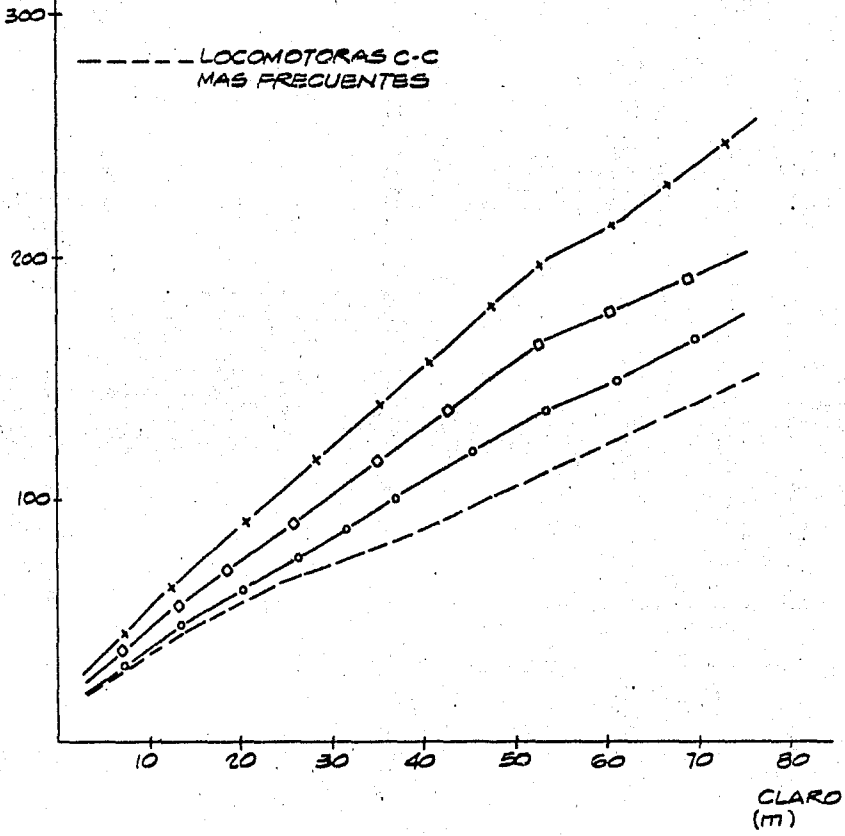


FIGURA III. G.- CORTANTE MAXIMO (V máx.)
LOCOMOTORAS C-C MAS FRECUENTES

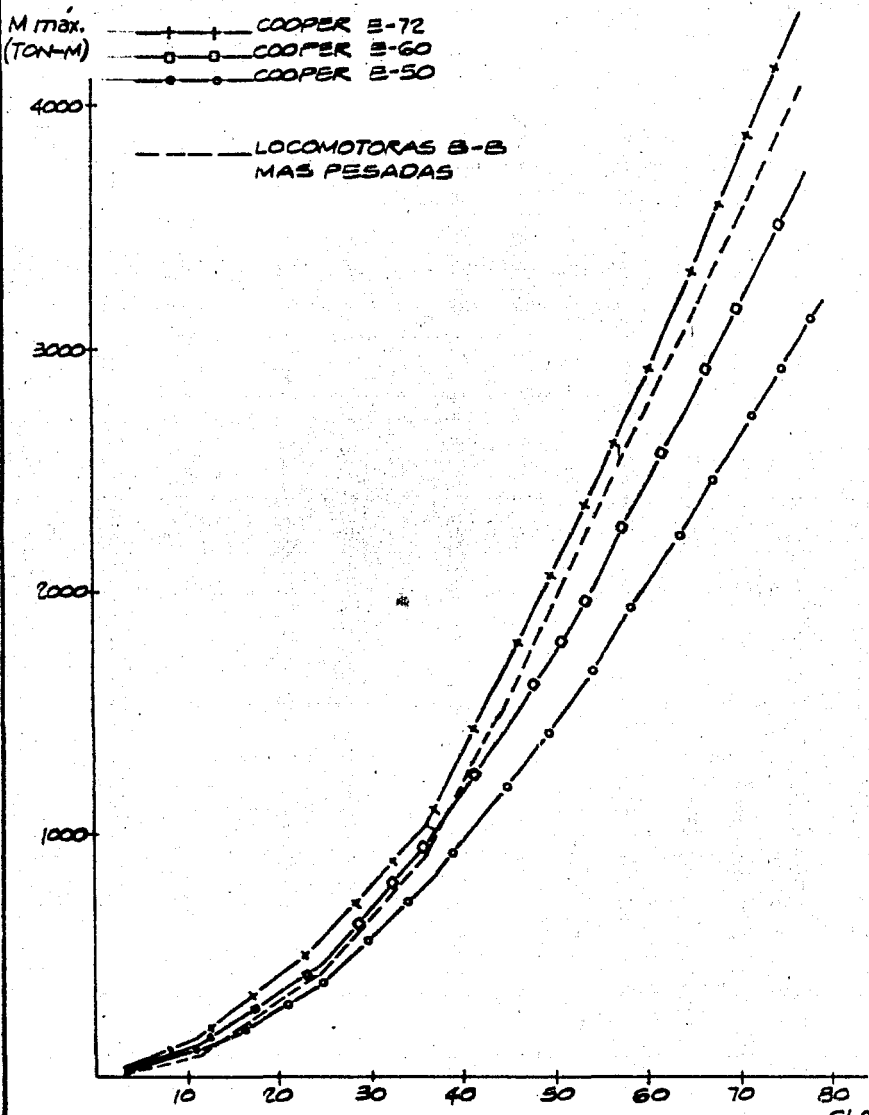


FIGURA III. 7.-MOMENTO MAXIMO (M max.)
 LOCOMOTORAS B-B MAS PESADAS
 GLARO (m)

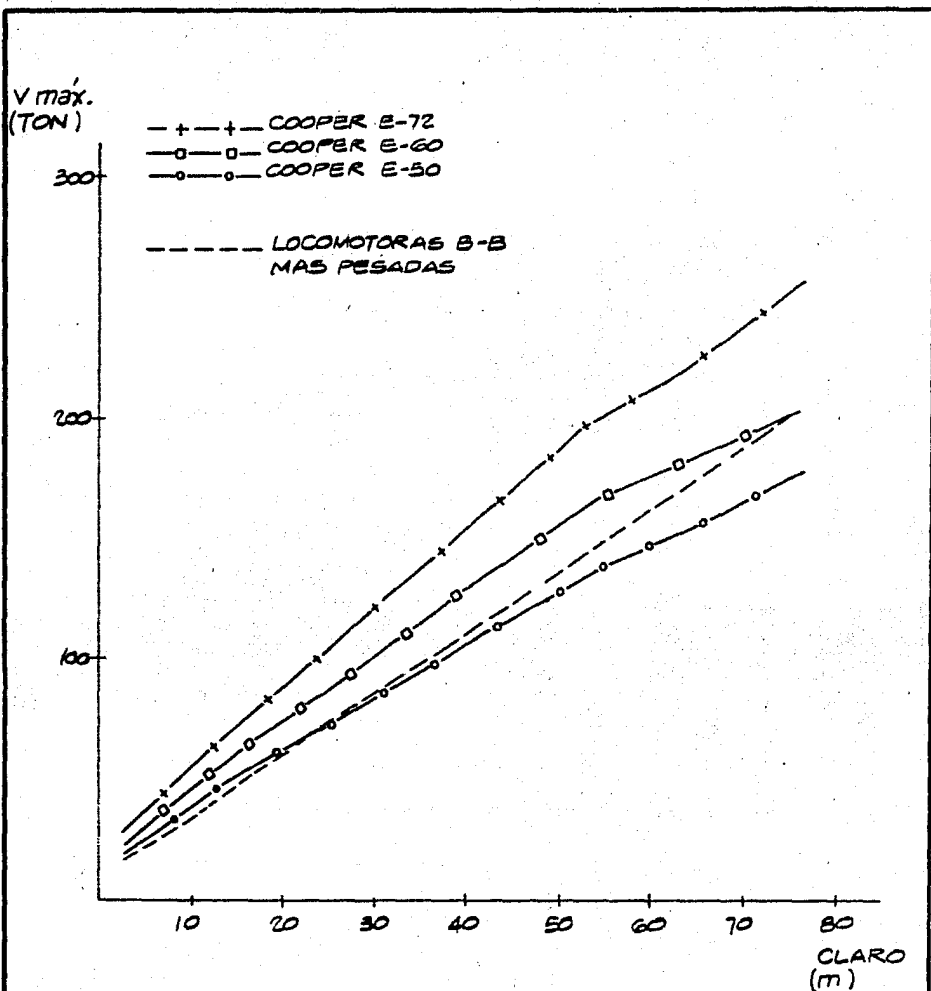


FIGURA III. B.-CORTANTE MAXIMO (V_{max})
 LOCOMOTORAS B-B MAS PESADAS

M máx.
(TON-M)

- +—+— COOPER E-72
- COOPER E-60
- COOPER E-50

- LOCOMOTORAS C-C
MAS PESADAS

4000

3000

2000

1000

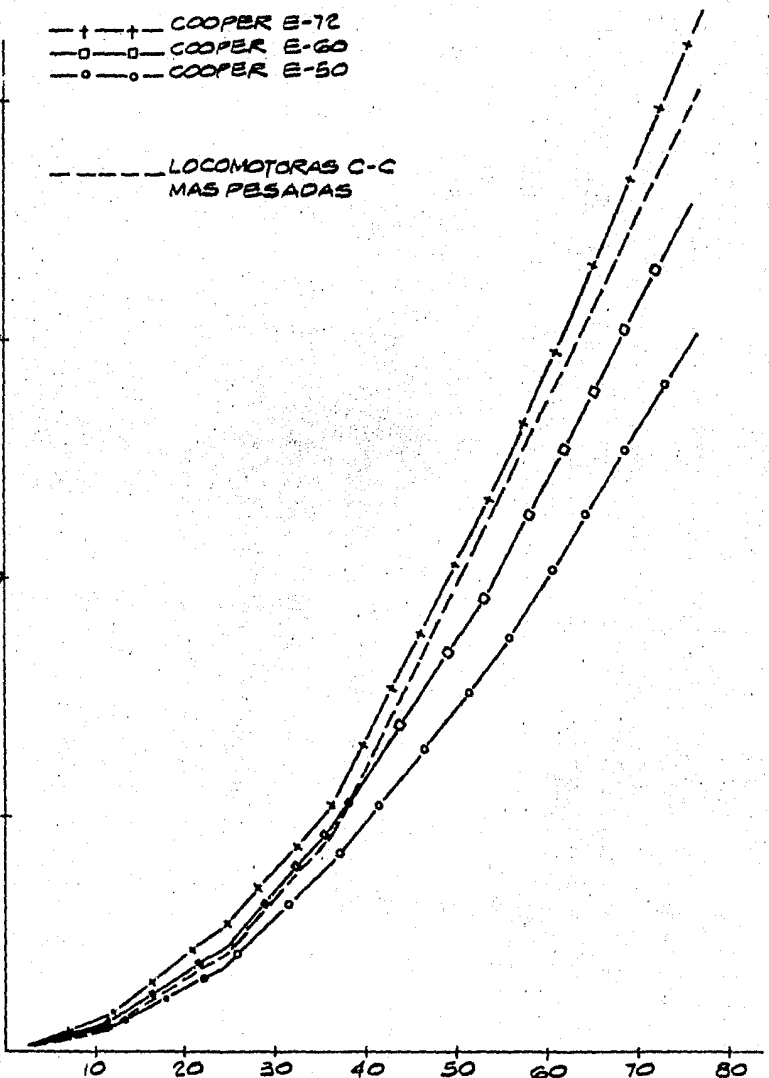


FIGURA III. 9.- MOMENTO MAXIMO (M máx)
LOCOMOTORAS C-C MAS PESADAS
CLARO (m)

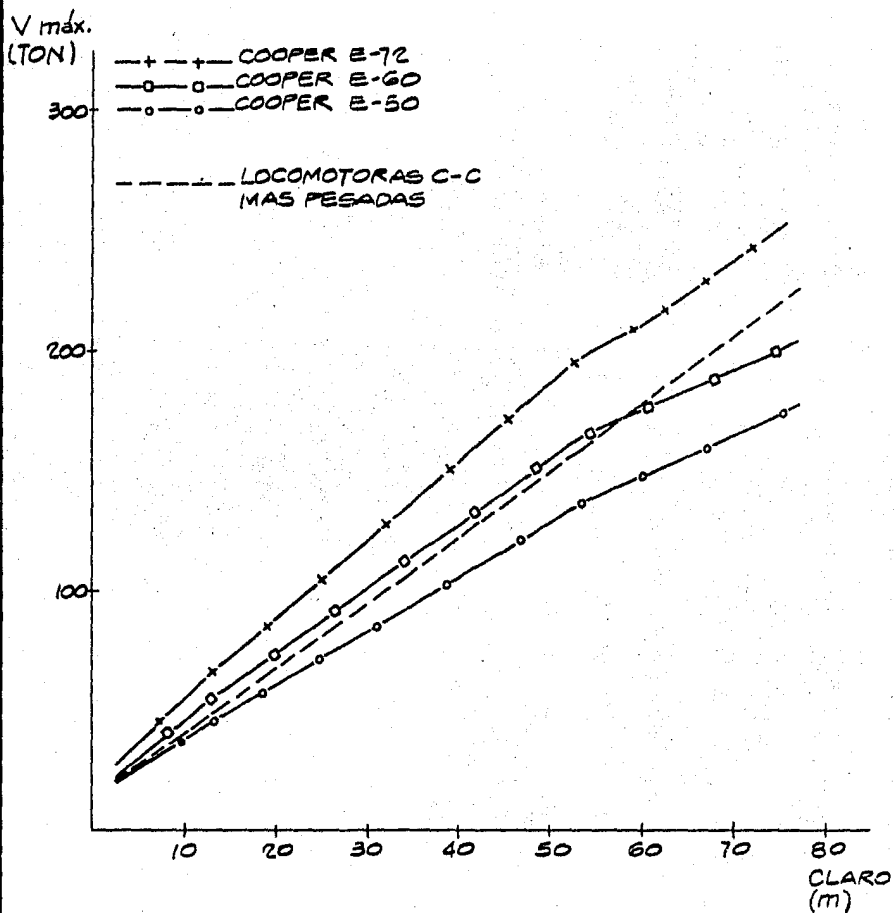


FIGURA III. 10.- CORTANTE MAXIMO (V máx.)
 LOCOMOTORAS C-C MAS PESADAS

CONCLUSIONES

Una vez que se realizó la comparación entre elementos mecánicos de los modelos de carga Cooper y los arreglos representativos de carga con locomotoras y carros de arrastre reales, se puede concluir que para el diseño adecuado de puentes ferroviarios en la República Mexicana pueden usarse los modelos de carga desarrollados en este trabajo atendiendo a la circulación esperada para cada uno. Sin embargo las cargas vivas de diseño especificadas en los modelos de carga Cooper producen esfuerzos similares a los obtenidos con los arreglos de cargas reales; por lo que no es indispensable formular una nueva propuesta de dichas cargas. Por lo tanto las ayudas de diseño presentadas en las especificaciones del A. R. E. A. (American Railway Engineering Association) podrán seguir usándose para el diseño de puentes ferroviarios, tomando en consideración las siguientes recomendaciones:

- Para claros hasta 36.6 metros (120 pies), utilizar la carga Cooper E-60.
- Para claros mayores de 36.6 metros, utilizar la carga Cooper E-72.
- Para los puentes existentes actualmente en el sistema ferroviario, verificar la carga de diseño que se utilizó con objeto de que si ésta es inferior a la Cooper E-60 se tomen medidas para reforzarlos o bien se limite el tránsito de trenes sobre ellos a aquellas combi-

naciones de locomotoras y carros de arrastre que correspondan a cargas máximas inferiores a ésta.

- Además, se recomienda que, si en el futuro, los Ferrocarriles Nacionales de México adquieren y ponen en servicio material rodante de mayor peso que los que se enlistan en este trabajo, se realice un análisis similar a éste para su incorporación al sistema ferroviario.

BIBLIOGRAFIA

- 1.- Asociación Americana de Ingeniería de Ferrocarriles (AREA)
Especificaciones para Puentes de Acero para Ferrocarril
Lefax, Philadelphia, 1960.
- 2.- Dunham, Walter
Taller de Conservación de Carros de Ferrocarril
Biblioteca Técnica Ferrocarrilera (26). F.N. de M.
México, 1956
- 3.- Ferrocarriles Nacionales de México. Gerencia General.
Planeación. Departamento de Estudios y Proyectos.
Consideraciones Generales sobre Trenes Largos.
México, 1969
- 4.- Ferrocarriles Nacionales de México. Gerencia General.
Planeación. Departamento Técnico.
Datos Generales de las Locomotoras Diésel Eléctricas,
Eléctricas y Autovías.
México, D. F. 1968
- 5.- Ferrocarriles Nacionales de México. Dirección General,
Departamento Técnico. Sección Coches y Carros.
Existencia de Equipo de Arrastre y Autovías.
México, D. F. 1985
- 6.- Guerrero y Gama, Vicente
Apuntes para la Clase de Puentes
México, D. F., 1955

- 7.- Instituto de Capacitación Ferrocarrilera
Manual de Taller. Reglas de la A.A.R. para intercambio de Equipo Remolcado.
F. N. de M. 1982

- 8.- Merino Pérez, José
Análisis y Diseño del Reforzamiento de la Superestructura de un puente para Ferrocarril. (Tesis Profesional)
U.N.A.M. Escuela Nacional de Estudios Profesionales Aca
tlán, 1983

- 9.- Norris y Wilbur
Análisis Elemental de Estructuras
Editorial McGraw-Hill, México, 1978

- 10.- Olvera L., Alfonso
Análisis de Estructuras
Editorial C.E.C.S.A., México, D. F. 1984.