

TUES
1504
H.557^m
1999
Ej. 2

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA



“Nueva Metodología para el Cálculo de las Ecuaciones
Mecánicas de las Líneas Eléctricas Aéreas”

PRESENTADO POR:

VICTOR MANUEL HERNANDEZ PARADA

ROBERTO SANTOS MARTINEZ

15101278

15101278

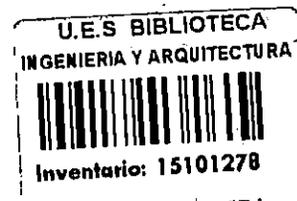
PARA OPTAR AL TITULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA



CIUDAD UNIVERSITARIA, FEBRERO DE 1999

Recibido el 5 de mayo / 99



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

DR. JOSE BENJAMIN LOPEZ GUILLEN

SECRETARIO GENERAL:

LIC. ENNIO ARTURO LUNA

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO

ING. JOAQUIN ALBERTO VANEGAS AGUILAR

SECRETARIO a.i.

ING. OSCAR EDUARDO MARROQUIN HERNANDEZ

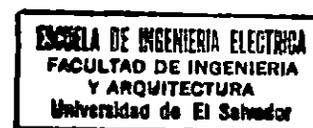
ESCUELA DE INGENIERIA ELÉCTRICA

DIRECTOR

ING. JOSE ROBERTO RAMOS

SECRETARIO

ING. GERARDO MARVIN JORGE HERNANDEZ



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PREVIO A LA OPCIÓN DE:
INGENIERO ELECTRICISTA**

Título :

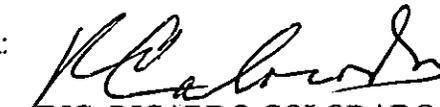
**“Nueva Metodología para el Cálculo de las Ecuaciones Mecánicas de las
Líneas Eléctricas Aéreas”**

PRESENTADO POR:

**VÍCTOR MANUEL HERNÁNDEZ PARADA
ROBERTO SANTOS MARTÍNEZ**

Trabajo de Graduación aprobado por :

COORDINADOR Y ASESOR:


ING. RICARDO COLORADO



SAN SALVADOR, FEBRERO DE 1999

Trabajo de graduación aprobado por :

Coordinador y asesor



Ing. Ricardo Colorado



ACTA DE CONSTANCIA DE NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, 20 de febrero de 1999 en el local de la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a diez horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

- 1- Ing. José Roberto Ramos López
Director
- 2- Ing. Gerardo Marín Jorge Hernández
Secretario

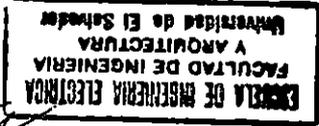
Y con el Honorable Jurado de evaluación integrado por las personas siguientes:

- 1- Ing. Luis Ernesto Montalvo
- 2- Ing. Warner David Meléndez Valle


Firma




Firma



Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:
"Nueva metodología para el Cálculo de las Ecuaciones Mecánicas de las Líneas Eléctricas Aéreas"

A cargo de los Bachilleres:
HERNANDEZ PARADA, VICTOR MANUEL
MARTINEZ, ROBERTO SANTOS

Habiendo obtenido el presente trabajo una nota final, global de 8.6 (OCHO PUNTA SEIS)

A Dios todo poderoso , quien nos ha guiado en el camino correcto y nos ha llevado a que nuestra lucha se convierta en un gran éxito.

A mis padres, Ana Francisca Martínez y Julio Rivas Méndez que me brindaron todo el apoyo necesario en los momento mas difíciles, reconozco todos los inconvenientes que tuvieron que pasar por mi, pero padres les quiero mucho.

A todos mis hermanos quienes estuvieron conmigo, especialmente a Leticia del Carmen Rivas y José Ángel Rivas que sacrificaron mucho para apoyarme en toda la carrera.

A todos los que me ayudaron a salir adelante, gracias.

A mi compañero Víctor Manuel Hernández quien lucho y me animó para poder al objetivo propuesto.

Por tanto a todos ustedes les dedico mi titulo.

Roberto Santos Martínez

A NUESTRO CREADOR, quien con su enseñanza nos ilumina el camino correcto y con su gracia, y nuestra fé logramos nuestra meta.

A mis padres, José Manuel María Parada y María Transito Henández quienes me alentaron a salir adelante, ellos me demostraron comprensión en todo momento.

A mi esposa Alby, quien con su infinito amor y comprensión me inspiró a culminar mi carrera, ya que sin su apoyo no lo hubiera logrado, te amo.

A mi hija, Keiry Yamileth quien me ha dado felicidad y conciliación en mi hogar.

A mi tía Pacita que me dió su apoyo moral a lo largo de mi carrera y por sus grandes consejos, gracias.

A mis hermanos Juanita, Max, Mirna, Conchy, Juan Vicente, Albita y Josefa quienes me brindaron su apoyo incondicional en todo momento.

A Ana Josefa esposa de mi padre y madre de mis hermanas Alby y Josefa quienes me motivaron a seguir estudiando.

A Coralia y a sus hijos Verónica, Rubia, Bertha, Juan e Idalia por su valiosa ayuda en todo momento.

A mis compañeros de estudio quienes he recibido uno de los mejores tesoros como lo es la amistad.

A mi compañero Roberto quien con su espíritu de investigación hizo posible la culminación de este trabajo.

Victor Manuel Hernández Parada.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestro coordinador y asesor **ING. RICARDO COLORADO** por su orientación en todo momento, quien nos ayudó a finalizar este trabajo de graduación, pues nos brindó todo el tiempo y asesoría necesaria para que el tema quedara lo mas claro posible.

Agradecemos al Señor Salvador Posada quien nos brindó eficientemente su ayuda en todo momento que lo necesitamos.

Agradecemos a los Ingenieros Jurados quienes determinaron el final de Nuestro trabajo de graduación.

Agradecemos a la Escuela de Ingeniería Civil y en especial al laboratorista por su ayuda incondicional en todo momento.

PREFACIO

Las ecuaciones usadas actualmente para el cálculo mecánico de las líneas aéreas eléctricas, no toman en cuenta en su dimensión completa elementos que originan deformaciones en los cables , tales como temperatura y fátiga ocasionada por esfuerzo y/o temperatura.

Esto trae como resultado, deterioros físicos y estructurales no esperados, ocasionando disminución en la vida útil de los conductores y operación deficiente del sistema eléctrico con pérdidas de energía y económicas adicionales.

El objetivo es desarrollar una nueva metodología para el cálculo de las ecuaciones mecánicas de las líneas, que garanticen que el conductor nunca alcance el esfuerzo de fluencia y que determine el comportamiento de la flecha, para diferentes vanos. Como también determinar una relación esfuerzo-temperatura aplicable a todos los materiales usados en líneas eléctricas , que determine el máximo esfuerzo permitido en los conductores dependiendo de la temperatura , esta relación se comprobará con experimentos o datos ciertos proporcionados por los fabricantes ; y luego proponer la modificación de ecuaciones existentes, incorporando la nueva relación esfuerzo-deformación, y desarrollar nuevas ecuaciones si fuera pertinente, con su respectiva comprobación.

RESUMEN

Tradicionalmente , el diseño de las líneas eléctricas aéreas esta basado principalmente en las ecuaciones estáticas de la parábola y la catenaria, y la ecuación dinámica de cambio de estado que relaciona la deformación del conductor dependiendo del cambio de temperatura y de esfuerzo.

Por experiencia sabemos que entre temperatura y deformación existe una relación que por el momento es desconocida, pero es razonable pensar que a mayor temperatura el conductor soporta menos esfuerzo.

La presente investigación, pretende establecer esta relación , que resuelva algunos problemas que existen actualmente, como el fenómeno de "Jaula de Ardilla" que consiste en que los conductores de aluminio permanezcan permanentemente deformados, una vez, que el conductor alcanzó la fluencia por exceso de temperatura y/o esfuerzo.

Se realizaron pruebas de tensión para determinar la relación esfuerzo-deformacion de probetas de hierro con una longitud de 60 cms y de 1/2 plg de diámetro. Además se realizaron algunas pruebas con limitaciones por los tipos de dispositivos utilizados para cables de aluminio con un calibre 500 MCM por lo que los datos obtenidos no son los esperados.

Después de realizar estas pruebas se procedió al análisis de los datos através de tablas y gráficos ; para luego obtener un promedio estadístico y sus respectivos gráficos.

Los módulos de elasticidad fueron los puntos claves de análisis, según la teoría a mayor temperatura el módulo es menor, lo cual en nuestro caso en un rango de temperatura contradice ello, por eso demostrado en este documento.

INDICE

CAPITULO I

GENERALIDADES SOBRE LA PARTE MECÁNICA DE LAS LÍNEAS ELÉCTRICAS AÉREAS

1.1- Antecedentes.....	1
1.1.1- Cálculo mecánico de las líneas de transmisión aéreas.....	1
1.2- Propiedades de los materiales.....	2
1.3- Efectos térmicos sobre un conductor.....	8
1.4- Módulo de elasticidad.....	10
CONCLUSIONES.....	12
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	13

CAPITULO II

DATOS OBTENIDOS Y SU PROCESAMIENTO

2.1- Materiales y equipo utilizado.....	14
2.2- Procedimiento realizado para la obtención de datos en pruebas.....	15
2.3- Datos obtenidos en pruebas.....	15
2.3.1- Análisis de datos.....	16
2.4- Promedio estadístico de pruebas.....	31
2.4.1- Promedio estadístico de pruebas a 27 grados centígrados.....	31
2.4.2- Promedio estadístico de pruebas a 35 grados centígrados.....	32
2.4.3- Promedio estadístico de pruebas a 45 grados centígrados.....	33
2.4.4- Promedio estadístico de pruebas a 60 grados centígrados.....	34
2.4.5- Promedio estadístico de pruebas a 70 grados centígrados.....	35
2.5- Resultados obtenidos de las pruebas.....	36
2.6- Pruebas con cable de aluminio calibre 500 MCM.....	38
CONCLUSIONES.....	43
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

CAPITULO III

ANÁLISIS MATEMÁTICO

3.1- Parte analítica y matemática.....	45
3.2- Demostración de la ecuación de estado.....	46
3.3- Ejercicio de aplicación.....	48
CONCLUSIONES.....	55
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
CONCLUSIONES GENERALES	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
ANEXOS	
INFORMACIÓN BIBLIOGRÁFICA DE ESTUDIOS CONSULTADOS.....	A1

CAPITULO I

GENERALIDADES SOBRE LA PARTE MECÁNICA DE LAS LÍNEAS ELÉCTRICAS AÉREAS

Introducción

Este capítulo se da a conocer lo más importante hasta ahora sobre las líneas eléctricas aéreas en cuanto a la parte mecánica de ellas.

Hacemos una breve descripción de algunos conceptos referentes a las propiedades mecánicas de algunos materiales específicamente hierro, aluminio y cobre .

Otro factor a tratar es la ecuación de cambio de estado que se utiliza para el cálculo de las propiedades mecánicas como flecha, vanos, libramientos . Con esto se pretende iniciar el conocimiento de los temas mencionados.

1.1 ANTECEDENTES.

1.1.1 CALCULO MECÁNICO DE LAS LÍNEAS DE TRANSMISIÓN AÉREAS.

En el diseño mecánico la tensión en los conductores se debe ajustar de manera que su máximo quede dentro de los límites permisibles de trabajo según la tensión de ruptura (o de los materiales). Si no se debe tensar demasiado el cable, esto significa que se tendrían flechas considerables entre los soportes los cuales deberán estar localizados con claros convenientes de manera que la altura h de los conductores sobre el nivel del suelo sea adecuado en todo el trayecto de la línea.

En general una línea de transmisión se debe diseñar para las peores condiciones probables pero no para las peores condiciones posibles. Por ejemplo, se debe diseñar para vientos probables, pero no para huracanes en una zona donde no es muy probable que ocurra un huracán. Al diseñar para las peores condiciones posibles elevaría el costo de la línea.

Las peores condiciones que se deben tomar en cuenta son :

Baja temperatura, tensa el cable, haciendo que pueda entrar en zona no elástica de funcionamiento del material.

Alta temperatura, la carga eléctrica calienta los cables así como la temperatura ambiente, haciendo que la flecha aumente demasiado poniendo en peligro el requisito de distancia hacia el suelo. Además al ser muy grande la flecha al oscilar los cables por el viento podrían entrar en contacto o acercarse demasiado entre sí (entre una fase y otra) los conductores lo cual requeriría que fueran más separados en la torre.

Viento, la fuerza del viento se debe sumar a la carga del peso propio del cable.

Hielo-Nieve. Aumenta el peso propio del cable. Este problema no se tiene en El Salvador. Sintetizando el problema del diseño mecánico. Tensión vrs flecha, la flecha no debe ser muy grande. La flecha disminuye si se aumenta la tensión en el cable, pero también la tensión no debe ser muy grande para no poner en peligro el comportamiento mecánico del material. Hay entonces un compromiso entre flecha y tensión , pero también hay que tomar en cuenta las posibles variaciones alrededor del punto del diseño.

La variación de la flecha y la tensión provocada por cambios en la carga (peso + carga de viento) y la temperatura, se puede expresar en una ecuación que se conoce como ecuación de cambio de estado o ecuación de Blondel.

Dicha ecuación se expresa en términos de: carga, tensión, longitud del cable, temperatura, módulo de elasticidad, coeficiente de dilatación y área de la sección transversal del cable.

Ecuación. de estado.

$$T^3_2 + [EA\alpha(t_2 - t_1) + L^2W^2_1EA/24T^2_1 - T_1]T^2_2 - L^2W^2_2EA/24 = 0 \quad \text{Ecuación 1.1}$$

Las variables se definirán más adelante

1.2 PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Los conductores de las líneas eléctricas no son hilos (salvo raras excepciones) si no cables, que no son homogéneos, ya que los que se utilizan en la actualidad, de aluminio-acero, son heterogéneos, no así los cables de protección de tierra que son de acero por tanto son homogéneos.

El cálculo mecánico de unos y otros es el mismo, pero el de los heterogéneos hay que hacerlo en función del módulo de Elasticidad (E) y del coeficiente de dilatación (α), correspondientes a la proporción en que se encuentre el aluminio y el acero.

Los valores del módulo y coeficiente citados serán los que facilite como datos el fabricante del cable.

Para algunas casos se citan a continuación:

	Módulo de elasticidad	de	Coefficiente de dilatación por grado de temp.
Aluminio-acero	7.730	kg/mm ²	18.99x10 ⁻⁶
Aluminio	2.03x10 ⁶	kg/cm ²	9.0x10 ⁻⁶

Tanto los conductores como los cables de tierra de las líneas eléctricas aéreas están sometidas a la influencia de:

- Las variaciones de la temperatura ambiente..
- La acción del viento.

Estas magnitudes de origen climatológico actúan sobre los cables modificando la tensión mecánica que se dio a los mismos cuando se realizó su tendido.

Las variaciones de temperatura alteran la longitud de aquellos, haciendola mayor o menor, produciendo alargamientos o acortamientos.

Si la temperatura baja la longitud de aquel será menor (acortamiento), la flecha disminuirá, y de modo simultáneo aumentará la tensión mecánica.

Las modificaciones de la longitud de un cable se producen en función del coeficiente de dilatación lineal α del mismo.

La tensión mecánica que al variar produce una alteración de la longitud del cable es función del alargamiento elástico, que es la inversa del módulo de la elasticidad E de aquel.

El viento actúa como si se tratase de un aumento aparente de dicho peso propio. De lo anterior expuesto se deduce que es necesario tener en cuenta las variaciones de temperatura y las sobrecargas que puedan presentarse, para que en todo momento se cumplan las prescripciones reglamentarias; como son las de tensión máxima admisible, flechas (verticales o inclinadas), distancia de seguridad, etc.

Todas las modificaciones que deben preverse en el funcionamiento mecánico de las líneas se reflejan en una relación entre ellas, que se llama "Ecuación de cambio de Estado".

La ecuación de cambio de estado esta representada así:

$$\alpha\Delta T + \Delta\sigma/E = l^2/24xPe^2[(P2/\sigma2)^2 - (P1/\sigma1)^2] \quad \text{Ecuación 1.2}$$

Donde:

α : coeficiente de dilatación lineal del cable por grado de temperatura.

$\Delta T = T_2 - T_1$

$\Delta\sigma$: Cambio de esfuerzo en kg/mm²

l : vano en metros.

E : módulo de elasticidad

Pe : peso específico

P₂, P₁ : peso en kg/m/mm² del viento.

Ahora nuestro problema consiste en obtener la anterior ecuación en función de temperaturas reales y no de cambios.

Es de aclarar que la temperatura estará referenciada a un cero, pues a ahora no lo está.

Por ahora hablaremos de conceptos mecánicos básicos a que un conductor puede estar sometido:

Consideremos un alambre cargado de fuerzas axiales P en los extremos, como se muestra en la Fig. 1-1. En este caso las fuerzas axiales producen un alargamiento de la barra, por lo que se dice que se encuentra en tensión.

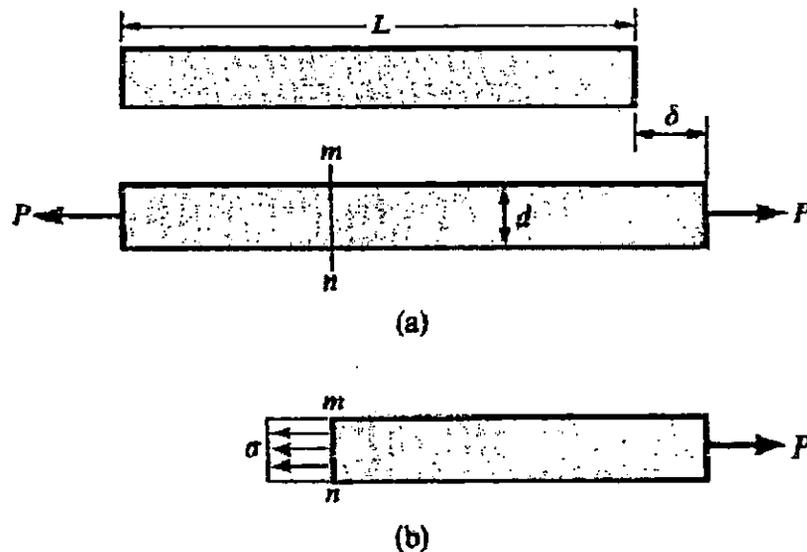


Fig. 1-1 Barra prismática sujeta a tensión

La carga de tensión P actúa sobre el extremo derecho del cuerpo libre (fig. 1.1 b); en el otro extremo ocurren fuerzas que representan la acción de la parte izquierda del alambre sobre la parte aislada restante. Tales fuerzas se distribuyen de modo continuo sobre la sección transversal. La intensidad de la fuerza (esto es, la fuerza por unidad de área) se denomina esfuerzo y se denota comúnmente por la letra σ . Si se supone que el esfuerzo tiene una distribución uniforme sobre la sección transversal (Fig. 1.1b), podemos apreciar fácilmente que su resultante es igual a la intensidad σ multiplicada por el área de sección transversal A del alambre. Más aún, a partir del cuerpo en equilibrio mostrado en la figura 1.1b es también evidente que esta resultante debe ser de igual magnitud y de dirección opuesta a la carga aplicada P , de donde se obtiene :

$$\sigma = P/A$$

Ecuación 1.3

Una barra axialmente cargada sufre una variación en longitud: Se alarga si está a tensión y se acorta si está a compresión.

La variación total en longitud se denota por la letra δ y se muestra en la figura 1.1a. Este alargamiento constituye el resultado del estiramiento del material sobre la longitud l del conductor. Suponiendo que el material es el mismo en cualquier lugar del conductor. Entonces, si se considera la mitad del mismo, este último sufriría un alargamiento igual a $\delta/2$; así mismo, si se considera una longitud unitaria de la barra, sufriría un alargamiento igual a $1/L$ veces el alargamiento δ . De esta forma, hemos llegado al concepto de alargamiento por unidad de longitud, o DEFORMACION UNITARIA, denotada por la letra ϵ y determinada por la ecuación :

$$\epsilon = \delta/l \qquad \text{Ecuación 1.4}$$

Si el conductor está sujeto a tensión, la deformación se denomina deformación unitaria a tensión, y representa un alargamiento relativo del material. Si la barra está sujeta a compresión, la deformación corresponde a una deformación unitaria a compresión y el conductor se acorta. La deformación Unitaria ϵ se denomina deformación unitaria normal por que se refiere a esfuerzos normales, ϵ es adimensional.

Las propiedades mecánicas de los materiales usuales en ingeniería se determinan mediante pruebas efectuadas sobre muestras pequeñas de material.

El ensayo de materiales más común es la prueba de tensión, mediante la cual se aplican cargas de tensión a una varilla.

El esfuerzo axial σ en la barra de prueba se calcula dividiendo la carga P entre el área de la sección transversal A .

Cuando en este cálculo se emplea el área inicial de la barra, el esfuerzo resultante se denomina Esfuerzo Nominal. Se puede calcular un valor más exacto del esfuerzo, conocido como esfuerzo real mediante el área instantánea de la barra, que puede volverse mucho menor que el área inicial en algunos materiales.

Después de realizar una prueba de tensión o de compresión y de establecer el esfuerzo y la deformación para varias magnitudes de carga, se puede trazar un diagrama de esfuerzo contra deformación .

Tal diagrama esfuerzo-deformación es característico del material y proporciona información importante acerca de las propiedades mecánicas y el comportamiento típico del material.

La siguiente figura muestra un gráfico esfuerzo-deformación:

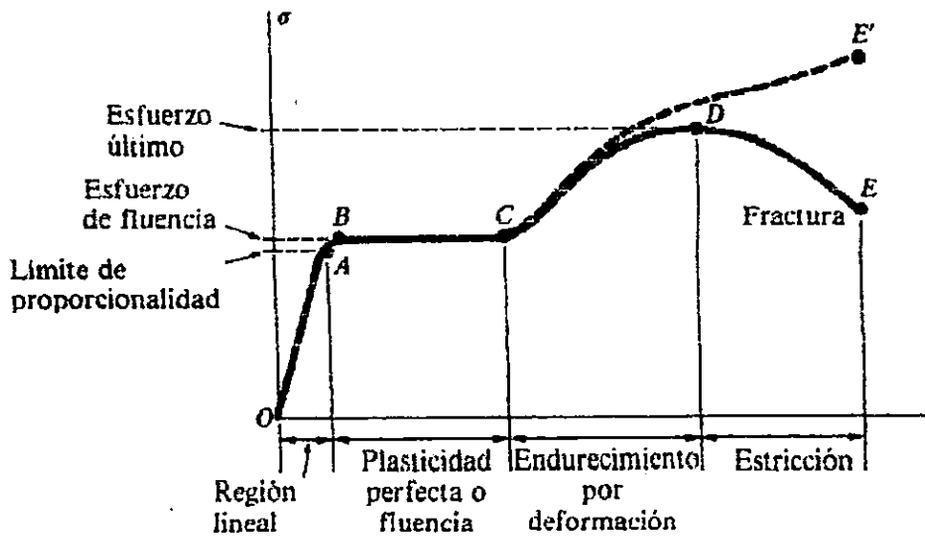


Fig. 1.2 Diagrama esfuerzo-deformación del acero estructural típico en tensión (fuera de escala)

La deformación se presenta en el eje horizontal y el esfuerzo en el eje vertical. El diagrama empieza con una línea recta desde 0 hasta A. En esta región, el esfuerzo y la deformación son directamente proporcionales, y se dice que el comportamiento del material, es lineal. Después del punto A ya no existe relación lineal entre el esfuerzo y la deformación.

Al acrecentar la carga más allá del límite de proporcionalidad, la deformación empieza aumentar más rápidamente para cada incremento en esfuerzo. La curva de esfuerzo-deformación asume luego una pendiente cada vez más pequeñas, hasta que en el punto B la curva se vuelve horizontal. A partir de este punto se representa un alargamiento considerable, con un incremento prácticamente inapreciable en la fuerza de tensión (desde B hasta C en el diagrama). Este fenómeno se conoce como **cedencia o fluencia** del material, y que el esfuerzo en el punto de B se denomina **esfuerzo de cedencia o punto de fluencia**.

En la región desde B hasta C, el material se vuelve perfectamente plástico, lo que significa que puede deformarse sin un incremento en la carga aplicada. En algunos materiales como el acero en la región BC empiezan a mostrar un endurecimiento por deformación. Durante este proceso, el material sufre cambios en su estructura cristalina y atómica, lo que origina un incremento en la resistencia del material a futuras deformaciones. Por tanto, un alargamiento adicional requiere de un incremento en la carga de tensión, y el diagrama esfuerzo-deformación toma una pendiente positiva desde C hasta D. Finalmente, la carga alcanza su valor máximo y el esfuerzo correspondiente (en el punto D) se denomina **esfuerzo último**. De hecho, el alargamiento posterior de la barra se acompaña de una reducción en la carga y finalmente se presenta la fractura en un

punto E, tal como se indica en el diagrama. En la cercanía del esfuerzo último, la disminución del área se aprecia claramente y ocurre un estrechamiento pronunciado de la barra, conocido como estricción, ver fig. 1.3



Fig. 1.3 Estricción de una barra en tensión

Si para el cálculo del esfuerzo se emplea el área de la sección transversal en la parte estrecha del cuello ocasionado por la estricción, la curva real esfuerzo-deformación seguirá la línea punteada CE en la figura 1.2. La carga total que puede resistir la barra se ve efectivamente disminuida después de que alcanza el esfuerzo último (curva DE), pero esta disminución se debe al decremento en área de la barra y no a una pérdida de la resistencia misma del material.

En nuestro caso las pruebas de esfuerzo-deformación nos interesa en el aluminio, es decir los conductores eléctricos pero por las limitaciones del tensiometro lo realizaremos con acero (al final se lograron realizar algunas pruebas con muestras de cable de aluminio pero no se logra ver el punto de fluencia por su fragilidad a la deformación).

Pero muchas aleaciones del aluminio poseen considerable ductilidad, aunque carecen de un punto de fluencia claramente definido. En su lugar, muestran una transición gradual entre las regiones lineal y no lineal, como se indica en el diagrama esfuerzo-deformación de la fig. 1.4. Las aleaciones del aluminio adecuadas para propósitos estructurales están disponibles con límites de proporcionalidad en el intervalo de 10 a 60 ksi y esfuerzos últimos en el intervalo de 20 a 80 ksi.

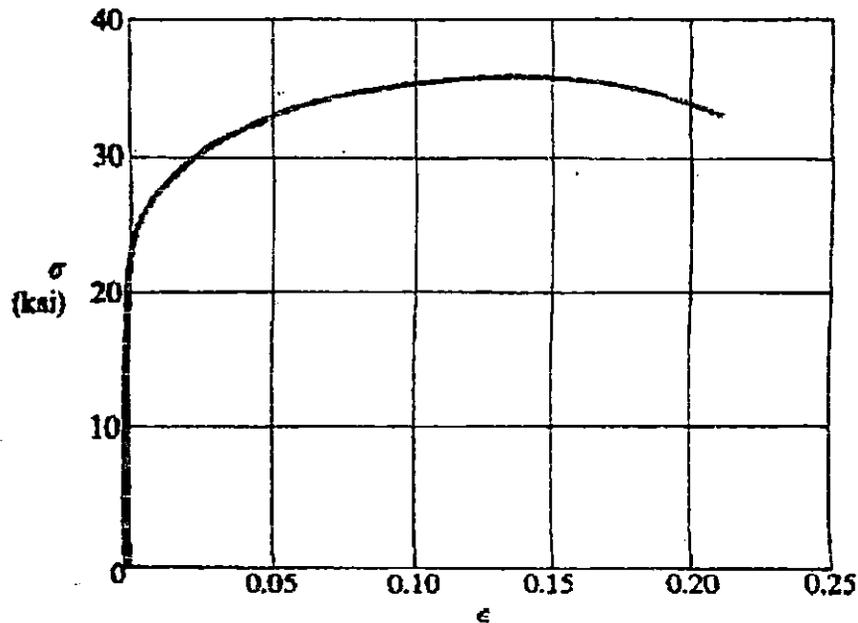
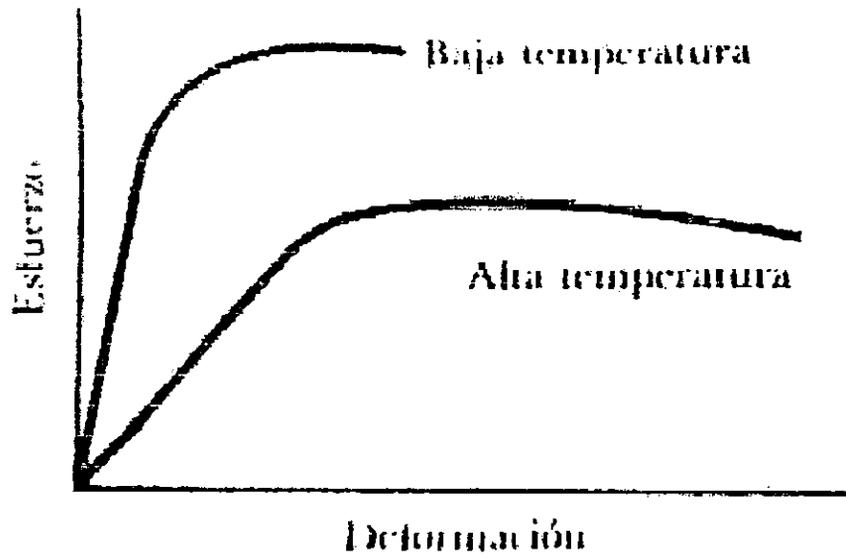


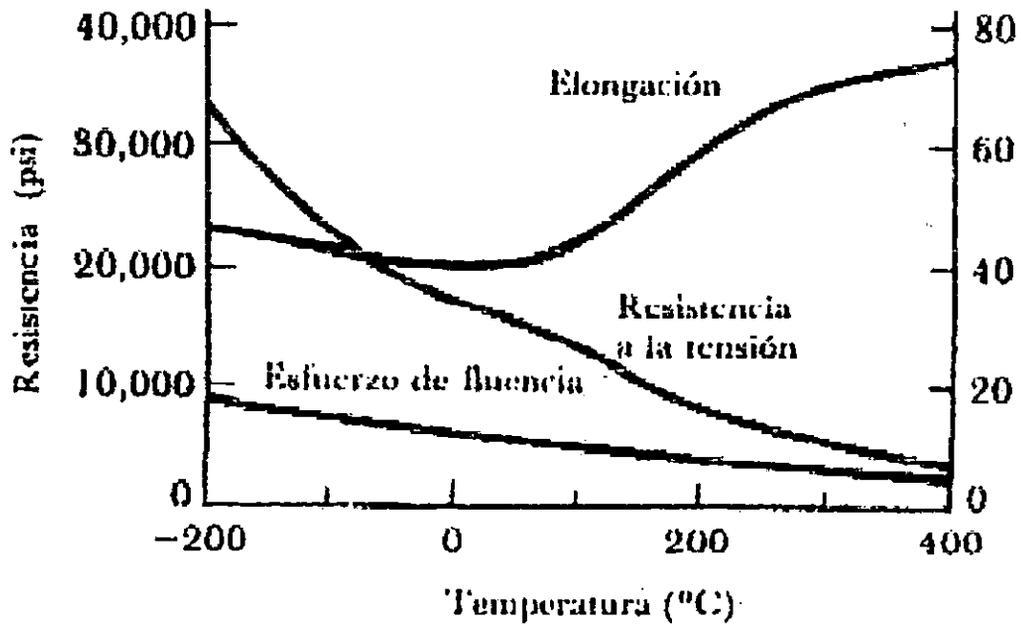
Fig. 1.4 Diagrama esfuerzo-deformación característico de una aleación de aluminio

1.3 EFECTOS TÉRMICOS SOBRE UN CONDUCTOR

Las propiedades a la tensión son afectadas de manera importante por la temperatura (fig. 1.5). El esfuerzo de fluencia, la resistencia a la tensión y el módulo de elasticidad disminuyen a temperaturas elevadas, en tanto que la ductilidad, como medida del grado de deformación en la fractura, comúnmente se incrementa. A un fabricante que emplea ciertos materiales conviene que se deformen a alta temperatura (lo que se conoce como trabajo en caliente) para aprovechar la mayor ductilidad y el menor esfuerzo requerido.



(a)



(b)

Fig 1.5 El efecto de temperatura (a) en la curva esfuerzo-deformación y (b) en las propiedades a tensión de una aleación de aluminio.

1.4 MÓDULO DE ELASTICIDAD.

El módulo de elasticidad (o módulo de young) es la pendiente de la curva esfuerzo-deformación en la región elástica. Esta relación se denomina ley de Hooke.

$$E = \sigma/\epsilon \quad \text{Ecuación 1.5}$$

El módulo está estrechamente relacionado con las fuerzas que unen los átomos en el material. Una pendiente muy acentuada en la gráfica de las fuerzas y el espaciamiento interatómico en la zona de equilibrio indica que se requieren grandes fuerzas para separar los átomos y producir la deformación elástica del metal, lo cual indica que este tiene un alto módulo de elasticidad.

Las fuerzas de unión (y en consecuencia, el módulo de elasticidad) son mayores para los metales de alto punto de fusión. (Tabla 1.1).

La cantidad anterior es una medida de la rigidez del material. Un material rígido con un módulo de elasticidad alto, mantiene su tamaño y forma al ser sometido a una carga elástica.

La fig. 1.6 muestra el comportamiento elástico de hierro y del aluminio. El hierro tiene un módulo de elasticidad tres veces mayor que el del aluminio.

TABLA 1.1

METAL	TEMPERATURA DE FUSIÓN (°C)	MÓDULO DE ELASTICIDAD
Pb	327	2.0×10^6
Mg	650	6.5×10^6
Al	660	10.0×10^6
Ag	962	10.3×10^6
Au	1064	11.3×10^6
Cu	1085	18.1×10^6
Ni	1453	29.9×10^6
Fe	1538	30.0×10^6
Mo	2610	43.4×10^6
W	3410	38.5×10^6

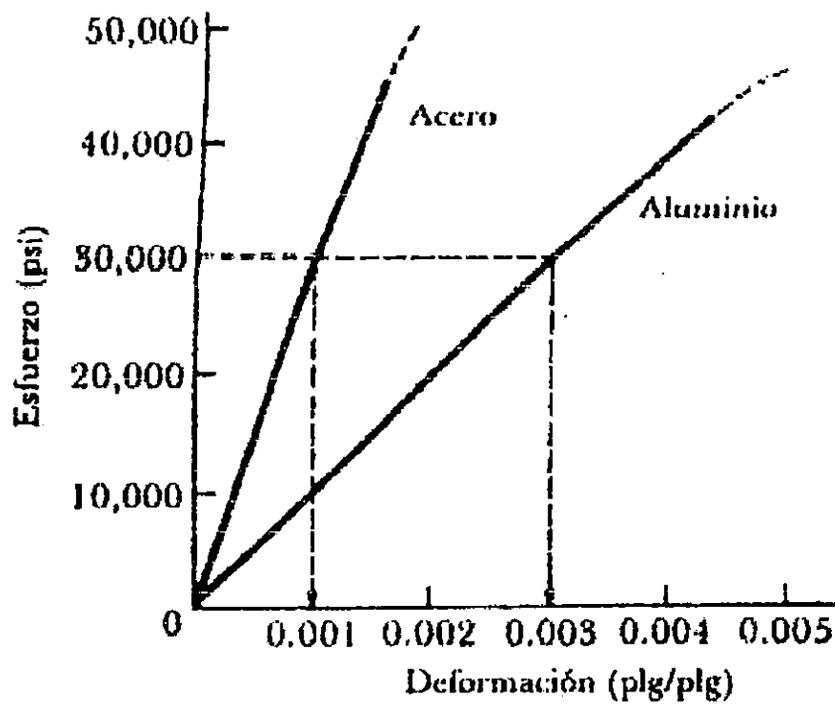


FIG. 1.6 Comparación del comportamiento elástico del acero y del aluminio.

CONCLUSIONES

- La resistencia a la tensión es el esfuerzo resultante de la mayor fuerza aplicada , y por ello es el esfuerzo máximo que ocurre en la curva esfuerzo-deformación, debido a eso es muy importante la resistencia a la tensión para la obtención de otras propiedades de los materiales más difíciles de evaluar.
- Para la selección de los materiales o fabricación de ellos es importante tomar en cuenta el esfuerzo de fluencia que es el que determina si el material se deformará o no.
- La fuerza necesaria para producir un cierto grado de deformación en el material depende del diámetro de la probeta o muestra . Si el diámetro es mayor la deformación tiende a ser mayor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ◆ Gere, James M., Timoshenko, Stephen P., Mecánica de Materiales , segunda edición, Grupo Editorial Iberoamericana.
- ◆ Checa, Luis María , Líneas de Transporte de Energía. , Tercera edición, Marcombo Boixareu Editores, Barcelona-Mexico.
- ◆ Pytel, Andrew, Singel, Ferdinand L, Resistencia de Materiales, Introducción a la Mecánica de los Sólidos, Cuarta edición.
- ◆ Asheland, Donald R. , La Ciencia e Ingeniería de los Materiales , Capítulo 6.

CAPITULO II

DATOS OBTENIDOS Y SU PROCESAMIENTO

Introducción.

En este capítulo se muestra el procedimiento que se realizó para la obtención de datos por medio de la prueba de esfuerzo-deformación, se enumera el equipo y material utilizado para la realización de dicha prueba.

Además presentamos los datos obtenidos como esfuerzo, deformación, módulo de elasticidad, así como el coeficiente de dilatación lineal y su procesamiento en tablas con sus respectivos gráficos cada uno. Esto considerando que la temperatura en El Salvador puede variar desde 25 °C hasta unos 50 °C, pero hemos optado por llegar hasta un máximo de 70 °C.

2.1 Materiales y equipo utilizado

- * Varillas de acero de 60 cms de longitud y de aluminio (del mismo tamaño).
- * Un pie de rey
- * Una cinta métrica
- * Una balanza de un gramo de precisión
- * Un marcador
- * Un martillo
- * Un yeso.
- * Un extensómetro de Moore.
- * Un voltímetro con capacidad de medir temperatura.
- * Una sonda de temperatura.
- * Un horno eléctrico con capacidad de 100 °C.
- * Maquina Universal.

2.2 Procedimiento realizado para la obtención de datos en la prueba de esfuerzo - deformación.

1. Se tomarán dimensiones de las varillas, diámetro y longitud, y luego se anotaron en formularios para dichas pruebas.
2. Se obtuvo el peso de las varillas, en Kg.
3. Ubicamos el centro de las varillas de tal forma que coincidiera con el pin central; las marcas se realizan sobre las barras (generalmente en una de sus venas longitudinales o en la superficie de la barra entre resaltes); posteriormente se procedió a golpear con un martillo cada uno de los pines del marcador, teniendo cuidado de que las marcas no fueran muy profundas.
4. Luego se colocó en la varilla el extensómetro de Moore, el cual se utilizó para tomar las lecturas de deformación, que presentó la varilla al ser sometida a tensión.
5. Seguidamente, aseguramos el extremo superior de la probeta en el cabezal fijo de la máquina de ensayo. Colocamos la probeta de tal modo que las marcas queden hacia el frente de la máquina, luego aseguramos la varilla en la parte móvil de la máquina, luego se ajustó el deformímetro para que indique cero.
6. Se eligió incrementos de carga de 500 Kg, para obtener 10 lecturas debajo del límite proporcional probable. Aplicamos la carga a baja velocidad, tomando valores de carga y deformación, los cuales se anotaron en sus respectivos formularios para las diferentes pruebas realizadas.
7. Una vez tomada la lectura de fluencia, se procedió a tomar dos lecturas adicionales, luego se retiró el extensómetro para la protección del mismo, luego se llevó la varilla hasta la ruptura; se toma la carga máxima y de ruptura de la probeta.

2.3 Datos obtenidos en pruebas.

2.3.1 ANALISIS DE DATOS

OBTENSIÓN DE DATOS Y SU RESPECTIVOS GRÁFICOS
 PRUEBAS USANDO MUESTRAS DE ACERO DE 1/2 PLG.
 DE DIÁMETRO Y 60 CMS DE LONG.

PRUEBAS A 27.4 GRADOS CENTIGRADOS

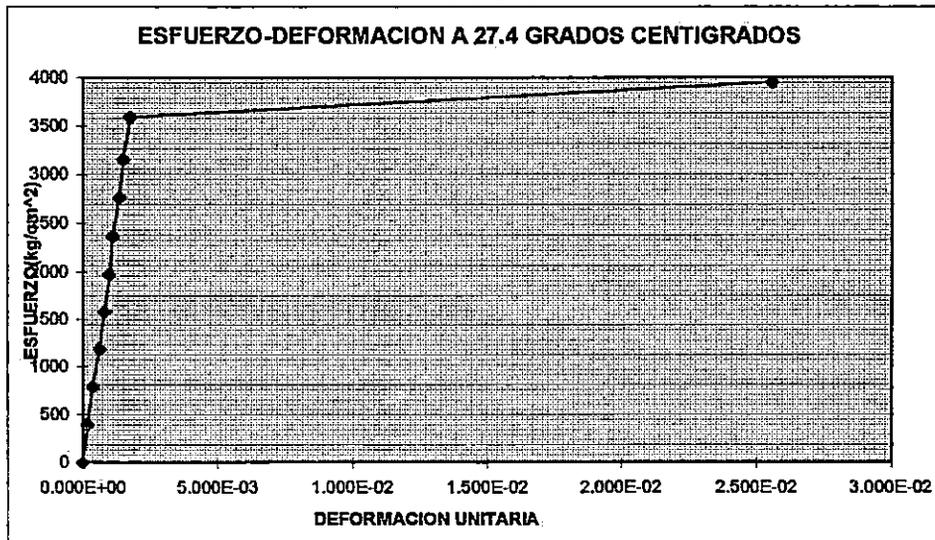
PRUEBA No 1

1.2667313 area de la barra
 0.000125 0.001/8=cms.

Tabla 2.1

Deformación en 0.001*plg	Deformación unitaria	Esfuerzo en Kg/cm ²	Carga en Kg.
0	0.000E+00	0	0
1.5	1.875E-04	394.71669	500
3	3.750E-04	789.43338	1000
5	6.250E-04	1184.1501	1500
6.5	8.125E-04	1578.8668	2000
8	1.000E-03	1973.5834	2500
9	1.125E-03	2368.3001	3000
11	1.375E-03	2763.0168	3500
12	1.500E-03	3157.7335	4000
14	1.750E-03	3591.9219	4550
205	2.563E-02	3947.1669	5000

Gráfico 2.1

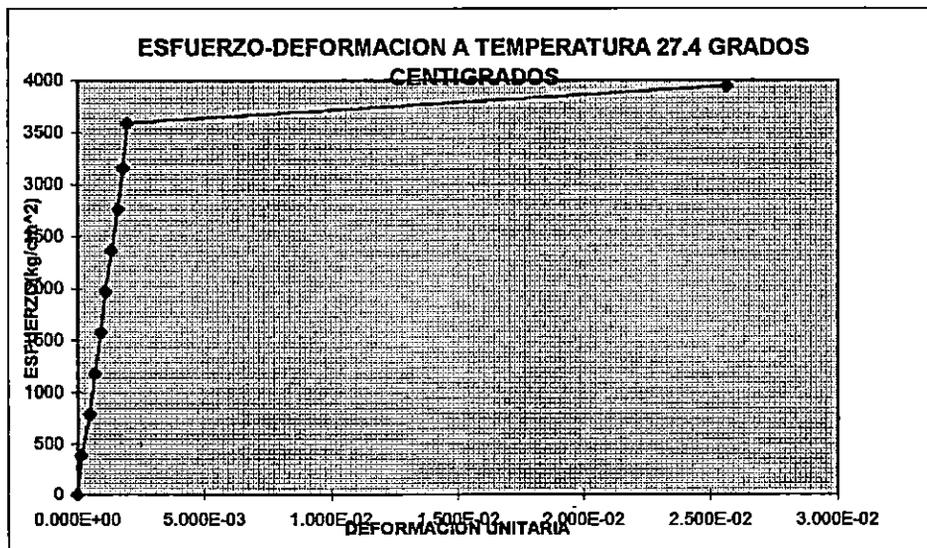


PRUEBA No 2

Tabla 2.2

Deformación en 0.001 *plg	Deformación unitaria	Esfuerzo en Kg/cm ²	Carga en Kg.
0	0.000E+00	0	0
1.2	1.500E-04	394.71669	500
4	5.000E-04	789.43338	1000
5.5	6.875E-04	1184.1501	1500
7.5	9.375E-04	1578.8668	2000
9	1.125E-03	1973.5834	2500
11	1.375E-03	2368.3001	3000
13	1.625E-03	2763.0168	3500
14.5	1.813E-03	3157.7335	4000
16	2.000E-03	3591.9219	4550
205	2.563E-02	3947.1669	5000

Gráfico 2.2

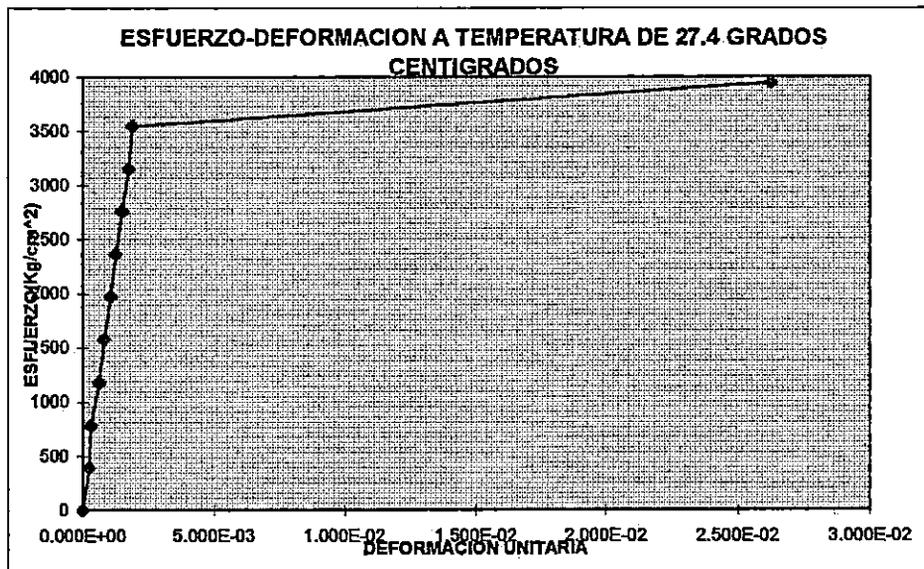


PRUEBA No 3

Tabla 2.3

Deformación en 0.001*plg	Deformación unitaria	Esfuerzo en Kg/cm ²	Carga en Kg.
0	0.000E+00	0	0
1.8	2.250E-04	394.71669	500
2.5	3.125E-04	789.43338	1000
5	6.250E-04	1184.1501	1500
6.5	8.125E-04	1578.8668	2000
8.5	1.063E-03	1973.5834	2500
10	1.250E-03	2368.3001	3000
12	1.500E-03	2763.0168	3500
14	1.750E-03	3157.7335	4000
15	1.875E-03	3552.4502	4500
210	2.625E-02	3947.1669	5000

Gráfico 2.3



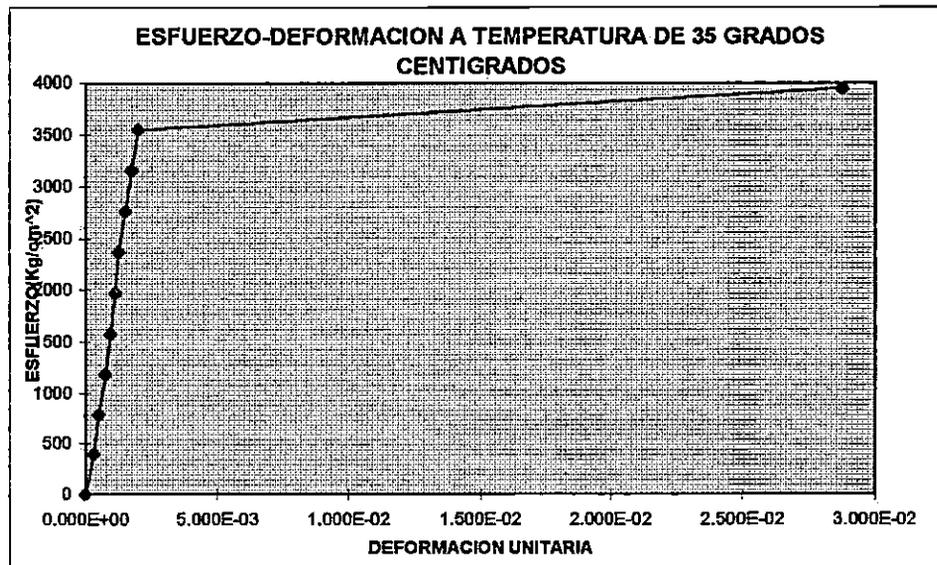
PRUEBAS A 35 GRADOS CENTIGRADOS

PRUEBA # 1

Tabla 2.4

Deformación en 0.001*plg	Deformación unitaria	Esfuerzo en Kg/cm ²	Carga en Kg.
0	0.000E+00	0	0
2.5	3.125E-04	394.71669	500
4	5.000E-04	789.43338	1000
6	7.500E-04	1184.1501	1500
7.5	9.375E-04	1578.8668	2000
9	1.125E-03	1973.5834	2500
10	1.250E-03	2368.3001	3000
12	1.500E-03	2763.0168	3500
14	1.750E-03	3157.7335	4000
16	2.000E-03	3552.4502	4500
230	2.875E-02	3947.1669	5000

Gráfico 2.4

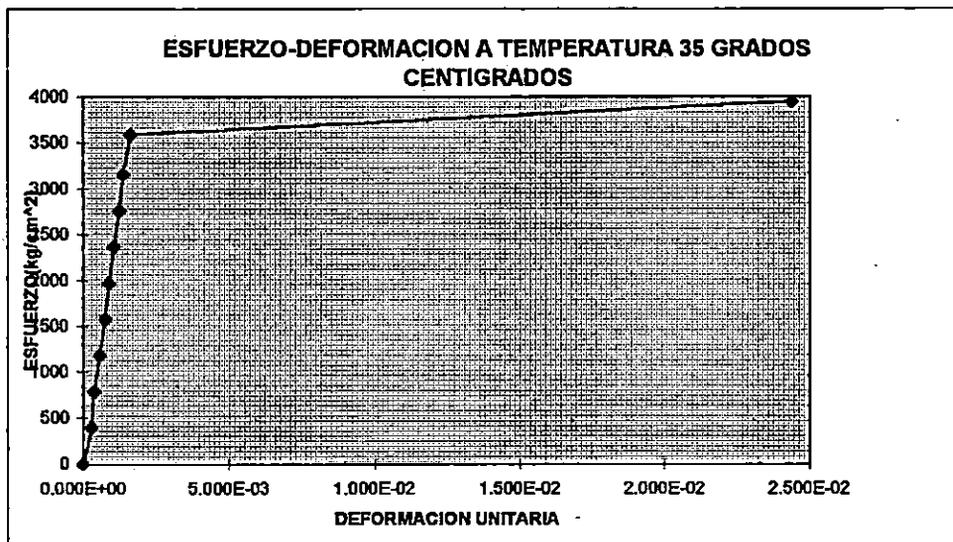


PRUEBA # 2 .

Tabla 2.5

Deformación en 0.001*plg	Deformación unitaria	Esfuerzo en Kg/cm ²	Carga en Kg.
0	0.000E+00	0	0
2.3	2.875E-04	394.71669	500
3	3.750E-04	789.43338	1000
4.5	5.625E-04	1184.1501	1500
6	7.500E-04	1578.8668	2000
7	8.750E-04	1973.5834	2500
8.5	1.063E-03	2368.3001	3000
10	1.250E-03	2763.0168	3500
11	1.375E-03	3157.7335	4000
13	1.625E-03	3591.9219	4550
195	2.438E-02	3947.1669	5000

Gráfico 2.5

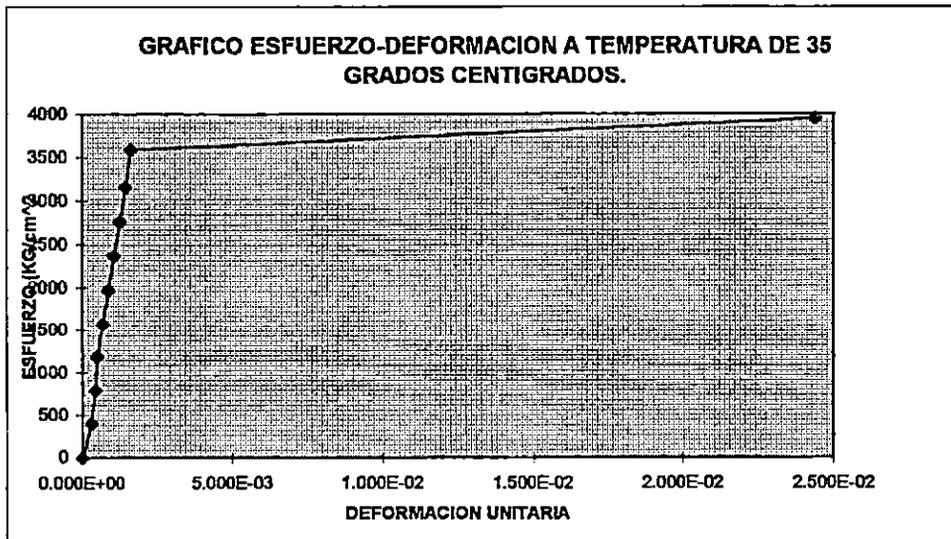


PRUEBA # 3

Tabla 2.6

Deformación en 0.001*plg	Deformación unitaria	Esfuerzo en Kg/cm ²	Carga en Kg.
0	0.000E+00	0	0
2.5	3.125E-04	394.71669	500
3.5	4.375E-04	789.43338	1000
4	5.000E-04	1184.1501	1500
5.5	6.875E-04	1578.8668	2000
7	8.750E-04	1973.5834	2500
8.5	1.063E-03	2368.3001	3000
10	1.250E-03	2763.0168	3500
11.5	1.438E-03	3157.7335	4000
13	1.625E-03	3591.9219	4550
195	2.438E-02	3947.1669	5000

Gráfico 2.6



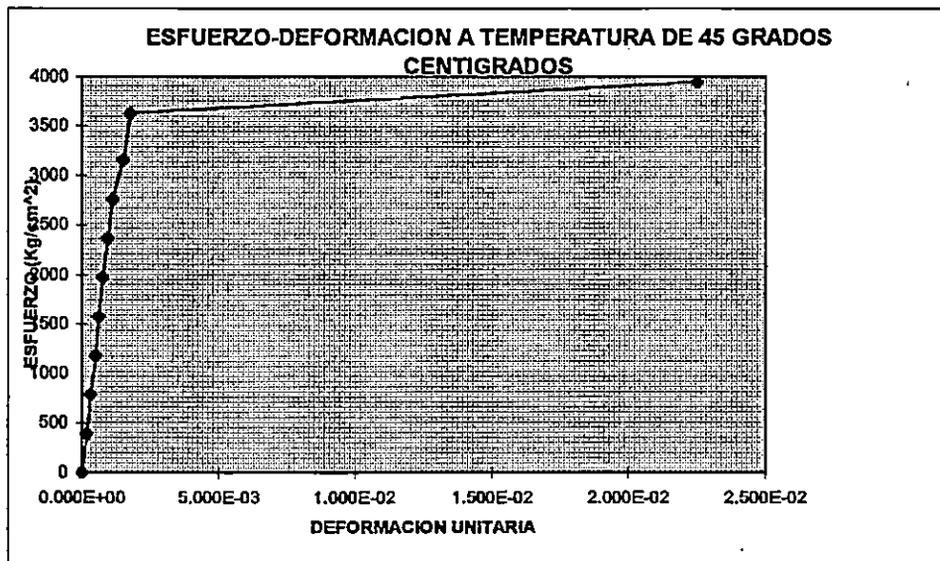
PRUEBAS A 45 GRADOS CENTÍGRADOS

PRUEBA # 1

Tabla 2.7

Deformación en 0.001*plg	Deformación unitaria	Esfuerzo en Kg/cm ²	Carga en Kg.
0	0.000E+00	0	0
1.5	1.875E-04	394.71669	500
2.5	3.125E-04	789.43338	1000
4	5.000E-04	1184.1501	1500
5	6.250E-04	1578.8668	2000
6	7.500E-04	1973.5834	2500
7.5	9.375E-04	2368.3001	3000
9	1.125E-03	2763.0168	3500
12	1.500E-03	3157.7335	4000
14	1.750E-03	3631.3935	4600
180	2.250E-02	3947.1669	5000

Gráfico 2.7

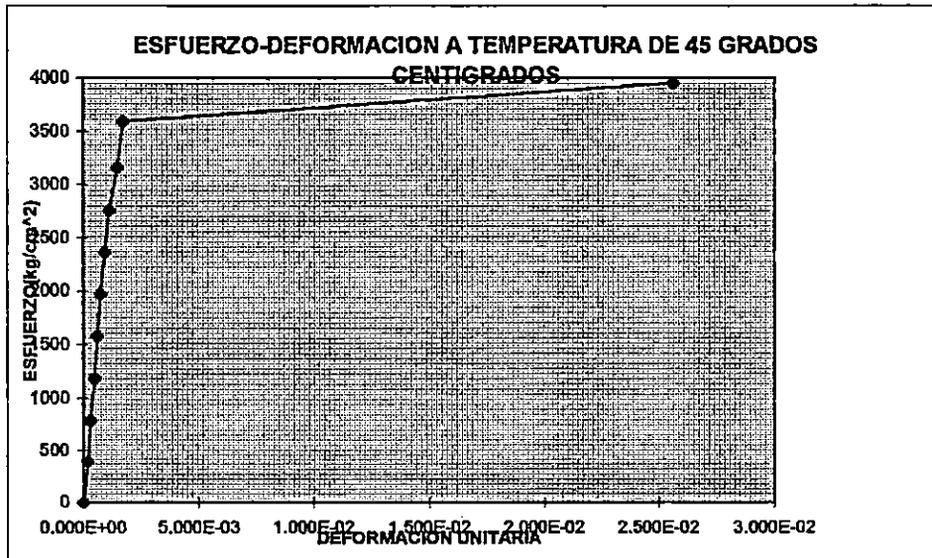


PRUEBA # 2

Tabla 2.8

Deformación en 0.001*plg	Deformación unitaria	Esfuerzo en Kg/cm ²	Carga en Kg.
0	0.000E+00	0	0
1.5	1.875E-04	394.71669	500
2.5	3.125E-04	789.43338	1000
4	5.000E-04	1184.1501	1500
5	6.250E-04	1578.8668	2000
6	7.500E-04	1973.5834	2500
7.5	9.375E-04	2368.3001	3000
9	1.125E-03	2763.0168	3500
12	1.500E-03	3157.7335	4000
14	1.750E-03	3591.9219	4550
205	2.563E-02	3947.1669	5000

Gráfico 2.8

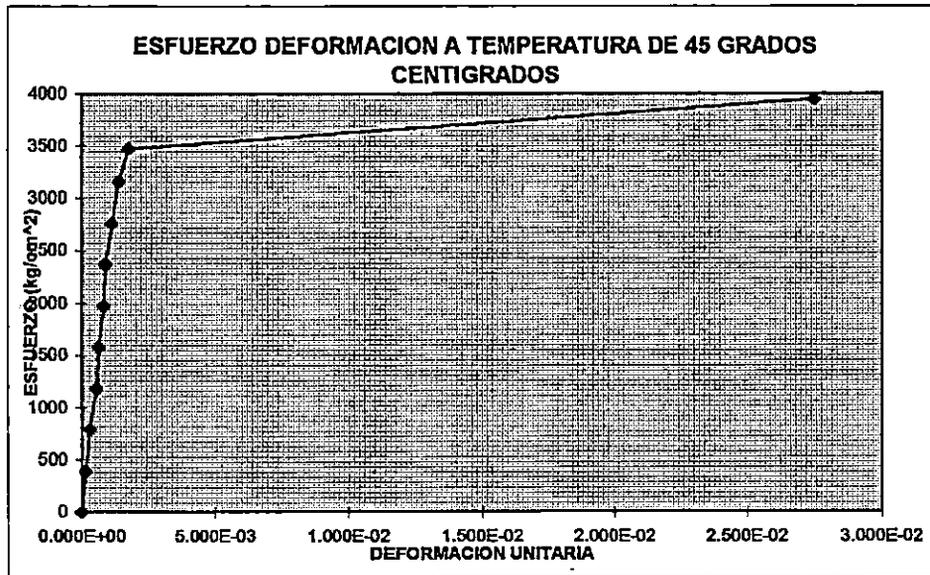


PRUEBA # 3

Tabla 2.9

Deformación en 0.001*plg	Deformación unitaria	Esfuerzo en Kg/cm ²	Carga en Kg.
0	0.000E+00	0	0
1.2	1.500E-04	394.71669	500
2.5	3.125E-04	789.43338	1000
4.5	5.625E-04	1184.1501	1500
5	6.250E-04	1578.8668	2000
6.5	8.125E-04	1973.5834	2500
7	8.750E-04	2368.3001	3000
9	1.125E-03	2763.0168	3500
11	1.375E-03	3157.7335	4000
14	1.750E-03	3473.5069	4400
220	2.750E-02	3947.1669	5000

Gráfico 2.9



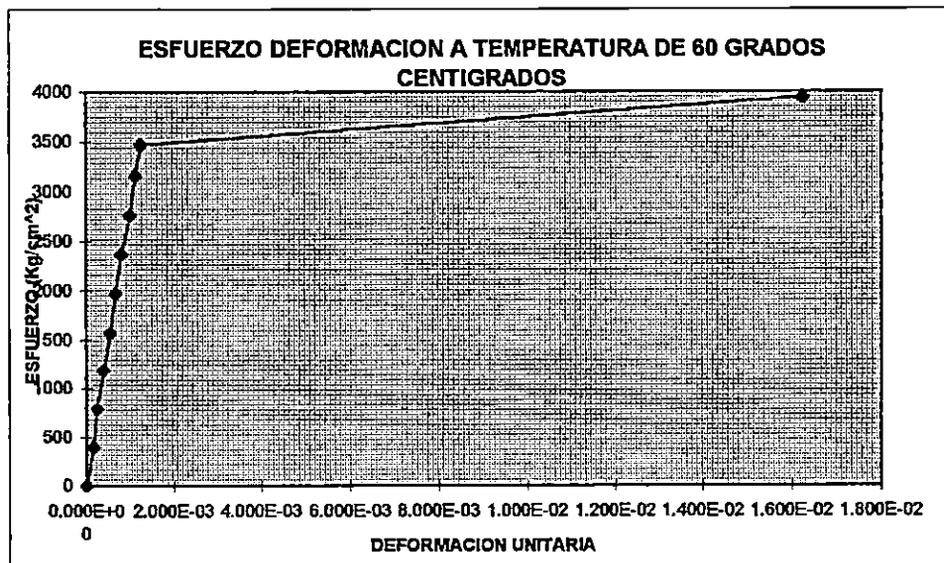
PRUEBAS A 60 GRADOS CENTIGRADOS

PRUEBA # 1

Tabla 2.10

Deformación en 0.001*plg	Deformación unitaria	Esfuerzo en Kg/cm ²	Carga en Kg.
0	0.000E+00	0	0
1.3	1.625E-04	394.71669	500
2	2.500E-04	789.43338	1000
3.2	4.000E-04	1184.1501	1500
4.5	5.625E-04	1578.8668	2000
5.5	6.875E-04	1973.5834	2500
6.5	8.125E-04	2368.3001	3000
8	1.000E-03	2763.0168	3500
9	1.125E-03	3157.7335	4000
10	1.250E-03	3473.5069	4400
130	1.625E-02	3947.1669	5000

Gráfico 2.10

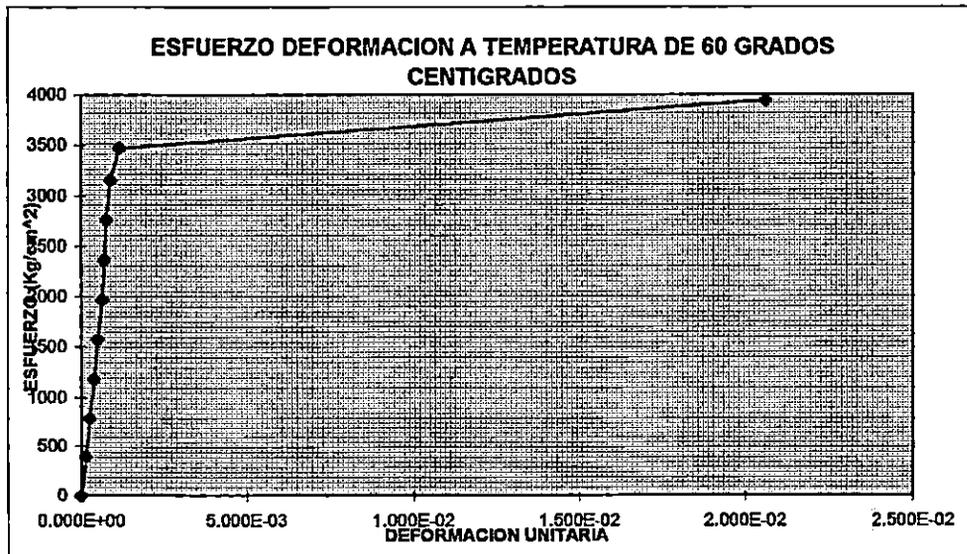


PRUEBA # 2

Tabla 2.11

Deformación en 0.001*plg	Deformación unitaria	Esfuerzo en Kg/cm ²	Carga en Kg.
0	0.000E+00	0	0
1	1.250E-04	394.71669	500
2	2.500E-04	789.43338	1000
3	3.750E-04	1184.1501	1500
4	5.000E-04	1578.8668	2000
5	6.250E-04	1973.5834	2500
5.5	6.875E-04	2368.3001	3000
6	7.500E-04	2763.0168	3500
7	8.750E-04	3157.7335	4000
9	1.125E-03	3473.5069	4400
165	2.063E-02	3947.1669	5000

Gráfico 2.11

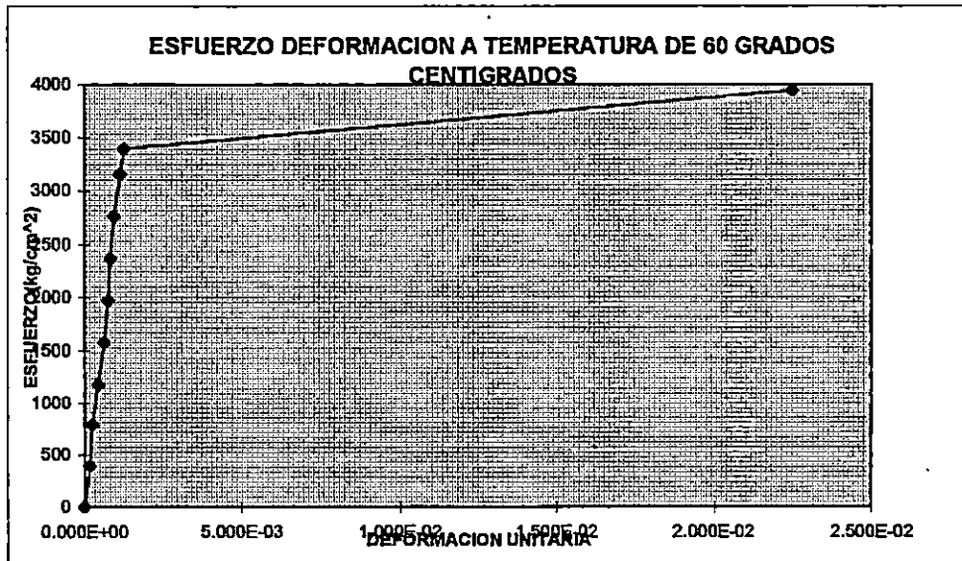


PRUEBA # 3

Tabla 2.12

Deformación en 0.001*plg	Deformación unitaria	Esfuerzo en Kg/cm ²	Carga en Kg.
0	0.000E+00	0	0
1.2	1.500E-04	394.71669	500
2	2.500E-04	789.43338	1000
3.5	4.375E-04	1184.1501	1500
5	6.250E-04	1578.8668	2000
6	7.500E-04	1973.5834	2500
6.5	8.125E-04	2368.3001	3000
7.5	9.375E-04	2763.0168	3500
9	1.125E-03	3157.7335	4000
10	1.250E-03	3394.5635	4300
180	2.250E-02	3947.1669	5000

Gráfico 2.12



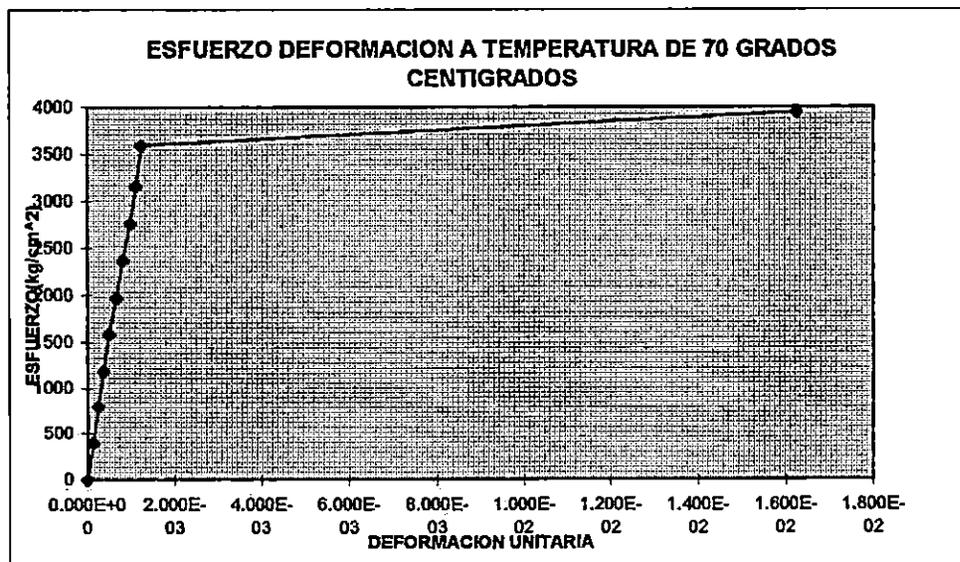
PRUEBAS A 70 GRADOS CENTIGRADOS

PRUEBA # 1

Tabla 2.13

Deformación en 0.001*plg	Deformación unitaria	Esfuerzo en Kg/cm ²	Carga en Kg.
0	0.000E+00	0	0
1	1.250E-04	394.71669	500
2	2.500E-04	789.43338	1000
3	3.750E-04	1184.1501	1500
4	5.000E-04	1578.8668	2000
5.3	6.625E-04	1973.5834	2500
6.5	8.125E-04	2368.3001	3000
8	1.000E-03	2763.0168	3500
9	1.125E-03	3157.7335	4000
10	1.250E-03	3591.9219	4550
130	1.625E-02	3947.1669	5000

Gráfico 2.13

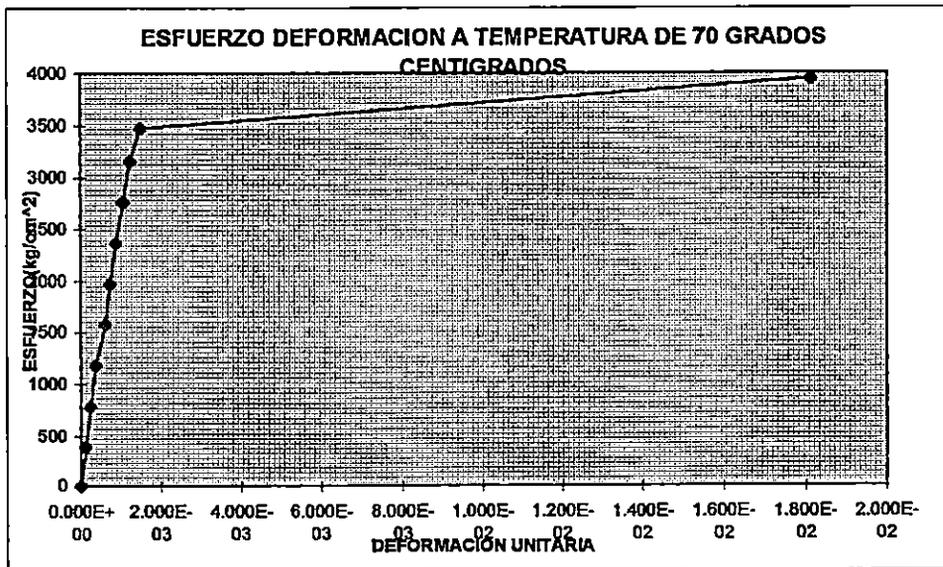


PRUEBA # 2

Tabla 2.14

Deformación en 0.001*plg	Deformación unitaria	Esfuerzo en Kg/cm ²	Carga en Kg.
0	0.000E+00	0	0
1	1.250E-04	394.71669	500
2	2.500E-04	789.43338	1000
3	3.750E-04	1184.1501	1500
5	6.250E-04	1578.8668	2000
6	7.500E-04	1973.5834	2500
7.2	9.000E-04	2368.3001	3000
8.6	1.075E-03	2763.0168	3500
10	1.250E-03	3157.7335	4000
12	1.500E-03	3473.5069	4400
145	1.813E-02	3947.1669	5000

Gráfico 2.14

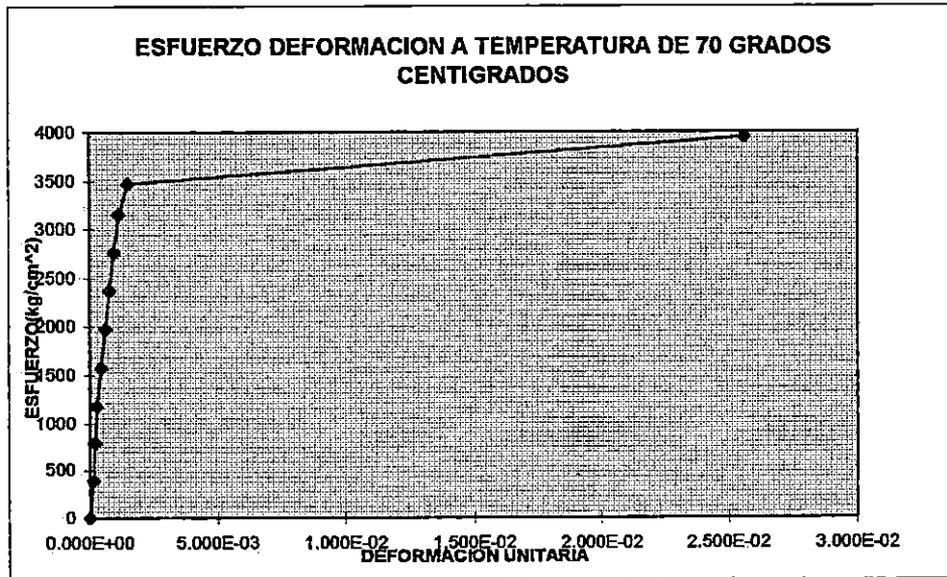


PRUEBA # 3

Tabla 2.15

Deformación en 0.001*plg	Deformación unitaria	Esfuerzo en Kg/cm ²	Carga en Kg.
0	0.000E+00	0	0
1	1.250E-04	394.71669	500
1.5	1.875E-04	789.43338	1000
2	2.500E-04	1184.1501	1500
3.5	4.375E-04	1578.8668	2000
4.8	6.000E-04	1973.5834	2500
6	7.500E-04	2368.3001	3000
7.5	9.375E-04	2763.0168	3500
9	1.125E-03	3157.7335	4000
12	1.500E-03	3473.5069	4400
205	2.563E-02	3947.1669	5000

Gráfico 2.15



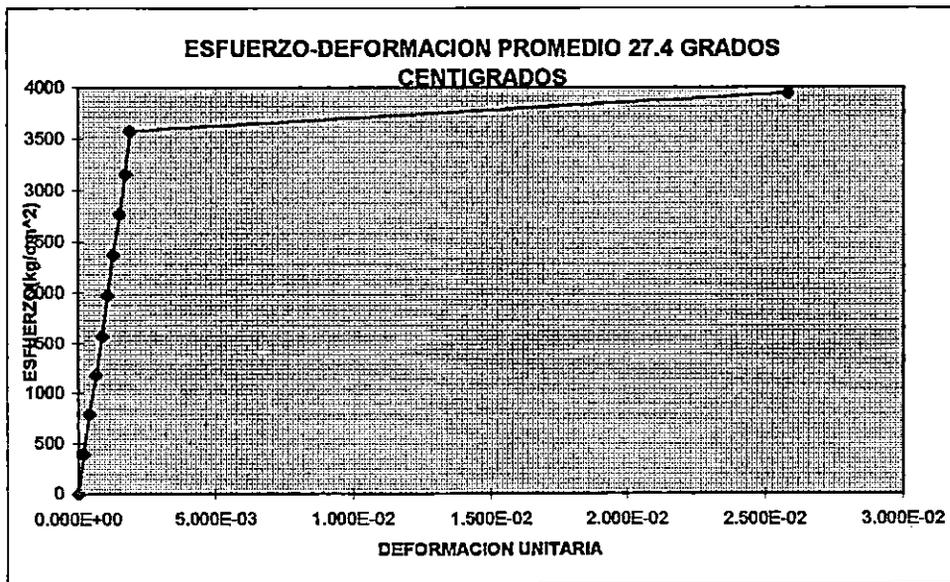
2.4 PROMEDIO ESTADISTICO DE PRUEBAS

2.4.1 Promedio Estadístico de prueba a 27 Grados Centígrados

Tabla 2.16

Deformación en 0.001*plg	Deformación unitaria	Esfuerzo en Kg/cm ²	Carga en Kg.
0	0.000E+00	0	0
1.5	1.875E-04	394.72	500.00
3.17	3.958E-04	789.43	1000.00
5.17	6.458E-04	1184.15	1500.00
6.83	8.542E-04	1578.87	2000.00
8.5	1.063E-03	1973.58	2500.00
10	1.250E-03	2368.30	3000.00
12	1.500E-03	2763.02	3500.00
13.5	1.688E-03	3157.73	4000.00
15	1.875E-03	3578.76	4533.33
206.67	2.583E-02	3947.17	5000.00

Gráfico 2.16

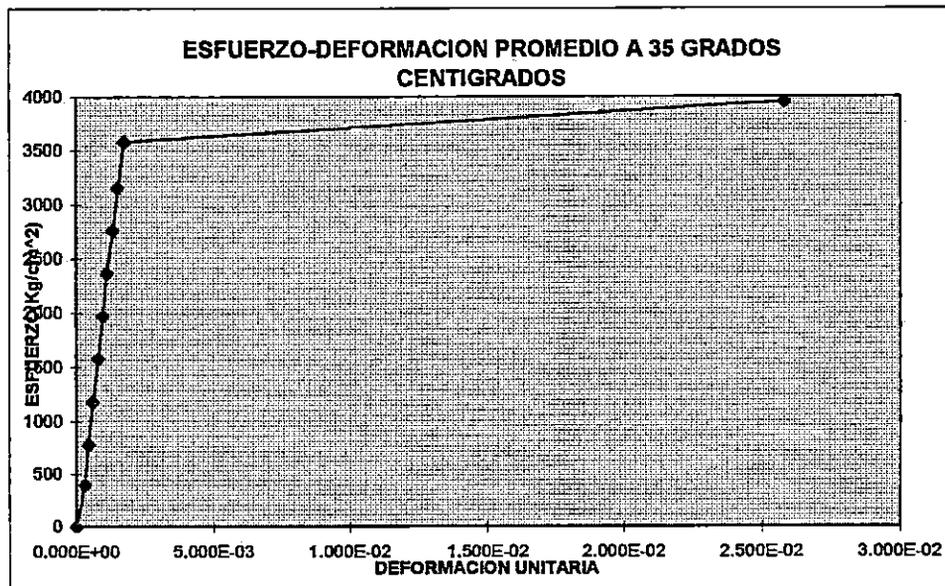


2.4.2 Promedio Estadístico de prueba a 35 Grados Centígrados

Tabla 2.17

Deformación en 0.001*plg	Deformación unitaria	Esfuerzo en Kg/cm ²	Carga en Kg.
0	0.000E+00	0	0
2.43	3.042E-04	394.72	500
3.50	4.375E-04	789.43	1000
4.83	6.042E-04	1184.15	1500
6.33	7.917E-04	1578.87	2000
7.67	9.583E-04	1973.58	2500
9.00	1.125E-03	2368.30	3000
10.67	1.333E-03	2763.02	3500
12.17	1.521E-03	3157.73	4000
14.00	1.750E-03	3578.76	4533.33333
206.67	2.583E-02	3947.17	5000

Gráfico 2.17

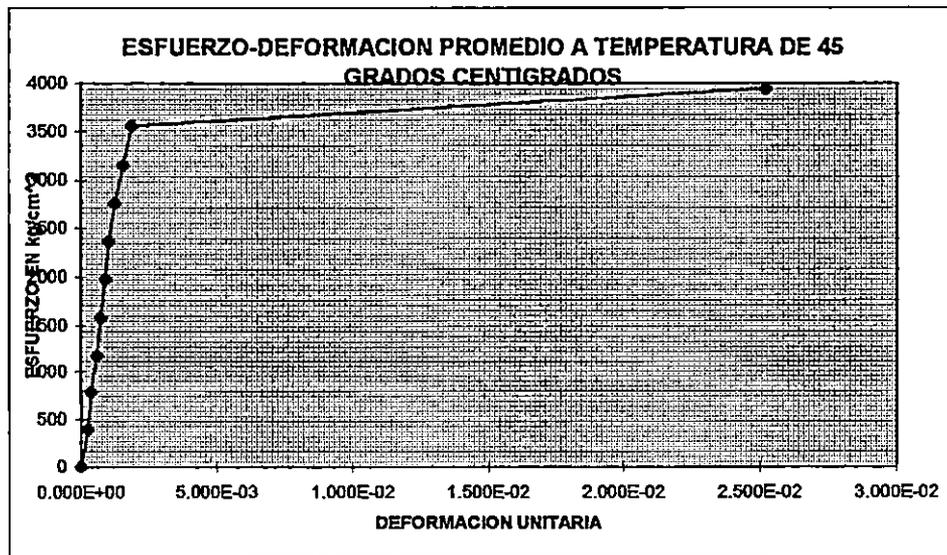


2.4.3 Promedio Estadístico de prueba a 45 Grados Centígrados

Tabla 2.18

Deformación en 0.001"plg	Deformación unitaria	Esfuerzo en Kg/cm ²	Carga en Kg.
0	0.000E+00	0	0
1.40	2.46E-04	394.72	500.00
2.50	3.75E-04	789.43	1000.00
4.17	5.83E-04	1184.15	1500.00
5.00	7.29E-04	1578.87	2000.00
6.17	8.96E-04	1973.58	2500.00
7.33	1.02E-03	2368.30	3000.00
9.00	1.25E-03	2763.02	3500.00
11.67	1.54E-03	3157.73	4000.00
14.00	1.85E-03	3565.61	4516.67
201.67	2.52E-02	3947.17	5000.00

Gráfico 2.18

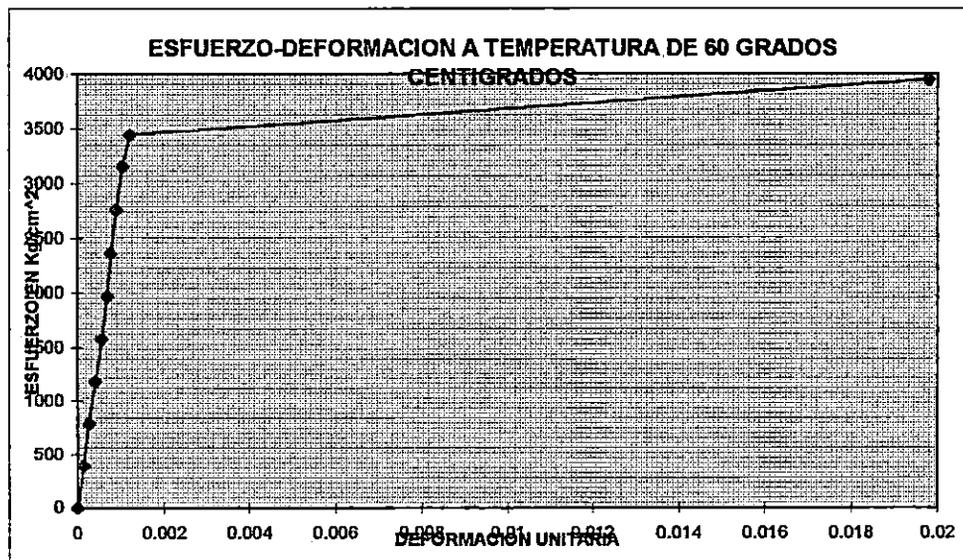


2.4.4 Promedio Estadístico de prueba a 60 Grados Centígrados

Tabla 2.19

Deformación en 0.001*plg	Deformación unitaria	Esfuerzo en Kg/cm ²	Carga en Kg.
0	0	0	0
1.17	1.458E-04	394.72	500
2.00	2.500E-04	789.43	1000
3.23	4.042E-04	1184.15	1500
4.50	5.625E-04	1578.87	2000
5.50	6.875E-04	1973.58	2500
6.17	7.708E-04	2368.30	3000
7.17	8.958E-04	2763.02	3500
8.33	1.042E-03	3157.73	4000
9.67	1.208E-03	3447.19	4366.66667
158.33	1.979E-02	3947.17	5000

Gráfico 2.19

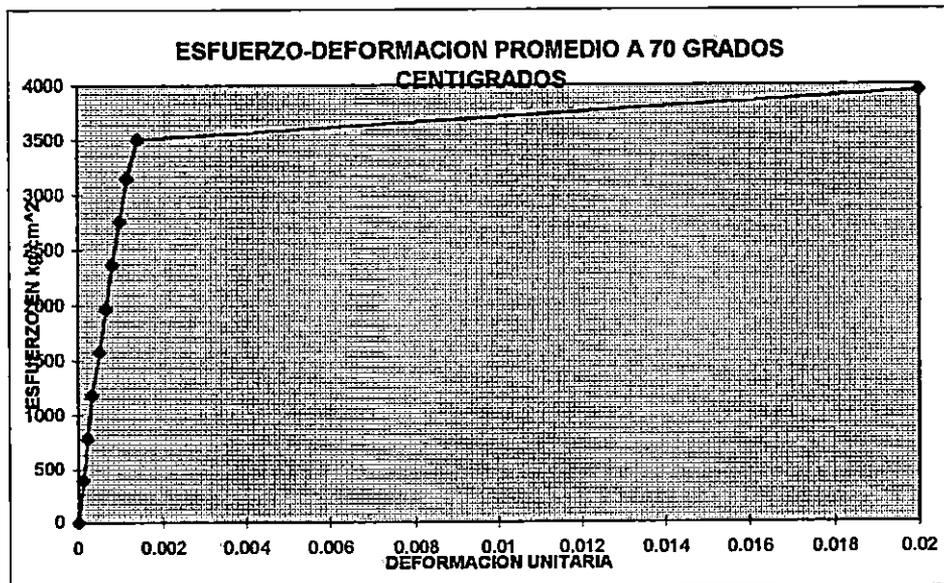


2.4.5 Promedio Estadístico de prueba a 70 Grados Centígrados

Tabla 2.20

Deformación en 0.001*plg	Deformación unitaria	Esfuerzo en Kg/cm ²	Carga en Kg.
0	0	0	0
1.00	1.250E-04	394.72	500
1.83	2.292E-04	789.43	1000
2.67	3.333E-04	1184.15	1500
4.17	5.208E-04	1578.87	2000
5.37	6.708E-04	1973.58	2500
6.57	8.208E-04	2368.30	3000
8.03	1.004E-03	2763.02	3500
9.33	1.167E-03	3157.73	4000
11.33	1.417E-03	3512.98	4450
160.00	2.000E-02	3947.17	5000

Gráfico 2.20



2.5 Resultados obtenidos de las pruebas

Tabla 2.21 Módulos de Elasticidad para diferentes temperaturas en grados centígrados

MODULO E	27.4	35	45	60	70	TENSION
	2.11E+06	1.30E+06	1.61E+06	2.71E+06	3.16E+06	500
	1.99E+06	1.80E+06	2.11E+06	3.16E+06	3.44E+06	1000
	1.83E+06	1.96E+06	2.03E+06	2.93E+06	3.55E+06	1500
	1.85E+06	1.99E+06	2.17E+06	2.81E+06	3.03E+06	2000
	1.86E+06	2.06E+06	2.20E+06	2.67E+06	2.94E+06	2500
	1.89E+06	2.11E+06	2.32E+06	3.07E+06	2.89E+06	3000
	1.84E+06	2.07E+06	2.21E+06	3.08E+06	2.75E+06	3500
	1.87E+06	2.08E+06	2.05E+06	3.03E+06	2.71E+06	4000
	1.91E+06	2.05E+06	1.92E+06	2.85E+06	2.48E+06	4500
Promedio	1.91E+06	1.93E+06	2.07E+06	2.95E+06	2.995E+06	

Tabla 2.22 Coeficientes de dilatación lineal

COEFICIENTES DE DILATACION LINEAL PARA DIFERENCIAS DE TEMPERATURA				
	1.6447E-05	1.04167E-05	2.917E-05	2.0833E-05
	1.1837E-06	2.16667E-05	0.0000175	
	2.045E-05	9.52381E-06		
	1.0759E-05			
Promedio	1.5885E-05	1.387E-05	2.33E-05	2.0833E-05

Tabla 2.23 Módulos de Elasticidad promedio

Temperatura	Modulo E
27.4	1.906E+06
35	1.935E+06
45	2.068E+06
60	2.946E+06
70	2.995E+06
Promedio	2.37E+06

Gráfico 2.21

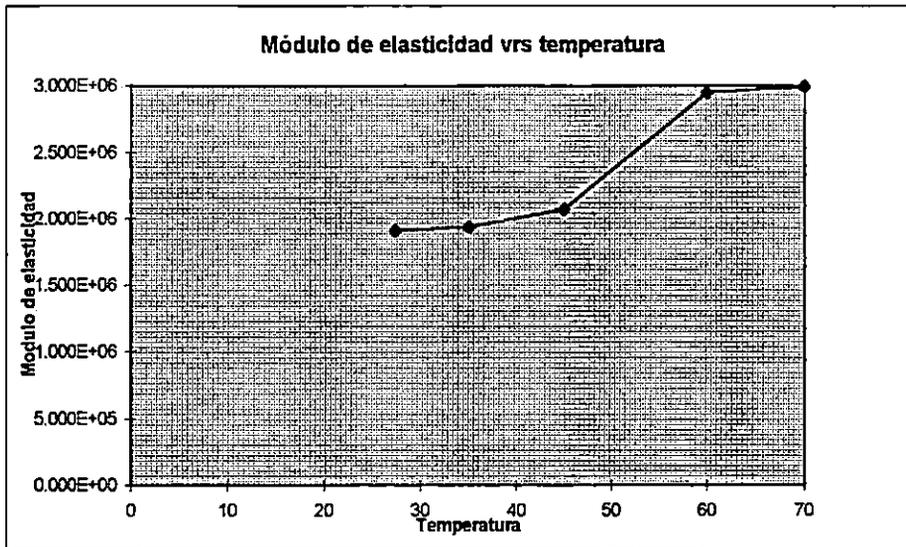
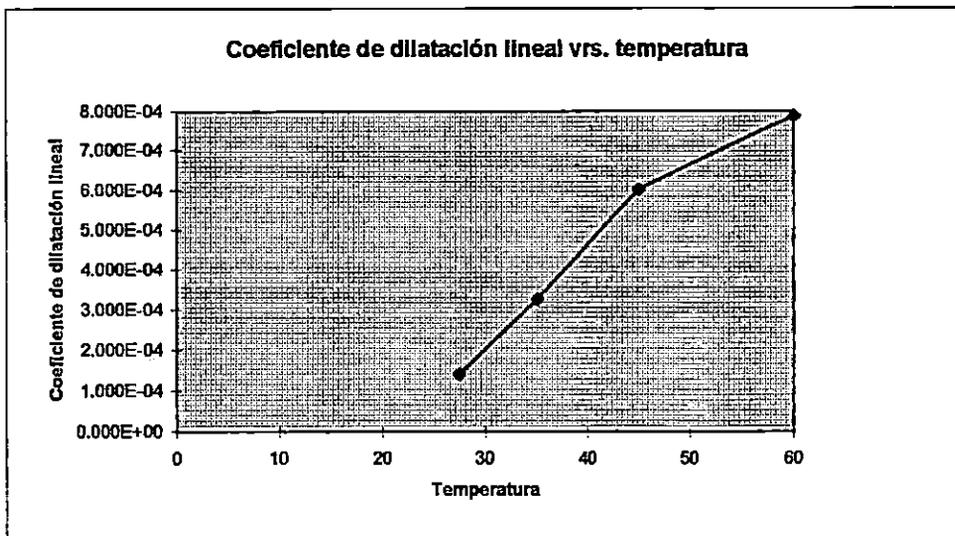


Tabla 2.24 Resumen de coeficientes.

T(C)	Coefficiente dilatacion	Esfuerzo E. Kg/cm ²
27.4	1.405E-04	0.000E+00
35	3.253E-04	5.552E-06
45	6.025E-04	5.552E-05
60	7.873E-04	2.776E-05
70		

Gráfico 2.22



2.6 PRUEBAS CON CABLE DE ALUMINIO CALIBRE 500 MCM

Tabla 2.25 Pruebas a 26 grados centígrados

Deformación en 0.001 plg	Deformación Unitaria	Esfuerzo en Kg/cm ² .	Carga en Kg.
0	0	0	0
17	0.002125	98.6777186	250
19	0.002375	197.355437	500
20	0.0025	296.033156	750
22	0.00275	394.710874	1000
23	0.002875	493.388593	1250
25	0.003125	592.066311	1500
26	0.00325	690.74403	1750
29	0.003625	789.421749	2000
32	0.004	888.099467	2250
35	0.004375	986.777186	2500
38	0.00475	1085.4549	2750

Area del cable en cm²
2.5335

Gráfico 2.23

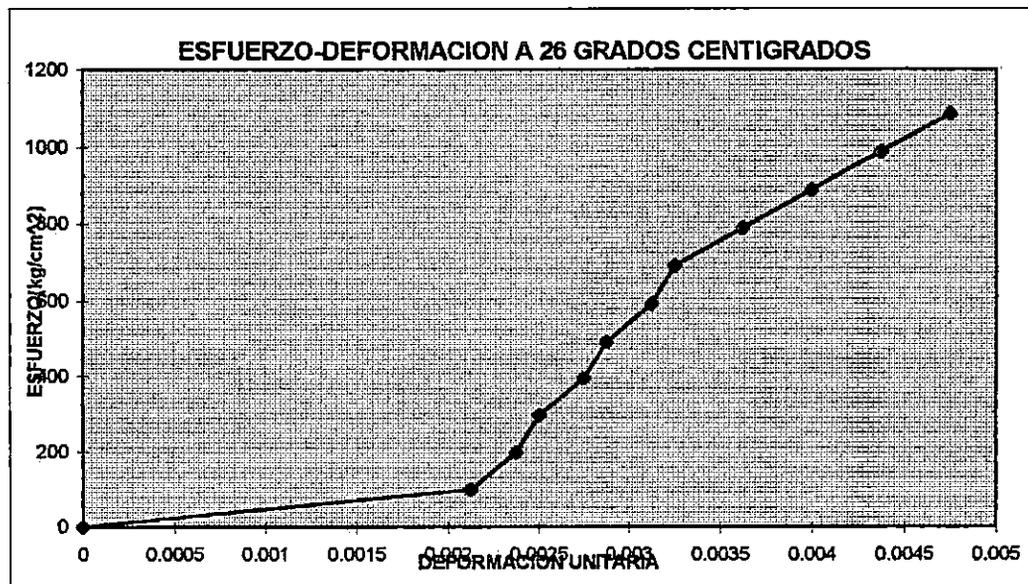


Tabla 2.26 Prueba a 35 grados centigrados

Deformación en 0.001 plg	Deformación Unitaria	Esfuerzo en Kg/cm ² .	Carga en Kg.
0	0	0	0
28	0.0035	98.6777186	250
38	0.00475	197.355437	500
42	0.00525	296.033156	750
45	0.005625	394.710874	1000
48	0.006	493.388593	1250
52	0.0065	592.066311	1500
55	0.006875	690.74403	1750
58	0.00725	789.421749	2000
62	0.00775	888.099467	2250
66	0.00825	986.777186	2500
72	0.009	1085.4549	2750

Gráfico 2.24

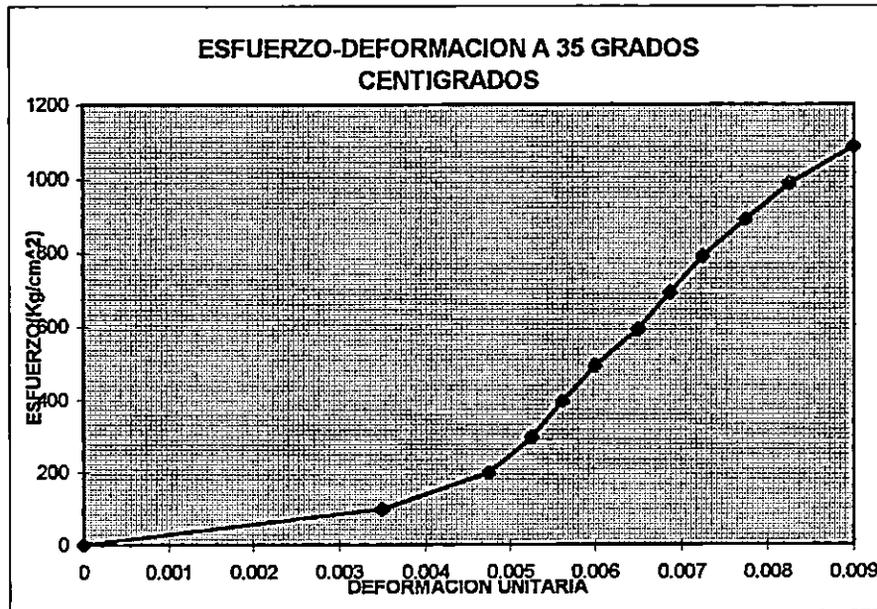


Tabla 2.27 Prueba a 50 grados centígrados

Deformación en 0.001 plg	Deformación Unitaria	Esfuerzo en Kg/cm ² .	Carga en Kg.
0	0	0	0
12	0.0015	98.6777186	250
18	0.00225	197.355437	500
21	0.002625	296.033156	750
25	0.003125	394.710874	1000
28	0.0035	493.388593	1250
32	0.004	592.066311	1500
37	0.004625	690.74403	1750
41	0.005125	789.421749	2000
46	0.00575	888.099467	2250
51	0.006375	986.777186	2500
60	0.0075	1085.4549	2750

Gráfico 2.25

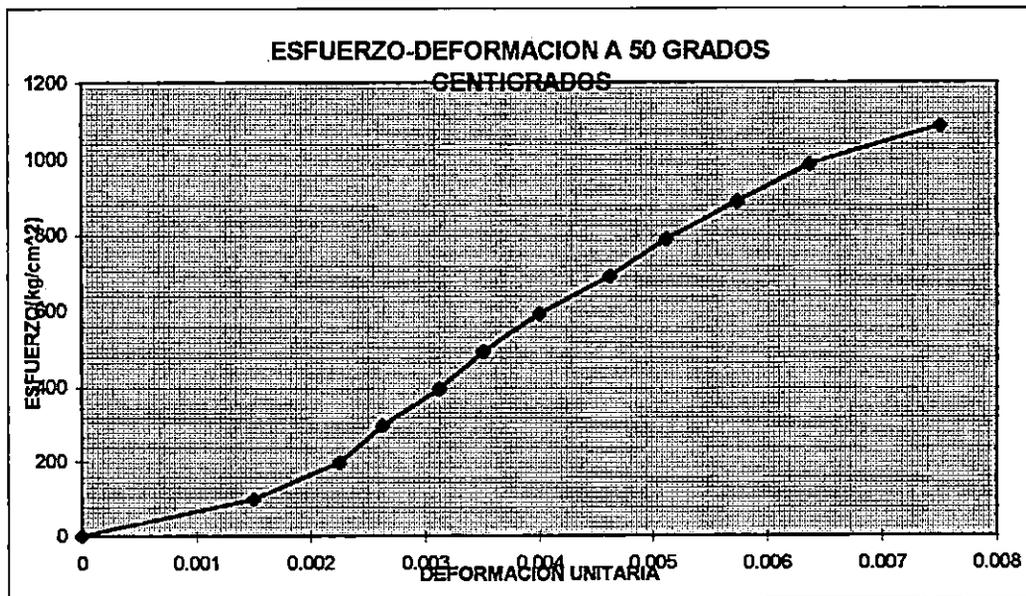


Gráfico 2.26

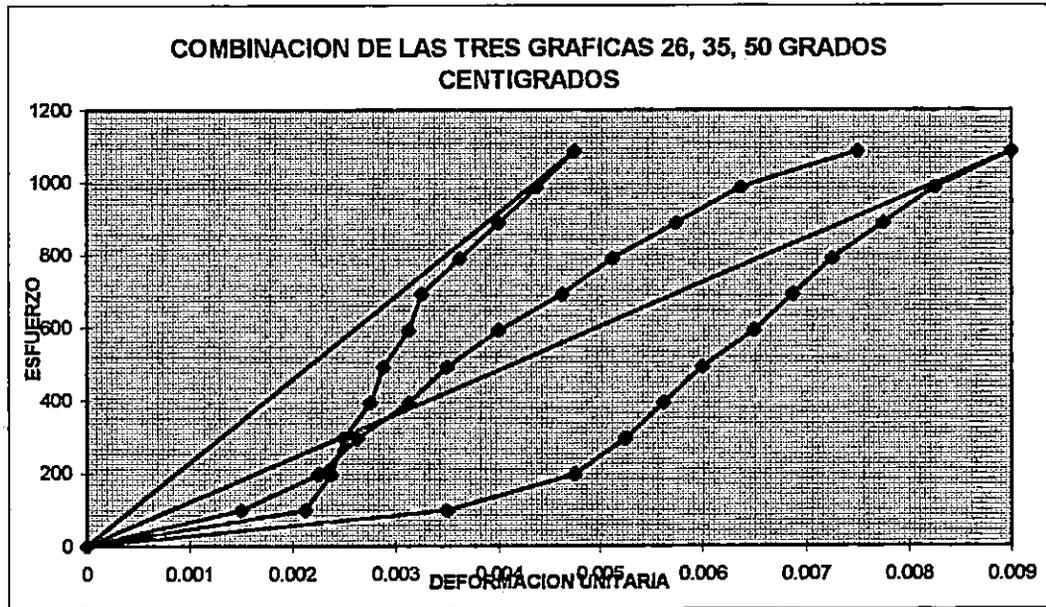


Tabla 2.28 Modulo de Elasticidad a diferentes T

	26	35	50
	4.64E+04	2.82E+04	6.58E+04
	8.31E+04	4.15E+04	8.77E+04
	1.18E+05	5.64E+04	1.13E+05
	1.44E+05	7.02E+04	1.26E+05
	1.72E+05	8.22E+04	1.41E+05
	1.89E+05	9.11E+04	1.48E+05
	2.13E+05	1.00E+05	1.49E+05
	2.18E+05	1.09E+05	1.54E+05
	2.22E+05	1.15E+05	1.54E+05
	2.26E+05	1.20E+05	1.55E+05
	2.29E+05	1.21E+05	1.45E+05
	163043.4811	61603.1323	118702.214

Tabla 2.29 comprobacion de la ecuación de estado.

Coeficiente de Dilatación L			
2.361E-04	2.13E-03	2.42E-01	24.00
1.042E-05	2.50E-04	4.81E-03	0.46
1.250E-04	1.88E-03	8.31E-04	0.10

Gráfico 2.27

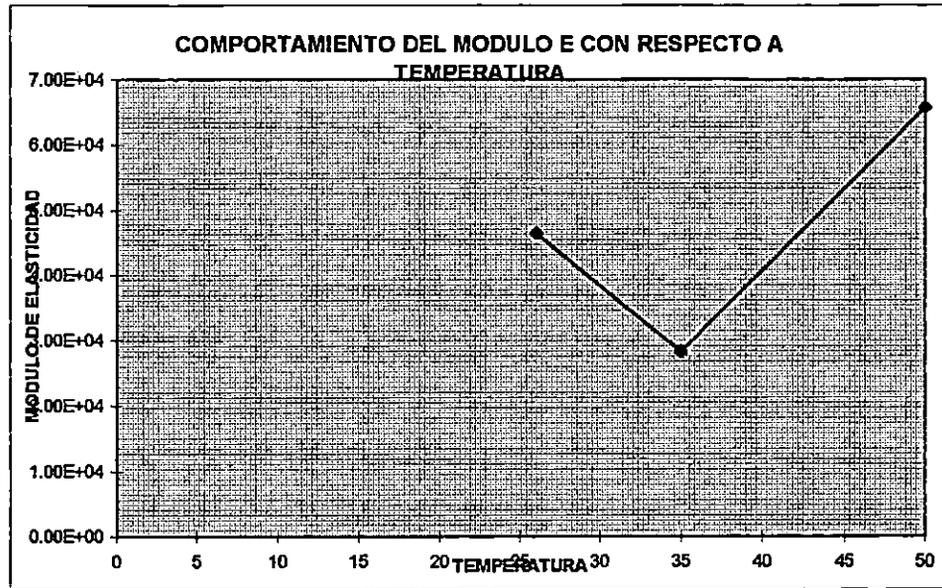
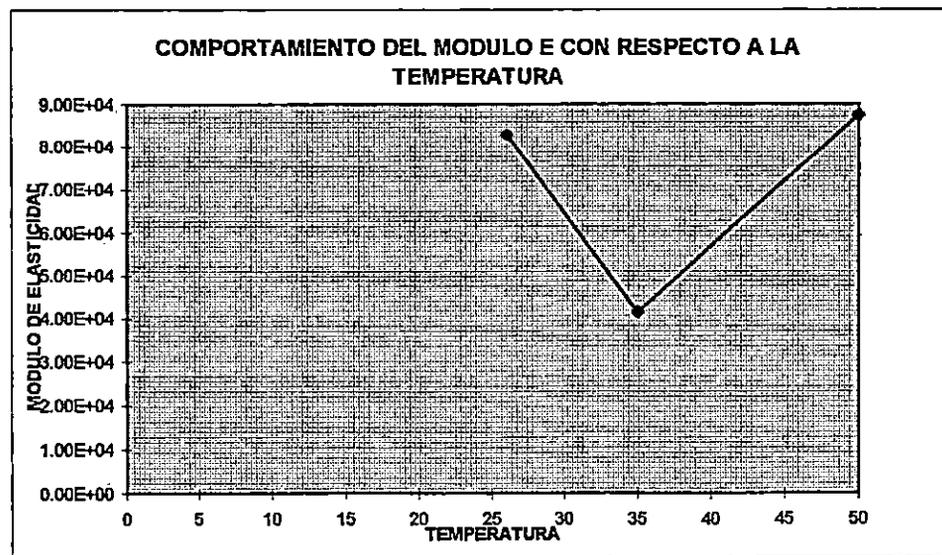


Gráfico 2.28



CONCLUSIONES

- El material que más se utilizó es el hierro debido a las características de la máquina de pruebas y por la resistencia del mismo, también por que la ecuación $\alpha(T_2-T_1)=(\sigma_2-\sigma_1)/E$ se cumple para todo material conductor.

Pero para profundizar mas en el tema hicimos pruebas con cable, es de aclarar que no se distingue detalladamente el comportamiento de fluencia esto debido a que el material es demasiado frágil lo que podría dañar el equipo.

Lo que si es importante aclarar es que el modulo de elasticidad hasta una temperatura máxima de 45 °C se comporta constante , pero hay un determinado momento en que al aumentar la temperatura hasta un valor de 70 °C tiende la pendiente a disminuir lentamente. Esto es por que el grado de fusión de hierro es alta(1538 °C). No así el grado de fusión del aluminio que es bajo(660 °C). Esto quiere decir que a una pequeña diferencia de temperatura la deformación es considerable. Esto se cumplió hasta una temperatura de 35 °C, pero en la prueba a 50 °C la deformación es menor que a temperatura ambiente dando un módulo de elasticidad alto a mas temperatura.

Sobre lo anterior se explica que aciertos rangos de temperatura la energía aumenta , creciendo con ello la resistencia del material.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ◆ Gere, James M., Timoshenko, Stephen P., Mecánica de Materiales , segunda edición, Grupo Editorial Iberoamericana.
- ◆ Checa, Luis María , Líneas de Transporte de Energía. , Tercera edición, Marcombo Boixareu Editores, Barcelona-Mexico.
- ◆ Pytel, Andrew, Singel, Ferdinand L, Resistencia de Materiales, Introducción a la Mecánica de los Sólidos, Cuarta edición.
- ◆ Asheland, Donald R. , La Ciencia e Ingeniería de los Materiales , Capitulo 6.

CAPITULO III

ANÁLISIS MATEMÁTICO

Introducción.

En este capítulo hacemos énfasis en el análisis matemático y analítico de la relación esfuerzo - temperatura , pues todo material tensado esta sujeto a un esfuerzo que es la parte mecánica ; esto da como resultado una deformación . Luego dicho material tensado se le aplica calor y esto da como resultado una nueva deformación. La suma de las dos deformaciones nos dan una deformación total la cual es objeto de análisis.

3.1 Parte Analítica y Matemática.

Es sumamente importante establecer una relación entre esfuerzo temperatura para la ecuación de cambio de estado pues existe una deformación por temperatura y otra por esfuerzo

$$\epsilon T = \alpha * \Delta T = \alpha * (T2 - T1) \quad \text{Ecuación 3.1}$$

$$\epsilon \sigma = \Delta \sigma / E = (\sigma 2 - \sigma 1) / E \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde :

ϵT : Deformación por temperatura

$\epsilon \sigma$: Deformación por esfuerzo

α : Coeficiente de dilatación lineal

E : Modulo de elasticidad

T, σ : Temperatura y esfuerzo respectivamente.

Entonces al sumar estas deformaciones obtenemos un total :

$$\epsilon t = \alpha * \Delta T + \Delta \sigma / E = \alpha(T2 - T1) + (\sigma 2 - \sigma 1) / E \quad \text{Ecuación 3.3}$$

Gráficamente quedan así :

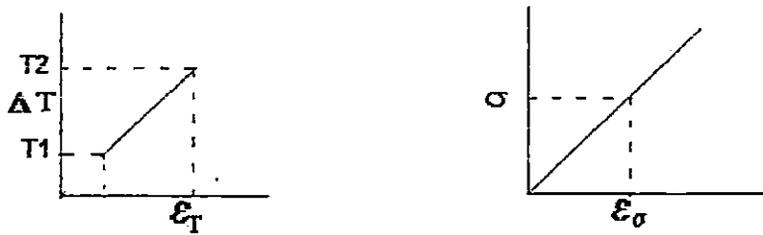


Fig. 3.1 El material tensionado está sujeto a diferentes deformaciones.
 A) Deformación por temperatura. B) Deformación por esfuerzo

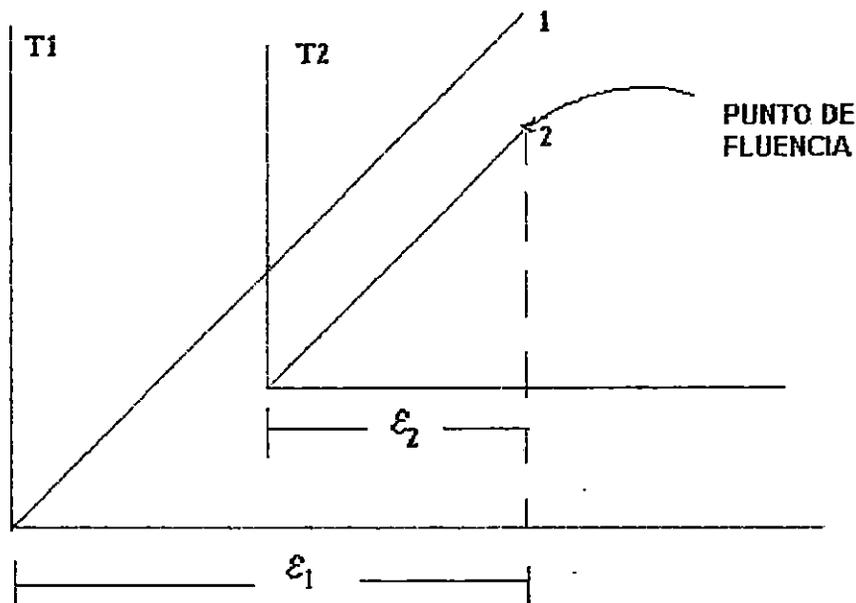


Fig. 3.2 La gráfica muestra diferencias de temperatura

3.2 Demostración de la ecuación de estado

Demostración de que la ecuación de cambio de estado no sufre modificación al referenciarla a un cero. Además la comprobación de que la deformación máxima queda en función de el esfuerzo y del coeficiente de dilatación lineal.

Consideremos lo siguiente:

$$T_k = T^{\circ}C + 273 \quad \text{Temperatura absoluta}$$

Además deformación máxima para diferentes temperaturas.

$$\epsilon_{\max} = \sigma_x / E + \alpha T_x$$

$$\epsilon_{\max} = \sigma_1 / E + \alpha T_1$$

$$\epsilon_{\max} = \sigma_2 / E + \alpha T_2$$

Como la deformación máxima para un conductor a diferentes temperaturas es la misma tenemos:

$$\sigma_1 / E + \alpha T_1 = \sigma_2 / E + \alpha T_2$$

$$\alpha(T_2 - T_1) = (\sigma_2 - \sigma_1) / E$$

Ecuación 3.4

De donde se obtiene:

$$\epsilon_{\max} = \epsilon_0 + \epsilon_1$$

$$\epsilon_1 - \epsilon_2 = \alpha * \Delta T$$

$$\epsilon_1 - \epsilon_2 = \alpha * (T_{k1} - T_{k2})$$

$$\epsilon_1 - \epsilon_2 = \alpha * (T_1 + 273 - T_2 - 273)$$

$$\epsilon_1 - \epsilon_2 = \alpha * (T_1 - T_2)$$

$$\epsilon_{\max} = \sigma_x / E + \alpha T_K = \epsilon_0 + \epsilon_1$$

Ejemplo de aplicación a temperatura máxima de 50 grados centígrado pero temperatura mínima de 9 grados

Si consideramos un conductor de aluminio de 500 MCM con las siguientes características.

$$A := 253.35 \text{ mm}^2 \quad W := 703.9 \text{ Kg/Km} \quad T := 11317 \text{ Tensión Ruptura}$$

Peso específico

$$pe := \frac{W}{A} \quad \text{Kg}/(\text{Km} \cdot \text{mm}^2)$$

Cálculo del esfuerzo máximo cuando no hay fuerzas externas

$$T_{\max} := 0.25 \cdot T \quad T_{\max} = 2.829 \cdot 10^3 \quad 25\% \text{ de la tensión de ruptura}$$

$$\sigma_{\max} := \frac{T_{\max}}{A} \quad \left(\frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \right)$$

Donde el esfuerzo máximo

$$\sigma_{\max} = 11.167 \quad \left(\frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \right)$$

$$pe = 2.778 \quad \text{Kg}/(\text{Km} \cdot \text{mm}^2)$$

Cálculo del esfuerzo y flecha mínima

Altura del poste de 45 pies a un voltaje de 46 KV pero le quitamos 2 mts de empotramiento.

$$h := 13.72 - 2 \quad \text{m}$$

$$lib = 6.4 \quad \text{m} \quad \text{Esto según el Nesc tabla 232-1 pag. 152 literal 2)}$$

$$f_{\max} := h - lib$$

$$f_{\max} = 5.32 \quad \text{m}$$

Coefficiente de dilatación lineal del aluminio

$$\alpha := 9.1 \cdot 10^{-6} \quad \text{C}^{-1}$$

Módulo de elasticidad del aluminio según nuestras pruebas

$$E := 2.03 \cdot 10^4 \quad \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$$

Temperatura mínima en grados centígrados

$$t_{\min} := 9$$

Temperatura máxima en grados centígrados

$$t_{\max} := 50$$

$$T2 := \text{umax}$$

$$T1 := \text{tmin}$$

$$\Delta T := T2 - T1 \quad \Delta T = 41 \quad V := 1$$

Velocidad del viento promedio en Enero. es 13 Km/h

$$P_{\text{viento}} := 0.613 \cdot (V)^2 \quad \text{Presión del viento en m/s}$$

$$P_{\text{viento}} := \frac{0.613 \cdot \frac{13}{36} \cdot 10^6}{9.8} \quad \text{Presión del viento en Kg/km}^2$$

$$r := \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad r = 8.98$$

La presión inicial es 1 debido a la siguiente ecuación

$$P1 := \sqrt{1 + \left(\frac{P_{\text{viento}} \cdot 2 \cdot r \cdot 10^{-6}}{2 \cdot r} \right)^2}$$

$$P1 = 1$$

Haciendo iteraciones para comprobar la ecuación de estado
Condiciones iniciales

$$F2 := f_{\text{max}} \quad \sigma2 := 5 \quad p2 := 1 \quad L := 300$$

$$\sigma1 := 10$$

Given

$$\alpha \cdot \Delta T + \frac{\sigma2 - \sigma1}{E} = \frac{\sigma2 \cdot P1 \cdot \sinh\left(\frac{p2 \cdot p_e \cdot 10^{-3} \cdot L}{2 \cdot \sigma2}\right)}{\sigma1 \cdot p2 \cdot \sinh\left(\frac{P1 \cdot p_e \cdot 10^{-3} \cdot L}{2 \cdot \sigma1}\right)} - 1 \quad \text{Ecuación de Estado}$$

$$\sigma2 = 7.369$$

$$FS0 := \frac{\sigma2}{p_e \cdot 10^{-3} \cdot p2} \left(\cosh\left(\frac{p_e \cdot 10^{-3} \cdot p2 \cdot L}{2 \cdot \sigma2}\right) - 1 \right)$$

Comprobando la ecuación de estado para las condiciones de los libros.

$$\alpha \cdot \Delta T + \frac{\sigma2 - \sigma1}{E} = 2.435 \cdot 10^{-4}$$

$$\frac{\sigma_2 \cdot P_1 \cdot \sinh\left(\frac{p_2 \cdot p_e \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \sigma_2} \cdot L\right)}{\sigma_1 \cdot p_2 \cdot \sinh\left(\frac{P_1 \cdot p_e \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \sigma_1} \cdot L\right)} - 1 = 2.435 \cdot 10^{-4}$$

Se concluye que los datos son iguales

Ejemplo de aplicación a temperatura máxima de 35 grados centígrado pero temperatura mínima de 9 grados con un Módulo E de libras

Si consideramos un conductor de aluminio de 500 MCM con las siguientes características.

$$A := 253.35 \text{ mm}^2 \quad W := 703.9 \text{ Kg/Km} \quad T := 11317 \text{ Tensión Ruptura}$$

Peso específico

$$p_e := \frac{W}{A} \quad \text{Kg}/(\text{Km} \cdot \text{mm}^2)$$

Cálculo del esfuerzo máximo cuando no hay fuerzas externas

$$T_{\max} := 0.25 \cdot T \quad T_{\max} = 2.829 \cdot 10^3 \quad 25\% \text{ de la tensión de ruptura}$$

$$\sigma_{\max} := \frac{T_{\max}}{A} \quad \left(\frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \right)$$

Donde el esfuerzo máximo

$$\sigma_{\max} = 11.167 \quad \left(\frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \right)$$

$$p_e = 2.778 \quad \text{Kg}/(\text{Km} \cdot \text{mm}^2)$$

Cálculo del esfuerzo y flecha mínima

Altura del poste de 45 pies a un voltaje de 46 KV pero le quitamos 2 mts de empotramiento.

$$h := 13.72 - 2 \quad \text{m}$$

$$lib := 6.4 \quad \text{m} \quad \text{Esto según el Nesc tabla 232-1 pag. 152 literal 2)}$$

$$f_{\max} := h - lib$$

$$f_{\max} = 5.32 \quad \text{m}$$

Coefficiente de dilatación lineal del aluminio

$$\alpha := 9.1 \cdot 10^{-6} \quad \text{C}^{-1}$$

Módulo de elasticidad del aluminio según nuestras pruebas

$$E := 2.03 \cdot 10^4 \quad \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$$

Temperatura mínima en grados centígrados

$$t_{\min} = 9$$

Temperatura máxima en grados centígrados

$$t_{\max} = 35$$

$$T_2 = t_{\max}$$

$$T_1 = t_{\min}$$

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

$$\Delta T = 26$$

Velocidad del viento promedio en Enero. es 13 Km/h

$$P_{\text{viento}} = 0.613 \cdot (V)^2 \quad \text{Presión del viento en m/s}$$

$$P_{\text{viento}} = \frac{0.613 \cdot \frac{13}{36} \cdot 10^6}{9.8} \quad \text{Presión del viento en Kg/km}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad r = 3.98 \quad \text{Radio del conductor}$$

La presión inicial es 1 debido a la siguiente ecuación

$$P_1 = \sqrt{1 + \left(\frac{P_{\text{viento}} \cdot 2 \cdot r \cdot 10^{-6}}{2 \cdot r} \right)^2}$$

$$P_1 = 1$$

Haciendo iteraciones para encontrar el esfuerzo y la flecha a temperatura 35

Condiciones iniciales

$$F_2 = f_{\max} \quad \sigma_2 = 5 \quad p_2 = 1 \quad L = 300$$

$$\sigma_1 = 10$$

Given

$$\alpha \cdot \Delta T + \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{E} = \frac{\sigma_2 \cdot P_1 \cdot \sinh\left(\frac{p_2 \cdot p_e \cdot 10^{-3} \cdot L}{2 \cdot \sigma_2}\right)}{\sigma_1 \cdot p_2 \cdot \sinh\left(\frac{P_1 \cdot p_e \cdot 10^{-3} \cdot L}{2 \cdot \sigma_1}\right)} - 1 \quad \text{Ecuación de Estado}$$

$$\sigma_2 = \text{find}(\sigma_2)$$

$$\sigma_2 = 3.155$$

$$F_{\max} = \frac{\sigma_2}{p_e \cdot 10^{-3} \cdot p_2} \left(\cosh\left(\frac{p_e \cdot 10^{-3} \cdot p_2 \cdot L}{2 \cdot \sigma_2}\right) - 1 \right) \quad F_{\max} = 3.834$$

Ejemplo de aplicación a temperatura máxima de 35 grados centígrado pero temperatura mínima de 9 grados a un Módulo E de pruebas

Si consideramos un conductor de aluminio de 500 MCM con las siguientes características.

$$A := 253.35 \text{ mm}^2 \quad W := 703.9 \text{ Kg/Km} \quad T := 11317 \text{ Tensión Ruptura}$$

Peso específico

$$pe := \frac{W}{A} \quad \text{Kg}/(\text{Km} \cdot \text{mm}^2)$$

Cálculo del esfuerzo máximo cuando no hay fuerzas externas

$$T_{\max} := 0.25 \cdot T \quad T_{\max} = 2.829 \cdot 10^3 \quad 25\% \text{ de la tensión de ruptura}$$

$$\sigma_{\max} := \frac{T_{\max}}{A} \quad \left(\frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \right)$$

Donde el esfuerzo máximo

$$\sigma_{\max} = 11.167 \quad \left(\frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2} \right)$$

$$pe = 2.778 \quad \text{Kg}/(\text{Km} \cdot \text{mm}^2)$$

Cálculo del esfuerzo y flecha mínima

Altura del poste de 45 pies a un voltaje de 46 KV pero le quitamos 2 mts de empotramiento.

$$h := 13.72 - 2 \quad \text{m}$$

$$lib := 6.4 \quad \text{m} \quad \text{Esto según el Nesc tabla 232-1 pag. 152 literal 2)}$$

$$f_{\max} := h - lib$$

$$f_{\max} = 5.32 \quad \text{m}$$

Coefficiente de dilatación lineal del aluminio

$$\alpha := 9.1 \cdot 10^{-6} \quad \text{C}^{-1}$$

Módulo de elasticidad del aluminio según nuestras pruebas

$$E := 4.15 \cdot 10^4 \quad \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}$$

Temperatura mínima en grados centígrados

$$min := 9$$

Temperatura máxima en grados centígrados

$$t_{\max} = 35$$

$$T2 := t_{\max}$$

$$T1 = t_{\min}$$

$$\Delta T := T2 - T1 \quad \Delta T = 26$$

Velocidad del viento promedio en Enero. es 13 Km/h

$$P_{\text{viento}} := 0.613 \cdot (V)^2 \quad \text{Presión del viento en m/s}$$

$$P_{\text{viento}} := \frac{0.613 \cdot \frac{13}{36} \cdot 10^6}{9.8} \quad \text{Presión del viento en Kg/km}^2$$

$$r := \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad r = 8.98$$

La presión inicial es 1 debido a la siguiente ecuación

$$P1 := \sqrt{1 + \left(\frac{P_{\text{viento}} \cdot 2 \cdot r \cdot 10^{-6}}{2 \cdot r} \right)^2} \quad P1 = 1$$

Haciendo iteraciones

Condiciones iniciales

$$F2 := f_{\max} \quad \sigma2 := 5 \quad p2 := 1 \quad L := 300$$

$$\sigma1 := 10$$

Given

$$\alpha \cdot \Delta T + \frac{\sigma2 - \sigma1}{E} \cdot \left[\frac{\sigma2 \cdot P1 \cdot \sinh\left(\frac{p2 \cdot p_e \cdot 10^{-3} \cdot L}{2 \cdot \sigma2}\right)}{\sigma1 \cdot p2 \cdot \sinh\left(\frac{P1 \cdot p_e \cdot 10^{-3} \cdot L}{2 \cdot \sigma1}\right)} \right] - 1 \quad \text{Ecuación de Estado}$$

$$\sigma2 := \text{find}(\sigma2)$$

$$\sigma2 = 7.813$$

$$F_{\max} := \frac{\sigma2}{p_e \cdot 10^{-3} \cdot p2} \cdot \left(\cosh\left(\frac{p_e \cdot 10^{-3} \cdot p2 \cdot L}{2 \cdot \sigma2}\right) - 1 \right)$$

$$F_{\max} = 3.999$$

COMPARACION DE RESULTADOS

Esfuerzo a 9 °C	Esfuerzo a 35 °C (E de libro)	Esfuerzo a 35 °C (E de prueba)
11.167 kg/mm ²	8.155 kg/mm ²	7.818 kg/mm ²
Flecha a 9 °C	Flecha a 35 °C	Flecha a 35 °C
5.32 m máxima	3.834 m con E de libro	3.999 m con E de prueba

CONCLUSIONES

- Para poder establecer una relación esfuerzo-temperatura para la ecuación de cambio de estado, es de aclarar que es importante y necesario que exista una deformación por temperatura y otra deformación por esfuerzo.
- Que lo que pensábamos sobre la ecuación de cambio de estado no se cumple para el hierro como tampoco para aluminio, debido al comportamiento del modulo de elasticidad en cierto rango de temperatura.
- Que al referenciar la temperatura a una escala absoluta, es decir referenciada a un cero absoluto no hace que la ecuación se modifique. Esto implicó que no variaran los resultados obtenidos
- Que la relación máxima que se da en una prueba de tensión es dependiente de la deformación por esfuerzo a que está sometido el conductor y además la provocada por la variación de temperatura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ◆ - Gere, James M. , Timoshenko, Stephen P. , Mecánica de Materiales , Segunda Edición Grupo Editorial Iberoamérica.
- ◆ Checa, Luis María , Líneas de Transporte de Energía , Tercera Edición , Marcombo Boixareu Editores , Barcelona-Mexico.
- ◆ Pytel , Andrew, Singel, Ferdinand L. , Resistencia de Materiales, Introducción a la Mecánica de los Sólidos , Cuarta Edición.
- ◆ Asheland, Donald R. , La Ciencia e Ingeniería de los Materiales , Capitulo 6 .
- ◆ Paradinas, J. G. , Formula de Calculo de Presión de Viento Sobre Conductores, ASINEL , Madrid, Diciembre de 1971.
- ◆ Paradinas, J. G. , Cargas de Viento Sobre las Líneas Eléctricas Aéreas , ASINEL , Madrid, Junio de 1971.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS GENERALES.

- ◆ Gere, James M. , Timoshenko, Stephen P. , Mecánica de Materiales , Segunda Edición Grupo Editorial Iberoamérica.
- ◆ Checa, Luis María , Líneas de Transporte de Energía , Tercera Edición , Marcombo Boixareu Editores , Barcelona-Mexico.
- ◆ Pytel , Andrew, Singel, Ferdinand L. , Resistencia de Materiales, Introducción a la Mecánica de los Sólidos , Cuarta Edición.
- ◆ Asheland, Donald R. , La Ciencia e Ingeniería de los Materiales , Capítulo 6 .
- ◆ Paradinas, J. G. , Formula de Calculo de Presión de Viento Sobre Conductores, ASINEL , Madrid, Diciembre de 1971.
- ◆ Paradinas, J. G. , Cargas de Viento Sobre las Líneas Eléctricas Aéreas , ASINEL , Madrid, Junio de 1971.

ANEXOS

4. Una balanza de 1gr. de precisión
5. Un marcador
6. Un martillo
7. Un yeso
8. Extensómetro de Moore¹.
9. Maquina Universal

Procedimiento:

1. Tomar dimensiones de la varilla, diámetro y longitud, anotar estos en hoja 1
2. Pesar la varilla, en Kg.
3. Ubicar el centro del espécimen de tal forma que coincida con el pin central del marcador (las marcas se realizan sobre la barra, generalmente en una de sus venas longitudinales o en la superficie de la barra entre resaltes.); Posteriormente se procederá a golpear cada uno de los pines del marcador, teniendo cuidado de que las marcas no sean muy profundas, pues unas marcas muy acentuadas indentan gravemente la barra y pueden afectar los resultados del ensayo.
4. Se coloca en la varilla el extensómetro de Moore, el cual servirá para leer las lecturas de deformación que presentará la varilla al ser sometido a tensión.
5. Seguidamente, asegúrese el extremo superior de la probeta en el cabezal fijo de la maquina de ensaye. Colóquese la probeta de tal modo que las marcas queden hacia el frente de la maquina, luego asegúrese la varilla en la parte móvil de la maquina, hecho esto ajuste el deformimetro para que indique cero.
6. Elijanse incrementos de carga adecuados para obtener cuando menos 15 lecturas debajo del limite proporcional probable. aplique la carga a baja velocidad, tomando valores de carga y deformación; la velocidad de carga de la prueba será tal que se puedan tomar las lecturas necesarias durante el desarrollo de la prueba, pero no mayor, de 100 kips/pul²/minuto (las lecturas se anotaran en tabla 1).
7. Una vez tomada la lectura de fluencia, se procederán a tomar dos lecturas adicionales, luego se retira el extensómetro para protección del mismo, posteriormente se lleva la varilla hasta la ruptura; se tomará la carga máxima y de ruptura de la probeta.
8. Terminado el ensayo se retira la varilla de la maquina se revisa el tipo de falla de la probeta y se medirá la longitud final de esta (lo que se elongó en el tramo de calibración de 8"). Para medir la longitud final de la probeta se unen las dos partes de esta y se verifica la zona donde se dio la falla. (ver figura 1).
9. Luego se mide con ayuda del Vernier (pie de rey) el diámetro final de la probeta en la zona de estricción.
10. Anotar el tipo de fractura que haya tenido la probeta, ésta puede ser según las ilustraciones de la figura 2

¹ El marcador esta formado por nueve pines, que tiene una distancia entre ellos de 1", la distancia total entre los extremos del marcador es de 20 cm.

DETERMINACION DE LA LONGITUD FINAL PARA RUPTURAS, DENTRO Y FUERA DEL TRAMO DE CALIBRACION EN EL ENSAYO DE TENSION DE VARILLAS.

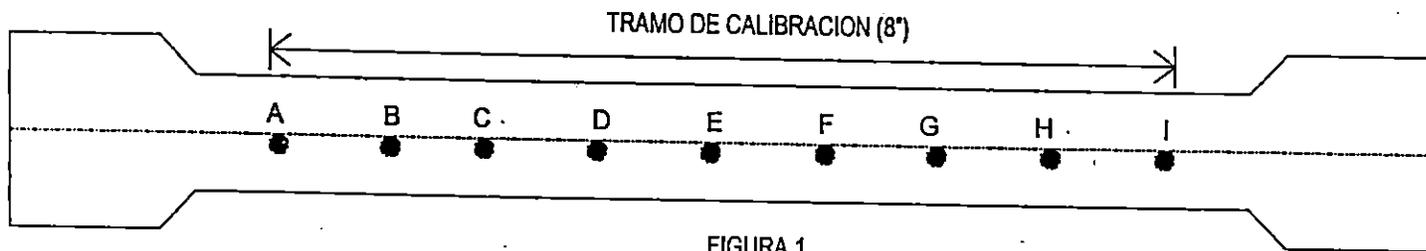


FIGURA 1

RUPTURAS ENTRE LOS PUNTOS	LONGITUD FINAL
C Y G	$LF = AI$
A Y C PERO MAS CERCANA A B QUE A	$LF = AC + 2CF$
MEDIA DIVISION DE A	$LF = 2AE$
FUERA DEL TRAMO DE CALIBRACION	LONGITUD TOTAL FINAL - LONGITUD TOTAL INICIAL

FRACTURAS TÍPICAS POR TENSIÓN DE LOS METALES

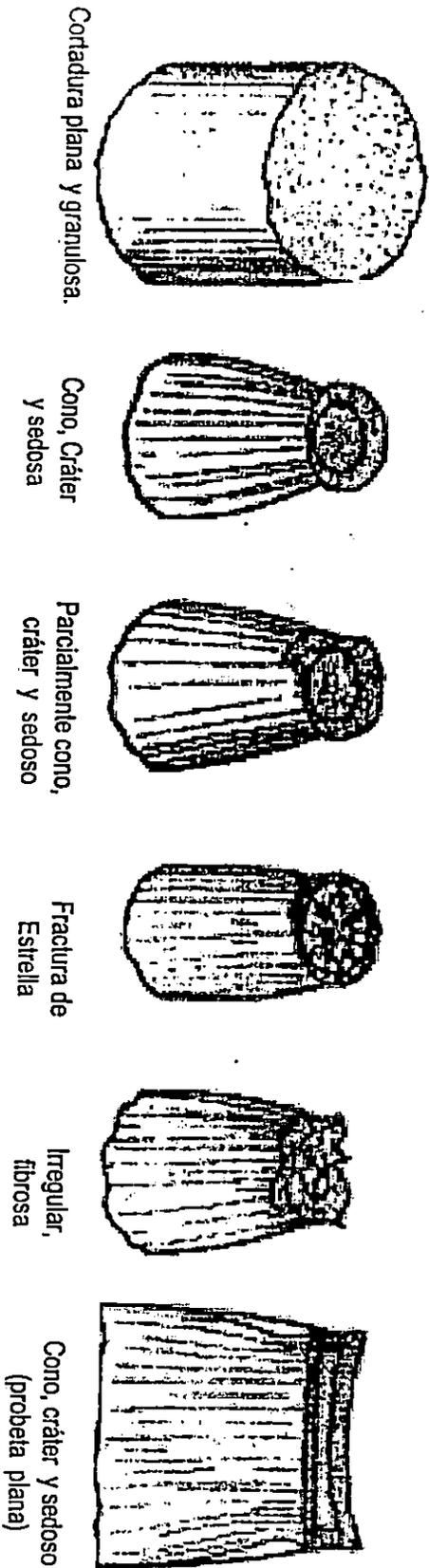


FIGURA 2

Las fracturas por tensión pueden clasificarse en cuanto a forma, textura y color. Los tipos de fractura, en lo respectivo a la forma, son simétricos: cono y cráter, planos e irregulares. Varias descripciones de la textura son: sedosa, grano fino, grano grueso o granular, fibrosa o astillable, cristalina, vídiosa y mate. Una descripción de la fractura debe incluirse en cada informe de ensayo, aun cuando su valor sea incidental para las fracturas normales.

Cálculos:

1. Cálculo del área nominal

$$A_n = \frac{\pi d^2}{4} ; \text{ donde } d = \text{diámetro nominal en cm.}$$

2. Área efectiva: este parámetro se calcula con ayuda del peso y de la longitud de la probeta.

$$\gamma_s = \frac{W}{V} \Rightarrow V = \frac{W}{\gamma_s}; V = A \times l \Rightarrow A = \frac{W}{l} \times \frac{1}{\gamma_s} = A_{efec.}$$

$$A = \frac{V}{l} = \left(\frac{W}{\gamma_s l} \right) = \frac{W}{\gamma_s l} = \frac{W}{l \left(\frac{W}{A} \right)}$$

Donde:

 γ_s = peso específico Kg/cm³V = Volumen en cm³

L = Longitud en cm.

W= peso de la probeta

A = área en cm².A_{efec.} = Área efectiva en cm².

3. % de Variación de área:

$$\% \text{ Variacion de area} = \frac{A_{efec} - A_n}{A_n} * 100$$

Donde:

A_{efec.} = Área efectiva, cm².A_n = Área nominal, cm².

4. % de Reducción de área:

$$\% \text{ Reduccion de area} = \frac{A_o - A_f}{A_o} * 100$$

Donde:

A_o = Área inicial, cm².A_f = Área final después de la prueba, cm².

5. % de elongación:

$$\% \text{ de elongacion} = \frac{L_o - L_f}{L_o} * 100$$

Donde:

L_o = Longitud inicial (tramo de calibración), cm.L_f = Longitud final después de la prueba, cm.

6. **Carga de Fluencia:** Esta carga se tomará de la máquina Universal.

7. **Esfuerzo de fluencia:**

$$\sigma_{fluencia} = \frac{\text{Carga de fluencia}}{A_{efec.}} = \frac{K_g}{cm^2}$$

8. **Carga máxima:** Esta carga será la máxima antes de la ruptura de la probeta.

9. **Esfuerzo ultimo**

$$\sigma_{ultimo} = \frac{\text{Carga maxima}}{A_{efec.}} = \frac{K_g}{cm^2}$$

Los datos calculados, serán comparados con los datos que proporciona la norma en cuanto a el esfuerzo máximo, esfuerzo de fluencia, elongación (Ver anexos Tablas 1, 2 y 3).

El reporte deberá contener:

- a) Descripción de la maquina universal y el deformímetro a utilizar en el ensayo: marca de la maquina, capacidad, precisión en la lectura de la carga aplicada, tipo de deformímetro, precisión de la lectura, distancia de medición entre marcas.
- b) Carga de fluencia esperada: la norma prescribe un esfuerzo mínimo de fluencia establecido dependiendo del grado de la varilla; así que para obtener la carga esperada basta multiplicar el esfuerzo por el área efectiva de la probeta y así obtener la carga mínima de fluencia esperada.
- c) Carga ultima esperada: al igual que la carga de fluencia; se multiplica el esfuerzo máximo según norma por el área efectiva.
- d) La velocidad de aplicación de la carga: Para esto se tomará el tiempo desde el inicio de la prueba hasta cuando se realice la ultima lectura; con la longitud de deformación hasta este momento, se puede obtener la velocidad nada más dividiendo la deformación axial entre el tiempo.
- e) Con los resultados de deformación- esfuerzo obtenidos de el ensaye se construye un diagrama de esfuerzo- deformación; del tramo recto de la gráfica calcúlese el modulo de elasticidad.

Nota:

En los casos en que la elongación no alcance los limites mínimos establecidos, puede repetirse la prueba.

- El limite de fluencia debe establecerse:

- En función del gráfico esfuerzo-deformación :
- I. Cuando el gráfico denota claramente el cambio entre el rango elástico y el plástico se lee directamente en el ó en la maquina.

- II. Cuando el gráfico no denota claramente el cambio de rango trazando una línea paralela al rango elástico a partir de una deformación del 0.5% y estableciendo el intervalo de esta con el gráfico como el cambio de rango al que le corresponde el esfuerzo de fluencia.
- Como el esfuerzo alcanzado por el acero cuando la longitud marcada se ha elongado 0.04"

$$\varepsilon = \frac{0.04''}{8''} = 0.005$$

PRUEBA DE DOBLADO

Los ensayos de doblado (de los cuales el más común es el doblado en frío) ofrecen un medio simple, un tanto burdo, pero frecuentemente satisfactorio para obtener un índice de ductilidad. Esencialmente el ensayo consiste en doblar una barra a un ángulo grande y notar si ocurre o no agrietamiento en la superficie exterior de la pieza doblada.

Material y equipo

- Una probeta de 40 cm. de longitud.
- Un pin que dependerá de el diámetro y grado de la probeta
- Máquina Universal

Procedimiento:

1. Medir la Longitud de la probeta y marcar el centro
2. Dependiendo de el grado y diámetro de la muestra escoger el diámetro del pin que se utilizara para la prueba según tabla .
3. Ubicar la muestra en la maquina universal de tal manera que el centro de la probeta coincida con el pin.
4. Aplicarle carga a la probeta hasta que esta doble a un ángulo de 180°; registrese la carga aplicada

Consideraciones del ensayo:

- ♦ Las piezas deben tener suficiente longitud para asegurar el doblado libre y con cualquier aparato provisto.
- ♦ La aplicación de la fuerza de doblado debe ser uniforme durante toda la operación.
- ♦ El movimiento del espécimen en los puntos de contacto con el vástago debe ser libre (sin restricciones), permitiéndole una fácil rotación.
- ♦ Las barras N° 14 y 18 no deben ser sujetas a estos ensayos a menos que hayan sido ordenados con especificaciones complementarias especiales.

ASTM A 615

TABLA 1. Números designados para barras, Pesos Nominales, Dimensiones Nominales y Requisitos de deformación.

Tamaño de barra (B)	Peso Nominal Kg/m	Dimensiones Nominales (A)			Requisitos de deformación, cms.		
		Diámetro cms.	Area cm ²	Perímetro cms.	Espaciamiento Máximo promedio	Altura Mínima promedio	Garganta máxima (Cuerda de 12 1/2% del perímetro nominal).
3	0.561	0.953	0.71	2.992	0.665	0.038	0.363
4	0.996	1.270	1.29	3.990	0.889	0.051	0.485
5	1.555	1.588	2.00	4.986	1.110	0.071	0.607
6	2.240	1.905	2.84	5.984	1.334	0.097	0.726
7	3.048	2.223	3.87	6.982	1.554	0.112	0.848
8	3.982	2.540	5.10	7.981	1.778	0.127	0.973
9	5.070	2.865	6.45	9.002	2.007	0.142	1.095
10	6.417	3.226	8.19	10.135	2.258	0.163	1.237
11	7.923	3.581	10.06	11.252	2.507	0.180	1.372
14	11.408	4.300	14.52	13.513	3.010	0.216	1.646
18	20.282	5.733	25.81	18.009	4.013	0.259	2.195

(A) Las dimensiones nominales de una barra corrugada son equivalentes a aquellas de una barra lisa que tenga el mismo peso por unidad de longitud que la barra corrugada.

(B) Los números de las barras están basados en el número de octavos de pulgada incluido en el diámetro nominal de las barras.

TABLA 2. Requisitos de Tensión.

	Grado 40	Grado 60
Máxima resistencia Mínima a la tensión, (valor mínimo) PSI	70,000	90,000
MPa	483	621
Kg/cm ²	4,900	6,300
Límite de fluencia mínimo a la tensión, (valor mínimo) PSI	40,000	60,000
MPa	276	414
Kg/cm ²	2,800	4,200
Elongación Mínima en 8 pulgadas ó 203 mm mínimo %		
No 3	11.0	9.0
No 4, 5, 6	12.0	9.0
No 7	11.0	8.0
No 8	10.0	8.0
No 9	9.0	7.0
No 10	8.0	7.0
No 11	7.0	7.0
No 14	-	7.0

La resistencia a la tensión no debe ser menor de 1.25 veces la resistencia real a la fluencia.

TABLA 3. Requisitos de la Prueba de DobleZ.

Número de designación de barra	Diámetro del vástago para ensayo al doblado.	
	Grado 40	Grado 60
3, 4, 5	4 d (B)	4 d
6	5 d	5 d
7, 8	5 d	6 d
9, 10, 11	5 d	8 d

(A) Prueba de DobleZ a 180 grados a menos que sea especificado de otra manera.
 (B) d = diámetro nominal de especimen.



FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA.
 ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
 LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
 "ING. MARIO ANGEL GUZMAN URBINA"



PRUEBA DE VARILLAS A TENSION

Reporte No: _____

Hoja No: _____

SOLICITA: _____

PROYECTO: _____

FABRICA: _____

FECHA DE

SOLICITUD: _____

Fecha de

recepción: _____

Fecha de

ensayo: _____

MUESTRA No.	No	No	No	No
(DESCRIPCION)				
DIAMETRO NOMINAL (Designación en ")				
DIAMETRO NOMINAL (pulg)				
LONGITUD DE MUESTRA (cm)				
PESO DE MUESTRA (kg)				
PESO / METRO LINEAL (kg/mt)				
PESO / METRO LINEAL NOMINAL (kg/mt)				
% VARIACION DE PESO				
DIAMETRO INICIAL D_o (cm)				
DIAMETRO FINAL (cm)				
AREA NOMINAL (cm ²)				
AREA EFECTIVA (cm ²)				
% VARIACION DE AREA				
% REDUCCION DE AREA				
LONGITUD INICIAL L_o (cm)				
LONGITUD FINAL L_f (cm)				
% DE ELONGACION				
CARGA DE FLUENCIA (kg)				
ESFUERZO DE FLUENCIA (kg/cm ²)				
CARGA MAXIMA (kg)				
ESFUERZO ULTIMO (kg/cm ²)				
ESFUERZO DE FLUENCIA (PSI)				
ESFUERZO ULTIMO (PSI)				
RANGO DE CARGA				
TIPO DE FRACTURA				

OBSERVACIONES:

 LABORATORISTA

 JEFE DEL LABORATORIO

TABLA II Equivalencias exactas entre las unidades principales US y SI

Magnitudes	De US a SI		De SI a US	
Longitud	1 in.	= 2.54 cm = 2.54×10^{-2} m	1 cm	= 0.3937 in.
	1 ft	= 30.48 cm = 0.3048 m	1 m	= 3.281 ft
Área	1 in. ²	= 6.4516 cm ²	1 cm ²	= 0.1550 in. ²
	1 ft ²	= 929.03 cm ²	1 m ²	= 10.764 ft ²
Volumen	1 in. ³	= 16.387 cm ³	1 cm ³	= 0.0610 in. ³
	1 ft ³	= 0.0283 m ³	1 m ³	= 35.336 ft ³
Fuerza	1 lb	= 4.4482 N	1 N	= 0.2248 lb
	1 kip	= 4.4482 kN	1 kN	= 0.2248 kip
Fuerza/longitud	1 lb/ft	= 14.594 N/m	1 N/m	= 0.0685 lb/ft
	1 kip/ft	= 14.594 kN/m	1 kN/m	= 0.0685 kip/ft
Esfuerzo (y presión)	1 lb/in. ²	= 6.8947 kPa	1 kPa	= 0.1450 lb/in. ²
	1 lb/ft ²	= 47.880 Pa	1 Pa	= 0.02088 lb/ft ²
	1 kip/in. ²	= 6.8947 MPa	1 MPa	= 0.1450 kip/in. ²
	1 kip/ft ²	= 47.880 kPa	1 kPa	= 0.02088 kip/ft ²
Momento de fuerza	1 lb · in.	= 0.1130 N · m	1 N · m	= 8.8495 lb · in.
	1 lb · ft	= 1.3558 N · m	1 N · m	= 0.7376 lb · ft
	1 kip · in.	= 0.1130 kN · m	1 kN · m	= 8.8495 kip · in.
	1 kip · ft	= 1.3558 kN · m	1 kN · m	= 0.7376 kip · ft
Trabajo (y energía)	1 ft · lb	= 1.3558 J	1 J	= 0.7376 ft · lb

TABLA III Equivalencias exactas entre las unidades US y ST, de fuerza, esfuerzo (y presión), momento y trabajo

Magnitudes	De US a ST	
Fuerza	1 lb	= 0.4536 kgf
	1 kip	= 453.6 kgf
Fuerza/longitud	1 lb/ft	= 1.4862 kgf/m
	1 kip/ft	= 1486.2 kgf/m
Esfuerzo (y presión)	1 lb/in. ² (psi)	= 0.07031 kgf/cm ²
	1 lb/ft ² (psf)	= 4.8825 kgf/m ²
	1 kip/in. ² (ksi)	= 70.3081 kgf/cm ²
	1 kip/ft ² (ksf)	= 4 882.5 kgf/m ²
Momento de fuerza	1 lb · in.	= 0.01152 kgf · m (o bien m · kgf)
	1 lb · ft	= 0.13826 kgf · m (o bien m · kgf)
	1 kip · in.	= 11.5216 kgf · m (o bien m · kgf)
	1 kip · ft	= 138.257 kgf · m (o bien m · kgf)
Trabajo (y energía)	1 ft · lb	= 0.13826 kgf · m