

T 620.31
LASE

ESCUELA SUPERIOR
POLITECNICA DEL LITORAL

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA

"ESTUDIO DE LA VIBRACION INDUCIDA POR EL
VIENTO EN LINEAS DE TRANSMISION ELECTRICA"

TESIS DE GRADO
Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECANICO

Presentada por:

MARIA VIRGINIA LASIO M.

GUAYAQUIL - ECUADOR
1.984

AGRADECIMIENTO

AL ING. EDUARDO ORCES, Director de Tesis.

AL SR. VICTOR GUADALUPE, Auxiliar de Laboratorio de Mecánica de Sólidos por su ayuda en el desarrollo de pruebas experimentales.

Al personal de los Laboratorios de Generación de Poder, Fluídos, Taller Mecánico y CESERCOMP, por su colaboración en general.

DEDICATORIA

A MI MADRE
A MI ESOSO
A MI HIJA

Eduardo Orces

ING. EDUARDO ORCES P.

Director de Tesis

DECLARACION EXPRESA

"La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, me corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Exámenes y Títulos profesionales de la ESPOL).

Ma. Virginia Lasio M.

Ma. Virginia Lasio M.

RESUMEN

Este trabajo consiste en el estudio del comportamiento de las líneas de transmisión eléctrica bajo la acción de vientos transversales, concretamente la vibración inducida por viento.

Dicha vibración es producida por el desprendimiento periódico de vórtices a cada lado del cable, lo que origina un empuje oscilante.

Cuando la frecuencia de desprendimiento alcance o esté muy cerca de uno de los modos normales, las amplitudes de vibración crecerán pudiendo ocasionar la falla, por fatiga, en la proximidad de la grapa o soporte.

El comportamiento del cable se conocerá evaluando el modelo matemático establecido para el cable solo, así como cuando se incluye un absorbedor de vibraciones en la línea, observando la interacción de los diversos parámetros que intervienen.

Las características de los conductores y demás detalles de instalación se tomarán de recomendaciones para el tendido de líneas de 138KV del Sistema Nacional Interconectado.

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	VI
INDICE GENERAL	VII
INDICE DE FIGURAS	IX
INDICE DE TABLAS	XI
INDICE DE APENDICES	XII
INDICE DE ABREVIATURAS	XIII
INTRODUCCION	15
I. CARACTERISTICAS GENERALES DE LA VIBRACION INDUCIDA POR EL VIENTO,	19
1.1 Flujo transversal sobre cilindros	20
1.2 Formación de Vórtices	22
1.3 Fuerza lateral provocada por el desprendimiento de los vórtices.	24
II. MODELO MATEMATICO DEL CABLE VIBRANTE	27
2.1 Ecuación del movimiento del cable, incluyendo fle- xión y tensión axial.	28
2.2 Ecuación de frecuencias naturales del cable	30
2.3 Amplitudes de la vibración forzada	32
2.4 Análisis de los parámetros de la ecuación del movi- miento del cable.	34
2.5 Comportamiento del cable con absorbedor de vibracio- nes.	40

	Pág.
III. ESFUERZOS EN EL CABLE	44
3.1 Solución estática para el momento flector en el apoyo.	44
3.2 Determinación experimental de la rigidez del cable.	46
3.3 Cálculo de los esfuerzos estáticos	54
3.4 Estimación de los esfuerzos dinámicos	55
3.5 Fatiga en las líneas de transmisión	58
IV. RESULTADOS	67
4.1 Comportamiento general del cable según el modelo matemático.	67
4.2 Efectos producidos por la ubicación del absorbedor.	72
V. ANALISIS DE RESULTADOS	75
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
APENDICES	86
BIBLIOGRAFIA	199

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1. Flujo alrededor de un cilindro para diferentes Re.	21
FIGURA 2. Relación entre los números de Strouhal y Reynolds para un cilindro circular.	23
FIGURA 3. Elemento diferencial de cable	28
FIGURA 4. Diagrama comparativo de frecuencias naturales entre una viga y una cuerda.	37
FIGURA 5. Absorbedor tipo Stockbridge	41
FIGURA 6. Simulación del cable con absorbedor	41
FIGURA 7. Viga empotrada con carga lateral y axial	45
FIGURA 8. Esquema prueba de carga-deflexión	49
FIGURA 9. Disposición experimental	49
FIGURA 10. Diagrama S-N para un acero	61
FIGURA 11. Diagrama S-N comparativo	61
FIGURA 12. Tensiones fluctuantes	63
FIGURA 13. Diagrama modificado de Goodman	64
FIGURA 14. Diagrama modificado de Goodman para un cable ACSR BLUEJAY.	70
FIGURA 15. Diagrama ilustrativo de los puntos de inflexión. Cable con absorbedor de vibraciones.	74
FIGURA 16. Diagrama comparativo de amplitudes	78

	Pág.
FIGURA 17. Diagrama comparativo de momentos flectores.	79
FIGURA A-1 Elemento diferencial de cable	86
FIGURA B-1 Simulación del absorbedor de vibra- ciones.	98
FIGURA C-1 Viga empotrada con carga lateral y axial.	105
FIGURA D-1 Disposición experimental	110
FIGURA D-2 Tipos de cable	112
FIGURA D-3 Disposición experimental	112
FIGURA D-4 Cable cargado en el centro de la luz	119
FIGURA D-5 Punto de medición de la deflexión	119
FIGURA D-6 Medición de la deflexión	120
FIGURA D-7 Tensión sobre la luz de prueba	121
FIGURA E-1 Esquema explicativo de la escritura de datos. Programa CVLTV.	134
FIGURA E-2 Esquema explicativo de la escritura de datos. Programa AVIBR3.	140
FIGURA H-1 Sistema de un grado de libertad con absorbedor de vibra- ciones.	194

INDICE DE TABLAS

	Pág.
I. Valores comparativos de los coeficientes adimensionales	34
II. Valores experimentales de rigidez y módulo de elasticidad para varios cables.	53
III. Valores comparativos de momentos flectores	57
IV. Resumen de resultados. Cable sin absorbedor de vibraciones.	69
V. Esfuerzos en el cable sin absorbedor de vibraciones ..	69
VI. Resumen de resultados. Cable con absorbedor de vibraciones.	73
VII. Esfuerzos en el cable con absorbedor de vibraciones ..	73
VIII. Tensiones promedio	122
IX. Valores experimentales de rigidez y módulo de elasticidad.	126

INDICE DE APENDICES

	Pág.
APENDICE A. Ecuación del movimiento del cable	86
APENDICE B. Ecuación del cable con absorbedor de vibraciones.	98
APENDICE C. Solución estática para el momento flector en el apoyo.	105
APENDICE D. Determinación experimental de la rigidez del ca- ble.	110
APENDICE E. Programas para la evaluación de los modelos mate- máticos.	127
APENDICE F. Evaluación de los modelos matemáticos	143
APENDICE G. Características de los conductores y ubicación de los absorbedores de vibración.	183
APENDICE H. Absorbedor de vibraciones en un sistema de un gra- do de libertad.	193

INDICE DE ABREVIATURAS

C_D	Coeficiente de arrastre
C_{LV}	Coeficiente de empuje oscilante
E	Módulo de elasticidad
f	Frecuencia natural en cps.
F_0	Fuerza por unidad de longitud
g	Aceleración de la gravedad
I	Momento de inercia
M	Momento flector
Re	Número Reynolds
S	Número de Strouhal
S_e	Límite de fatiga
S_y	Límite de fluencia
Sut	Resistencia última
T	Tensión
t^*	Tiempo adimensional
V	Fuerza cortante
V_0	Velocidad de la corriente libre
w	Peso unitario
x^*	Variable adimensional
y^*	Variable adimensional

LETRAS GRIEGAS

δ	Deflexión máxima
ξ	Coefficiente de sujeción parcial
ν	Viscosidad
ρ	Densidad
σ	Esfuerzo normal
ω	Frecuencia
ω_n	Frecuencia natural

INTRODUCCION

El problema en general surge debido a la vibración inducida por el flujo transversal de fluidos alrededor de diversas estructuras. Así, torres, chimeneas, antenas, puentes, cables submarinos y aéreos, edificios y hasta tubos de intercambiadores de calor pueden verse peligrosamente afectados por la vibración. Naturalmente el tipo de estructura y fluido involucrados determinan el tratamiento a seguirse y las características propias de cada caso.

Relacionado con cables e inducido por viento puede mencionarse el "galloping" y la vibración eólica propiamente dicha.

El primero, del cual las líneas de transmisión eléctrica que en climas fríos resultan excéntricamente congeladas, es uno de los casos más representativos, ocurre en estructuras dinámicamente inestables, es decir, donde la fuerza relativa al movimiento de la estructura tiende a aumentar la vibración.

Este problema, en general, fue tratado en 1907 por primera vez por Lanchester y posteriormente por Den Hartog en 1932(12), quien orientó su trabajo a la determinación de la estabilidad dinámica de una estructura relacionando los coeficientes de arrastre y empuje.

El "galloping", que se considera como vibración autoinducida, se caracte

teriza por bajas frecuencias y grandes amplitudes que pueden ocasionar contacto entre los conductores de diferentes fases con el consiguiente daño mecánico y eléctrico.

La vibración eólica comenzó a tomar importancia y a ser estudiada alrededor de 1920. Varios autores trataron el tema limitándose a su causa y medidas correctivas, algunos lo han hecho indirectamente, estudiando las propiedades mecánicas de los cables (20) relacionadas con pruebas experimentales y de campo (5) (9), pero sin llegar a establecer un modelo para el comportamiento de los conductores.

Así, Monroe y Templin(14),1932, presentan los resultados obtenidos para el cálculo de esfuerzos por "Aluminum Research Laboratories", a partir de condiciones estáticas, otros han calculado solamente frecuencias naturales, considerando al conductor como una cuerda vibrante.

Posteriormente, en 1959, Steidel(19) presenta un modelo matemático del cable con el propósito de evaluar los tipos de soportes, reduciendo el peligro de la vibración sin añadir elementos rigidizadores o absorbedores de vibración.

Con respecto a estos últimos y concretamente al del tipo Stockbridge, presentado por G.H. Stockbridge en 1925(21), su concepto ha cambiado en el transcurso del tiempo. Se creó tratando de aumentar la rigidez de las líneas y consideró como puramente amortiguador, atribuyéndose su efecto de reducir los niveles de vibración a la fricción interna del mismo. Actualmente se lo conoce como un absorbedor de vibracio-

nes amortiguado , con dos frecuencias naturales y que se ofrece comercialmente en varias medidas según el rango de frecuencia.

El objeto de este trabajo es precisamente la vibración eólica y se tratará de aplicar los modelos que se desarrolle al Sistema Nacional de Transmisión. Específicamente se determinará el comportamiento de los conductores, analizando brevemente como se origina la vibración y sus características generales.

Se desarrollará un modelo matemático para el cable en vibración forzada y un segundo modelo para simular la instalación de un absorbedor de vibraciones en la línea con el objeto de optimizar su diseño en cuanto a características y ubicación, siguiendo la línea de Steidel (18) (19).

Intentando demostrar la posibilidad de una falla por fatiga en los conductores, se calculará los esfuerzos estáticos y dinámicos, utilizando algunas fórmulas aproximadas.

Previo al cálculo de esfuerzos se llevará a cabo pruebas experimentales para determinar la rigidez de un cable ya sea de aluminio o de aluminio reforzado con acero (ACSR), en vista de que su valor difiere del teóricamente esperado debido a características constructivas de los cables.

Finalmente, en los capítulos 4 y 5 se presentan y analizan los resultados de evaluar los modelos matemáticos, esperando dejar establecido

el comportamiento general del conductor, así como los factores que influyen y sus efectos en el fenómeno de la vibración eólica.

CAPITULO I

1. CARACTERISTICAS GENERALES DE LA VIBRACION INDUCIDA POR EL VIENTO

Para su estudio inicial se considerará al conductor como un cilindro largo sumergido en un fluido, moviéndose transversalmente a su eje, con una velocidad promedio que será en cada caso la velocidad media de viento.

La vibración eólica es autoinducida porque, una vez iniciada, el movimiento mismo del conductor la mantiene.

En general, aparece a velocidades desde 0,6m/s hasta 10m/s y más. Sin embargo a medida que la velocidad de viento y, en consecuencia, la frecuencia crecen, la disipación interna del conductor aumenta, limitando las amplitudes de la vibración.

Otro factor limitante es la amplitud de la vibración. A medida que aumenta hasta aproximadamente un (1) diámetro, el patrón de formación simétrica de vórtices va desapareciendo para dar paso a la formación de tres vórtices en vez de los dos presentes a bajas amplitudes. Esta destrucción de la simetría confina a la vibración eólica a alcanzar amplitudes máximas de 1 diámetro de cilindro.

A velocidades de viento superiores a los 6-7 m/s no se tienen niveles peligrosos de vibración.

En el Ecuador el rango de velocidades de viento, frecuentemente registrados, va desde 0.71 m/s a 7.7 m/s, promediados en doce(12) años, desde 1963 hasta 1977, según datos del "Anuario Meteorológico" del INAMHI.

1.1 FLUJO TRANSVERSAL SOBRE CILINDROS

En el flujo sobre un cilindro la capa límite se separará a los lados del mismo como consecuencia de un gradiente de presión adverso. La formación de la estela en la parte posterior del cilindro es, fundamentalmente, una función del número de Reynolds.

Para números de Reynolds muy bajos no hay separación del flujo; a medida que se incrementa el mismo, se forma un par de vórtices atrás del cilindro, sin desprendimiento todavía.

Para Reynolds entre 40 y 150, el vórtice atrás del cilindro ya no está establemente unido, se forma alternativamente desviándose a uno y otro lado, formándose la "Vía vortical de von Karman", que en el rango mencionado es laminar.

Incrementando Reynolds, 300 hasta 3×10^5 , la "vía de vórtices" es turbulenta y se observa la separación de los vórtices a frecuencias bien definidas.

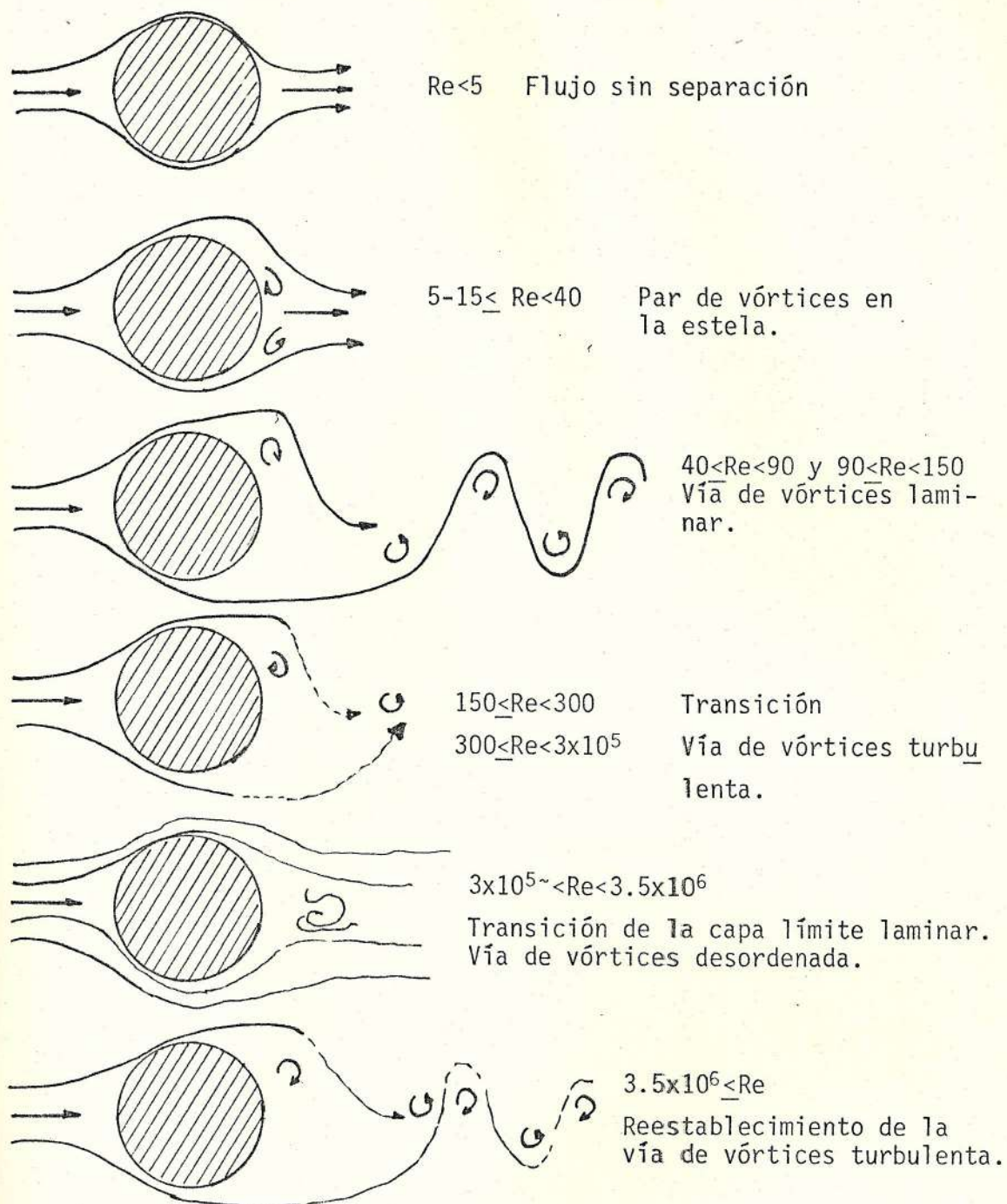


FIGURA 1. FLUJO ALREDEDOR DE UN CILINDRO PARA DIFERENTES Re. (Ref. 6).

Más allá de Reynolds igual a 10^5 el desprendimiento no es periódico sino aleatorio. Este rango de Reynolds, es de elevadas velocidades, las cuales quedan fuera del rango peligroso para los cables.

1.2 FORMACION DE VORTICES

Como se indicó, para números de Reynolds entre 300 y 3×10^5 el desprendimiento de los vórtices es periódico, definiéndose su frecuencia en función de un número adimensional conocido como número de STROUHAL, y definido por:

$$S = \omega \frac{d}{V_0}$$

donde: S : número de Strouhal

ω : frecuencia de desprendimiento ciclos/seg.

d : diámetro del cilindro m

V_0 : velocidad de la corriente libre transversal
m/s .

El número de Strouhal no es una constante, sino que varía con el número de Reynolds, Fig. 2. Para Reynolds bajos, Tyler(11), sugirió la fórmula

$$\frac{\omega d}{V_0} = 0.198 (1 - 19.7/Re)$$

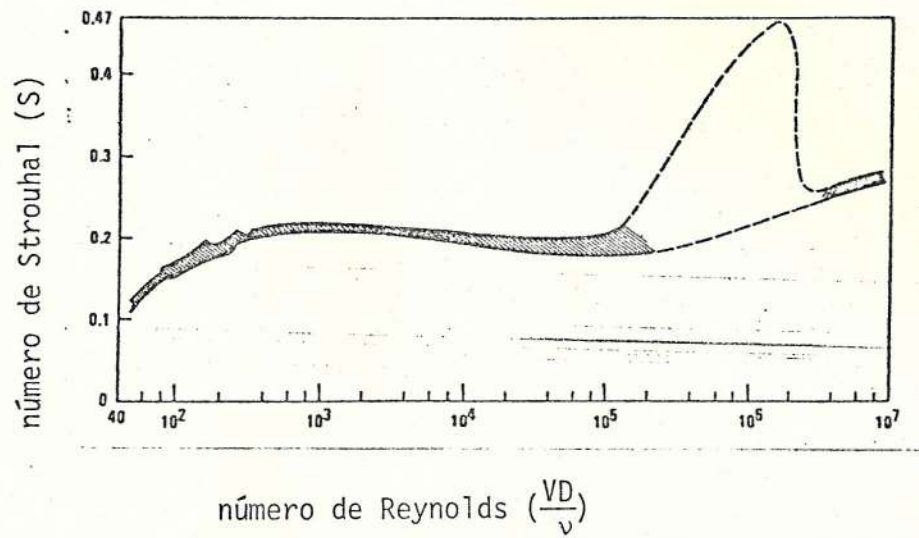


FIGURA 2. RELACION ENTRE LOS NUMEROS DE STROUHAL Y REYNOLDS PARA UN CILINDRO CIRCULAR. (Ref. 6)

que concuerda con la obtenida por Rayleigh(11).

$$\frac{\omega d}{V_0} = 0.195 \left(1 - \frac{20.1}{Re} \right)$$

y que para el rango de interés, Reynolds entre 10^3 y 10^5 , dan un número de Strouhal aproximadamente constante en 0.19 (6) (11), Fig. 2.

1.3 FUERZA LATERAL PROVOCADA POR EL DESPRENDIMIENTO DE LOS VORTICES.

La separación periódica de los vórtices a cada lado del cilindro, inicialmente en reposo, produce una fuerza lateral que lo hará vibrar a una frecuencia igual a la de desprendimiento.

Hay que notar que se está despreciando el efecto de la vibración del cilindro, en vista de que para las pequeñas amplitudes, propias de este movimiento, la velocidad del viento relativa al cilindro es prácticamente igual a la velocidad de la corriente libre. El error en el cálculo de la frecuencia prevista por Strouhal, sin usar la velocidad relativa es del 0.1% aproximadamente; en el cálculo de la fuerza, proporcional a la velocidad al cuadrado, será despreciable también.

La fuerza lateral se define por:

$$F_{vor} = F_o \sin \omega t$$

siendo:

F_o : el máximo valor alcanzado

ω : la frecuencia calculada a través del número de Strouhal.

F_o está definida por:

$$F_o = 1/2 C_{LV} \rho V^2 dL.$$

donde:

C_{LV} : coeficiente de empuje lateral

ρ : densidad del fluido (aire en condiciones normales)

V_o : velocidad de la corriente libre

d : diámetro del cilindro (conductor)

L : longitud del cilindro

El coeficiente de empuje lateral, C_{LV} , es también una función del número de Reynolds, pudiendo ser expresado en función del coeficiente de arrastre bajo iguales condiciones:

$$C_{LV} = a C_D$$

donde $a = f(Re)$

Así, Schwbe (11), encontró para un número de Reynolds de 735 un coeficiente de empuje de 0.45, siendo el coeficiente de

arrastre de 1.09.

A.Barriga (4), para Reynolds igual a 18700 calculó un coeficiente de empuje de 0.8 siendo el coeficiente de arrastre 1.2; este resultado coincide con el obtenido por Chen(4), de 0.7 para Reynolds de 2×10^4 e igual arrastre.

En el rango de interés de Reynolds el coeficiente de arrastre es aproximadamente constante, varía desde 0.95 para Reynolds 1800 hasta 1.2 para 3×10^4 , por lo tanto considerando C_D igual a 1.2 para el caso de los cables, se utilizará un coeficiente de empuje lateral de 0.7.

CAPITULO II

2. MODELO MATEMATICO DEL CABLE VIBRANTE

Para desarrollar un modelo matemático que permita conocer momentos flectores y esfuerzos en el cable, se lo tratará como una viga simplemente apoyada soportando su propio peso y tensión axial. Por lo tanto, se asumen como válidas todas las hipótesis establecidas para la obtención de las fórmulas de flexión en vigas.

La vibración se considerará forzada y la fuerza excitadora, uniformemente distribuida, aquella provocada por el desprendimiento periódico de los vórtices.

La condición de simple apoyo no es la más crítica, pero su solución es menos compleja e igualmente útil que la de una viga empotrada, que también es un caso extremo.

Bajo iguales consideraciones Steidel (19) desarrolló un modelo matemático para el cable en vibración libre, introduciendo la condición de sujeción parcial en los extremos a través de una variable ξ que representa la proporción en que el soporte real, simulado por la solución de viga empotrada, se comporta como un simple apoyo. ξ puede tomar valores entre 0 y 1.

El coeficiente de modificación de la ecuación para momento flector en el extremo de una viga empotrada es $(1 - \xi)$, de tal manera que al alcanzar el valor de 1 la solución se reduce a un simple apoyo; reduciéndose a un empotramiento cuando ξ vale 0.

Este modelo permitiría evaluar los puntos de suspensión reales y aliviar el problema de la vibración con un mejor diseño de los mismos, tratando de incrementar ξ .

2.1 ECUACION DEL MOVIMIENTO DEL CABLE INCLUYENDO FLEXION Y TENSION AXIAL.

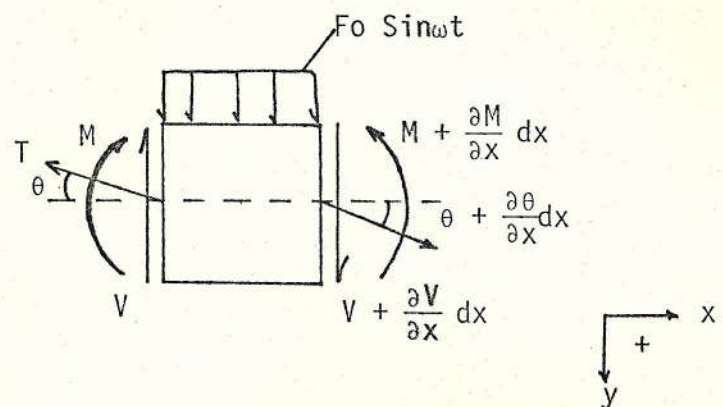


FIGURA 3. ELEMENTO DIFERENCIAL DE CABLE.

Para el elemento diferencial de cable mostrado en la figura 3, aplicando la segunda ley de Newton y conociendo la expresión para la fuerza cortante:

$$V = - EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4},$$

siendo y la deflexión de la viga, se obtiene la siguiente ecuación de movimiento (Ec. a-6)

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} - H \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} - \frac{w}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = F_0 \sin t \quad (1)$$

EI : rigidez del cable

H : tensión

F_0 : amplitud de la fuerza

ω : frecuencia de excitación

w : peso por unidad de longitud

Expresando la ecuación (1) en forma adimensional se tiene:

$$\frac{EIg}{w\omega^2 L^4} \frac{\partial^4 y^*}{\partial x^{*4}} - \frac{Hg}{w\omega^2 L^2} \frac{\partial^2 y^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 y^*}{\partial t^{*2}} = \frac{F_0 g}{w\omega^2 L} \sin t^* \quad (2)$$

donde: y^* , x^* y t^* están definidos por:

$$y^* = y/L \quad x^* = x/L \quad t^* = \omega t.$$

La ecuación (2) puede escribirse como:

$$A \frac{\partial^4 y^*}{\partial x^{*4}} - B \frac{\partial^2 y^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 y^*}{\partial t^{*2}} = C \sin t^* \quad (3)$$

donde:

$$A = \frac{EI g}{w\omega^2 L^4} \qquad B = \frac{Hg}{w\omega^2 L^2} \qquad C = \frac{Fog}{w\omega^2 L}$$

(3) es la ecuación del cable en vibración forzada. No se ha incluido amortiguamiento, pero esto no es importante para el cálculo de las amplitudes máximas de vibración ni de las frecuencias naturales, ya que el amortiguamiento por fricción no llega en ningún caso a detener el movimiento y las frecuencias naturales, permanecen inalteradas (18).

2.2 ECUACION DE FRECUENCIAS NATURALES DEL CABLE

Para encontrar la ecuación de frecuencias se resuelve la ecuación diferencial parcial homogénea asociada a (3).

$$A \frac{\partial^4 y}{\partial x^{*4}} - B \frac{\partial^2 y^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 y^*}{\partial t^{*2}} = 0 \qquad (4)$$

Resolviendo (4) por separación de variables se asume una solución del tipo $y_H^*(x^*, t^*) = F(x^*) G(t^*)$ encontrándose,

$$G(t^*) = D_1 \sin\left(\frac{\omega_n}{\omega} t^*\right) + D_2 \cos\left(\frac{\omega_n}{\omega} t^*\right) \qquad (5)$$

y,

$$F(x^*) = C_1 \cosh(px^*) + C_2 \sinh(px^*) + C_3 \cos qx^* + C_4 \sin qx^* \qquad (6)$$

siendo p y q las raíces de la ecuación característica:

$$p^2 = \sqrt{\left(\frac{B}{2A}\right)^2 + \frac{1}{A} \left(\frac{\omega_n}{\omega}\right)^2} + \frac{B}{2A} \quad (7)$$

$$q^2 = \sqrt{\left(\frac{B}{2A}\right)^2 + \frac{1}{A} \left(\frac{\omega_n}{\omega}\right)^2} - \frac{B}{2A} \quad (8)$$

aplicando a la solución producto:

$$y_H^*(x^*, t^*) = \left(D_1 \sin \frac{\omega_n}{\omega} t^* + D_2 \cos \frac{\omega_n}{\omega} t^*\right) \times \\ (C_1 \cosh(px^*) + C_2 \sinh(px^*) + C_3 \cos qx^* + C_4 \sin qx^*) \quad (9)$$

Las condiciones de borde para una viga simplemente apoyada:

$$\begin{array}{ll} 1) \quad x^* = 0 & y^* = 0 \\ & 2) \quad -EI \frac{\partial^2 y^*}{\partial x^{*2}} = 0 \\ 3) \quad x^* = 1 & y^* = 0 \\ & 4) \quad -EI \frac{\partial^2 y^*}{\partial x^{*2}} = 0 \end{array}$$

Se obtiene la ecuación de frecuencias:

$$\frac{\sin q}{\sinh(p)} \left(1 + \frac{q^2}{p^2}\right) = 0 \quad (10)$$

que se cumple para:

$$\sin q = 0$$

$$\text{Si } q = n\pi \quad n = 1, 2, 3, 4, \dots \quad (11)$$

obteniéndose para las frecuencias naturales la siguiente expresión:

$$\omega_n = n\pi \omega (A n^2 \pi^2 + B)^{1/2} \quad (12)$$

La dependencia de ω , frecuencia de excitación, es aparente, ya que A y B son proporcionales a $1/\omega^2$.

La ecuación (12) coincide con la obtenida por Steidel (18), para una viga simplemente apoyada.

Luego de aplicar las condiciones de borde indicadas se tiene como solución de la ecuación homogénea:

$$y_H^*(x^*, t^*) = \sum_1^{\infty} (E_n \sin\left(\frac{\omega_n}{\omega} t^*\right) + D_n \cos\left(\frac{\omega_n}{\omega} t^*\right)) \sin q_n x^* \quad (13)$$

donde E_n y D_n pueden obtenerse a partir de las condiciones iniciales aplicadas a la solución completa:

$$t^* = 0 \quad y(x^*, 0) = 0 \quad \text{y} \quad \dot{y}(x^*, 0) = 0$$

2.3 AMPLITUDES DE LA VIBRACION FORZADA

Previo a la obtención de la solución completa se encontrará la solución particular, asumiéndola como:

$$y_p^* (x^*, t^*) = H(x^*) \text{Sint}^* \quad (14)$$

Expresando $H(x^*) = H_H + H_p$ y sustituyendo en la ecuación diferencial no homogénea, se obtiene para $H(x^*)$ la siguiente ecuación:

$$H(x^*) = D_1 \text{Cosh}(zx^*) + D_2 \text{Sinh}(zx^*) + D_3 \text{Cos} kx^* + D_4 \text{Sin} kx^* - C \quad (15)$$

z y k son las raíces de la ecuación característica y están definidas por:

$$z^2 = \sqrt{(B/2A)^2 + 1/A + B/2A} \quad (16)$$

$$k^2 = \sqrt{(B/2A)^2 + 1/A - B/2A} \quad (17)$$

Los coeficientes D_1 , D_2 , D_3 y D_4 se determinan de la aplicación de las condiciones de borde para una viga simplemente apoyada, obteniéndose:

$$H(x^*) = C \left(\frac{k^2}{k^2 + z^2} \left(\frac{\text{Sinh } z(1-x^*) + \text{Sinh } zx^*}{\text{Sinh}(z)} \right) + \right. \\ \left. + \frac{z^2}{k^2 + z^2} \left(\frac{\text{Sin} k(1-x^*) + \text{Sin } kx^*}{\text{Sin} k} \right) - 1 \right) \quad (18)$$

Esta ecuación representa la amplitud adimensional en estado estable. La solución completa viene dada por:

$$y^*(x^*, t^*) = y_H^*(x^*, t^*) + H(x^*) \sin t^* \quad (19)$$

2.4 ANALISIS DE LOS PARAMETROS DE LA ECUACION DEL MOVIMIENTO DEL CABLE.

Antes de revisar el efecto de variar algunas características de los cables, tales como tensión, diámetro, longitud, etc., se observará la ecuación (3) en general.

Donde A, B y C son coeficientes adimensionales definidos por:

$$A = \frac{EI g}{W\omega^2 L^4}$$

$$B = \frac{Hg}{W\omega^2 L^2}$$

$$C = \frac{Fo g}{W\omega^2 L}$$

En todos los casos de interés práctico, el valor del coeficiente A es muy pequeño en comparación con B y C para órdenes de magnitud, similares de las derivadas, como puede verse en la tabla I.

TABLA I

Valores comparativos de los coeficientes adimensionales			
D (mm)	A	B	C
31.98	4.28×10^{-12}	3.21×10^{-6}	1.68×10^{-7}
20.44	7.50×10^{-13}	1.74×10^{-6}	8.36×10^{-8}
10.11	2.43×10^{-14}	4.15×10^{-7}	4.58×10^{-8}
4.50	2.38×10^{-12}	7.75×10^{-6}	1.16×10^{-7}

El valor del momento de inercia en cada caso se ha aproximado al de una sección maciza, con el módulo de elasticidad proporcionado por el fabricante (Apéndice G).

De lo expuesto se deduce que podría eliminarse el primer término (derivada de cuarto orden) de la ecuación (3) convirtiéndose ésta en:

$$- \frac{B \partial^2 y^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 y^*}{\partial t^{*2}} = C \text{ Sin } t^* \quad (20)$$

que corresponde a la ecuación de una cuerda vibrante, infinitamente flexible, con la siguiente solución de estado estable para las amplitudes:

$$H(x^*) = C \left(\frac{\text{Sin } k(1-x^*) + \text{Sin } kx^*}{\text{Sin } k} - 1 \right) \quad (21)$$

$$k = B \quad y \quad \omega_n = \frac{n\pi}{L} \sqrt{\frac{gH}{w}} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

Es fácil reconocer que (21) difiere tan solo por un coeficiente, (z^2/k^2+z^2) , de la solución truncada que resulta de eliminar el término en senos hiperbólicos en la solución completa de $H(x^*)$, que sería:

$$H(x^*) = C \left(\frac{z^2}{k^2+z^2} \frac{\text{Sink}(1-x^*) + \text{Sin } kx}{\text{Sin } k} - 1 \right) \quad (22)$$

Cualquiera de las soluciones aproximadas, ecuaciones (21) o (22) son buenas para el cálculo de amplitudes, no así para estimar momentos flectores o establecer condiciones de continuidad, como se requerirá al desarrollar el modelo matemático del cable con absorbedor de vibración, puesto que se ha despreciado la rigidez.

El error en el cálculo de amplitudes al utilizar la ecuación (21) es de aproximadamente 0.75% para los casos de interés, reduciéndose al 0.1% para diámetros de conductores de casi un séptimo de los anteriormente considerados. Esto indica que a medida que disminuye el diámetro más se acerca el comportamiento al de una cuerda, en lo referente a las amplitudes.

Quedaría por comparar las frecuencias naturales, observándose que aquellas obtenidas a partir de la ecuación diferencial completa, incluyendo la rigidez, son mayores que aquellas obtenidas despreciándola, como se ve de la expresión matemática para su cálculo y de la figura 4.

Frecuencias naturales para la cuerda: $\omega_n = \frac{n\pi}{L} \sqrt{\frac{Hg}{w}}$

Frecuencias naturales para la viga:

$$\omega_n = \frac{n\pi}{L} \sqrt{\frac{Hg}{w} + n^2 \frac{\pi^2 EIg}{wL^2}}$$

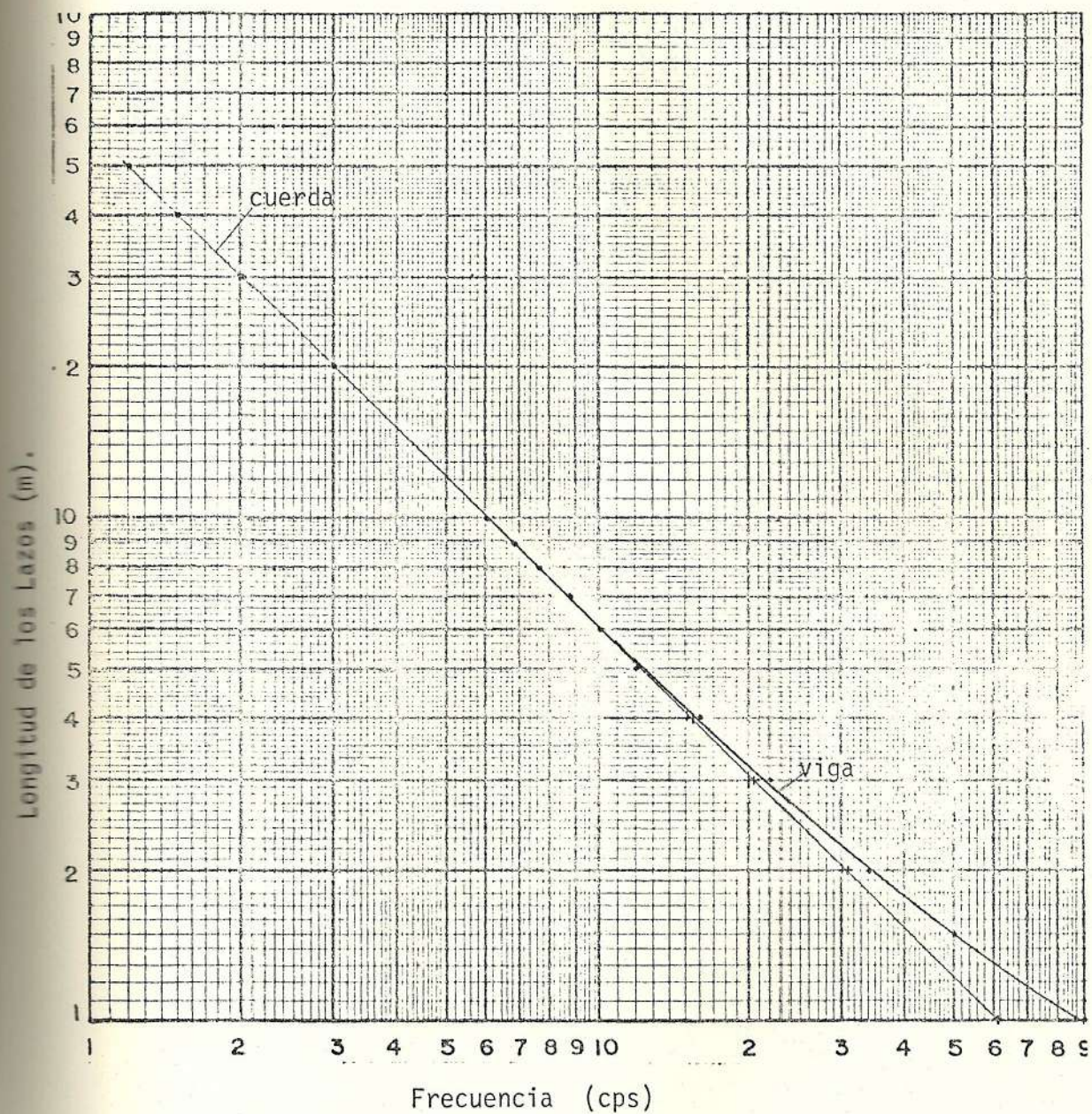


FIGURA 4. DIAGRAMA COMPARATIVO DE FRECUENCIAS NATURALES ENTRE UNA VIGA Y UNA CUERDA.

Aún así la diferencia entre ambas es despreciable, pudiendo utilizarse para la determinación de las frecuencias naturales del cable, la misma expresión que para una cuerda vibrante.

Concretamente para el cálculo de amplitudes y frecuencias naturales puede utilizarse las expresiones aproximadas.

Se procederá ahora a observar el efecto de variar tensión, diámetro y longitud sobre las amplitudes y frecuencias naturales usando la solución exacta.

- Al incrementar la tensión el coeficiente B aumenta proporcionalmente, z^2 aumenta mientras k^2 disminuye. Esto implica un incremento en las amplitudes de vibración de aproximadamente un 20% al duplicar la tensión; las frecuencias naturales también aumentan, en un 40%.
- Si se aumenta el diámetro, aunque está limitado por el diseño eléctrico de las redes, aumentarán los coeficientes A, B y C, proporcionalmente al cuadrado del diámetro los dos primeros y al cubo del diámetro el último. Las frecuencias naturales crecen y las frecuencias de excitación, que son inversamente proporcionales al diámetro, disminuyen.

Aparentemente crecen las amplitudes debido al coeficiente

C. Sin embargo hay que recordar que un conductor de mayor diámetro tiene una rigidez, peso unitario y tensión mayores. Por lo tanto, no puede precisarse si existe ventaja o desventaja en el uso de diámetros mayores porque habrá que considerar, en conjunto todas las características del conductor.

- En cuanto a la longitud, no puede establecerse claramente el efecto de un incremento de la misma, sobre las amplitudes. Para diferentes longitudes de cable la posición de los nodos y antinodos cambia y no es posible comparar puntos aislados. En cambio, resulta evidente la disminución en las frecuencias naturales, lo que es perjudicial porque facilita la condición de resonancia.

Con respecto al efecto de la tensión en el comportamiento del cable, hay que notar que si bien aumentan las amplitudes lo hacen también las frecuencias naturales y, si éstas son más altas, será difícil una sintonización con aquellas del desprendimiento de los vórtices, evitándose la resonancia. Sin embargo no se recomienda el uso de grandes tensiones, por que reduce la capacidad de amortiguamiento interno del conductor. Esto no puede observarse de las ecuaciones, pero se conoce que, a medida que se incrementa la tensión en un conductor los cabos del mismo se acercan más entre si, llegando a comportarse como un sólido, limitando la disipación de energía por fricción entre los alambres.

2.5 COMPORTAMIENTO DEL CABLE CON ABSORBEDOR DE VIBRACIONES

La simulación de un absorbedor de vibraciones tipo Stockbridge (Fig. 5), en la línea se hará en base a la función del mismo.

Un absorbedor de vibraciones suprime la vibración de un sistema principal al que ha sido agregado, dentro de un determinado rango de frecuencias.

Como el cable es un sistema continuo, se asignará desplazamiento nulo al punto de suspensión del absorbedor. Este punto se escogerá de tal manera que no vaya a coincidir con un nodo para algunas de las frecuencias esperadas, por lo tanto se ubicará en el punto de máxima amplitud dentro del primer lazo a la frecuencia más alta estimada.

Para el modelo matemático este punto se considerará como un simple apoyo (Fig. 6) y se establecerá dos ecuaciones, una para cada porción del cable, antes y después del absorbedor debiendo ambas funciones ser compatibles en dicho punto.

Designando por $x=a$, adimensionalmente $x^* = a/L = b$, a la posición del absorbedor y de acuerdo con la Fig. 6, se tiene:

$$y_{p_1} = F_1(x^*)\text{Sint}^* \quad \text{para } 0 \leq x^* \leq b \quad (23)$$

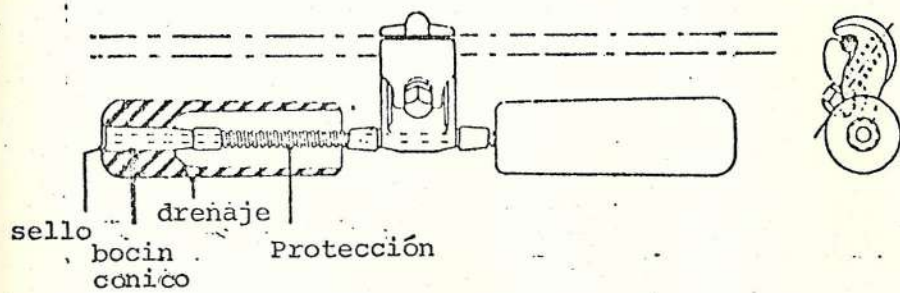


FIGURA 5. ABSORBEDOR TIPO STOCKBRIDGE (Ref. 13)

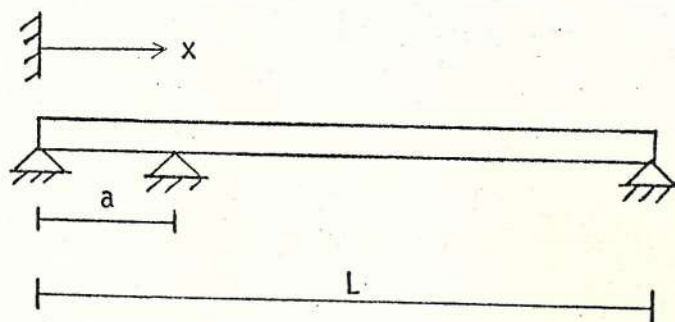


FIGURA 6. SIMULACION DEL CABLE CON ABSORBEDOR

$$y_{p_2} = F_2(x^*) \text{Sint}^* \quad \text{para } b < x^* < 1 \quad (24)$$

$F_1(x^*)$ y $F_2(x^*)$ en cada rango se definen como la solución encontrada para el cable sin absorbedor.

$$F_1(x^*) = C_1 \text{Cosh}zx^* + C_2 \text{Sinh}zx^* + C_3 \text{Cos}kx^* + C_4 \text{Sin}kx^* - C \quad (25)$$

$$F_2(x^*) = D_1 \text{Cosh}zx^* + D_2 \text{Sinh}zx^* + D_3 \text{Cos}kx^* + D_4 \text{Sin}kx^* - C \quad (26)$$

Adicionalmente a las condiciones de borde en los extremos, para viga simplemente apoyada, deberá cumplirse en $x^* = b$ que:

$$\begin{aligned} F_1(b) &= 0 & F_2(b) &= 0 \\ F_1'(b) &= F_2'(b) & F_1''(b) &= F_2''(b) \end{aligned}$$

De la aplicación de dichas condiciones se obtiene el siguiente sistema de ecuaciones, cuya solución para cada valor de b , permitirá conocer las constantes C_1, C_2, C_3, C_4 y D_1, D_2, D_3, D_4 y evaluar $F_1(x^*)$ y $F_2(x^*)$.

$$C_2 \text{Sinh}zb + C_4 \text{Sin}kb = C \left\{ 1 - \frac{1}{k^2 + z^2} (k \text{cosh}zb + z^2 \text{cos}kb) \right\} \quad (27)$$

$$D_2 (\text{Cosh}zb - \text{Sinh}zb) + D_4 (\text{tg}k \text{Cos}kb - \text{Sin}kb) = -C \left(1 - \frac{z^2}{z^2 + k^2} \frac{\text{Cos}kb}{\text{Cos}k} \right) \quad (28)$$

$$\begin{aligned}
& C_2 z \operatorname{Cosh} z b + C_4 k \operatorname{Cos} k b - D_2 z (\operatorname{Cosh} z b - \operatorname{Sinh} z b) + \\
& - D_4 k (\operatorname{Sin} k b \operatorname{tg} k + \operatorname{Cos} k b) = \\
& - \frac{C z k}{k^2 + z^2} (k \operatorname{Sinh} z b - z \operatorname{Sin} k b + z \frac{\operatorname{Sin} k b}{\operatorname{Cos} k}) \quad (29)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& C_2 z^2 \operatorname{Sinh} z b - C_4 k^2 \operatorname{Sin} k b + D_2 z^2 (\operatorname{Cosh} z b - \operatorname{Sinh} z b) + \\
& - D_4 k^2 (\operatorname{tg} k \operatorname{Cos} k b - \operatorname{Sin} k b) = \\
& - C \frac{z^2 k^2}{k^2 + z^2} (\operatorname{Cosh} z b - \operatorname{Cos} k b + \frac{\operatorname{Cos} k b}{\operatorname{Cos} k}) \quad (30)
\end{aligned}$$

Las constantes C_1 , C_3 , D_1 y D_3 están definidas por:

$$C_1 = \frac{k^2 C}{k^2 + z^2} \quad (31)$$

$$C_3 = \frac{z^2 C}{k^2 + z^2} \quad (32)$$

$$D_1 = - D_2 \quad (33)$$

$$D_3 = \frac{z^2}{(k^2 + z^2)} \frac{C}{\operatorname{Cos} k} - D_4 \operatorname{tg} k \quad (34)$$

CAPITULO III

3. ESFUERZOS EN EL CABLE

El objetivo del cálculo de esfuerzos es determinar si el cable podría llegar a fallar por fatiga. Por lo tanto, se calculará los esfuerzos estáticos y dinámicos.

El cálculo estático se hará considerando flexión y tensión axial para una viga empotrada en sus extremos, mientras que la solución dinámica, como se indicó en el capítulo anterior, es para una viga simplemente apoyada.

Tanto los esfuerzos estáticos como los dinámicos se determinarán a partir de fórmulas aproximadas, debido a la diferencia en el comportamiento entre un cable compuesto de varios alambres enrollados y una barra maciza de igual sección circular.

3.1 SOLUCION ESTATICA PARA EL MOMENTO FLECTOR EN EL APOYO

Para este caso se considerará al cable como una viga empotrada, soportando su propio peso y tensión axial. Esta situación es la más crítica que podría presentarse (Fig. 7).

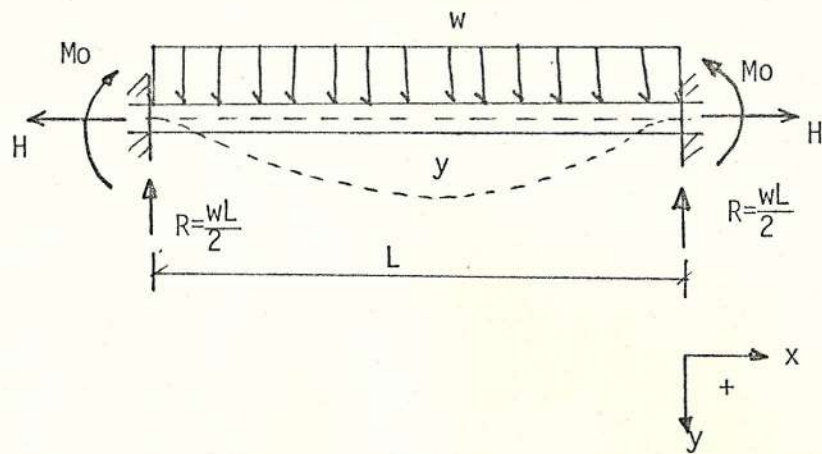


FIGURA 7. VIGA EMPOTRADA CON CARGA LATERAL Y AXIAL

En la figura:

w : peso por unidad de longitud

M_o : momento flector en el empotramiento

H : tensión

Planteando la ecuación diferencial de la elástica de la viga de la figura se tiene:

$$\frac{d^2y}{dx^2} - \frac{Hy}{EI} = -\frac{M_o}{EI} - \frac{wL}{2EI}x + \frac{W}{2EI}x^2 \quad (35)$$

Se obtiene la solución para la deflexión en función del momento flector en el apoyo, M_o .

$$y = -\frac{EI}{H} \left(\frac{M_0}{EI} - \frac{w}{H} \right) (\cosh kx - 1) - \frac{wL}{2kH} \sinh kx - \frac{w}{2H} x^2 + \frac{wL}{2H} x \quad (36)$$

donde EI es la rigidez del cable y $k = \sqrt{wH/EI}$, una de las raíces de la ecuación característica de la ecuación diferencial homogénea:

$$\frac{d^2y}{dx^2} - \frac{H}{EI} y = 0 \quad (37)$$

Aplicando a (36) la condición de que en

$x=L$ $y=0$, se obtiene la expresión para M_0 (C- 14)

$$M_0 = w \left(\frac{EI}{H} - \frac{L}{2k} \right) \quad (38)$$

Con este momento flector se podrá calcular el esfuerzo máximo en el cable.

3.2 DETERMINACION EXPERIMENTAL DE LA RIGIDEZ DEL CABLE

Antes de describir el método utilizado para la determinación de la rigidez, EI, del cable que realmente no es un sólido macizo y en el caso de los ACSR está compuesto de dos materiales, aluminio y acero, es necesario conocer por qué surgió la necesidad de emplear un valor de rigidez diferente del convencional.

Para evaluar los esfuerzos estáticos se escogió un cable ACSR

tipo Bluejay (ver apéndice G); con el momento flector obtenido de la ecuación (38) se calculó el esfuerzo máximo con la fórmula.

$$\sigma = \frac{M_o \cdot c}{I}$$

siendo: M_o : momento flector en el apoyo

c : radio exterior del cable

I : momento de inercia de la sección

El esfuerzo alcanzado en el cable, soportando solamente su peso y una tensión axial del 20% de la rotura, excedió ampliamente la resistencia máxima del aluminio de los cabos exteriores (19 kg/mm² según ASTM B233).

Posteriormente se lo trató como una sección compuesta, para repartir la carga proporcionalmente a los dos materiales, pero el resultado fue similar al anterior.

Se pensó entonces que el problema radicaba en la rigidez y que está debería ser superior al valor que se estaba empleando, si bien el inconveniente estaba en la fórmula utilizada para el cálculo de los esfuerzos.

Adicionalmente se conoce que bajo cargas estáticas el acercamiento y alejamiento de los alambres torcidos requiere del

uso de fórmulas empíricas para el cálculo de esfuerzos, mientras que en el caso dinámico el cable se comporta como una viga de sección maciza uniforme (19).

Como método experimental se usó el descrito por Monroe y Templin (14), es decir, una prueba de carga-deflexión en el centro de la luz de un tramo de cable.

A dicho tramo deberá aplicarse una tensión del orden de la de trabajo y seleccionar una longitud de prueba no menor a seis pasos, fijando rigidamente sus extremos.

La carga deberá aplicarse en el centro de la luz de prueba y la deflexión medirse en el mismo punto. La figura 8, muestra un esquema de la disposición indicada.

En la prueba realizada la tensión fué aplicada indirectamente y aunque se respetó la longitud de prueba mínima, la longitud total del cable no fué mucho mayor. No fué posible tampoco medir la deflexión en el punto de aplicación de la carga; se lo hizo aproximadamente a 1 cm a la derecha, como se muestra en la figura 9.

Para una tensión fija y midiendo δ para varias cargas, se determinará la rigidez del cable a partir de la ecuación para la deflexión en el centro de la luz.

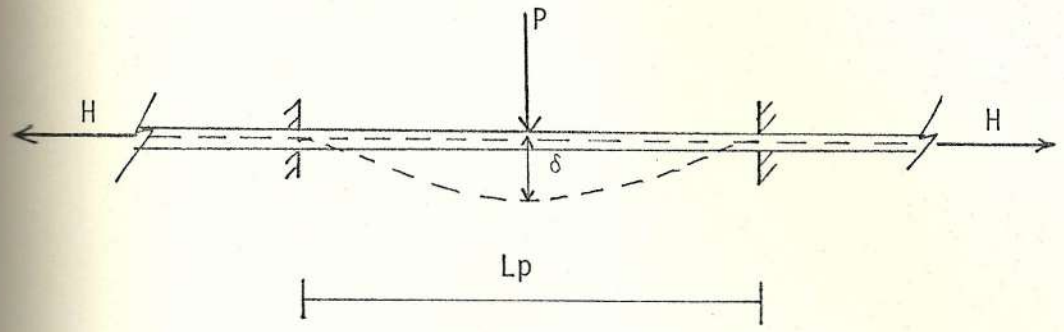


FIGURA 8. ESQUEMA PRUEBA CARGA-DEFLEXION

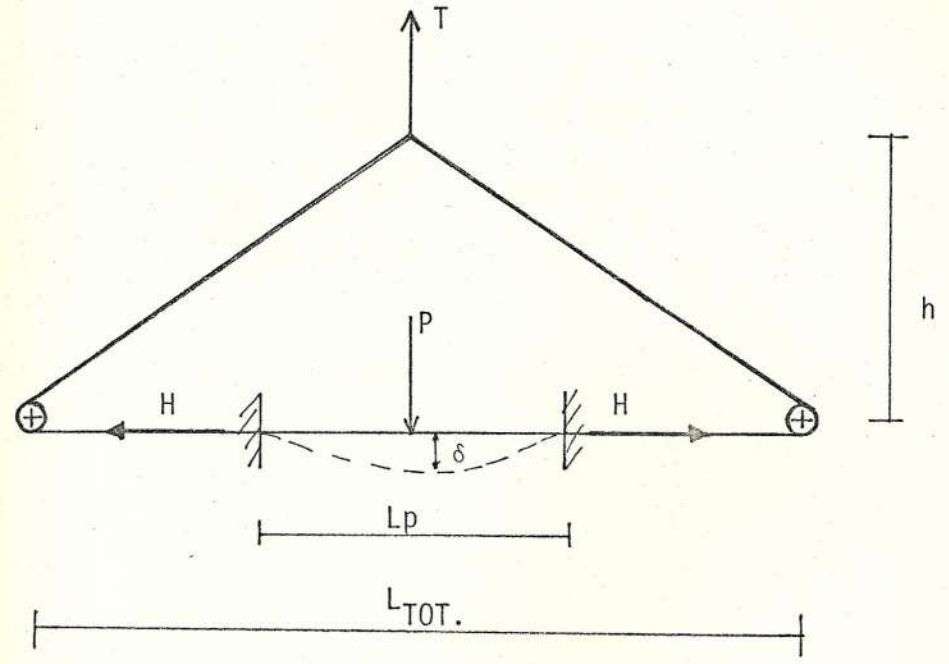


FIGURA 9. DISPOSICION EXPERIMENTAL

$$\delta = \frac{P}{KH} \left(\frac{KL}{4} - \frac{1 - e^{-kL/2}}{1 + e^{-kL/2}} \right) \quad (39)$$

P : carga

H : tensión

L : longitud de prueba

K : $\sqrt{H/EI}$

La ecuación 41 puede escribirse como:

$$\delta = a P. \quad \text{donde } a = f(k)$$

Determinando el valor de K se obtiene EI en cada caso.

Las pruebas se realizaron en cables # 2 y # 6 de aluminio y cable # 2 ACSR y la máxima tensión utilizada fué de aproximadamente 100 KG., pretendiendo extender los resultados a cables con diámetros y tensiones mayores.

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla II y permiten relacionar rigidez y tensión para cables de cualquier diámetro según la ecuación:

$$\frac{EI}{d^2} = - 1587 + 254.3H \quad (40)$$

Esta expresión, de la que parecerá que EI aumenta indefinidamente con H y que no es válida cuando no hay tensión o es

muy baja, es aplicable solamente dentro del rango de tensiones probado. Si bien los valores de E obtenidos a partir de la ec. 40 son algo mayores a los individuales para cada tensión, caen dentro del rango mostrado por Stickley (20) y de los valores proporcionados por los fabricantes de conductores, en lo que se refiere a cables de aluminio.

Los resultados obtenidos con el cable # 2 ACSR no son satisfactorios.

Sin embargo en todos los casos se nota la tendencia de la rigidez a aumentar con la tensión. La prueba tendríasin duda mucho más valor si se hubiera realizado a tensiones superiores, similares a aquellas del tendido de los cables.

Aún así, para los cables ensayados existen algunas fuentes de error provenientes del equipo empleado, que es conveniente mencionar:

- La estructura de soporte no fué lo suficientemente rígida, como se observó al tratar de aplicar tensiones mayores a las registradas en la tabla II , del movimiento de las partes de la estructura.
- Es probable también que en algunos casos las tensiones reales hayan sido diferentes a las que se suponía estar aplicando, ya que el dinamómetro de que se dispuso para medir-

las tenía un rango de 0 - 25KG. Para las tensiones superiores se realizó una curva de calibración en función de la distancia h que se muestra en Figura 9.

Además, el comportamiento de los cables en sí puede introducir variaciones no esperadas, por ejemplo:

- Como las tensiones aplicadas fueron realmente bajas, 10% y 16% de las tensiones de rotura para cables # 6 y # 2 de aluminio respectivamente, es posible que las primeras o casi todas las deformaciones observadas no se debieran en su totalidad a la deformación de cada alambre bajo la tensión aplicada, sino a un acomodo de los diferentes alambres entre sí.
- En el cable # 2 ACSR la máxima tensión aplicada fué de aproximadamente el 6% de la tensión de rotura, por lo tanto, lo más probable es que haya ocurrido lo explicado para los cables de aluminio.

En estos cables interviene también el problema del comportamiento como un todo de secciones de materiales diferentes, que responden con diferentes deformaciones para iguales esfuerzos, en razón de sus módulos de elasticidad diferentes. En condiciones reales el aluminio de los cables ACSR trabaja con deformación permanente.

TABLA I I

VALORES EXPERIMENTALES DE RIGIDEZ Y MODULO DE ELASTICIDAD PARA VARIOS CABLES

CABLE	PRUEBA	DEXT (mm.)	T (KG)	Lp (m)	a (mm/KG)	k (1/m)	EI KG-mm ²	EI d ² (KG)	E KG/mm ²
# 6 ALUMINIO	1	4.45	22.	99.5	8.0	13.8	516x10 ³	5.9x10 ³	6026.
	2	"	31.	99.	6.0	15.8	124x10 ³	6.3x10 ³	6442
	3	"	37.	99.	5.2	17.9	115x10 ³	5.8x10 ³	5974
	4	"	41.	102.	4.6	14.8	184x10 ³	9.3x10 ³	9559
# 2 ALUMINIO	5	7.42	60	99	3.1	16.4	223x10 ³	4.1x10 ³	1499
	6	"	71	99	2.2	10.9	595x10 ³	10.8x10 ³	3999
	7	"	83	84	1.2	8.6	1094x10 ³	19.9x10 ³	7352
	8	"	106	84	0.8	8.2	1560x10 ³	28.3x10 ³	10480
# 2 ACSR	9	8.01	72	100	2.7	18.0	222x10 ³	3.5x10 ³	1099
	10	"	93	100	2.0	15.6	382x10 ³	6.0x10 ³	1890

Si bién esta prueba no proporciona valores de módulo de elasticidad o rigidez útiles para evaluar esfuerzos en condiciones reales, sirve para aclarar características y comportamiento de los conductores.

3.3 CALCULO DE ESFUERZOS ESTATICOS

Para el efecto se tratará el cable como una viga empotrada en sus extremos, soportando su peso y tensión axial.

Se calculará el esfuerzo máximo para lo cual se empleará el momento flector en el empotramiento, según la ecuación 38.

$$M_0 = w \left(\frac{EI}{H} - \frac{L}{2k} \right)$$

En vista de que la expresión para cálculo de esfuerzos en viga $\sigma = M c/I$ no es aplicable, se determinarán a partir de dos fórmulas aproximadas. La primera de ellas, desarrollada por R.G. Sturn (14) es:

$$\sigma = \frac{E_0 M_0 c}{3 EI} \quad (41)$$

E_0 : módulo de elasticidad del material de las capas exteriores.

EI : rigidez del cable

c : radio exterior del cable

Esta expresión corresponde aproximadamente a la tercera parte de los esfuerzos calculados a partir de:

$$\sigma = \frac{M c}{I}$$

La otra fórmula, sugerida por Steidel (19) es:

$$\sigma = E \frac{d_w}{2} \left. \left(\frac{d^2 y}{dx^2} \right) \right|_{x=0} \quad (42)$$

Esta expresión aproxima el esfuerzo en los alambres exteriores a través del esfuerzo en un alambre individual, pero asignándole el módulo de elasticidad del cable.

$\left. \frac{d^2 y}{dx^2} \right|_{x=0}$ representa la curvatura y se obtiene a partir de la ecuación (36) para la deflexión estática de una viga empotrada, con tensión y flexión.

$$\left. \frac{d^2 y}{dx^2} \right|_{x=0} = \frac{wLk}{2H} - \frac{w}{H} \quad (43)$$

Los esfuerzos estáticos se obtendrán a partir de la ecuación 42.

3.4 ESTIMACION DE LOS ESFUERZOS DINAMICOS

La solución dinámica se establecerá para una viga simplemente apoyada, por lo tanto habrá que aproximar el momento en

el extremo por el momento flector máximo en el cable o máximo dentro del primer lazo que se forme.

Esta aproximación puede hacerse en base a la relación existente para las soluciones estáticas de viga empotrada y simplemente apoyada (ambas con tensión y flexión) entre los momentos flectores en el extremo y centro respectivamente.

De la expresión para la curvatura de una viga simplemente apoyada, en el caso estático:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{w}{H} \left\{ \frac{(\text{Cosh } kL - 1) \text{Sinh } kx}{\text{Sinh } kL} - (\text{Cosh } kx - 1) \right\} + \frac{w}{H} \quad (44)$$

se puede obtener que para x dentro del 3% de la luz, medida desde el extremo,

$$\frac{d^2y}{dx^2} = 2 \frac{w}{H} \quad y, \quad (45)$$

para valores de x mayores:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{w}{H} \quad (46)$$

Así comparando los momentos flectores máximos para el caso de simple apoyo y empotramiento, se tiene que en este último el momento flector es aproximadamente 250 veces el momento máximo para viga simplemente apoyada.

Esto coincide con la razón de curvaturas sugerida por Bate (5), que varía entre 150 y 300.

El siguiente cuadro muestra la relación entre los momentos flectores estáticos para algunos cables, obtenidos a partir de la fórmula (44).

TABLA III

Valores comparativos de momentos flectores

CABLE.	W Kg/m	L m	EI KG-m	T KG.	K 1/m	MS.A. KG-m	MEMP. KG-m	COEF.
Bluejay φ31.98mm.	1.875	300	332	2808	2.91	0.44	96.5	219.
Flamingo φ25.38mm.	1.28	300	151	2155	3.78	0.18	50.7	282.
Pelican φ20.68mm.	0.77	200	60.2	1116	431	0.08	17.8	2225

Conociendo que la longitud del primer lazo no excede el 3% de la luz del cable para las velocidades de viento de interés, es posible evaluar el modelo matemático, para el caso dinámico, y multiplicando por un coeficiente apropiado estimar el momento flector en el apoyo.

Como el cálculo del momento flector a través de la segunda derivada, $\frac{d^2y}{dx^2}$ para el caso dinámico, puede introducir error se aproximará la curvatura por la razón entre la amplitud máxima en el primer lazo al cuadrado de la longitud del mismo

(5), es decir:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{a}{\ell^2} \quad (47)$$

a : amplitud máxima en el primer lazo

ℓ : longitud del lazo

establecida esta última aproximación, el esfuerzo estimado en el empotramiento sería:

$$\sigma = E d/2 (a/\ell^2)f \quad (48) \quad f: \text{razón de curvaturas}$$

3.5 FATIGA EN LAS LINEAS DE TRANSMISION

La falla por fatiga es aquella que ocurre en piezas sometidas a esfuerzos repetitivos. Se inicia con una pequeña grieta que aparece en algún punto de discontinuidad del material y crece ayudada por el efecto de concentración de tensiones hasta que la sección sometida al esfuerzo ya no puede soportarlo y se rompe.

Una rotura por fatiga presenta dos áreas claramente definidas, la primera de ellas característica de la rotura de materiales dúctiles, forma de copa-cono, la segunda e interior propia de los materiales frágiles cuando se rompen por tracción.

Se define como límite de fatiga al esfuerzo por debajo del cual la pieza no falla cualquiera que sea el número de ciclos, se dice que tiene vida infinita; como resistencia a la fatiga el esfuerzo por debajo del cual no ocurre la falla para un determinado número de ciclos, Fig. 10.

No todos los materiales presentan un límite de fatiga definido, cuando esto ocurre, como es el caso del aluminio o cuando no se desea diseñar para vida infinita, se utiliza la resistencia a la fatiga. Esta última para el aluminio es de aproximadamente 40% de la resistencia máxima, a 5×10^8 ciclos.

En el caso específico de los conductores sin protecciones (elementos rigidizadores, absorbedores de vibración, etc.), la vibración puede conducir a la falla por fatiga de los alambres individuales, en el punto de suspensión.

La inspección de las fallas ha demostrado que la fractura comienza en zonas que presentan desgaste de contacto por vibración ("Fretting", en inglés), (1). El fenómeno de "fretting" se define como el desgaste que ocurre entre dos superficies que tienen movimiento oscilatorio relativo de pequeña amplitud.

El movimiento alternativo, debido a que el contacto entre las superficies no es plano por las irregularidades a nivel microscópico de las mismas, ocasiona soldaduras que se for-

man y destruyen alternativamente, con el consiguiente desprendimiento de material. Las discontinuidades así formadas se comportan como concentradores de esfuerzos, reduciéndose la resistencia a la fatiga y dando lugar a la falla.

Las curvas de fatiga por desgaste (22), Fig. 11, muestran un marcado descenso en la resistencia a la fatiga. La reducción en algunos casos ha llegado a ser del 30% al 40% y más (22).

Debido al gran número de variables que intervienen en la fatiga por desgaste, tales como:

- Amplitud del movimiento relativo
- Magnitud y dirección de la presión de contacto
- Nivel de esfuerzos
- Frecuencia de la vibración
- Materiales involucrados
- Temperatura
- Condiciones atmosféricas,

entre otras, no es posible tratar este problema analíticamente a menos que, por evaluación experimental de los parámetros mencionados, se obtenga un factor de daño de fatiga por desgaste, definido por (22):

$$D_f = 1 - S_f/S_o.$$

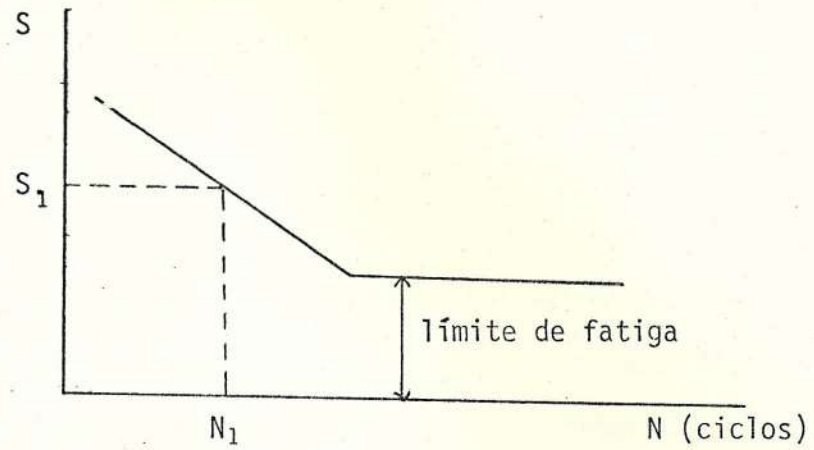


FIGURA 10. DIAGRAMA S-N PARA UN ACERO (Ref. 15)

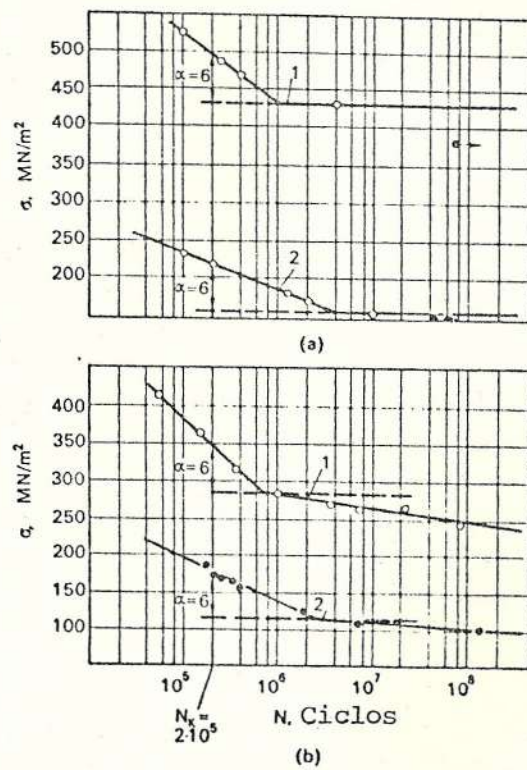


FIGURA 11. S-N COMPARATIVO (Ref. 22)

- (a) Sin "fretting"
- (b) Con "fretting"

siendo:

S_f : resistencia a la fatiga en ausencia de "fretting"

S_o : resistencia a la fatiga con "fretting"

Independientemente del problema del desgaste, estudios foto-elásticos de los esfuerzos de contacto en cables, han mostrado que éstos son mayores en las capas interiores (19), confirmando las observaciones sobre la tendencia a la falla en los alambres más internos y que podría atribuirse a que están expuestos a fricción por ambos lados, mientras que los exteriores solo de uno.

Ante la imposibilidad de cuantificar la contribución del desgaste a la falla, en este trabajo, se tratará el estado de esfuerzos del conductor sin incluirlo.

La figura 12 muestra la relación entre los diferentes esfuerzos que intervienen en el cable vibrante, para un punto determinado que será el de esfuerzo máximo.

siendo:

σ_a : amplitud del esfuerzo, será el esfuerzo dinámico máximo

σ_m : esfuerzo medio, que en este caso coincidirá con el estático.

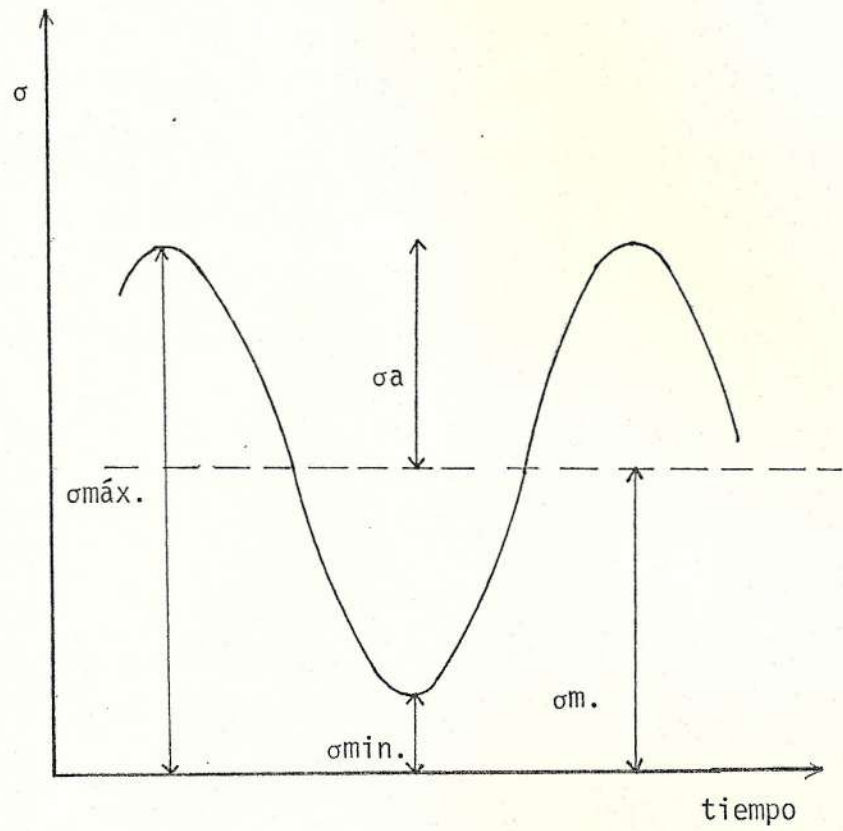


FIGURA 12. TENSIONES FLUCTUANTES

$\sigma_{\text{máx}}$ y $\sigma_{\text{mín}}$, son los esfuerzos máximo y mínimo respectivamente y vienen dados por las siguientes expresiones:

$$\sigma_{\text{máx.}} = \sigma_m + \sigma_a$$

$$\sigma_{\text{mín.}} = \sigma_m - \sigma_a.$$

Para establecer el estado de esfuerzos en el cable y el criterio de falla se utilizará el diagrama modificado de Goodman, que se representa en la figura 13 a continuación.

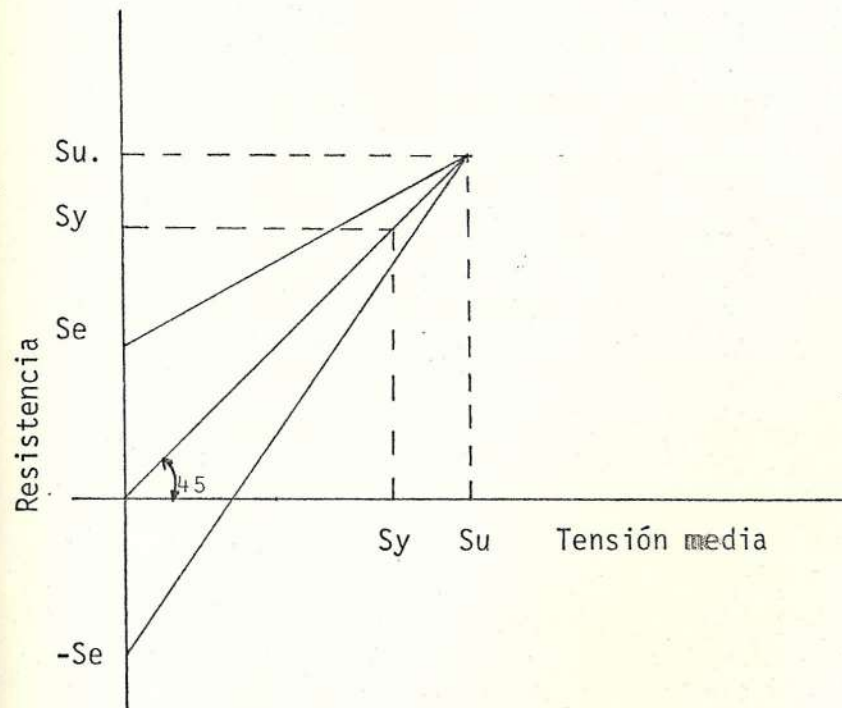


FIGURA 13. DIAGRAMA MODIFICADO DE GOODMAN

Se es el límite de fatiga

Sy es el límite de fluencia

Para utilizar el diagrama se entra en las abcisas con la tensión media, hasta interceptar la línea de tensión máxima; si, por ejemplo, ésta fuera mayor que Sy el criterio de falla no sería fatiga sino fluencia.

Adicionalmente al "fretting" hay algunos factores que reducen la resistencia en la fatiga, tales como acabado superficial, defectos internos, tensiones residuales, etc.

Como no se dispone de suficiente información para evaluar el efecto de cada uno de ellos, se utilizará como resistencia a la fatiga el valor aceptado por la ASM (2) (3), para el aluminio 1350 H19 (ASTM B233) del cual se producen los conductores. Esta resistencia a la fatiga es inferior al 40% de la resistencia máxima e incluye el efecto del proceso de estirado en frío del material. Es de anotar que la resistencia de los alambres de aluminio, prácticamente puro, utilizados es sumamente alta en comparación con las aplicaciones usuales.

A continuación se presentan las propiedades mecánicas del aluminio mencionado.

Resistencia máxima ten- sión.	Límite de fluencia.	Resistencia al corte	Resistencia a la fatiga
-------------------------------------	------------------------	-------------------------	----------------------------

KG/mm ²	KG/mm ²	KG/mm ²	KG/mm ²
--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

19	17	11	5
----	----	----	---

CAPITULO IV

4. RESULTADOS

Como puede observarse en el apéndice F, evaluando el modelo matemático para el cable sin absorbedor de vibraciones se obtiene amplitudes y momentos flectores para velocidades de viento desde 4m/s hasta 7m/s, para el cálculo de esfuerzos se seleccionó aquellas críticas.

El modelo para el cable con absorbedor de vibraciones se evaluó solamente para 5m/s y 6m/s, ya que a esas velocidades se producen los mayores esfuerzos en el cable estudiado.

El estado de esfuerzos en el conductor se estableció utilizando el diagrama modificado de Goodman.

4.1 COMPORTAMIENTO GENERAL DEL CABLE SEGUN EL MODELO MATEMATICO

Los resultados que se presentan en la tabla IV corresponden a la solución para amplitudes y momentos flectores de un cable en vibración forzada (Ec. a-42), sin absorbedor de vibraciones; es un resumen de los resultados que se muestran en el apéndice F. Dichos resultados son para el cable tensado al 20% de la tensión de rotura. Se escogió este valor de tensión de acuerdo a lo indicado como tensión de partida para

el cálculo de tensiones y flechas en conductores (*) y recomendaciones de INECEL (+) que coinciden aproximadamente con algunos ejemplos de casos reales (‡) revisados.

En la tabla IV se muestran cuatro casos, uno para cada velocidad de viento, desde 4m/s hasta 7m/s. La segunda columna muestra la longitud de los lazos; como se trató el problema en vibración forzada, en una longitud de onda hay dos lazos de diferente longitud. La tercera columna muestra las máximas amplitudes dentro de cada lazo. La cuarta es una aproximación a la curvatura, como se indicó en el capítulo III, sección 3.4, solo para el primer lazo. La quinta y última columna presenta los esfuerzos dinámicos máximo, calculados según la ecuación 48.

La tabla V es un cuadro que muestra los esfuerzos fluctuantes en el cable sin absorbedor para cada velocidad de viento. σ_{est} , σ_{din} , σ_m , σ_{max} y σ_{min} , son los esfuerzos estáticos, dinámicos o amplitud del esfuerzo en este caso, medio, máximo

(*) "Especificaciones para la ubicación de estructuras para líneas de 138KV" y "Especificaciones para la ubicación de estructuras para líneas de 230KV", Folletos utilizados para el dictado de la materia a "Transmisión y Subestaciones" del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la ESPOL.

(+) Boletín DC/03, "Cálculo Mecánico de Líneas", UNEPER INECEL, Agosto, 1980.

(‡) Poffenberger, J.C., "Vibration problems in rural line design".

TABLA IV
RESUMEN DE RESULTADOS. CABLE SIN ABSORBEDOR

#	Velocidad de viento V (m/s)	Longitud de Lazo ℓ (m)	Amplitud máxima en el lazo a (adim)	Curvatura aproximada $(a/\ell^2) \times L$ (1/m)	Esfuerzo dinámico σ_{din} (Kg/mm ²)
1	4	1.4 3.6	$.12 \times 10^{-6}$ $.47 \times 10^{-6}$	1.79×10^{-5}	0.46
2	5	2. 2.	$-.23 \times 10^{-5}$ $.20 \times 10^{-5}$	1.73×10^{-4}	4.47
3	6	1.8 1.6	$-.17 \times 10^{-5}$ $.13 \times 10^{-5}$	1.55×10^{-4}	4.01
4	7	0.8 2.2	$.11 \times 10^{-6}$ $-.46 \times 10^{-6}$	5.16×10^{-5}	1.33

TABLA V
ESFUERZOS EN EL CABLE SIN ABSORBEDOR DE VIBRACIONES

#	σ_{est} (Kg/mm ²)	σ_{din} (Kg/mm ²)	σ_m (Kg/mm ²)	$\sigma_{m\acute{a}x.}$ (Kg/mm ²)	$\sigma_{min.}$ (Kg/mm ²)
1	3.76	0.46	3.76	4.22	3.30
2	3.76	4.47	3.76	8.23	-0.71
3	3.76	4.01	3.76	7.77	-0.25
4	3.76	1.33	3.76	5.09	2.43

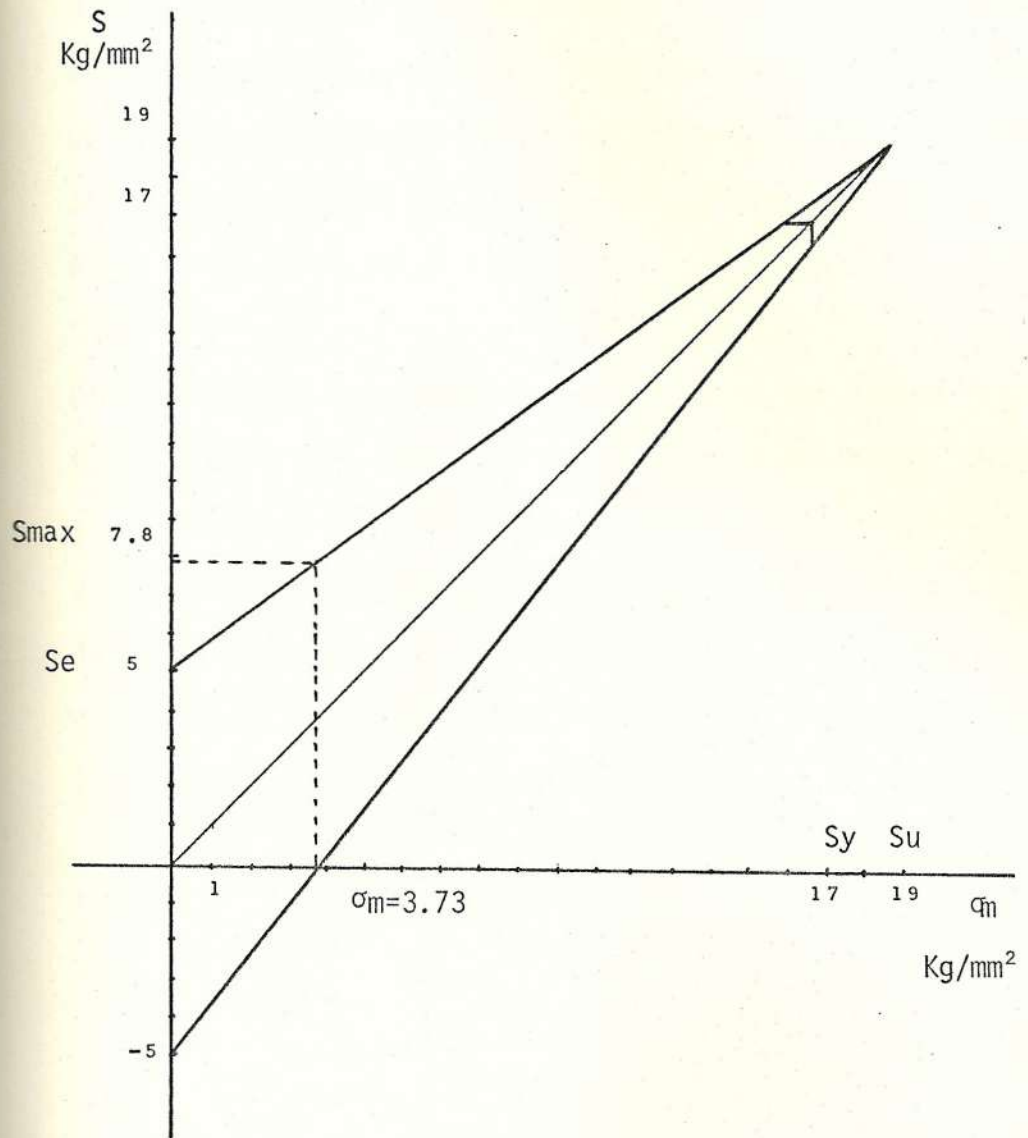


FIGURA 14. DIAGRAMA MODIFICADO DE GOODMAN PARA UN CABLE ACSR BLUEJAY.

y mínimo respectivamente, como fueron definidos en el capítulo III, sección 3.5 (Fig. 12).

Utilizando la información de la tabla V, se elaboró el Diagrama Modificado de Goodman (Fig. 14). Las resistencias última, de fluencia y límite de fatiga son los presentados anteriormente en el capítulo III, sección 3.5, y aceptados por la ASM.

Como se explicó anteriormente en "Fatiga en las líneas de transmisión", para encontrar la resistencia máxima del cable, en el estado de esfuerzos mostrado, se entra al diagrama con el esfuerzo medio, igual a 3.73 kg/mm^2 , en las abcisas, subiendo hasta interceptar la línea de esfuerzo máximo y sobre las ordenadas se lee el valor de la resistencia que, para el cable estudiado, es de 7.8 kg/mm^2 .

4.2 EFECTOS PRODUCIDOS POR LA UBICACION DEL ABSORBEDOR

El modelo para el caso con absorbedor de vibraciones se evaluó para velocidades de viento de 5 m/s y 6 m/s, que son las críticas como puede verse de las tablas IV y V, siempre a una tensión del 20% de la de rotura.

La tabla VI es un resumen de los resultados para el cable con absorbedor que aparecen en el Apéndice F. Muestra para cada velocidad de viento la posición del absorbedor en la se segunda columna, amplitud máxima, curvatura y esfuerzo dinámico máximo sucesivamente.

En cuanto a la posición del absorbedor, ésta se escogió como el punto de máxima amplitud dentro del primer lazo que, como puede verse en el Apéndice F, es igual a 1m para ambas ve locidades de viento.

La amplitud de la tercera columna corresponde al máximo dentro del primer lazo que se forma en el cable con absorbedor.

Como las amplitudes no cambian de signo, aparentemente no hay nodos; para calcular la curvatura se necesitó un diagrama comparativo de amplitudes y momentos flectores (Fig. 15) para determinar la longitud de los lazos a través de los pun tos de inflexión.

TABLA VI

RESUMEN DE RESULTADOS CABLE CON ABSORBEDOR

#	Velocidad de viento V(m/s)	Posición del absorbedor (m)	Amplitud máxima a(adim)	Curvatura aproximada $(a/\ell^2) \times L1/m$	Esfuerzo dinámico $\sigma_{din}(\text{Kg/mm}^2)$
1	5	1.	0.19×10^{-7}	7.15×10^{-6}	0.18
2	6	1.	0.45×10^{-7}	1.35×10^{-5}	0.35

TABLA VII

ESFUERZOS EN EL CABLE CON ABSORBEDOR

#	σ_{est} (kg/mm ²)	σ_{din} (kg/mm ²)	σ_m (kg/mm ²)	$\sigma_{max.}$ (kg/mm ²)	σ_{min} (kg/mm ²)
1	3.76	0.18	3.76	3.94	3.58
2	3.76	0.35	3.76	4.11	3.41

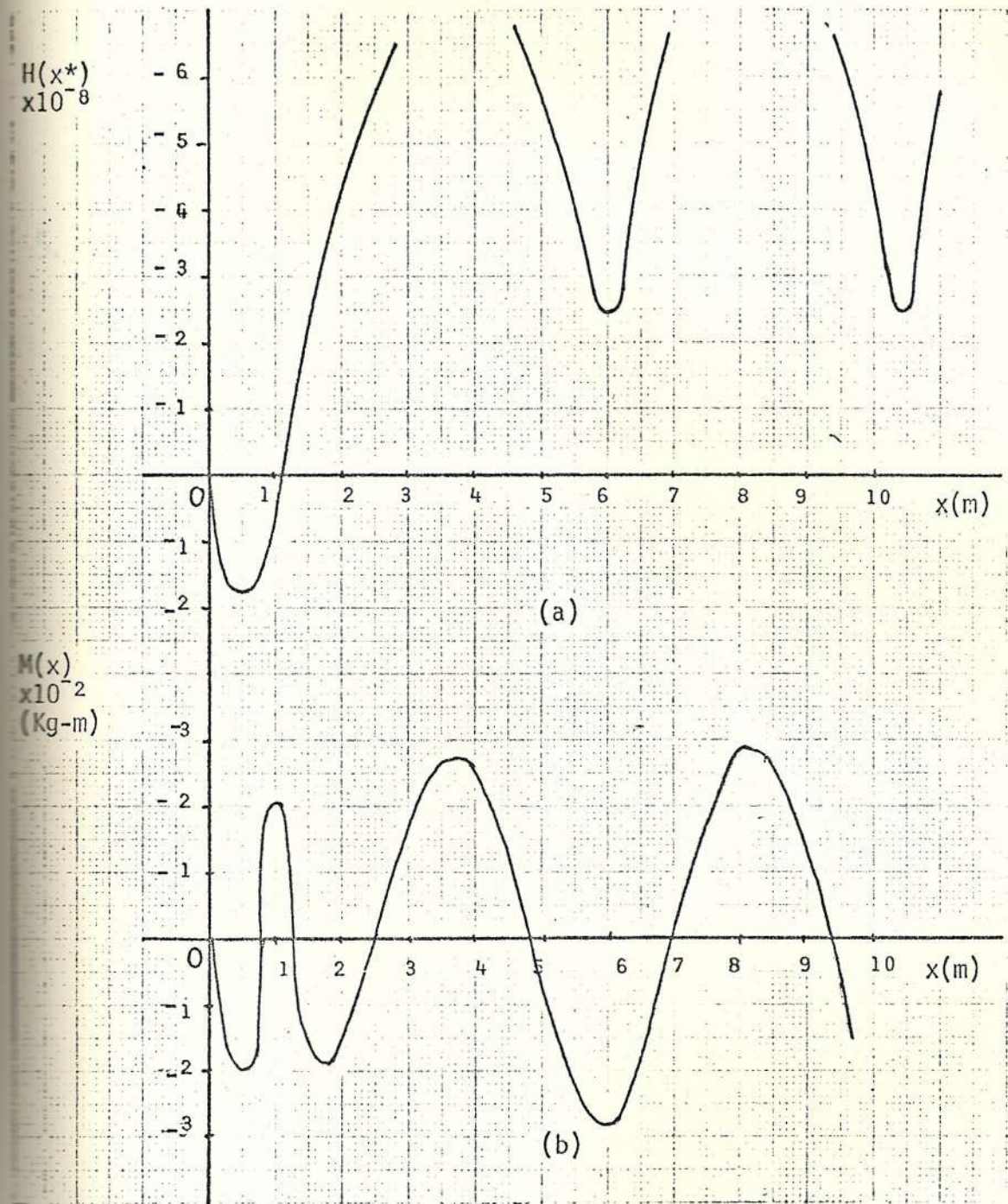


FIGURA 15. DIAGRAMA ILUSTRATIVO DE LOS PUNTOS DE INFLEXION CABLE CON ABSORBEDOR DE VIBRACIONES. (CONDUCTOR ACSR BLUEJAY, VELOCIDAD DE VIENTO 5m/s).

- a) Amplitud
- b) Momento flector

CAPITULO V

5. ANALISIS DE RESULTADOS

- CABLE SIN ABSORBEDOR DE VIBRACIONES

Amplitudes y Momentos flectores

De los resultados que se muestran en el Apéndice F puede verse, que a la tensión escogida, 20% de la de rotura para el cable, las velocidades de viento que provocan mayores amplitudes de vibración y esfuerzos dinámicos (TABLA IV) son 5 m/s y 6 m/s. Dichas velocidades de viento excitan modos de vibración elevados como puede notarse en el cuadro de frecuencias naturales (Apéndice F), los modos 133 y 154 para cada velocidad de viento respectivamente.

Al revisar las amplitudes de vibración se observa la formación de un patrón que se repite a lo largo del cable, con dos lazos de diferente longitud cada uno. Sin embargo la longitud de onda, obtenida a partir de la longitud del cable y el modo excitado, es la correspondiente a la frecuencia de la vibración.

La solución es simétrica con respecto al centro del cable. Las máximas amplitudes dentro de cada lazo son aproximadamente igua

les a lo largo de todo el cable, aumentando ligeramente hacia el centro.

El modelo para el cable sin absorbedor se evaluó además, para 5 m/s y 6 m/s, para tensiones del 15% y 40% de la tensión de rotura del cable (Apéndice F). No se observa un comportamiento regular de las amplitudes con el incremento o disminución de la tensión; para 5 m/s y 6 m/s con una tensión del 20% de la rotura amplitudes y momentos flectores son mayores que para una del 15%. Para iguales velocidades de viento, con 40% de tensión las amplitudes y los momentos son menores que para 15% y 20%.

Las frecuencias naturales aumentan proporcionalmente a la raíz cuadrada de la tensión.

Esfuerzos

Los esfuerzos obtenidos (TABLA V) varían entre el 20% y el 40% de la resistencia máxima del aluminio, 19 kg/mm^2 , obteniéndose los mayores para 5 m/s y 6 m/s.

En el Diagrama Modificado de Goodman (Fig. 14), se observa que la resistencia máxima del cable al esfuerzo medio de 3.73 kg/mm^2 es 7.8 kg/mm^2 . Como puede verse en la Tabla V, para los casos 2 y 3 correspondientes a $5 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ y 6 m/s , los esfuerzos alcanzados sobrepasan dicha resistencia. Esto indica que el cable en esas condiciones fallaría por fatiga.

- CABLE CON ABSORBEDOR DE VIBRACIONES

Amplitudes y Momentos flectores

Este modelo se ha evaluado solamente para velocidades de viento de 5 m/s y 6 m/s, a una tensión del 20% de la rotura (Apéndice F).

En lo referente a amplitudes se observa la aparición de un nodo en el punto de suspensión del absorbedor, condición que fue impuesta al desarrollar el modelo. En el resto del cable no hay cambios de signo en las amplitudes y la longitud de los lazos se determinó a partir de los puntos de inflexión. La distancia entre dichos puntos, momentos flectores cero en la columna de momentos (Apéndice F), coincide con la longitud de una semionda, obtenida a partir de la frecuencia de la vibración.

Los valores máximos de las amplitudes son aproximadamente iguales a lo largo de todo el cable, dentro de cada lazo después del primero, aún en el extremo apuesto a aquel donde se ha ubicado el absorbedor. La solución no es simétrica con respecto al centro del cable.

En las figuras 16 y 17, puede verse que las amplitudes y los momentos flectores disminuyen notablemente en comparación con aquellos obtenidos del modelo sin absorbedor.

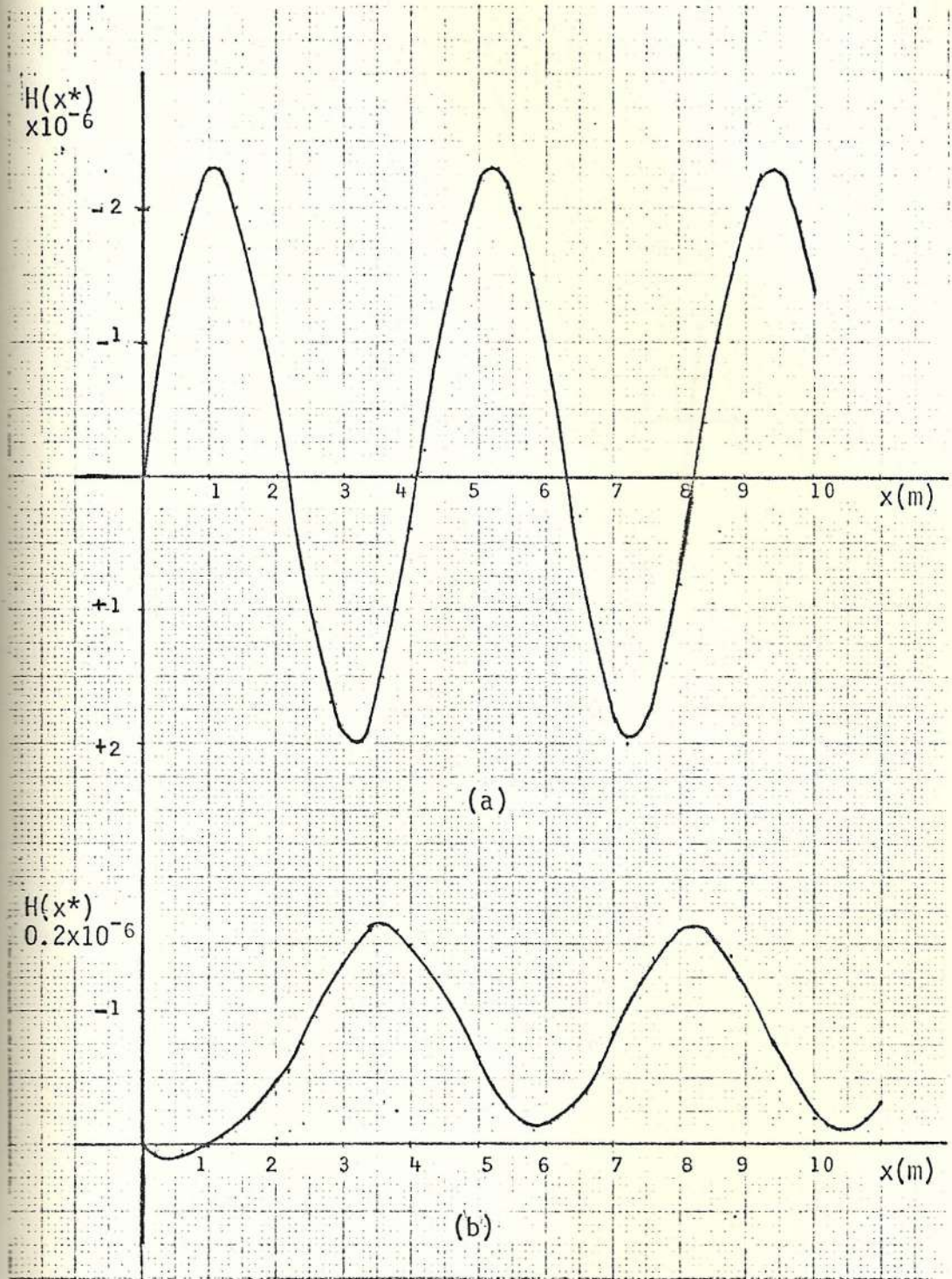


FIGURA 16. DIAGRAMA COMPARATIVO DE AMPLITUDES
(CONDUCTOR ACSR BLUEJAY. VELOCIDAD DE
VIENTO 5m/s).

- a) CABLE SIN ABSORBEDOR
- b) CABLE CON ABSORBEDOR

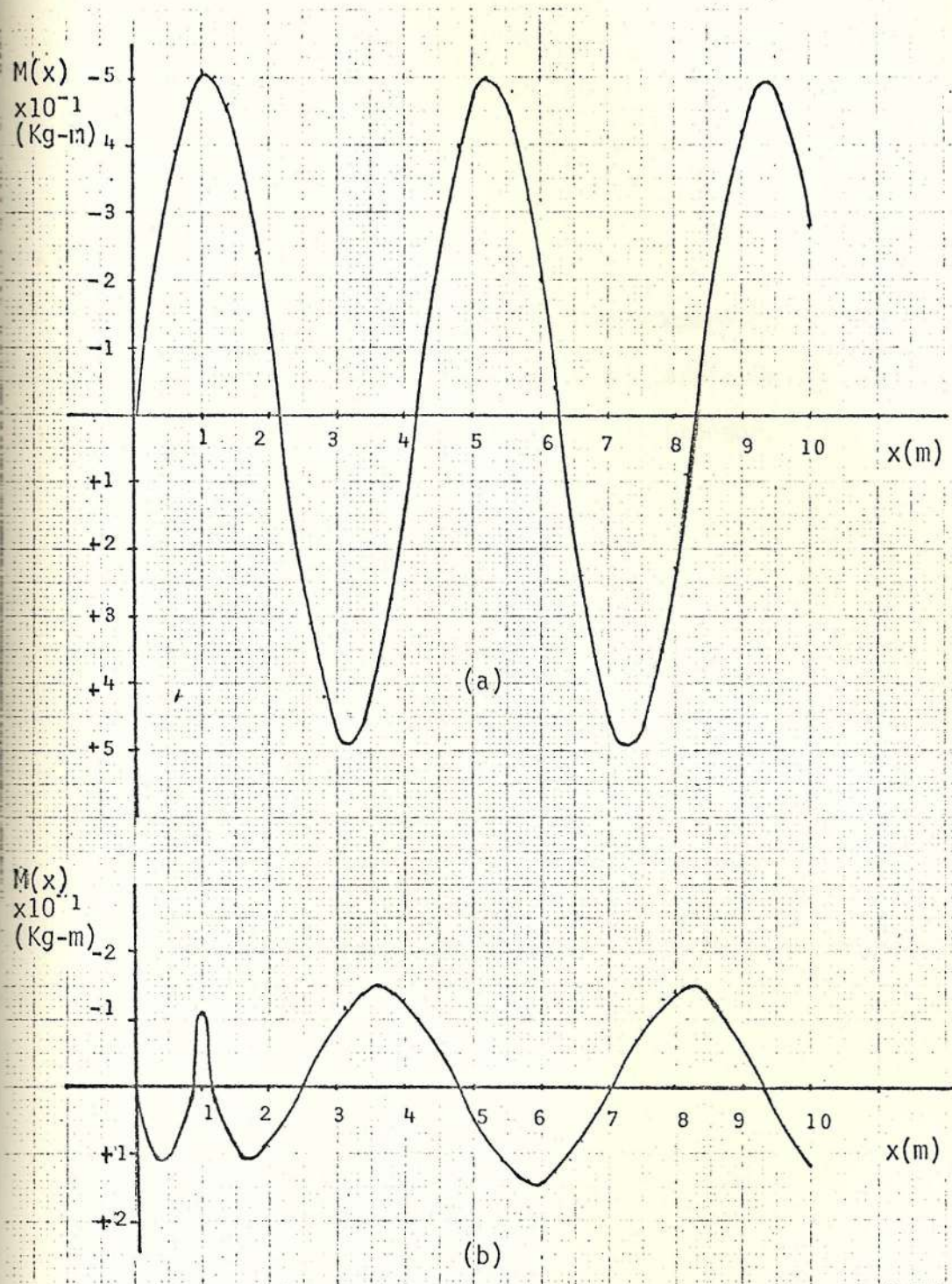


FIGURA 17. DIAGRAMA COMPARATIVO DE MOMENTOS FLECTORES (CONDUCTOR ACSR BLUEJAY, VELOCIDAD DE VIENTO 5m/s).

- a) Cable sin absorbedor
- b) Cable con absorbedor

Las amplitudes dentro del primer lazo (Tabla VI) se reducen aproximadamente a la centésima parte; en el resto del cable a la décima parte. Los momentos flectores también se reducen a 1/10 de los anteriores.

En las figuras mencionadas, amplitudes y momentos flectores en el cable con absorbedor se han quintuplicado a fin de utilizar la misma escala que para el cable sin absorbedor.

Esfuerzos

Los esfuerzos dinámicos máximos (Tabla VI), se redujeron aproximadamente a 1/24 y 1/11 de los valores sin absorbedor para 5m/s y 6m/s respectivamente.

Los esfuerzos totales (Tabla VII, Cap. IV) bajan considerablemente manteniéndose por debajo de la resistencia máxima prevista por el Diagrama de Goodman (Fig. 14).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente trabajo a diferencia de los realizados por otros autores sobre el mismo tema, se considera el cable sometido a una vibración forzada sinusoidal producida por el desprendimiento periódico de los vórtices de von Karman.

Los análisis hechos por Steidel(19) y otros (1) (5), han considerado al cable en vibración libre, encontrando que este vibra formando lazos sinusoidales simétricos respecto al centro de la luz del cable. Ellos no han analizado el caso de vibración forzada y solamente han inferido el comportamiento en este caso a partir de los datos de vibración libre.

En este trabajo se comprueba la validez general de los resultados por ellos obtenidos, pero asimismo se encuentra que el comportamiento del cable en vibración forzada presenta ciertas características especiales que se describirán a continuación.

1. El cable en vibración forzada, vibra formando lazos de diferente longitud y con amplitudes de magnitud diferente. El patrón de dos lazos desiguales que hay en una longitud de onda se repite a lo largo de todo el cable. La diferencia con el caso de vibración libre se debe a la constante C de la ecuación (a-39) que se introduce precisamente como solución particular de la solución en vibración forzada (Ec. 1-32). El efecto de la constante C es des-

plazar la solución para amplitud en su valor, convirtiéndose ésta aproximadamente en una función seno desplazada, lo que explica las características especiales mencionadas.

2. En cuanto a la magnitud de las amplitudes longitudes de lazos y frecuencias, los resultados obtenidos al evaluar el modelo matemático para el cable sin absorbedor de vibración, coinciden con bastante aproximación con los presentados por Bate(5), bajo condiciones similares, para tramos experimentales de líneas de transmisión.
3. El efecto de la tensión es interesante; contrariamente a lo expuesto en el Capítulo II en "Análisis de los parámetros de la ecuación del cable" y como se explicó en el capítulo anterior en Análisis de Resultados para cable sin absorbedor de vibraciones, no es posible asegurar que un aumento en la tensión hará crecer las amplitudes o que éstas disminuirán como consecuencia de una reducción de la misma. Cabe pensar en la existencia de tensiones críticas para cada velocidad de viento o, como estas últimas varían dentro de un rango de interés determinado, previo a tratar el problema habría que conocer la tensión mecánica en la línea. El rango de velocidades de viento que para una tensión resulta peligroso puede no serlo para otra, manteniéndose las demás características del cable inalteradas.
4. Los esfuerzos en el cable, ACSR Bluejay tensado al 20% de la tensión de rotura, para las velocidades de viento consideradas peli-

grosas, 5 m/s y 6 m/s, indican según el Diagrama de Goodman (Fig. 14) que el cable fallaría por fatiga en el punto de soporte si no se usa un absorbedor.

5. Al introducir el absorbedor de vibraciones como un apoyo fijo dentro del cable, modelo válido solamente cuando el absorbedor trabaja como tal, rigidiza el tramo de cable comprendido entre el apoyo del extremo y el punto de suspensión del absorbedor. Se ha observado que ubicar el absorbedor en el punto de mayor amplitud dentro del primer lazo, reduce las amplitudes y los momentos flectores considerablemente. Sin embargo, no se ha optimizado su localización, lo que debería hacerse con la ayuda de un modelo experimental. Evaluando el modelo matemático puede verse que las amplitudes disminuyen aunque el absorbedor se ubique después del punto de amplitud máxima y que la disminución es mayor cuanto más se acerca el absorbedor al apoyo del extremo. Existe, en cambio, el peligro de que demasiado cerca actúe como un concentrador de tensiones y los esfuerzos excedan los valores permisibles.
6. Los esfuerzos totales alcanzados en el cable con absorbedor de vibraciones son aproximadamente el 50% de aquellos sin absorbedor y también del máximo permisible según el diagrama de Goodman.
7. Acorde a lo expuesto la simulación del absorbedor de vibraciones es efectiva. Alcoa (1) sugiere ubicar el absorbedor a 0.8 o 0.9 de la longitud del primer lazo lo que coincide con las posiciones recomendadas por ASAHI Metal Industries (Apéndice G). Estos valo

res difieren de la posición para la cual se evaluó el modelo matemático, sin que por esto pierda su validez ya que, como se indicó anteriormente, habría que complementarlo con pruebas experimentales apropiadas para seleccionar la ubicación óptima del absorbedor.

8. No se ha incluido la determinación de características del absorbedor ni de su rango de efectividad; podría hacerse considerando al cable como un sistema de un grado de libertad (Apéndice H), tratándolo como sugiere Steidel (18).
9. Es interesante citar un error cometido durante el desarrollo de este trabajo; se pensó calcular las "nuevas frecuencias naturales" del sistema con absorbedor de vibraciones. Ahora bien, este "nuevo sistema" no existe como tal ya que el simple apoyo a una distancia "a" del extremo del cable tiene sentido solamente cuando el absorbedor está trabajando y esto es en vibración forzada. La frecuencia a la que vibra el cable en este caso es la de excitación, obtenida en función de la velocidad de viento, diámetro del conductor y número de Strouhal. La confusión surgió por la analogía con un sistema de un grado de libertad que se convierte en uno de dos grados de libertad al agregar el absorbedor de vibraciones (Apéndice H); el sistema así formado tiene ahora dos nuevas frecuencias naturales. Pero el cable es en realidad un sistema continuo, tiene infinitas frecuencias naturales y, por lo tanto, la masa del absorbedor, mucho menor que la del cable, ubicado cerca del soporte del extremo; no altera sus frecuencias na-

turales de vibración. En otras palabras, las frecuencias naturales del cable con y sin absorbedor son las mismas.

10. Como último punto conviene aclarar que los resultados de este trabajo son exclusivamente para vibración estable cuando, en realidad, el cable vibra por lo general en forma transiente, que es más difícil de tratar analíticamente (7). Sin embargo con pocas excepciones (14), los resultados experimentales comprueban que para propósitos de diseño y localización del absorbedor los resultados aquí obtenidos son válidos.

Cons
y te
stere

A P E N D I C E S

T
F
W
A
A

APENDICE A

ECUACION DE MOVIMIENTO DEL CABLE

Considerando el cable como una viga simplemente apoyada con flexión y tensión axial se establecerá su ecuación partiendo del análisis del elemento diferencial mostrado:

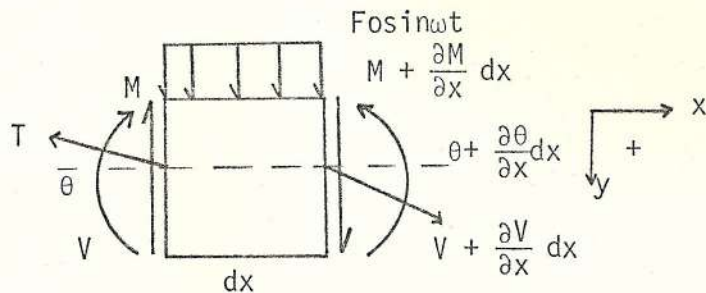


FIGURA A-1. ELEMENTO DIFERENCIAL DE CABLE

T : Tensión

F₀ : Magnitud de la fuerza excitadora

w : Peso por unidad de longitud

ω : Frecuencia de excitación

Aplicando la Ley de Newton al elemento de longitud dx:

$$\sum F_y = \frac{w}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \tag{a-1}$$

$$-V + (V + \frac{\partial V}{\partial x} dx) - T \sin \theta + T \sin (\theta + \frac{\partial \theta}{\partial x} dx) + F_0 dx \sin \omega t = \frac{w}{g} dx \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \tag{a-2}$$

$$\frac{\partial V}{\partial x} dx - T \sin \theta + T(\sin \theta \cos \frac{\partial \theta}{\partial x} dx + \cos \theta \sin \frac{\partial \theta}{\partial x} d\theta) +$$

$$+ F_0 dx \sin \omega t = \frac{w}{g} dx \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (a-3)$$

aproximando:

$$\sin \theta \cos \frac{\partial \theta}{\partial x} dx + \cos \theta \sin \frac{\partial \theta}{\partial x} dx = \sin \theta + \cos \theta \frac{\partial \theta}{\partial x} dx$$

$$\text{donde } \theta \approx \frac{\partial y}{\partial x} \quad \text{y } \frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

Sustituyendo en la ecuación (a-3)

$$\frac{\partial V}{\partial x} dx + T \cos \theta \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} dx + F_0 dx \sin \omega t = \frac{w}{g} dx \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (a-4)$$

Sustituyendo $T \cos \theta$ por H y simplificando:

$$\frac{\partial V}{\partial x} + H \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + F_0 \sin \omega t = \frac{w}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \quad (a-5)$$

Reemplazando $V = \frac{\partial M}{\partial x} = -EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4}$ en (a-5)

$$-EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + H \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + F_0 \sin \omega t = \frac{w}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$$

y, ordenando términos:

$$EI \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} - H \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + \frac{W}{g} \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = F_0 \sin \omega t \quad (\text{a-6})$$

Siendo esta última la ecuación del movimiento del cable.

ECUACION EN FORMA ADIMENSIONAL

Haciendo los siguientes cambios de variables:

$$y^* = y/L \quad x^* = x/L \quad t^* = \omega t$$

y sustituyendo en la ecuación (a-6) se tiene:

$$\frac{EI}{L^3} \frac{\partial^4 y^*}{\partial x^{*4}} - \frac{H}{L} \frac{\partial^2 y^*}{\partial x^{*2}} + \frac{W\omega^2 L}{g} \frac{\partial^2 y^*}{\partial t^{*2}} = F_0 \sin t^* \quad (\text{a-7})$$

Dividiendo para el coeficiente del 3er. término:

$$\frac{EIg}{W\omega^2 L^4} \frac{\partial^4 y^*}{\partial x^{*4}} - \frac{Hg}{W\omega^2 L^2} \frac{\partial^2 y^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 y^*}{\partial t^{*2}} = \frac{F_0 g}{W\omega^2 L} \sin t^* \quad (\text{a-8})$$

ó

$$A \frac{\partial^4 y^*}{\partial x^{*4}} - B \frac{\partial^2 y^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 y^*}{\partial t^{*2}} = C \sin t^* \quad (\text{a-9})$$

Donde:

$$A = \frac{EIg}{W\omega^2 L^4} \quad B = \frac{Hg}{W\omega^2 L^2} \quad C = \frac{F_0 g}{W\omega^2 L}$$

siendo A, B y C coeficientes dimensionales

SOLUCION DE LA ECUACION ADIMENSIONAL DE MOVIMIENTO DEL CABLE

Solución de la ecuación homogénea asociada a (a-9) por separación de variables.

$$A \frac{\partial^4 y^*}{\partial x^{*4}} - B \frac{\partial^2 y^*}{\partial x^{*2}} + \frac{\partial^2 y^*}{\partial t^{*2}} = 0 \quad (\text{a-10})$$

Asumiendo la solución de la forma:

$$y_H^* (x^*, t^*) = F(x^*) G(t^*) \quad (\text{a-11})$$

Sustituyendo en la ecuación (a-10)

$$AF^{IV}(x^*) G(t^*) - BF''(x^*)G(t^*) + F(x^*)G''(t^*) = 0 \quad (\text{a-12})$$

ordenando:

$$\frac{AF^{IV}(x^*) - BF''(x^*)}{F(x^*)} = - \frac{G''(t^*)}{G(t^*)} = \text{Constante} \quad (\text{a-13})$$

$$\text{Constante} = - \left(\frac{\omega_n}{\omega} \right)^2$$

Resolviendo para $G(t^*)$

$$\frac{G''(t^*)}{G(t^*)} = -\left(\frac{\omega_n}{\omega}\right)^2 \quad (\text{a-14})$$

$$m^2 = -\left(\frac{\omega_n}{\omega}\right)^2$$

$$m_{1,2} = \pm i \left(\frac{\omega_n}{\omega}\right)$$

$$G(t^*) = D_1 \sin\left(\frac{\omega_n}{\omega} t^*\right) + D_2 \cos\left(\frac{\omega_n}{\omega} t^*\right) \quad (\text{a-15})$$

Resolviendo para $F(x^*)$:

$$-AF'^V(x^*) + BF''(x^*) = -\left(\frac{\omega_n}{\omega}\right)^2 F(x^*) \quad (\text{a-16})$$

$$F'^V(x^*) - \frac{B}{A} F''(x^*) - \frac{1}{A} \left(\frac{\omega_n}{\omega}\right)^2 F(x^*) = 0 \quad (\text{a-17})$$

$$r^4 - \frac{B}{A} r^2 - \frac{1}{A} \left(\frac{\omega_n}{\omega}\right)^2 = 0 \quad (\text{a-18})$$

$$r_{1,2} = \frac{B}{2A} \pm \sqrt{\left(\frac{B}{2A}\right)^2 + \frac{1}{A} \left(\frac{\omega_n}{\omega}\right)^2} \quad (\text{a-19})$$

Llamando p y q a las raíces de la ecuación característica:

$$p^2 = \sqrt{\left(\frac{B}{2A}\right)^2 + \frac{1}{A} \left(\frac{\omega_n}{\omega}\right)^2} + \frac{B}{2A} \quad (\text{a-20})$$

$$q^2 = \sqrt{\left(\frac{B}{2A}\right)^2 + \frac{1}{A} \left(\frac{\omega_n}{\omega}\right)^2} - \frac{B}{2A} \quad (\text{a-21})$$

la solución es entonces de la forma:

$$F(x^*) = C_1 \text{Cosh} px^* + C_2 \text{Sin} hp x^* + C_3 \text{Cos} qx^* + C_4 \text{Sin} qx^* \quad (\text{a-22})$$

La solución de la ecuación homogénea:

$$Y_H(x^*, t^*) = (D_1 \text{Sin} \left(\frac{\omega_n}{\omega}\right) t^* + D_2 \text{Cos} \left(\frac{\omega_n}{\omega}\right) t^*) (C_1 \text{Cosh} px^* + C_2 \text{Sin} hp x^* + C_3 \text{Cos} qx^* + C_4 \text{Sin} qx^*) \quad (\text{a-23})$$

APLICACION DE LAS CONDICIONES DE BORDE

Para el cable simplemente apoyado en sus extremos se tiene:

$$1. \quad x^* = 0 \quad y^* = 0$$

$$3. \quad x^* = 1 \quad y^* = 0$$

$$2. \quad x^* = 0 \quad \frac{\partial^2 y^*}{\partial x^{*2}} = 0$$

$$4. \quad x^* = 1 \quad \frac{\partial^2 y^*}{\partial x^{*2}} = 0$$

$$1. \quad C_1 + C_3 = 0$$

$$2. \quad C_3(p^2 + q^2) = 0$$

$$C_3 = 0$$

$$C_1 = 0$$

$$3. \quad C_2 \text{Sin} hp + C_4 \text{Sin} q = 0$$

$$\frac{C_2}{C_4} = - \frac{\text{Sin} q}{\text{Sin} hp}$$

$$C_2 p^2 \operatorname{Sinh} p - C_4 q^2 \operatorname{Sin} q = 0 \quad \frac{C_2}{C_4} = \frac{q^2}{p^2} \frac{\operatorname{Sin} q}{\operatorname{Sinh} p}$$

Igualando las expresiones obtenidas de 3 y 4

$$\frac{\operatorname{Sin} q}{\operatorname{Sinh} p} \left(1 + \frac{q^2}{p^2}\right) = 0 \quad \text{ECUACION DE FRECUENCIAS} \quad (\text{a-24})$$

La ecuación (a.27) implica que:

$$\operatorname{Sin} q = 0$$

lo que se cumple para:

$$q = n\pi \quad \text{siendo } n \text{ un entero; } n = 1, 2, 3, 4, 5, \dots \quad (\text{a-25})$$

Sustituyendo (a-25) en la ecuación (a-21) se obtiene la ecuación para el cálculo de las frecuencias naturales:

$$\left(\frac{\omega_n}{\omega}\right)^2 = (q^4 + \frac{B}{A} q^2) A$$

$$\left(\frac{\omega_n}{\omega}\right)^2 = A q^4 + B q^2$$

$$\left(\frac{\omega_n}{\omega}\right)^2 = n^2 \pi^2 (A n^2 \pi^2 + B)$$

$$\omega_n = n\pi \omega \sqrt{n^2 \pi^2 A + B} \quad \text{ó} \quad (\text{a-26})$$

$$f_n = \frac{n\omega}{2} \sqrt{n^2\pi^2 A + B} \quad (\text{a-27})$$

Volviendo a la aplicación de las condiciones de borde 3 y 4, se observa que:

$$C_2 = 0 \quad \text{y,}$$

$$C_4 = C_n$$

Por lo tanto:

$$F(x^*) = C_n \text{Sin}qx^* \quad (\text{a-28})$$

$$y_H(x^*, t^*) = \sum_1^{\infty} \text{Sin}qx^* (E_n \text{Sin}\left(\frac{\omega n}{\omega}\right)t^* + D_n \text{Cos}\left(\frac{\omega n}{\omega}\right)t^*) \quad (\text{a-29})$$

donde E_n y D_n pueden determinarse a partir de las condiciones iniciales aplicados a la solución completa.

SOLUCION PARTICULAR

Asumiendo una solución particular

$$y_p(x^*, t^*) = H(x^*) \text{Sin}t^* \quad (\text{a-30})$$

$$\text{y también que } H(x^*) = H_H + H_p \quad (\text{a-31})$$

Sustituyendo en la ecuación diferencial no homogénea (a- 9) se obtiene:

$$H_p = -C \quad (a-32)$$

$$y: AH(x^*) - BH(x^*) + H(x^*) = C \quad (a-33)$$

Resolviendo la ecuación homogénea asociada a (a-33)

$$m^4 - \frac{B}{A} m^2 + \frac{1}{A} = 0 \quad (a-34)$$

$$m_{1,2}^2 = \frac{B}{2A} \pm \sqrt{\left(\frac{B}{2A}\right)^2 + \frac{1}{A}} \quad (a-35)$$

Llamando z y k a las raíces de la ecuación característica:

$$z^2 = \sqrt{\left(\frac{B}{2A}\right)^2 + \frac{1}{A}} + \frac{B}{2A} \quad (a-36)$$

$$k^2 = \sqrt{\left(\frac{B}{2A}\right)^2 + \frac{1}{A}} - \frac{B}{2A} \quad (a-37)$$

Por lo tanto:

$$H_H(x^*) = D_1 \text{Cosh}gz^* + D_2 \text{Sinh}gz^* + D_3 \text{Cos}kx^* + D_4 \text{Sin}kx^* \quad (a-38)$$

La solución completa para $H(x^*)$ es:

$$H(x^*) = D_1 \text{Cosh}gz^* + D_2 \text{Sinh}gz^* + D_3 \text{Cos}kx^* + D_4 \text{Sin}kx^* - C \quad (a-39)$$

APLICACION DE LAS CONDICIONES DE BORDE PARA VIGA SIMPLEMENTE APOYADA
A $H(x^*)$.

$$1. \quad x^* = 0 \quad H(x^*) = 0$$

$$3. \quad x^* = 1 \quad H(x^*) = 0$$

$$2. \quad x^* = 0 \quad H''(x^*) = 0$$

$$4. \quad x^* = 1 \quad H''(x^*) = 0$$

$$1. \quad D_1 + D_2 = C$$

$$2. \quad D_1 z^2 - D_3 k^2 = 0$$

$$D_1 = \frac{C k^2}{z^2 + k^2}$$

$$D_3 = \frac{C z^2}{z^2 + k^2}$$

$$3. \quad D_2 \operatorname{Sinh} z + D_4 \operatorname{Sink} = C \left\{ 1 - \frac{z^2}{z^2 + k^2} \left(\frac{k^2}{z^2} \operatorname{cosh} z - \operatorname{Cos} k \right) \right\}$$

$$4. \quad -D_2 z^2 \operatorname{Sinh} z + D_4 k^2 \operatorname{Sink} = \frac{C k^2 z^2}{z^2 + k^2} (\operatorname{Cosh} z - \operatorname{Cos} k)$$

Multiplicando 3 por z^2 y sumando con 4 se obtiene:

$$D_4 = \frac{C z^2}{(z^2 + k^2)} \frac{(1 - \operatorname{cos} k)}{\operatorname{Sink}} \quad (\text{a-40})$$

Reemplazando D_4 en 4

$$D_2 = \frac{C k^2}{k^2 + z^2} \frac{(1 - \operatorname{cosh} z)}{\operatorname{Sinh} z} \quad (\text{a-41})$$

Entonces la solución para $H(x^*)$ será:

$$H(x^*) = C \left\{ \frac{k^2}{k^2+z^2} \left(\frac{\text{Sinz}(1-x^*) + \text{Sinh}zx^*}{\text{Sinh}z} \right) + \right. \\ \left. + \frac{z^2}{z^2+k^2} \left(\frac{\text{Sink}(1-x^*) + \text{Sink}x^*}{\text{Sink}} \right) - 1 \right\} \quad (\text{a-42})$$

SOLUCION COMPLETA

$$y^*(x^*, t^*) = y^*_H(x^*, t^*) + H(x^*) \text{Sint}^* \quad (\text{a-43})$$

$$y^*(x^*, t^*) = \sum_1^{\infty} \text{Sin} q_n x^* \left(E_n \text{Sin} \left(\frac{\omega_n}{\omega} \right) t^* + D_n \text{Cos} \left(\frac{\omega_n}{\omega} \right) t^* \right) + H(x^*) \text{Sint}^* \quad (\text{a-44})$$

DETERMINACION DE E_n y D_n A PARTIR DE LAS CONDICIONES INICIALES

$$1. \quad t^* = 0 \quad y^*(x^*, 0) = 0$$

$$2. \quad t^* = 0 \quad \dot{y}^*(x^*, 0) = 0$$

Aplicando la condición 1 a la ecuación (a-44)

$$\sum_1^{\infty} D_n \text{Sin} q_n x^* = 0 \quad \text{de donde: } D_n = 0$$

Aplicando la condición 2

$$\sum_1^{\infty} E_n \left(\frac{\omega_n}{\omega} \right) \text{Sin} q_n x^* + H(x^*) = 0 \\ \sum_1^{\infty} E_n \left(\frac{\omega_n}{\omega} \right) \text{Sin} q_n x^* = -H(x^*)$$

Multiplicando ambos miembros por $\sin q_n x^*$ e integrando de 0 a a_1 se obtiene:

$$E_n \left(\frac{\omega_n}{\omega} \right) \int_0^1 \sin q_n x^* \sin q_n x^* dx = - \int_0^1 H(x^*) \sin q_n x^* dx$$

De donde E_n .

$$E_n = \frac{\omega/\omega_n \int_0^1 H(x^*) \sin^2 q_n x^* dx}{\int_0^1 \sin^2 q_n x^* dx} \quad \text{donde } q_n = n\pi \quad (\text{a-45})$$

para $n = 1, 2, 3, 4, \dots$

APENDICE B

ECUACION DEL CABLE CON ABSORBEDOR DE VIBRACIONES

De acuerdo a lo expresado en la sección 2.5, se simulará el absorbedor de vibración incluyendo un apoyo simple en el punto de suspensión del mismo. (Fig. B-1)

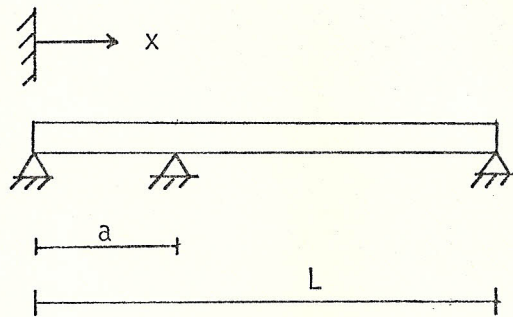


FIGURA B.1 SIMULACION DEL ABSORBEDOR DE VIBRACIONES

Se establecerá una ecuación para cada porción de cable de longitud a y $L-a$ respectivamente.

Las dos funciones que describen la deflexión del cable en vibración forzada son las siguientes:

$$F_1(x^*) = C_1 \cosh z x^* + C_2 \sinh z x^* + C_3 \cos k x^* + C_4 \sin k x^* - C$$

$0 < x < a$ (b-1)

y

$$F_2(X^*) = D_1 \text{Cosh}zx^* + D_2 \text{Sinh}zx^* + D_3 \text{cos}kx^* + D_4 \text{Sin}kx^* - C$$

$$a \leq x \leq L \quad (b-2)$$

Las ecuaciones (b-1) y (b-2) deberán cumplir con las siguientes condi ciones de borde y adicionalmente de continuidad en $x=a$.

Haciendo $b = a/L$ para manejar las ecuaciones en forma adimensional se tiene:

- | | |
|------------------------|--------------------------|
| 1. $F_1(0) = 0$ | 2. $F_1''(0) = 0$ |
| 3. $F_1(b) = 0$ | 4. $F_2(b) = 0$ |
| 5. $F_1'(b) = F_2'(b)$ | 6. $F_1''(b) = F_2''(b)$ |
| 7. $F_2(1) = 0$ | 8. $F_2''(1) = 0$ |

APLICACION DE LAS CONDICIONES DE BORDE Y CONTINUIDAD

$$1. \quad F_1(0) = 0$$

$$C_1 + C_3 = C \quad (b-3)$$

$$2. \quad F_1''(0) = 0$$

$$C_1 z^2 - c_3 k^2 = 0 \quad (b-4)$$

De las ecuaciones (b-3) y (b-4) se obtiene:

$$z^2 C - C_3(z^2 + k^2) = 0 \quad (b-5)$$

De donde se obtienen las constantes C_1 y C_3 .

$$C_3 = \frac{z^2 C}{z^2 + k^2} \quad (b-6)$$

$$C_1 = \frac{k^2 C}{z^2 + k^2} \quad (b-7)$$

3. $F_1(b) = 0$

$$C_2 \operatorname{Sinh} z b + C_4 \operatorname{Sink} b = C - \frac{z^2 C}{z^2 + k^2} \left(\frac{k^2}{z^2} \operatorname{Cosh} z b + \operatorname{Cos} k b \right) \quad (b-8)$$

4. $F_2(b) = 0$

$$D_1 \operatorname{Cosh} z b + D_2 \operatorname{Sinh} z b + D_3 \operatorname{Cos} k b + D_4 \operatorname{Sink} b = C \quad (b-9)$$

5. $F_1'(b) = F_2'(b)$

$$C_1 z \operatorname{Sinh} z b + C_2 z \operatorname{Cosh} z b - C_3 k \operatorname{Sink} b + C_4 k \operatorname{Cos} k b =$$

$$D_1 z \operatorname{Sinh} z b + D_2 z \operatorname{Cosh} z b - D_3 k \operatorname{Sink} b + D_4 k \operatorname{Cos} k b \quad (b-10)$$

Sustituyendo (b-6) y (b-7) en la ecuación (b-10) se tiene:

$$C_2 z \operatorname{Cosh} z b + C_4 k \operatorname{Cos} k b - D_1 z \operatorname{Sinh} z b - D_2 z \operatorname{Cosh} z b + \\ + D_3 k \operatorname{Sink} b - D_4 k \operatorname{Cos} k b = - C_3 \left(\frac{k^2}{z} \operatorname{Sinh} z b - k \operatorname{Sink} b \right) \quad (b-11)$$

$$6. F_1''(b) = F_2''(b)$$

$$C_2 z^2 \operatorname{Sinh} z b - C_4 k^2 \operatorname{Sink} b - D_1 z^2 \operatorname{cosh} z b - D_2 z^2 \operatorname{Sinh} z b + \\ + D_3 k^2 \operatorname{Cos} k b + D_4 k^2 \operatorname{Sink} b = - C_3 k^2 (\operatorname{cosh} z b - \operatorname{cos} k b) \quad (b-12)$$

$$7. F_2(1) = 0$$

$$D_1 \operatorname{Cosh} z + D_2 \operatorname{Sinh} z + D_3 \operatorname{Cos} k + D_4 \operatorname{Sink} = C \quad (b-13)$$

$$8. F_2''(1) = 0$$

$$D_1 z^2 \operatorname{Cosh} z + D_2 z^2 \operatorname{Sinh} z - D_3 k^2 \operatorname{Cos} k - D_4 k^2 \operatorname{Sink} = 0 \quad (b-14)$$

Multiplicando (b-13) por k^2 y sumando con (b-14)

$$D_1 (z^2 + k^2) \operatorname{cosh} z + D_2 (z^2 + k^2) \operatorname{Sinh} z = C k^2 \quad (b-15)$$

$$D_1 = \frac{C k^2}{(z^2 + k^2) \operatorname{Cosh} z} - D_2 \operatorname{tgh} z \quad (b-16)$$

Reemplazando (b-16) en (b-14)

$$D_3 = \frac{C z^2}{(z^2 + k^2) \operatorname{cos} k} - D_4 \operatorname{tg} k \quad (b-17)$$

Sustituyendo D_1 y D_3 en las ecuaciones (b-9), (b-11) y (b-12) se tiene:

en (b-a)

$$C \frac{k^2}{(z^2+k^2)} \frac{\text{Coshzb}}{\text{Coshz}} - D_2 \text{tghz} \text{coshzb} + D_2 \text{Sinhzb} + \quad (\text{b-17})$$

$$+ C \frac{z^2}{(z^2+k^2)} \frac{\text{Coskb}}{\text{Cosk}} - D_4 \text{tgk} \text{coskb} + D_4 \text{Sinkb} = C$$

Reordenando:

$$D_2 (\text{tghzCoshzb} - \text{Sinhzb}) + D_4 (\text{tgkCoskb} - \text{Sinkb}) =$$

$$- C \left\{ 1 - \frac{k^2 \text{Coshzb}}{(z^2+k^2) \text{Coshz}} - \frac{z^2 \text{Coskb}}{(z^2+k^2) \text{Cosk}} \right\} \quad (\text{b-18})$$

D_1 y D_3 en (b-11)

$$C_2 z \text{Coshzb} + C_4 k \text{Coskb} + D_2 z (\text{tghz} \text{Sinhzb} - \text{Coshzb}) + \\ \mp D_4 k (\text{tgkSinkb} + \text{Coskb}) =$$

$$- C \frac{z k}{(z^2+k^2)} \left\{ \frac{k \text{Sinhzb}(\text{coshz}-1) - z \text{SinkbCoshz}(\text{cosk}-1)}{\text{Coshz} \text{Cosk}} \right\} \quad (\text{b-19})$$

D_1 y D_3 en (b-12)

$$C_2 z^2 \text{Sinhzb} - C_4 k^2 \text{Sinkb} + D_2 z^2 (\text{tghz} \text{Coshzb} - \text{Sinhzb}) +$$

$$- D_4 k^2 (\text{tgk} \text{Coskb} - \text{Sinkb}) =$$

$$- C \frac{z^2 k^2}{(z^2+k^2)} \left\{ \frac{\text{Coshzb} \text{Cosk} (\text{Coshz}-1) - \text{Coskb} \text{Coshz} (\text{Cosk}-1)}{\text{Coshz} \text{Cosk}} \right\} \quad (\text{b-20})$$

Introduciendo las siguientes simplificaciones en las ecuaciones (b-18), (b-19) y (b-20) y agrupando con la ecuación (b-8) se obtiene un sistema de ecuaciones que permitirá determinar las constantes C_2 , C_4 , D_2 y D_4 .

Aproximando $\operatorname{Tgh} z$ a 1

y, considerando que $\operatorname{cosh} z$ para los valores usuales de z es del orden de 10^{99} o más.

$$\frac{1}{\operatorname{cosh} z} = 0$$

introduciendo en las ecuaciones arriba mencionadas se obtiene el sistema:

$$1. \quad C_2 \operatorname{Sinh} z b + C_4 \operatorname{Sink} b = C \left\{ 1 - \frac{1}{k^2 + z^2} (k^2 \operatorname{Cosh} z b + z^2 \operatorname{Cos} k b) \right\} \quad (\text{b-8})$$

$$2. \quad D_2 (\operatorname{Cosh} z b - \operatorname{Sinh} z b) + D_4 (\operatorname{tg} k \operatorname{Cos} k b - \operatorname{Sink} b) = \\ - C \left\{ 1 - \frac{z^2}{(z^2 + k^2)} \frac{\operatorname{Cos} k b}{\operatorname{Cos} k} \right\} \quad (\text{b-21})$$

$$3. \quad C_2 z \operatorname{cosh} z b + C_4 k \operatorname{Cos} k b - D_2 z (\operatorname{Cosh} z b - \operatorname{Sinh} z b) + \\ - D_4 k (\operatorname{tg} k \operatorname{Sink} b + \operatorname{Cos} k b) = \\ = -C \frac{z k}{(z^2 + k^2)} \left(k \operatorname{sinh} z b - z \operatorname{sink} b + z \frac{\operatorname{Sink} b}{\operatorname{Cos} k} \right) \quad (\text{b-22})$$

$$\begin{aligned} 4. \quad & C_2 z^2 \operatorname{Sinh} z b - C_4 k^2 \operatorname{Sink} b + D_2 z^2 (\operatorname{Cosh} z b - \operatorname{Sinh} z b) + \\ & - D_4 k^2 (\operatorname{tg} k \operatorname{Cos} k b - \operatorname{Sink} b) = \\ & - C \frac{z^2 k^2}{(z^2 + k^2)} (\operatorname{Cosh} z b - \operatorname{cos} k b + \frac{\operatorname{cos} k b}{\operatorname{Cos} k}) \end{aligned} \quad (\text{b-23})$$

APENDICE C

SOLUCION ESTATICA PARA EL MOMENTO FLECTOR EN EL APOYO

Se considerará el cable como una viga uniforme empotrada en sus extremos, sometida a una tensión axial H y soportando su propio peso w .

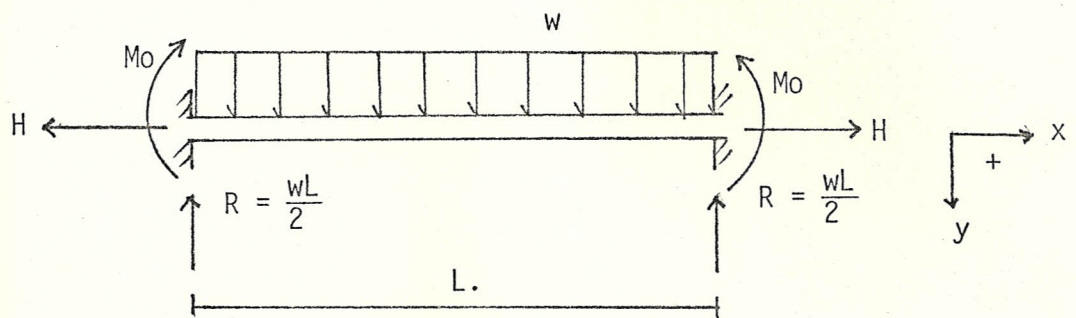


FIGURA C.1 VIGA EMPOTRADA CON FLEXION Y TENSION AXIAL

Estableciendo la ecuación diferencial de la elástica de la viga mostrada se tiene:

$$EI \frac{d^2y}{dx^2} = -M \quad (c-1)$$

$$-EI \frac{d^2y}{dx^2} = Mo - Hy + Rx - \frac{w}{2} x^2 \quad (c-2)$$

Ordenando términos:

$$-EI \frac{d^2y}{dx^2} + Hy = Mo + \frac{wL}{2} x - \frac{w}{2} x^2 \quad (c-3)$$

$$\frac{d^2y}{dx^2} - \frac{Hy}{EI} = -\frac{M_0}{EI} - \frac{wL}{2EI}x + \frac{w}{2EI}x^2 \quad (c-4)$$

Solución de la ecuación homogénea:

$$\frac{d^2y}{dx^2} - \frac{Hy}{EI} = 0 \quad (c-5)$$

Ecuación característica:

$$m^2 - \frac{H}{EI} = 0 \quad (c-6)$$

$$m_{1,2} = \pm \sqrt{\frac{H}{EI}} \quad (c-7)$$

llamando k a la raíz de la ecuación característica se obtiene:

$$y_H = C_1 \cosh kx + C_2 \sinh kx \quad (c-8)$$

Solución particular

Asumiendo una solución particular de la forma

$$y_p = Ax^2 + Bx + C \quad (c-9)$$

Sustituyendo en la ecuación no homogénea:

$$A \frac{H}{EI} (Ax^2 + Bx + C) = -\frac{M_0}{EI} - \frac{wL}{2EI}x + \frac{w}{2EI}x^2 \quad (c-10)$$

Donde A, B y C se obtienen por coeficientes indeterminados:

$$-A \frac{H}{EI} = \frac{w}{2EI}$$

$$A = -\frac{w}{2H}$$

$$- \frac{HB}{EI} = -\frac{wL}{2EI}$$

$$B = \frac{wL}{2H}$$

$$2A - \frac{H}{EI} C = -\frac{M_0}{EI}$$

$$C = \frac{EI}{H} \left(\frac{M_0}{EI} - \frac{w}{H} \right)$$

Solución completa:

$$y = y_H + y_p$$

$$y = C_1 \cosh kx + C_2 \sinh kx - \frac{w}{2H} x^2 + \frac{wL}{2H} x + \frac{EI}{H} \left(\frac{M_0}{EI} - \frac{w}{H} \right) \quad (c-11)$$

Para determinar las constantes C_1 y C_2 se aplicará las condiciones de borde para $x = 0$

$$1. \quad x = 0 \quad y = 0$$

$$2. \quad x = 0 \quad \dot{y} = 0$$

$$1. \quad C_1 + \frac{EI}{H} \left(\frac{M_0}{EI} - \frac{w}{H} \right) = 0$$

$$C_1 = -\frac{EI}{H} \left(\frac{M_0}{EI} - \frac{w}{H} \right)$$

$$2. \quad C_2 k + \frac{wL}{2H} = 0$$

$$C_2 = - \frac{wL}{2kH}$$

Quedando entonces la solución para la deflexión, en función del momento flector en el extremo, como sigue:

$$y = - \frac{EI}{H} \left(\frac{M_0}{EI} - \frac{w}{H} \right) \text{Cosh}kx - \frac{wL}{2kH} \text{Sinh}kx - \frac{w}{2H} x^2 + \frac{wLx}{2H} + EI \left(\frac{M_0}{EI} - \frac{w}{H} \right) \quad (\text{c-12})$$

Para determinar M_0 se aplicará a la ecuación c-12 una condición de borde en $x=L$.

$$3. \quad x = L \quad y/x = L = 0$$

$$3. \quad - \frac{EI}{H} \left(\frac{M_0}{EI} - \frac{w}{H} \right) \text{Cosh}kL - \frac{wL}{2kH} \text{Sinh}kL - \frac{w}{2H} L^2 + \frac{wL^2}{2H} + \frac{EI}{H} \left(\frac{M_0}{EI} - \frac{w}{H} \right) =$$

$$- \frac{EI}{H} \left(\frac{M_0}{EI} - \frac{w}{H} \right) (\text{Cosh}kL - 1) - \frac{wL}{2kH} \text{Sinh}kL = 0$$

$$- EI \left(\frac{M_0}{EI} - \frac{w}{H} \right) = \frac{wL \text{Sinh}kL}{2k (\text{Cosh}kL - 1)}$$

$$M_0 = - \frac{wL \text{Sinh}kL}{2k (\text{Cosh}kL - 1)} + \frac{EI w}{H} \quad (\text{c-13})$$

El cual es el M. Flector en el apoyo.

Para simplificar la expresión se puede hacer la siguiente aproximación:

$$\cosh kL \gg 1$$

$$\sinh kL \approx \cosh kL \quad ; \quad \frac{\sinh kL}{\cosh kL} \approx 1$$

introduciendo en la ecuación:

$$M_0 = -\frac{wL}{2k} + \frac{EIw}{H}$$

$$M_0 = w \left(\frac{EI}{H} - \frac{L}{2K} \right) \quad (c-14)$$

Sustituyendo M_0 en la solución:

$$y = -\frac{EI}{H} \left(\frac{M_0}{EI} - \frac{w}{H} \right) (\cosh kx - 1) - \frac{wL}{2kH} \sinh kx - \frac{w}{2H} x^2 + \frac{wLx}{2H}$$

$$y = -\frac{EI}{H} \left(\frac{w}{H} - \frac{wL}{2KEI} - \frac{w}{H} \right) (\cosh kx - 1) - \frac{wL}{2kH} \sinh kx - \frac{w}{2H} x^2 + \frac{wLx}{2H}$$

$$y = \frac{wL}{2kH} (\cosh kx - 1) - \frac{wL}{2kH} \sinh kx - \frac{w}{2H} x^2 + \frac{wL}{2H} x$$

$$y = -\frac{wL}{2kH} (\sinh kx - (\cosh kx - 1)) - \frac{w}{2H} x^2 + \frac{wL}{2H} x \quad (c-15)$$

APENDICE D

DETERMINACION EXPERIMENTAL DE LA RIGIDEZ DEL CABLE

DISPOCICION EXPERIMENTAL

El esquema a continuación muestra la disposición del equipo y diversos parámetros que intervienen:

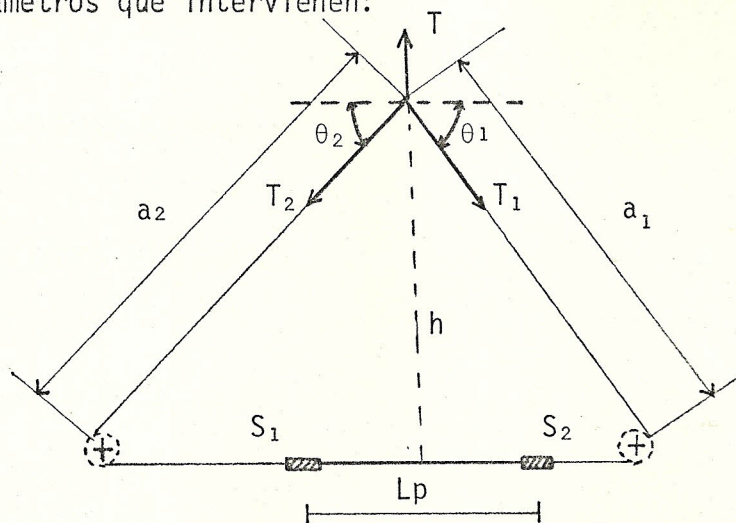


FIGURA D.1 DISPOSICION EXPERIMENTAL

Como se ve la tensión fué aplicada indirectamente a través de un te-
cle. Los soportes rigidos S_1 y S_2 se consiguieron con dos tornillos
de banco.

Los ángulos θ_1 y θ_2 son aproximadamente iguales por lo que se conside-
rará al cable tensado a la tensión promedio de T_1 y T_2 .

INSTRUMENTOS DE MEDICION

- Dinamómetro: utilizado para medir la tensión aplicada
0 - 25 kg/1 gr.
- Calibrador Vernier = 0.01/mm. para medir las deflexiones
- Flexómetros: para medir el resto de longitudes: L_p , a_1 , a_2 , h ,
etc.
- Pesos: venían tarados en kg.

TIPOS DE CABLE UTILIZADOS

- Cable de Aluminio # 6

Dext = 4.45 mm.

7 x ϕ 1.65 mm.

Paso \approx 8 cm.

Tensión de rotura: 415 kg.

- Cable de Aluminio # 2

Dext = 7.42 mm.

7 x ϕ 2,7 mm.

Paso \approx 12 cm.

Tensión de rotura = 635 Kg.

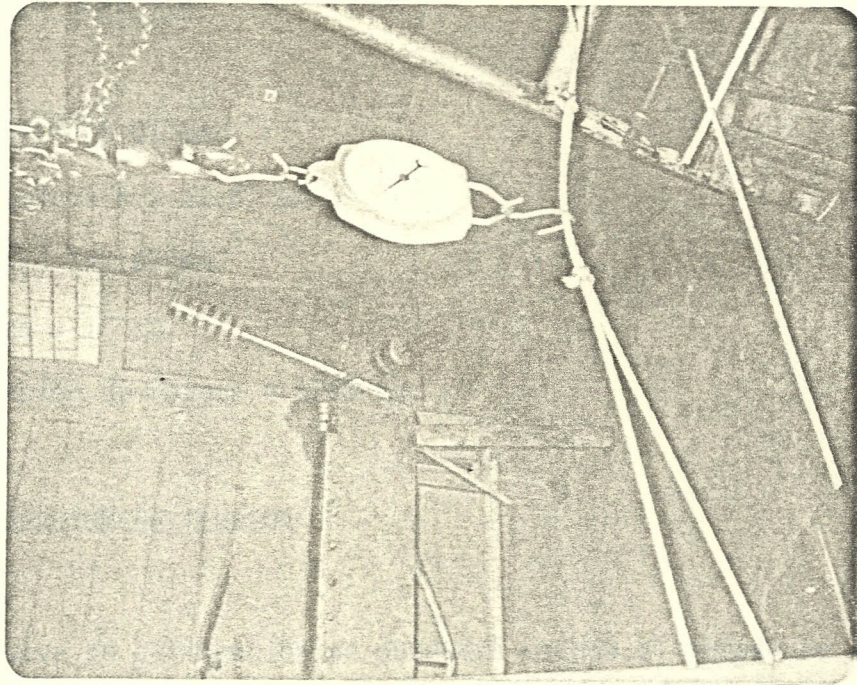


FIGURA D.3 DISPOSICION EXPERIMENTAL

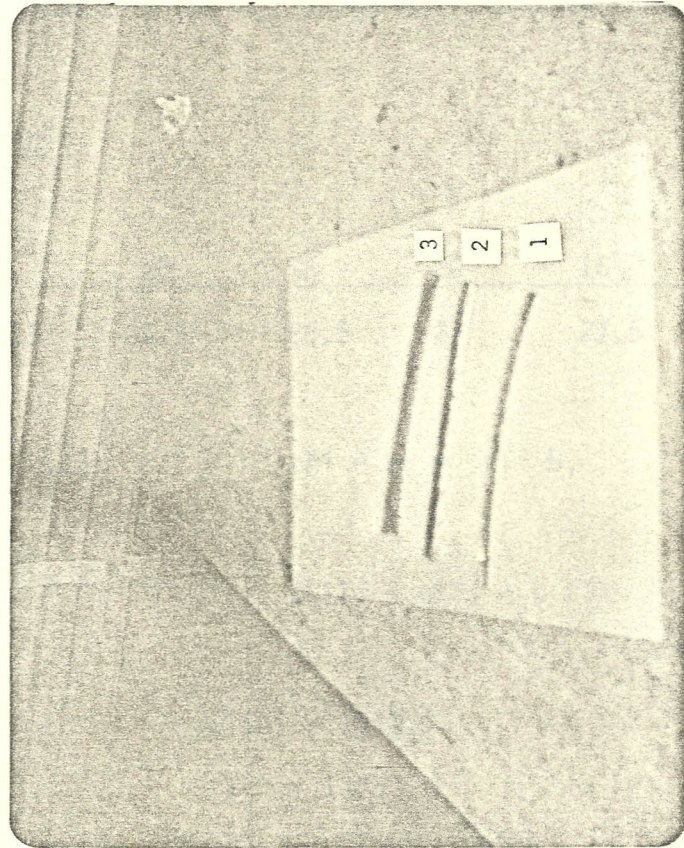


FIGURA D.2 TIPOS DE CABLE

- 1. # 6 Aluminio
- 2. # 2 Aluminio
- 3. # 2 ACSR

- Cable ACSR # 2

Dext. = 8.01 mm.

Aluminio 6 x ϕ 2.67 mm.

Acero 1x2.67 mm.

Paso \approx 12 cm.

Tensión de rotura = 1265 kg.

CALIBRACION DE TENSION

La curva de calibración se obtendrá usando el método de los mínimos cuadrados para $h = f(T)$ siendo h la distancia mostrada en la figura D.1 y T tensiones dentro del rango del dinamómetro empleado

Cable # 2 Aluminio

T (kg)	5	10	15	20	15
h (cm)	22.5	25.5	26.5	27	27.5

$$h = bT + a \quad (1)$$

$$\sum h_i = na + \sum T_i b. \quad (2)$$

$$\sum h_i T_i = a \sum T_i + b \sum T_i^2 \quad (3)$$

$$n = 5$$

$$\sum T_i = 75$$

$$\sum T_i h_i = 1992.5$$

$$\sum h_i = 129$$

$$\sum T_i^2 = 1375$$

Resolviendo simultáneamente 2 y 3 se obtiene

$$a = 22,35$$

$$b = 0.23$$

Sustituyendo en la ecuación 1.

$$h = 22.35 + 0.23 T$$

Cable # 2 ACSR

T (kg)	5	10	15	20	25
h (cm)	19.5	21	22.5	23	24.5

$$\sum Ti = 75$$

$$\sum Tihi = 1717.5$$

$$\sum hi = 110.5$$

$$\sum Ti = 1375$$

$$a = 18.5$$

$$b = 0.2$$

$$h = 18.5 + 0.2T$$

PRUEBAS DE FLEXION

Pruebas con cable # 6 Aluminio

Prueba # 1

$$T = 11 \text{ kg}$$

$$Lp = 99.5 \text{ cm}$$

$$a_1 = 91 \text{ cm}$$

$$a_2 = 86.5 \text{ cm.}$$

P (kg)	1.	1.5	2	2.5	3	4
δ (mm)	9.76	13.40	17.60	20.58	23.15	27.2

Prueba # 2

T = 16 Kg Lp = 99 cm. $a_1 = 91.5$ cm. $a_2 = 86.5$ cm.

P (kg)	1	1.5	2.0	2.5	3.	4.	5	6
δ (mm)	6.54	10.60	13.42	16.26	20.45	23.5	25.78	31.62

Prueba # 3

T = 21 kg Lp = 99 cm. $a_1 = 92$ cm. $a_2 = 86.5$ cm

P (kg)	1.5	2.	2.5	3.	4.	5.
δ (mm)	9.60	12.00	14.26	16.38	20.45	23.58

Prueba # 4

T = 24 kg Lp = 102 cm. $a_1 = 92.5$ cm. $a_2 = 87$ cm.

P (kg)	1.5	2.	2.5	3.	4.	5.	6.
δ (mm)	7.44	9.65	11.98	13.88	17.28	23.42	27.45

Pruebas con cable # 2 AluminioPrueba # 5

$h = 32.5 \text{ cm.}$ $L_p = 99 \text{ cm.}$ $a_1 = 88 \text{ cm.}$ $a_2 = 89 \text{ cm.}$

$T = 44 \text{ kg.}$

P (gk)	2.5	3.	3.5	4.	5.	6.	7.	8.	9
δ (mm)	9.32	10.86	11.91	13.92	16.67	18.22	20.	22.86	14.94

Prueba # 6

$h = 35 \text{ cm.}$ $L_p = 99 \text{ cm}$ $a_1 = 89 \text{ cm.}$ $a_2 = 91 \text{ cm.}$

$T = 55 \text{ kg}$

P (kg)	3.5	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
δ (mm)	8.35	9.96	11.51	13.51	15.51	17.90	18.62	20.32

Prueba # 7

$T = 62 \text{ kg}$ $L_p = 84 \text{ cm}$ $a_1 = 88 \text{ cm.}$ $a_2 = 93 \text{ cm.}$

P (kg)	6.	7.	8.	9.	10.	11
δ (mm)	8.10	8.36	8.86	10.02	11.15	12.46

Prueba # 8

$T = 105 \text{ kg.}$ $L_p = 84 \text{ cm.}$ $a_1 = 92 \text{ cm.}$ $a_2 = 94 \text{ cm.}$

$P \text{ (kg)}$	6.	7.	8.	9.	11.	13
$\delta \text{ (mm)}$	6.38	6.72	7.36	7.64	7.88	9.26

Cable # 2 ACSRPrueba # 9

$h = 28 \text{ cm.}$ $L_p = 100 \text{ cm.}$ $a_1 = 93.5 \text{ cm.}$ $a_2 = 83.5 \text{ cm.}$

$T = 46 \text{ kg.}$

$P \text{ (kg)}$	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.
$\delta \text{ (mm)}$	11.66	13.28	15.18	17.26	19.10	20.90	22.64

Prueba # 10

$h = 30.5 \text{ cm.}$ $L_p = 100 \text{ cm.}$ $a_1 = 94 \text{ cm.}$ $a_2 = 79 \text{ cm.}$

$T = 60 \text{ kg}$

$P \text{ (kg)}$	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.
$\delta \text{ (mm)}$	8.88	11.04	12.78	14.47	16.30	17.50	19.23	20.46

P (kg)	6.	7.	8.	9.	11.	13
δ (mm)	6.38	6.72	7.36	7.64	7.88	9.26

Cable # 2 ACSRPrueba # 9

$h = 28$ cm. $L_p = 100$ cm. $a_1 = 93.5$ cm. $a_2 = 83.5$ cm.
 $T = 46$ kg.

P (kg)	3	4.	5.	6.	7.	8.	9.
δ (mm)	11.66	13.28	15.18	17.26	19.10	20.90	22.64

Prueba # 10

$h = 30.5$ cm. $L_p = 100$ cm. $a_1 = 94$ cm. $a_2 = 79$ cm.
 $T = 60$ kg.

P (kg)	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.
δ (mm)	8.88	11.04	12.78	14.47	16.30	17.50	19.23	20.46

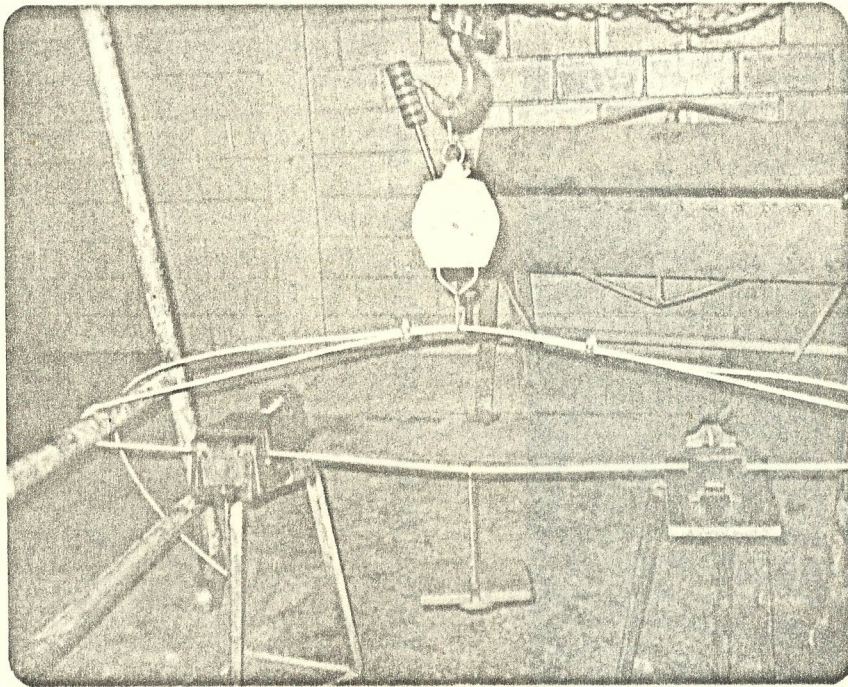


FIGURA D.4 CABLE CARGADO EN EL CENTRO DE LA LUZ

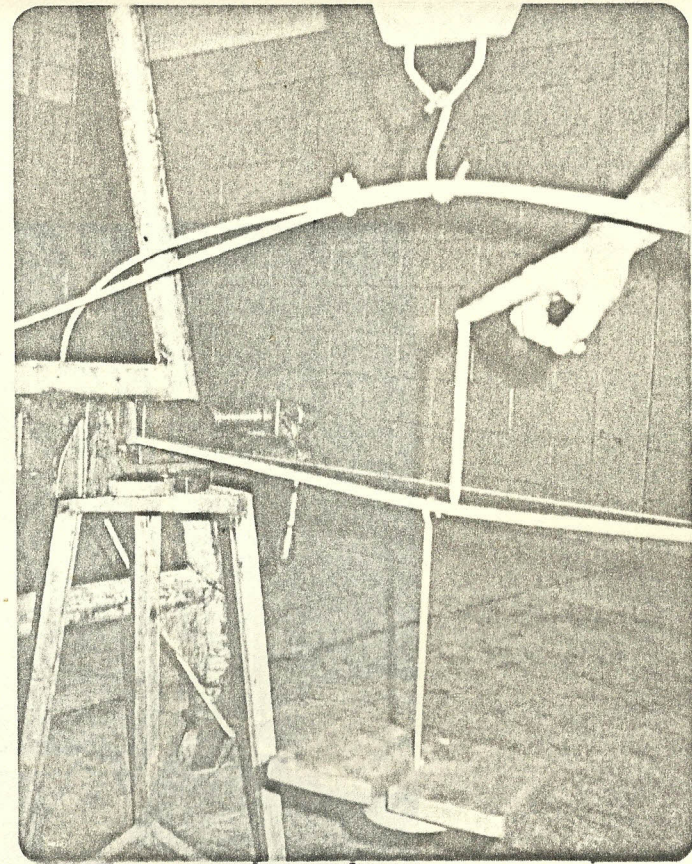


FIGURA D.5 PUNTO DE MEDICION DE LA DEFLEXION.

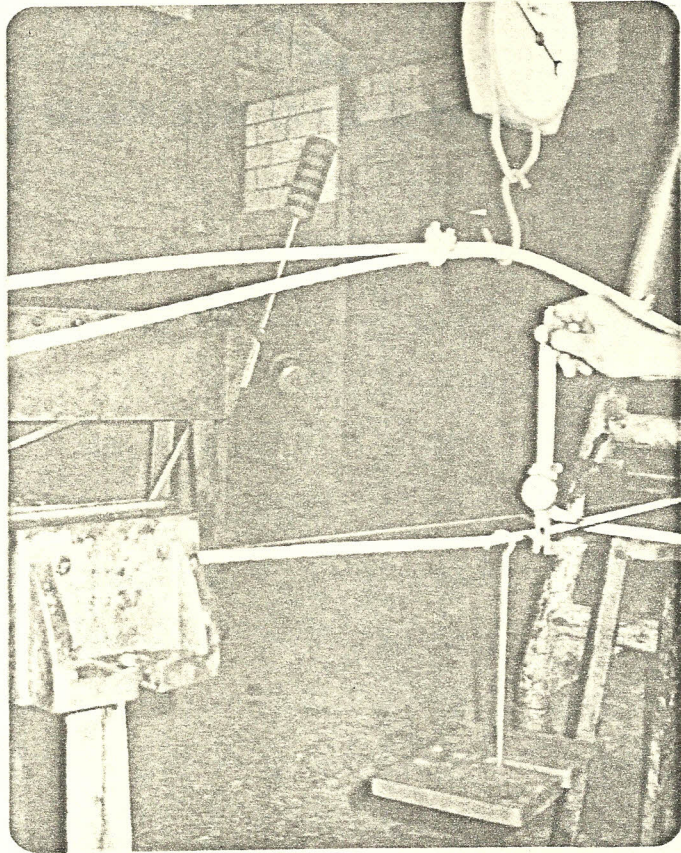


FIGURA D.6 MEDICION DE LA DEFLEXION

TENSION SOBRE LA LUZ DE PRUEBA

En general

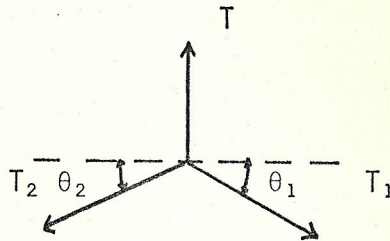


FIGURA D,7 TENSION SOBRE LA LUZ DE PRUEBA

$$\Sigma F_y = 0$$

$$T - T_1 \sin \theta_1 - T_2 \sin \theta_2 = 0 \quad (d-1)$$

$$\Sigma F_x = 0$$

$$- T_2 \cos \theta_2 + T_1 \cos \theta_1 = 0 \quad (d-2)$$

$$T_1 = \frac{T_2 \cos \theta_2}{\cos \theta_1} \quad (d-3)$$

Sustituyendo (d-3) en (d-1)

$$T = \frac{T_2 \cos \theta_2}{\cos \theta_1 \left(\frac{\cos \theta_2 \sin \theta_1 + \sin \theta_2}{\cos \theta_1} \right)}$$

Como \$T_1\$ y \$T_2\$ son aproximadamente iguales se considerará que la tensión promedio de ambos actúa sobre la luz de prueba.

TABLA VIII

Tensiones Promedio

PRUEBA	T	θ_1	θ_2	T_1	T_2	T_{prom}
1	11	13.7°	14.4°	22.	22.2	22.
2	16	14.9°	15.8°	31.1	31.2	31.
3	21	15.8°	16.8°	36.8	37.	37.
4	24	16.3°	17.4°	40.4	40.6	41.
5	44	21.7°	21.4°	60.1	60.	60.
6	55	23.2°	22.6°	70.8	70.6	71.
7	62	22.2°	21.9°	82.5	82.7	83.
8	105	30°	29.3°	106.4	105.8	106.
9	46	17.4°	19.6°	73.	72.1	72.
10	60	18.9°	22.7°	93.8	91.4	93.

TENSIONES EN kg

RIGIDEZ DEL CABLE

Se calculará a partir de la expresión para la deflexión en el centro de la luz (L_p), llamando H a la tensión promedio.

$$\delta = \frac{P}{kH} \left(\frac{kL}{4} - \frac{1 - e^{-kL/2}}{1 + e^{-kL/2}} \right) \quad (d-5)$$

$$\delta = P \left[\frac{L}{4H} - \frac{1}{kH} \left(\frac{1 - e^{-kL/2}}{1 + e^{-kL/2}} \right) \right] \quad (d-6)$$

$\delta = a P$ que representa la ecuación de una recta de pendiente a

$$a = \frac{L}{4H} - \frac{1}{kH} \left(\frac{1 - e^{-kL/2}}{1 + e^{-kL/2}} \right) \quad (d-7)$$

Para cada tensión se determina $k = \sqrt{\frac{H}{EI}}$ y de allí el valor de la rigidez EI .

OBTENCION DE LA ECUACION PARA $\frac{EI}{d^2} = f(H)$

Por regresión lineal se tiene una solución de la forma:

$$\frac{EI}{d^2} = a + b H \quad (d-8)$$

Para simplificar se reemplazará $\frac{EI}{d^2}$ por R en (d-8)

Se tomará en cuenta solamente los resultados de las pruebas 1,2,4,6, 7 y 8.

H(kg)	22	31	41	71	83	106
$\times 10^3$ R(kg)	5.9	6.3	9.3	10.8	19.9	28.3

$$\sum R_i = na + b \sum H_i \quad n = 6 \quad (d-9)$$

$$\sum R_i H_i = a \sum H_i + b \sum H_i^2 \quad (d-10)$$

Evaluando los coeficientes de las ecuaciones (d-9) y (d-10)

$$\sum R_i = 80.50 \times 10^3 \quad \sum R_i H_i = 6124.7 \times 10^3$$

$$\sum H_i = 354 \quad \sum H_i^2 = 26292.$$

Reemplazando en (d-9) y (d-10) se obtiene:

$$b = 254.3$$

$$a = -1587$$

La ecuación d-8 quedaría entonces:

$$\frac{EI}{d^2} = -1587 + 254.3H \quad (d-11)$$

Obviamente esta ecuación carece de valor para $T = 0$ en realidad es aplicable solamente dentro del rango de tensiones ensayado.

TABLA IX
VALORES EXPERIMENTALES DE RIGIDEZ Y MODULO DE ELASTICIDAD

CABLE PRUEBA	Dext (mm)	H (kg)	Lp (cm)	a (mm/kg)	k (1/m)	EI Kg-mm ² x10 ³	EI/d ² Kgx10 ³	E* (kg/mm ²)	
ALUMINIO # 6	1	4.45	22	99.5	8.0	13.8	116	5.9	6026
	2	"	31	99.	6.0	15.8	124	6.3	6442
	3	"	37	99.	5.2	17.9	115	5.8	5974
	4	"	41	102.	4.6	14.8	184	9.3	9559
ALUMINIO # 2	5	7.42	60	99	3.1	16.4	223	4.1	1499
	6	"	71	99	2.2	10.9	595	10.8	3999
	7	"	83	84	1.2	8.6	1094	19.9	7352
	8	"	106	84	0.8	8.2	1560	28.3	10480
ACSR # 2	9	8.01	72	100	2.7	18.0	222	3.5	1099
	10	"	93	100	2.0	15.6	382	6.0	1890

* Obtenido a partir de EI, tomando $I = \pi Dext^4/64$

APENDICE E

PROGRAMAS PARA LA EVALUACION DE LOS MODELOS MATEMATICOS

EVALUACION DE LA SOLUCION DINAMICA PARA AMPLITUDES Y MOMENTOS FLECTORES.

- CABLE SIN ABSORBEDOR DE VIBRACIONES: PROGRAMA CVLTV

Este programa, en FORTRAN IV, permite evaluar las frecuencias naturales del cable, las fuerzas excitadoras, frecuencias de excitación y como objetivo principal el cálculo de las amplitudes de vibración y los momentos flectores a lo largo de todo el cable, subdividido en intervalos de 60 posiciones como máximo y para varias velocidades de viento.

A continuación se presentará ejemplos de algunos formatos de entrada de datos para los posibles usuarios del programa.

```

IMPLICIT REAL*8(A-H,O-Z)
REAL *8 PI, LONG, DEXT, TROTU, ELASTI, MOMIN, PESOL, TMAX, GRAVE, FRECN(10)
REAL *8 RVEL(3,15), VEL(60), STROUH, RO, CLV, POSIC, POS(60)
REAL *8 RPOS(3,15), AM(60), FM(60)
CHARACTER *2 SI, NO, RESP
INTEGER *4 KEYB-LPRI, TIPO(3)
LOGICAL TABLA
DATA PI/3.141592654D+00/, GRAVE/9.81D0/, RVEL/45*0.D0/, RPOS/45*0.D0/
DATA KEYB/1/, LPRI/6/, SI/'SI'/, NO/'NO'/
DATA TABLA/1*.FALSE./

```

```

=====
PROGRAMA PARA CALCULAR LOS MODOS NORMALES DE VIBRACION DE UN CA-
BLE , FRECUENCIAS DE EXCITACION EN VIBRACION INDUCIDA POR VIENTO
LAS AMPLITUDES Y LOS MOMENTOS FLECTORES ALCANZADOS EN VIBRACION I
CIDA POR VIENTO .
=====

```

```

READ (KEYB,700 ) STROUH,RO,CLV
FORMAT ( D15.8 )

```

```

** ELABORACION DE UNA TABLA DE LOS MODOS NORMALES DE VIBRACION **
=====

```

```

READ (KEYB,501) TIPO
FORMAT (3A4)
READ (KEYB,700 )LONG,DEXT,TROTU,PORC,ELASTI,PESOL
TMAX= PORC * TROTU

```

```

DESEA UNA TABLA DE LOS MODOS NORMALES DE VIBRACION

```

```

READ (KEYB,502) RESP
FORMAT (A2)
IF (RESP .EQ. NO) GO TO 110
WRITE (LPRI,301)
FORMAT(1H1/19X,'MODOS NORMALES DE VIBRACION PARA UN CABLE'///,27X,
1'CARACTERISTICAS DEL CABLE'///)
WRITE(LPRI,302)TIPO,TROTU, LONG, ELASTI, DEXT, PESOL
FORMAT(7X,'TIPO',6X,3A4,23X,'TENSION DE ROTURA=' ,D15.4,1X,'KG',//,
17X,'LONGITUD=' ,D10.4,1X,'M',25X,'MODULO DE ELASTICIDAD =' ,D10.4,
21X,'KG/M2',//,7X,'DIAMETRO EXT.=' ,D10.4,1X,'M',20X,'PESO POR UNIDA
30 DE LONG.=' ,D10.4,1X,'KG/M',///,32X,'MODOS NORMALES',///,7X,'1',
48X,'2',8X,'3',8X,'4',8X,'5',8X,'6',8X,'7',8X,'8',8X,'9',8X,'10')

```

```

** CALCULO DE LAS FRECUENCIAS NATURALES DEL CABLE **

```

```

MOMIN=PI*(DEXT**4)/64.
TMAX = PORC *TROTU
A1 = TMAX /(ELASTI*MOMIN)
A2 = ELASTI*MOMIN*GRAVE/PESOL
A3 = (PI / LONG) **2
XN = 0.D0
DO 108 I = 1,191,10
    J = I - 1
DO 107 K=1,10
    XN = XN + 1.D0

```

```

          QN2 = XN * XN * A3
107      FRECN (K) =(DSQRT ( QN2 * (QN2 + A1) * A2 ))/(2.*PI)
108      WRITE (LPRI,303) J, (FRECN (K), K = 1, 10)
303      FORMAT (///1H0,I3,10(1X,D8.2))
          WRITE (LPRI,304)
304      FORMAT (///1H0,2X,'FRECUENCIAS EN HERTZ')
=====
          CALCULO DE LA FUERZA EXCITADORA Y FRECUENCIA DE EXCITACION
          PARA VARIAS VELOCIDADES DE VIENTO
=====
          LECTURA DE RANGOS DE VELOCIDAD DE VIENTO
-----
110      DO 111 J= 1, 15
          READ (KEYB,800,END=112) RVEL(1,J),RVEL(2,J),RVEL(3,J)
300      FORMAT(3D10.2)
          IF(RVEL(2,J)-RVEL(1,J))111,112,111

111      CONTINUE
148      J = 16

112      J=J-1
          I = 0
          DO 114 K = 1, J
          VELOC = RVEL (1,K)
113      I = I+1
          IF (I .GT. 60) STOP 0001
          VEL (I) = VELOC
          VELOC = VELOC + RVEL (3,K)
          IF (VELOC .LE. RVEL (2,K)) GO TO 113
114      CONTINUE
          L = I-1
          DO 117 J = 1, L
          M = J + 1
          DO 116 K = M, I
          IF (VEL(J) - VEL(K)) 116, 116, 115
115      VELOC=VEL(J)
          VEL(J)=VEL(K)
          VEL(K)=VELOC
116      CONTINUE
117      CONTINUE
=====
          ELABORACION DE UNA TABLA DE VELOCIDADES DE VIENTO,FUERZAS
          EXCITADORAS Y FRECUENCIAS CORRESPONDIENTES
=====
          WRITE (LPRI,305)
305      FORMAT (1H1/28X,'FRECUENCIA Y FUERZA EXCITADORAS PARA DIVERSAS
          1VELOCIDADES DE VIENTO'////41X,'VELOCIDAD',10X,'FRECUENCIA',11X,
          2'FUERZA',///45X,'M/S',15X,'HERTZ',15X,'KG/M'//)
          C1 = STROUH / DEXT
          C2 = 0.500 *CLV*RO
          DO 120 J = 1, I
          VELOC=VEL(J)
          FRECU = C1 * VELOC
          FUERZ = C2 * VELOC * VELOC * DEXT
120      WRITE (LPRI,306) VELOC,FRECU,FUERZ

```

```

306  FORMAT (39%,3(D10.3,10X))
=====
      ELABORACION DE UNA TABLA DE AMPLITUDES Y MOMENTOS FLECTORES
=====
      'DESEA UNA TABLA DE AMPLITUDES Y MOMENTOS FLECTORES '
121  READ (KEYB,502) RESP
      IF (RESP .EQ. SI) TABLA = .TRUE.
      IF (.NOT. (TABLA)) STOP
=====
                                LECTURA DE RANGO DE POSICIONES EN EL CABLE
=====
DO 122 J = 1, 15
      READ (KEYB,900,END = 123) RPOS(1,J), RPOS(2,J), RPOS(3,J)
900  FORMAT (3D10.2)
      IF (RPOS(2,J)-RPOS(1,J)) 122,123,122
122  CONTINUE
150  J = 16
123  J=J-1
      N = 0
DO 125 K = 1, J
      POSIC = RPOS (1,K)
124  N = N + 1
      IF (N .GT. 60) STOP 0002
      POS (N) = POSIC
      POSIC = POSIC + RPOS (3,K)
      IF (POSIC .LE. RPOS (2,K)) GO TO 124
125  CONTINUE
      L = N - 1
DO 128 J = 1, L
      M = J + 1
DO 127 K=N,M
      IF (POS(J)-POS(K)) 127,127,126
126  POSIC=POS(J)
      POS(J)=POS(K)
      POS(K)=POSIC
127  CONTINUE
128  CONTINUE
      A4 = A1 * 0.500
      A5 = A4 * A4
DO 140 J =1, I
      VELOC = VEL (J)
      FRECU = C1 * VELOC
      RFRECU=FRECU*2.*PI
      FUERZ = C2 * VELOC * VELOC * DEXT
      FREC2 =RFRECU *RFRECU
=====

```

EVALUACION DE LOS COEFICIENTES ADIMENSIONALES Y
RAICES DE LA ECUACION CARACTERISTICA

```

MOMIN= PI*(DEXT**4)/64.
A=ELASTI*MOMIN/(PESOL*FREC2*(LONG**4))
B=TMAX *GRAVE/(PESOL*FREC2*(LONG**2))
C=FUERZ*GRAVE/(PESOL*FREC2*LONG)
CZK2=DSQRT((B/(2*A))**2+(1/A))
CK2= CZK2-(B/(2*A))
=====

```

```

CZ2= CZK2+(B/(2*A))
CZ= DSQRT(CZ2)
CK= DSQRT(CK2)
CKSS= CK2/(CK2+CZ2)
CZSS= CZ2/(CK2+CZ2)
SKL =DSIN(CK)

```

CALCULO DE AMPLITUDES Y MOMENTOS FLECTORES

```

DO 129 K = 1, N
  POSAD = POS(K)/LONG
  POSZ=CZ*POSAD
  CPOSZ=CZ*(1.-POSAD)
  F1= (DSIN(CK*(1.DO - POSAD )) + DSIN( CK* POSAD))/SKL
  AM(K) = C*(CZSS*F1 -1.DO)
  IF(POSZ-170.)210,200,200
200  POSZ=170.
210  IF(CPOSZ-170.)230,220,220
220  CPOSZ=170.
230  IF(CZ-170.)250,240,240
240  CZ=170.
250  SHZL=DSINH(CZ)
260  F2=(DSINH(CPOSZ)+DSINH(POSZ))/SHZL
  FM(K)=(C*ELASTI*MOMIN*CK2*CZ2*(F1-F2))/((CK2+CZ2)*LONG)
129  CONTINUE
  WRITE(LPRI,307)TIPO,VEL(J)
307  FORMAT(1H1//31X,'AMPLITUDES Y MOMENTOS FLECTORES PARA UN CABLE
1TIPO',2X,3A4, //31X,'VELOCIDAD DE VIENTO',D10.3,'M/S', //37X,
2' POSICION',13X,'AMPLITUD',12X,'M. FLECTOR'/41X,'M',38X,'KG-M')
DO 131 K=1,N
131  WRITE(LPRI,308)K,POS(K),AM(K),FM(K)
308  FORMAT('0',32X,I2,2X,D10.3,10X,D10.3,10X,D10.3)
140  CONTINUE
  STOP
  END

```

FORMATOS DE ENTRADA DE DATOS

- Lectura de número de Strouhal, densidad del aire y coeficiente de empuje oscilante.

```
READ (1,700) STROUH, RO, CLV  
700 FORMAT (D 15.8)
```

El formato indica que cada variable dispone de un campo de 15 columnas, ocho de las cuales son posiciones decimales; el punto decimal va en la columna 7.

- Lectura del nombre del cable

```
READ (1,501) TIPO  
501 FORMAT (3A4)
```

"TIPO" es una variable alfanumérica; se dispone de doce posiciones a partir de la primera columna.

- Lectura de decisiones

```
READ (1,502) RESP.  
502 FORMAT (A2)
```

Esta variable de caracteres puede tomar los valores "SI" y "NO", según se desee o no una tabla de las frecuencias naturales del cable.

Tiene asignado un campo de dos posiciones, columnas 1 y 2.

- Lectura de rangos de velocidad de viento.

```
      READ(1,800, END=112) RVEL(1,J), RVEL(2,J), RVEL(3,J)
      800 FORMAT (3 D10.2)
```

RVEL(1,J), RVEL(2,J) y RVEL(3,J) son: velocidad inicial, velocidad final e incremento de velocidad respectivamente.

Cada variable se lee en su campo de 10 posiciones, dos de las cuales son decimales.

A RVEL(1,J) le corresponden las columnas 1 a 10, el punto decimal en la octava columna; a RVEL(2,J) de la columna 11 a la 20, punto decimal en la columna 18; a RVEL(3,J) de la 21 a la 30, punto decimal en la columna 28. Permite el ingreso de quince rangos de velocidad, con un máximo de 60 velocidades en total.

Al terminar el ingreso de estos datos, debe asignarse a cada variable el valor 0.0, para que concluya la lectura.

Los rangos de posiciones en el cable se leen bajo el mismo formato.

La figura E.1, a continuación muestra los ejemplos citados tal como aparecerían en un miembro de datos, en las 72 columnas disponibles.

EXPLICACION DE LA FIGURA E.1

Es conveniente aclarar que el esquema no es un miembro de datos completos para CVLTV, solo una representación de los ejemplos anteriores.

Al elaborar el miembro de datos no deberá dejarse líneas en blanco entre los mismos.

Los primeros tres valores corresponden a las variables STROUH, R0 y CLV, según el formato D15.8.

Las dos líneas siguientes corresponden a las variables TIPO y RESP respectivamente.

El próximo grupo de datos es un rango de velocidad de viento, como se explicó desde RVEL(1,J) igual a 0.0m/s hasta RVEL(2,J) igual a 6m/s cada RVEL(3,J) de 0.2m/s.

El último grupo presenta 3 rangos de posiciones en el cable. El primero desde RPOS(1,J) igual a 0.0m hasta RPOS(2,J) igual a 6.0m cada RPOS(3,J) de 0.2m. El segundo rango va desde 7.m hasta 20m. cada 1.m; el tercero desde 125m hasta 150.m cada 5.0m.

En el caso de ejecutar el programa para los rangos de velocidad y posición mostrados, éste calculará amplitudes y momentos flectores con:

- 4m/s, para puntos en el cable desde 0.0m hasta 6.0m, 7m. a 20.m y 125.0m a 150.m.

- 5m/s, de 0.0 a 6m, de 7.m a 20.m y de 125.m a 150.m. Lo mismo para 6m/s.

- CABLE CON ABSORBEDOR DE VIBRACIONES: PROGRAMA AVIBR3.

Este programa, en FORTRAN, calcula amplitudes y momentos flectores para el cable con absorbedor, para una velocidad de viento determinada y cualquier posición dentro del cable.

Los formatos para ingreso de datos son similares a los del programa CVLTU, sin embargo se presentará algunos ejemplos.

FORMATOS PARA ENTRADA DE DATOS

- Lectura de velocidad de viento y posición del absorbedor

```
READ (1,120) VELOC, POSAB
```

```
120 FORMAT (2D15.8)
```

Las variables VELOC y POSAB son velocidad de viento y posición del absorbedor respectivamente.

A cada uno se asignan quince posiciones, ocho de las cuales son decimales. Así para VELOC el punto decimal deberá ir en la columna 7 y para POSAB en la columna 23.

```

IMPLICIT REAL *8(A-H,O-Z)
REAL*8 LONG,PI,DIAM, TROTU,ELASTI,PESOL,TMAX,MOMIN,GRAVE
REAL*8 VELOC,STROUH,RO,CLV,POSIC,POS(60),POSAB
REAL*8 RPOS(3,15),AMI(60),FM1(60),AM2(60),FM2(60),A(80),FM(80)
INTEGER*4 KEYB,LPRI,TIPO(3)
DATA GRAVE/9.81D0/,RPOS/45*0.D0/,PI/3.14159/
DATA KEYB/1/,LPRI/6/

```

```

=====
PROGRAMA PARA EVALUAR AMPLITUDES Y MOMENTOS FLECTORES
EN UN CABLE CON ABSORBEDOR DE VIBRACION.
=====

```

```

40 READ(KEYB,40)STROUH,RO,CLV
FORMAT(D15.8)
101 READ(KEYB,80)TIPO
80 FORMAT(3A4)
110 READ(KEYB,110)LONG,DIAM,TROTU,ELASTI,PORC,PESOL
FORMAT(D15.8)
120 READ(KEYB,120)VELOC,POSAB
FORMAT(2D15.8)

```

```

-----
CALCULO DE LA FUERZA EXITADORA Y FRECUENCIA
-----

```

```

C1= STROUH/DIAM
C2= 0.5D0*CLV*RO
FRECU=C1*VELOC
RFRECU=FRECU*2.*PI
FREC2=RFRECU*RFRECU
FUERZ= C2*VELOC*VELOC*DIAM
200 WRITE(LPRI,220)VELOC,FRECU,FUERZ,POSAB
220 FORMAT(1H1,38X,'VELOCIDAD =',2X,D10.2,2X,'M/S',//,39X,'FRECUENCIA
*=',2X,D10.2,2X,'HERTZ',//,39X,'FUERZA =',2X,D10.2,2X,'KG',//39X,
*' POSICION DEL ABSORBEDOR =',2X,D10.2,2X,'M')

```

```

=====
CALCULO DE LOS GRUPOS ADIMENSIONALES A,B,C
DE LA ECUACION DEL CABLE
=====

```

```

TMAX= PORC *TROTU
MOMIN= PI*(DIAM**4)/64.
A1=ELASTI*MOMIN*GRAVE/(PESOL*FREC2*(LONG**4))
B1=TMAX*GRAVE/(PESOL*FREC2*(LONG**2))
C= FUERZ*GRAVE/(PESOL*FREC2*LONG)

```

```

=====
CALCULO DE LAS RAICES DE LA ECUACION CARACTERISTICA CK Y CZ
=====

```

```

CZK2 =DSQRT((B1/(2*A1))**2+(1/A1))
CK2= CZK2-(B1/(2*A1))
CZ2= CZK2 +(B1/(2*A1))
CK=DSQRT( CK2)
CZ=DSQRT(CZ2)
CKSS= CK2/(CK2+CZ2)
CZSS= CZ2/(CK2+CZ2)
APOSAB=POSAB/LCNG
RZ= CZ*APOSAB
RK= CK* APOSAB
=====

```

DETERMINACION DE LAS CONSTANTES DE LA SOLUCION C2,C4,D2,D4

```

=====
SZB=DSINH(CZ*APOSAB)
CZB=DCOSH(CZ*APOSAB)
SKB=DSIN(CK*APOSAB)
CKB=DCOS(CK*APOSAB)
CCK=DCOS(CK)
TK= DTAN(CK)
DZB=CZB-SZB
F=(TK*CKB)-SKB
G=(TK*SKB)+CKB
H=(CK*CKB)-(CZ*CZB*SKB/SZB)
Q=SKB*(CZ2+CK2)
RHQ=(F/SKB)-((CZ*F-CK*G)/H)
BC1=C*(1.-((CK2*CZB)+(CZ2*CKB))/(CZ2+CK2))
BC2=-C*(1.-(CKB*CZ2/(CCK*(CZ2+CK2))))
W=(CK*SZB)-(CZ*SKB)+(CZ*SKB/CCK)
BC3=-C*CZ*CK*W/(CZ2+CK2)
BC4=-C*CZ2*CKSS*(CZB-CKB+(CKB/CCK))
X1=CZ*BC2
X2=CZ*CZB*BC1/SZB
X3=CZ2*BC2
X4=CZ2*BC1
BBC3=BC3+X1-X2
BBC4=BC4-X3-X4
D4=-((BBC4/Q)+(BBC3/H))/RHQ
C4=(-BBC4/Q)-(F*D4/SKB)
D2=(BC2-(F*D4))/DZB
C2=(BC1-(SKB*C4))/SZB
C1=CK2*C/(CZ2+CK2)
C3=CZ2*C/(CZ2+CK2)
D1= - D2
D3=(C*CZ2/((CZ2+CK2)*DCOS(CK)))-D4*DTAN(CK)
=====

```

CALCULO DE AMPLITUDES Y MOMENTOS FLECTORES
EN PUNTOS ANTES Y DESPUES DEL ABSORBEDOR

```

=====
DO 600 J=1,15
  READ(KEYB,580,END=700)RPOS(1,J),RPOS(2,J),RPOS(3,J)
  FORMAT(3D10.4)
  IF(RPOS(2,J)-RPOS(1,J))600,700,600
CONTINUE

J=16
J=J-1
N=0
DO 750 K=1,J
  POSIC=RPOS(1,K)
  N=N+1
  IF(N.GT.60)STOP 0002
  POS(N)=POSIC
  POSIC=POSIC+RPOS(3,K)
  IF(POSIC.LE.RPOS(2,K))GO TO 710
=====

```

```

750 CONTINUE
  L=N-1
  DO 900 J=1,L
    M=J+1
  DO 850 K=N,M
    IF (POS(J)-POS(K))900,900,800
800     POSIC=POS(J)
    POS(K)=POSIC
850 CONTINUE
900 CONTINUE
  DO 1120 K=1,N
    POSAD=POS(K)/LONG
    POSZ=CZ*POSAD
    IF (POS(K)-POSAB)1000,1000,1020

    ** CALCULO DE AMPLITUDES PARA PUNTOS ANTES DEL ABSORBEDOR **

1000     BM1=C1*DCOSH(CZ*POSAD)+C2*DSINH(CZ*POSAD)
    BM2=C3*DCOS(CK*POSAD)+C4*DSIN(CK*POSAD)-C
    AM1(K)= BM1+BM2
1010     F1=C3*DCOS(CK*POSAD)+C4*DSIN(CK*POSAD)
    F2=C1*DCOSH(CZ*POSAD)+C2*DSINH(CZ*POSAD)

            **CALCULO DEL MOMENTO FLECTOR **

    FM1(K)=ELASTI*MDMIN*(CK2*F1-CZ2*F2)/LONG
    GO TO 1120

    ** CALCULO DE AMPLITUDES PARA PUNTOS MAS ALLA DEL ABSORBEDOR **

1015     POSZ=CZ*POSAD
1020     IF (POSZ-170.)1100,1100,1050
1050     POSZ=170.
1100     DM1=D1*DCOSH(POSZ)+D2*DSINH(POSZ)
    DM2=D3*DCOS(CK*POSAD)+D4*DSIN(CK*POSAD)-C
    AM2(K)= DM1+DM2
    G1=D3*DCOS(CK*POSAD)+D4*DSIN(CK*POSAD)
    G2=D1*DCOSH(POSZ)+D2*DSINH(POSZ)
    FM2(K)=ELASTI*MOMIN*(CK2*G1-CZ2*G2)/LONG

1120 CONTINUE
1150 WRITE(LPRI,1180)TIPO,VELOC
1180 FORMAT(1H1,31X,'AMPLITUDES Y MOMENTOS FLECTORES PARA UN CABLE
* TIPO',2X,3A4,'//31X,'VELOCIDAD DE VIENTO '2X,D10.2,'M/S',//39X,
* 'POSICION',12X,'AMPLITUD',10X,'M. FLECTOR',/,41X,'M',38X,'KG-M')

1200 DO 1250 K=1,N
  IF(POS(K)-POSAB)1220,1220,1230
1220 A(K)=AM1(K)
  FM(K)=FM1(K)
  GO TO 1250
1230 A(K)=AM2(K)
  FM(K)=FM2(K)
1250 WRITE(LPRI,1280)K,POS(K),A(K),FM(K)
1280 FORMAT('0',32X,I2,2X,D11.4,9X,D10.3,10X,D10.3)
1300 STOP
  END

```


- Lectura de posiciones

```
      READ(1,580,END=700) RPOS(1,J), RPOS(2,J), RPOS(3,J)
580 FORMAT (3D10.4)
```

Cada variable dispone de diez posiciones, cuatro de las cuales son para decimales.

Para RPOS(1,J) el punto decimal deberá ir en la columna 6; para RPOS(2,J) en la columna 16 y para RPOS(3,J) en la columna 26.

Al terminar de ingresar datos debe asignarse a cada variable el valor de 0.0 para que concluya la lectura.

La figura E.2 aclara los ejemplos citados.

EXPLICACION DE LA FIGURA E.2

La primera línea corresponde a las variables VELOC y POSAB a las que se ha asignado los valores 5m/s y 1.0m respectivamente.

El siguiente grupo de datos presenta dos rangos de posición en el primero: RPOS(1,J) igual a 0.0m, RPOS(2,J) igual a 6.0m cada RPOS(3,J) de 0.2 m. El segundo rango con RPOS(1,J) igual a 7.0m, RPOS(2,J) 25.m y RPOS(3,J) igual a 1.0m.

La fila de ceros al final indica que se ha terminado de dar rangos de posición.

En general y para ambos programas los datos deben escribirse en el orden en que aparecen los "READ" dentro del programa. Deben estar en unidades compatibles en el sistema MKS, es decir: longitudes en metros, fuerzas en kilogramos y tiempo en segundos.

APENDICE F

EVALUACION DE LOS MODELOS MATEMATICOS

CABLE SIN ABSORBEDOR DE VIBRACIONES

TIPO ACSR BLUEJAY
 LONGITUD=0.33000+03 M
 DIAMETRO EXT.=0.31937-01 "

* TENSION DE ROTURA= 0.14040+05 KG
 MODULO DE ELASTICIDAD =0.64700+10 KG/M2
 PESO POR UNIDAD DE LONG.=0.18750+01 KG/M

* Tensión aplicada = 20% T. de Rotura

MODOS NORMALES

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0.2020+00	0.4040+00	0.6060+00	0.8080+00	0.1010+01	0.1210+01	0.1410+01	0.1620+01	0.1820+01	0.2020+01
10	0.2220+01	0.2430+01	0.2630+01	0.2830+01	0.3030+01	0.3240+01	0.3440+01	0.3640+01	0.3850+01	0.4050+01
20	0.4250+01	0.4460+01	0.4660+01	0.4870+01	0.5070+01	0.5280+01	0.5480+01	0.5680+01	0.5890+01	0.6100+01
30	0.6300+01	0.6510+01	0.6710+01	0.6920+01	0.7130+01	0.7330+01	0.7540+01	0.7750+01	0.7960+01	0.8160+01
40	0.8370+01	0.8580+01	0.8790+01	0.9000+01	0.9210+01	0.9420+01	0.9630+01	0.9840+01	0.1010+02	0.1030+02
50	0.1050+02	0.1070+02	0.1090+02	0.1110+02	0.1130+02	0.1150+02	0.1180+02	0.1200+02	0.1220+02	0.1240+02
60	0.1260+02	0.1280+02	0.1300+02	0.1330+02	0.1350+02	0.1370+02	0.1390+02	0.1410+02	0.1440+02	0.1460+02
70	0.1490+02	0.1500+02	0.1520+02	0.1550+02	0.1570+02	0.1590+02	0.1610+02	0.1640+02	0.1660+02	0.1680+02
80	0.1700+02	0.1730+02	0.1750+02	0.1770+02	0.1800+02	0.1820+02	0.1840+02	0.1860+02	0.1890+02	0.1910+02
90	0.1930+02	0.1960+02	0.1980+02	0.2000+02	0.2030+02	0.2050+02	0.2080+02	0.2100+02	0.2120+02	0.2150+02
100	0.2170+02	0.2200+02	0.2220+02	0.2240+02	0.2270+02	0.2290+02	0.2320+02	0.2340+02	0.2370+02	0.2390+02
110	0.2410+02	0.2440+02	0.2460+02	0.2490+02	0.2510+02	0.2540+02	0.2560+02	0.2590+02	0.2620+02	0.2640+02
120	0.2670+02	0.2690+02	0.2720+02	0.2740+02	0.2770+02	0.2800+02	0.2820+02	0.2850+02	0.2870+02	0.2900+02
130	0.2930+02	0.2950+02	0.2980+02	0.3010+02	0.3030+02	0.3060+02	0.3090+02	0.3110+02	0.3140+02	0.3170+02
140	0.3190+02	0.3220+02	0.3250+02	0.3280+02	0.3300+02	0.3330+02	0.3360+02	0.3390+02	0.3420+02	0.3440+02
150	0.3470+02	0.3500+02	0.3530+02	0.3560+02	0.3590+02	0.3610+02	0.3640+02	0.3670+02	0.3700+02	0.3730+02
160	0.3760+02	0.3790+02	0.3820+02	0.3850+02	0.3880+02	0.3910+02	0.3940+02	0.3970+02	0.4000+02	0.4030+02
170	0.4060+02	0.4090+02	0.4120+02	0.4150+02	0.4180+02	0.4210+02	0.4240+02	0.4270+02	0.4300+02	0.4330+02
180	0.4360+02	0.4400+02	0.4430+02	0.4460+02	0.4490+02	0.4520+02	0.4550+02	0.4590+02	0.4620+02	0.4650+02
190	0.4680+02	0.4720+02	0.4750+02	0.4780+02	0.4810+02	0.4850+02	0.4880+02	0.4910+02	0.4950+02	0.4980+02

FRECUENCIA Y FUERZA EXCITADORAS PARA DIVERSAS VELOCIDADES DE VIENTO

VELOCIDAD	FRECUENCIA	FUERZA
M/S	HERTZ	KG/M
0.400D+01	0.238D+02	0.224D+00
0.500D+01	0.297D+02	0.350D+00
0.600D+01	0.356D+02	0.504D+00
0.700D+01	0.416D+02	0.686D+00

AMPLITUDES Y MOMENTOS FLECTORES PARA UN CABLE TIPO ACSR BLUEJAY
 VELOCIDAD DE VIENTO 0.4000+01M/S

	POSICION M	AMPLITUD	M. FLECTOR KG-M
1	0.0000+00	-0.304D-08	0.0000+00
2	0.2000+00	0.492D-07	0.105D-01
3	0.4000+00	0.881D-07	0.187D-01
4	0.6000+00	0.111D-06	0.244D-01
5	0.8000+00	0.118D-06	0.273D-01
6	0.1000+01	0.107D-06	0.273D-01
7	0.1200+01	0.788D-07	0.248D-01
8	0.1400+01	0.359D-07	0.198D-01
9	0.1600+01	-0.195D-07	0.128D-01
10	0.1800+01	-0.841D-07	0.430D-02
11	0.2000+01	-0.154D-06	-0.511D-02
12	0.2200+01	-0.225D-06	-0.148D-01
13	0.2400+01	-0.294D-06	-0.242D-01
14	0.2600+01	-0.355D-06	-0.326D-01
15	0.2800+01	-0.405D-06	-0.395D-01
16	0.3000+01	-0.442D-06	-0.444D-01
17	0.3200+01	-0.463D-06	-0.470D-01
18	0.3400+01	-0.467D-06	-0.471D-01
19	0.3600+01	-0.454D-06	-0.448D-01
20	0.3800+01	-0.424D-06	-0.399D-01
21	0.4000+01	-0.379D-06	-0.330D-01
22	0.4200+01	-0.322D-06	-0.243D-01
23	0.4400+01	-0.257D-06	-0.143D-01
24	0.4600+01	-0.186D-06	-0.356D-02
25	0.4800+01	-0.115D-06	0.720D-02
26	0.5000+01	-0.477D-07	0.174D-01

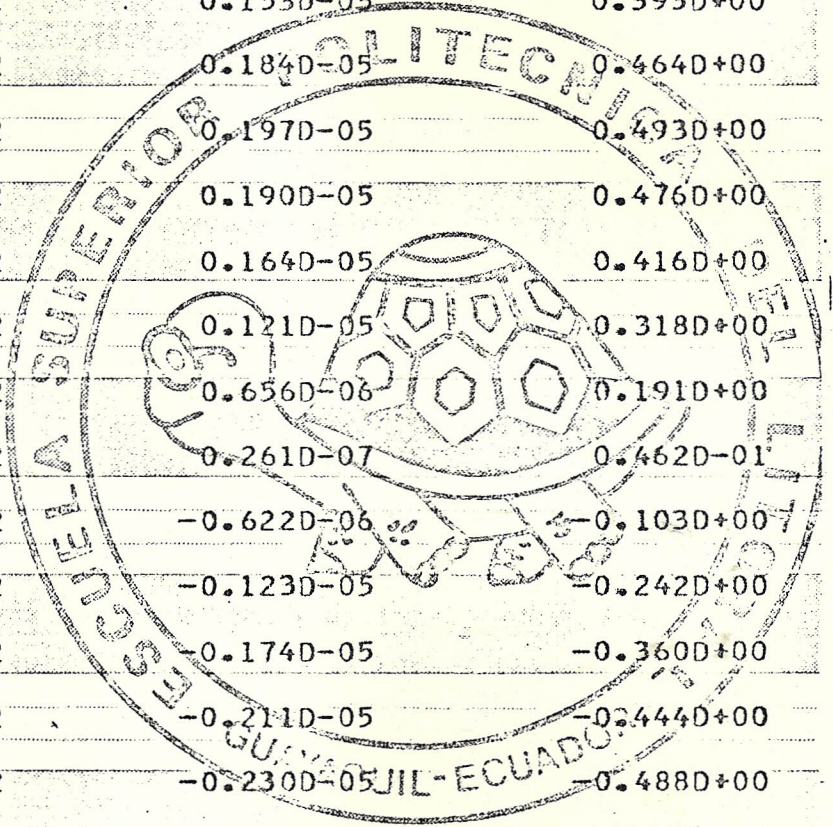
27	0.520D+01	0.1230-07	0.265D-01
28	0.540D+01	0.611D-07	0.339D-01
29	0.560D+01	0.960D-07	0.392D-01
30	0.580D+01	0.115D-06	0.421D-01
31	0.600D+01	0.116D-06	0.425D-01
32	0.620D+01	0.101D-06	0.402D-01
33	0.640D+01	0.685D-07	0.355D-01
34	0.660D+01	0.220D-07	0.287D-01
35	0.680D+01	-0.362D-07	0.201D-01
36	0.700D+01	-0.103D-06	0.103D-01
37	0.720D+01	-0.174D-06	-0.195D-03
38	0.740D+01	-0.244D-06	-0.107D-01
39	0.760D+01	-0.311D-06	-0.206D-01
40	0.780D+01	-0.370D-06	-0.292D-01
41	0.800D+01	-0.417D-06	-0.362D-01
42	0.820D+01	-0.450D-06	-0.411D-01
43	0.840D+01	-0.466D-06	-0.435D-01
44	0.860D+01	-0.465D-06	-0.433D-01
45	0.880D+01	-0.447D-06	-0.406D-01
46	0.900D+01	-0.413D-06	-0.355D-01
47	0.920D+01	-0.365D-06	-0.283D-01
48	0.940D+01	-0.305D-06	-0.195D-01
49	0.960D+01	-0.238D-06	-0.946D-02
50	0.980D+01	-0.167D-06	0.110D-02
51	0.100D+02	-0.965D-07	0.116D-01

AMPLITUDES Y MOMENTOS FLECTORES PARA UN CABLE TIPO ACSR BLUEJAY
 VELOCIDAD DE VIENTO 0.500D+01M/S

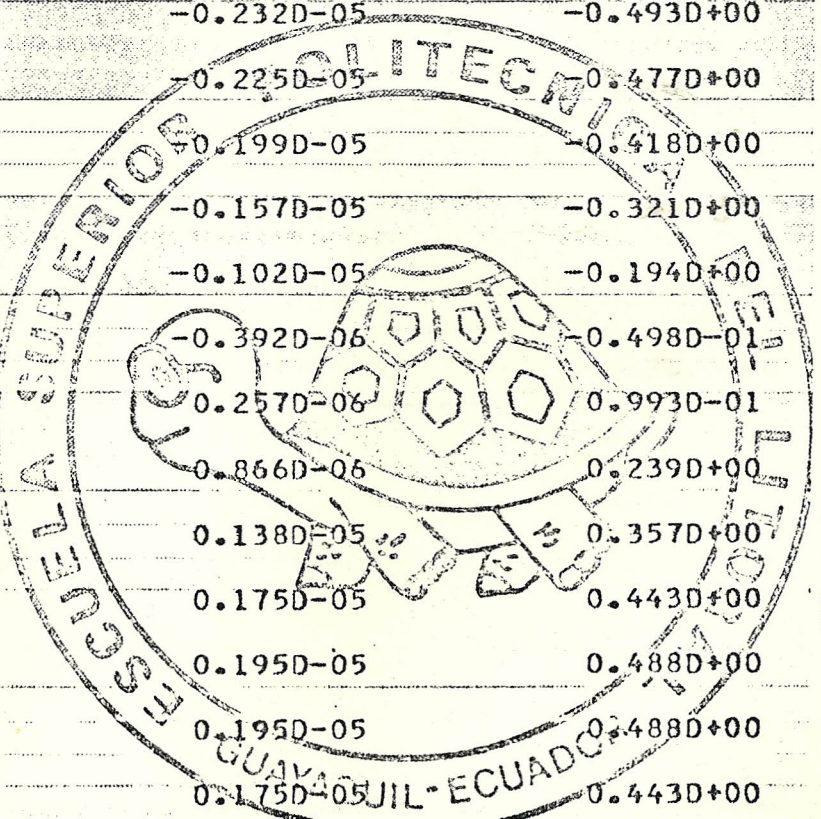
	POSICION M	AMPLITUD	M. FLECTOR KG-M
1	0.000D+00	-0.462D-08	0.000D+00
2	0.200D+00	-0.652D-06	-0.145D+00
3	0.400D+00	-0.126D-05	-0.280D+00
4	0.600D+00	-0.176D-05	-0.393D+00
5	0.800D+00	-0.212D-05	-0.472D+00
6	0.100D+01	-0.230D-05	-0.511D+00
7	0.120D+01	-0.229D-05	-0.506D+00
8	0.140D+01	-0.208D-05	-0.456D+00
9	0.160D+01	-0.170D-05	-0.367D+00
10	0.180D+01	-0.118D-05	-0.245D+00
11	0.200D+01	-0.566D-06	-0.102D+00
12	0.220D+01	0.830D-07	0.481D-01
13	0.240D+01	0.708D-06	0.193D+00
14	0.260D+01	0.125D-05	0.319D+00
15	0.280D+01	0.167D-05	0.415D+00
16	0.300D+01	0.191D-05	0.473D+00
17	0.320D+01	0.197D-05	0.486D+00
18	0.340D+01	0.182D-05	0.454D+00
19	0.360D+01	0.150D-05	0.380D+00
20	0.380D+01	0.102D-05	0.270D+00
21	0.400D+01	0.432D-06	0.136D+00
22	0.420D+01	-0.211D-06	-0.120D-01
23	0.440D+01	-0.851D-06	-0.159D+00
24	0.460D+01	-0.143D-05	-0.291D+00
25	0.480D+01	-0.189D-05	-0.398D+00
26	0.500D+01	-0.220D-05	-0.468D+00

27	0.520D+01	-0.232D-05	-0.495D+00
28	0.540D+01	-0.224D-05	-0.477D+00
29	0.560D+01	-0.198D-05	-0.416D+00
30	0.580D+01	-0.155D-05	-0.317D+00
31	0.600D+01	-0.992D-06	-0.189D+00
32	0.620D+01	-0.361D-06	-0.439D-01
33	0.640D+01	0.287D-06	0.105D+00
34	0.660D+01	0.892D-06	0.245D+00
35	0.680D+01	0.140D-05	0.361D+00
36	0.700D+01	0.176D-05	0.445D+00
37	0.720D+01	0.195D-05	0.488D+00
38	0.740D+01	0.194D-05	0.486D+00
39	0.760D+01	0.174D-05	0.439D+00
40	0.780D+01	0.136D-05	0.353D+00
41	0.800D+01	0.842D-06	0.234D+00
42	0.820D+01	0.231D-06	0.930D-01
43	0.840D+01	-0.418D-06	-0.562D-01
44	0.860D+01	-0.104D-05	-0.200D+00
45	0.880D+01	-0.159D-05	-0.326D+00
46	0.900D+01	-0.201D-05	-0.422D+00
47	0.920D+01	-0.226D-05	-0.479D+00
48	0.940D+01	-0.232D-05	-0.493D+00
49	0.960D+01	-0.218D-05	-0.461D+00
50	0.980D+01	-0.186D-05	-0.387D+00
51	0.100D+02	-0.138D-05	-0.278D+00

	POSICION M	AMPLITUD	M. FLECTOR KG-M
1	0.1000D+02	-0.138D-05	-0.317D+00
2	0.1020D+02	-0.797D-06	-0.143D+00
3	0.1040D+02	-0.154D-06	0.470D-02
4	0.1060D+02	0.487D-06	0.152D+00
5	0.1080D+02	0.107D-05	0.285D+00
6	0.1100D+02	0.153D-05	0.393D+00
7	0.1120D+02	0.184D-05	0.464D+00
8	0.1140D+02	0.197D-05	0.493D+00
9	0.1160D+02	0.190D-05	0.476D+00
10	0.1180D+02	0.164D-05	0.416D+00
11	0.1200D+02	0.121D-05	0.318D+00
12	0.1220D+02	0.656D-06	0.191D+00
13	0.1240D+02	0.261D-07	0.462D-01
14	0.1260D+02	-0.622D-06	-0.103D+00
15	0.1280D+02	-0.123D-05	-0.242D+00
16	0.1300D+02	-0.174D-05	-0.360D+00
17	0.1320D+02	-0.211D-05	-0.444D+00
18	0.1340D+02	-0.230D-05	-0.488D+00
19	0.1360D+02	-0.229D-05	-0.487D+00
20	0.1380D+02	-0.210D-05	-0.442D+00
21	0.1400D+02	-0.172D-05	-0.356D+00
22	0.1420D+02	-0.121D-05	-0.237D+00
23	0.1440D+02	-0.596D-06	-0.968D-01
24	0.1460D+02	0.523D-07	0.523D-01
25	0.1480D+02	0.680D-06	0.197D+00



26	0.1500D+02	0.123D-05	0.323D+00
27	0.1520D+02	0.165D-05	0.420D+00
28	0.1540D+02	0.190D-05	0.478D+00
29	0.1560D+02	0.197D-05	0.493D+00
30	0.1580D+02	0.183D-05	0.462D+00
31	0.1600D+02	0.152D-05	0.389D+00
32	0.1620D+02	0.105D-05	0.281D+00
33	0.1640D+02	0.461D-06	0.146D+00
34	0.1660D+02	-0.181D-06	-0.126D-02
35	0.1680D+02	-0.822D-06	-0.149D+00
36	0.1700D+02	-0.140D-05	-0.283D+00
37	0.1720D+02	-0.187D-05	-0.391D+00
38	0.1740D+02	-0.219D-05	-0.463D+00
39	0.1760D+02	-0.232D-05	-0.493D+00
40	0.1780D+02	-0.225D-05	-0.477D+00
41	0.1800D+02	0.199D-05	-0.418D+00
42	0.1820D+02	-0.157D-05	-0.321D+00
43	0.1840D+02	-0.102D-05	-0.194D+00
44	0.1860D+02	-0.392D-06	-0.498D-01
45	0.1880D+02	0.257D-06	0.993D-01
46	0.1900D+02	0.866D-06	0.239D+00
47	0.1920D+02	0.138D-05	0.357D+00
48	0.1940D+02	0.175D-05	0.443D+00
49	0.1960D+02	0.195D-05	0.488D+00
50	0.1980D+02	0.195D-05	0.488D+00
51	0.2000D+02	0.175D-05	0.443D+00



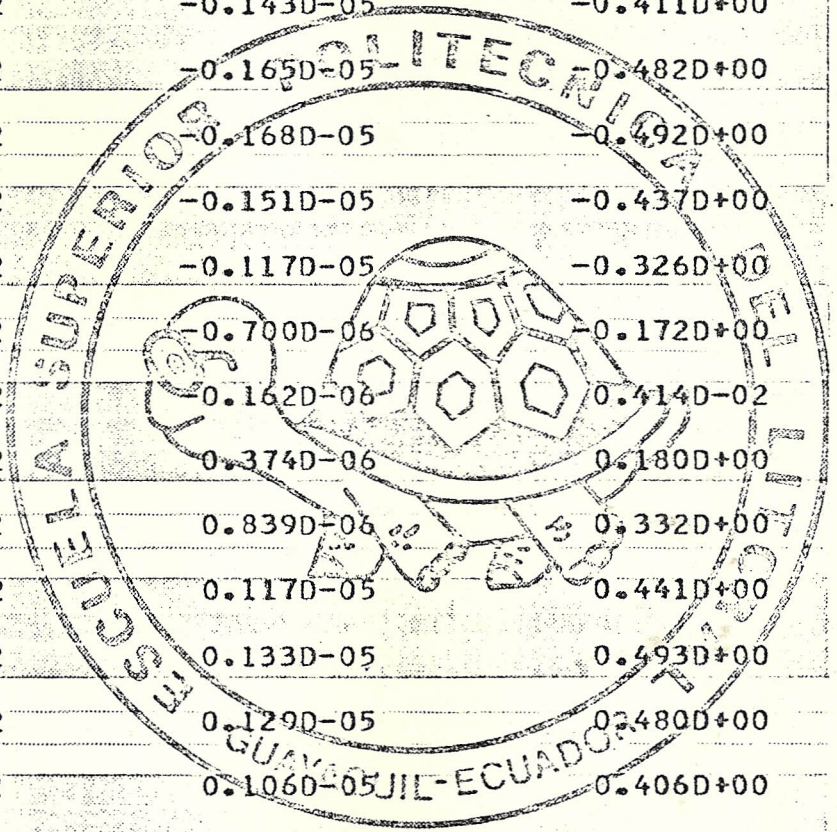
	POSICION M	AMPLITUD	M. FLECTOR KG-M
1	0.1450D+03	-0.725D-06	-0.205D+00
2	0.1455D+03	-0.200D-05	-0.420D+00
3	0.1460D+03	-0.227D-05	-0.483D+00
4	0.1465D+03	-0.139D-05	-0.280D+00
5	0.1470D+03	0.157D-06	0.764D-01
6	0.1475D+03	0.153D-05	0.391D+00
7	0.1480D+03	0.196D-05	0.491D+00
8	0.1485D+03	0.122D-05	0.321D+00
9	0.1490D+03	-0.286D-06	-0.256D-01
10	0.1495D+03	-0.173D-05	-0.358D+00
11	0.1500D+03	-0.232D-05	-0.493D+00
12	0.1505D+03	-0.173D-05	-0.358D+00
13	0.1510D+03	-0.286D-06	-0.256D-01
14	0.1515D+03	0.122D-05	0.321D+00
15	0.1520D+03	0.196D-05	0.491D+00
16	0.1525D+03	0.153D-05	0.391D+00
17	0.1530D+03	0.157D-06	0.764D-01
18	0.1535D+03	-0.139D-05	-0.280D+00
19	0.1540D+03	-0.227D-05	-0.483D+00
20	0.1545D+03	-0.200D-05	-0.420D+00
21	0.1550D+03	-0.725D-06	-0.126D+00

AMPLITUDES Y MOMENTOS FLECTORES PARA UN CABLE TIPO ACSR BLUEJAY
 VELOCIDAD DE VIENTO 0.600D+01M/S

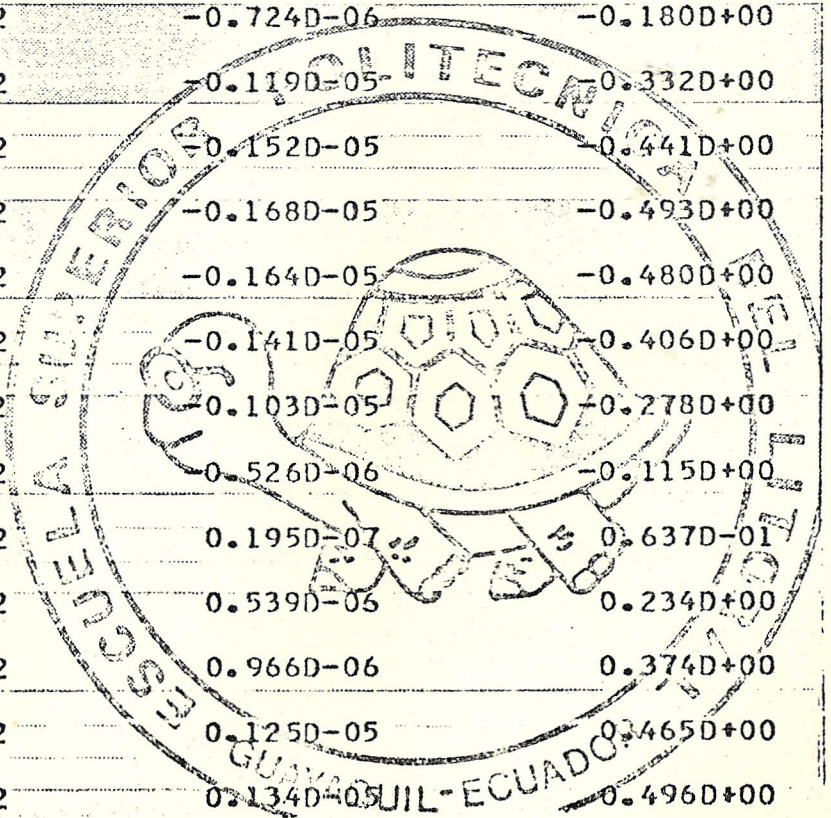
	POSICION M	AMPLITUD	M. FLECTOR KG-M
1	0.000D+00	-0.643D-08	0.000D+00
2	0.200D+00	-0.551D-06	-0.172D+00
3	0.400D+00	-0.105D-05	-0.329D+00
4	0.600D+00	-0.143D-05	-0.450D+00
5	0.800D+00	-0.165D-05	-0.518D+00
6	0.100D+01	-0.168D-05	-0.523D+00
7	0.120D+01	-0.151D-05	-0.465D+00
8	0.140D+01	-0.117D-05	-0.350D+00
9	0.160D+01	-0.699D-06	-0.194D+00
10	0.180D+01	-0.161D-06	-0.154D-01
11	0.200D+01	0.375D-06	0.162D+00
12	0.220D+01	0.839D-06	0.316D+00
13	0.240D+01	0.117D-05	0.427D+00
14	0.260D+01	0.133D-05	0.480D+00
15	0.280D+01	0.129D-05	0.469D+00
16	0.300D+01	0.106D-05	0.395D+00
17	0.320D+01	0.674D-06	0.269D+00
18	0.340D+01	0.174D-06	0.106D+00
19	0.360D+01	-0.371D-06	-0.714D-01
20	0.380D+01	-0.891D-06	-0.241D+00
21	0.400D+01	-0.132D-05	-0.380D+00
22	0.420D+01	-0.160D-05	-0.470D+00
23	0.440D+01	-0.169D-05	-0.500D+00
24	0.460D+01	-0.159D-05	-0.466D+00
25	0.480D+01	-0.130D-05	-0.372D+00
26	0.500D+01	-0.867D-06	-0.230D+00

27	0.5200+01	-0.3440-06	-0.5830-01
28	0.5400+01	0.2000-06	0.1200+00
29	0.5600+01	0.6960-06	0.2830+00
30	0.5800+01	0.1080-05	0.4080+00
31	0.6000+01	0.1300-05	0.4810+00
32	0.6200+01	0.1330-05	0.4900+00
33	0.6400+01	0.1160-05	0.4350+00
34	0.6600+01	0.8190-06	0.3240+00
35	0.6800+01	0.3490-06	0.1710+00
36	0.7000+01	-0.1880-06	-0.5400-02
37	0.7200+01	-0.7250-06	-0.1810+00
38	0.7400+01	-0.1190-05	-0.3330+00
39	0.7600+01	-0.1520-05	-0.4420+00
40	0.7800+01	-0.1680-05	-0.4930+00
41	0.8000+01	-0.1640-05	-0.4810+00
42	0.8200+01	-0.1410-05	-0.4060+00
43	0.8400+01	-0.1020-05	-0.2790+00
44	0.8600+01	-0.5250-06	-0.1150+00
45	0.8800+01	0.2050-07	0.6360-01
46	0.9000+01	0.5400-06	0.2340+00
47	0.9200+01	0.9670-06	0.3740+00
48	0.9400+01	0.1250-05	0.4650+00
49	0.9600+01	0.1340-05	0.4950+00
50	0.9800+01	0.1240-05	0.4620+00
51	0.1000+02	0.9500-06	0.3680+00

	POSICION M	AMPLITUD	M. FLECTOR KG-M
1	0.1000D+02	0.950D-06	0.313D+00
2	0.1020D+02	0.517D-06	0.226D+00
3	0.1040D+02	-0.547D-08	0.554D-01
4	0.1060D+02	-0.550D-06	-0.123D+00
5	0.1080D+02	-0.105D-05	-0.285D+00
6	0.1100D+02	-0.143D-05	-0.411D+00
7	0.1120D+02	-0.165D-05	-0.482D+00
8	0.1140D+02	-0.168D-05	-0.492D+00
9	0.1160D+02	-0.151D-05	-0.437D+00
10	0.1180D+02	-0.117D-05	-0.326D+00
11	0.1200D+02	-0.700D-06	-0.172D+00
12	0.1220D+02	-0.162D-06	0.414D-02
13	0.1240D+02	0.374D-06	0.180D+00
14	0.1260D+02	0.839D-06	0.332D+00
15	0.1280D+02	0.117D-05	0.441D+00
16	0.1300D+02	0.133D-05	0.493D+00
17	0.1320D+02	0.129D-05	0.480D+00
18	0.1340D+02	0.106D-05	0.406D+00
19	0.1360D+02	0.675D-06	0.278D+00
20	0.1380D+02	0.175D-06	0.115D+00
21	0.1400D+02	-0.370D-06	-0.639D-01
22	0.1420D+02	-0.890D-06	-0.234D+00
23	0.1440D+02	-0.132D-05	-0.374D+00
24	0.1460D+02	-0.160D-05	-0.465D+00
25	0.1480D+02	-0.169D-05	-0.496D+00



26	0.1500D+02	-0.159D-05	-0.462D+00
27	0.1520D+02	-0.130D-05	-0.368D+00
28	0.1540D+02	-0.868D-06	-0.227D+00
29	0.1560D+02	-0.345D-06	-0.557D-01
30	0.1580D+02	0.199D-06	0.123D+00
31	0.1600D+02	0.695D-06	0.285D+00
32	0.1620D+02	0.108D-05	0.410D+00
33	0.1640D+02	0.130D-05	0.482D+00
34	0.1660D+02	0.133D-05	0.492D+00
35	0.1680D+02	0.116D-05	0.437D+00
36	0.1700D+02	0.820D-06	0.326D+00
37	0.1720D+02	0.350D-06	0.172D+00
38	0.1740D+02	-0.187D-06	-0.404D-02
39	0.1760D+02	-0.724D-06	-0.180D+00
40	0.1780D+02	-0.119D-05	-0.332D+00
41	0.1800D+02	-0.152D-05	-0.441D+00
42	0.1820D+02	-0.168D-05	-0.493D+00
43	0.1840D+02	-0.164D-05	-0.480D+00
44	0.1860D+02	-0.141D-05	-0.406D+00
45	0.1880D+02	-0.103D-05	-0.278D+00
46	0.1900D+02	-0.526D-06	-0.115D+00
47	0.1920D+02	0.195D-07	0.637D-01
48	0.1940D+02	0.539D-06	0.234D+00
49	0.1960D+02	0.966D-06	0.374D+00
50	0.1980D+02	0.125D-05	0.465D+00
51	0.2000D+02	0.134D-05	0.496D+00



	POSICION M	AMPLITUD	M. FLECTOR KG-M
1	0.14500+03	0.1240-05	0.3530+00
2	0.14550+03	0.2750-06	0.1470+00
3	0.14600+03	-0.1040-05	-0.2820+00
4	0.14650+03	-0.1690-05	-0.4950+00
5	0.14700+03	-0.1180-05	-0.3290+00
6	0.14750+03	0.9810-07	0.8940-01
7	0.14800+03	0.1170-05	0.4390+00
8	0.14850+03	0.1210-05	0.4520+00
9	0.14900+03	0.1870-06	0.1190+00
10	0.14950+03	-0.1110-05	-0.3060+00
11	0.15000+03	-0.1690-05	-0.4960+00
12	0.15050+03	-0.1110-05	-0.3060+00
13	0.15100+03	0.1870-06	0.1190+00
14	0.15150+03	0.1210-05	0.4520+00
15	0.15200+03	0.1170-05	0.4390+00
16	0.15250+03	0.9810-07	0.8940-01
17	0.15300+03	-0.1180-05	-0.3290+00
18	0.15350+03	-0.1690-05	-0.4950+00
19	0.15400+03	-0.1040-05	-0.2820+00
20	0.15450+03	0.2750-06	0.1470+00
21	0.15500+03	0.1240-05	0.4630+00

AMPLITUDES Y MOMENTOS FLECTORES PARA UN CABLE TIPO ACSR BLUEJAY
 VELOCIDAD DE VIENTO 0.700D+01M/S

	POSICION M	AMPLITUD	M. FLECTOR KG-M
1	0.000D+00	-0.842D-08	0.000D+00
2	0.200D+00	0.730D-07	0.437D-01
3	0.400D+00	0.111D-06	0.675D-01
4	0.600D+00	0.998D-07	0.687D-01
5	0.800D+00	0.404D-07	0.482D-01
6	0.100D+01	-0.564D-07	0.106D-01
7	0.120D+01	-0.174D-06	-0.366D-01
8	0.140D+01	-0.292D-06	-0.844D-01
9	0.160D+01	-0.389D-06	-0.124D+00
10	0.180D+01	-0.449D-06	-0.147D+00
11	0.200D+01	-0.462D-06	-0.150D+00
12	0.220D+01	-0.424D-06	-0.131D+00
13	0.240D+01	-0.344D-06	-0.930D-01
14	0.260D+01	-0.234D-06	-0.426D-01
15	0.280D+01	-0.113D-06	0.121D-01
16	0.300D+01	-0.396D-08	0.619D-01
17	0.320D+01	0.758D-07	0.984D-01
18	0.340D+01	0.112D-06	0.116D+00
19	0.360D+01	0.981D-07	0.111D+00
20	0.380D+01	0.367D-07	0.847D-01
21	0.400D+01	-0.615D-07	0.424D-01
22	0.420D+01	-0.179D-06	-0.368D-02
23	0.440D+01	-0.297D-06	-0.595D-01
24	0.460D+01	-0.393D-06	-0.101D+00
25	0.480D+01	-0.451D-06	-0.126D+00
26	0.500D+01	-0.461D-06	-0.130D+00

27	0.5200+01	-0.4220-06	-0.1120+00
28	0.5400+01	-0.3390-06	-0.7560-01
29	0.5600+01	-0.2280-06	-0.2650-01
30	0.5800+01	-0.1080-06	0.2670-01
31	0.6000+01	0.4310-09	0.7480-01
32	0.6200+01	0.7840-07	0.1090+00
33	0.6400+01	0.1120-06	0.1240+00
34	0.6600+01	0.9620-07	0.1180+00
35	0.6800+01	0.3300-07	0.8990-01
36	0.7000+01	-0.6650-07	0.4640-01
37	0.7200+01	-0.1850-06	-0.5550-02
38	0.7400+01	-0.3020-06	-0.5670-01
39	0.7600+01	-0.3960-06	-0.9820-01
40	0.7800+01	-0.4520-06	-0.1230+00
41	0.8000+01	-0.4600-06	-0.1260+00
42	0.8200+01	-0.4190-06	-0.1080+00
43	0.8400+01	-0.3350-06	-0.7080-01
44	0.8600+01	-0.2230-06	-0.2160-01
45	0.8800+01	-0.1030-06	0.3130-01
46	0.9000+01	0.4760-08	0.7870-01
47	0.9200+01	0.8100-07	0.1120+00
48	0.9400+01	0.1130-06	0.1260+00
49	0.9600+01	0.9430-07	0.1180+00
50	0.9800+01	0.2910-07	0.8950-01
51	0.1000+02	-0.7170-07	0.4520-01

CARACTERISTICAS DEL CABLE

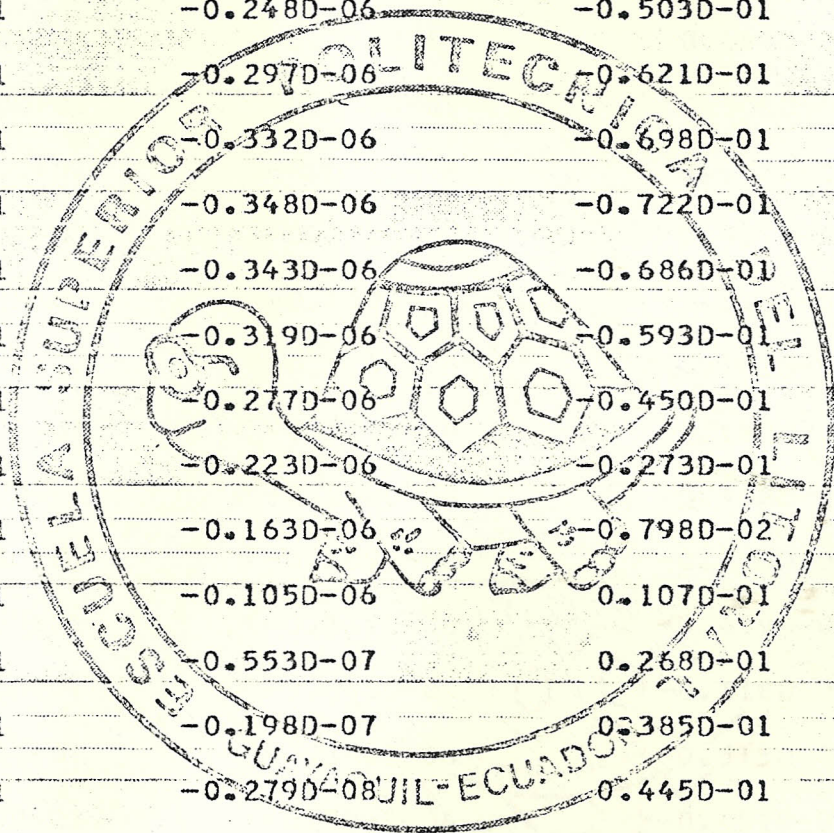
TIPO ACSR BLUEJAY TENSION DE ROTURA= 0.1404D+05 KG (TENSION APL. 15%)
 LONGITUD=3.3000D+03 M MODULO DE ELASTICIDAD =0.6470D+10 KG/M2
 DIAMETRO EXT.=0.3199D+01 " PESO POR UNIDAD DE LONG.=0.1875D+01 KG/M

MODOS NORMALES

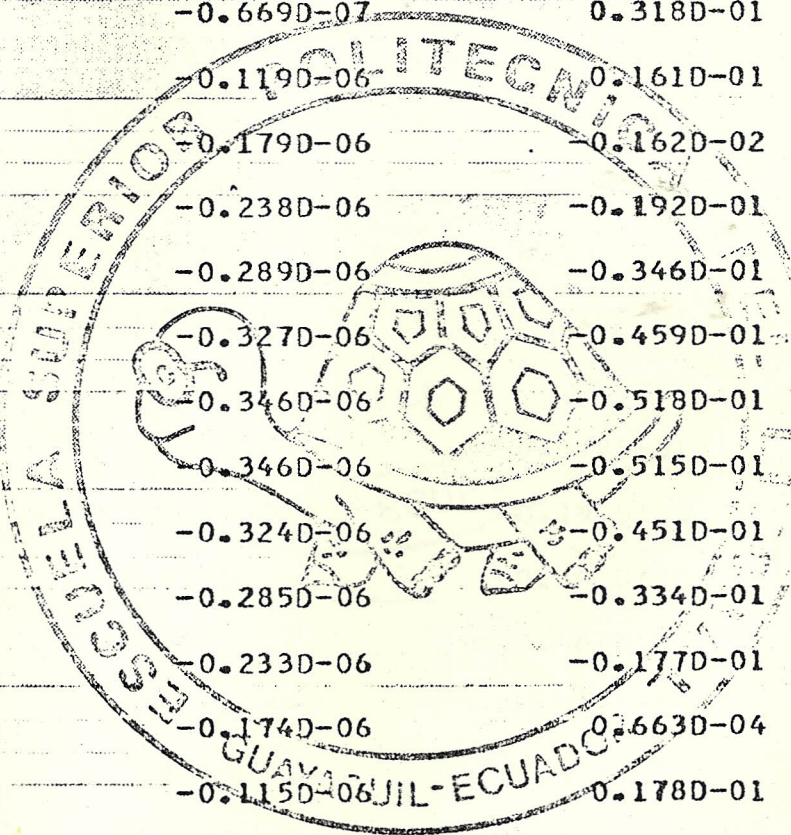
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0	0.175D+01	0.357D+01	0.525D+01	0.700D+01	0.875D+01	0.105D+02	0.123D+01	0.140D+01	0.158D+01	0.175D+01
10	0.193D+01	0.211D+01	0.229D+01	0.245D+01	0.263D+01	0.281D+01	0.298D+01	0.316D+01	0.333D+01	0.351D+01
20	0.369D+01	0.536D+01	0.404D+01	0.422D+01	0.440D+01	0.458D+01	0.475D+01	0.493D+01	0.511D+01	0.529D+01
30	0.547D+01	0.565D+01	0.583D+01	0.601D+01	0.619D+01	0.637D+01	0.655D+01	0.673D+01	0.691D+01	0.709D+01
40	0.728D+01	0.746D+01	0.764D+01	0.783D+01	0.801D+01	0.819D+01	0.838D+01	0.856D+01	0.875D+01	0.893D+01
50	0.912D+01	0.931D+01	0.949D+01	0.968D+01	0.987D+01	0.101D+02	0.102D+02	0.104D+02	0.106D+02	0.108D+02
60	0.110D+02	0.112D+02	0.114D+02	0.116D+02	0.118D+02	0.120D+02	0.122D+02	0.124D+02	0.126D+02	0.128D+02
70	0.130D+02	0.131D+02	0.133D+02	0.135D+02	0.137D+02	0.139D+02	0.141D+02	0.143D+02	0.145D+02	0.147D+02
80	0.150D+02	0.152D+02	0.154D+02	0.156D+02	0.158D+02	0.160D+02	0.162D+02	0.164D+02	0.166D+02	0.168D+02
90	0.170D+02	0.172D+02	0.174D+02	0.177D+02	0.179D+02	0.181D+02	0.183D+02	0.185D+02	0.187D+02	0.189D+02
100	0.192D+02	0.194D+02	0.196D+02	0.198D+02	0.200D+02	0.203D+02	0.205D+02	0.207D+02	0.209D+02	0.212D+02
110	0.214D+02	0.216D+02	0.218D+02	0.221D+02	0.223D+02	0.225D+02	0.228D+02	0.230D+02	0.232D+02	0.235D+02
120	0.237D+02	0.239D+02	0.242D+02	0.244D+02	0.246D+02	0.249D+02	0.251D+02	0.254D+02	0.256D+02	0.259D+02
130	0.261D+02	0.263D+02	0.266D+02	0.268D+02	0.271D+02	0.273D+02	0.276D+02	0.278D+02	0.281D+02	0.283D+02
140	0.286D+02	0.289D+02	0.291D+02	0.294D+02	0.296D+02	0.299D+02	0.301D+02	0.304D+02	0.307D+02	0.309D+02
150	0.312D+02	0.315D+02	0.317D+02	0.320D+02	0.323D+02	0.325D+02	0.328D+02	0.331D+02	0.333D+02	0.336D+02
160	0.339D+02	0.342D+02	0.345D+02	0.347D+02	0.350D+02	0.353D+02	0.356D+02	0.359D+02	0.361D+02	0.364D+02
170	0.367D+02	0.370D+02	0.373D+02	0.376D+02	0.379D+02	0.382D+02	0.385D+02	0.387D+02	0.390D+02	0.393D+02
180	0.396D+02	0.399D+02	0.402D+02	0.405D+02	0.408D+02	0.411D+02	0.414D+02	0.418D+02	0.421D+02	0.424D+02
190	0.427D+02	0.430D+02	0.433D+02	0.436D+02	0.439D+02	0.442D+02	0.446D+02	0.449D+02	0.452D+02	0.455D+02

AMPLITUDES Y MOMENTOS FLECTORES PARA UN CABLE TIPO ACSR BLUEJAY
 VELOCIDAD DE VIENTO 0.5000+01M/S

	POSICION M	AMPLITUD	M. FLECTOR KG-M
1	0.0000+00	-0.7740-08	0.0000+00
2	0.2000+00	-0.3320-07	-0.2270-02
3	0.4000+00	-0.7560-07	-0.1020-01
4	0.6000+00	-0.1300-06	-0.2220-01
5	0.8000+00	-0.1900-06	-0.3630-01
6	0.1000+01	-0.2480-06	-0.5030-01
7	0.1200+01	-0.2970-06	-0.6210-01
8	0.1400+01	-0.3320-06	-0.6980-01
9	0.1600+01	-0.3480-06	-0.7220-01
10	0.1800+01	-0.3430-06	-0.6860-01
11	0.2000+01	-0.3190-06	-0.5930-01
12	0.2200+01	-0.2770-06	-0.4500-01
13	0.2400+01	-0.2230-06	-0.2730-01
14	0.2600+01	-0.1630-06	-0.7980-02
15	0.2800+01	-0.1050-06	0.1070-01
16	0.3000+01	-0.5530-07	0.2680-01
17	0.3200+01	-0.1980-07	0.3850-01
18	0.3400+01	-0.2790-08	0.4450-01
19	0.3600+01	-0.6390-08	0.4420-01
20	0.3800+01	-0.3010-07	0.3770-01
21	0.4000+01	-0.7120-07	0.2600-01
22	0.4200+01	-0.1250-06	0.1050-01
23	0.4400+01	-0.1840-06	-0.6880-02
24	0.4600+01	-0.2430-06	-0.2400-01
25	0.4800+01	-0.2930-06	-0.3870-01
26	0.5000+01	-0.3290-06	-0.4930-01



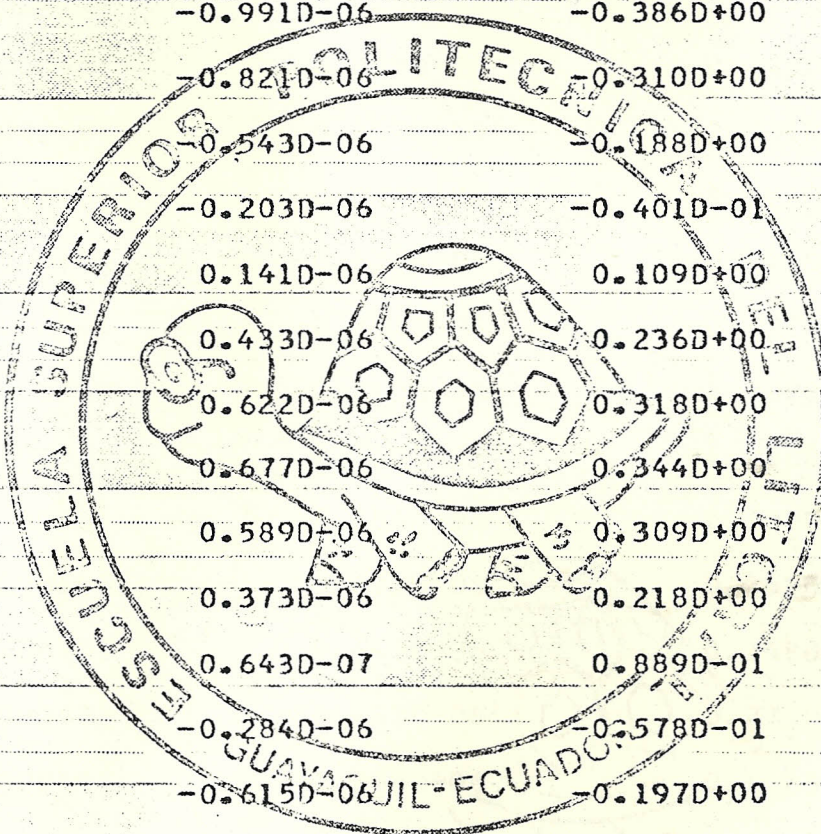
27	0.5200D+01	-0.347D-06	-0.543D-01
28	0.5400D+01	-0.344D-06	-0.532D-01
29	0.5600D+01	-0.322D-06	-0.461D-01
30	0.5800D+01	-0.281D-06	-0.338D-01
31	0.6000D+01	-0.228D-06	-0.176D-01
32	0.6200D+01	-0.169D-06	0.404D-03
33	0.6400D+01	-0.110D-06	0.182D-01
34	0.6600D+01	-0.593D-07	0.336D-01
35	0.6800D+01	-0.223D-07	0.449D-01
36	0.7000D+01	-0.349D-08	0.506D-01
37	0.7200D+01	-0.521D-08	0.502D-01
38	0.7400D+01	-0.272D-07	0.437D-01
39	0.7600D+01	-0.669D-07	0.318D-01
40	0.7800D+01	-0.119D-06	0.161D-01
41	0.8000D+01	-0.179D-06	-0.162D-02
42	0.8200D+01	-0.238D-06	-0.192D-01
43	0.8400D+01	-0.289D-06	-0.346D-01
44	0.8600D+01	-0.327D-06	-0.459D-01
45	0.8800D+01	-0.346D-06	-0.518D-01
46	0.9000D+01	-0.346D-06	-0.515D-01
47	0.9200D+01	-0.324D-06	-0.451D-01
48	0.9400D+01	-0.285D-06	-0.334D-01
49	0.9600D+01	-0.233D-06	-0.177D-01
50	0.9800D+01	-0.174D-06	0.663D-04
51	0.1000D+02	-0.115D-06	0.178D-01



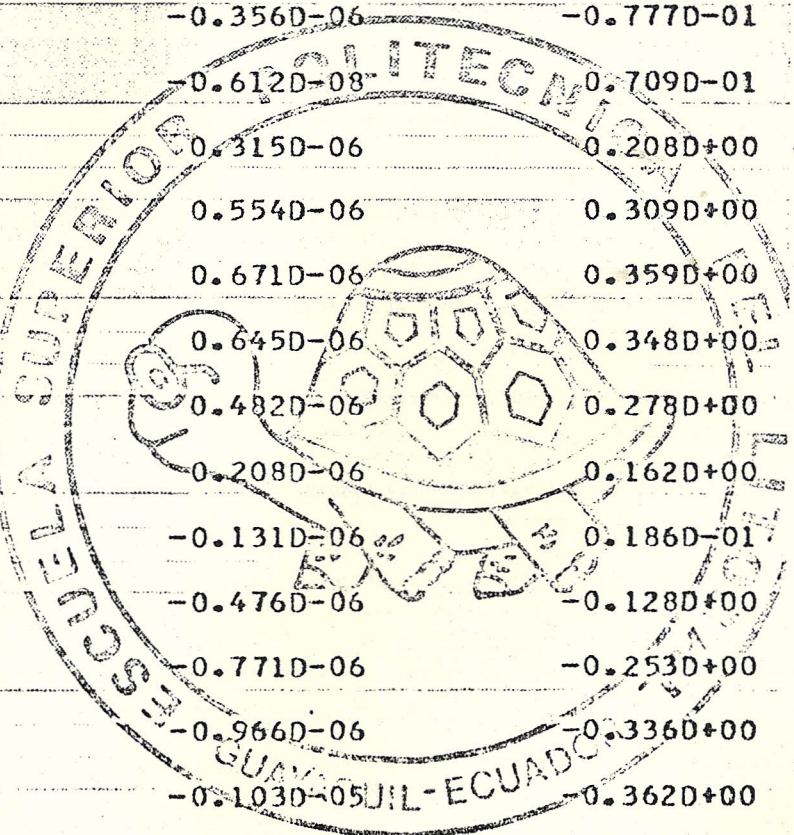
AMPLITUDES Y MOMENTOS FLECTORES PARA UN CABLE TIPO ACSR BLUEJAY

VELOCIDAD DE VIENTO 0.6000+01M/S

	POSICION M	AMPLITUD	M. FLECTOR KG-M
1	0.0000D+00	-0.1060-07	0.0000D+00
2	0.2000D+00	-0.3600-06	-0.1410D+00
3	0.4000D+00	-0.6790-06	-0.2700D+00
4	0.6000D+00	-0.9130-06	-0.3630D+00
5	0.8000D+00	-0.1020-05	-0.4040D+00
6	0.1000D+01	-0.9910-06	-0.3860D+00
7	0.1200D+01	-0.8210-06	-0.3100D+00
8	0.1400D+01	-0.5430-06	-0.1880D+00
9	0.1600D+01	-0.2030-06	-0.4010-01
10	0.1800D+01	0.1410-06	0.1090D+00
11	0.2000D+01	0.4330-06	0.2360D+00
12	0.2200D+01	0.6220-06	0.3180D+00
13	0.2400D+01	0.6770-06	0.3440D+00
14	0.2600D+01	0.5890-06	0.3090D+00
15	0.2800D+01	0.3730-06	0.2180D+00
16	0.3000D+01	0.6430-07	0.8890-01
17	0.3200D+01	-0.2840-06	-0.5780-01
18	0.3400D+01	-0.6150-06	-0.1970D+00
19	0.3600D+01	-0.8710-06	-0.3050D+00
20	0.3800D+01	-0.1010-05	-0.3630D+00
21	0.4000D+01	-0.1010-05	-0.3620D+00
22	0.4200D+01	-0.8690-06	-0.3010D+00
23	0.4400D+01	-0.6110-06	-0.1910D+00
24	0.4600D+01	-0.2800-06	-0.4970-01
25	0.4800D+01	0.6870-07	0.9890-01
26	0.5000D+01	0.3760-06	0.2300D+00

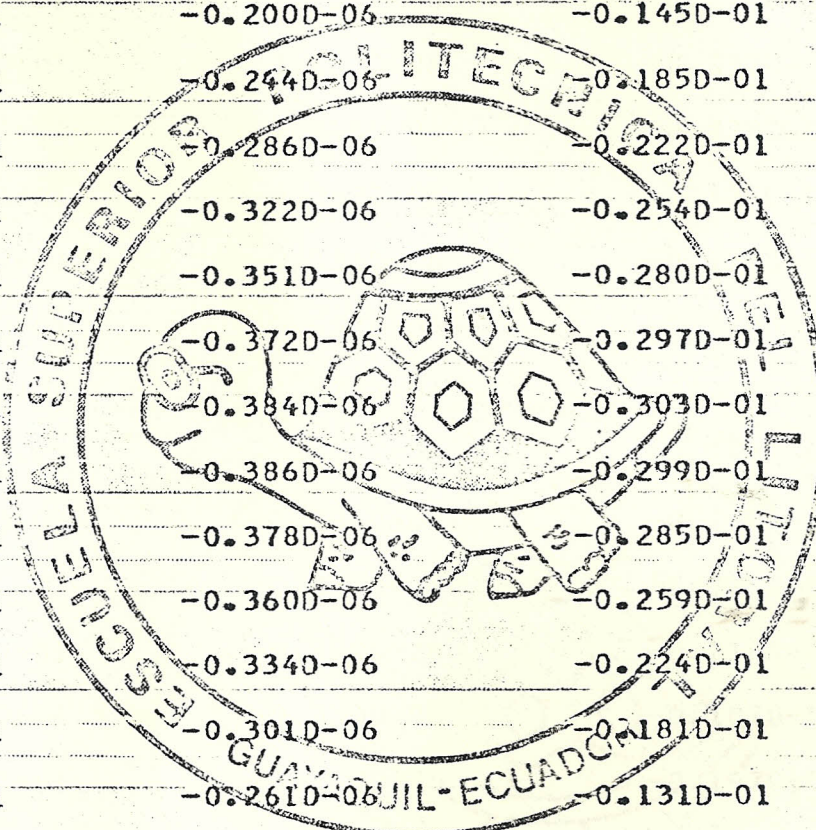


27	0.5200D+01	0.591D-06	0.322D+00
28	0.5400D+01	0.678D-06	0.359D+00
29	0.5600D+01	0.620D-06	0.335D+00
30	0.5800D+01	0.430D-06	0.254D+00
31	0.6000D+01	0.137D-06	0.130D+00
32	0.6200D+01	-0.208D-06	-0.159D-01
33	0.6400D+01	-0.547D-06	-0.160D+00
34	0.6600D+01	-0.824D-06	-0.277D+00
35	0.6800D+01	-0.992D-06	-0.348D+00
36	0.7000D+01	-0.102D-05	-0.361D+00
37	0.7200D+01	-0.911D-06	-0.314D+00
38	0.7400D+01	-0.675D-06	-0.214D+00
39	0.7600D+01	-0.356D-06	-0.777D-01
40	0.7800D+01	-0.612D-08	0.709D-01
41	0.8000D+01	0.315D-06	0.208D+00
42	0.8200D+01	0.554D-06	0.309D+00
43	0.8400D+01	0.671D-06	0.359D+00
44	0.8600D+01	0.645D-06	0.348D+00
45	0.8800D+01	0.482D-06	0.278D+00
46	0.9000D+01	-0.208D-06	0.162D+00
47	0.9200D+01	-0.131D-06	0.186D-01
48	0.9400D+01	-0.476D-06	-0.128D+00
49	0.9600D+01	-0.771D-06	-0.253D+00
50	0.9800D+01	-0.966D-06	-0.336D+00
51	0.1000D+02	-0.103D-05	-0.362D+00

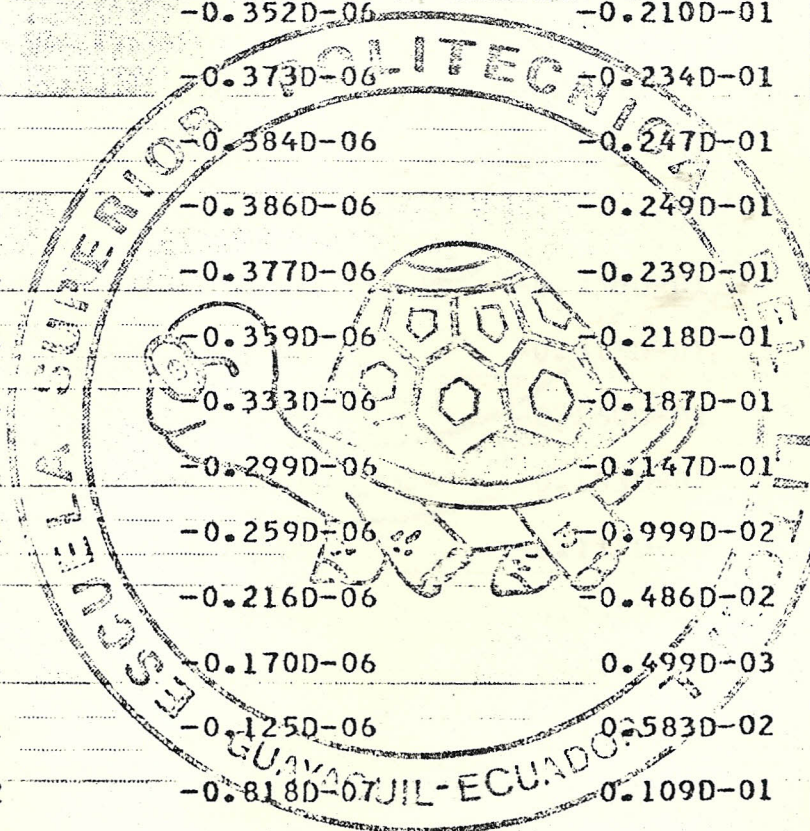


AMPLITUDES Y MOMENTOS FLECTORES PARA UN CABLE TIPO ACSR BLUEJAY
 VELOCIDAD DE VIENTO 0.500D+01M/S

	POSICION M	AMPLITUD	M. FLECTOR KG-M
1	0.0000D+00	-0.123D-08	0.0000D+00
2	0.2000D+00	-0.311D-07	-0.131D-02
3	0.4000D+00	-0.677D-07	-0.366D-02
4	0.6000D+00	-0.109D-06	-0.680D-02
5	0.8000D+00	-0.154D-06	-0.105D-01
6	0.1000D+01	-0.200D-06	-0.145D-01
7	0.1200D+01	-0.244D-06	-0.185D-01
8	0.1400D+01	-0.286D-06	-0.222D-01
9	0.1600D+01	-0.322D-06	-0.254D-01
10	0.1800D+01	-0.351D-06	-0.280D-01
11	0.2000D+01	-0.372D-06	-0.297D-01
12	0.2200D+01	-0.384D-06	-0.303D-01
13	0.2400D+01	-0.386D-06	-0.299D-01
14	0.2600D+01	-0.378D-06	-0.285D-01
15	0.2800D+01	-0.360D-06	-0.259D-01
16	0.3000D+01	-0.334D-06	-0.224D-01
17	0.3200D+01	-0.301D-06	-0.181D-01
18	0.3400D+01	-0.261D-06	-0.131D-01
19	0.3600D+01	-0.218D-06	-0.766D-02
20	0.3800D+01	-0.172D-06	-0.203D-02
21	0.4000D+01	-0.127D-06	0.354D-02
22	0.4200D+01	-0.838D-07	0.883D-02
23	0.4400D+01	-0.449D-07	0.136D-01
24	0.4600D+01	-0.122D-07	0.176D-01
25	0.4800D+01	0.129D-07	0.207D-01
26	0.5000D+01	0.291D-07	0.228D-01



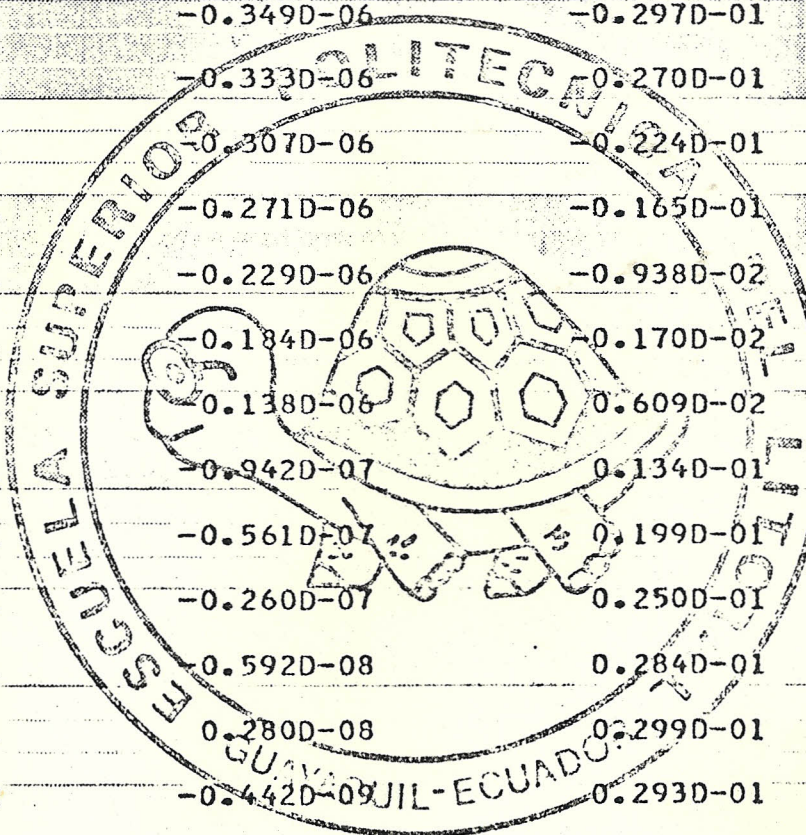
27	0.5200D+01	0.358D-07	0.237D-01
28	0.5400D+01	0.326D-07	0.234D-01
29	0.5600D+01	0.196D-07	0.220D-01
30	0.5800D+01	-0.246D-08	0.195D-01
31	0.6000D+01	-0.326D-07	0.160D-01
32	0.6200D+01	-0.695D-07	0.118D-01
33	0.6400D+01	-0.111D-06	0.694D-02
34	0.6600D+01	-0.156D-06	0.174D-02
35	0.6800D+01	-0.202D-06	-0.357D-02
36	0.7000D+01	-0.246D-06	-0.874D-02
37	0.7200D+01	-0.287D-06	-0.135D-01
38	0.7400D+01	-0.323D-06	-0.177D-01
39	0.7600D+01	-0.352D-06	-0.210D-01
40	0.7800D+01	-0.373D-06	-0.234D-01
41	0.8000D+01	-0.384D-06	-0.247D-01
42	0.8200D+01	-0.386D-06	-0.249D-01
43	0.8400D+01	-0.377D-06	-0.239D-01
44	0.8600D+01	-0.359D-06	-0.218D-01
45	0.8800D+01	-0.333D-06	-0.187D-01
46	0.9000D+01	-0.299D-06	-0.147D-01
47	0.9200D+01	-0.259D-06	-0.999D-02
48	0.9400D+01	-0.216D-06	-0.486D-02
49	0.9600D+01	-0.170D-06	0.499D-03
50	0.9800D+01	-0.125D-06	0.583D-02
51	0.1000D+02	-0.818D-07	0.109D-01



AMPLITUDES Y MOMENTOS FLECTORES PARA UN CABLE TIPO ACSR BLUEJAY
 VELOCIDAD DE VIENTO 0.6000+01M/S

	POSICION M	AMPLITUD	M. FLECTOR KG-M
1	0.0000+00	-0.1750-08	0.0000+00
2	0.2000+00	0.3060-08	0.3940-02
3	0.4000+00	-0.4110-08	0.5520-02
4	0.6000+00	-0.2280-07	0.4870-02
5	0.8000+00	-0.5170-07	0.2230-02
6	0.1000+01	-0.8890-07	-0.2050-02
7	0.1200+01	-0.1320-06	-0.7510-02
8	0.1400+01	-0.1780-06	-0.1370-01
9	0.1600+01	-0.2240-06	-0.1990-01
10	0.1800+01	-0.2660-06	-0.2580-01
11	0.2000+01	-0.3020-06	-0.3080-01
12	0.2200+01	-0.3300-06	-0.3450-01
13	0.2400+01	-0.3480-06	-0.3650-01
14	0.2600+01	-0.3530-06	-0.3670-01
15	0.2800+01	-0.3470-06	-0.3500-01
16	0.3000+01	-0.3290-06	-0.3130-01
17	0.3200+01	-0.3010-06	-0.2600-01
18	0.3400+01	-0.2650-06	-0.1930-01
19	0.3600+01	-0.2220-06	-0.1170-01
20	0.3800+01	-0.1760-06	-0.3580-02
21	0.4000+01	-0.1300-06	0.4510-02
22	0.4200+01	-0.8750-07	0.1210-01
23	0.4400+01	-0.5060-07	0.1860-01
24	0.4600+01	-0.2200-07	0.2360-01
25	0.4800+01	-0.3680-08	0.2700-01
26	0.5000+01	0.3090-08	0.2830-01

27	0.52000+01	-0.2120-08	0.2760-01
28	0.54000+01	-0.1900-07	0.2490-01
29	0.56000+01	-0.4630-07	0.2050-01
30	0.58000+01	-0.8230-07	0.1450-01
31	0.60000+01	-0.1250-06	0.7540-02
32	0.62000+01	-0.1700-06	-0.3860-04
33	0.64000+01	-0.2160-06	-0.7690-02
34	0.66000+01	-0.2590-06	-0.1490-01
35	0.68000+01	-0.2970-06	-0.2110-01
36	0.70000+01	-0.3260-06	-0.2600-01
37	0.72000+01	-0.3450-06	-0.2920-01
38	0.74000+01	-0.3530-06	-0.3040-01
39	0.76000+01	-0.3490-06	-0.2970-01
40	0.78000+01	-0.3330-06	-0.2700-01
41	0.80000+01	-0.3070-06	-0.2240-01
42	0.82000+01	-0.2710-06	-0.1650-01
43	0.84000+01	-0.2290-06	-0.9380-02
44	0.86000+01	-0.1840-06	-0.1700-02
45	0.88000+01	-0.1380-06	0.6090-02
46	0.90000+01	-0.9420-07	0.1340-01
47	0.92000+01	-0.5610-07	0.1990-01
48	0.94000+01	-0.2600-07	0.2500-01
49	0.96000+01	-0.5920-08	0.2840-01
50	0.98000+01	0.2800-08	0.2990-01
51	0.10000+02	-0.4420-09	0.2930-01



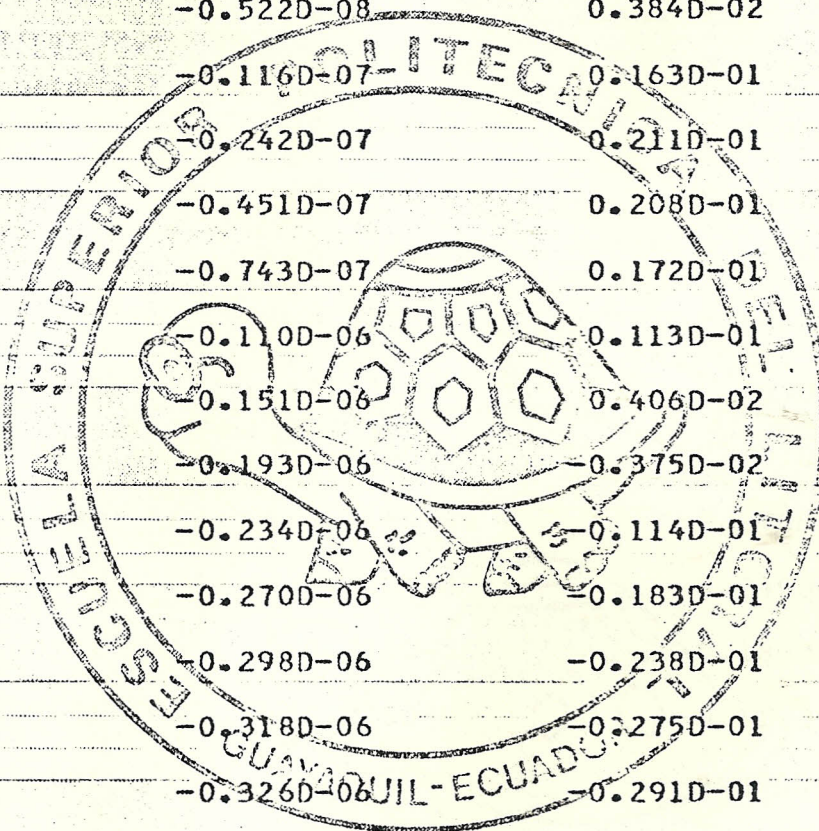
CABLE .CON ABSORBEDOR DE VIBRACIONES

Velocidad de Viento : 5.0 m/s
Frecuencia : 30 Hz
Fuerza : 0.35 kg
Posición del Absorbedor : 1.0 m.

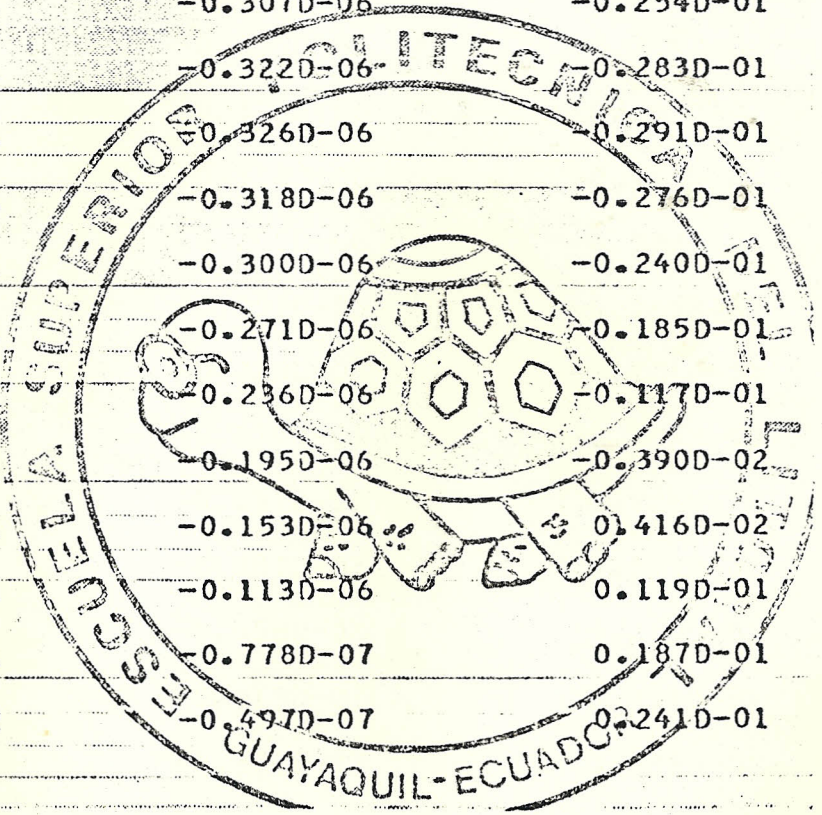
AMPLITUDES Y MOMENTOS FLECTORES PARA UN CABLE TIPO ACSR BLUEJAY

VELOCIDAD DE VIENTO 0.500+01M/S

	POSICION M	AMPLITUD	M. FLECTOR KG-M
1	0.0000D+00	0.124D-22	-0.192D-17
2	0.2000D+00	0.126D-07	0.155D-01
3	0.4000D+00	0.194D-07	0.210D-01
4	0.6000D+00	0.180D-07	0.178D-01
5	0.8000D+00	0.977D-08	0.498D-02
6	0.1000D+01	0.662D-22	-0.213D-01
7	0.1200D+01	-0.522D-08	0.384D-02
8	0.1400D+01	-0.116D-07	0.163D-01
9	0.1600D+01	-0.242D-07	0.211D-01
10	0.1800D+01	-0.451D-07	0.208D-01
11	0.2000D+01	-0.743D-07	0.172D-01
12	0.2200D+01	-0.110D-06	0.113D-01
13	0.2400D+01	-0.151D-06	0.406D-02
14	0.2600D+01	-0.193D-06	-0.375D-02
15	0.2800D+01	-0.234D-06	-0.114D-01
16	0.3000D+01	-0.270D-06	-0.183D-01
17	0.3200D+01	-0.298D-06	-0.238D-01
18	0.3400D+01	-0.318D-06	-0.275D-01
19	0.3600D+01	-0.326D-06	-0.291D-01
20	0.3800D+01	-0.323D-06	-0.284D-01
21	0.4000D+01	-0.308D-06	-0.256D-01
22	0.4200D+01	-0.283D-06	-0.208D-01
23	0.4400D+01	-0.250D-06	-0.145D-01
24	0.4600D+01	-0.211D-06	-0.699D-02
25	0.4800D+01	-0.170D-06	0.103D-02
26	0.5000D+01	-0.129D-06	0.896D-02



27	0.5200D+01	-0.908D-07	0.162D-01
28	0.5400D+01	-0.596D-07	0.222D-01
29	0.5600D+01	-0.373D-07	0.265D-01
30	0.5800D+01	-0.255D-07	0.288D-01
31	0.6000D+01	-0.252D-07	0.288D-01
32	0.6200D+01	-0.364D-07	0.267D-01
33	0.6400D+01	-0.582D-07	0.225D-01
34	0.6600D+01	-0.890D-07	0.166D-01
35	0.6800D+01	-0.126D-06	0.936D-02
36	0.7000D+01	-0.168D-06	0.144D-02
37	0.7200D+01	-0.209D-06	-0.659D-02
38	0.7400D+01	-0.248D-06	-0.141D-01
39	0.7600D+01	-0.282D-06	-0.205D-01
40	0.7800D+01	-0.307D-06	-0.254D-01
41	0.8000D+01	-0.322D-06	-0.283D-01
42	0.8200D+01	-0.326D-06	-0.291D-01
43	0.8400D+01	-0.318D-06	-0.276D-01
44	0.8600D+01	-0.300D-06	-0.240D-01
45	0.8800D+01	-0.271D-06	-0.185D-01
46	0.9000D+01	-0.236D-06	-0.117D-01
47	0.9200D+01	-0.195D-06	-0.390D-02
48	0.9400D+01	-0.153D-06	0.416D-02
49	0.9600D+01	-0.113D-06	0.119D-01
50	0.9800D+01	-0.778D-07	0.187D-01
51	0.1000D+02	-0.497D-07	0.241D-01



	POSICION M	AMPLITUD	M. FLECTOR KG-M
1	0.1000D+02	-0.497D-07	0.241D-01
2	0.1020D+02	-0.313D-07	0.277D-01
3	0.1040D+02	-0.240D-07	0.291D-01
4	0.1060D+02	-0.282D-07	0.283D-01
5	0.1080D+02	-0.437D-07	0.253D-01
6	0.1100D+02	-0.693D-07	0.204D-01
7	0.1120D+02	-0.103D-06	0.139D-01
8	0.1140D+02	-0.142D-06	0.633D-02
9	0.1160D+02	-0.184D-06	-0.171D-02
10	0.1180D+02	-0.225D-06	-0.961D-02
11	0.1200D+02	-0.262D-06	-0.168D-01
12	0.1220D+02	-0.293D-06	-0.227D-01
13	0.1240D+02	-0.314D-06	-0.268D-01
14	0.1260D+02	-0.325D-06	-0.289D-01
15	0.1280D+02	-0.325D-06	-0.287D-01
16	0.1300D+02	-0.312D-06	-0.264D-01
17	0.1320D+02	-0.290D-06	-0.220D-01
18	0.1340D+02	-0.258D-06	-0.160D-01
19	0.1360D+02	-0.220D-06	-0.871D-02
20	0.1380D+02	-0.179D-06	-0.761D-03
21	0.1400D+02	-0.137D-06	0.725D-02
22	0.1420D+02	-0.987D-07	0.147D-01
23	0.1440D+02	-0.658D-07	0.210D-01
24	0.1460D+02	-0.413D-07	0.257D-01
25	0.1480D+02	-0.271D-07	0.285D-01

26	0.1500D+02	-0.242D-07	0.290D-01
27	0.1520D+02	-0.329D-07	0.273D-01
28	0.1540D+02	-0.526D-07	0.236D-01
29	0.1560D+02	-0.816D-07	0.180D-01
30	0.1580D+02	-0.118D-06	0.110D-01
31	0.1600D+02	-0.158D-06	0.322D-02
32	0.1620D+02	-0.200D-06	-0.483D-02
33	0.1640D+02	-0.240D-06	-0.125D-01
34	0.1660D+02	-0.275D-06	-0.192D-01
35	0.1680D+02	-0.302D-06	-0.245D-01
36	0.1700D+02	-0.320D-06	-0.279D-01
37	0.1720D+02	-0.326D-06	-0.291D-01
38	0.1740D+02	-0.321D-06	-0.281D-01
39	0.1760D+02	-0.305D-06	-0.249D-01
40	0.1780D+02	-0.278D-06	-0.199D-01
41	0.1800D+02	-0.244D-06	-0.133D-01
42	0.1820D+02	-0.205D-06	-0.566D-02
43	0.1840D+02	-0.163D-06	0.238D-02
44	0.1860D+02	-0.122D-06	0.102D-01
45	0.1880D+02	-0.851D-07	0.173D-01
46	0.1900D+02	-0.552D-07	0.231D-01
47	0.1920D+02	-0.345D-07	0.271D-01
48	0.1940D+02	-0.246D-07	0.290D-01
49	0.1960D+02	-0.263D-07	0.286D-01
50	0.1980D+02	-0.394D-07	0.261D-01
51	0.2000D+02	-0.628D-07	0.216D-01

AMPLITUDES Y MOMENTOS FLECTORES PARA UN CABLE TIPO ACSR BLUEJAY

VELOCIDAD DE VIENTO 0.500+01M/S

	POSICION M	AMPLITUD	M. FLECTOR KG-M
1	0.2900D+03	-0.108D-06	0.129D-01
2	0.2902D+03	-0.732D-07	0.196D-01
3	0.2904D+03	-0.465D-07	0.247D-01
4	0.2906D+03	-0.296D-07	0.280D-01
5	0.2908D+03	-0.239D-07	0.291D-01
6	0.2910D+03	-0.297D-07	0.280D-01
7	0.2912D+03	-0.468D-07	0.247D-01
8	0.2914D+03	-0.736D-07	0.195D-01
9	0.2916D+03	-0.108D-06	0.129D-01
10	0.2918D+03	-0.148D-06	0.520D-02
11	0.2920D+03	-0.190D-06	-0.286D-02
12	0.2922D+03	-0.231D-06	-0.107D-01
13	0.2924D+03	-0.267D-06	-0.177D-01
14	0.2926D+03	-0.297D-06	-0.234D-01
15	0.2928D+03	-0.317D-06	-0.272D-01
16	0.2930D+03	-0.326D-06	-0.290D-01
17	0.2932D+03	-0.323D-06	-0.285D-01
18	0.2934D+03	-0.310D-06	-0.259D-01
19	0.2936D+03	-0.286D-06	-0.213D-01
20	0.2938D+03	-0.253D-06	-0.150D-01
21	0.2940D+03	-0.215D-06	-0.760D-02
22	0.2942D+03	-0.173D-06	0.392D-03
23	0.2944D+03	-0.132D-06	0.836D-02
24	0.2946D+03	-0.936D-07	0.157D-01
25	0.2948D+03	-0.618D-07	0.218D-01
26	0.2950D+03	-0.386D-07	0.263D-01

27	0.2952D+03	-0.2600-07	0.287D-01
28	0.2954D+03	-0.248D-07	0.289D-01
29	0.2956D+03	-0.351D-07	0.269D-01
30	0.2958D+03	-0.562D-07	0.229D-01
31	0.2960D+03	-0.864D-07	0.171D-01
32	0.2962D+03	-0.123D-06	0.996D-02
33	0.2964D+03	-0.164D-06	0.208D-02
34	0.2966D+03	-0.206D-06	-0.597D-02
35	0.2968D+03	-0.246D-06	-0.135D-01
36	0.2970D+03	-0.280D-06	-0.201D-01
37	0.2972D+03	-0.306D-06	-0.251D-01
38	0.2974D+03	-0.322D-06	-0.282D-01
39	0.2976D+03	-0.326D-06	-0.291D-01
40	0.2978D+03	-0.319D-06	-0.278D-01
41	0.2980D+03	-0.302D-06	-0.243D-01
42	0.2982D+03	-0.274D-06	-0.190D-01
43	0.2984D+03	-0.239D-06	-0.122D-01
44	0.2986D+03	-0.199D-06	-0.453D-02
45	0.2988D+03	-0.157D-06	0.353D-02
46	0.2990D+03	-0.116D-06	0.113D-01
47	0.2992D+03	-0.803D-07	0.182D-01
48	0.2994D+03	-0.516D-07	0.238D-01
49	0.2996D+03	-0.324D-07	0.275D-01
50	0.2998D+03	-0.241D-07	0.290D-01
51	0.3000D+03	-0.275D-07	0.284D-01

CABLE CON ABSORBEDOR DE VIBRACIONES

Velocidad de Viento : 6 m/s
Frecuencia : 36 Hz
Fuerza : 0.50 kg
Posición del aboserbedor: 1.0 m.

AMPLITUDES Y MOMENTOS FLECTORES PARA UN CABLE TIPO ACSR BLUEJAY

VELOCIDAD DE VIENTO 0.60D+01M/S

	POSICION M	AMPLITUD	M. FLECTOR KG-M
1	0.0000D+00	-0.414D-23	-0.480D-17
2	0.2000D+00	0.275D-07	0.276D-01
3	0.4000D+00	0.444D-07	0.410D-01
4	0.6000D+00	0.452D-07	0.429D-01
5	0.8000D+00	0.292D-07	0.337D-01
6	0.1000D+01	0.926D-22	0.122D-01
7	0.1200D+01	-0.364D-07	0.189D-01
8	0.1400D+01	-0.801D-07	0.159D-01
9	0.1600D+01	-0.130D-06	0.721D-02
10	0.1800D+01	-0.183D-06	-0.430D-02
11	0.2000D+01	-0.234D-06	-0.164D-01
12	0.2200D+01	-0.278D-06	-0.274D-01
13	0.2400D+01	-0.312D-06	-0.358D-01
14	0.2600D+01	-0.331D-06	-0.406D-01
15	0.2800D+01	-0.334D-06	-0.414D-01
16	0.3000D+01	-0.320D-06	-0.378D-01
17	0.3200D+01	-0.292D-06	-0.304D-01
18	0.3400D+01	-0.251D-06	-0.199D-01
19	0.3600D+01	-0.203D-06	-0.726D-02
20	0.3800D+01	-0.152D-06	0.609D-02
21	0.4000D+01	-0.103D-06	0.188D-01
22	0.4200D+01	-0.613D-07	0.296D-01
23	0.4400D+01	-0.317D-07	0.373D-01
24	0.4600D+01	-0.168D-07	0.412D-01
25	0.4800D+01	-0.184D-07	0.407D-01
26	0.5000D+01	-0.362D-07	0.361D-01

27	0.5200D+01	-0.683D-07	0.278D-01
28	0.5400D+01	-0.112D-06	0.165D-01
29	0.5600D+01	-0.161D-06	0.359D-02
30	0.5800D+01	-0.212D-06	-0.972D-02
31	0.6000D+01	-0.260D-06	-0.220D-01
32	0.6200D+01	-0.298D-06	-0.321D-01
33	0.6400D+01	-0.324D-06	-0.388D-01
34	0.6600D+01	-0.335D-06	-0.415D-01
35	0.6800D+01	-0.328D-06	-0.399D-01
36	0.7000D+01	-0.306D-06	-0.342D-01
37	0.7200D+01	-0.271D-06	-0.249D-01
38	0.7400D+01	-0.225D-06	-0.131D-01
39	0.7600D+01	-0.175D-06	0.102D-03
40	0.7800D+01	-0.124D-06	0.133D-01
41	0.8000D+01	-0.787D-07	0.251D-01
42	0.8200D+01	-0.433D-07	0.343D-01
43	0.8400D+01	-0.215D-07	0.399D-01
44	0.8600D+01	-0.156D-07	0.415D-01
45	0.8800D+01	-0.263D-07	0.387D-01
46	0.9000D+01	-0.523D-07	0.319D-01
47	0.9200D+01	-0.910D-07	0.219D-01
48	0.9400D+01	-0.138D-06	0.952D-02
49	0.9600D+01	-0.190D-06	-0.380D-02
50	0.9800D+01	-0.239D-06	-0.167D-01
51	0.1000D+02	-0.282D-06	-0.279D-01

	POSICION M	AMPLITUD	M. FLECTOR KG-M
1	0.1000D+02	-0.282D-06	-0.279D-01
2	0.1020D+02	-0.314D-06	-0.362D-01
3	0.1040D+02	-0.332D-06	-0.408D-01
4	0.1060D+02	-0.333D-06	-0.411D-01
5	0.1080D+02	-0.318D-06	-0.372D-01
6	0.1100D+02	-0.288D-06	-0.294D-01
7	0.1120D+02	-0.247D-06	-0.186D-01
8	0.1140D+02	-0.198D-06	-0.589D-02
9	0.1160D+02	-0.146D-06	0.746D-02
10	0.1180D+02	-0.980D-07	0.200D-01
11	0.1200D+02	-0.577D-07	0.305D-01
12	0.1220D+02	-0.294D-07	0.379D-01
13	0.1240D+02	-0.162D-07	0.413D-01
14	0.1260D+02	-0.195D-07	0.405D-01
15	0.1280D+02	-0.389D-07	0.354D-01
16	0.1300D+02	-0.723D-07	0.267D-01
17	0.1320D+02	-0.116D-06	0.153D-01
18	0.1340D+02	-0.167D-06	0.221D-02
19	0.1360D+02	-0.218D-06	-0.111D-01
20	0.1380D+02	-0.264D-06	-0.232D-01
21	0.1400D+02	-0.302D-06	-0.329D-01
22	0.1420D+02	-0.326D-06	-0.392D-01
23	0.1440D+02	-0.335D-06	-0.415D-01
24	0.1460D+02	-0.327D-06	-0.395D-01
25	0.1480D+02	-0.303D-06	-0.334D-01

26	0.1500D+02	-0.267D-06	-0.238D-01
27	0.1520D+02	-0.220D-06	-0.118D-01
28	0.1540D+02	-0.169D-06	0.149D-02
29	0.1560D+02	-0.119D-06	0.146D-01
30	0.1580D+02	-0.745D-07	0.262D-01
31	0.1600D+02	-0.403D-07	0.350D-01
32	0.1620D+02	-0.201D-07	0.403D-01
33	0.1640D+02	-0.160D-07	0.414D-01
34	0.1660D+02	-0.283D-07	0.382D-01
35	0.1680D+02	-0.558D-07	0.310D-01
36	0.1700D+02	-0.956D-07	0.207D-01
37	0.1720D+02	-0.144D-06	0.817D-02
38	0.1740D+02	-0.195D-06	-0.517D-02
39	0.1760D+02	-0.244D-06	-0.180D-01
40	0.1780D+02	-0.286D-06	-0.289D-01
41	0.1800D+02	-0.317D-06	-0.369D-01
42	0.1820D+02	-0.333D-06	-0.410D-01
43	0.1840D+02	-0.332D-06	-0.409D-01
44	0.1860D+02	-0.316D-06	-0.366D-01
45	0.1880D+02	-0.285D-06	-0.285D-01
46	0.1900D+02	-0.242D-06	-0.174D-01
47	0.1920D+02	-0.192D-06	-0.452D-02
48	0.1940D+02	-0.141D-06	0.882D-02
49	0.1960D+02	-0.934D-07	0.212D-01
50	0.1980D+02	-0.541D-07	0.315D-01
51	0.2000D+02	-0.273D-07	0.384D-01

APENDICE G

CARACTERISTICAS DE LOS CONDUCTORES Y UBICACION DE LOS ABSORBEDORES
DE VIBRACION.

CARACTERISTICAS DE LOS CONDUCTORES

(Tomado del Catálogo: "Cables eléctricos Metalis", Buenos Aires, Argentina).

CABLES DE:	Peso Específico kg/dm ³	Coeficiente de dilatación por 1°C	Módulo de elasticidad kg/mm ²	Carga de rotura kg/mm ²
Cobre	8,9	$1,7 \times 10^{-5}$	13.000	40 mín.
Aluminio	2,7	$2,3 \times 10^{-5}$	5.600	17 a 19
Aleación de aluminio (Alumag)	2,7	$2,3 \times 10^{-5}$	6.000	30 mín.
Aluminio-acero	Aluminio: 2,7 Acero: 7,85	$1,85 \times 10^{-5}$	7.700	Aluminio 17 a 19 Acero 126,9 mín.
Acero	Acero: 7,85	$1,1 \times 10^{-5}$	20.000	—

Relación de las características de
Conductores de Aleación de Aluminio y
Aluminio Puro con respecto al Cobre de igual
resistencia eléctrica

	Cobre	ALUMAG	Aluminio
Sección	1	1,84	1,61
Peso	1	0,56	0,5

COEFICIENTE DE VARIACION DE LA
RESISTIVIDAD EN FUNCION DE LA
TEMPERATURA A 20°C

Alambres de:

—Aluminio Puro, 0,00403/°C

—Aleación de Aluminio (ALUMAG), 0,0036/°C

—Cobre, 0,00393/°C

DUCTORES DE ALUMINIO Y DE ALEACION DE ALUMINIO CON ALMA DE ACERO

Relación de secciones: Aluminio acero y aleación aluminio-acero

Secciones nominales aluminio-acero o aleación de aluminio-acero (mm ²)	Sección transversal total (mm ²)	Relación de secciones aluminio acero	Diámetro exterior normal del cable (mm)	Peso total aproximado (kg/km)	Resistencia eléctrica máxima a 20°C (Ω/km)	
					Aluminio acero	Aleación de aluminio acero
16/2,5	17,85	6	5,4	61,66	1,88	2,19
25/4	27,8	6	6,8	96,35	1,20	1,40
35/6	40	6	8,1	138,1	0,835	0,970
50/8	56,3	6	9,6	194,9	0,595	0,691
70/12	81,3	6	11,7	281,9	0,413	0,468
95/15	109,7	6	13,6	380,3	0,306	0,355
120/20	141,4	6	15,5	490,8	0,237	0,276
150/25	173,1	6	17,1	600,6	0,194	0,225
195/30	213,6	6	19	740,8	0,157	0,182
255/35	243,2	6	20,3	843,5	0,138	0,160
320/40	282,5	6	21,9	979,8	0,119	0,138
405/50	353,7	6	24,5	1227	0,0949	0,110
510/30	369,1	11,3	25	1170	0,0851	0,0984
645/50	431,5	7,7	27	1442	0,0757	0,088
810/55	490,6	7,7	28,8	1639	0,0666	0,0773
1005/70	621,3	7,7	32,4	2075	0,0526	0,0611
1275/85	764,8	7,7	36	2549	0,0426	0,0495

MODULO DE ELASTICIDAD Y COEFICIENTE DE DILATACION LINEAL

Para construcciones comunes de conductores de aluminio-acero y de aleación de aluminio-acero.

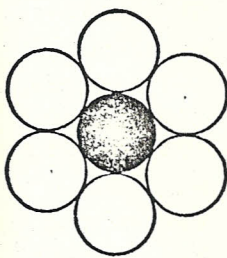
Número de alambres		Módulo de elasticidad (daN/mm ²) (kgf/mm ²)	Coeficiente de dilatación lineal Por °C
Aluminio o aleación de aluminio	Acero		
6	1	8 100	19,1 x 10 ⁻⁶
6	7	7 700	19,8 x 10 ⁻⁶
12	7	10 700	15,3 x 10 ⁻⁶
18	1	6 700	21,2 x 10 ⁻⁶
18	19	12 300	13,9 x 10 ⁻⁶
24	7	7 400	19,6 x 10 ⁻⁶
26	7	7 700	18,9 x 10 ⁻⁶
28	7	7 900	18,4 x 10 ⁻⁶
30	7	8 200	17,8 x 10 ⁻⁶
30	19	8 000	18,0 x 10 ⁻⁶
32	19	8 200	17,5 x 10 ⁻⁶
48	7	6 200	20,9 x 10 ⁻⁶
54	7	7 000	19,3 x 10 ⁻⁶
54	19	6 800	19,4 x 10 ⁻⁶

IRAM 2187

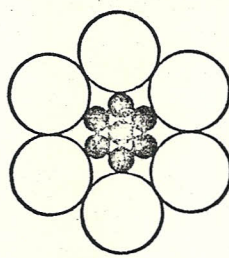
CONDUCTORES DE ALUMINIO Y DE ALEACION DE ALUMINIO CON ALMA DE ACERO

Características constructivas para cables de aluminio y de aleación de aluminio con alma de acero

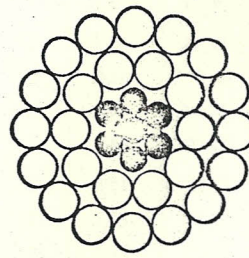
Sección nominal (mm ²)	Parte de aluminio o aleación de aluminio				Alma de acero			
	Número de alambres	Diámetro de cada alambre (mm)	Número de capas	Sección total calculada (mm ²)	Número de alambres	Diámetro de cada alambre (mm)	Diámetro nominal del alma (mm)	Sección total calculada (mm ²)
16/2,5	6	1,8	1	15,3	1	1,8	—	2,55
25/4	6	2,25	1	23,8	1	2,25	—	4
35/6	6	2,7	1	34,3	1	2,7	—	5,7
50/8	6	3,2	1	43,3	1	3,2	—	8
70/12	26	1,85	2	69,9	7	1,44	4,32	11,4
95/15	26	2,15	2	94,4	7	1,67	5,01	15,3
120/20	26	2,44	2	121,6	7	1,9	5,7	19,8
150/25	26	2,7	2	148,9	7	2,1	6,31	24,2
185/30	26	3	2	183,8	7	2,33	6,99	29,8
210/35	26	3,2	2	209,1	7	2,49	7,43	34,1
240/40	26	3,45	2	243	7	2,68	8,04	39,5
300/50	26	3,86	2	304,3	7	3	9	49,5
340/30	48	3	3	339,3	7	2,33	6,99	29,8
380/50	54	3	3	382	7	3	9	49,5
435/55	54	3,2	3	434,3	7	3,2	9,6	56,3
550/70	54	3,6	3	550	7	3,6	10,8	71,3
680/85	54	4	3	678,8	19	2,4	12	86



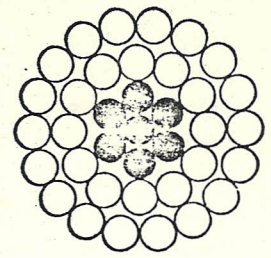
6+1



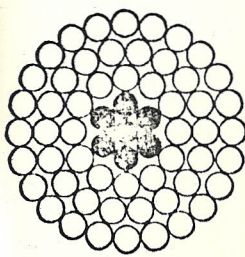
6+7



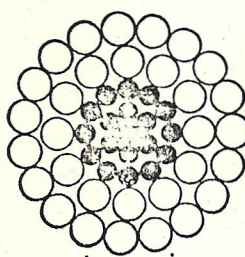
26+7



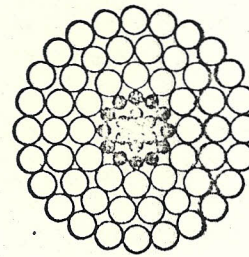
30+7



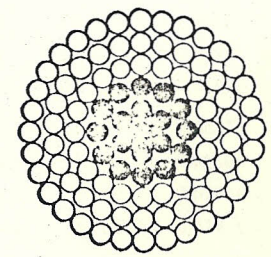
54+7



30+19



54+19



78+19

Denominación Internac.	Sección aluminio		Sección del conductor completo mm ²	Equivalen- lente en cobre mm ²	Número y diámetro de alam, mm ²				Diámetro, mm		Resist. a la rotura kg	Resist. CC a 20°C, ohmios por km
	círcu Mils ó IWG	mm ²			Aluminio		Acero		Conductor completo	Alma acero		
					No	Diá	No	Diá				
Wren	8	8,37	9,81	5,26	6	1,33	1	1,33	3,99	1,33	340	3,423
Warbler	7	10,55	12,32	6,63	6	1,50	1	1,50	4,50	1,50	425	2,714
Turkey	6	13,30	15,46	8,37	6	1,68	1	1,68	5,04	1,68	530	2,154
Thrush	5	16,77	19,55	10,55	6	1,89	1	1,89	5,67	1,89	660	1,707
Twan	4	21,15	24,71	13,30	6	2,12	1	2,12	6,36	2,12	830	1,354
Wallow	3	26,67	31,10	16,77	6	2,38	1	2,38	7,14	2,38	1 025	1,074
Warrow	2	33,62	39,22	21,15	6	2,67	1	2,67	8,01	2,67	1 265	0,8507
Robin	1	42,41	49,48	26,67	6	3,00	1	3,00	9,00	3,00	1 585	0,6754
Wren	1/0	53,49	62,38	33,62	6	3,37	1	3,37	10,11	3,37	1 940	0,5351
Wren	2/0	67,43	78,64	42,41	6	3,78	1	3,78	11,34	3,78	2,425	0,4245
Wren	3/0	85,01	99,23	53,49	6	4,25	1	4,25	12,75	4,25	3 030	0,3367
Wren	4/0	107,2	125,1	67,43	6	4,77	1	4,77	14,31	4,77	3 820	0,2671
Wren	266 800	135,2	157,2	85,01	26	2,57	7	2,00	16,28	6,00	5 100	0,2137
Wren	266 800	135,2	152,7	85,01	6	5,36	7	1,79	16,09	5,37	4,330	0,2118
Wren	266 800	135,2	142,6	85,01	18	3,09	1	3,09	15,47	3,09	3 210	0,2126
Wren	300 000	152,0	187,5	95,6	30	2,54	7	2,54	17,78	7,62	7 000	0,1902
Wren	300 000	125,0	176,7	95,6	26	2,73	7	2,12	17,28	6,36	5 730	0,1900
Wren	336 400	170,5	210,3	107,2	30	2,69	7	2,69	18,83	8,07	7 735	0,1696
Wren	336 400	170,5	198,3	107,2	26	2,89	7	2,25	18,31	6,75	6 375	0,1694
Wren	336 400	170,5	179,9	107,2	18	3,47	1	3,47	17,37	3,47	4 060	0,1686
Wren	397 500	201,4	212,6	126,7	18	3,77	1	3,77	18,87	3,77	4 717	0,1427
Wren	397 500	201,4	248,4	126,7	30	2,92	7	2,92	20,44	8,76	9 060	0,1435
Wren	397 500	201,4	234,2	126,7	26	3,14	7	2,44	19,88	7,32	7 340	0,1434
Wren	477 000	241,7	255,1	152,0	18	4,14	1	4,14	20,68	4,14	5 579	0,1189
Wren	477 000	241,7	273,0	152,0	24	3,58	7	2,39	21,49	7,17	7 802	0,1195
Wren	477 000	241,7	298,1	152,0	30	3,20	7	3,20	22,40	9,60	10 590	0,1196
Wren	477 000	241,7	281,1	152,0	26	3,44	7	2,68	21,80	8,04	8 820	0,1195
Wren	500 000	253,3	312,4	159,4	30	3,28	7	3,28	22,96	9,84	11 090	0,1141
Wren	556 500	282,0	297,7	177,4	18	4,47	1	4,47	22,33	4,47	6 509	0,1018
Wren	556 500	282,0	318,5	177,4	24	3,87	7	2,58	23,22	7,74	9 004	0,1025
Wren	556 500	282,0	347,8	177,4	30	3,46	7	3,46	24,22	10,38	12 360	0,1025
Wren	556 500	282,0	327,9	177,4	26	3,72	7	2,89	23,55	8,67	10 190	0,1025
Wren	605 000	306,6	346,4	192,8	24	4,03	7	2,69	24,21	8,07	9 798	0,09420
Wren	605 000	306,6	356,4	192,8	26	3,87	7	3,01	24,54	9,03	10 954	0,09420
Wren	605 000	306,6	376,5	192,8	30	3,61	19	2,16	25,25	10,80	13 630	0,09432
Wren	605 000	306,6	346,4	192,8	54	3,69	7	2,69	24,21	8,07	10 210	0,09439
Wren	636 000	322,3	364,0	202,7	24	4,14	7	2,76	24,82	8,28	10 274	0,08966
Wren	636 000	322,3	395,6	202,7	30	3,70	19	2,22	25,90	11,10	14 330	0,08973
Wren	636 000	322,3	374,7	202,7	26	3,97	7	3,09	25,15	9,27	11,340	0,08966
Wren	636 000	322,3	364,0	202,7	54	2,76	7	2,76	24,84	8,28	10 730	0,08979
Wren	666 000	337,8	381,6	212,3	24	4,23	7	2,82	25,38	8,46	10 773	0,08550
Wren	666 600	337,8	381,5	212,3	54	2,82	7	2,82	25,38	8,46	11 140	0,08569
Wren	715 500	362,5	445,1	228,0	30	3,92	19	2,35	27,43	11,75	15 690	0,07978
Wren	715 500	362,5	421,6	228,0	28	4,21	7	3,28	26,68	9,84	12 750	0,07966

ON ALMA DE ACERO-DESNUDOS

Secciones normales

Denominación Internac.	Peso kg por km			Porcentajes del peso total		Longitud normal, metros		Peso aproximado de la longitud normal, kg	
	Total	Aluminio	Acero	Aluminio	Acero	Bobinas	Tramos	Bobinas	Tramos
ben	33,77	22,89	10,88	67,9	32,1	8 350	4 175	280	140
barbler	42,53	28,86	13,67	67,9	32,1	6 625	3 310	280	140
barkey	53,61	36,39	17,22	67,9	32,1	5 255	2 625	280	140
brush	67,64	45,88	21,76	67,9	32,1	4 175	2 085	280	140
ben	85,31	57,89	27,42	67,9	32,1	3 310	1 655	280	140
hallow	107,6	72,97	34,61	67,9	32,1	2 615	1 305	280	140
arrow	135,6	92,02	43,63	67,9	32,1	4 160	1 040	560	140
bin	171,1	116,1	55,0	67,9	32,1	3 295	825	560	140
ben	215,9	146,5	69,4	67,9	32,1	2 615	655	560	140
ball	272,1	184,6	87,5	67,9	32,1	2 070	—	560	—
geon	342,9	232,7	110,2	67,9	32,1	1 645	—	560	—
aguin	432,5	293,5	139,0	67,9	32,1	1 305	—	560	—
tridge	545,4	373,5	171,9	68,5	31,5	2 445	—	1 340	—
al	506,8	370,1	136,7	73,0	27,0	925	—	470	—
rawing	429,8	371,5	583,4	86,4	13,6	3 115	—	1 360	—
er	697,0	420,2	276,8	60,3	39,7	2 295	—	1 590	—
rich	612,7	419,7	193,0	68,5	31,5	2 185	—	1 340	—
ole	781,6	471,3	310,3	60,3	39,7	2 040	—	1 590	—
net	687,4	470,7	216,7	68,5	31,5	1 945	—	1 340	—
lin	542,0	468,4	73,6	86,4	13,6	2 440	—	1 360	—
cadee	641,5	554,4	87,1	86,4	13,6	2 085	—	1 336	—
ak	923,3	556,6	366,7	60,3	39,7	1 735	—	1 590	—
a	811,7	556,1	255,6	68,5	31,5	1 650	—	1 340	—
ican	770,9	663,3	104,6	86,4	13,6	1 738	—	1 336	—
xter	914,1	669,7	244,4	73,2	26,8	2 600	—	2 373	—
a	1 108	668	440	60,3	39,7	1 440	—	1 590	—
ak	974,9	667,4	307,5	68,5	31,5	2 475	—	2 415	—
on	1 162	701	461	60,3	39,7	1 375	—	1 590	—
rey	898,8	776,8	122	86,4	13,6	1 489	—	1 335	—
akeet	1 067	781	286	73,2	26,8	2 230	—	2 373	—
gle	1 293	779	514	60,3	39,7	1 235	—	1 590	—
ra	1 137	779	358	68,5	31,5	2 125	—	2 415	—
cock	1 159	850	309	73,1	26,9	2 050	—	2 373	—
ab	1 268	850	308	68,5	31,5	1 959	—	2 416	—
al	1 397	851	546	60,8	39,2	1 875	—	2 613	—
ak	1 158	848	310	73,2	26,8	2 040	—	2 370	—
ak	1 219	893	326	73,2	26,8	1 951	—	2 373	—
al	1 466	891	575	60,8	39,2	1 495	—	2 200	—
abeak	1 299	890	409	68,5	31,5	1 860	—	2 415	—
ase	1 218	892	326	73,2	26,8	1 945	—	2 370	—
amingo	1 277	936	341	73,2	26,8	1 863	—	2 373	—
al	1 276	935	341	73,2	26,8	1 855	—	2 370	—
rawing	1 648	1 002	646	60,8	39,2	1 335	—	2 200	—
rawing	1 462	1 001	461	68,5	31,5	1 655	—	2 415	—

Continúa en la página siguiente.

Sección aluminio		Sección del conductor completo, mm ²	Equivalente en cobre, mm ²	Número y diámetro de alam, mm ²				Diámetro, mm		Resist. a la rotura Kg.	Resist. a CC a 20°C, ohmios por km
Mils circu. o IWG	mm ²			Aluminio		Acero		Conductor completo	Alma Acero		
				No	Diá	No	Diá				
715 500	362,5	409,5	228,0	54	2,92	7	2,92	26,28	8,76	11 950	0,07985
795 000	402,8	430,7	253,4	45	3,38	7	2,25	27,00	6,75	10 410	0,07177
795 000	402,8	494,7	253,4	30	4,14	19	2,48	28,96	12,40	17 440	0,07177
795 000	402,8	468,5	253,4	26	4,44	7	3,45	28,14	10,35	14 175	0,07171
795 000	402,8	455,1	253,4	54	3,08	7	3,08	27,76	9,24	12 950	0,07183
874 500	443,1	509,6	278,7	54	3,23	7	3,23	29,11	9,69	14 245	0,06531
900 000	456,1	515,2	286,8	54	3,28	7	3,28	29,51	9,84	14 650	0,06344
954 000	483,4	516,8	304,0	45	3,70	7	2,47	29,59	7,41	12 202	0,05981
954 000	483,4	546,1	304,0	54	3,38	7	3,38	30,38	10,14	15 535	0,05988
1 033 500	523,7	599,9	329,4	45	3,85	7	2,57	30,81	7,71	13 041	0,05522
1 033 500	523,7	591,6	329,4	54	3,52	7	3,52	31,65	10,56	16 850	0,05527
1 113 000	563,9	603,0	354,7	45	4,00	7	2,66	31,98	7,98	14 039	0,05127
1 113 000	563,9	635,5	354,7	54	3,65	19	2,19	32,84	10,95	18 235	0,05133
1 192 500	604,3	646,0	380,0	45	4,14	7	2,76	33,07	8,28	15 059	0,04785
1 192 500	604,3	680,8	380,0	54	3,77	19	2,27	33,99	11,35	19 550	0,04790
1 272 000	644,5	689,1	405,4	45	4,27	7	2,85	34,16	8,55	16 057	0,04486
1 272 000	644,5	726,2	405,4	54	3,90	19	2,34	35,36	11,70	20 320	0,04490
1 351 500	684,8	732,3	430,7	45	4,40	7	2,92	35,18	8,76	17 010	0,04222
1 351 500	684,8	771,5	430,7	54	4,02	19	2,41	36,17	12,05	21 590	0,04227
1 431 000	725,1	775,5	456,0	45	4,53	7	3,02	36,25	9,06	18 053	0,03988
1 431 000	725,1	817,0	456,0	54	4,14	19	2,48	37,21	12,40	22 850	0,03992
1 510 500	765,4	818,1	481,4	45	4,65	7	3,10	37,21	9,30	18 869	0,03778
1 510 500	765,4	862,4	481,4	54	4,25	19	2,55	38,25	12,75	24 175	0,03782
1 590 000	805,7	861,3	506,7	45	4,77	7	3,18	38,15	9,54	19 867	0,03589
1 590 000	805,7	907,8	506,7	54	4,36	19	2,62	39,24	13,10	24 445	0,0592
1 780 000	901,9	975,5	567,0	84	3,70	19	2,22	40,69	11,10	24 312	0,03212

CABLEADOS EXTRA RESISTENTES

13 125	6,65	15,48	4,18	3	1,680	4	1,680	5,03	—	1 190	4,305
20 870	10,58	24,71	6,65	3	2,118	4	2,118	6,35	—	1 895	2,707
33 185	16,84	39,29	10,57	3	2,672	4	2,672	8,03	—	2 910	1,703
52 770	26,71	62,39	16,81	3	3,371	4	3,371	10,11	—	4 480	1,071
66 540	33,74	78,71	21,20	3	3,785	4	3,785	11,35	—	5 640	0,8492
80 000	40,52	54,65	25,49	8	2,540	1	4,242	9,32	4,24	2,360	0,7077
101 800	51,61	81,68	32,51	12	2,339	7	2,339	11,71	7,02	4 470	0,5589
110 800	56,13	88,90	35,32	12	2,441	7	2,441	12,22	7,32	4 865	0,5134
134 600	68,19	108,0	42,87	12	2,690	7	2,690	13,46	8,07	5 865	0,4227
159 000	80,58	127,5	50,67	12	2,924	7	2,924	14,63	8,77	6 890	0,3578
176 900	89,61	141,9	56,35	12	3,084	7	3,084	15,42	9,25	7 450	0,3216
190 800	96,71	153,1	60,80	12	3,204	7	3,204	16,03	9,61	8 040	0,2982
203 000	102,8	130,6	64,71	8	4,046	7	2,248	14,83	6,74	5 060	0,2789
203 200	103,0	194,8	64,76	16	2,863	19	2,482	18,14	12,41	12 495	0,2817
211 300	107,1	169,5	67,34	12	3,371	7	3,371	16,87	10,11	8 910	0,2692

ALMA DE ACERO-DESNUDOS

Secciones Normales

Denominación Internac.	Peso kg por km		Acero	Porcentajes del peso total		Longitud normal, metros		Peso aproximado de la longitud normal, kg	
	Total	Aluminio		Aluminio	Acero	Bobinas	Tramos	Bobinas	Tramos
	1 370	1 003	367	73,2	26,8	1 735	—	2 370	—
	1 333	1 116	217	83,7	16,3	2 424	—	3 226	—
rd	1 833	1 114	719	60,8	39,2	1 200	—	2 200	—
	1 624	1 113	512	68,5	31,5	1 490	—	2 415	—
or	1 522	1 114	408	73,2	26,8	1 555	—	2 370	—
	1 674	1 226	448	73,2	26,8	1 415	—	2 370	—
y	1 723	1 262	461	73,2	26,8	1 375	—	2 370	—
	1 600	1 339	261	83,7	16,3	2 020	—	3 226	—
nal	1 826	1 337	489	73,2	26,8	1 300	—	2 370	—
	1 734	1 458	283	83,7	16,3	1 863	—	3 226	—
w	1 979	1 449	530	73,2	26,8	1 195	—	2,370	—
ay	1 875	1 570	305	83,6	16,4	1 730	—	3 226	—
	2 120	1 560	560	73,6	26,4	1 025	—	2 175	—
g	2 007	1 671	326	83,7	16,3	1 616	—	3 226	—
de	2 271	1 672	599	73,6	26,4	960	—	2 175	—
n	2 143	1 795	348	83,7	16,3	1 515	—	3 226	—
ant	2 422	1 783	639	73,6	26,4	900	—	2 175	—
r	2 275	1 906	369	83,8	16,2	1 426	—	3 226	—
	2 574	1 895	679	73,6	26,4	845	—	2 175	—
ink	2 411	2 019	392	83,7	16,3	1 346	—	3 226	—
r	2 725	2 006	719	73,6	26,4	800	—	2 175	—
ch	2 543	2 131	412	83,7	16,3	1 276	—	3 226	—
	2 877	2 118	759	73,6	26,4	755	—	2 175	—
ng	2 677	2 243	434	83,2	16,8	1 212	—	3 226	—
	3 028	2 229	799	73,6	26,4	720	—	2 175	—
r	3 086	2 510	576	81,1	18,9	1 006	—	3 094	—

CABLEADOS EXTRA RESISTENTES

	87,80	18,21	69,59	20,7	79,3	5 210	—	460	—
	139,7	28,9	110,8	20,7	79,3	3 275	—	460	—
	222,3	46,0	176,3	20,7	79,3	4 115	—	910	—
	353,6	73,2	280,4	20,7	79,3	2 585	—	910	—
	445,9	92,3	353,6	20,7	79,3	2 050	—	910	—
	221,1	111,2	109,9	50,3	49,7	1 650	—	365	—
	367,9	142,1	234,8	37,7	62,3	2 700	—	1 020	—
	410,3	154,7	255,6	37,7	62,3	2 485	—	1 020	—
	498,3	188,0	310,3	37,7	62,3	2 040	—	1 020	—
	588,8	222,1	366,7	37,7	62,3	1 735	—	1 020	—
	654,7	346,9	407,8	37,7	62,3	1 555	—	1 020	—
	706,6	266,3	440,3	37,7	62,3	1 440	—	1 020	—
	498,9	282,1	216,7	56,4	43,6	1 750	—	885	—
	1 005	285,5	719,5	28,4	71,6	1 200	—	1 205	—
	782,4	295,1	487,3	37,7	62,3	1 300	—	1 020	—

UBICACION DE LOS ABSORBEDORES TIPO STOCKBRIDGE

(Recomendaciones de ASAHI Metal Industries, Mitsubishi Corporation,
Osaka, Japón).

POSICION DE LOS ABSORBEDORES

DIAMETRO DEL CONDUCTOR pulgadas (mm)				POSICION pies (mm).			
Mínimo		Máximo		Primero		Segundo	
0.215	(5.64)	0.277	(7.04)	1	(300)	2 ¹ / ₂	(760)
0.278	(7.05)	0.324	(8.23)	1 ¹ / ₄	(380)	2 ¹ / ₂	(760)
0.325	(8.24)	0.371	(9.42)	1 ¹ / ₂	(460)	3	(910)
0.372	(9.43)	0.402	(10.21)	1 ³ / ₄	(530)	3 ¹ / ₂	(1,070)
0.403	(10.22)	0.434	(11.02)	2	(610)	4	(1,220)
0.435	(11.03)	0.481	(12.22)	2 ¹ / ₄	(690)	4 ¹ / ₂	(1,370)
0.482	(12.23)	0.527	(13.39)	2 ¹ / ₂	(760)	5	(1,520)
0.528	(13.40)	0.573	(14.55)	2 ³ / ₄	(770)	5 ¹ / ₂	(1,680)
0.574	(14.56)	0.636	(16.15)	3	(910)	6	(1,830)
0.637	(16.16)	0.700	(17.78)	3 ¹ / ₄	(990)	6 ¹ / ₂	(1,980)
0.701	(17.79)	0.760	(19.3)	3 ¹ / ₂	(1,070)	7	(2,130)
0.761	(19.31)	0.830	(21.08)	3 ³ / ₄	(1,140)	7 ¹ / ₂	(2,290)
0.831	(21.09)	0.899	(22.8)	4	(1,220)	8	(2,440)
0.900	(22.84)	0.970	(24.64)	4 ¹ / ₂	(1,300)	8 ¹ / ₂	(2,590)
0.971	(24.65)	1.055	(26.8)	4 ¹ / ₂	(1,370)	9	(2,740)
1.056	(26.81)	1.140	(28.96)	4 ³ / ₄	(1,450)	9 ¹ / ₂	(2,900)
1.141	(28.97)	1.224	(31.09)	5	(1,520)	10	(3,050)
1.225	(31.10)	1.303	(33.1)	5 ¹ / ₄	(1,600)	10 ¹ / ₂	(3,200)
1.304	(33.11)	1.396	(35.46)	5 ¹ / ₂	(1,680)	11	(3,350)
1.397	(35.47)	1.500	(38.1)	5 ³ / ₄	(1,710)	11 ¹ / ₂	(3,510)
1.501	(38.11)	1.550	(39.37)	6	(1,830)	12	(3,660)

APENDICE H

ABSORBEDOR DE VIBRACIONES EN UN SISTEMA DE UN GRADO DE LIBERTAD

Una de las formas de eliminar vibraciones resonantes es la utilización de absorbedores de vibración. El absorbedor es un sistema masa-resorte pequeño comparado con el sistema principal de un grado de libertad, en cuestión, cuya frecuencia natural se escoge igual a la frecuencia de la fuerza excitadora. Al añadir el absorbedor al sistema principal, suprime la vibración de éste, masa M en la figura H.1, mientras

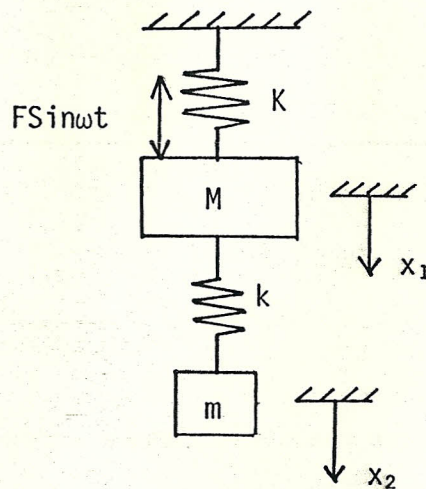


FIGURA H.1 SISTEMA DE UN GRADO DE LIBERTAD CON ABSORBEDOR DE VIBRACIONES.

que m vibra de modo que la fuerza en el resorte de rigidez k es igual y opuesta a la de excitación.

La ecuación de movimiento para el sistema, ahora de dos grados de libertad mostrado en la figura es:

$$M\ddot{x}_1 + kx_1 + k(x_1 - x_2) = F\sin\omega t \quad (\text{h-1})$$

$$m\ddot{x}_2 - k(x_1 - x_2) = 0 \quad (\text{h-2})$$

donde x_1 y x_2 son de la forma:

$$x_1 = a_1 \sin \omega t \quad (\text{h-3})$$

$$x_2 = a_2 \sin \omega t \quad (\text{h-4})$$

Sustituyendo en (h-1) y (h-2),

$$a_1(-M\omega^2 + K + k) - ka_2 = F \quad (\text{h-5})$$

$$-ka_1 + a_2(m\omega^2 + k) = 0 \quad (\text{h-6})$$

Introduciendo la siguiente simbología puede reordenarse las ecuaciones:

$$\omega_{11}^2 = K/M : \text{ frecuencia natural del sistema original}$$

$$\omega_{22}^2 = k/m : \text{ frecuencia natural del absorbedor}$$

$$\begin{aligned} \mu = m/M & : \text{razón de masas} = \frac{\text{masa del absorbedor}}{\text{masa del sist. original}} \\ X_s = F/K & : \text{deflexión estática del sistema original} \end{aligned}$$

(h-5) y (h-6) se transforman en:

$$a_1(1+k/K - \omega^2/\omega_{11}^2) - a_2 k/K = X_s \quad (\text{h-7})$$

$$a_1 = a_2(1 - \omega^2/\omega_{22}^2) \quad (\text{h-8})$$

Resolviendo (h-7) y (h-8) para a_1 y a_2 se obtiene:

$$\frac{a_1}{X_s} = \frac{1 - \omega^2/\omega_{22}^2}{(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{22}^2})(1+k/K - \frac{\omega^2}{\omega_{11}^2}) - k/K} \quad (\text{a-9})$$

$$\frac{a_2}{X_s} = \frac{1}{(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{22}^2})(1+k/K - \frac{\omega^2}{\omega_{11}^2}) - k/K} \quad (\text{h-10})$$

De la ecuación (h-9) puede verse que la amplitud del sistema principal es cero cuando el numerador $(1 - \omega^2/\omega_{22}^2)$ es igual a cero. Esto sucede si la frecuencia del absorbedor es igual a la de la fuerza excitadora. Para este caso, de la ecuación (h-10) se obtiene que:

$$a_2 = -\frac{F}{K} \quad (\text{h-11})$$

Esta última expresión indica que con el sistema principal detenido, el resorte del absorbedor ejerce una fuerza igual y opuesta a la excitada como se mencionó inicialmente.

Reordenando las ecuaciones (h-9) y (h-10) e incluyendo la simbología detallada anteriormente, se obtiene para el caso en que $\omega_{22} = \omega$:

$$\frac{x_1}{X_s} = \frac{1 - \omega^2/\omega_{22}^2}{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{22}^2}\right) \left(1 + \mu - \frac{\omega^2}{\omega_{22}^2}\right) - \mu} \sin \omega t$$

$$\frac{x_2}{X_s} = \frac{1}{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_{22}^2}\right) \left(1 + \mu - \frac{\omega^2}{\omega_{22}^2}\right) - \mu} \sin \omega t.$$

Como puede verse ambas ecuaciones tienen igual denominador. Si se igualan a cero son dos ecuaciones cuadráticas en $(\omega/\omega_{22})^2$, por lo tanto para dos valores de ω los denominadores se hacen cero y las amplitudes infinitas. Estos dos valores de ω son las dos nuevas frecuencias naturales del sistema formado por las masas M y m .

De lo expuesto se deduce que el uso de absorbedores tiene sentido cuando el sistema principal está en resonancia o cerca de ella; hay que notar sin embargo que suprime la vibración solamente en un rango muy angosto de frecuencias, alrededor de la frecuencia de resonancia original. En el caso de los conductores de líneas de transmisión, como es un sistema continuo, siempre es excitado cerca de una de sus frecuencias naturales.

Las ecuaciones mostradas corresponden a un absorbedor de vibraciones no amortiguado. En los absorbedores amortiguados no se suprime el movimiento del sistema principal y hay que encontrar la sintonización

óptima, que no es en este caso $\omega_{22}=\omega$, para mantener en un mínimo la vibración del sistema original.

En los absorbedores de vibración tipo Stockbridge el amortiguamiento lo proporciona la fricción entre alambres del cable central que une las masas del absorbedor(13), Fig. 5.

Si bien el absorbedor Stockbridge es amortiguado, una buena aproximación para su selección(18) es considerarlo como no amortiguado y al cable como un sistema de un grado de libertad.

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

1. ALCOA, "Overhead Conductor Vibration", Aluminum Overhead conductor Engineering Data, Section 4, Rome Cable Division, Aluminum Company of América. USA, 1961.
2. ASM, "Properties and Selection of Nonferrous Alloys and Pure Metal", Metals Handbook, Vol. 2, American Society for Metals, 9th edition, USA, 1979. pp. 20, 45, 53, 59.
3. ASM, "Worldwide Guide to Equivalent Nonferrous Metal and Alloys", Engineering Handbook, American Society for Metals, USA, 1980, p-9.
4. BARRIGA, Alfredo, "Aerøelastic Vibrations of Structural Shapes in Highly Turbulent Flows", Thesis for the Degree of Master of Science. Washington State University. Department of Mechanical Engineering, 1973.
5. BATE, Ernest, "Vibration of Transmission Line Conductors", Transaction of the Institute of Engineers, Vol. II, USA, 1930. pp. 277-290.
6. BLEVINS, R., "Flow Induced Vibration", Van Nostrand Reinhold Company, N.Y. 1977, pp. 11-24, 55-60.
7. BUCHANAN, W.B., "Vibration Analisis. Transmission Line Conductors", AIEE Transactions, Vol. 53, Nov. 1934, pp. 1478-1485.

8. DAILY, J.W. y HARLEMAN, D.R.F., "Dinámica de los Fluidos", Edit. F.Trillas S.A. Méjico, 1969. Cap. 15, pp. 421-441.
9. DAVISON, A.E., INGLES, J.A. y MARTINOFF, V.M., "Vibration and Fatigue in Electrical Conductors", AIEE Transactions, Vol. 51, Dec. 1932. pp. 1047-1051.
10. FARQUHARSON, F.B. y Mc. HUGH, R.E.Jr., "Wind Tunnel Investigation of Conductors Vibration with use of Rigid Models", AIEE Transactions, Vol. 75, Part III, May 1936. pp. 871-877.
11. GOLDSTEIN, S. (Edit.), "Modern developments in fluid dynamics" Vol. II, Dover Publications Inc., N.Y. 1965. pp. 417-421, 556-557, 570-571.
12. HARTOG, D., "Mechanical Vibrations", Mc. Graw-Hill Book Company, Inc., N.Y. 1956. pp. 299-309.
13. HUNT, J.B., "Dynamic Vibration Absorbers", Mechanical Engineering Publications Ltd., London, 1979. pp. 76-77.
14. MONROE, R.A. y TEMPLIM, O.C., "Vibration of overhead Transmission Lines", AIEE Transactions, Vol. 51, Dec 1931. pp. 1059-1073.
15. SANDOR, B.I., "Strength of Materials", Prentice-Hill, Inc., N.J. 1978, pp. 315-324.
16. SHIGLEY, J.E., "Mechanical Engineering Design", Mc.Graw-Hill Book Company, Inc., N.Y., 1963, pp. 157-166, 176-180.

17. SINGER, F.L., "Resistencia de Materiales", Ediciones del Castillo, S.A., Madrid, 1971.
18. STEIDEL, Jr. R.F., "An Introduction to Mechanical Vibrations", John Wiley & Sons, Inc., N.Y. 1971. Cap. 8, p. 282 Problem 8.40. Cao. 10, pp. 387-381.
19. STEIDEL, Jr. R.F., "Factors Affecting Vibratory Stresses in Cables near the Point of Support", AIEE Transactions Paper N^o 59-801, AIEE Summer and Pacific General Meeting and Air Transportation Conference, Seattle, Washington, 1959.
20. STICKLEY, G.W., "Stress-Strain Studies of Transmission Line Conductors", AIEE Transactions, Dec. 1932, p. 1052.
21. STOCKBRIDGE, G.H., "Overcoming Vibration in Transmission Cables", Electrical world, Vol. 86, Dec. 26-1925. pp. 1304-1305.
22. WATERHOUSE, R.B., "Fretting Corrosion", International series of Monographs on Materials Science and Technology, Vol. 10. Pergamon Press, Brawnschweig, Hungary, 1972. p. 130-161.