

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA

SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



OBTENCION DEL MODULO DE ELASTICIDAD Y
RAZON DE POISSON EN DIFERENTES GRADOS
DE ACERO AL SILICIO

T E S I S

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN
CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA
CON ESPECIALIDAD EN MATERIALES

QUE PRESENTA EL

M.C. DANIEL RAMIREZ VILLARREAL

CD. UNIVERSITARIA

AGOSTO DE 2000

2000
0 1 2

TM

Z5853

.M2

FIME

2000

AR3

EN DIFERENTES GRADOS DE ACERO AL SILICIO

RAZON DE POISSON

Y RAZON DE ELASTICIDAD

DE ELASTICIDAD Y RAZON DE POISSON

DE ELASTICIDAD Y RAZON DE POISSON

DE ELASTICIDAD Y RAZON DE POISSON

DE ELASTICIDAD Y RAZON DE POISSON

DE ELASTICIDAD Y RAZON DE POISSON

DE ELASTICIDAD Y RAZON DE POISSON

DE ELASTICIDAD Y RAZON DE POISSON

DE ELASTICIDAD Y RAZON DE POISSON

DE ELASTICIDAD Y RAZON DE POISSON

DE ELASTICIDAD Y RAZON DE POISSON

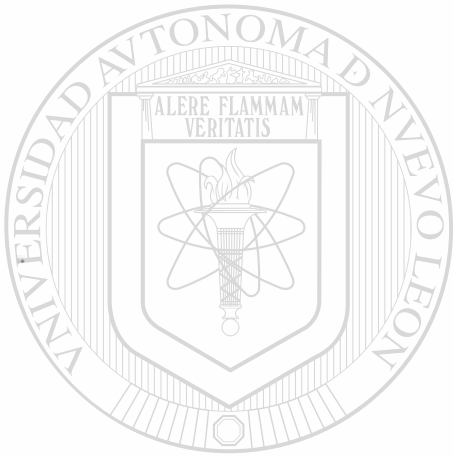
DE ELASTICIDAD Y RAZON DE POISSON

DE ELASTICIDAD Y RAZON DE POISSON

DE ELASTICIDAD Y RAZON DE POISSON



1020133330



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

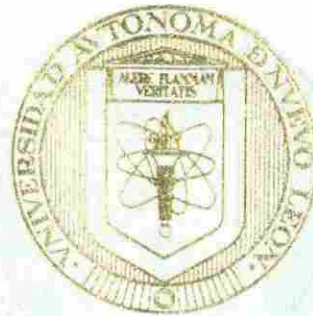
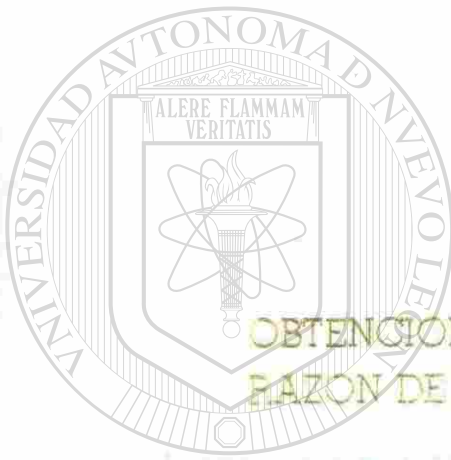


DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
Y ELECTRICA

SUBDIRECCION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



OBTENCION DEL MODULO DE ELASTICIDAD Y
RAZON DE POISSON EN DIFERENTES GRADOS
DE ACERO AL SILICIO

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

TESIS

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN

CIENCIAS DE LA INGENIERIA MECANICA

CON ESPECIALIDAD EN MATERIALES

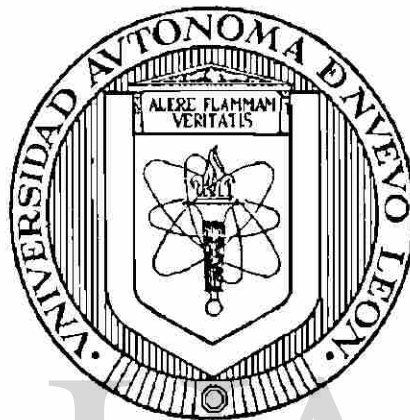
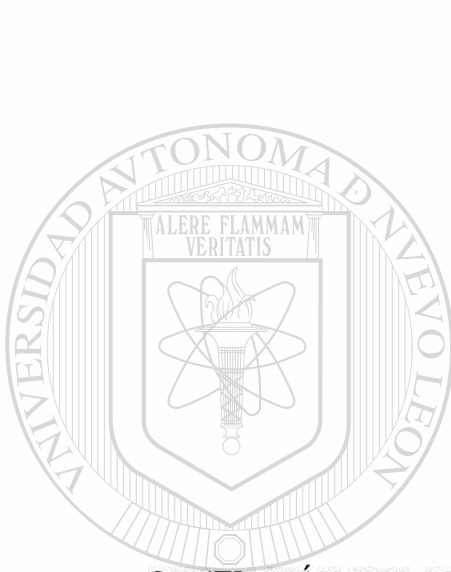
QUE PRESENTA EL

M.C. DANIEL RAMIREZ VILLARREAL

CD. UNIVERSITARIA

AGOSTO DE 2000

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



**OBTENCIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RAZÓN DE POISSON
EN DIFERENTES GRADOS DE ACERO AL SILICIO**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

TESIS

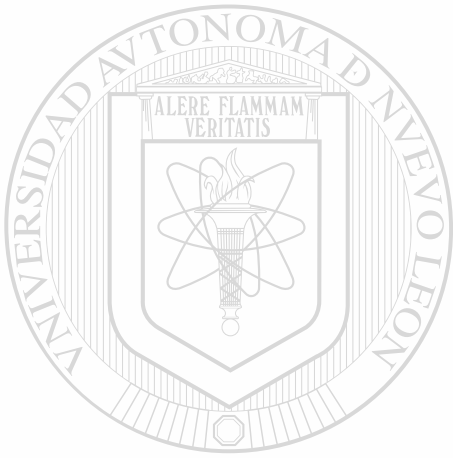
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS
EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
MECÁNICA CON ESPECIALIDAD EN MATERIALES

QUE PRESENTA EL

M.C. DANIEL RAMÍREZ VILLARREAL

0075-29960

TH
25853
• M2
FINE
2000
R3



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

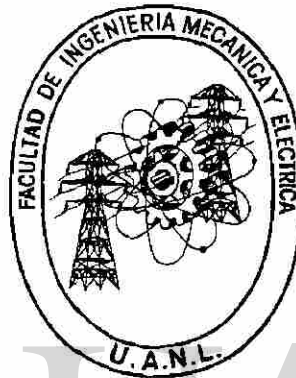
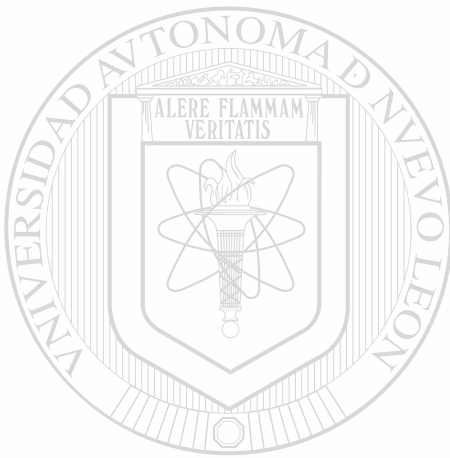
®

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



FONDO
TESIS

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO



UANL

**OBTENCIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RAZÓN DE POISSON
EN DIFERENTES GRADOS DE ACERO AL SILICIO**

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

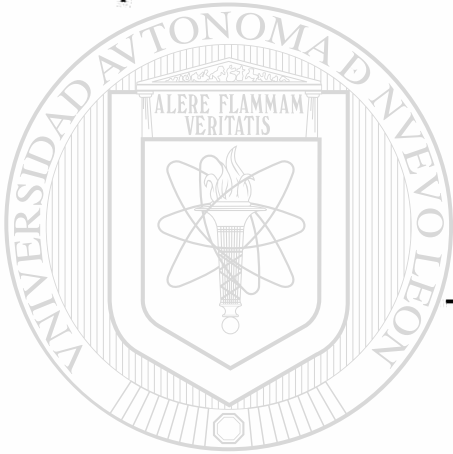
**EN OPCIÓN AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
MECÁNICA CON ESPECIALIDAD EN MATERIALES**

QUE PRESENTA EL

M.C. DANIEL RAMÍREZ VILLARREAL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis “OBTENCIÓN DEL MÓDULO DE ELASTICIDAD Y RAZÓN DE POISSON EN DIFERENTES GRADOS DE ACERO AL SILICIO”, realizada por el alumno MC. Daniel Ramírez Villarreal con numero de matricula 039123, sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Mecánica con especialidad en Materiales.



El Comité de Tesis

Asesor

Dr. Alberto Perez Unzueta

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Coasesor

Dr. Rafael Colás Ortiz

Coasesor

MC. Carlos J. Lizcano Zulaica

Vo.Bo.

MC. Roberto Villarreal Garza
Subdirección de Estudios postgrado

Sn. Nicolas de los Garza, N.L. a Agosto de 2000

DEDICATORIA

Gracias...

A Dios por permitirme vivir cada día y aprender de mis semejantes y de la naturaleza las cosas positivas.

A mi padre Sr. Jesús Ramírez Puente a quien Dios lo tiene en su reino y al cual dedico este trabajo como un reconocimiento póstumo a sus enseñanzas y apoyo que siempre brindo al prójimo y en particular a cada uno de sus hijos en las diferentes etapas de nuestras vidas.

A mi madre Sra. María del Refugio Villarreal Sánchez por darme su apoyo y comprensión desde mis primeros estudios hasta hoy que culmino uno mas.

A mi esposa Rosenda Solis Sosa por su apoyo, paciencia y comprensión en la realización de este trabajo.

A mis hijos Daniel y Miguel Alejandro, que este trabajo les pueda servir de ejemplo para que en el camino de la sabiduría lleguen a desarrollarse como personas de bien.

A mis hermanos y familiares con cariño y respeto.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Nuevo León, a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica a través de sus diferentes áreas académicas que me apoyaron en el desarrollo de esta tesis.

Al Secretario Académico de la Universidad Autónoma de Nuevo León MC. José Antonio González Treviño por su apoyo e interés en la realización de esta tesis como parte de mi superación académica como profesor de carrera de nuestra facultad.

Al MC. Cástulo E. Vela Villarreal director de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica por contar siempre con su apoyo e interés en el desarrollo de este estudio.

Al MC. Roberto Villarreal Garza Subdirector de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica por su apoyo e interés en el desarrollo de esta tesis.

Al MC. Carlos Lizcano Zulaica muy especialmente, por darme la oportunidad de experimentar en estos materiales de investigación y aportar este estudio al conocimiento de ellos, como por su disposición en la asesoría y facilidades técnicas para el desarrollo de esta investigación.

Al Dr. Alberto Pérez Unzueta por su asesoría, apoyo e interés en la culminación de esta tesis.

Al Dr. Rafael Colás Ortiz por su colaboración en la asesoría y revisión de este trabajo.

Al Ing. Omar Cerda Rodríguez por su disposición, colaboración y apoyo que me brindo durante este proyecto.

A mis compañeros maestros de nuestra facultad y en especial a mis amigos maestros del H. Departamento de Mecánica de los Materiales MC. Ruben Chavez Castillo, MC. Cesar G. Dimas Acevedo, MC. Francisco J. Olvera Rodriguez, Ing. Florencio Cuellar Salazar, Ing. Jesús R. Benavides Ortiz, Ing. M. Jaime borjas Gracia, Ing. Juan Antonio Garcia Ruiz , Ing. Pedro Alvarez Reyna, Ing. Hector Cavazos Treviño, Ing. Lorenzo Vela Peña y MC. Moisés Espinosa Esquivel, que me brindaron su apoyo para la realización de este trabajo.

A la empresa HYLSA y a su departamento de investigación y desarrollo en particular al Dr. Ignacio Alvarez Elcoro por las facilidades y atenciones prestadas para el desarrollo de esta tesis.

Al CONALEP(San Nicolás) por las facilidades prestadas en el área de tratamientos térmicos para el desarrollo de esta tesis.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN[®]
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

INDICE

PROLOGO

SINTESIS

1

CAPITULO 1. INTRODUCCION

3

1.1.- Descripción del problema a resolver

3

1.2.- Objetivo de la tesis

3

1.3.- Justificación de la tesis

4

1.4.- Hipótesis

4

1.5.- Límites del estudio

4

1.6.- Metodología

5

1.7.- Revisión bibliográfica

5

CAPITULO 2. TRATAMIENTO TERMICO INTERCRITICO

6

2.1.- Introducción

6

2.2.- Tratamiento térmico intercrítico en aceros al silicio

6

2.3.- Enfriamiento rápido

8

2.4.- Microestructura de los aceros doble fase al silicio

8

2.5.- Propiedades de los aceros duales

14

CAPITULO 3. TEORIA DE LA ELASTICIDAD

20

3.1.- Introducción

20

3.2.- Isotropía y Homogeneidad

22

3.3.- Constantes elásticas físicas

28

CAPITULO 4. ENSAYOS ESTATICOS DE TENSION	34
4.1.- Estandarización de los ensayos para la obtención del módulo de Elasticidad	34
4.2.- Recomendaciones del estándar ASTM E8, E 111-82	36
4.3.- Cálculo del módulo de elasticidad	37
4.4.- Características mecánicas obtenidas	39
CAPITULO 5. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL	40
5.1.- Obtención del material y maquinado según estándar ASTM E8	40
5.2.- Tratamiento térmico intercrítico	41
5.3.- Instrumentación de los medidores eléctricos de deformación.	42
5.3.1 Selección de un medidor eléctrico	42
5.3.2 Técnicas de pegado de un medidor eléctrico	43
5.4.- Desarrollo de los ensayos de Tensión según estándar ASTM E 8	44
CAPITULO 6. RESULTADOS	46
6.1.- Introducción	46
6.2.- Composición química de los aceros en estudio	46
6.3.- Bitácoras y gráficos de los ensayos estáticos de tensión	47
6.4.- Resultados de las constantes de elasticidad	47
6.5.- Diseño experimental	48
6.6.- Análisis estadístico de los datos.	49
6.7.- Resultados de los ensayos Rockwell	49
6.8.- Apéndice A Registro de bitácoras y gráficos	82
6.9.- Apéndice B Gráficos de variación de las constantes elásticas	136

CAPITULO 7. CONCLUSIONES 138

7.1.- Conclusiones 138

BIBLIOGRAFÍA 140

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 142

LISTADO DE TABLAS Y GRÁFICAS 144

LISTADO DE FIGURAS 147

GLOSARIO 149

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO 151

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



elásticas de los aceros al silicio se obtienen experimentalmente haciendo uso del indicador electrónico de deformaciones (“ puente de Wheatstone ”) y los medidores eléctricos de deformación usando la técnica de pegado en el espécimen. En el material se tomarán lecturas de carga y deformación unitaria para luego determinar, sobre la base de métodos analíticos y gráficos de comportamiento dichas constantes elásticas.

1.3.- Justificación de la tesis

Las constantes elásticas que se obtendrán experimentalmente no se tienen definidas para los diferentes grados de acero al silicio, por lo común se consideran los valores promedios para aceros en general, este estudio nos proporcionará los valores reales promedio en que estarían estos aceros al silicio con y sin tratamiento térmico intercrítico.

1.4.- Hipótesis del estudio

Se considerará como hipótesis que las constantes de elasticidad de los aceros al silicio y el acero 1045 no tendrán una variación significativa, al ser considerado el porcentaje de silicio y el tratamiento térmico intercrítico

1.5.- Límites del estudio

Las limitaciones en el estudio son los medidores de deformación eléctricos en cuanto a su grado de sensibilidad a la deformación y funcionamiento elástico, las condiciones originales del tratamiento térmico descritas mas adelante y los efectos del oxígeno en el tratamiento térmico intercrítico y además la cantidad de especímenes por muestra.

PRÓLOGO

En el desarrollo tecnológico de los materiales una parte importante es la caracterización mecánica, donde las propiedades y características mecánicas juegan un papel importante en la ingeniería, medicina, bioingeniería, automatización, manufactura entre otras ramas de la ciencia.

En los materiales, desde que se inicia su estudio se piensa en ciertas propiedades y características deseadas para su aplicación, por lo que para lograrlo se parte de ciertas hipótesis en el estudio y se desarrolla una metodología científica para su fin.

Se puede decir, que la etapa donde se definen estas propiedades y características del material es durante la formación de su estructura cristalina o amorfa según sea el caso. Otro aspecto de interés en el desarrollo de los materiales, es sin duda los tratamientos térmicos que se le pueden hacer para modificar algunas de sus propiedades, morfología de su microestructura, etc.

Ante esta perspectiva, el presente estudio consideró un material como es el acero 1045 al cual se le hizo variar su contenido de silicio seleccionando seis grados diferentes.

Además, se realizó el tratamiento térmico intercrítico en los aceros y se les templó para lograr una microestructura específica, controlando el medio térmico a través de un gas inerte a cierta presión, para obtener los aceros duales ferríticos–martensíticos al silicio como parte de la investigación tecnológica de los nuevos materiales.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1.- Descripción del problema.

Siempre que se desarrollan nuevas aleaciones y en particular nuevos aceros, se requiere de una caracterización metódica de las propiedades mecánicas de dichos aceros. Los aceros aquí estudiados se diseñarán buscando una relación microestructural ferrítica-martensítica que pudiera proporcionar propiedades mecánicas y que a su vez tengan buena resistencia a la corrosión. El problema a resolver es la caracterización completa de las propiedades mecánicas obteniendo estas constantes de elasticidad.

1.2.- Objetivo de la tesis

El objetivo de esta tesis es aplicar las técnicas de experimentación de los medidores eléctricos de deformación en la obtención de las características elásticas y mecánicas de diferentes grados de aceros al silicio en su condición básica y tratada térmicamente, comparándose con las del acero 1045.

Las constantes elásticas a obtener nos servirán para calcular algunas propiedades mecánicas en los materiales, en el planteamiento de esta tesis se tiene que las constantes

Este proceso térmico produce cambios en sus propiedades y características dentro de las cuales se hallan las constantes de elasticidad, siendo las de interés en este trabajo. A través de la aplicación de técnicas experimentales de los medidores eléctricos de deformación para la realización de los ensayos estáticos de tensión en la zona elástica.

Finalmente se analizó la base de datos obtenida para las constantes de poisson y módulo elástico en los aceros 1045, aceros al manganeso básicos y los tratados térmicamente, usando las herramientas del diseño de experimentos a través del análisis de varianza y la prueba T para realizar las inferencias correspondientes.

Daniel Ramírez V.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



SINTESIS

Las constantes de elasticidad para los materiales en general son aplicables en el análisis de comportamiento mecánico a través de las diferentes teorías elásticas.

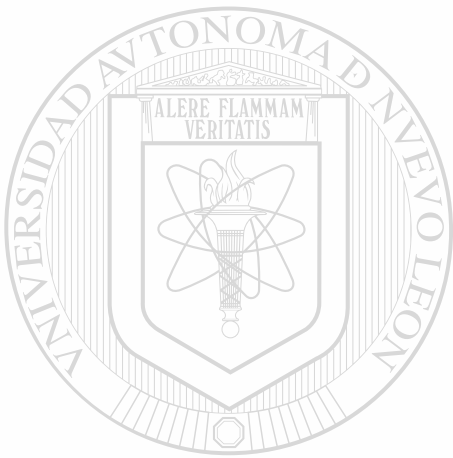
En este estudio se trato de aportar los posibles cambios experimentados en estas constantes elásticas, para los diferentes grados de aceros al silicio.

Se dimensionaron las muestras de acuerdo a un estándar sugerido para el tipo de ensayo a realizar. En cuanto a las pruebas experimentales, estas se llevaron a cabo a través de tratamientos térmicos cuidando los procedimientos recomendados para el control de la atmósfera, la temperatura, y el tiempo.

En los ensayos estáticos de tensión a temperatura ambiente se registró las deformaciones longitudinal y lateral en cada pieza, elaborando las gráficas de esfuerzo-deformación correspondientes a cada una de ellas. En lo referente a las constantes elásticas, se obtuvieron, para cada grado de acero al silicio en su condición básica y tratada térmicamente así como para el acero 1045, estas constantes son: el módulo elástico a carga axial y cortante, la razón de Poisson, el módulo de Bulk o volumétrico y la constante de Lamé. Además se desarrollaron ensayos de dureza Rockwell.

Finalmente se procedió a realizar un análisis estadístico entre el acero 1045, el acero al silicio sin tratar y tratado térmicamente para comprobar la hipótesis y determinar las conclusiones del estudio.

Estos aceros al silicio de doble fase ferrito-martensita, se consideran como una solución a los problemas de corrosión en ingeniería civil para la construcción de puentes carreteras, aceros de alto estiraje, cables o alambres de alta resistencia y aplicaciones de resistencia a la corrosión, etc., de tal forma que la aportación científica que se haga a su estudio ayudará a mejorar el conocimiento de estos aceros.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



1.6.- Metodología

La muestra a estudiar es un acero al silicio en diferentes grados para varillas de construcción civil, tratadas térmicamente.

Los experimentos a realizar son:

- Tratamientos Térmicos intercríticos
- Pruebas Mecánicas
- Pruebas experimentales de Medición de Deformación
- Diseño experimental

1.7.- Revisión Bibliográfica

Los estudios existentes para el cálculo y obtención de las constantes elásticas son en general para aceros que cubren alguna especificación o norma internacional. Estos aceros al ser completamente nuevos y con tratamientos térmicos esperados, requieren de un estándar sistemático, la diferencia de este estudio con la biografía existente para aceros duales es de que las constantes elásticas han sido obtenidas en materiales con tratamiento estándar. El estudio se basará en aceros duales en diferentes grados al silicio tratados térmicamente y sin tratar, para obtener tanto el cambio morfológico esperado y las constantes elásticas. Siendo esta la diferencia de este estudio con la bibliografía existente.

CAPÍTULO 2

TRATAMIENTO TÉRMICO INTERCRÍTICO

2.1.-Introducción

El tratamiento térmico intercrítico aplicado a los aceros al silicio bifásicos tiene como propósito cambiar las propiedades mecánicas y la microestructura para obtener aquellas deseadas en producto final. Mejorar la resistencia a la corrosión es una de las propiedades que se busca en este tipo de aceros.

2.2.- Tratamiento térmico intercrítico en aceros doble fase al silicio.

El tratamiento térmico intercrítico para los aceros duales al silicio consiste en llevar los especímenes a un intervalo de temperatura entre 751-937 °C dentro de la región ferrita-austenita, ($\alpha + \gamma$) durante un tiempo determinado, en función del tamaño de la pieza en un medio preferentemente a base de gas argón para evitar el oxígeno. Después se enfría rápidamente en agua.

El tratamiento térmico a realizar para los aceros doble fase ferrítico-martensítico nos proporciona un rango amplio de resistencia mecánica y ductilidad al estar variando un cierto rango de temperaturas.

Este tratamiento térmico se aplica en aceros de bajo contenido de carbono, llevando la aleación a la zona bifásica ferrita + austenita ($\alpha + \gamma$) en el proceso de calentamiento como se ve en la figura 2.1 y posteriormente se temple en agua. El objetivo de este tratamiento es transformar la austenita en martensita dislocada de alta resistencia y rigidez, con una matriz ferrítica.

El mecanismo de resistencia está determinado por la cantidad y morfología de la segunda fase, que generalmente consiste de una martensita con alta resistencia. La martensita puede ser rígida o frágil dependiendo principalmente de contenido de carbono. Cualquier fragilidad debida a la martensita es disminuida por la presencia de la matriz de ferrita dúctil.

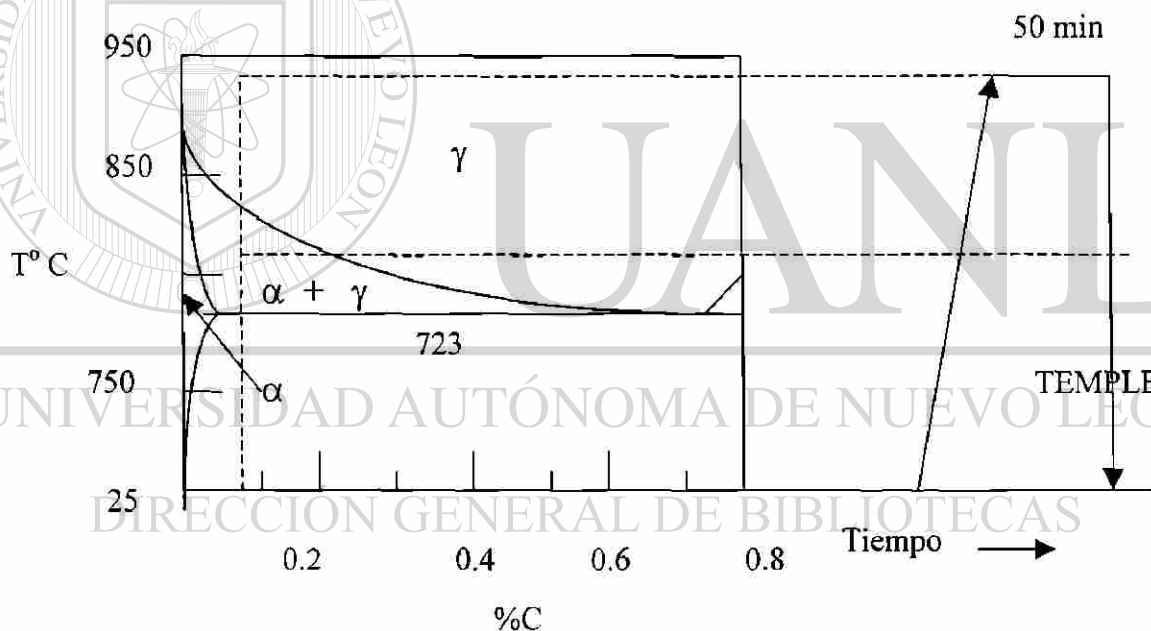


Figura 2.1 Sección del diagrama de fase Fe-C mostrando el tratamiento térmico de temple y el tratamiento intercrítico, según G.Thomas [1]

2.3.-Enfriamiento rápido

El enfriamiento rápido que se realiza a los aceros al silicio doble fase tratados térmicamente es la parte mas crítica debido a que se puede llegar a formar carburos o nitruros no deseables al contacto con el oxígeno, por lo que el recipiente de temple en agua debe estar próximo al horno. Otro aspecto importante son los posibles cambios dimensionales como la distorsión, que se presenta en los especímenes a enfriar debido al choque térmico.

2.4 .-Microestructura de los aceros doble fase al silicio

La metalografía óptica y electrónica han sido utilizado para caracterizar estos aceros, ver figura 2.2 en donde se muestra una matriz ferrítica con islas de martensita. El tamaño de grano promedio obtenido por el método de la línea de intersección con 100 lecturas es 10 mm y 6 mm para la ferrita y la martensita respectivamente. Aproximadamente 18% de la fracción de volumen de la fase martensita de bajo carbono fue obtenida después del recocido y templado. En la figura 2c se muestra la típica estructura de perlita y ferrita del tocho de acero normalizado. El tamaño del grano de la ferrita es aproximadamente 10 micras.

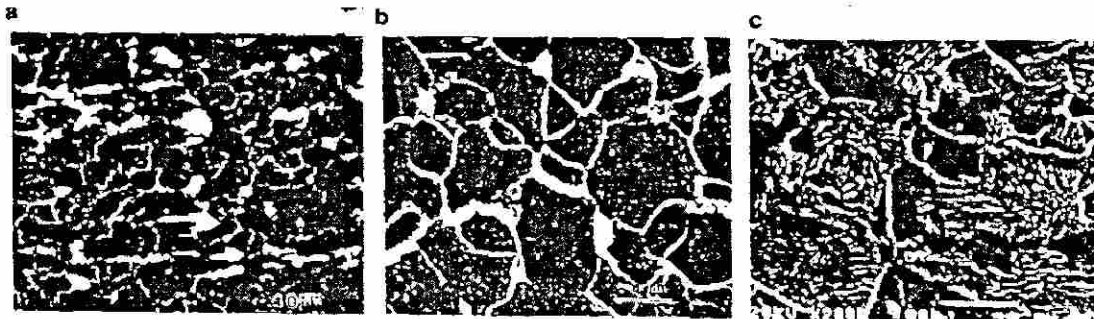
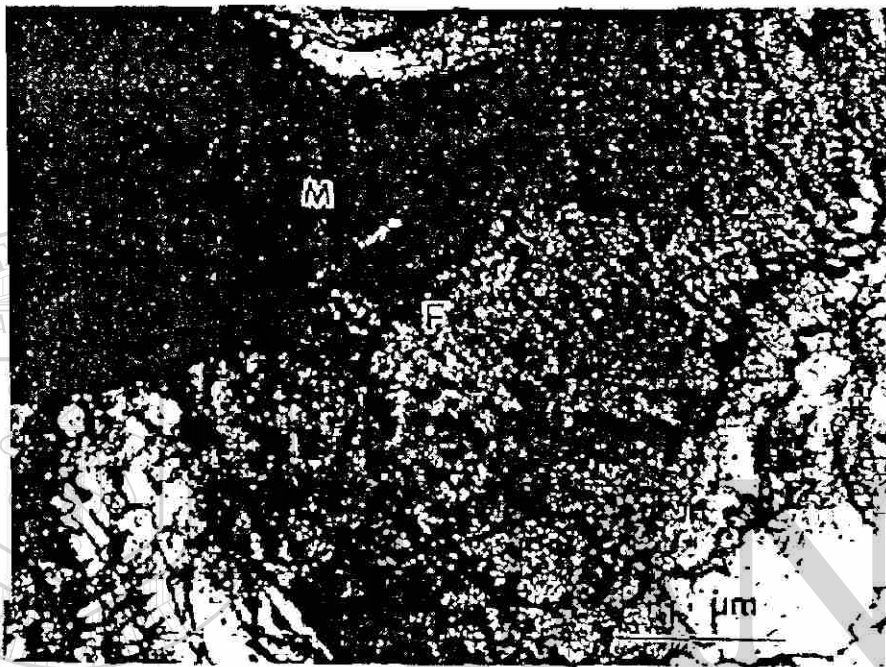


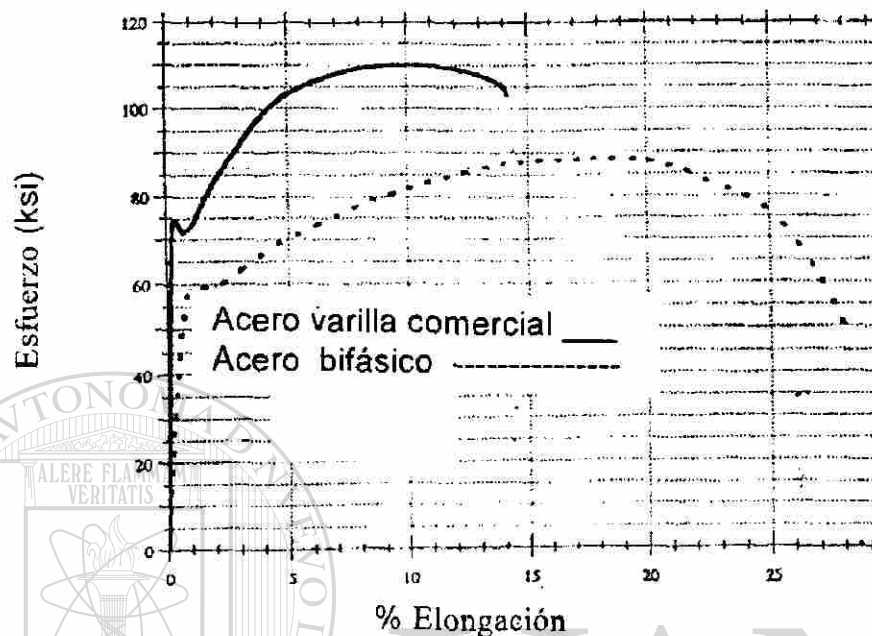
Figura 2.2 .- a).- Micrografía óptica mostrando una matriz de ferrita e islas de martensita dispersa, en una sección longitudinal con tratamiento intercrítico. b).- SEM mostrando islas de martensita en matriz ferrítica de un templado intercrítico. c).- SEM micrografía mostrando la microestructura ferríta-perlita de una barra de acero reforzado convencional según G.Thomas [1]

La figura 2.3 muestra algunas dislocaciones en los granos de ferrita adyacentes a las islas de martensita. Estas dislocaciones son generadas por el cambio de volumen asociado con la transformación de austenita y martensita en el templado y son responsables de la eliminación del punto de cedencia y este fenómeno está asociado a los aceros doble fase .



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Figura 2.3.- La fotomicrografía obtenida, muestra dislocaciones de alta densidad en granos de ferrita adyacentes a islas de martensita de un espécimen con tratamiento intercrítico, según G.Thomas [1]



La figura 2.4 muestra la curva de esfuerzo - deformación para los aceros de duales y acero para varilla comercial.

Esto será notado en un incremento en la resistencia de cedencia de los aceros duales y es atribuido a la pequeña cantidad de martensita de acuerdo a la ecuación 2.1.

$$\sigma = \sigma_m v_m + \sigma_f(1-v_m) \quad (2.1)$$

donde; σ es la resistencia última

σ_m es la resistencia de la martensita

σ_f es la resistencia de la ferrita

v_m es la fracción de volumen de la martensita

Al aumentar V_m , sin embargo, los aceros duales pueden proveer propiedades superiores de tensión aún cuando son comparados con los aceros comerciales “Tempcore” [1], ver figura 2.5. En la figura 2.6 se muestra la microestructura del acero dual o doble fase examinado después de 19% de deformación, en donde se puede ver que las islas de martensita experimentan una mínima deformación mientras que la matriz de ferrita es deformada. En granos grandes ambas fases se deforman igual y los aceros duales pueden ser fácilmente estirados en un sólo paso a niveles de resistencia mayores de 2 000 MPa. Por lo tanto los aceros duales pueden ser utilizados en cables o alambres de alta resistencia y aplicaciones de resistencia a la corrosión [1].

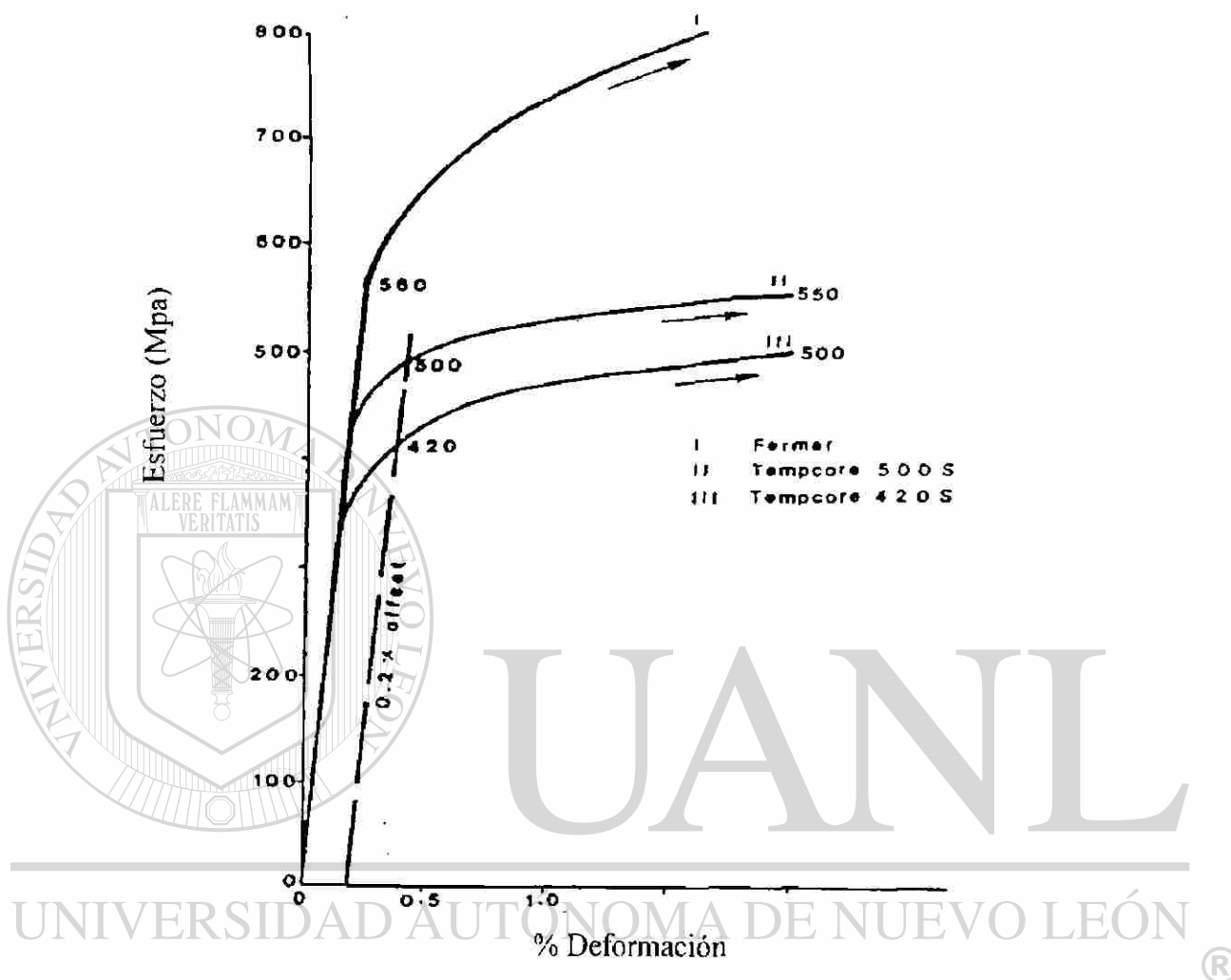


UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS





DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Figura 2.5.- Gráficos de esfuerzo – deformación para aceros duales ferrítico-martensíticos(I fermar), con aproximadamente 30% de martensita comparado con dos barras de acero tempcore I y II.

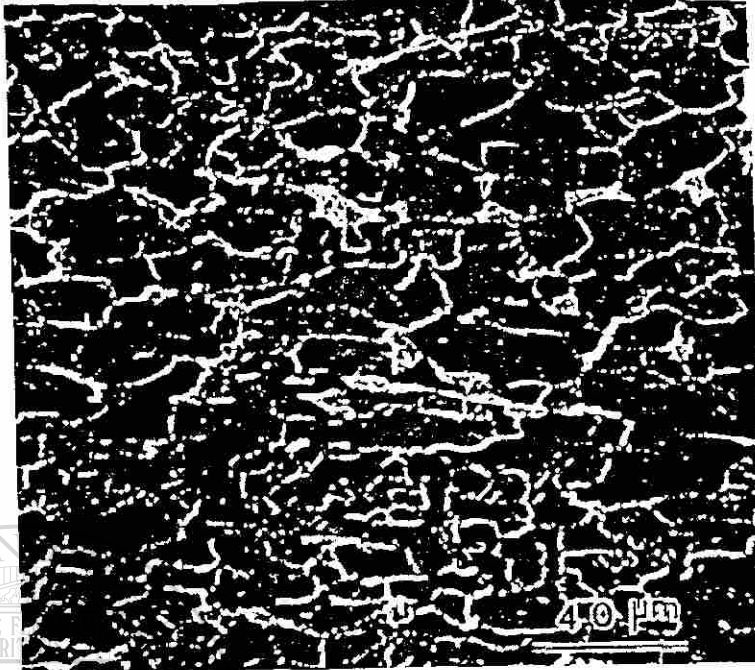


Figura 2.6 La Fotomicrografía muestra la microestructura del espécimen tratado intercríticamente con 19% de deformación, la ferrita se ve deformada y la martensita no aparenta estarlo, según G.Thomas [1].

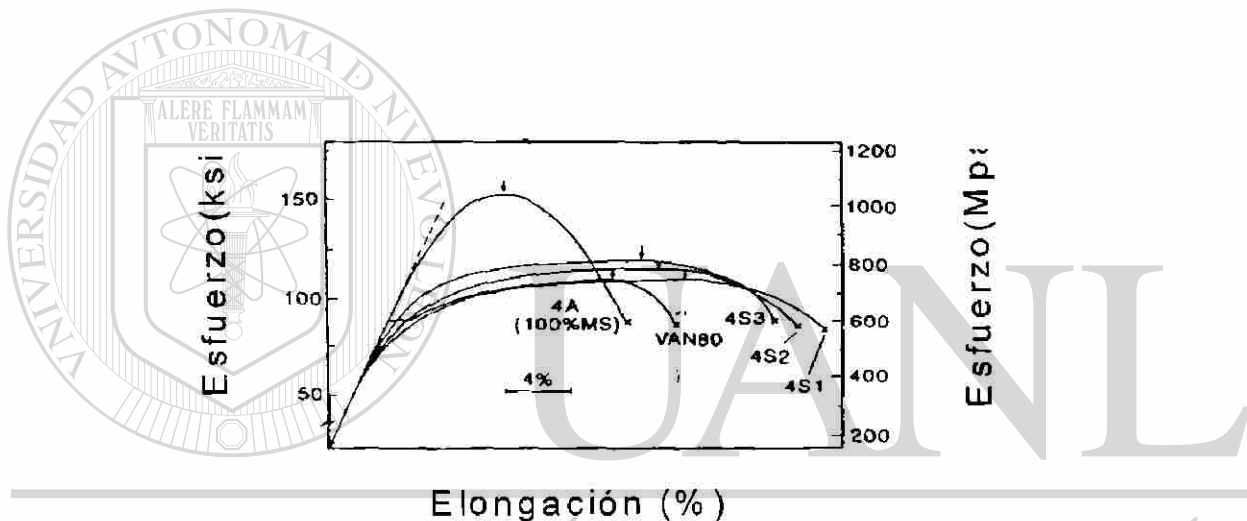
2.5.-Propiedades mecánicas en aceros al silicio

Las propiedades mecánicas son determinadas por la morfología del compuesto, el volumen de martensita, el contenido de los aceros al silicio y por la adición de elementos aleantes. La resistencia última del acero aumenta linealmente con el incremento de la fracción de volumen de la Martensita V_m y puede ser calculada empíricamente por la ecuación de la ley de mezclas

$$\sigma = \sigma_m V_m + \sigma_f(1 - V_m) \quad 2.1$$

donde σ_m , σ_f son las resistencias de tensión de la martensita y la ferrita respectivamente.

Como se muestra en la figura 2.7 [1], la curva de esfuerzo - deformación para un 2% de silicio en el acero dual con diferentes fracciones volumétricas de martensita, considerando la ecuación (2.1) el comportamiento mecánico de las fibras continuas unidireccional, donde ambos, matriz y las fibras están bien unidos y la deformación de todos los componentes es igual. Aquí, el volumen de martensita deberá exceder el límite más bajo para contribuir a la resistencia y prevenir la falla de las partículas de martensita que podría propagarse inmediatamente.



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Figura 2.7.- Curvas esfuerzo-deformación para acero dual ferrita - martensita con cantidades variables de fracción de martensita (4A =100%M, 4S3 = 60%M, 4S2 = 40%M, 4S1 = 20%M) según G. Thomas [1].

En la figura 2.8 [1] se muestra uno de los tratamientos térmicos típicos utilizado para obtener acero doble fase. Al tratar los especímenes a una temperatura de 1,100°C , la matriz es transformada a austenita que se transforma a su vez en martensita durante el temple. El tratamiento térmico intercrítico transforma algo de martensita a ferrita, con la fracción volumétrica determinada por el diagrama de fase usando la regla de las cantidades relativas de las fases (o de la palanca). Los niveles de carbono en la

martensita deberá ser por lo menos de 0.3% para asegurar que la dureza de la transformación martensítica tenga componentes no homogéneos cortantes que ocurran por deslizamiento y no por reflexión gemela que produzcan por lo tanto una fase martensítica suficiente.

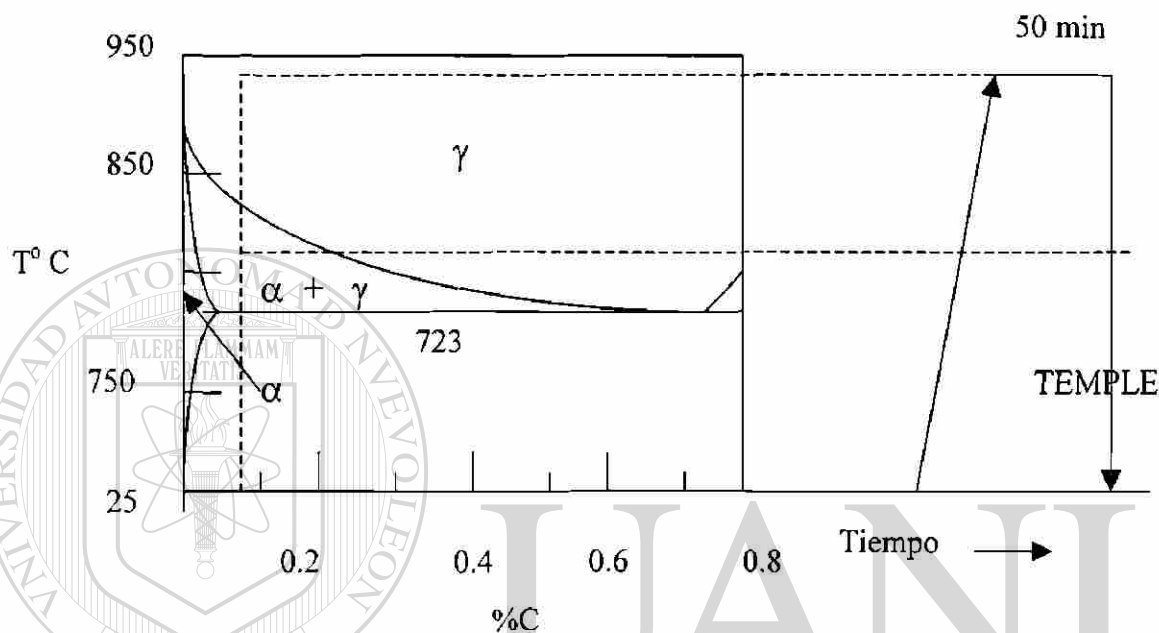


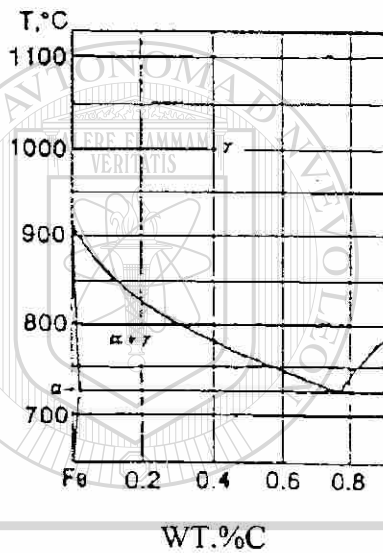
Figura 2.8 .- tratamiento térmico para obtener la estructura bifásica para aceros de bajo carbono. según G. Thomas [1].

Con los más recientes descubrimientos en producción de barras usando rodillos controlados y templado en agua, con mínimas concentraciones sobre la composición del acero (con niveles de carbono de 0.06 a 0.1 % en peso) los aceros duales pueden ser económicos para usarse dentro de estructuras de concreto reforzado.

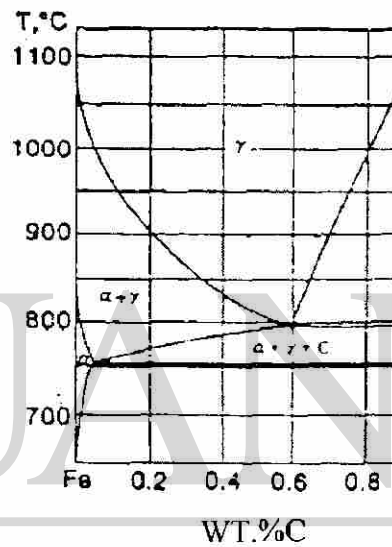
Con la adición de silicio a los aceros de bajo carbono como se muestra en la tabla 2.1, el área de ($\alpha + \gamma$) de la región de Fe-C, se incrementa, como se muestra en la figura 2.9. Al incrementar esta pendiente hay más flexibilidad en la operación del proceso de laminación tanto para el control de composición y fracción volumétrica de las dos fases. tal como puede ser visto en la figura 2.9, una pequeña desviación en la

temperatura intercrítica tiene un efecto significativo en el contenido de carbono de la martensita para aceros sin silicio. Con la adición de silicio, la pendiente $\gamma/(\alpha + \gamma)$ en la línea de solvus se incrementa considerablemente, por lo que permite menos control sobre la temperatura crítica de recocido e incrementa la flexibilidad del tratamiento térmico intercrítico.

Diagrama de fase Fe-C
rico en Fe



Sección del diagrama de fase Fe- Si- C
rico en Fe con 2.4% Si



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Figura 2.9.- Diagramas de fase mostrando la expansión de la región ($\alpha + \gamma$)

cuando se agrega silicio al sistema Fe- C , según G. Thomas [1].

Tabla 2.1 Aceros de bajo carbono y baja aleación. [1] según G. Thomas [1].

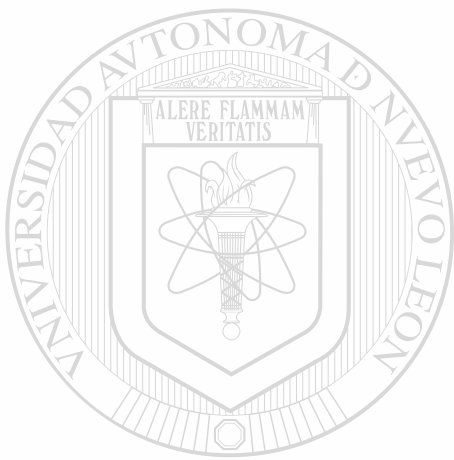
	C	Si	Mn	Al	P	S	Nb
Acero doble fase	0.11	1.96	0.41	0.02	0.006	0.004	0.10
Acero comercial	0.4	0.19	0.92	-	0.025	0.052	-

La heterogeneidad de los aceros doble fase es causada no solamente por las diferentes fases sino también por las inclusiones, límites de grano y otras discontinuidades. Estas características resultan en varias ventajas sobre reforzamiento regular y de recubrimiento. La microestructura de aceros convencionales frecuentemente hacen esto imposible para obtener una buena ductilidad y resistencia simultáneamente, mientras que los productos de acero doble fase tienen la capacidad para obtener grandes resistencias y grandes elongaciones. La alta resistencia a la tensión requerirá menos rebosamiento para estructuras por lo tanto reduce los costos de construcción. Una mejor durabilidad en la construcción de puentes se ha obtenido mediante la aplicación de los aceros DFM. Los aceros DFM pueden ser efectivos en costos durante la construcción y se reduce el daño por corrosión.

Los aceros DFM son producidos por tratamiento térmico en la región de ferrita y austenita seguidos de un temple para transformar la austenita a martensita dislocada de alta resistencia y tenacidad. La resistencia del acero depende de la temperatura de tratamiento intercrítico, la corrosión parece ser menos dependiente de esta temperatura.

La temperatura de laminación y el área de reducción serán determinados de acuerdo a la aleación y diámetro del acero. Podría ser notado que a mayor temperatura resultará más martensita y mayor tamaño de granos.

Las reducciones de laminado más grandes conducen a tamaño de grano más fino y generalmente más dislocaciones. El incremento en las dislocaciones y el volumen de martensita y la disminución en el tamaño de grano conduce a resistencias más altas pero la cantidad excesiva de martensita puede reducir la ductilidad. Por lo tanto el control del proceso de laminación maximiza la resistencia mientras mantiene la suficiente ductilidad y las buenas características de durabilidad.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

CAPÍTULO 3

TEORÍA DE LAS CONSTANTES DE ELASTICIDAD

3.1.- Introducción

La Ley de Hooke: establece la proporcionalidad entre el esfuerzo y deformación

en un material, siendo a tensión o compresión el efecto sobre la fibra.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

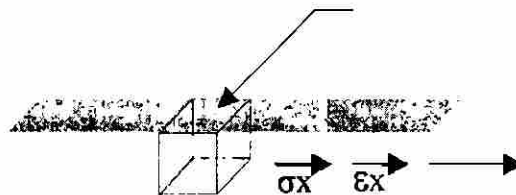


Figura 3.1- La barra delgada bajo tensión uniaxial.

$$\sigma_x = E \varepsilon_x \quad (3.1)$$

σ_x = Esfuerzo axial de tensión.

E = Modulo de elasticidad.

ε_x = Deformación unitaria.

La ley de Hooke se cumple sólo hasta el límite proporcional del material. En la gráfica esfuerzo contra deformación sería hasta el punto P.

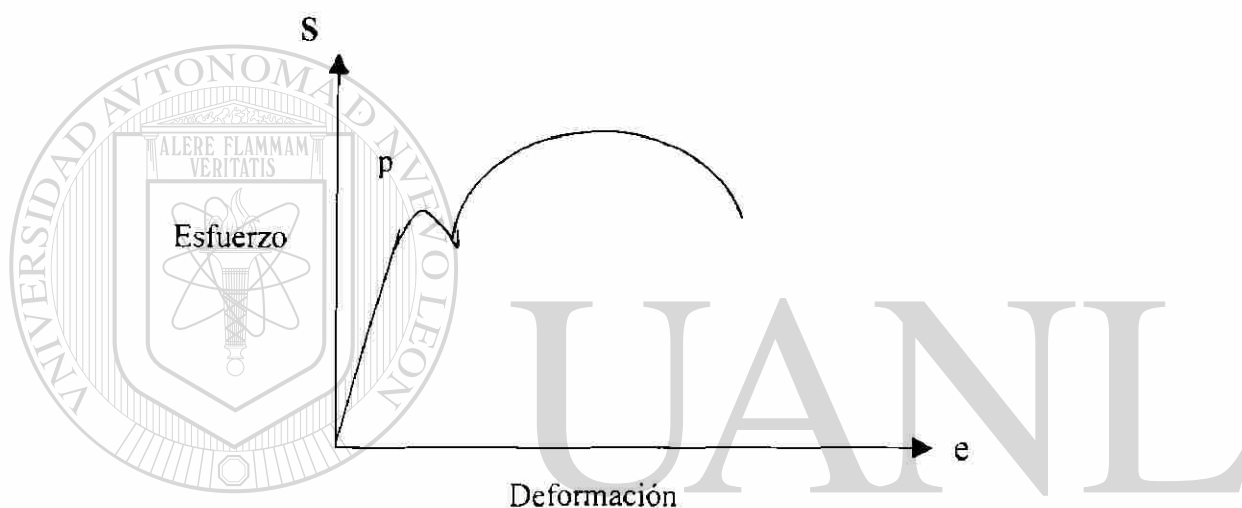


Figura 3.2.- Curva esfuerzo-deformación para un acero

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

Ley de Hooke generalizada:

Cuando el sistema de esfuerzos no es una simple tensión o compresión sino el definido por la seis componentes de esfuerzo y deformación: $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$, y $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$.

Una generalización lógica es hecha de la ley de Hooke para cada uno de los componentes de esfuerzo en función de los componentes de deformación y las constantes de elasticidad llamadas C_{11}, C_{12}, \dots . Las cuales son independientes de los esfuerzos y deformaciones. [Ref. 4]

$$\begin{aligned}
 \sigma_x &= C_{11}\varepsilon_x + C_{12}\varepsilon_y + C_{13}\varepsilon_z + C_{14}\gamma_{xy} + C_{15}\gamma_{yz} + C_{16}\gamma_{zx} \\
 \sigma_y &= C_{21}\varepsilon_x + C_{22}\varepsilon_y + C_{23}\varepsilon_z + C_{24}\gamma_{xy} + C_{25}\gamma_{yz} + C_{26}\gamma_{zx} \\
 \tau_{zx} &= C_{61}\varepsilon_x + C_{62}\varepsilon_y + C_{63}\varepsilon_z + C_{64}\gamma_{xy} + C_{65}\gamma_{yz} + C_{66}\gamma_{zx}
 \end{aligned} \quad (3.2)$$

3.2 Consideraciones de isotropía y homogeneidad.

Un cuerpo es isotrópico si sus propiedades elásticas son las mismas en todas direcciones por lo que, para cuerpos isotrópicos, las componentes de esfuerzo y deformación referidas para un nuevo sistema coordenado $O_{x' y' z'}$ como se muestra en la figura 3.3, de cualquier orientación debe ser relacionado por las mismas constantes elásticas C_{11} y C_{12} , por lo que el sistema de esfuerzos quedaría representado por :

$$\begin{aligned}
 \sigma_{x'} &= C_{11}\varepsilon_{x'} + C_{12}\varepsilon_{y'} + C_{13}\varepsilon_{z'} + C_{14}\gamma_{x'y'} + C_{15}\gamma_{y'z'} + C_{16}\gamma_{z'x'} \\
 \sigma_{y'} &= C_{21}\varepsilon_{x'} + C_{22}\varepsilon_{y'} + C_{23}\varepsilon_{z'} + C_{24}\gamma_{x'y'} + C_{25}\gamma_{y'z'} + C_{26}\gamma_{z'x'} \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 \tau_{z'x'} &= C_{61}\varepsilon_{x'} + C_{62}\varepsilon_{y'} + C_{63}\varepsilon_{z'} + C_{64}\gamma_{x'y'} + C_{65}\gamma_{y'z'} + C_{66}\gamma_{z'x'}
 \end{aligned} \quad (3.3)$$

Esto puede ser demostrado considerando la deformación por energía. Las 36 constantes no son independientes unas de otras, las relaciones que existen entre ellas son 2 y sólo 2 constantes elásticas independientes, más adelante estableceremos las relaciones entre las 36 constantes elásticas y reducir el número de constantes elásticas independientes de 36 a 2. [4]

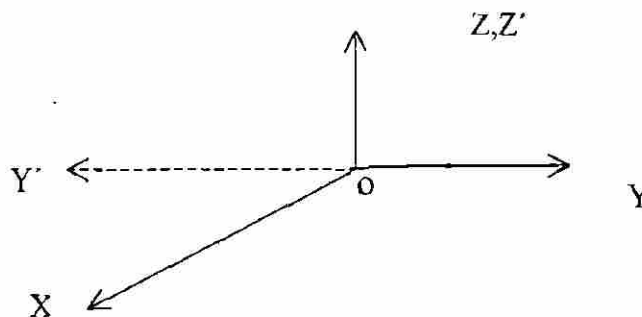


Figura 3.3.- Nuevo sistema de coordenadas $O_{x' y' z'}$ obtenido por rotación respecto al eje O_z .

Fijemos el nuevo sistema de coordenadas $O x' y' z'$ obtenido por una rotación de 180° de los ejes tradicionales, con respecto al eje Ox , como se ve en la figura 3.4

$$\begin{aligned}
 \sigma_{x'} &= \sigma_x & \sigma_{y'} &= \sigma_y & \sigma_{z'} &= \sigma_z \\
 \tau_{z'x'} &= \tau_{zx} & \tau_{y'z'} &= -\tau_{yz} & \tau_{z'x'} &= -\tau_{zx} \\
 \varepsilon_{x'} &= \varepsilon_x & \varepsilon_{y'} &= \varepsilon_y & \varepsilon_{z'} &= \varepsilon_z \\
 \gamma_{x'y'} &= \gamma_{xy} & \gamma_{y'z'} &= -\gamma_{yz} & \gamma_{z'x'} &= -\gamma_{zx}
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

De las ecuaciones (3.3) y (3.4) tenemos :

$$\begin{aligned}
 \sigma_x &= C_{11}\varepsilon_x + C_{12}\varepsilon_y + C_{13}\varepsilon_z + C_{14}\gamma_{xy} - C_{15}\gamma_{yz} - C_{16}\gamma_{zx} \\
 \sigma_y &= C_{21}\varepsilon_x + C_{22}\varepsilon_y + C_{23}\varepsilon_z + C_{24}\gamma_{xy} - C_{25}\gamma_{yz} - C_{26}\gamma_{zx} \\
 \tau_{zx} &= -C_{61}\varepsilon_x - C_{62}\varepsilon_y - C_{63}\varepsilon_z - C_{64}\gamma_{xy} + C_{65}\gamma_{yz} + C_{66}\gamma_{zx}
 \end{aligned} \tag{3.5}$$

Comparada con las ecuaciones (3.2) y (3.5) tenemos :

$$C_{15} = -C_{15} \quad C_{16} = -C_{16}$$

$$C_{15} = C_{16} = C_{25} = C_{26} = C_{35} = C_{36} = C_{45} = C_{46} = 0$$

$$C_{51} = C_{52} = C_{53} = C_{54} = C_{61} = C_{62} = C_{63} = C_{64} = 0$$

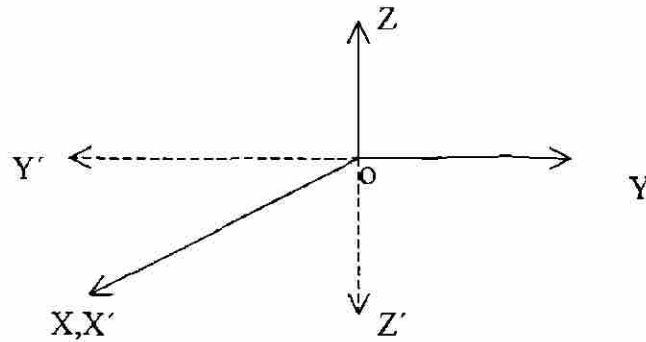


Figura 3.4.- Nuevo sistema de coordenadas $O_{X' Y' Z'}$ obtenidas por rotación con respecto a $O_{X, Y, Z}$.

La ley de Hooke generalizada :

$$\begin{aligned}\sigma_x &= C_{11}\epsilon_x + C_{12}\epsilon_y + C_{13}\epsilon_z + C_{14}\gamma_{xy} \\ \sigma_y &= C_{21}\epsilon_x + C_{22}\epsilon_y + C_{23}\epsilon_z + C_{24}\gamma_{xy} \\ \sigma_z &= C_{31}\epsilon_x + C_{32}\epsilon_y + C_{33}\epsilon_z + C_{34}\gamma_{xy}\end{aligned}\quad (3.6)$$

$$\tau_{xy} = C_{41}\epsilon_x + C_{42}\epsilon_y + C_{63}\epsilon_z + C_{44}\gamma_{xy}$$

$$\tau_{yz} = C_{55}\gamma_{yz} + C_{56}\gamma_{xz}$$

$$\tau_{xz} = C_{65}\gamma_{yz} + C_{66}\gamma_{zx}$$

Ahora fijemos el nuevo sistema de coordenadas que corresponde a la rotación OX en un ángulo de 180° .

Usando el mismo procedimiento anterior, obtenemos

$$C_{14} = C_{24} = C_{34} = C_{41} = C_{42} = C_{43} = C_{56} = C_{65} = 0$$

Ahora fijemos el nuevo sistema de coordenadas correspondientes a la rotación OX en un ángulo de 90° como se ve en la figura 3.4. Por el método anterior obtenemos.

$$C_{12} = C_{13}, C_{21} = C_{31}, C_{23} = C_{32}, C_{22} = C_{33}, C_{44} = C_{66}$$

Similarmente por una rotación de 90° obtenemos :

$$C_{13} = C_{23} , C_{31} = C_{32} , C_{11} = C_{22} , C_{44} = C_{55}$$

La ley de Hooke llegará ser :

$$\sigma_x = C_{11}\epsilon_x + C_{12}(\epsilon_y + \epsilon_z)$$

$$\sigma_y = C_{11}\epsilon_y + C_{12}(\epsilon_x + \epsilon_z)$$

$$\sigma_z = C_{11}\epsilon_z + C_{12}(\epsilon_x + \epsilon_y)$$

$$\tau_{xy} = C_{44}\gamma_{xy}$$

$$\tau_{yz} = C_{44}\gamma_{yz}$$

$$\tau_{zx} = C_{44}\gamma_{xz}$$

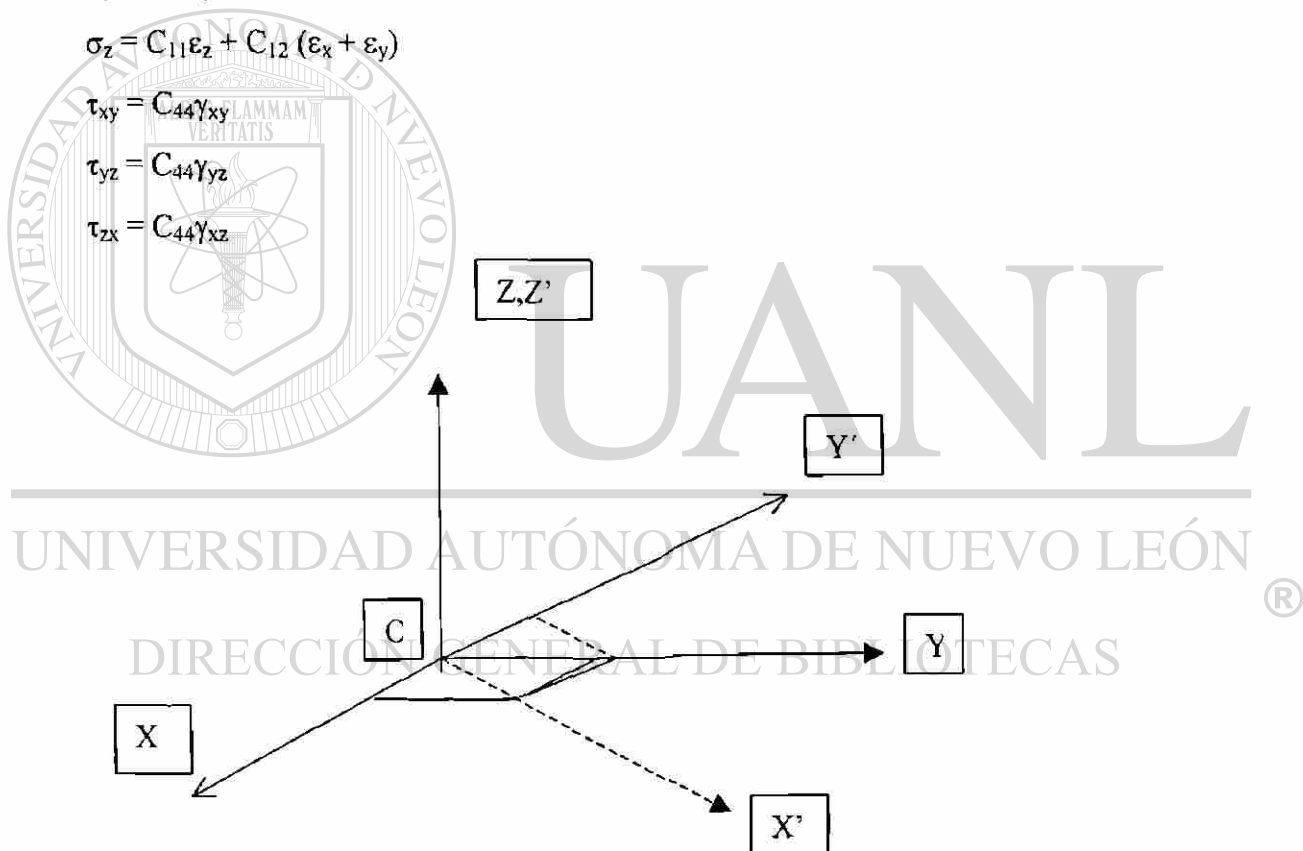


Figura 3.5 Nuevo sistema de coordenadas $Ox' y' z'$ obtenida al rotar 90° con respecto a OZ .

Finalmente, el nuevo sistema de coordenadas es correspondiente a la rotación de OZ en un ángulo de 45° como se ve en la figura 3.5. La transformación de esfuerzo - deformación resulta:

$$\sigma_{x'} = \frac{1}{2}\sigma_x + \frac{1}{2}\sigma_y + \tau_{xy}$$

$$\sigma_{y'} = \frac{1}{2}\sigma_x + \frac{1}{2}\sigma_y - \tau_{xy}$$

$$\sigma_{z'} = \sigma_z$$

$$\tau_{x'y'} = -\frac{1}{2}\sigma_x + \frac{1}{2}\sigma_y$$

$$\tau_{y'z'} = \frac{\sqrt{2}}{2}\tau_{yz} - \frac{\sqrt{2}}{2}\tau_{zx} \quad \frac{1}{2}\gamma_{y'z'} = \frac{\sqrt{2}}{4}\gamma_{yz} - \frac{\sqrt{2}}{4}\gamma_{zx} \quad (3.8)$$

$$\varepsilon_{z'} = \varepsilon_z$$

$$\frac{1}{2}\gamma_{x'y'} = -\frac{1}{2}\varepsilon_x + \frac{1}{2}\varepsilon_y$$

De acuerdo a su isotropía y aplicando los nuevos sistemas de coordenadas nos da :

$$\sigma_{x'} = C_{11}\varepsilon_{x'} + C_{12}(\varepsilon_{y'} + \varepsilon_{z'})$$

$$\sigma_{y'} = C_{11}\varepsilon_{y'} + C_{12}(\varepsilon_{x'} + \varepsilon_{z'})$$

$$\sigma_{z'} = C_{11}\varepsilon_{z'} + C_{12}(\varepsilon_{x'} + \varepsilon_{y'}) \quad (3.9)$$

$$\tau_{x'y'} = C_{44}\gamma_{x'y'}$$

$$\tau_{y'z'} = C_{44}\gamma_{y'z'}$$

$$\tau_{z'x'} = C_{44}\gamma_{z'x'}$$

Las ecuaciones 3.8 son sustituidas en las primeras ecuaciones (3.9) y obtenemos :

$$\frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + \tau_{zy} = \sigma_{x'} = C_{11}\left(\frac{1}{2}\varepsilon_x + \frac{1}{2}\varepsilon_y + \frac{1}{2}\gamma_{zx}\right) + C_{12}\left(\frac{1}{2}\varepsilon_x + \frac{1}{2}\varepsilon_y - \frac{1}{2}\gamma_{zy} + \varepsilon_z\right)$$

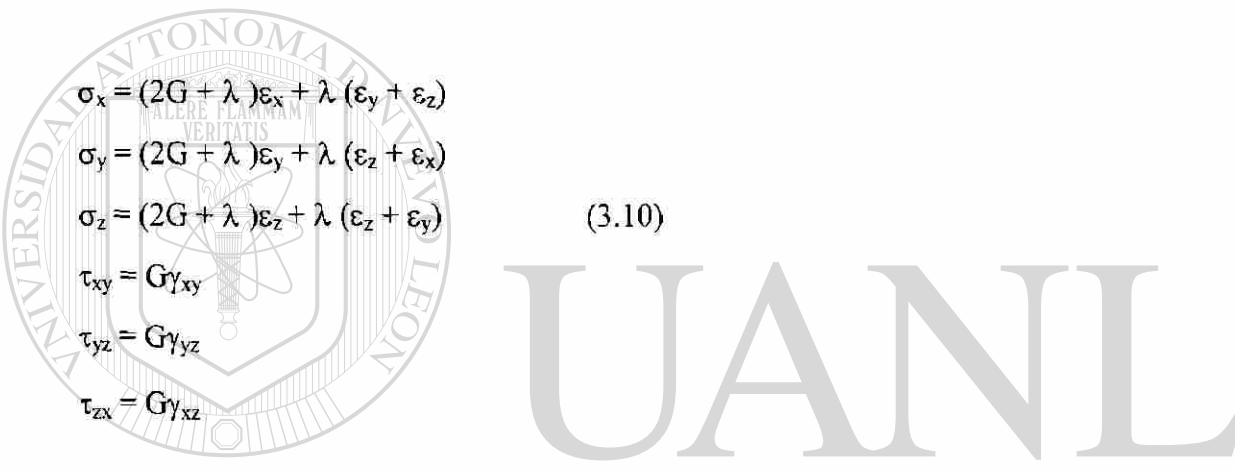
Las expresiones para σ_x y σ_y en las ecuaciones (3.7) son sustituidas en las ecuaciones anteriores para obtener:

$$\tau_{xy} = \frac{1}{2}(C_{11} - C_{12})\gamma_{zy}$$

Comparando lo anterior con la expresión para τ_{xy} en las ecuaciones (3.7) tenemos :

$$C_{44} = \frac{1}{2}(C_{11} - C_{12})$$

Si llamamos $C_{12} = \lambda$ $C_{44} = G$ tenemos la siguiente relación esfuerzo – deformación aplicada a materiales isotrópicos esforzados bajo el límite proporcional.



$$\begin{aligned}\sigma_x &= (2G + \lambda)\epsilon_x + \lambda(\epsilon_y + \epsilon_z) \\ \sigma_y &= (2G + \lambda)\epsilon_y + \lambda(\epsilon_z + \epsilon_x) \\ \sigma_z &= (2G + \lambda)\epsilon_z + \lambda(\epsilon_x + \epsilon_y) \\ \tau_{xy} &= G\gamma_{xy} \\ \tau_{yz} &= G\gamma_{yz} \\ \tau_{zx} &= G\gamma_{zx}\end{aligned}\quad (3.10)$$

Las ecuaciones (3.10) pueden ser resueltas para la deformación como sigue :

$$\epsilon_x = \frac{\lambda + G}{G(3\lambda + G)}\sigma_x - \frac{\lambda}{2G(3\lambda + G)}(\sigma_y + \sigma_z)$$

$$\epsilon_y = \frac{\lambda + G}{G(3\lambda + G)}\sigma_y - \frac{\lambda}{2G(3\lambda + G)}(\sigma_z + \sigma_x)$$

$$\epsilon_z = \frac{\lambda + G}{G(3\lambda + G)}\sigma_z - \frac{\lambda}{2G(3\lambda + G)}(\sigma_x + \sigma_y)$$

$$\gamma_{xy} = \frac{1}{G}\tau_{xy}\quad (3.11)$$

$$\gamma_{yz} = \frac{1}{G}\tau_{yz}$$

$$\gamma_{zx} = \frac{1}{G}\tau_{zx}$$

Suponiendo que es isotrópico se reduce el número de constantes elásticas de 36 a 2. En materiales isotrópicos no homogéneos, las constantes λ y G son funciones de las coordenadas espaciales y no varían de punto a punto, dependen solamente del material en particular.

Si los ejes $O_x, O_y,$ y O_z son cambiados a lo largo de los ejes principales de esfuerzos por lo tanto.

$$\tau_{xy} = \tau_{yz} = \tau_{zx} = 0$$

de las ecuaciones (3.11) se tiene:

$$\gamma_{xy} = \gamma_{yz} = \gamma_{zx} = 0$$

entonces los ejes $O_x, O_y,$ y O_z . Son ejes principales de deformación.

Por lo tanto se deduce el siguiente teorema.

"Para materiales elásticos isotrópicos, los ejes principales de esfuerzo y deformación coinciden." [4]

3.3 Constantes elásticas físicas.

Considerando los siguientes sistemas de esfuerzos especiales.

a) Cortante puro en dos dimensiones

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \tau_{yz} = \tau_{zx} = 0$$

$$\tau_{xy} = \text{Esfuerzo cortante aplicado}$$

Por la ecuación (3.11)

$$\gamma_{xy} = \frac{1}{G} \tau_{xy}$$

La constante **G** es la razón del esfuerzo cortante y la deformación por el corte determinado en un ensayo de torsión llamada **módulo de rigidez o de elasticidad a corte**.

b) Estado de esfuerzos uniaxiales

σ_x = esfuerzo uniaxial aplicado

$$\sigma_y = \sigma_z = \tau_{xy} = \tau_{yz} = \tau_{zx} = 0$$

Por la ecuación (3.11) tenemos

$$\varepsilon_x = \frac{\lambda + G}{G(3\lambda + G)} \sigma_x \quad (3.12)$$

$$\varepsilon_y = \varepsilon_z = \frac{-\lambda}{2G(3\lambda + 2G)} \sigma_x$$

Comparando la expresión anterior con la ecuación (3.1) tenemos

$$\lambda = \frac{G(2G + E)}{E - 3G} \quad (3.13)$$

λ = llamada **constante Lamé**

E = **módulo de elasticidad axial**

También:

$$\varepsilon_y = \varepsilon_z = \frac{-\lambda}{2(\lambda + G)} \varepsilon_x = -\nu \varepsilon_x$$

$$\nu = \frac{\lambda}{2(\lambda + G)} \quad (3.14)$$

La constante ν es la razón negativa de la deformación lateral sobre la deformación longitudinal bajo un esfuerzo longitudinal uniaxial y es llamada **relación de poisson**.

c) compresión Hidrostática.

$$\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = -p \quad p > 0$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yz} = \tau_{zx} = 0$$

Por la ecuación (4.11)

$$\epsilon_x = \epsilon_y = \epsilon_z = \frac{-1}{3\lambda + 2G} p$$

Usando la ecuación anterior llega a ser :

$$p = \frac{-(3\lambda + 2G)}{3} \epsilon = -K \epsilon \quad (3.15)$$

$$K = \frac{3\lambda + 2G}{3}$$

Módulo de elasticidad volumétrico o de Bulk

Esta constante K es la razón de la presión hidrostática al cambio de volumen observado por unidad de volumen la cual es llamada módulo de elasticidad volumétrico.

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E} [\sigma_x - \nu(\sigma_y + \sigma_z)]$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E} [\sigma_y - \nu(\sigma_z + \sigma_x)]$$

Al considerar E y ν como las dos constantes elásticas básicas, las ecuaciones 3.10, 3.11 se pueden representar como sigue:

$$\varepsilon_z = \frac{1}{E} [\sigma_z - \nu(\sigma_x + \sigma_y)]$$

$$\gamma_{xy} = \frac{2(1+\nu)}{E} \tau_{xy}$$

$$\gamma_{yz} = \frac{2(1+\nu)}{E} \tau_{yz}$$

$$\gamma_{zx} = \frac{2(1+\nu)}{E} \tau_{zx}$$

$$\sigma_x = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [(1-\nu)\varepsilon_x + \nu(\varepsilon_y + \varepsilon_z)] \quad (3.17)$$

$$\sigma_y = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [(1-\nu)\varepsilon_y + \nu(\varepsilon_z + \varepsilon_x)]$$

$$\sigma_z = \frac{E}{(1+\nu)(1-2\nu)} [(1-\nu)\varepsilon_z + \nu(\varepsilon_x + \varepsilon_y)]$$

$$\tau_{xy} = \frac{E}{2(1+\nu)} \gamma_{xy}$$

$$\tau_{xz} = \frac{E}{2(1+\nu)} \gamma_{zx} \quad \tau_{yz} = \frac{E}{2(1+\nu)} \gamma_{yz}$$

Las constantes **E**, **G** y **K** deben ser cantidades positivas. La razón de poisson debe ser $-1 < \nu < 1/2$, la Tabla 3.1 presenta los valores promedio de las constantes elásticas **G**, **E**, obtenidas experimentalmente de esfuerzos y deformaciones componentes en X, Y, Z. para algunos materiales.

Tabla 3.1 Valores de Módulo elástico axial (**E**), Módulo elástico (**G**) y Razón de Poisson (**ν**) promedios.

Material	E	G	ν
	GPa	Gpa	
Aluminio	68.9	26.2	0.33
Bakelita 61-893	4.27	---	0.36
Latón 70-30	109.6	41.3	0.33
Acero carbón	203.4	79.3	0.29
Fundición	113.7	46.2	0.25
Columbia resina CR-39	2.41	---	0.42
Concreto	20.6	---	0.36
Carbón	107.5	40	0.36
Vidrio	68.9		
Granito	50.3		
Marblete, recocido	3.44	---	0.40
Sin recocer	1.103	---	0.40
Acero maleable	162.7	64.1	0.27

La relación esfuerzo - deformación puede ser escrita en función de las constantes elásticas como sigue:

$$\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z = \frac{1-2\nu}{E} (\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)$$

y usando las ecuaciones :

$$\sigma_m = \frac{1}{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z) \quad \text{y} \quad \varepsilon_m = 1/3 (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z)$$

se obtiene:

$$\varepsilon_m = \frac{1}{3K} \sigma_m \quad (\text{a})$$

Ahora observemos de la relación esfuerzo - deformación tenemos

$$\sigma_x = 2G\varepsilon_x + \lambda (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z)$$

$$\sigma_y = 2G\varepsilon_y + \lambda (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z)$$

$$\sigma_z = 2G\varepsilon_z + \lambda (\varepsilon_x + \varepsilon_y + \varepsilon_z)$$

$$\tau_{xy} = G\gamma_{xy}$$

$$\tau_{yz} = G\gamma_{yz}$$

$$\tau_{zx} = G\gamma_{zx}$$

Usando la ecuación (a) y la tabla 3.1 podemos convertir a la forma.

$$\sigma_x - \sigma_m = 2G(\varepsilon_x - \varepsilon_m)$$

$$\sigma_y - \sigma_m = 2G(\varepsilon_y - \varepsilon_m)$$

$$\sigma_z - \sigma_m = 2G(\varepsilon_z - \varepsilon_m)$$

$$\tau_{xy} = 2G \frac{\gamma_{xy}}{2} \quad (\text{b})$$

$$\tau_{yz} = 2G \frac{\gamma_{yz}}{2} \quad \tau_{zx} = 2G \frac{\gamma_{zx}}{2}$$

CAPÍTULO 4

ENSAYOS ESTATICOS DE TENSION

4.1- Estandarización del ensayo para la obtención del módulo de elasticidad.

El módulo de Young o elasticidad es la razón del esfuerzo de tensión o compresión a la correspondiente deformación dentro del límite de proporcionalidad lineal del material, tal como se muestra en la figura 4.1.

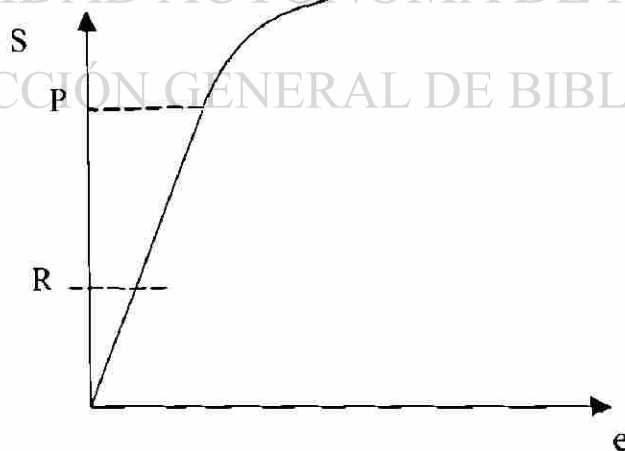


Figura 4.1. Puntos límites para la obtención del Módulo de Elasticidad según estándar ASTM E 111-82

El estándar empleado para la obtención del módulo elástico es el de ASTM E-111-82 [ref.6]. Este estándar recomienda que el módulo de elasticidad sea obtenido entre el punto R después de la precarga en el espécimen y antes del límite proporcional ,punto P. El valor de módulo de Young es una propiedad del material usada en el diseño de elementos de máquinas sometidos a un sistema de cargas, para cálculos de deformación de materiales estructurales que siguen la ley de Hooke cuando está sujeto a una carga axial. Para materiales que permiten valores de esfuerzo-deformación no lineales el valor de tangente y módulo de la secante o cuerda son usados en estimar el cambio en deformación en el intervalo especificado en esfuerzo. Como se muestra en la figura 4.2 (a) y (b).[ref.6].

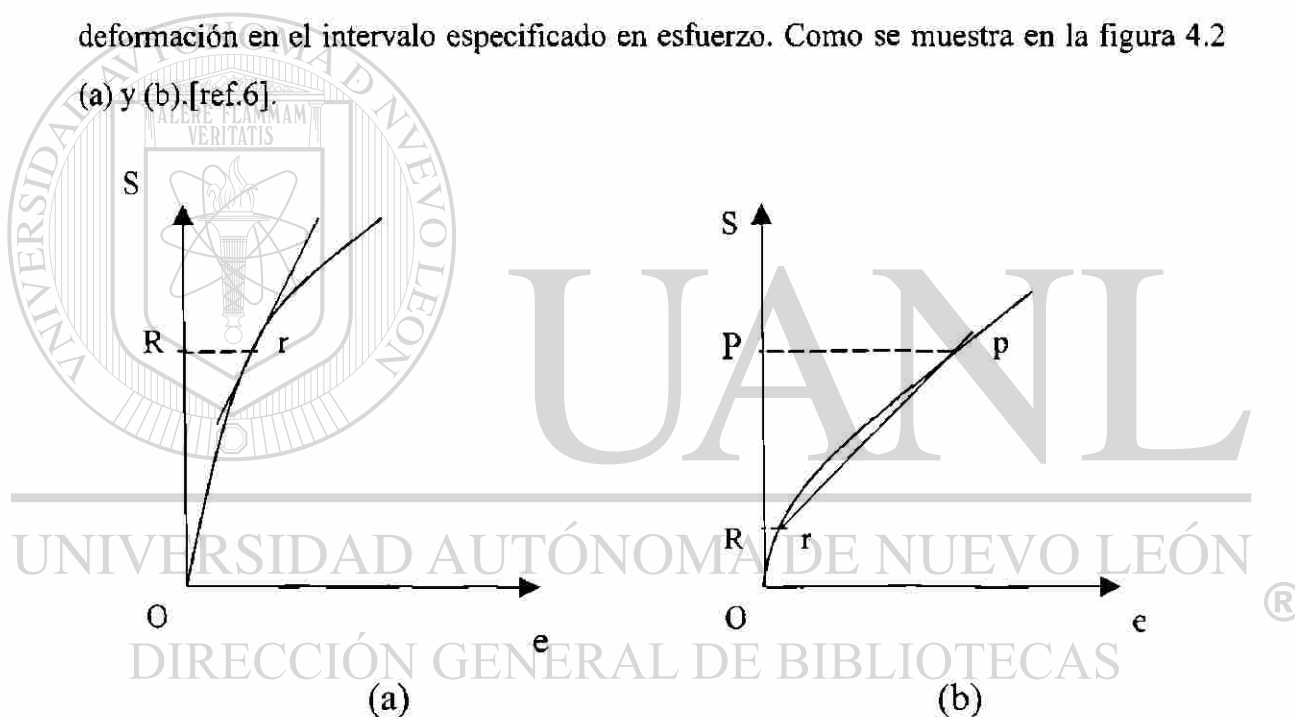


Figura 4.2.- Diagramas esfuerzo- deformación mostrando líneas (a) módulo tangente (b) módulo cuerda.[ref.6].

Las variables que pueda afectar la determinación precisa del módulo de Young o de elasticidad son características como: orientación relativa de los granos, esfuerzos residuales, previa historia de deformación, dimensiones, excentricidad, condición de temperatura, condición del equipo de prueba, razón del error en la carga en valores de carga y deformación, interpretación de los datos.

4.2.- Recomendaciones del estándar ASTM E 111-82

4.2.1 Selección y preparación del espécimen:

Debe considerarse especímenes rectos y de sección uniforme no deberá presentar esfuerzos residuales.

En dimensiones: la longitud del espécimen debe ser mayor que el mismo requerido para propósitos generados, como se recomienda en estándar ASTM E-8.

Recomendaciones para especímenes a tensión. La línea de centros entre el espécimen roscado y las mordazas o aditamento deben ser concéntricos con la línea de centros de la sección de calibración, el efecto de la excentricidad influye en el cargado del espécimen debido a los momentos flectores que generan esfuerzos sobre el mismo los cuales se deben agregar. Por ejemplo: para un estándar de 12.5mm de diámetro del espécimen el esfuerzo se incrementa 1.5% por cada 0.025mm de excentricidad. Se recomienda que la longitud de la sección reducida sea mayor a la longitud de calibración, según estándar ASTM E-8 [ref.6].

Procedimiento según estándar ASTM E8 Y E 111-82:

1. Medición del espécimen: hacer mediciones de la sección transversal en tres puntos al centro y extremos de la longitud de calibración.
2. Considérese una precarga para eliminar los posibles errores de alineación de aditamentos.
3. Alineación: asegurar un cargado axial al tener alineados el espécimen y aditamientos.
4. Velocidad de prueba: será lo suficientemente baja tal que puede leerse los valores de deformación con el medidor de deformaciones.
5. NOTA: se recomienda que mínimo se hagan tres corridas o pruebas para cada espécimen y tomar la precaución de no exceder el límite proporcional.

4.3.- Cálculo del módulo de elasticidad.

Si se obtiene la gráfica carga contra deformación el valor del módulo de Elasticidad puede ser obtenido a través de la pendiente obtenida en la gráfica, siendo calculado como el incremento de carga entre el incremento de deformación correspondiente entre dos puntos sobre la línea o pendiente de la gráfica y emplear la siguiente ecuación:

$$E = \left(\frac{\Delta p}{A_o} \right) \left(\frac{\Delta L}{\Delta L_o} \right) \quad (4.1)$$

Donde:

Δp = incremento de carga

A_o = área de sección transversal

ΔL = deformación

L_o = longitud inicial

La precisión del valor obtenido para el módulo de Young o elasticidad dependerá sobre la misma en cada uno de los valores usados en el cálculo. Se sugiere que el reporte incluya un estimado de la precisión de los valores reportados del módulo de Young basados sobre la suma de las precisiones de los valores respectivos.

Si los datos de carga contra deformación son obtenidos en forma numérica, los errores que pueden ser introducidos al graficar los datos y ajustar una línea recta a los puntos experimentales pueden ser reducidos al determinar el módulo de Young, como la pendiente de la línea recta ajustada a los datos apropiados por el método de **los mínimos cuadrados**. Este método permite también el estudio estadístico de los datos y por lo tanto una evaluación de la variabilidad del módulo dentro del valor del esfuerzo

empleado. La ecuación para el módulo de Young ajustado por el método de los mínimos cuadrados es:

Módulo de Elasticidad :

$$E = \left(\sum (XY) - K\bar{X}\bar{Y} \right) X \div \left(\sum X^2 - K\bar{X}^2 \right) \quad (4.2)$$

Donde:

Y= Esfuerzo axial aplicado

X= Deformación correspondiente

En término de la carga medida P_i , y el área de la sección transversal original medida A_0 , y de la longitud de calibración L_0 .

$$X = \frac{\Delta c}{L_0}$$

$$X = \frac{\Delta p}{\Delta_0}$$

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

(4.3)

®

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y}{K} = \text{Promedio de valores Y}$$

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{K} = \text{Promedio de valores X}$$

K= Número de datos pares X,Y, y sumatoria igual (Σ) desde 1 a k.

4.4.- Características mecánicas obtenidas

En los ensayos estáticos de tensión realizados se obtuvo las lecturas de deformación unitarias longitudinal y transversal a la longitud de calibración, a través de las mediciones realizadas para cada incremento de carga.

Las características mecánicas obtenidas fueron las constantes de elasticidad

- Módulo de elasticidad para carga axial
- Módulo de elasticidad a corte
- Razón de Poisson
- Constante Volumétrica o de Bulk
- Constante de Lamé

Los resultados obtenidos de ellas se presentan en el capítulo seis.

CAPITULO 5

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

5.1.- Obtención del material y maquinado

El material se obtuvo de muestras experimentales para investigación de los aceros duales: ferrita – martensita, a los cuales se les obtuvo las características de resistencia mecánica, ductilidad. Siendo tres piezas por grupo básico, por tratamiento térmico y para acero 1045.

Son seis grupos básicos y seis tratados térmicamente con variaciones en composición química considerando como base de variación al silicio y temperaturas de tratamiento térmico intercrítico.

El maquinado se efectuó bajo recomendaciones de la ASTM E-8 en cuanto al dimensionado de especímenes el diámetro y longitud de calibración son: 0.5 y 2.000 pulgadas respectivamente, longitud recta de 2.5 pulgadas. Los extremos se roscaron en rosca estándar de 3/4 de diámetro y 10 hilos por pulgada, con radio de 3/8 mínimo.

5.2.- Tratamiento térmico intercrítico.

El tratamiento térmico intercrítico se realizó en un horno mufla bajo el siguiente procedimiento:

- Se limpian con alcohol cada pieza
- Se colocan los termopares en la parrilla distribuidos de tal forma que se logre captar la temperatura promedio del medio.
- Se programa la computadora para registrar la temperatura – tiempo, la cual debe mantenerse constante durante el tiempo requerido para cada grupo de piezas.
- Una vez que se encuentra la temperatura del horno controlada para el tratamiento, se coloca la lanza que inyecta el argón para tener un medio protector de las piezas.
- Se coloca la parrilla con las piezas registrándose el tiempo de inicio y manteniendo por un tiempo de 45 a 50 minutos.
- Las temperaturas deberán estar en el intervalo establecidos por las líneas Ac_1 y Ac_3 , en la zona bifásica ferrita – austenita en el diagrama de fase.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



Para el tratamiento térmico intercrítico se seleccionaron las siguientes temperaturas:

Tabla 5.1 Temperaturas para el tratamiento térmico intercrítico

Grado de Acero	Color Identificación	Porcentaje de Manganeso	Nivel de Temperatura °C
1	Rojo	0.0075	751.3
2	Amarillo	0.387	875.2
3	Verde	1.23	905.2
4	Azul	2.02	937.2
5	Blanco	0.656	890.4
6	Gris	0.383	872.7

Una vez que se termina el tiempo del tratamiento térmico se sacan las piezas del horno para su enfriamiento rápido en agua a temperatura ambiente.

5.3.- Instrumentación de los medidores eléctricos en las probetas.

Una vez que las probetas han sido tratadas térmicamente se procede al pegado del medidor eléctrico de deformación en cada una de ellas.

5.3.1 Selección del medidor eléctrico

El medidor se seleccionó para acero al manganeso del catálogo de la empresa Micro-Measurements inc. con las siguientes características:

Serie : EA-06-060LZ-120

Resistencia eléctrica :120 2.065 +/- 0.5%

Sensibilidad transversal : 1.2 +/- 0.2

Sensibilidad transversal : 1.2 +/- 0.2

Rango de temperatura en operación ; -75 a 175 °C

Limite de deformación : 3% de la longitud de calibración que es de 0.120 pulgadas.

5.3.2 .- Técnica de pegado del medidor eléctrico

Esta técnica nos permite conocer el valor real del esfuerzo en un elemento sometido a carga. Además, con los aparatos adecuados, podemos conocer otros parámetros como carga, presión, temperatura, deformación, etc.

A continuación se describe el procedimiento para el pegado del medidor eléctrico en cada probeta.

- a) Se limpia la superficie con una lija suave.
- b) Se trazan los ejes longitudinal y transversal de referencia.
- c) Se limpia la superficie con acetona utilizando gasa o algodón.
- d) Se limpia la superficie con amoníaco diluido al 40%.
- e) Se limpia la superficie con ácido fosfórico diluido al 15%.
- f) Se pega el medidor eléctrico utilizando el cemento epóxico.

En el proceso de pegado lo que se hace es sacar el medidor eléctrico de su envoltura, después es colocado sobre la probeta para ubicarlo en su posición correcta, dejándolo bien centrado sobre los ejes.

Luego, teniendo cuidado de no moverlo, es adherido al elemento con una cinta adhesiva para evitar que se mueva de su lugar, posteriormente ya teniendo bien ubicado el medidor eléctrico se desprende una de las orillas de la cinta (pero antes se marcan los

bordes sobre el elemento para que al volver a pegar quede en su misma posición) y sin desprender la otra orilla para evitar que se desfase o que se mueva de su lugar.

Luego es levantado para colocar un poco de pegamento epóxico en la zona donde irá pegado y este se vuelve a adherir sobre el elemento en su posición original, después con el dedo índice vamos oprimiendo de un lado a otro del medidor hasta lograr que este haya sido puesto en contacto en la superficie impregnada de pegamento. Se espera de 10 a 15 minutos y se retira con mucho cuidado el pedazo de cinta.

g) Se procede a pegar a una distancia adecuada unas bases de cobre.

h) Se procede a soldar sobre las bases las terminales del medidor

Estas bases son para proteger los extremos del medidor, después sobre las mismas bases se procede a soldar con mucho cuidado dos alambres de calibre 26 ó 28.

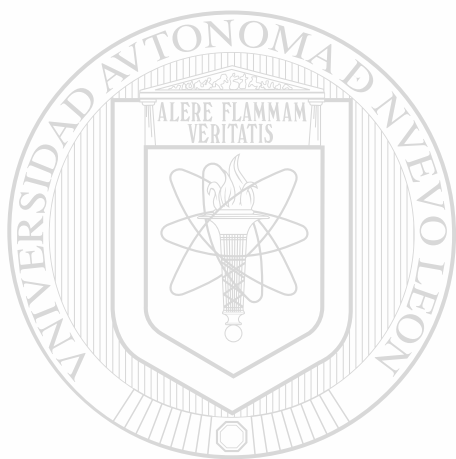
i) Se recubre la zona donde se pegó el medidor con algún recubrimiento adecuado, en este caso fue cera microcristalina.

j) Por último se enrolla una o dos vueltas el cable en la probeta para evitar que al estirarlo por accidente se desprenda de su base y también con cinta adhesiva se cubre toda la zona y por seguridad es adherido con la misma cinta el cable enrollado al elemento para que quede bien reforzado.

5.4 .- Desarrollo de los ensayos de tensión.

Para la realización de los ensayos estáticos de tensión se empleó una máquina universal Tinius Olsen M290 SL, un indicador de deformación Measurements Group Inc. MP5000, y un calibrador lineal digital.

El ensayo consistió en colocar la probeta en los aditamentos de tensión, conectar las terminales de alambre del medidor eléctrico de deformación longitudinal formando un circuito medio puente. Se ajusta el indicador de deformación a un valor de cero, luego se aplican una carga de ajuste o precarga de 250 kg., y se inicia el ensayo con la aplicación de carga en incrementos de 100kg, registrándose el valor correspondiente de deformación unitaria, hasta una carga máxima de trabajo de 2000 kg. lo mismo se hace para el otro medidor eléctrico transversal, pegado en la misma probeta, el ensayo se repite otra vez para tener dos registros de lecturas por probeta. Este procedimiento de prueba se efectuó para cada una de tres probetas por grupo de acero.



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



CAPITULO 6

RESULTADOS



6.1.- Introducción

En los ensayos de tensión y de dureza Rockwell realizados en las probetas básicas, tratadas térmicamente y las de acero 1045 se obtuvieron los siguientes resultados.

6.2.- Composición química de los aceros en estudio

Para determinar el porcentaje de composición química de cada elemento se aplicó el método de vía Leco. En la tabla 6.1 se muestran los valores obtenidos.

6.3.- Bitácoras y gráficos de los ensayos estáticos de tensión.

Las gráficas que se obtuvieron fueron la real y la ajustada estadísticamente de acuerdo a las recomendaciones del estándar de la ASTM E111-82, siendo tres gráficos para las lecturas de deformación longitudinal (vertical) y tres gráficos para la lectura de deformación transversal (horizontal). Estas gráficas representan el comportamiento elástico hasta un valor de carga de trabajo menor al de cedencia por lo que resultaron gráficos lineales.

El ajuste estadístico se realizó debido a que los puntos de esfuerzo-deformación calculados y graficados no definieron una trayectoria lineal exacta.

Las gráficas y bitácoras se muestra en el punto 6.8 Apéndice A para cada grado de acero experimentado.

En las bitácoras obtenidas para cada ensayo se tiene calculado el módulo de elasticidad a través del método estadístico recomendado por la ASTM E111-82. Todas las lecturas de deformación longitudinal (vertical) contra esfuerzo quedaron registradas en las bitácoras de los ensayos.

6.4.- Resultados de las constantes de elasticidad

En las siguientes tablas 6.2a y 6.2b se dan los resultados de las constantes de elasticidad calculados por medio de sus ecuaciones:

- Módulo de Elasticidad a carga axial
- Módulo de Elasticidad a corte o de Rigidez
- Razón de Poisson
- Constante Volumétrica o Bulk
- Constante de Lamé'

En los valores de módulo de elasticidad de cada grupo de acero se promedió seis valores de módulo elástico obtenidos por los métodos estadísticos de regresión lineal y de los cuadrados mínimos, presentando en la tabla sólo el valor promediado, según recomendaciones de la ASTM E111-82.

La constante de razón de poisson se obtuvo aplicando la ecuación del cálculo de la misma, para las veinte lecturas de deformación transversal y longitudinal obteniendo el valor promedio de ellas, para cada una de las piezas de cada grado de acero; tratadas térmicamente, básicas y para el acero 1045. Con estas constantes se calcularon las restantes a través de sus ecuaciones las cuales se indican en las mismas tablas 6.2a y 6.2b de resultados obtenidos de estas constantes.

6.5.- Diseño experimental.

Se consideraron seis grupos básicos y seis grupos con tratamientos térmicamente, de aceros con variación en composición química tomando como base al manganeso, además de considerar el grupo de aceros 1045 que representa al acero comercial.

Se decidió ensayar tres probetas para cada grupo, con repetición, teniendo así 36 corridas para el grupo básico y 36 para el grupo tratado térmicamente.

Tanto la secuencia de las pruebas como el material experimental se tomaron en forma aleatoria, para evitar que los resultados sean contaminados por los efectos de factores desconocidos, que pueden salir de control durante el experimento.

6.6.- Análisis estadístico de los datos

Se analizaron estadísticamente los datos haciendo uso de pruebas como el análisis de Varianza y la prueba “t” student para la comparación de los valores de las medias obtenidos de las constantes de elasticidad en los diferentes grupos de acero que se utilizaron en el experimento. De la tabla 6.3, a la 6.10 se muestran los resultados obtenidos para cada prueba estadística y grupo de acero.

En las gráficas de barras 6.1 a la 6.6 muestran las constantes ; módulo elástico y razón de poisson para los grupos de aceros analizados en función del porcentaje de manganeso y temperatura del tratamiento térmico.

Las pruebas que se realizaron bajo el procedimiento analítico y cumpliendo todos los requisitos que exigen dichas pruebas.

6.7.- Resultados de los ensayos de dureza Rockwell

En los ensayos de dureza se obtuvieron los resultados efectuando primero una prueba de sondeo a través de la escala Rockwell **A**, que indica un indentador de punta de diamante con carga de 60 kilogramos. Posteriormente se consultó el resultado en la tabla de equivalencias de dureza y se estableció la escala Rockwell **B** como la correspondiente a la confirmación del grado de dureza obtenido en la prueba de sondeo rockwell A procediendo a realizarla, los resultados se muestran en la tabla 6.11.

Los resultados para el **acero 1045** sin tratamiento térmico fueron:

Prueba de sondeo : 40 HRA

Duerza por tablas: 61 HRB (ASTM E18)

Dureza en la maquina: 75 HRB

**TABLA 6.1 DIFERENCIAS ENTRE COMPOSICION QUIMICA DE LAS BARRAS
Y DEL BAÑO DE ACEROS AL SILICIO.**

	BLANCO*	VERDE*	ROJO*	AMARILLO*	AZUL*	GRIS*
C	0.095	0.11	0.133	0.102	0.121	0.111
S	0.01	0.009	0.0092	0.0119	0.012	0.02
P	0.008	0.006	0.0071	0.0039	0.0046	0.0063
Si	0.656	1.23	0.0075	0.387	2.02	0.383
Al	0.272	0.264	0.141	0.223	0.219	0.315
Mo	0.0019	0.0015	0.003	0.0008	0.001	0.002
Mn	0.439	0.751	0.618	0.483	0.731	0.637
Ni	0.041	0.037	0.056	0.049	0.047	0.046
Cr	0.0079	0.018	0.018	0.02	0.021	0.018
Ti	0	0	0	0	0	0
Cu	0.115	0.104	0.167	0.135	0.129	0.124
* ANALISIS DEL BAÑO						
CARBONO Y AZUFRE SE DETERMINARON VIA LECO						

TABLA 6.2 a Constantes de Elasticidad obtenidas para Aceros al Silicio Básicos

CONSTANTE	V	E	G	K	λ	%
GRADO		GPa	GPa			SILICIO
G1 Rojo	0.2815	207.7	81	158	104	0.007
G2 Amarillo	0.2802	203.4	79	154	101	0.387
G3 Verde	0.2939	201.6	78	163	111	1.23
G4 Azul	0.2757	206.6	81	154	100	2.02
G5 Blanco	0.3109	204.3	78	180	128	0.656
G6 Gris	0.2904	211	82	168	113	0.383

V

Razón de Poisson

E

Módulo elástico axial

G

Módulo elástico a corte

K

Módulo de Bulk

λ

Constante de Lamé'

TABLA 6.2 b Constantes de Elasticidad obtenidas para Aceros al Silicio Tratados Termicamente

CONSTANTE	V	E	G	K	λ	TEMPERATURA	%
GRADO		GPa	GPa			°C	SILICIO
G1 Rojo	0.2823	208.7	81	160	106	751.3°	0.007
G2 Amarillo	0.2737	192	75	141	91	875.2°	0.387
G3 Verde	0.2723	203.7	80	149	96	905.2°	1.23
G4 Azul	0.2801	218	85	165	108	937.2°	2.02
G5 Blanco	0.2776	213	83	160	104	890.4°	0.656
G6 Gris	0.2665	194.16	77	139	87	872.7°	0.383

V Razón de Poisson
E Módulo elástico axial
G Módulo elástico a corte
K Módulo de Bulk
 λ Constante de Lamé

TABLA 6.3 Comparativa final. Valores de F estadística de Módulo Elástico para aceros al silicio básicos

de datos = 3

$F_{crítica} = 7.7$

Acero	G1	G2	G3	G4	G5	G6	1045
G1	0.0	Igual	Igual	Igual	Igual	Igual	Diferente
G2	Igual	0.0	Igual	Igual	Igual	Igual	Igual
G3	Igual	Igual	0.0	Igual	Igual	Diferente	Igual
G4	Igual	Igual	Igual	0.0	Igual	Igual	Igual
G5	Igual	Igual	Igual	Igual	0.0	Igual	Igual
G6	Igual	Igual	Diferente	Igual	Igual	0.0	Diferente
1045	Diferente	Igual	Igual	Igual	Igual	Diferente	0.0

Rojo significa los universos son distintos.

Acero	G1	G2	G3	G4	G5	G6	1045
G1	0.0	0.324	2.836	0.080	0.094	0.937	9.817
G2	0.324	0.0	0.056	0.174	0.005	1.050	0.686
G3	2.836	0.056	0.0	1.732	0.060	8.865	1.916
G4	0.080	0.174	1.732	0.0	0.042	1.535	7.056
G5	0.094	0.005	0.060	0.042	0.0	0.366	0.411
G6	0.937	1.050	8.865	1.535	0.366	0.0	24.018
1045	9.817	0.686	1.916	7.056	0.411	24.018	0.0

**TABLA 6.3.1 Módulo Elástico
Aceros al Silicio sin Tratamiento Térmico**

Muestra	Básico				
	G1	G2	G3	G4	G5
1	204.200	194.500	204.900	206.000	190.900
2	206.000	198.100	196.800	201.900	225.900
3	213.100	217.600	203.100	212.000	196.200
Total	623.300	610.200	604.800	619.900	613.000
Media	207.767	203.400	201.600	206.633	204.333
Desviación Std	4.706	12.429	4.253	5.080	18.864

TABLA 6.3.2 Módulo Elástico
Aceros al silicio sin Tratamiento Térmico

Muestra	Básico				
	G1	G6	1045	0	0
1	204.200	208.200	193.300	0.000	0.000
2	206.000	210.000	199.600	0.000	0.000
3	213.000	214.900	198.800	0.000	0.000
Total	623.200	633.100	591.700	0.000	0.000
Media	207.733	211.033	197.233	0.000	0.000
Desviación Std	4.649	3.467	3.430	0.000	0.000

TABLA 6.4 Comparativa final. Valores de F estadística de Módulo Elástico
Para aceros al silicio Tratados Térmicamente.

de datos = 3

F crítica = 7.7

Acero	G1	G2	G3	G4	G5	G6	1045
G1	0.0	Igual	Igual	Igual	Igual	Igual	Igual
G2	Igual	0.0	Igual	Diferente	Igual	Igual	Igual
G3	Igual	Igual	0.0	Igual	Igual	Igual	Igual
G4	Igual	Diferente	Igual	0.0	Igual	Igual	Diferente
G5	Igual	Igual	Igual	Igual	0.0	Igual	Igual
G6	Igual	Igual	Igual	Igual	Igual	0.0	Igual
1045	Igual	Igual	Igual	Diferente	Igual	Igual	0.0

Rojo significa los universos son distintos.

Acero	G1	G2	G3	G4	G5	G6	1045
G1	0.0	3.265	0.113	2.773	0.085	0.566	3.710
G2	3.265	0.0	0.570	12.627	1.535	0.012	0.470
G3	0.113	0.570	0.0	1.099	0.222	0.173	0.222
G4	2.773	12.627	1.099	0.0	0.081	1.671	107.374
G5	0.085	1.535	0.222	0.081	0.0	0.638	1.057
G6	0.566	0.012	0.173	1.671	0.638	0.0	0.027
1045	3.710	0.470	0.222	107.374	1.057	0.027	0.0

TABLA 6.4.1 Módulo Elástico
Aceros al Silicio con Tratamiento Térmico

Muestra	Tratamiento Térmico				
	G1	G2	G3	G4	G5
1	203.800	200.800	185.200	218.000	186.300
2	202.400	177.500	195.600	217.500	240.900
3	219.900	197.800	230.400	218.700	213.500
Total	626.100	576.100	611.200	654.200	640.700
Media	208.700	192.033	203.733	218.067	213.567
Desviación Std	9.725	12.675	23.672	0.603	27.300

**TABLA 6.4.2 Módulo Elástico
Aceros al silicio con tratamiento térmico**

Muestra	Con Tratamiento Térmico				
	G1	G6	1045	0	0
1	203.800	225.600	193.300	0.000	0.000
2	202.400	161.600	199.600	0.000	0.000
3	219.900	195.300	198.800	0.000	0.000
Total	626.100	582.500	591.700	0.000	0.000
Media	208.700	194.167	197.233	0.000	0.000
Desviación Std	9.725	32.015	3.430	0.000	0.000

TABLA 6.5 Comparativa final. Valores de F estadística de Razón de Poisson para aceros al silicio básicos

de datos = 3

$F_{critica} = 7.7$

Acero	G1	G2	G3	G4	G5	G6	1045
G1	0.0	Igual	Igual	Igual	Igual	Igual	Igual
G2	Igual	0.0	Igual	Igual	Diferente	Igual	Igual
G3	Igual	Igual	0.0	Igual	Igual	Igual	Diferente
G4	Igual	Igual	Igual	0.0	Igual	Igual	Igual
G5	Igual	Diferente	Igual	Igual	0.0	Igual	Diferente
G6	Igual	Igual	Igual	Igual	Igual	0.0	Igual
1045	Igual	Igual	Diferente	Igual	Diferente	Igual	0.0

Rojo significa los universos son distintos.

Acero	G1	G2	G3	G4	G5	G6	1045
G1	0.0	0.010	0.688	0.091	4.077	0.073	0.638
G2	0.010	0.0	3.800	0.097	24.051	0.117	2.854
G3	0.688	3.800	0.0	1.455	4.887	0.013	10.218
G4	0.091	0.097	1.455	0.0	5.693	0.202	0.147
G5	4.077	24.051	4.887	5.693	0.0	0.464	36.851
G6	0.073	0.117	0.013	0.202	0.464	0.0	0.459
1045	0.638	2.854	10.218	0.147	36.851	0.459	0.0

TABLA 6.5.1 Razón de Poisson
Aceros al silicio básico

Muestra	Sin Tratamiento Térmico				
	G1	G2	G3	G4	G5
1	0.267	0.281	0.283	0.252	0.310
2	0.269	0.286	0.303	0.300	0.303
3	0.309	0.273	0.295	0.275	0.320
Total	0.845	0.840	0.882	0.827	0.933
Media	0.282	0.280	0.294	0.276	0.311
Desviación Std	0.024	0.007	0.010	0.024	0.009

TABLA 6.5.2 Razón de Poisson
Aceros al silicio básicos

Muestra	Sin Tratamiento Térmico				
	G2	G3	G4	G5	1045
1	0.281	0.283	0.252	0.310	0.264
2	0.286	0.303	0.300	0.303	0.267
3	0.273	0.295	0.275	0.320	0.279
Total	0.840	0.882	0.827	0.933	0.810
Media	0.280	0.294	0.276	0.311	0.270
Desviación Std	0.007	0.010	0.024	0.009	0.008

**TABLA 6.5.3 Razón de Poisson
Aceros al silicio**

Muestra	Sin Tratamiento Térmico					
	G2	G3	G4	G5	G6	
1	0.281	0.283	0.252	0.310	0.258	
2	0.286	0.303	0.300	0.303	0.264	
3	0.273	0.295	0.275	0.320	0.350	
Total	0.840	0.882	0.827	0.933	0.871	
Media	0.280	0.294	0.276	0.311	0.290	
Desviación Std	0.007	0.010	0.024	0.009	0.052	

TABLA 6.6 Comparativa final. Valores de F estadística de Razón de Poisson para aceros al silicio tratados térmicamente

de datos = 3

$F_{critica} = 7.7$

Acero	G1	G2	G3	G4	G5	G6	1045
G1	0.0	Igual	Igual	Igual	Igual	Igual	Igual
G2	Igual	0.0	Igual	Igual	Igual	Igual	Igual
G3	Igual	Igual	0.0	Igual	Igual	Igual	Igual
G4	Igual	Igual	Igual	0.0	Igual	Igual	Igual
G5	Igual	Igual	Igual	Igual	0.0	Igual	Igual
G6	Igual	Igual	Igual	Igual	Igual	0.0	Igual
1045	Igual	Igual	Igual	Igual	Igual	Igual	0.0

Rojo significa los universos son distintos.

Acero	G1	G2	G3	G4	G5	G6	1045
G1	0.0	0.159	0.065	0.007	0.041	0.528	0.316
G2	0.159	0.0	0.002	0.142	0.109	1.348	0.308
G3	0.065	0.002	0.0	0.044	0.023	0.029	0.004
G4	0.007	0.142	0.044	0.0	0.017	0.664	0.359
G5	0.041	0.109	0.023	0.017	0.0	0.964	0.431
G6	0.528	1.348	0.029	0.664	0.964	0.0	0.344
1045	0.316	0.308	0.004	0.359	0.431	0.344	0.0

**TABLA 6.6.1 Razón de Poisson
Aceros al Silicio**

Muestra	Tratamiento Térmico				
	G1	G2	G3	G4	G5
1	0.244	0.281	0.245	0.264	0.299
2	0.318	0.264	0.340	0.313	0.269
3	0.286	0.276	0.232	0.264	0.265
Total	0.847	0.821	0.817	0.840	0.833
Media	0.282	0.274	0.272	0.280	0.278
Desviación Std	0.037	0.009	0.059	0.028	0.018

**TABLA 6.6.2 Razón de Poisson
Aceros al silicio con tratamiento térmico**

Muestra	Tratamiento Térmico					
	G1	G6	1045	0	0	0
1	0.244	0.273	0.264	0.000	0.000	0.000
2	0.318	0.260	0.267	0.000	0.000	0.000
3	0.286	0.267	0.279	0.000	0.000	0.000
Total	0.847	0.800	0.810	0.000	0.000	0.000
Media	0.282	0.267	0.270	0.000	0.000	0.000
Desviación Std	0.037	0.007	0.008	0.000	0.000	0.000

**TABLA 6.7A PRUEBA ESTADÍSTICA t PARA MODULO DE ELASTICIDAD
EN ACEROS AL SILICIO BASICOS**

$$t_{\text{critica}} = 2.776$$

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	1045
G1	0	0.5691	1.684	0.2837	0.3059	0.9678	3.1314
G2	0.5691	0	0.2373	0.4168	0.0762	1.0246	0.8281
G3	1.684	0.2373	0	1.3141	0.2448	2.9776	1.3841
G4	0.2837	0.4168	1.3141	0	0.2039	1.2395	2.7218
G5	0.3059	0.0762	0.2448	0.2039	0	0.6049	0.6413
G6	0.9678	1.0246	2.9776	1.2395	0.6049	0	4.8936
1045	3.1314	0.8281	1.3841	2.7218	0.6413	4.8936	0

**TABLA 6.7.B PRUEBA ESTADÍSTICA t PARA MODULO DE ELASTICIDAD
EN ACEROS BASICOS**

$$t_{\text{critica}} = 2.776$$

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	1045
G1	0	IGUAL	IGUAL	IGUAL	IGUAL	IGUAL	DIFERENTE
G2	IGUAL	0	IGUAL	IGUAL	IGUAL	IGUAL	IGUAL
G3	IGUAL	IGUAL	0	IGUAL	IGUAL	DIFERENTE	IGUAL
G4	IGUAL	IGUAL	IGUAL	0	IGUAL	IGUAL	IGUAL
G5	IGUAL	IGUAL	IGUAL	IGUAL	0	IGUAL	IGUAL
G6	IGUAL	IGUAL	DIFERENTE	IGUAL	IGUAL	0	DIFERENTE
1045	DIFERENTE	IGUAL	IGUAL	IGUAL	IGUAL	DIFERENTE	0

**TABLA 6.8.A PRUEBA ESTADÍSTICA t PARA MÓDULO DE ELASTICIDAD
EN ACEROS AL SILICIO TRATADOS TÉRMICAMENTE**

$$t_{\text{crítica}} = 2.776$$

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	1045
G1	0	1.807	0.3362	1.6651	0.2909	0.7523	1.926
G2	1.807	0	0.7546	3.5536	1.2392	0.1073	0.6859
G3	0.3365	1.7546	0	1.0485	0.4714	0.4161	0.4707
G4	1.665	3.5536	1.0485	0	0.2854	1.2928	10.36
G5	0.2909	1.2392	0.4714	0.2854	0	0.7986	1.0282
G6	0.7523	0.1073	0.4161	1.2928	0.7986	0	0.1649
1045	1.926	0.6859	0.4707	10.36	1.0282	0.1649	0

**TABLA 6.8.B PRUEBA ESTADÍSTICA Y PARA MODULO DE ELASTICIDAD
EN ACEROS TRATADOS TERMICAMENTE**

$$t_{\text{critica}} = 2.776$$

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	1045
G1	0	IGUAL	IGUAL	IGUAL	IGUAL	IGUAL	IGUAL
G2	IGUAL	0	IGUAL	DIFERENTE	IGUAL	IGUAL	IGUAL
G3	IGUAL	IGUAL	0	IGUAL	IGUAL	IGUAL	IGUAL
G4	IGUAL	DIFERENTE	IGUAL	0	IGUAL	IGUAL	DIFERENTE
G5	IGUAL	IGUAL	IGUAL	IGUAL	0	IGUAL	IGUAL
G6	IGUAL	IGUAL	IGUAL	IGUAL	IGUAL	0	IGUAL
1045	IGUAL	IGUAL	IGUAL	DIFERENTE	IGUAL	IGUAL	0

**TABLA 6.9.A PRUEBA ESTADISTICA t PARA RAZON DE POISSON
EN ACEROS AL SILICIO BASICOS**

$$t_{\text{critica}} = 2.776$$

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	1045
G1	0	0.1386	0.7994	0.3062	1.9596	0.2419	0.8216
G2	0.1386	0	1.9865	0.2771	4.7092	0.3301	1.6293
G3	0.7994	1.9865	0	1.1991	2.1886	0.1308	3.246
G4	0.3062	0.2771	1.1991	0	2.365	0.4234	0.4108
G5	1.9596	4.7092	2.1886	2.365	0	0.6892	5.8973
G6	0.2419	0.3301	0.1308	0.4234	0.6892	0	0.6584
1045	0.8216	1.6293	3.246	0.4108	5.8973	0.6584	0

**TABLA 6.9.B PRUEBA ESTADISTICA T PARA RAZON DE POISSON
EN ACEROS AL SILICIO BASICOS**

$$t_{\text{critica}} = 2.776$$

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	1045
G1	0	IGUAL	IGUAL	IGUAL	IGUAL	IGUAL	IGUAL
G2	IGUAL	0	IGUAL	IGUAL	DIFERENTE	IGUAL	IGUAL
G3	IGUAL	IGUAL	0	IGUAL	IGUAL	IGUAL	DIFERENTE
G4	IGUAL	IGUAL	IGUAL	0	IGUAL	IGUAL	IGUAL
G5	IGUAL	DIFERENTE	IGUAL	IGUAL	0	IGUAL	DIFERENTE
G6	IGUAL	IGUAL	IGUAL	IGUAL	IGUAL	0	IGUAL
1045	IGUAL	IGUAL	DIFERENTE	IGUAL	DIFERENTE	IGUAL	0

**TABLA 6.10.A PRUEBA ESTADISTICA t PARA RAZON DE POISSON
EN ACEROS AL SILICIO TRATADOS TERMICAMENTE**

$t_{critica} = 2.776$

	G1	G2	G3	G4	G5	G6	1045
G1	0	0.4093	0.2735	0.1119	0.2104	0.7359	0.5948
G2	0.4093	0	0.058	0.3533	0.3442	1.0633	0.5753
G3	0.2735	0.58	0	0.2121	0.1684	0.1457	0.0582
G4	0.1119	0.3533	0.2121	0	0.1041	0.7804	0.5948
G5	0.2104	0.3442	0.1684	0.1041	0	0.9865	0.7033
G6	0.7359	1.0633	0.1457	0.7804	0.9865	0	0.4898
1045	0.5948	0.5753	0.582	0.5948	0.7033	0.4898	0

TABLA 6.11 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE DUREZA ROCKWELL

MATERIAL : ACEROS AL SILICIO
 MAQUINA DE DUREZA : WILSON MODELO
 CONDICION: TRATAMIENTO INTERCRITICO

GRADO DEL ACERO	DUREZA RHN / B
G1	83.8
G2	89.3
G3	96
G4	97.6
G5	82.8
G6	92.8
MEDIANA	91.05
PROMEDIO	90.4
DESVIACION ESTANDAR	6.2

DUREZA MINIMA SEGÚN TABLA A.S.T.M. E-18

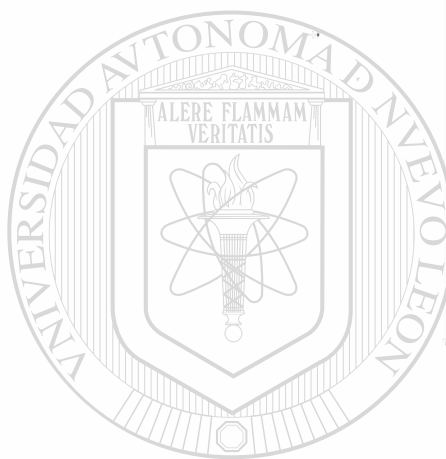
CONDICION: TRATAMIENTO INTERCRITICO

GRADO DEL ACERO	DUREZA RHN / B
G1	81
G2	96
G3	95
G4	91
G5	79
G6	86
MEDIANA	88.5
PROMEDIO	89.3
DESVIACION ESTANDAR	5.7

**TABLA 6.11 RESULTADOS DE LOS ENSAYOS DE DUREZA ROCKWELL
(CONTINUACION)**

MATERIAL : ACEROS AL SILICIO
MAQUINA DE DUREZA : WILSON MODELO

CONDICION: BASICO



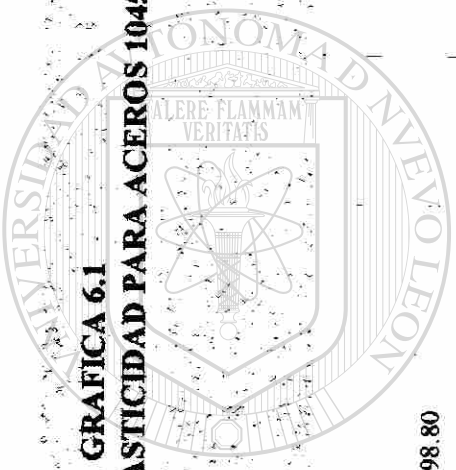
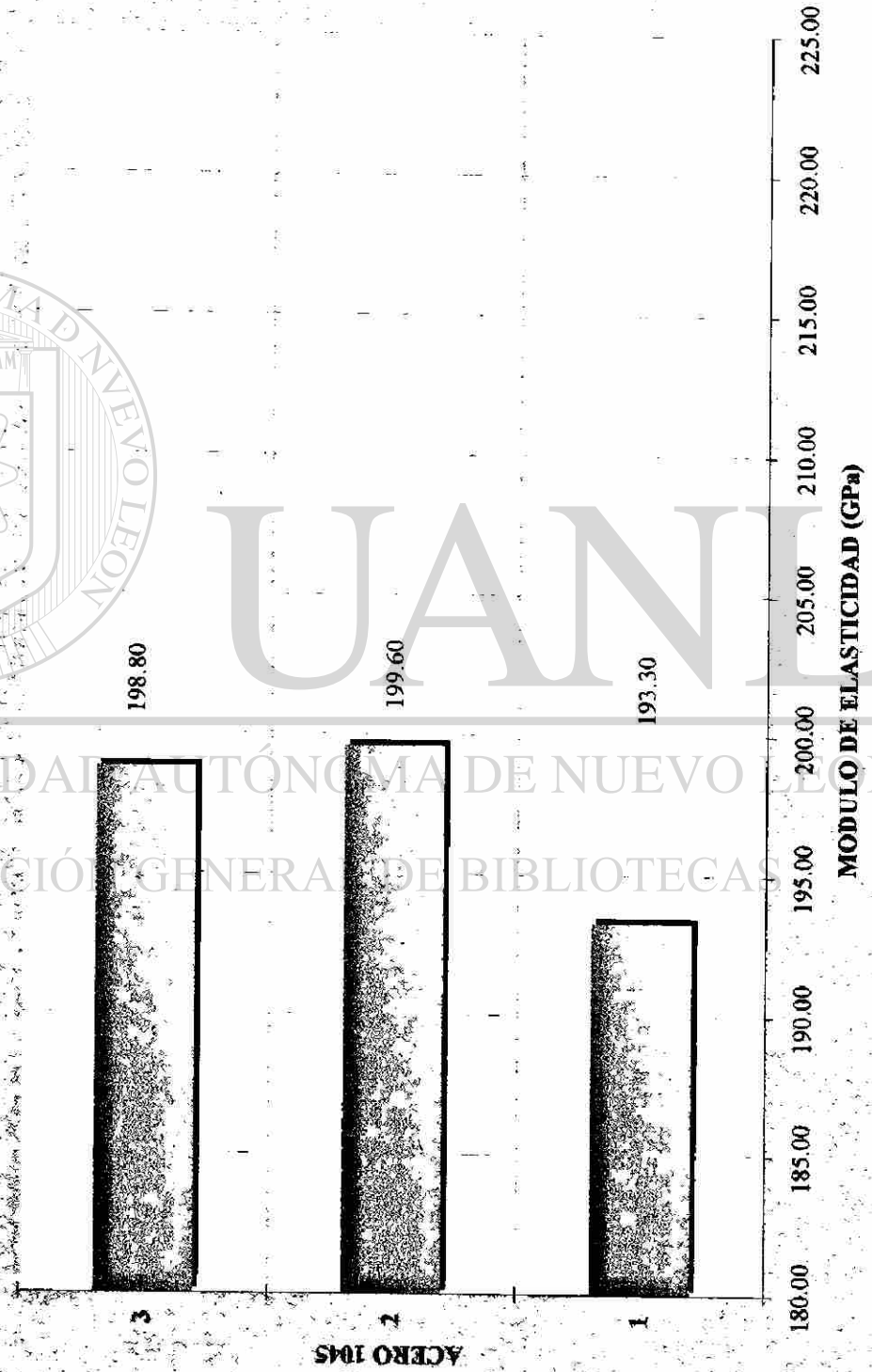
GRADO DEL ACERO	DUREZA RHN / B
G1	80.5
G2	66.5
G3	78.1
G4	86.2
G5	65.6
G6	66.3
MEDIANA	72.3
PROMEDIO	72.5
DESVIACION ESTANDAR	8.9

DUREZA MINIMA SEGÚN TABLA A.S.T.M. E-18

CONDICION: BASICO

GRADO DEL ACERO	DUREZA RHN / B
G1	74
G2	61
G3	74
G4	81
G5	63
G6	63
MEDIANA	68.5
PROMEDIO	69.3
DESVIACION ESTANDAR	8.1

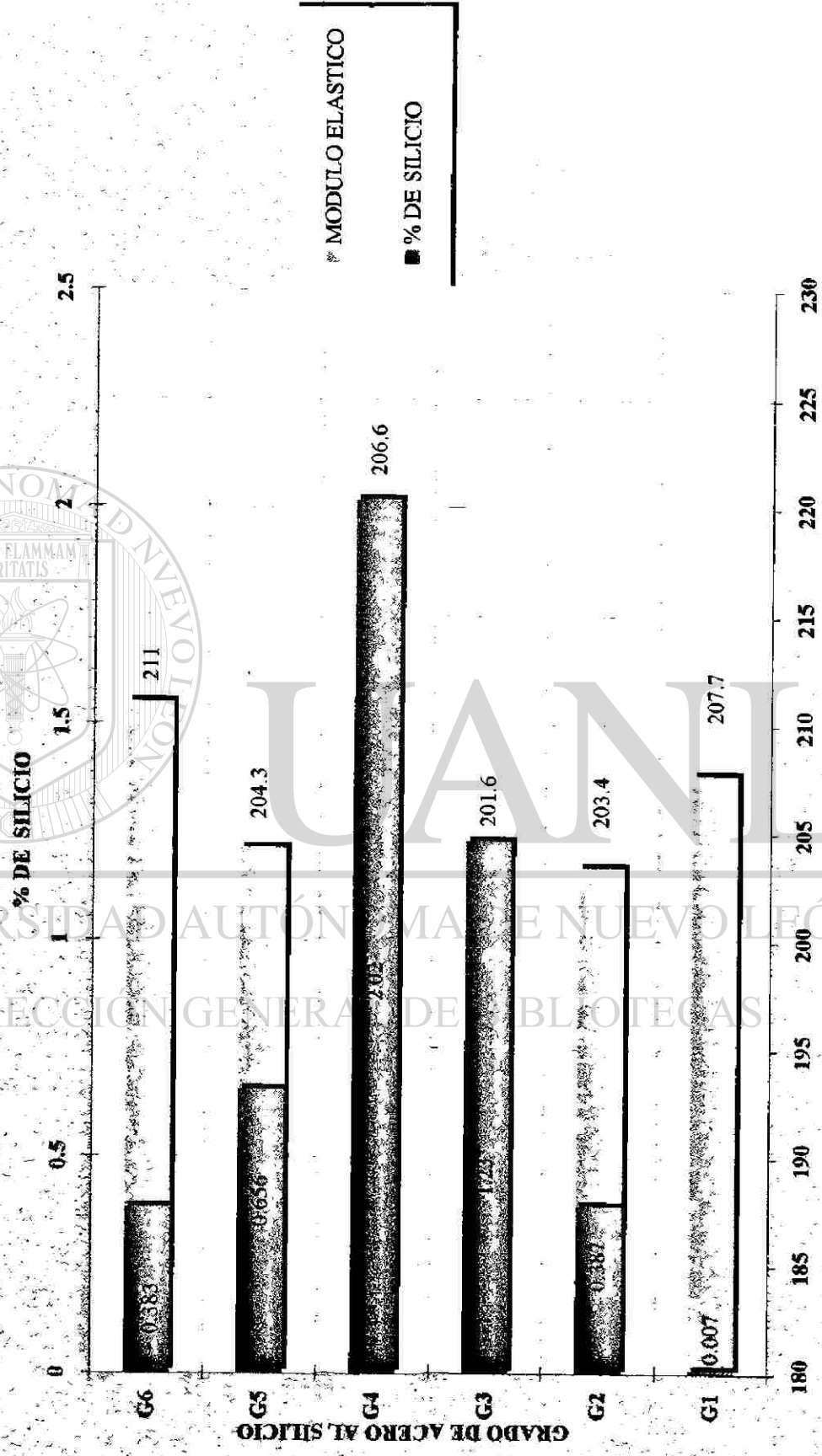
GRAFICA 6.1
MODULO DE ELASTICIDAD PARA ACEROS 1045



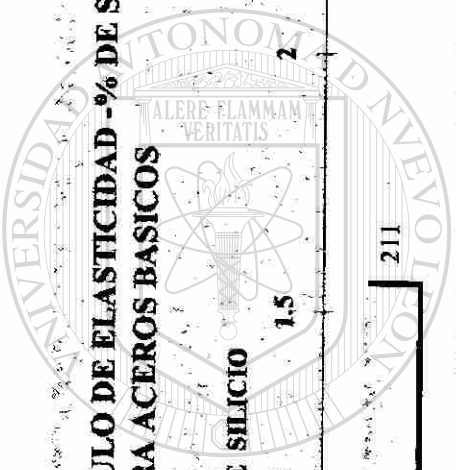
UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

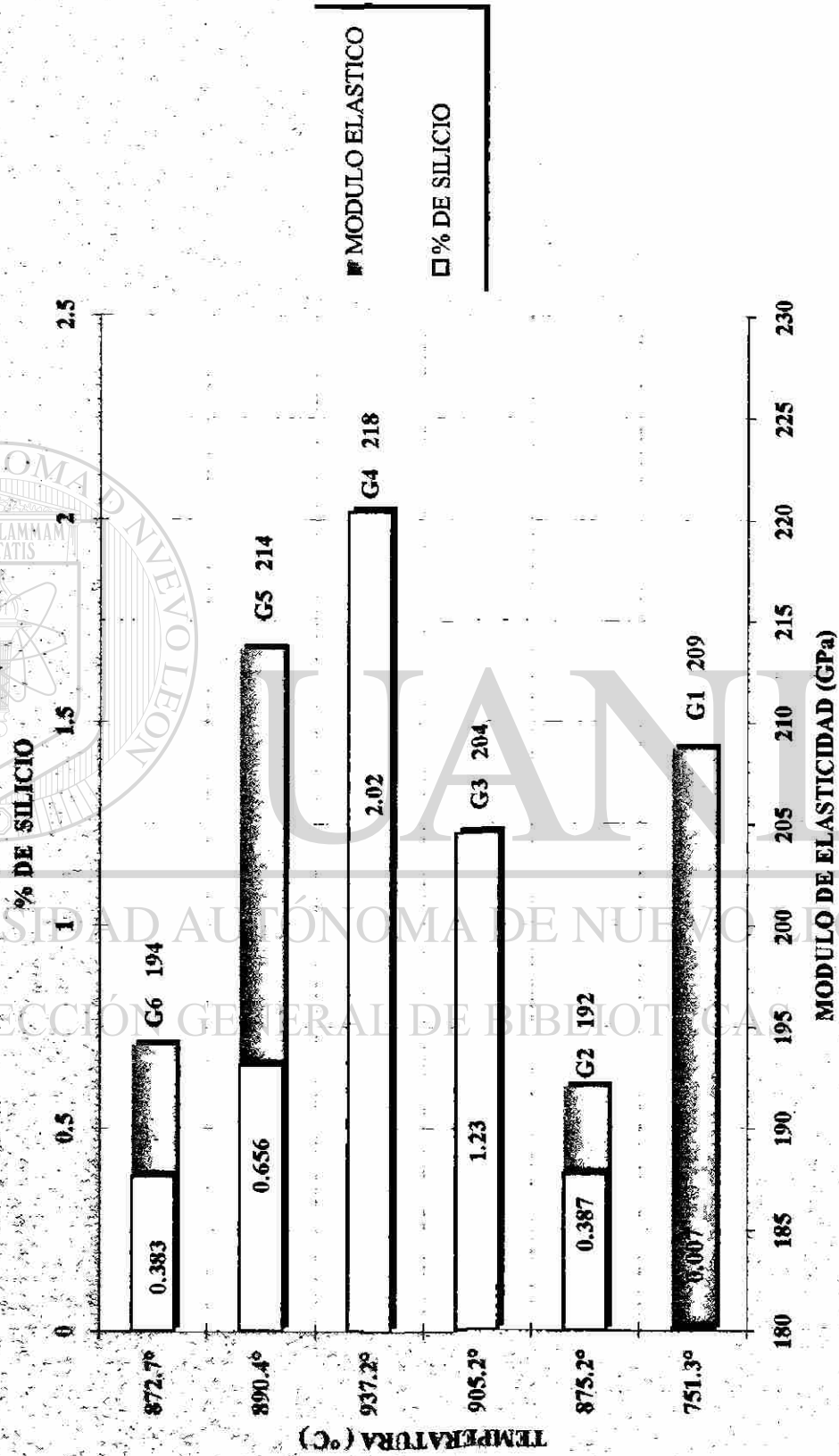
GRAFICA 6.2 MODULO DE ELASTICIDAD -% DE SILICIO PARA ACEROS BASICOS



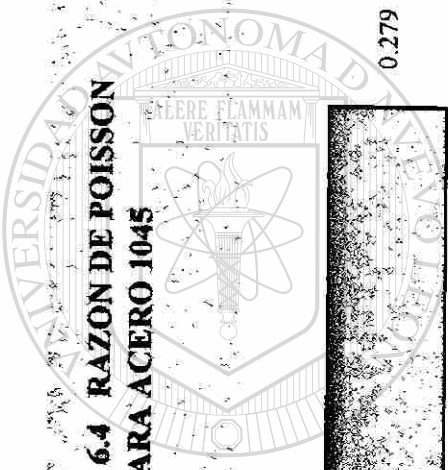
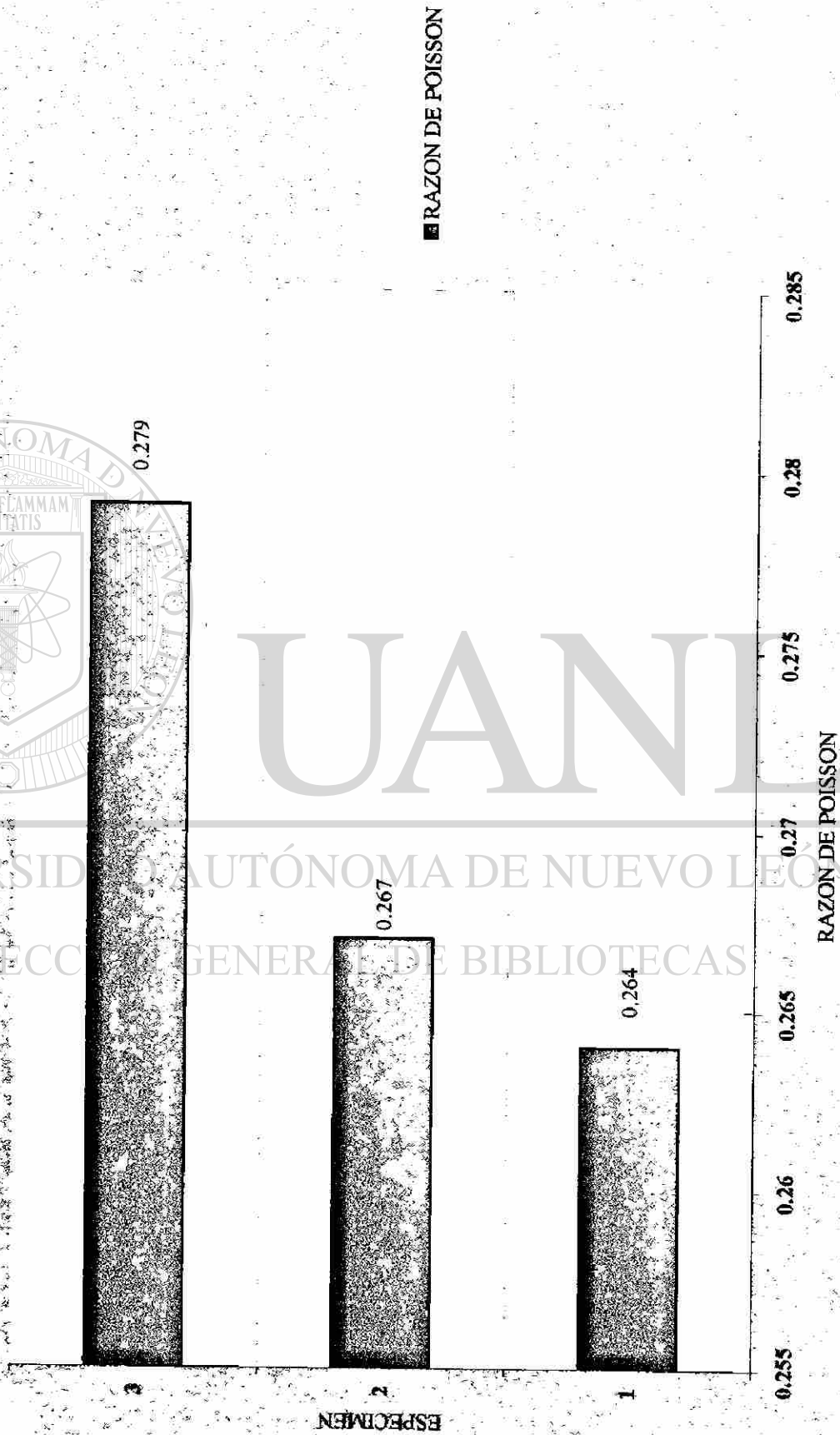
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



**GRAFICA 6.3 MODULO DE ELASTICIDAD -% DE SILICIO - TEMPERATURA
PARA ACEROS TRATADOS TERMICAMENTE**



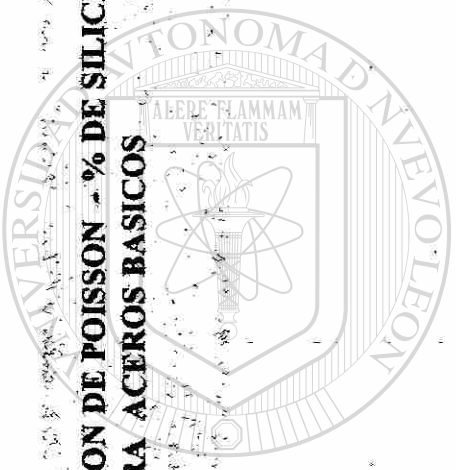
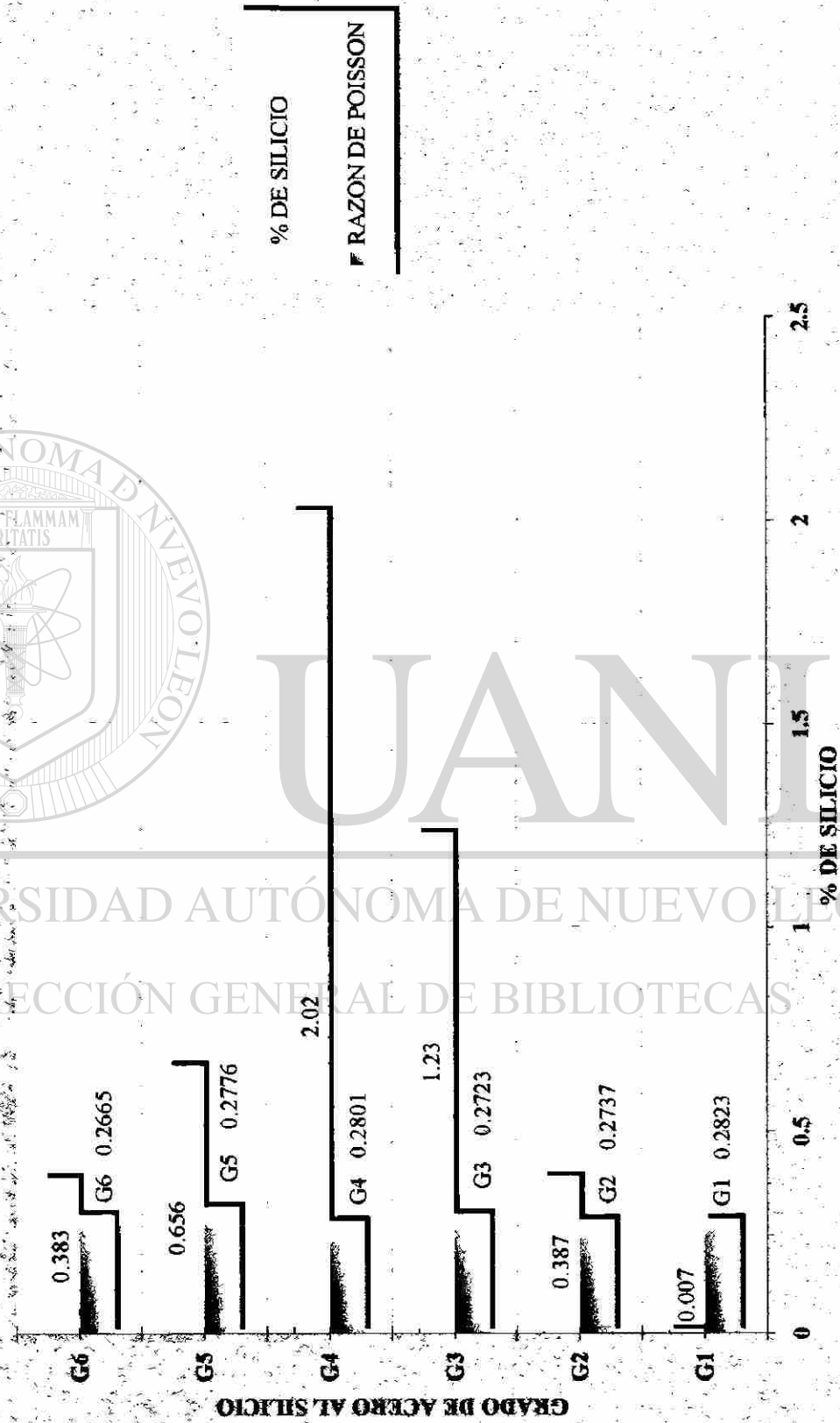
GRAFICA 6.4 RAZON DE POISSON PARA ACERO 1045



UANI
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

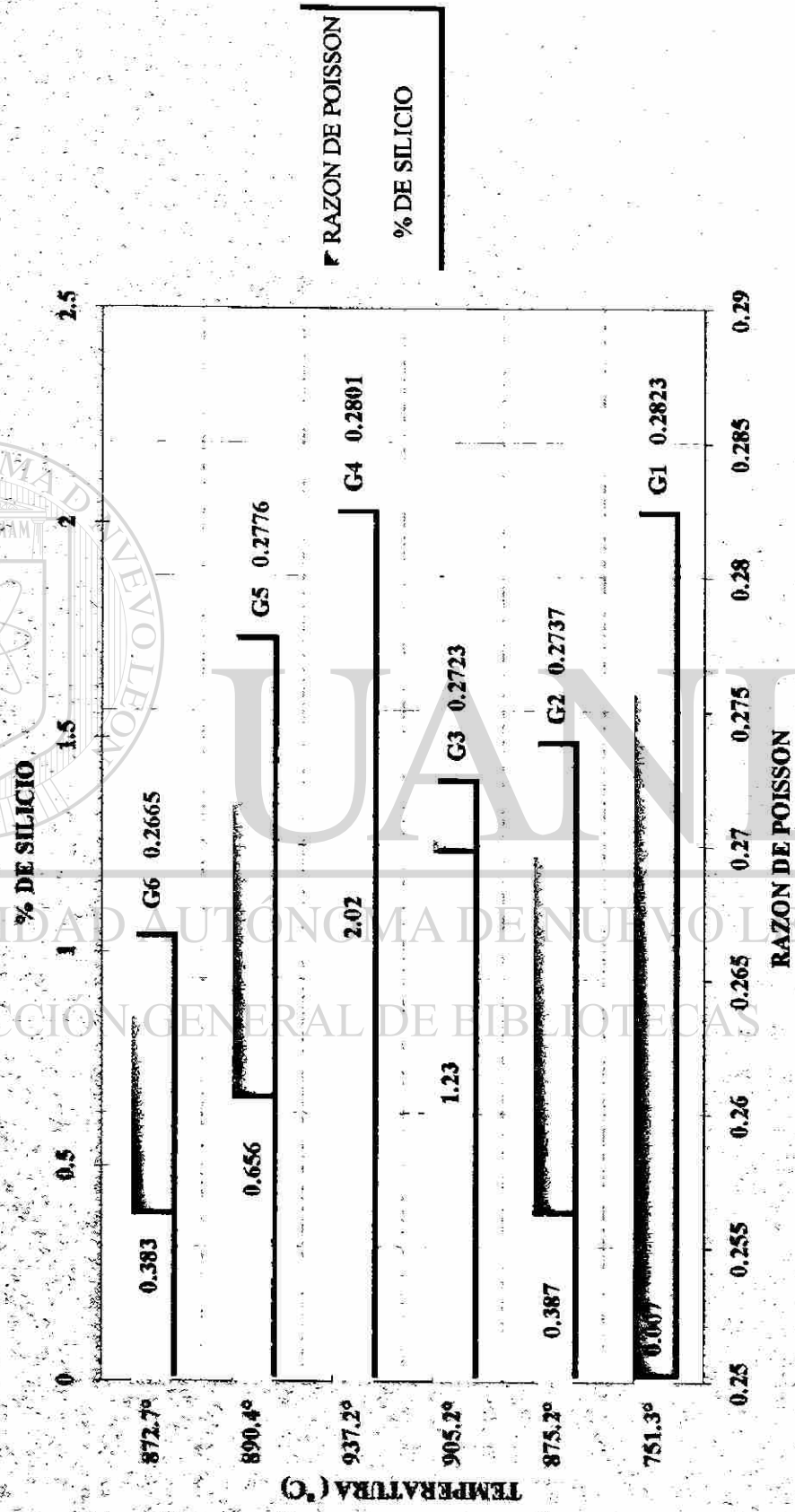
■ RAZON DE POISSON

GRAFICA 6.5 RAZON DE POISSON - % DE SILICIO PARA ACEROS BASICOS



UANL
 UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
 DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

**GRAFICA 6.6 RAZON DE POISSON TEMPERATURA - % DE SILICIO
ACEROS TRATADOS TERMICAMENTE**



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



6.8 APENDICE A



**BITACORAS Y GRAFICOS DE ESFUERZO – DEFORMACION DE
LOS ENSAYOS DE TENSION PARA MODULO DE ELASTICIDAD
Y RAZON DE POISSON**

UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

APENDICE A

RAZON DE POISSON EN ACEROS BASICOS

MATERIAL: ACERO AL SILICIO

GIR-BASICO

IDENTIFICACION :

PZA3-2			PZA2-1			PZA1-2		
Def. Transv mm/mm	Def. Long mm/mm	Razon Poisson	Def. Transv mm/mm	Def. Long mm/mm	Razon Poisson	Def. Transv mm/mm	Def. Long mm/mm	Razon Poisson
0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	51	0.2941	10	37	0.2703			
29	97	0.2990	21	70	0.3000	30	99	0.3030
37	138	0.2681	29	113	0.2566			
43	173	0.2486	40	150	0.2667	54	179	0.3017
56	208	0.2692	48	188	0.2553			
64	242	0.2645	60	228	0.2632	76	257	0.2957
74	277	0.2671	70	267	0.2622			
82	312	0.2628	80	305	0.2623	100	321	0.3115
91	346	0.2630	90	340	0.2647			
100	386	0.2591	100	378	0.2646	125	395	0.3165
110	420	0.2619	109	415	0.2627			
120	456	0.2632	120	450	0.2667	148	466	0.3176
130	490	0.2653	130	486	0.2675			
140	526	0.2662	141	523	0.2696	165	535	0.3084
149	562	0.2651	152	560	0.2714			
159	598	0.2659	163	596	0.2735	188	602	0.3123
167	633	0.2638	173	633	0.2733			
177	668	0.2650	184	668	0.2754	210	674	0.3116
185	703	0.2632	194	707	0.2744			
194	738	0.2629	205	743	0.2759	231	744	0.3105
	Promedio	0.2669		Promedio	0.2688		Promedio	0.3089
	Desv. Std	0.011006		Desv. Std	0.009411		Desv. Std	0.006842
				Promedio				
				Final:	0.2815			

APENDICE A

ACEROS TRATADOS TERMICAMENTE

ACERO AL SILICIO

GIR-TT

IDENTIFICACION:

MATERIAL:

PZA1-2			PZA2-2			PZA3-2		
Def. Transv mm/mm	Def. Long mm/mm	Razon Poisson	Def. Transv mm/mm	Def. Long mm/mm	Razon Poisson	Def. Transv mm/mm	Def. Long mm/mm	Razon Poisson
0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	41	0.2439	16	40	0.4000	13	41	0.3171
17	72	0.2361	28	80	0.3500	23	74	0.3108
26	112	0.2321	40	115	0.3478	32	110	0.2909
35	148	0.2365	51	152	0.3355	41	139	0.2950
44	192	0.2292	62	192	0.3229	51	177	0.2881
54	228	0.2368	72	229	0.3144	61	210	0.2905
64	264	0.2424	84	267	0.3146	70	240	0.2917
73	303	0.2409	97	305	0.3180	78	273	0.2857
84	343	0.2449	106	345	0.3072	88	306	0.2876
93	383	0.2428	117	382	0.3063	98	339	0.2891
102	420	0.2429	129	420	0.3071	107	376	0.2846
111	460	0.2413	140	460	0.3043	116	412	0.2816
123	497	0.2475	151	497	0.3038	125	449	0.2784
132	535	0.2467	163	536	0.3041	135	486	0.2778
142	575	0.2470	174	572	0.3042	145	521	0.2783
152	610	0.2492	186	611	0.3044	154	561	0.2745
163	645	0.2527	197	651	0.3026	165	599	0.2755
171	682	0.2507	208	689	0.3019	173	636	0.2720
182	718	0.2535	219	728	0.3008	184	676	0.2722
192	754	0.2546	231	768	0.3008	195	712	0.2739
	Promedio	0.2436		Promedio	0.3175		Promedio	0.2858
	Desv. Std	0.006994		Desv. Std	0.024499		Desv. Std	0.012000
			Promedio final:					
			0.2823					

APENDICE A

ACEROS TRATADOS TERMICAMENTE

ACERO AL SILICIO

G2Am-TT

IDENTIFICACION:

MATERIAL:

PZA1-2				PZA2-2				PZA3-2			
Def. Transv mm/mm	Def. Long mm/mm	Razon Poisson	Def. Transv mm/mm	Def. Long mm/mm	Razon Poisson	Def. Transv mm/mm	Def. Long mm/mm	Razon Poisson	Def. Transv mm/mm	Def. Long mm/mm	Razon Poisson
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	53	0.3019	12	64	0.1875	16	52	0.3077			
32	97	0.3299	26	112	0.2321	27	93	0.2903			
39	138	0.2826	40	146	0.2740	38	135	0.2815			
50	180	0.2778	54	205	0.2634	50	174	0.2874			
61	221	0.2760	67	255	0.2627	61	219	0.2785			
73	261	0.2797	80	301	0.2658	72	256	0.2813			
84	297	0.2828	93	348	0.2672	82	300	0.2733			
93	337	0.2760	104	391	0.2660	92	341	0.2698			
104	379	0.2744	117	435	0.2690	104	385	0.2701			
115	419	0.2745	131	477	0.2746	114	420	0.2714			
127	457	0.2779	142	522	0.2720	125	457	0.2735			
137	497	0.2757	154	563	0.2735	135	495	0.2727			
147	535	0.2748	165	604	0.2732	145	532	0.2726			
157	568	0.2764	174	646	0.2693	154	573	0.2688			
167	603	0.2769	187	682	0.2742	167	605	0.2760			
176	640	0.2750	197	720	0.2736	174	643	0.2706			
186	675	0.2756	208	757	0.2748	183	675	0.2711			
194	708	0.2740	217	801	0.2709	193	722	0.2673			
205	742	0.2763	229	844	0.2713	204	755	0.2702			
214	779	0.2747	240	891	0.2694	215	788	0.2728			
	Promedio	0.2806		Promedio	0.2642		Promedio	0.2764			
	Desv. Std	0.013119		Desv. Std	0.020305		Desv. Std	0.009609			
			Promedio								
			final:								
				0.2737							

APENDICE A

ACEROS TRATADOS TERMICAMENTE

MATERIAL: ACERO AL SILICIO

G3V-TT

IDENTIFICACION:

PZA1-2				PZA2-2				PZA3-1			
Def. Transv mm/mm	Def. Long mm/mm	Razon Poisson		Def. Transv mm/mm	Def. Long mm/mm	Razon Poisson		Def. Transv mm/mm	Def. Long mm/mm	Razon Poisson	
0	0	0		0	0	0		0	0	0	
13	54	0.2407		17	41	0.4146		10	36	0.2778	
22	89	0.2472		31	81	0.3827		17	69	0.2464	
32	132	0.2424		43	120	0.3583		25	102	0.2451	
42	170	0.2471		56	154	0.3636		31	134	0.2313	
49	208	0.2356		69	194	0.3557		38	169	0.2249	
57	243	0.2346		82	232	0.3534		45	202	0.2228	
67	280	0.2393		94	268	0.3507		53	234	0.2265	
75	314	0.2389		106	308	0.3442		61	270	0.2259	
85	352	0.2415		117	350	0.3343		69	304	0.2270	
95	385	0.2468		131	391	0.3350		77	337	0.2285	
103	421	0.2447		141	431	0.3271		85	374	0.2273	
111	457	0.2429		154	470	0.3277		94	410	0.2293	
122	491	0.2485		166	511	0.3249		101	445	0.2270	
130	527	0.2467		177	553	0.3201		110	481	0.2287	
140	561	0.2496		189	594	0.3182		117	517	0.2263	
150	598	0.2508		201	632	0.3180		127	553	0.2297	
160	634	0.2524		213	673	0.3165		135	590	0.2288	
169	668	0.2530		224	710	0.3155		144	627	0.2297	
178	711	0.2504		237	751	0.3156		152	667	0.2279	
189	754	0.2507		249	789	0.3156		162	706	0.2295	
	Promedio	0.2452		Promedio	Promedio	0.3396			Promedio	0.2320	
	Desv. Std	0.005477		Desv. Std	Desv. Std	0.026308			Desv. Std	0.012265	
				Promedio final:	0.2723						

BITACORA DEL ENSAYO

PIEZA No.1

FECHA: 24/11/98

MATERIAL: ACERO 1045

DATOS INICIALES:

DIAMETRO PROMEDIO:	0.5023 inch	12.758 mm
AREA:	0.19816 inch ²	128.12 mm ²
LONGITUD:	2.00 inch	50.8 mm
VELOCIDAD DEL ENSAYO (PRE CEDENCIA):	0.2 mm/min	
VELOCIDAD DEL ENSAYO (POST CEDENCIA):	1.5 mm/min	
CARGA DE AJUSTE:	300 Kgf.	

Desplazamiento (mm)	Desplazamiento (in)	Carga (Kgf)	Carga (Lbf)	Deformacion (in / in)	Esfuerzo (Lbf / in ²)
0	0	0	0	0	0
0.34	0.013386	300	660	0.006693	3331
0.42	0.016535	600	1320	0.008268	6661
0.47	0.018504	800	1760	0.009252	8882
0.51	0.020079	1000	2200	0.010039	11102
0.56	0.022047	1200	2640	0.011024	13323
0.63	0.024803	1600	3520	0.012402	17763
0.67	0.026378	1800	3960	0.013189	19984
0.7	0.027559	2000	4400	0.013780	22204
0.73	0.028740	2200	4840	0.014370	24425
0.77	0.030315	2400	5280	0.015157	26645
0.8	0.031496	2600	5720	0.015748	28866
0.84	0.033071	2900	6380	0.016535	32196
0.89	0.035039	3200	7040	0.017520	35527
0.94	0.037008	3500	7700	0.018504	38857
0.98	0.038583	3800	8360	0.019291	42188
1.03	0.040551	4100	9020	0.020276	45519
1.07	0.042126	4400	9680	0.021063	48849
1.11	0.043701	4700	10340	0.021850	52180
1.15	0.045276	5000	11000	0.022638	55511
1.2	0.047244	5300	11660	0.023622	58841
1.24	0.048819	5600	12320	0.024409	62172
1.32	0.051969	5822	12808.4	0.025984	64637
1.41	0.055512	5490	12078	0.027756	60951
1.51	0.059449	5460	12012	0.029724	60618
1.73	0.068110	5457	12005.4	0.034055	60584
1.86	0.073228	5480	12056	0.036614	60840
2.1	0.082677	5475	12045	0.041339	60784
2.76	0.108661	5420	11924	0.054331	60174
3.06	0.120472	5600	12320	0.060236	62172

BITACORA DEL ENSAYO**PIEZA No.1****FECHA:24/11/98****MATERIAL:ACERO 1045****DATOS INICIALES:**

DIAMETRO PROMEDIO: 0.5023 inch 12.758 mm
 AREA: 0.19816 inch² 128.12 mm²
 LONGITUD: 2.00 inch 50.8 mm
 VELOCIDAD DEL ENSAYO (PRE CEDENCIA): 0.2 mm/min
 VELOCIDAD DEL ENSAYO (POST CEDENCIA): 1.5 mm/min
 CARGA DE AJUSTE: 300 Kgf.

Desplazamiento (mm)	Desplazamiento (in)	Carga (Kgf)	Carga (Lbf)	Deformacion (in / in)	Esfuerzo (Lbf / in ²)
19.91	0.783858	6600	14520	0.391929	73274
20.69	0.814567	6200	13640	0.407283	68833
21.34	0.840157	5800	12760	0.420079	64392
21.92	0.862992	5400	11880	0.431496	59952
22.41	0.882283	5000	11000	0.441142	55511
22.69	0.893307	4650	10230	0.446654	51625

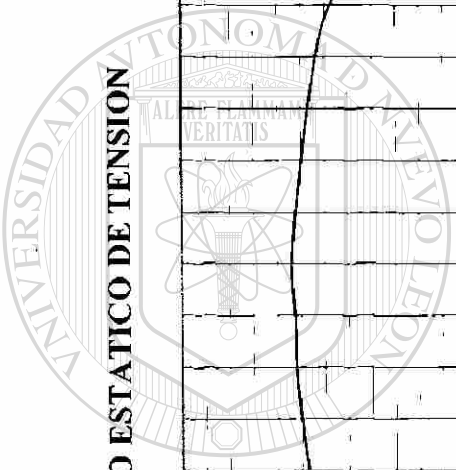
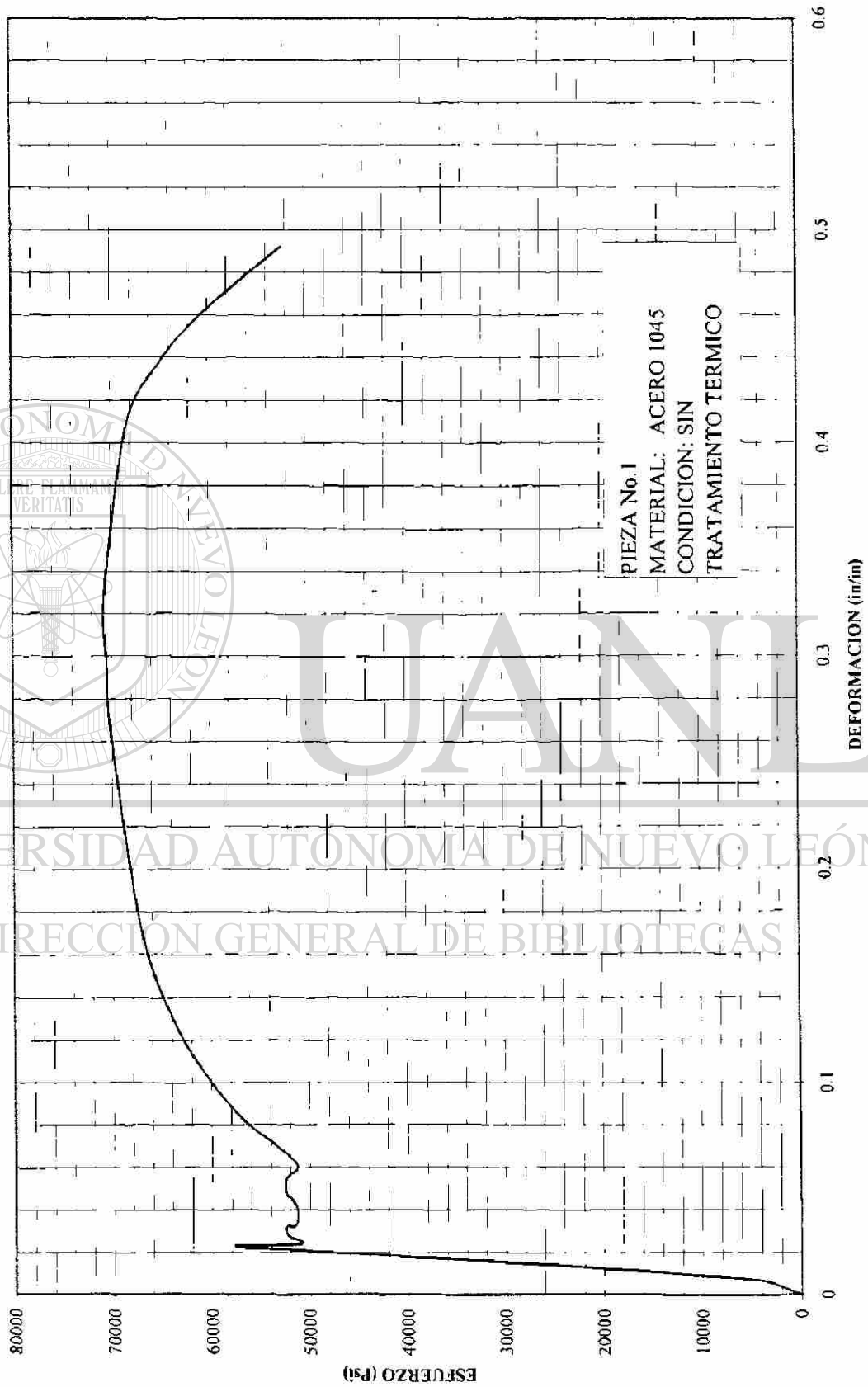
DATOS FINALES

DIAMETRO FINAL: 0.2760 inch
 LONGITUD FINAL: 2.7285 inch
 AREA FINAL: 0.059828 mm²
 TIPO DE FALLA: PARCIALMENTE CONO CRATER
 OBSERVACIONES:

RESULTADOS FINALES

RESISTENCIA A LA CEDENCIA: 64637 Psi
 RESISTENCIA MAXIMA: 82966 Psi
 % ELONGACION (en dos pulgadas): 36.42
 % DE RED. DE AREA (en dos pulgadas) 69.8

ENSAYO ESTÁTICO DE TENSION



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



BITACORA DEL ENSAYO

PIEZA No.2

FECHA: 24/11/98

MATERIAL: ACERO 1045

DATOS INICIALES:

DIAMETRO PROMEDIO: 0.496 inch
 AREA: 0.19322 inch²
 LONGITUD: 2.00 inch
 VELOCIDAD DEL ENSAYO (PRE CEDENCIA): 0.2 mm/min
 VELOCIDAD DEL ENSAYO (POST CEDENCIA): 1.5 mm/min
 CARGA DE AJUSTE: 300 Kgf.

Desplazamiento (mm)	Desplazamiento (in)	Carga (Kgf)	Carga (Lbf)	Deformacion (in / in)	Esfuerzo (Lbf / in ²)
0	0	0	0	0	0
0.31	0.01220	300	660	0.006102	3416
0.4	0.01575	600	1320	0.007874	6832
0.46	0.01811	900	1980	0.009055	10247
0.53	0.02087	1200	2640	0.010433	13663
0.59	0.02323	1500	3300	0.011614	17079
0.64	0.02520	1800	3960	0.012598	20495
0.7	0.02756	2100	4620	0.013780	23911
0.75	0.02953	2400	5280	0.014764	27326
0.8	0.03150	2700	5940	0.015748	30742
0.84	0.03307	3000	6600	0.016535	34158
0.89	0.03504	3300	7260	0.017520	37574
0.93	0.03661	3600	7920	0.018307	40990
0.97	0.03819	3900	8580	0.019094	44405
1.02	0.04016	4200	9240	0.020079	47821
1.06	0.04173	4500	9900	0.020866	51237
1.1	0.04331	4800	10560	0.021654	54653
1.16	0.04567	5060	11132	0.022835	57613
1.21	0.04764	4468	9829.6	0.023819	50873
1.39	0.05472	4580	10076	0.027362	52148
1.63	0.06417	4600	10120	0.032087	52376
1.64	0.06457	4520	9944	0.032283	51465
1.97	0.07756	4500	9900	0.038780	51237
2.28	0.08976	4550	10010	0.044882	51806
2.41	0.09488	4600	10120	0.047441	52376
2.78	0.10945	4600	10120	0.054724	52376
3.08	0.12126	4500	9900	0.060630	51237
3.59	0.14134	4700	10340	0.070669	53514
3.98	0.15669	4900	10780	0.078346	55791
4.4	0.17323	5060	11132	0.086614	57613

BITACORA DEL ENSAYO**PIEZA No.2****FECHA:24/11/98****MATERIAL: ACERO 1045****DATOS INICIALES:**

DIAMETRO PROMEDIO: 0.496 inch
 AREA: 0.19322 inch²
 LONGITUD: 2.00 inch
 VELOCIDAD DEL ENSAYO (PRE CEDENCIA): 0.2 mm/min
 VELOCIDAD DEL ENSAYO (POST CEDENCIA): 1.5 mm/min
 CARGA DE AJUSTE: 300 Kgf.

Desplazamiento (mm)	Desplazamiento (in)	Carga (Kgf)	Carga (Lbf)	Deformacion (in / in)	Esfuerzo (Lbf / in ²)
5.2	0.20472	5300	11660	0.102362	60346
6.54	0.25748	5600	12320	0.128740	63762
8.83	0.34764	5900	12980	0.173819	67177
13.6	0.53543	6165	13563	0.267717	70195
15.1	0.59449	6190	13618	0.297244	70479
16.7	0.65748	6207.8	13657.16	0.328740	70682
20.78	0.81811	6000	13200	0.409055	68316
22.23	0.87520	5700	12540	0.437598	64900
23.18	0.91260	5400	11880	0.456299	61484
24.12	0.94961	5000	11000	0.474803	56930
24.99	0.98386	4600	10120	0.491929	52376
25.6	1.00787	4200	9240	0.503937	47821
25.88	1.01890	4000	8800	0.509449	45544
26.6	1.04724	3401	7482.2	0.523622	38724

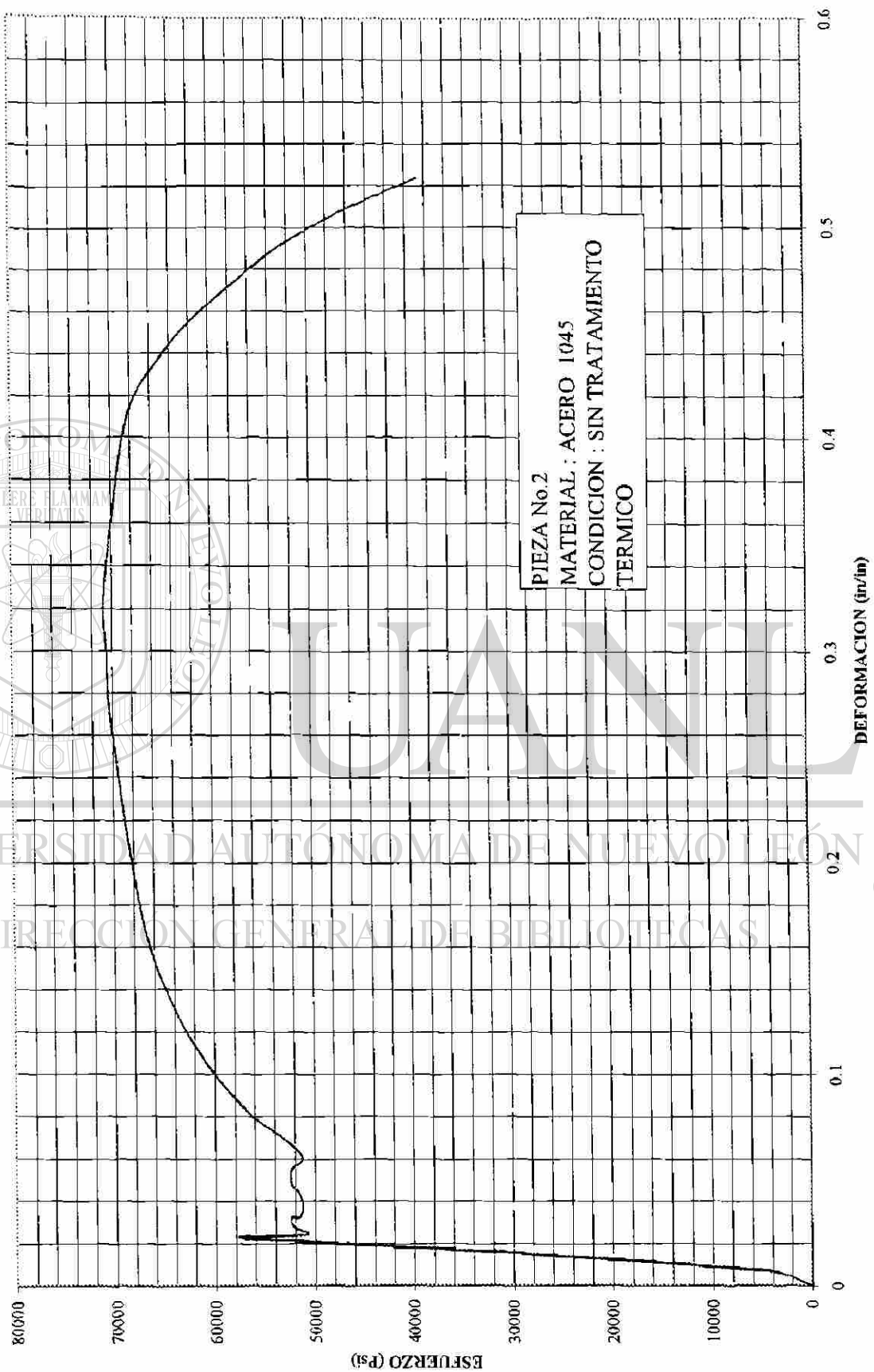
DATOS FINALES

DIAMETRO FINAL: 0.2295 inch
 LONGITUD FINAL: 2.866 inch
 AREA FINAL: 0.04136 inch²
 TIPO DE FALLA: PARCIALMENTE CONO CRATER
 OBSERVACIONES:

RESULTADOS FINALES

RESISTENCIA A LA CEDENCIA: 57613Psi
 RESISTENCIA MAXIMA: 70682Psi
 % ELONGACION (en dos pulgadas): 43.3
 % DE RED. DE AREA (en dos pulgadas): 78.59

ENSAYO ESTÁTICO DE TENSION



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCION GENERAL DE BIBLIOTECAS

UANI

BITACORA DEL ENSAYO

PIEZA No.3

FECHA:24/11/98

MATERIAL:ACERO 1045

DATOS INICIALES:

DIAMETRO PROMEDIO: 0.4953 inch
 AREA: 0.192676 inch²
 LONGITUD: 2.00 inch
 VELOCIDAD DEL ENSAYO (PRE CEDENCIA): 0.2 mm/min
 VELOCIDAD DEL ENSAYO (POST CEDENCIA): 1.5 mm/min
 CARGA DE AJUSTE: 300 Kgf.

Desplazamiento (mm)	Desplazamiento (in)	Carga (Kgf)	Carga (Lbf)	Deformacion (in / in)	Esfuerzo (Lbf / in ²)
0	0	0	0	0	0
0.31	0.012205	300	660	0.006102	3425
0.39	0.015354	600	1320	0.007677	6851
0.46	0.018110	900	1980	0.009055	10276
0.53	0.020866	1200	2640	0.010433	13702
0.59	0.023228	1500	3300	0.011614	17127
0.64	0.025197	1800	3960	0.012598	20553
0.69	0.027165	2100	4620	0.013583	23978
0.75	0.029528	2400	5280	0.014764	27404
0.79	0.031102	2700	5940	0.015551	30829
0.83	0.032677	3000	6600	0.016339	34254
0.88	0.034646	3300	7260	0.017323	37680
0.92	0.036220	3600	7920	0.018110	41105
0.97	0.038189	3900	8580	0.019094	44531
1.01	0.039764	4200	9240	0.019882	47956
1.05	0.041339	4500	9900	0.020669	51382
1.09	0.042913	4800	10560	0.021457	54807
1.13	0.044488	5100	11220	0.022244	58232
1.18	0.046457	5262	11576.4	0.023228	60082
1.3	0.051181	4580	10076	0.025591	52295
1.46	0.057480	4650	10230	0.028740	53094
1.56	0.061417	4600	10120	0.030709	52523
1.92	0.075591	4600	10120	0.037795	52523
2.1	0.082677	4700	10340	0.041339	53665
2.48	0.097638	4550	10010	0.048819	51953
2.87	0.112992	4600	10120	0.056496	52523
3.24	0.127559	4600	10120	0.063780	52523
3.43	0.135039	4700	10340	0.067520	53665
3.98	0.156693	5000	11000	0.078346	57091
4.54	0.178740	5200	11440	0.089370	59374
4.75	0.187008	5262	11576.4	0.093504	60082

BITACORA DEL ENSAYO

PIEZA No.3

FECHA:24/11/98

MATERIAL:ACERO 1045

DATOS INICIALES:

DIAMETRO PROMEDIO: 0.4953 inch
 AREA: 0.192676 inch²
 LONGITUD: 2.00 inch
 VELOCIDAD DEL ENSAYO (PRE CEDENCIA): 0.2 mm/min
 VELOCIDAD DEL ENSAYO (POST CEDENCIA): 1.5 mm/min
 CARGA DE AJUSTE: 300 Kgf.

Desplazamiento (mm)	Desplazamiento (in)	Carga (Kgf)	Carga (Lbf)	Deformacion (in / in)	Esfuerzo (Lbf / in ²)
7.09	0.279134	5800	12760	0.139567	66225
9.86	0.388189	6100	13420	0.194094	69651
16	0.629921	6264	13780.8	0.314961	71523
21.39	0.842126	6000	13200	0.421063	68509
22.53	0.887008	5700	12540	0.443504	65083
23.47	0.924016	5400	11880	0.462008	61658
24.38	0.959843	5000	11000	0.479921	57091
24.75	0.974409	4800	10560	0.487205	54807
25.14	0.989764	4600	10120	0.494882	52523
25.6	1.007874	4300	9460	0.503937	49098
26.09	1.027165	4000	8800	0.513583	45673
26.7	1.051181	3540	7788	0.525591	40420

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

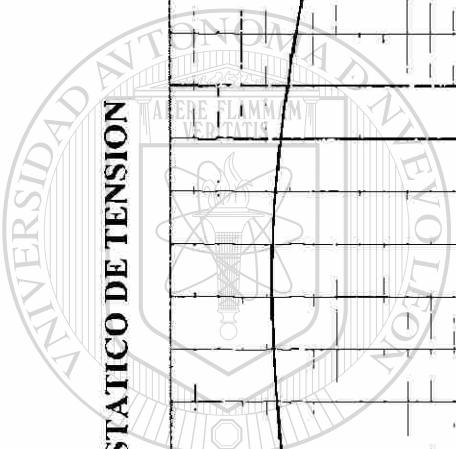
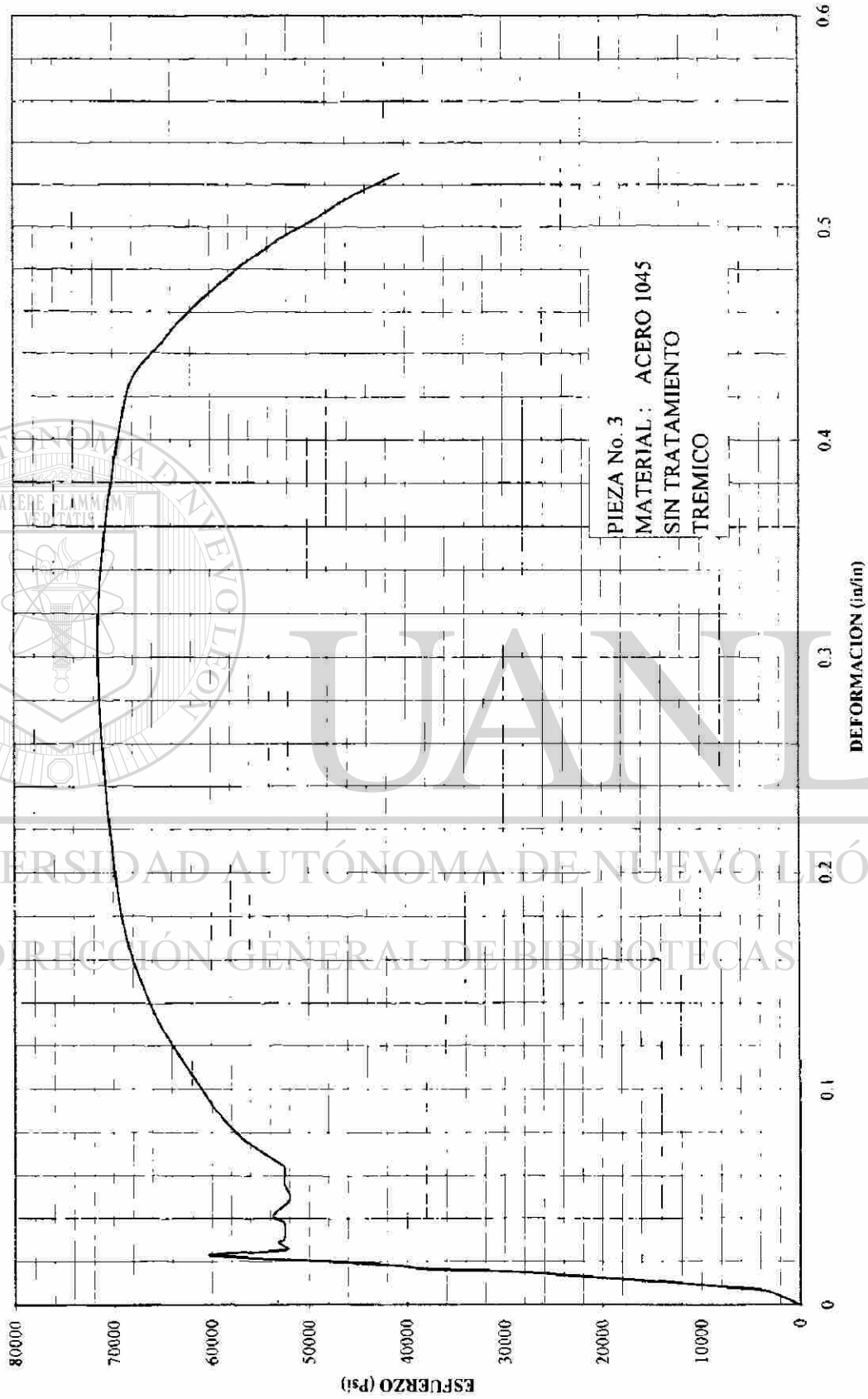
DATOS FINALES

DIAMETRO FINAL: 0.2305 inch
 LONGITUD FINAL: 2.881 inch
 AREA FINAL: 0.04172 inch²
 TIPO DE FALLA: conica
 OBSERVACIONES:

RESULTADOS FINALES

RESISTENCIA A LA CEDENCIA: 60082 Psi
 RESISTENCIA MAXIMA: 71523Psi
 % ELONGACION (en dos pulgadas): 44.05
 % DE RED. DE AREA (en dos pulgadas) 78.34

ENSAYO ESTÁTICO DE TENSION



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



BITACORA DEL ENSAYO

PIEZA No. _____ FECHA: 1/18/99
 No. DE LECTURA _____ MEDIDOR VERTICAL
 IDENTIFICACION: AC 1045
 CONDICION: SIN TRATAMIENTO TERMICO
 MATERIAL: ACERO 1045
 ENSAYO: ESTATICO DE TENSION
 ESTANDAR: ASTM E8 E-111 E-143
 VEL DEL ENSAYO: 0.2 mm/min VEL DEL ENSAYO: 1.5 mm/min
 AREA 0.19635 in² 126.6772

Carga	Deformacion Unitaria	Esfuerzo		
kg	mm/mm	MPa	XY	X ²
0	0	0	0	0
100	51	8	394.9487358	2601
200	95	15	1471.377643	9025
300	132	23	3066.660772	17424
400	176	31	5451.841373	30976
500	217	39	8402.340753	47089
600	253	46	11755.53296	64009
700	290	54	15720.50851	84100
800	336	62	20816.12161	112896
900	376	70	26206.01024	141376
1000	412	77	31905.66258	169744
1100	454	85	38673.99974	206116
1200	496	93	46092.8407	246016
1300	532	101	53558.14622	283024
1400	574	108	62231.53022	329476
1500	611	116	70974.61106	373321
1600	653	124	80910.2822	426409
1700	690	132	90838.20924	476100
1800	729	139	101617.9865	531441
1900	777	147	114326.0429	603729
2000	808	155	125144.5406	652864
			909559.1946	4807736

DATOS PARA EL CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD (O DE YOUNG)

SXY= 909559.1946

K= 21

X'= 412.4761905

Y'= 77.4409286

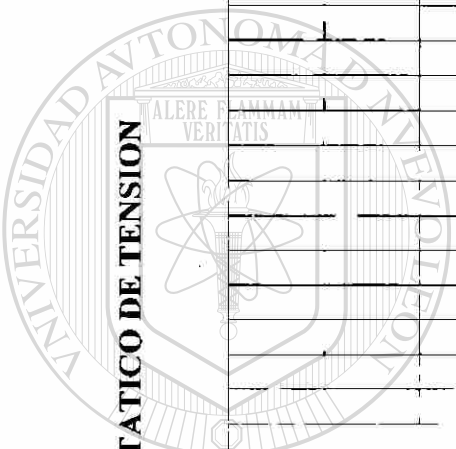
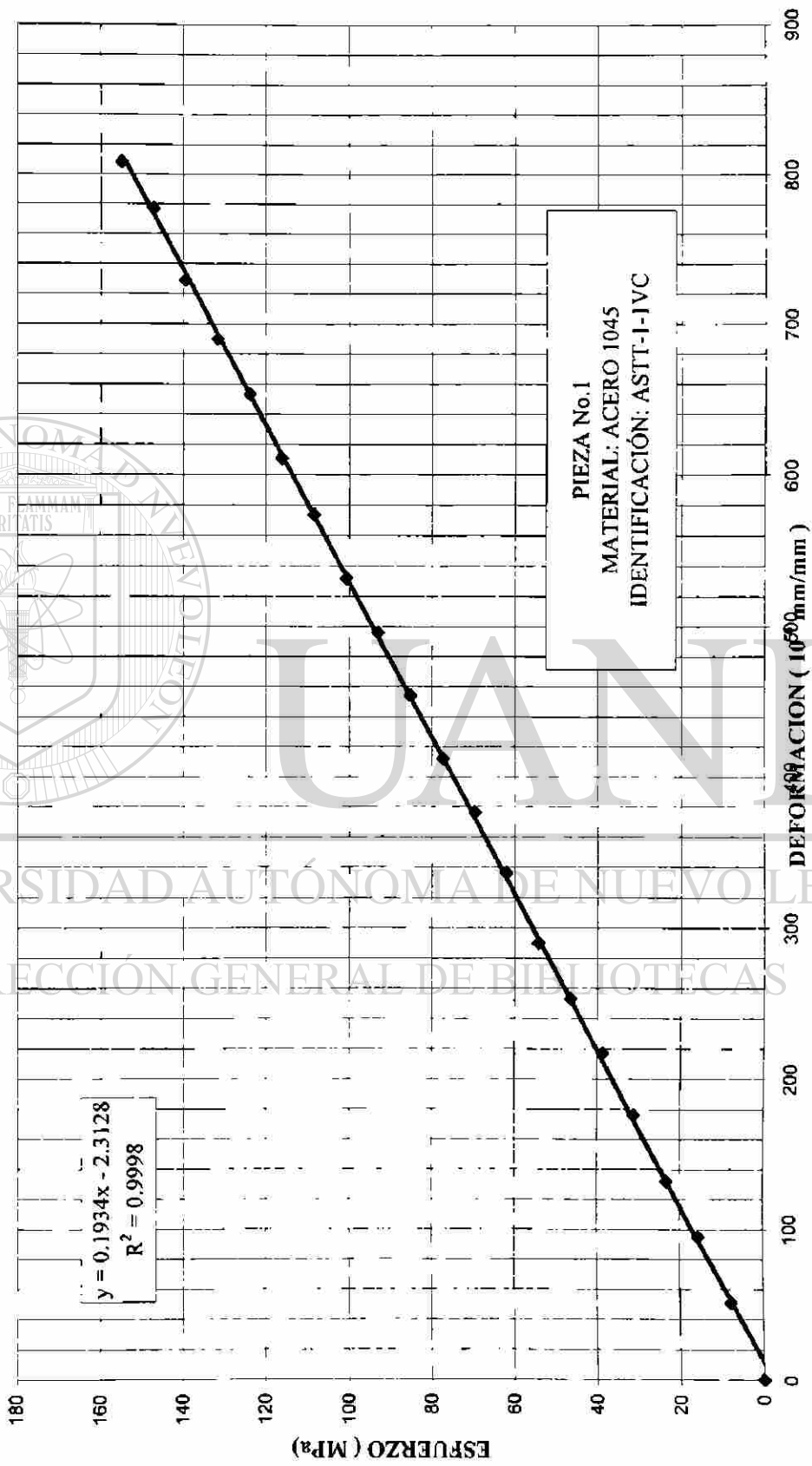
SX²= 4807736

X'²= 170136.6077

MODULO ELASTICO: 193.3 GPa

$E = (S(XY) - KX'Y') / (SX^2 - KX'^2)$ 0.193353475 GPa

ENSAYO ESTÁTICO DE TENSION



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



BITACORA DEL ENSAYO

PIEZA No. 1
 No. DE LECTURA 2 MEDIDOR VERTICAL
 IDENTIFICACION: ACERO 1045
 CONDICION: SIN TRATAMIENTO TERMICO
 MATERIAL: ACERO 1045
 ENSAYO: ESTATICO DE TENSION
 ESTANDARES: ASTM E8 E-111 E-143
 VEL DEL ENSAYO: 0.2 mm/min VEL DEL ENSAYO: 1.5 mm/min
 AREA: 0.19635 in² 126.6772

Carga	Defórmacion Unitaria mm/mm	Esfuerzo MPa	XY	X ²
0	0	0	0	0
100	46	8	356.2282715	2116
200	84	15	1301.0076	7056
300	121	23	2811.105708	14641
400	162	31	5018.172173	26244
500	202	39	7821.533788	40804
600	239	46	11105.02916	57121
700	277	54	15015.79605	76729
800	321	62	19886.83046	103041
900	357	70	24881.77036	127449
1000	392	77	30356.84401	153664
1100	433	85	36885.11429	187489
1200	471	93	43769.61284	221841
1300	513	101	51645.35528	263169
1400	551	108	59737.93232	303601
1500	588	116	68302.89902	345744
1600	626	124	77564.83408	391876
1700	663	132	87283.67062	439569
1800	701	139	97714.9637	491401
1900	742	147	109176.2211	550564
2000	783	155	121272.4942	613089
			871907.4151	4417208

DATOS PARA EL CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD (O DE YOUNG)

SXY= **871907.4151**

K= 21

X' = 393.9047619

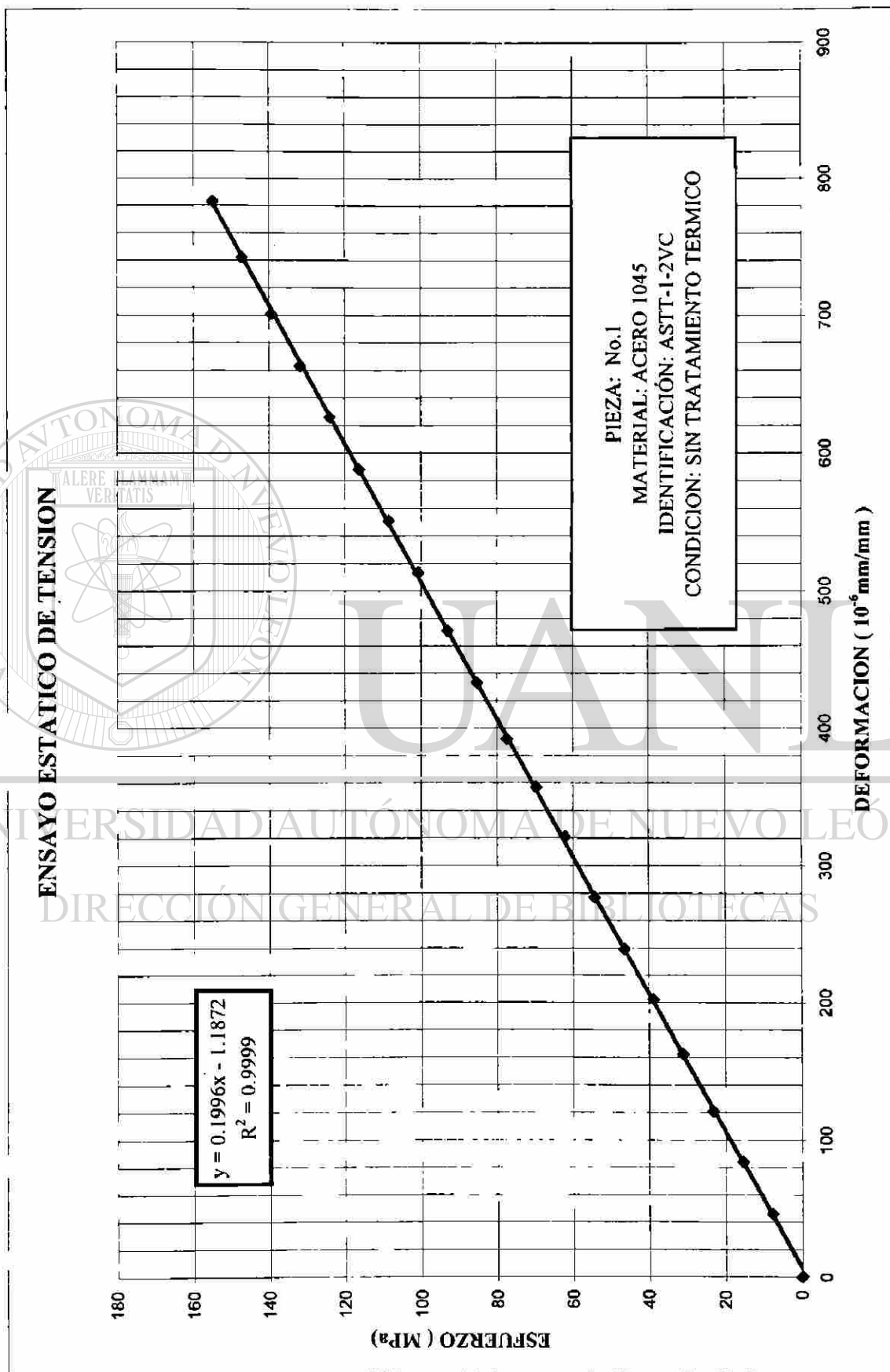
Y' = 77.4409286

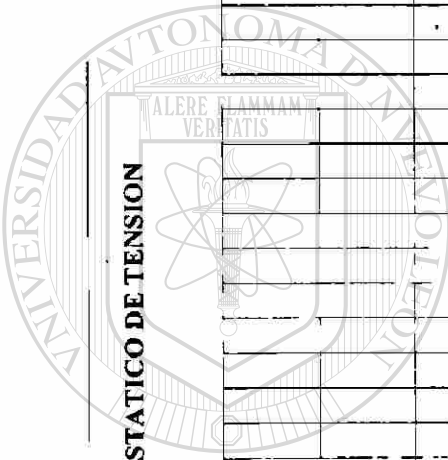
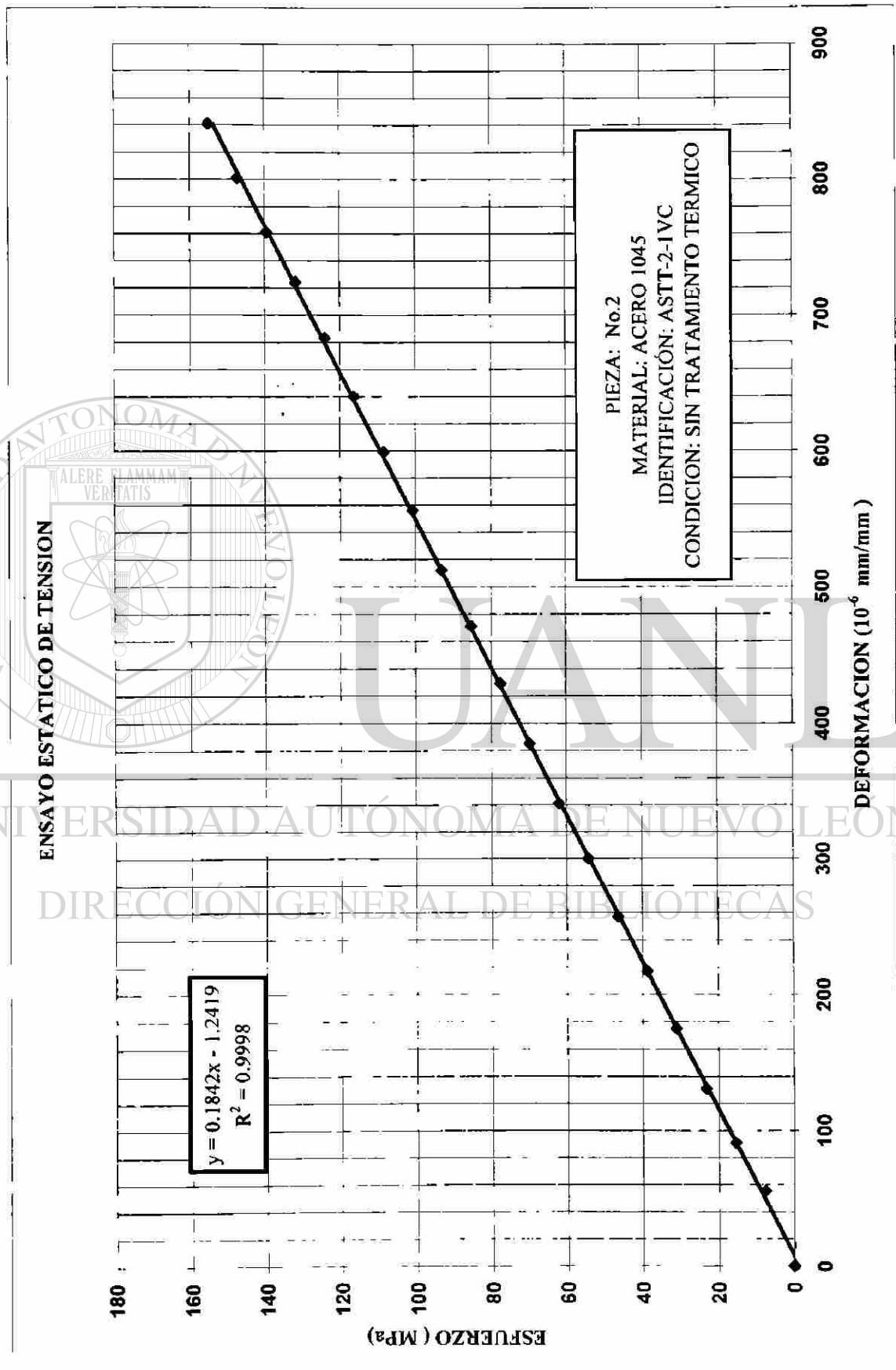
MODULO ELASTICO: 199.6 GPa

SX²= **4417208**

X²= 155160.9615

E=(S(XY)-KX'Y')/(SX²-KX²) **0.199612101 GPa**





UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

®

BITACORA DEL ENSAYO

PIEZA N° 2 1/18/99
 N° DE LECTURA 2 MEDIDOR VERTICAL
 IDENTIFICACION ACERO 1045 SIN TRATAMIENTO TERMICO
 MATERIAL ACERO 1045
 ESTANDAR ASTM E8
 VEL DEL ENSAYO 0.2 mm/min VEL DEL ENSAYO: 1.5 mm/min
 AREA 0.19635 in² 126.6772

	X	Y	XY	X ²
carga	deformacion	esfuerzo		
kg	unitaria mm/mm	MPa		
0	0	0	0	0
100	56	8	433.6692001	3136
200	96	15	1486.865829	9216
300	136	23	3159.589887	18496
400	176	31	5451.841373	30976
500	216	39	8363.620288	46656
600	258	46	11987.85575	66564
700	297	54	16099.96906	88209
800	336	62	20816.12161	112896
900	374	70	26066.61657	139876
1000	412	77	31905.66258	169744
1100	450	85	38333.25966	202500
1200	487	93	45256.47867	237169
1300	525	101	52853.43377	275625
1400	564	108	61147.35722	318096
1500	601	116	69812.99713	361201
1600	639	124	79175.6054	408321
1700	678	132	89258.4143	459684
1800	715	139	99666.4751	511225
1900	755	147	111089.0121	570025
2000	795	155	123131.0765	632025
			895495.9219	4661640

DATOS PARA EL CALCULO DEL MODULO DE YOUNG

SXY= 895495.9219

K= 21

X'= 407.9047619

Y'= 77.4409286

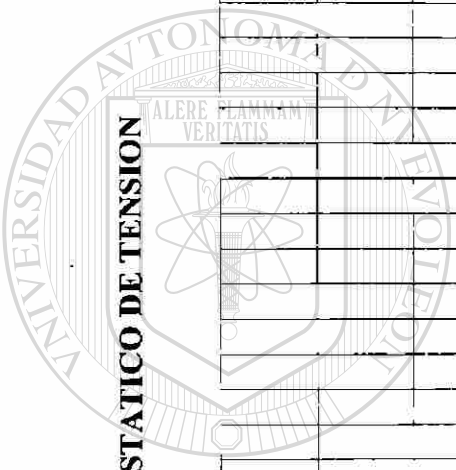
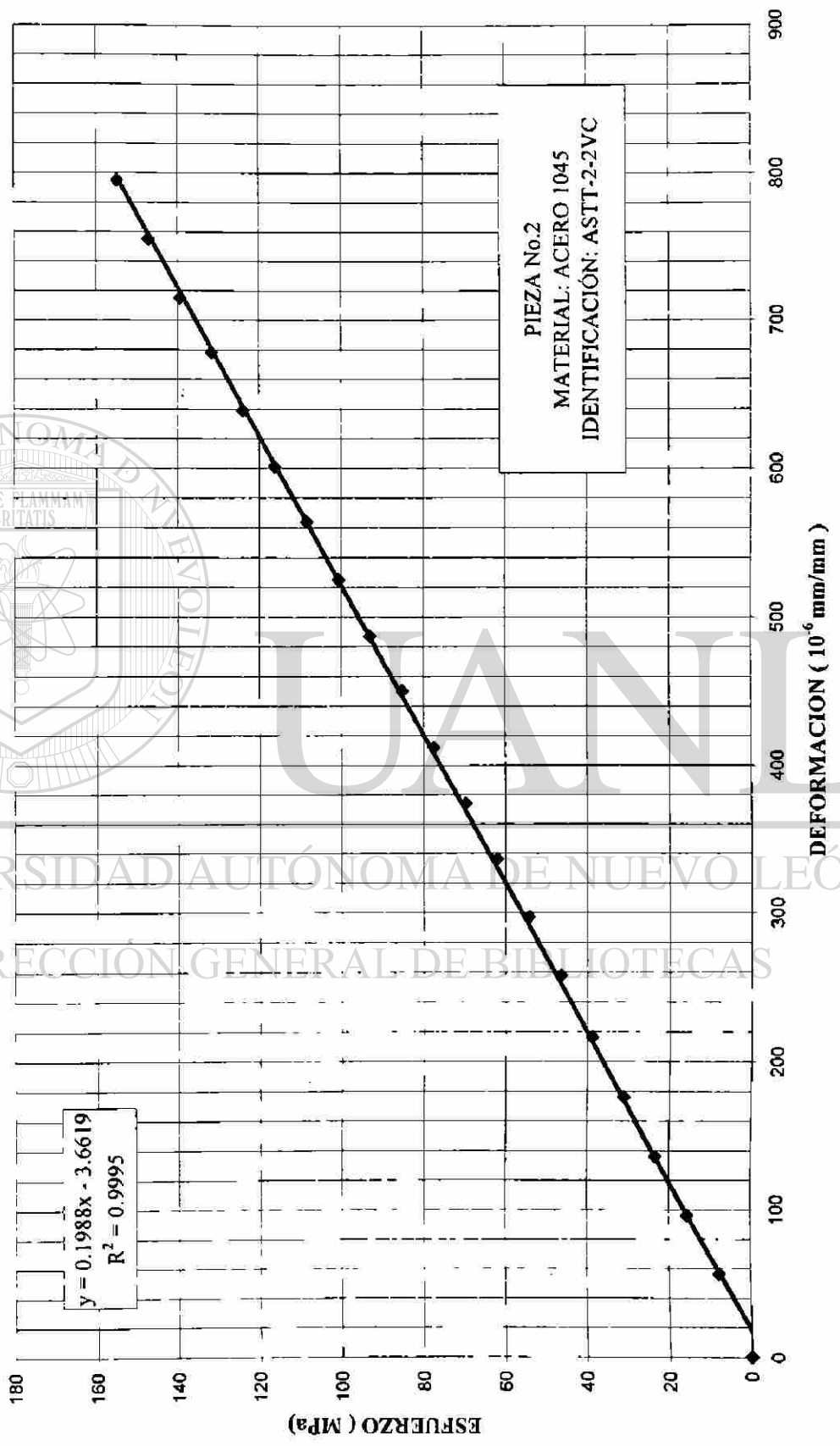
MODULO ELASTICO : 198.8 GPa.

SX²= 4661640

X'²= 166386.2948

$E = (S(XY) - KX'Y') / (SX^2 - KX'^2)$ 0.19882775 GPa

ENSAYO ESTÁTICO DE TENSION



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

BITACORA DEL ENSAYO

PIEZA No. 1 FECHA: 1/12/99
 No. DE LECTURA: 2 MEDIDOR: VERTICAL
 IDENTIFICACION: GRADO 1 ROJO
 CONDICION: BASICO
 MATERIAL: ACERO AL SILICIO CON 0.007 %
 ENSAYO: ESTATICO DE TENSION
 ESTANDAR: ASTM E-8
 VEL DEL ENSAYO: 0.2 mm/min. VEL DEL ENSAYO: 1.5 mm/min.
 AREA: 0.193610721 in.² 124.9099 mm.²

Carga kg.	X Deformacion Unitaria mm/mm	Y Esfuerzo MPa	XY	X ²
0	0	0	0	0
200	43	15	664.7708335	1849
400	112	31	3462.992249	12544
600	191	46	8858.457851	36481
800	267	62	16511.05233	71289
1000	346	77	26745.43121	119716
1200	424	93	39329.69768	179776
1400	502	108	54325.6909	252004
1600	565	124	69878.23645	319225
1800	657	139	91413.7195	431649
2000	735	155	113629.4332	540225
2200	811	170	137916.7583	657721
			562736.2404	2622479

DATOS PARA EL CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD (O DE YOUNG)

SXY= **562736.2404**

K= 12

X'= 387.75

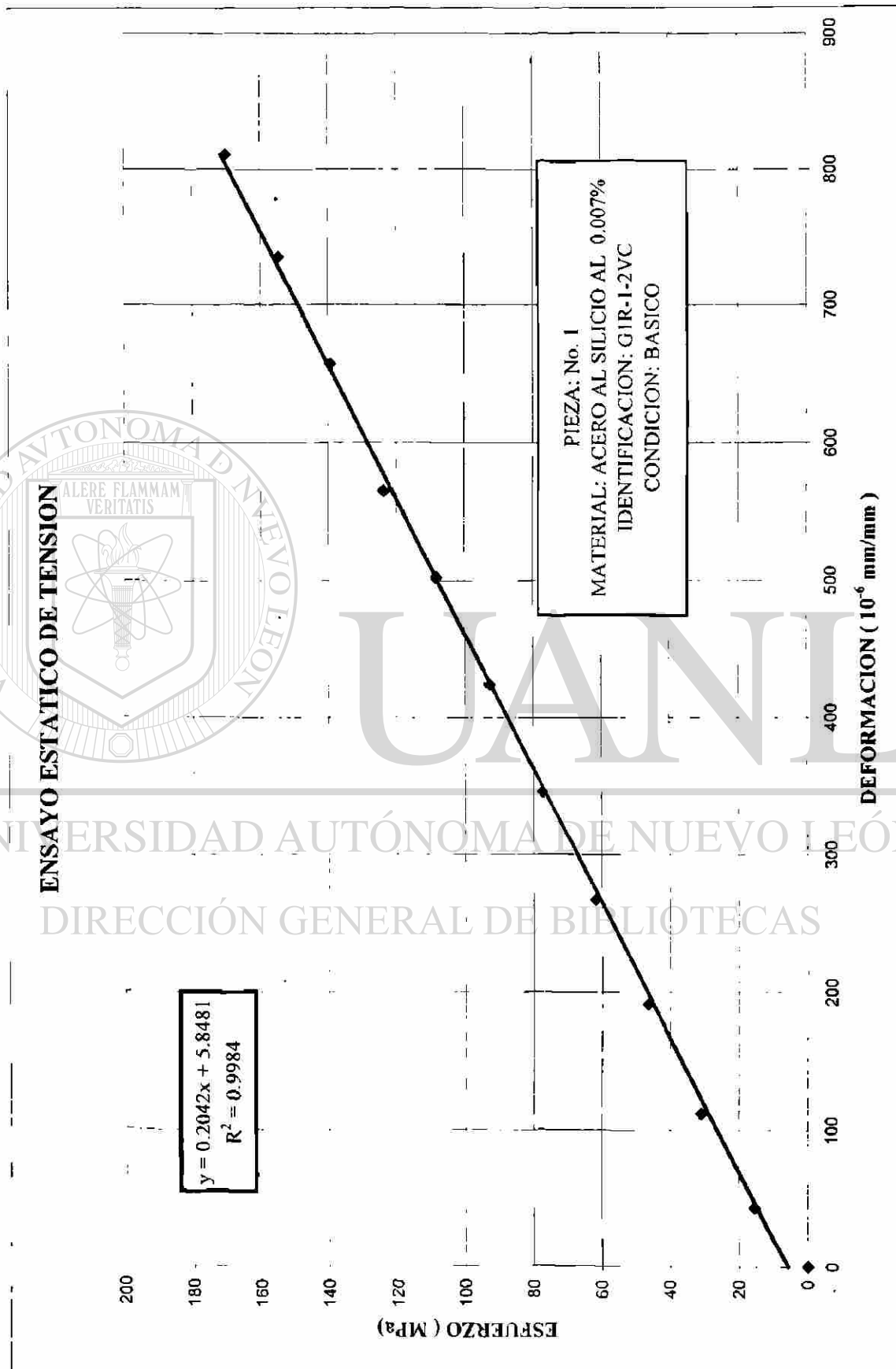
Y'= 85.02882754

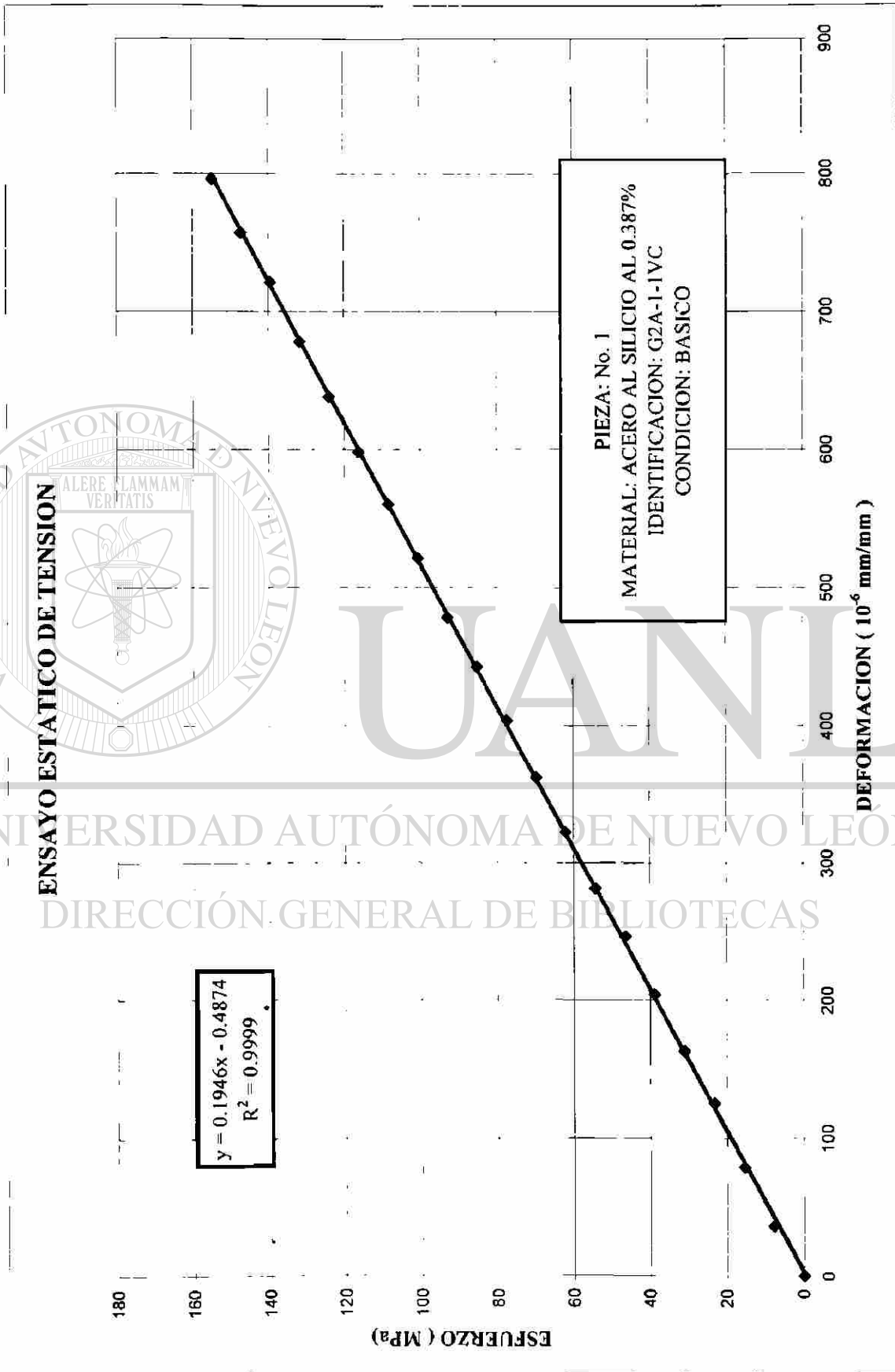
MODULO DE ELASTICIDAD: 204.2 GPa

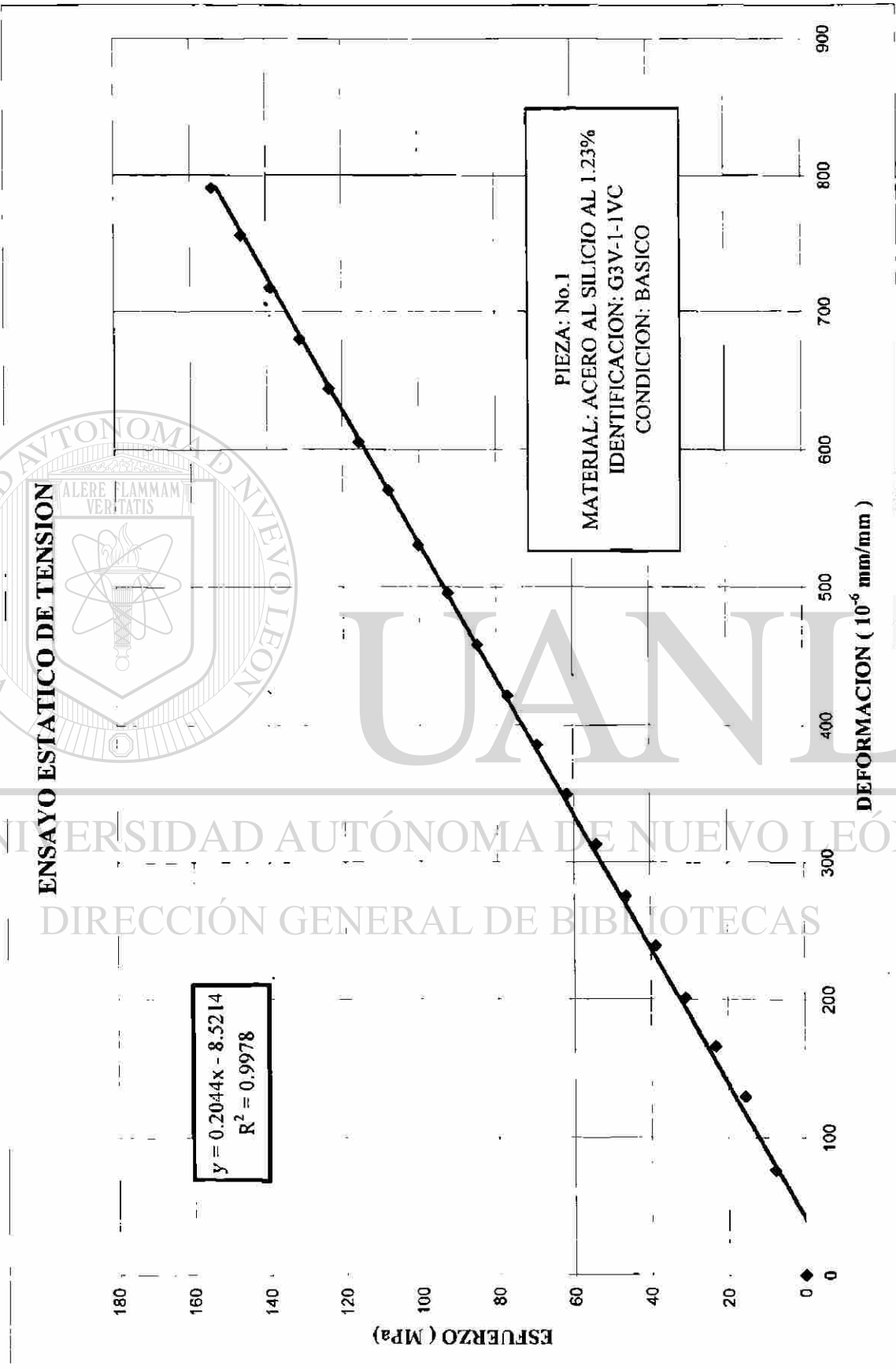
SX²= **2622479**

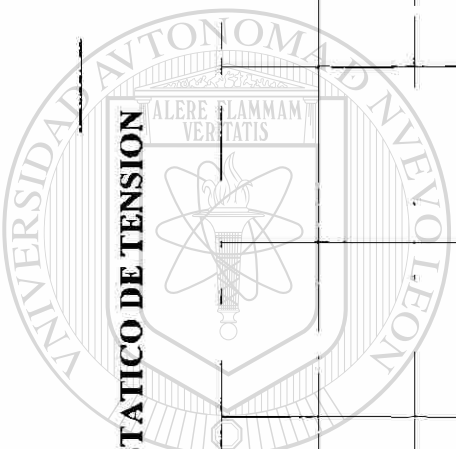
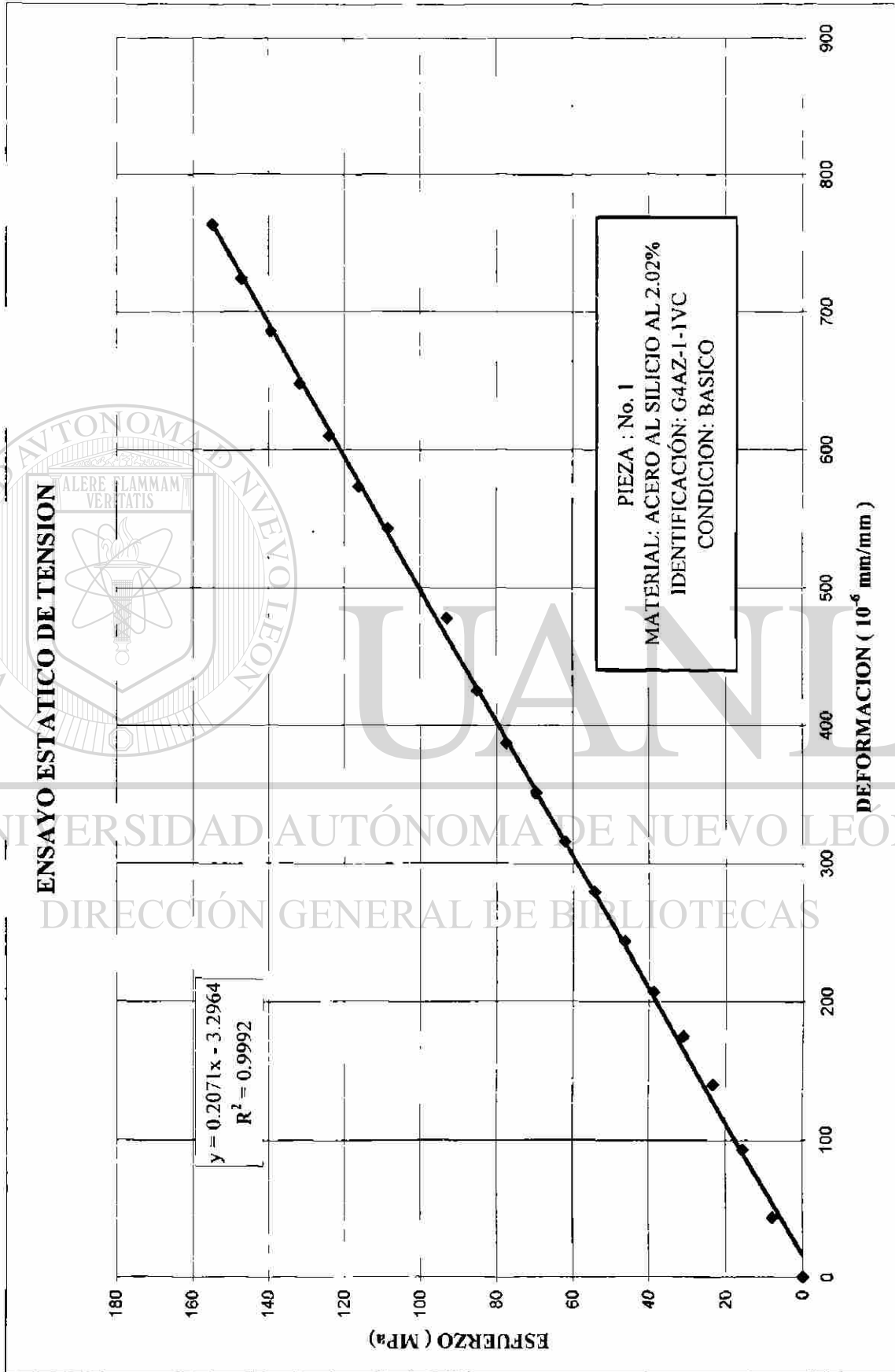
X'²= 150350.0625

E=(S(XY)-KX'Y')/(SX²-KX'²) **0.204205728 GPa**









UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



BITACORA DEL ENSAYO

PIEZA No. 1 FECHA: 1/14/99
 No. DE LECTURA: 1 MEDIDOR: VERTICAL
 IDENTIFICACION: G5 BLANCO
 CONDICION: BASICO
 MATERIAL: ACERO AL SILICIO CON 0.656 %
 ENSAYO: ESTATICO DE TENSION
 ESTANDARES: ASTM E-8 E-111 E-143
 VEL DEL ENSAYO: 0.2 mm/min. VEL DEL ENSAYO: 1.5 mm/min.
 AREA: 0.19635 in.² 126.6772 mm.²

Carga	X Deformacion Unitaria mm/mm	Y Esfuerzo MPa	XY	X ²
0	0	0	0	0
100	45	8	348.4841787	2025
200	87	15	1347.472158	7569
300	137	23	3182.822165	18769
400	182	31	5637.699602	33124
500	222	39	8595.943074	49284
600	265	46	12313.10765	70225
700	306	54	16587.84691	93636
800	348	62	21559.55452	121104
900	389	70	27112.0691	151321
1000	430	77	33299.5993	184900
1100	469	85	39951.77506	219961
1200	508	93	47207.99007	258064
1300	548	101	55168.91753	300304
1400	586	108	63532.53782	343396
1500	629	116	73065.51613	395641
1600	663	124	82149.33706	439569
1700	699	132	92023.05545	488601
1800	740	139	103151.3169	547600
1900	788	147	115944.5583	620944
2000	818	155	126693.3592	669124
			928872.9621	5015161

DATOS PARA EL CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD (O DE YOUNG)

SXY= 928872.9621

K= 21

X'= 421.8571429

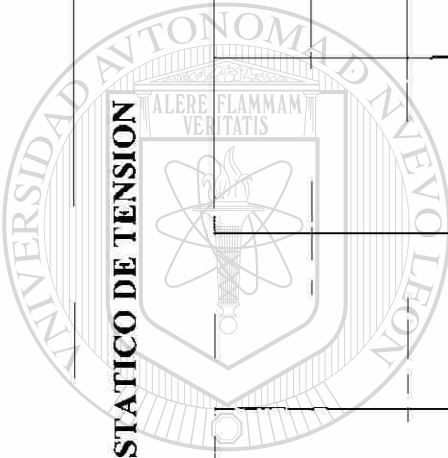
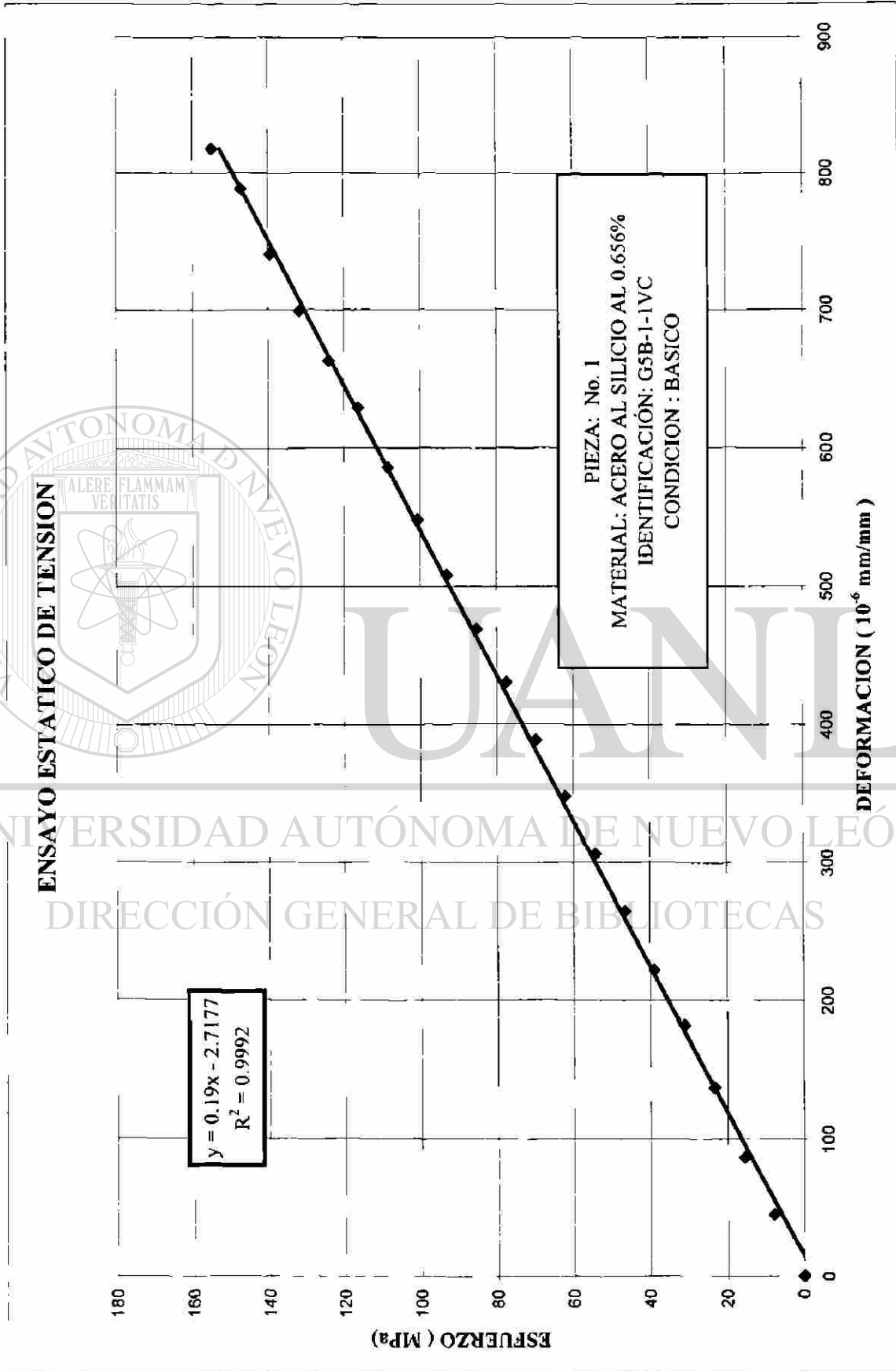
Y'= 77.4409286

MODULO ELASTICO: 190.0 GPa

SX²= 5015161

X'²= 177963.449

E=(S(XY)-KX'Y')/(SX²-KX'²) 0.190013574 GPa



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

®

BITACORA DEL ENSAYO

PIEZA No. 3 FECHA : 1/14/99
 No. DE LECTURA: 1 MEDIDOR: VERTICAL
 IDENTIFICACION : G6 GRIS
 CONDICION: BASICO
 MATERIAL: ACERO AL SILICIO CON 0.386 %
 ENSAYO: ESTATICO DE TENSION
 ESTANDARES: ASTM E-8 E-111 E-143
 VEL DEL ENSAYO : 0.2 mm/min. VEL DEL ENSAYO : 1.5 mm/min.
 AREA: 0.19635 in.² 126.6772 mm.²

	X	Y	XY	X ²
Carga	Deformacion	Esfuerzo		
kg.	Unitaria mm/mm	MPa		
0	0	0	0	0
100	38	8	294.2755287	1444
200	74	15	1146.125743	5476
300	120	23	2787.873429	14400
400	160	31	4956.21943	25600
500	200	39	7744.09286	40000
600	236	46	10965.63549	55696
700	274	54	14853.1701	75076
800	308	62	19081.44481	94864
900	342	70	23836.31782	116964
1000	375	77	29040.34822	140625
1100	408	85	34755.48875	166464
1200	445	93	41353.45587	198025
1300	479	101	48222.46624	229441
1400	511	108	55401.24032	261121
1500	548	116	63656.44331	300304
1600	585	124	72484.70917	342225
1700	622	132	81886.0379	386884
1800	658	139	91721.03583	432964
1900	692	147	101819.3329	478864
2000	730	155	113063.7558	532900
			819069.4695	3899337

DATOS PARA EL CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD (O DE YOUNG)

SXY= **819069.4695**

K= 21

X'= 371.6666667

Y'= 77.4409286

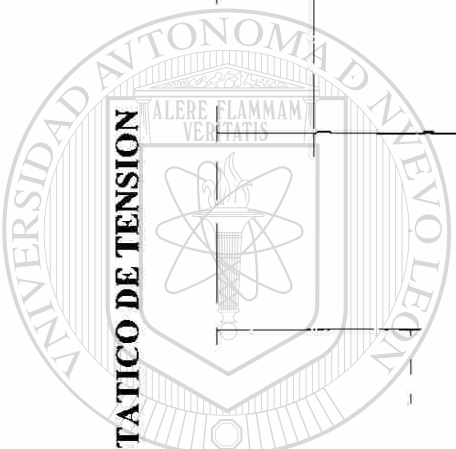
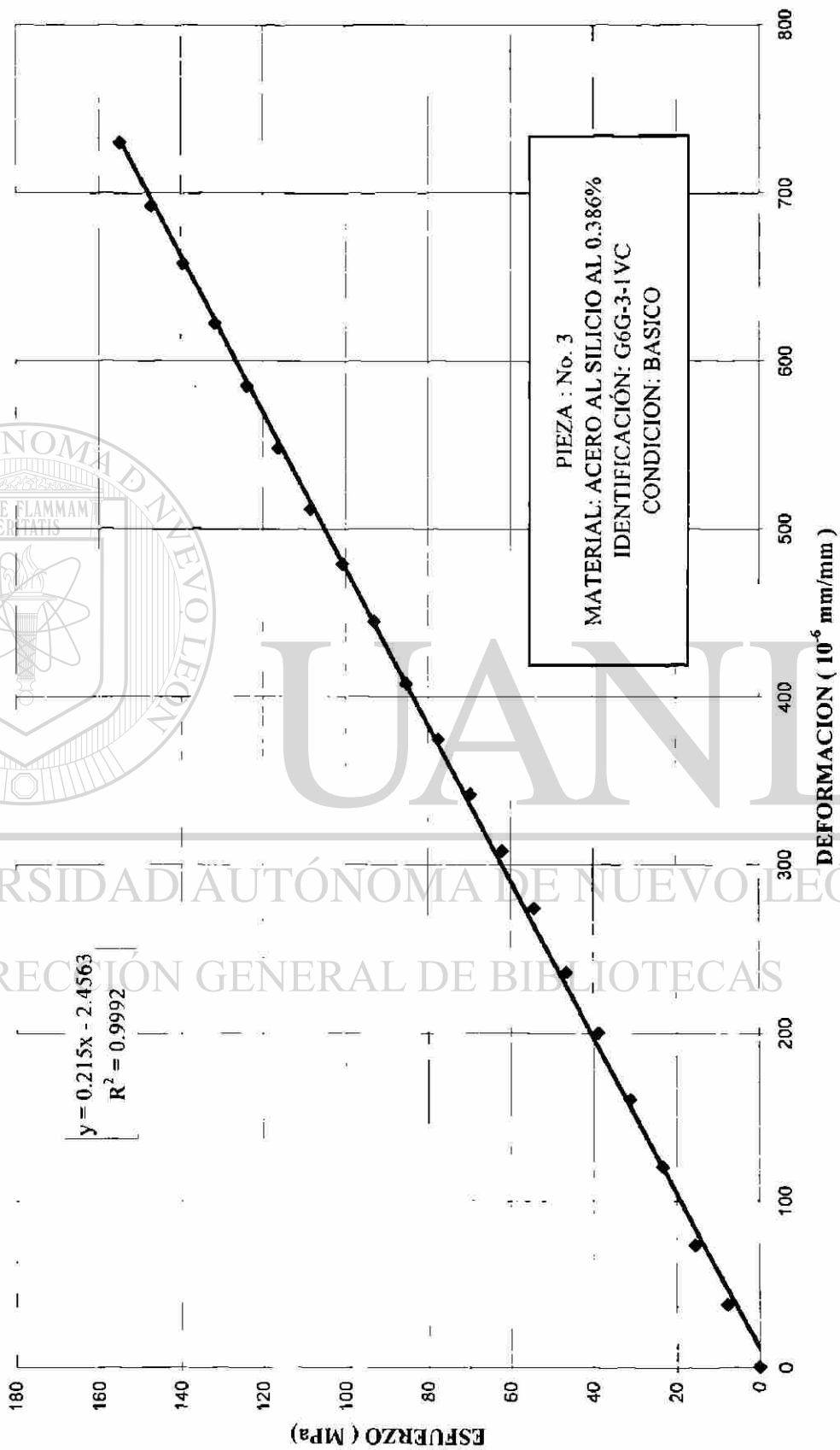
MODULO ELASTICO: 214.9 GPa

SX²= **3899337**

X'²= 138136.1111

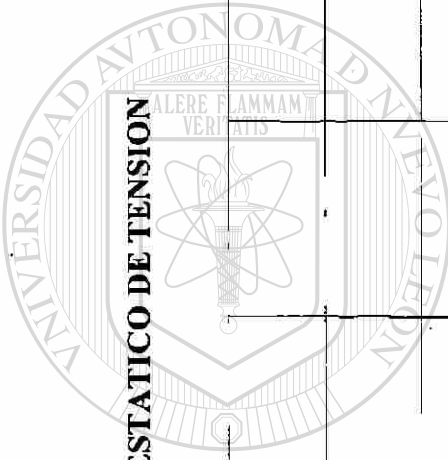
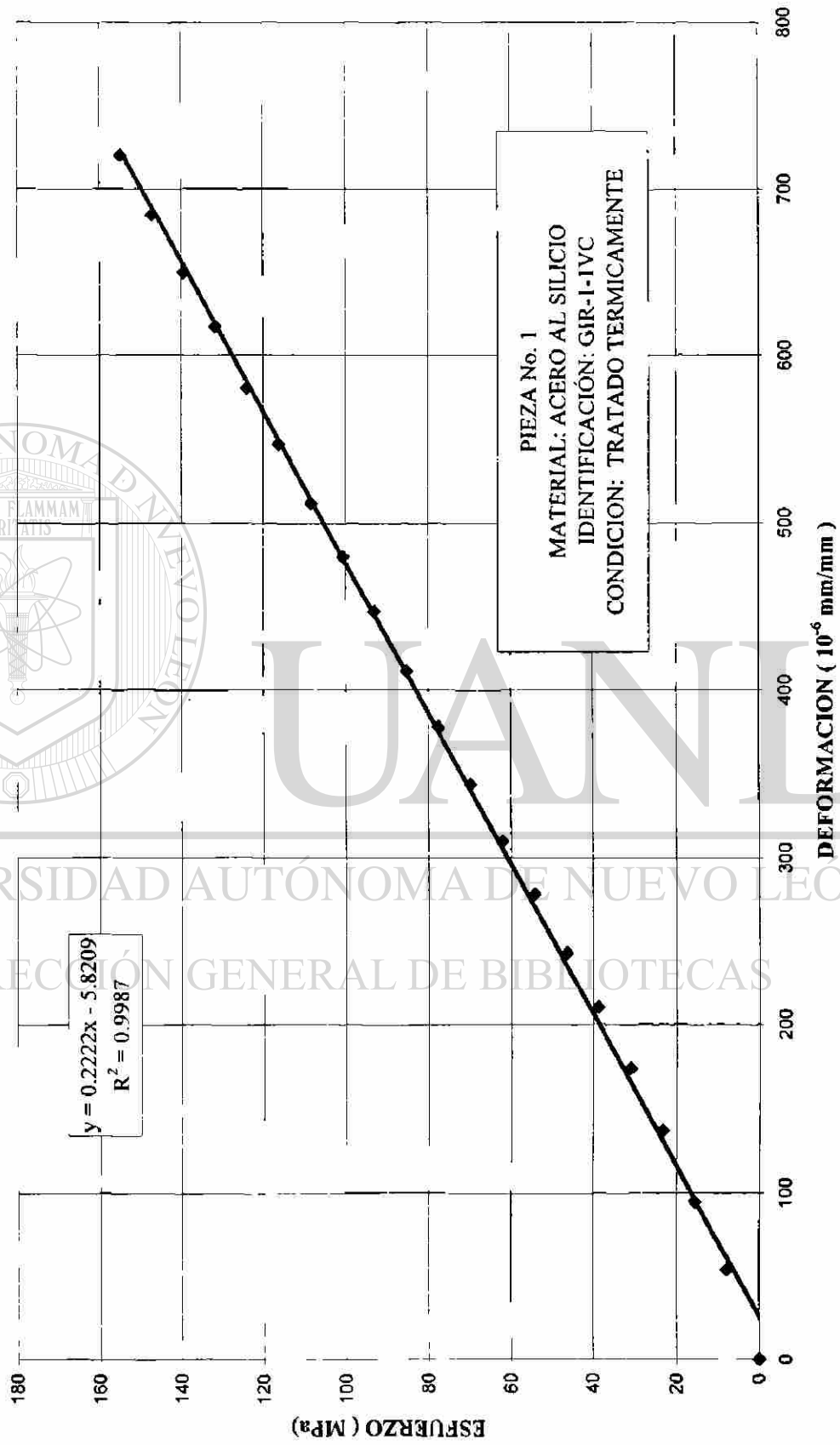
E=(S(XY)-KX'Y')/(SX²-KX'²) **0.214970063 GPa**

ENSAYO ESTÁTICO DE TENSION



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

ENSAYO ESTÁTICO DE TENSION



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
 DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



BITACORA DEL ENSAYO

PIEZA No. 1
 No. DE LECTURA: 1 MEDIDOR: VERTICAL
 IDENTIFICACION : G2 AMARILLO
 CONDICION: TEMPLADO INTERCRITICO 875.2 °C
 MATERIAL: ACERO AL SILICIO CON 0.387 %
 ENSAYO: ESTATICO DE TENSION
 ESTANDARES: ASTM E-8 E-111 E-143
 VEL DEL ENSAYO : 0.2 mm/min.
 VEL DEL ENSAYO : 1.5 mm/min.
 AREA: 0.19635 in.² 126.6772 mm.²

Carga kg.	X Deformacion Unitaria mm/mm	Y Esfuerzo MPa	XY	X ²
0	0	0	0	0
100	51	8	394.9487358	2601
200	96	15	1486.865829	9216
300	140	23	3252.519001	19600
400	180	31	5575.746859	32400
500	225	39	8712.104467	50625
600	254	46	11801.99752	64516
700	309	54	16750.47286	95481
800	348	62	21559.55452	121104
900	392	70	27321.15961	153664
1000	433	77	33531.92208	187489
1100	469	85	39951.77506	219961
1200	506	93	47022.13184	256036
1300	542	101	54564.87829	293764
1400	582	108	63098.86862	338724
1500	617	116	71671.57942	380689
1600	650	124	80600	422500
1700	682	132	89785.01261	465124
1800	717	139	99945.26245	514089
1900	756	147	111236.1498	571536
2000	791	155	122511.549	625681
			910774.4986	4824800

DATOS PARA EL CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD (O DE YOUNG)

SXY= 910774.4986

K= 21

X' = 416.1904762

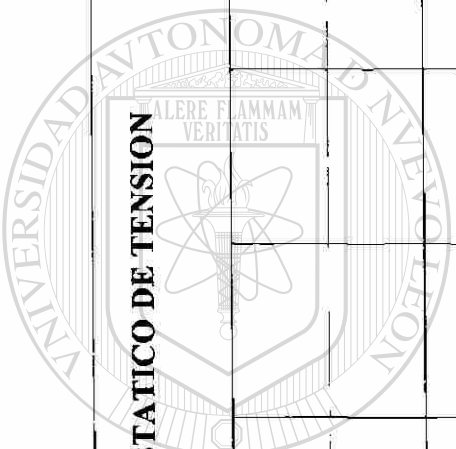
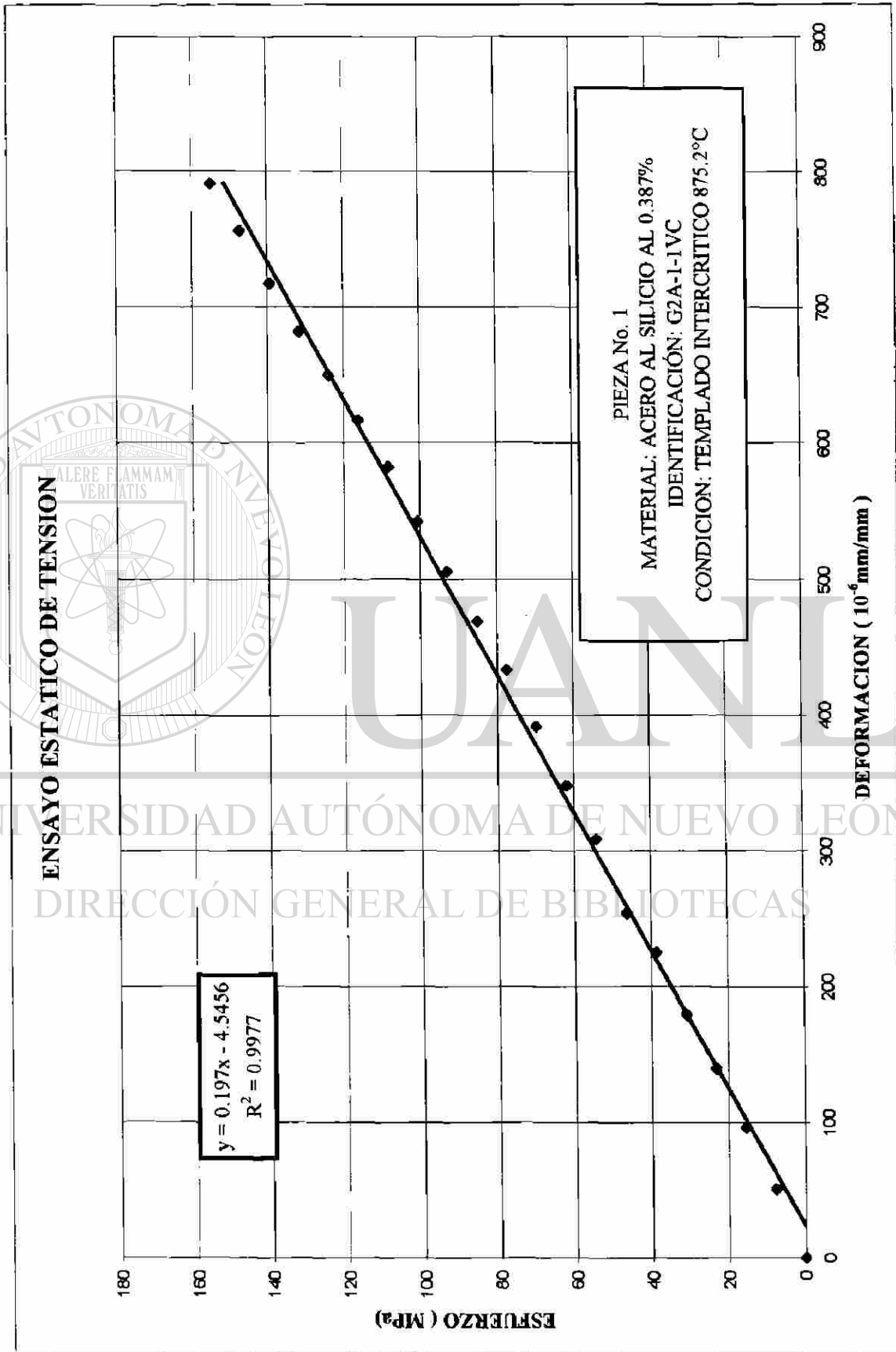
Y' = 77.44542927

SX² = 4824800

X'² = 173214.5125

E=(S(XY)-KX'Y')/(SX²-KX'²) 0.197003609 GPa

MODULO ELASTICO: 197 GPa



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

®

BITACORA DEL ENSAYO

PIEZA No. 1 FECHA : 1/11/99
 No. DE LECTURA: 1 MEDIDOR: VERTICAL
 IDENTIFICACION : G3 VERDE
 CONDICION: TEMPLADO INTERCRITICO: 905.2°C
 MATERIAL: ACERO AL SILICIO CON 1.23%
 ENSAYO: ESTATICO DE TENSION
 ESTANDARES: ASTM E-8 E-111 E-143
 VEL DEL ENSAYO : 0.2 mm/min.
 VEL DEL ENSAYO : 1.5 mm/min.
 AREA: 0.19635 in.² 126.6772 mm.²

Carga	X	Y	XY	X ²
kg.	Deformacion Unitaria mm/mm	Esfuerzo MPa		
0	0	0	0	0
100	63	8	487.8778502	3969
200	108	15	1672.724058	11664
300	149	23	3461.609508	22201
400	194	31	6009.416059	37636
500	237	39	9176.750039	56169
600	278	46	12917.14689	77284
700	319	54	17292.55936	101761
800	359	62	22241.03469	128881
900	400	70	27878.73429	160000
1000	441	77	34151.44951	194481
1100	483	85	41144.36536	233289
1200	526	93	48880.71413	276676
1300	564	101	56779.68885	318096
1400	604	108	65484.04922	364816
1500	644	116	74807.93702	414736
1600	686	124	85064	470596
1700	731	132	96235.84197	534361
1800	769	139	107193.7334	591361
1900	815	147	119917.2779	664225
2000	860	155	133198.3972	739600
			963995.3073	5401802

DATOS PARA EL CALCULO DEL MODULO DE ELASTICIDAD (O DE YOUNG)

SXY= 963995.3073

K= 21

X̄= 439.5238095

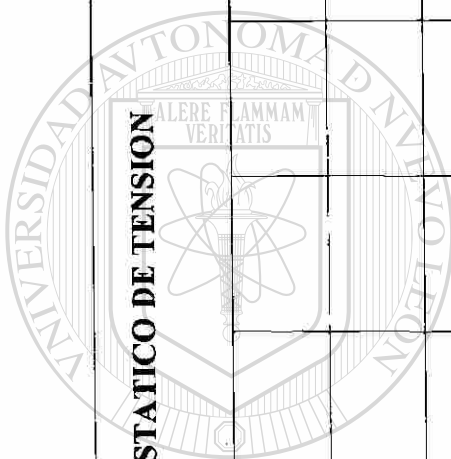
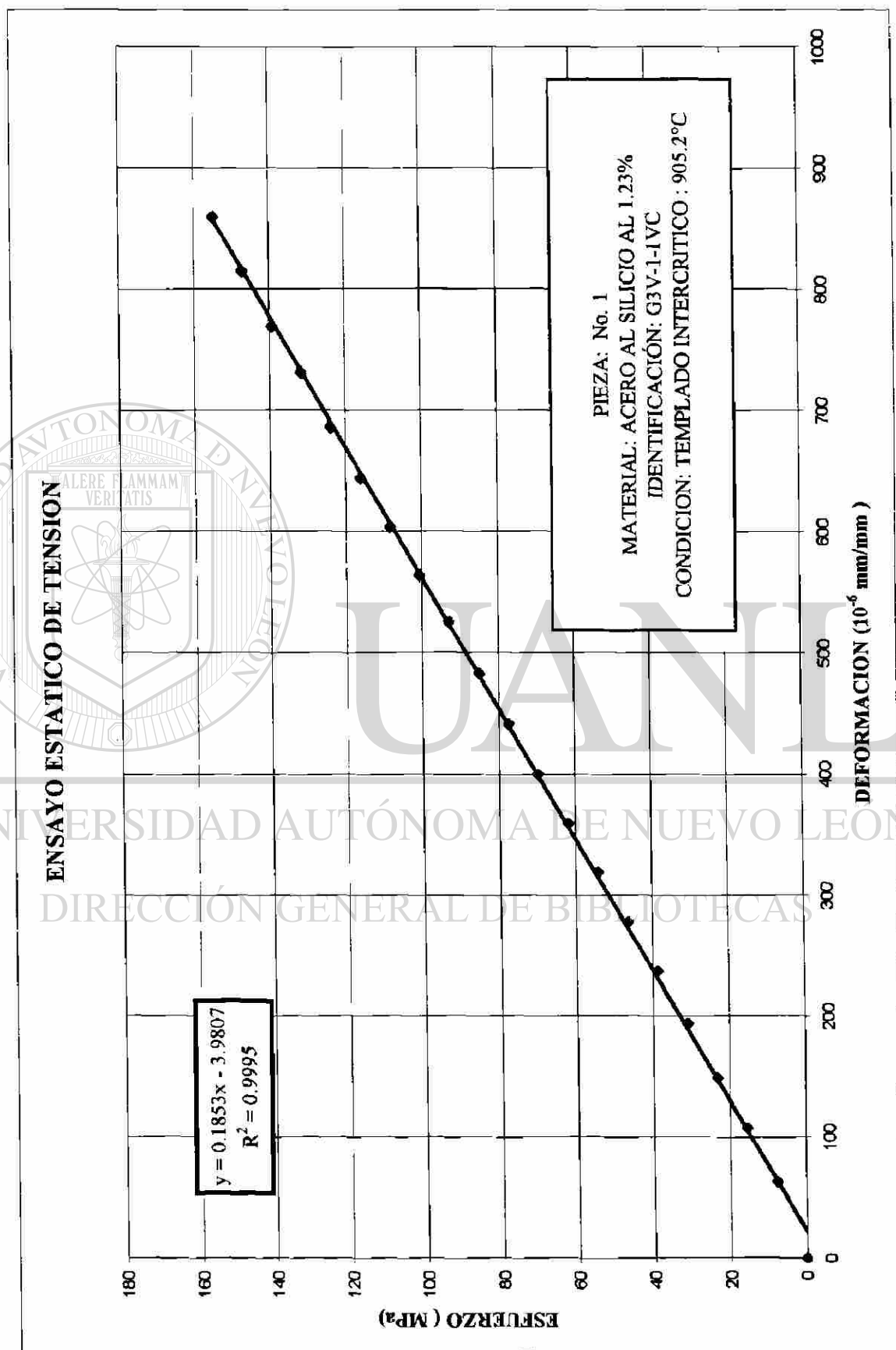
Ȳ= 77.44542927

MODULO ELASTICO: 185.2 GPa

SX²= 5401802

X̄²= 193181.1791

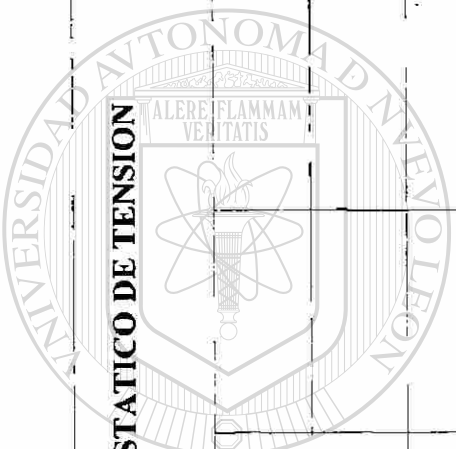
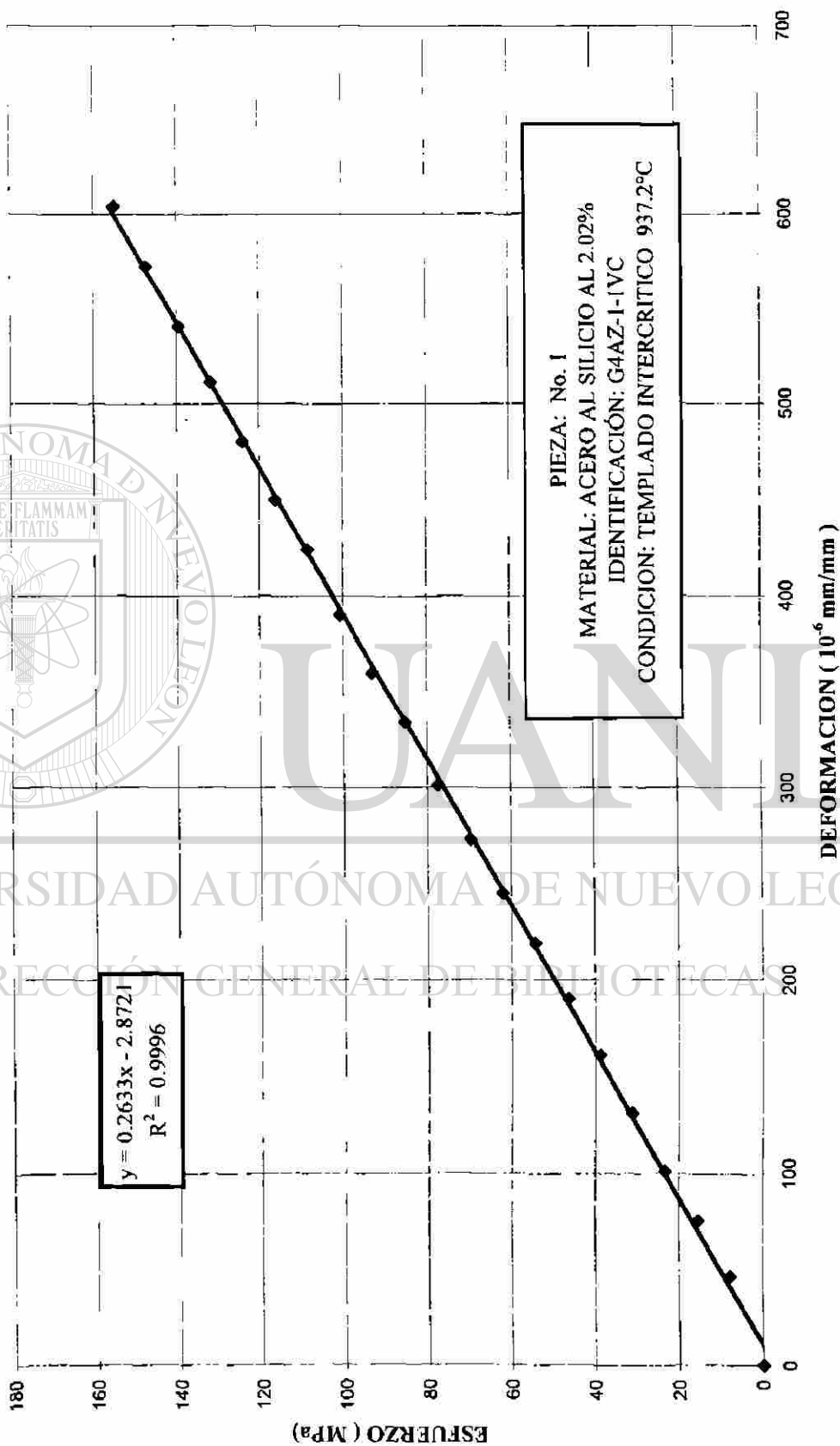
E=(S(XY)-KX̄Ȳ)/(SX²-KX̄²) 0.185259856 GPa



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

®

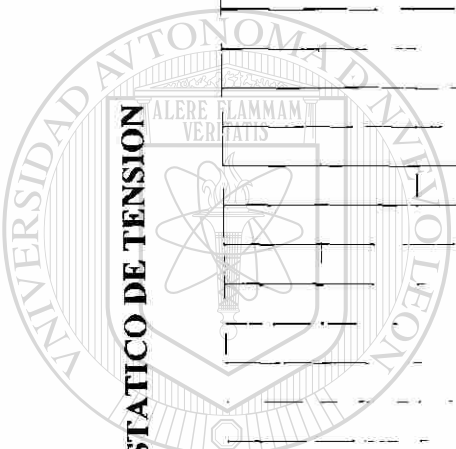
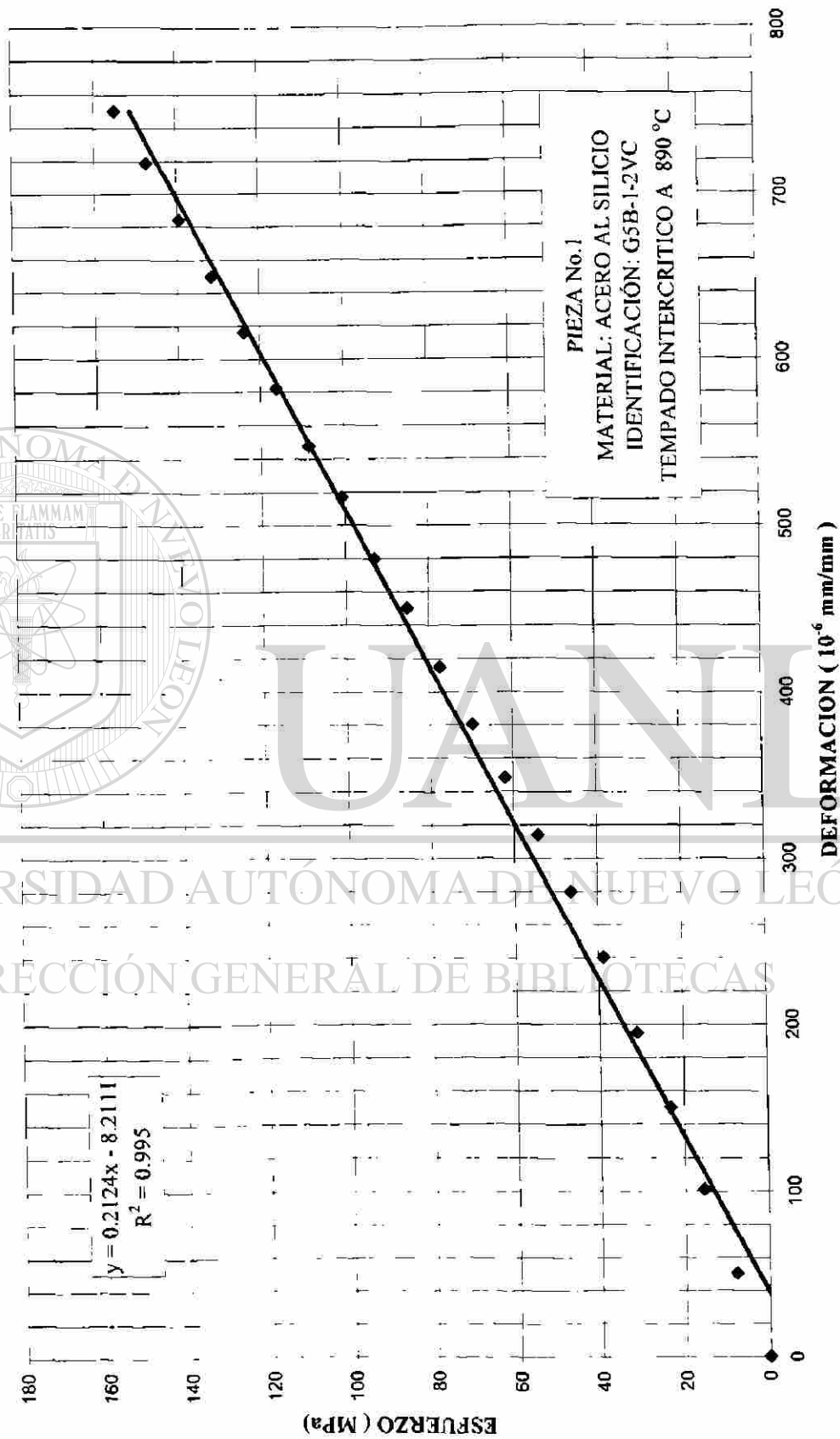
ENSAYO ESTÁTICO DE TENSION



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
 DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



ENSAYO ESTÁTICO DE TENSION



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

BITACORA DEL ENSAYO

PIEZA No. 1 FECHA : 1/11/99
 No. DE LECTURA: 1 MEDIDOR: VERTICAL
 IDENTIFICACION : G6 GRIS
 TEMPLADO INTERCRITICO: 872.7 °C
 MATERIAL: ACERO AL SILICIO CON 0.383%

ESTANDAR ASTM E-8 E-143 E-111
 VEL DEL ENSAYO : 0.2 mm/min. VEL DEL ENSAYO : 1.5 mm/min.
 AREA: 0.19635 in.² 126.6772 mm.²

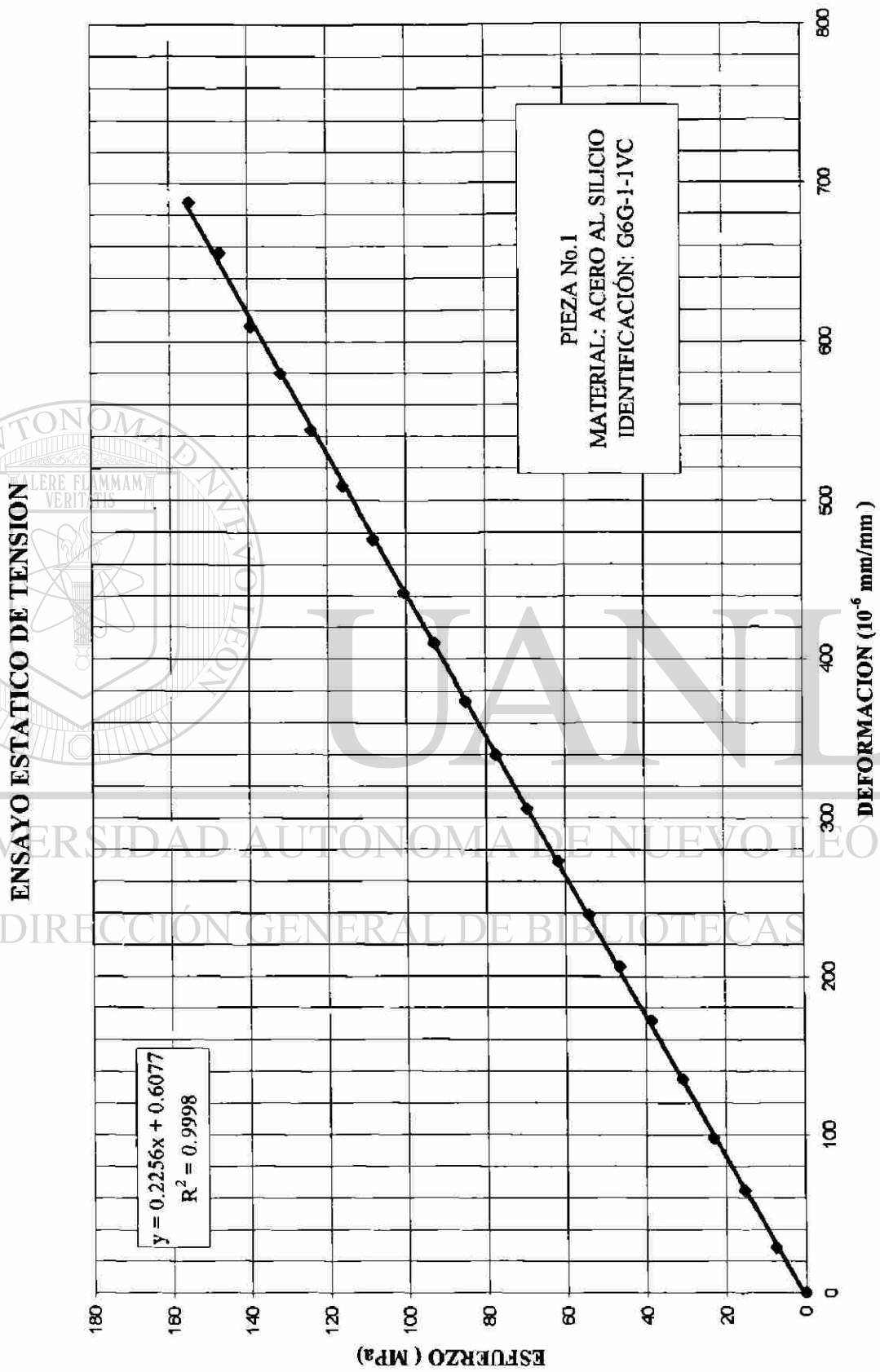
carga kg.	X deformacion unitaria mm/mm	Y esfuerzo MPa	XY	X ²
0	0	0	0	0
100	29	8	224.5786929	841
200	65	15	1006.732072	4225
300	98	23	2276.763301	9604
400	135	31	4181.810144	18225
500	172	39	6659.919859	29584
600	206	46	9571.698775	42436
700	239	54	12955.86735	57121
800	273	62	16913.09881	74529
900	306	70	21327.23174	93636
1000	340	77	26329.91572	115600
1100	374	85	31859.19802	139876
1200	410	93	38100.93687	168100
1300	442	101	44497.55757	195364
1400	476	108	51606.63482	226576
1500	509	116	59126.14898	259081
1600	544	124	67404.58425	295936
1700	580	132	76356.7556	336400
1800	610	139	85030.1396	372100
1900	656	147	96522.3734	430336
2000	688	155	106558.7177	473344

DATOS PARA EL CALCULO DEL MODULO DE YOUNG

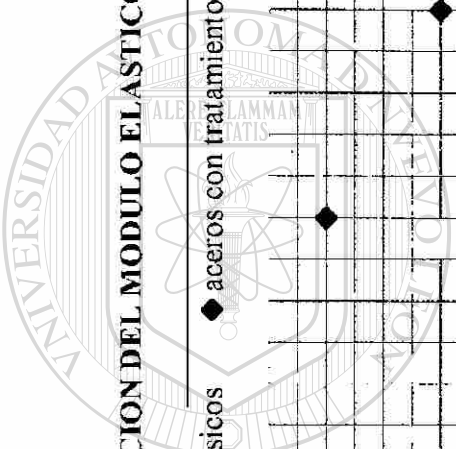
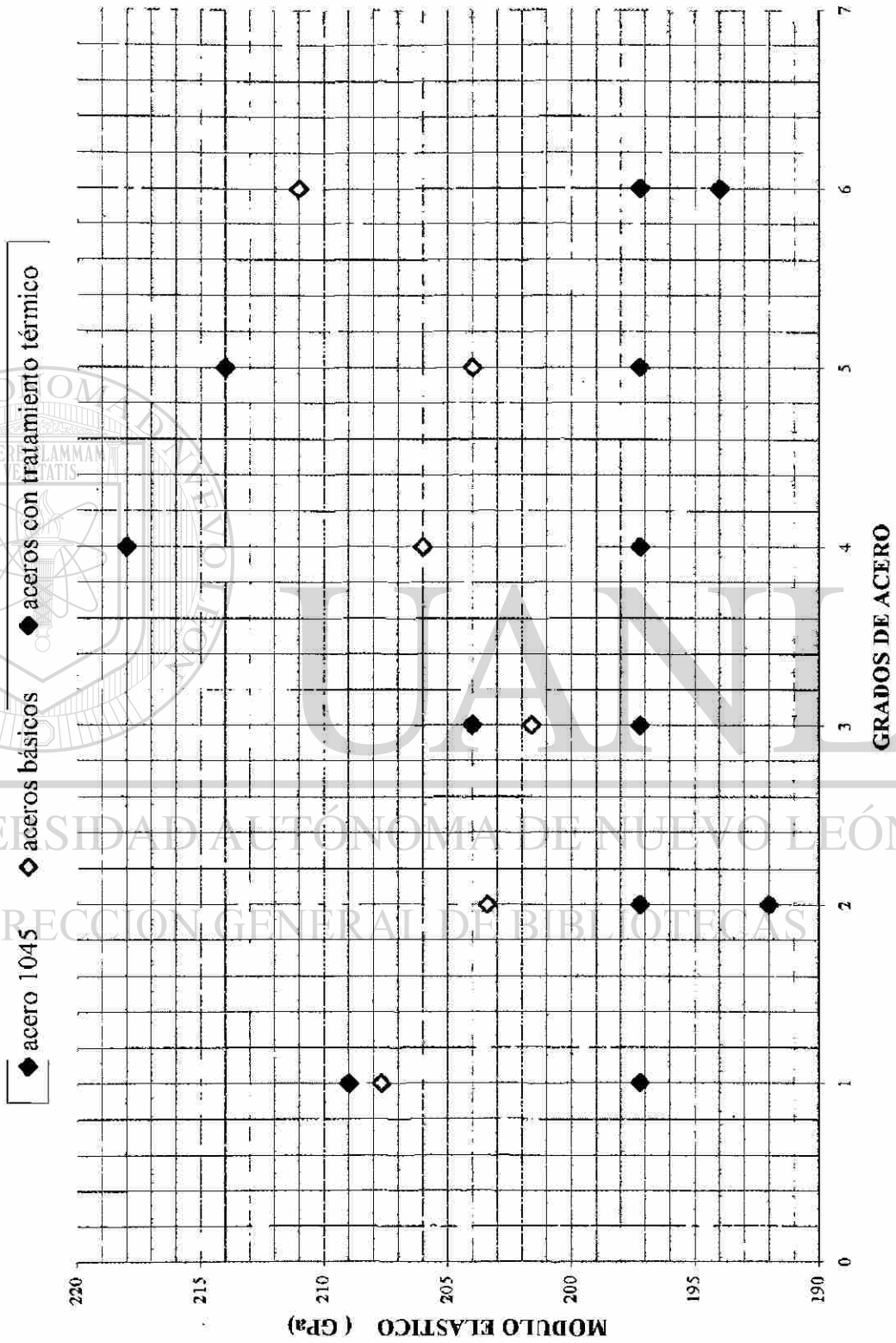
SXY= 758510.6633
 K= 21
 X'= 340.5714286
 Y'= 77.4409286
 SX²= 3342914
 X'²= 115988.898

MODULO ELASTICO : 225.60 GPa.

$E = (S(XY) - KX'Y') / (SX^2 - KX'^2)$ **0.225600823 GPa**



APENDICE B VARIACION DEL MODULO ELASTICO

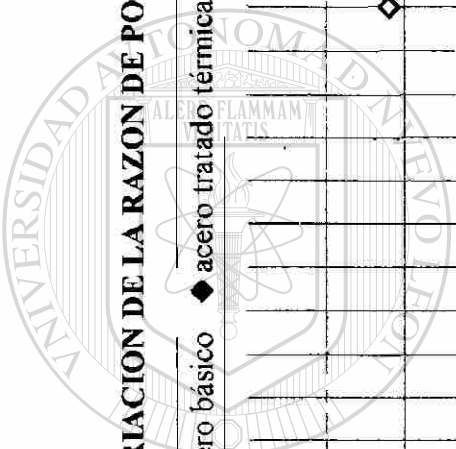
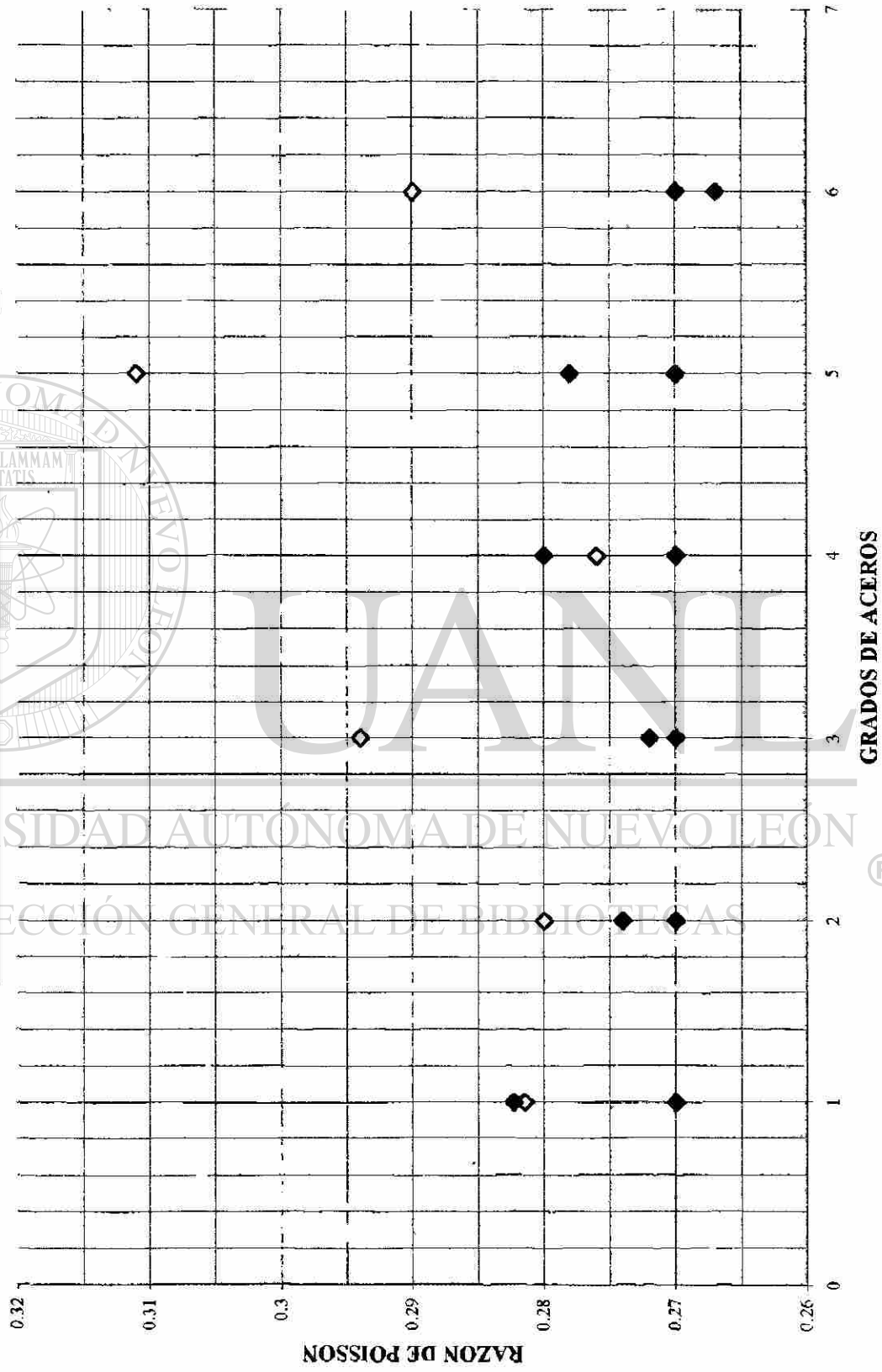


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
DIRECCION GENERAL DE BIBLIOTECAS



APENDICE B VARIACION DE LA RAZON DE POISSON

◆ acero 1045 ◆ acero básico ◆ acero tratado térmicamente



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
 DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

CAPITULO 7

CONCLUSIONES

7.1.- Conclusiones

El módulo elástico y la razón de Poisson de los aceros al silicio básico y tratados térmicamente tuvieron una variación significativa con respecto a los valores promedio del acero 1045 según los resultados estadísticos obtenidos del análisis de varianza y la prueba “t” student, lo cual indica que la cantidad de silicio y el tratamiento térmico intercrítico tuvieron alguna influencia en estas constantes, por lo que se realizó el análisis estadístico de correlación múltiple que relaciona el valor de las constantes elásticas, el análisis químico y el tratamiento térmico el cual no presentó resultados significativos.

Para tener la certeza de esta aseveración es necesario realizar otras investigaciones como son las metalográficas que arrojarían evidencias suficientes a través del análisis de microscopía para determinar las posibles causas de la variación registrada en el diseño experimental sobre dichas constantes elásticas para los aceros duales.

El comportamiento de los medidores eléctricos de deformación fue eficiente en su sensibilidad al cambio de longitud en cada uno de los especímenes a los que fueron adheridos, debido a que se aplicó una carga elástica de trabajo dentro del intervalo de operación de los mismos.

Las gráficas esfuerzo – deformación reales experimentaron un comportamiento casi lineal, ajustándose matemáticamente por medio de una regresión lineal usando el método de mínimos cuadrados recomendado por la ASTM E111-82, comprobando que la pendiente de la recta de regresión corresponde a la constante del módulo de elasticidad.

En la dureza Rockwell se concluyó que con el tratamiento intercrítico realizado a la familia de los aceros al silicio a excepción del grado G2 los grados G1, G3, G4, G5, G6 tuvieron un incremento de dureza con respecto a la dureza mínima según tabla de la ASTM E-18 por lo que el tratamiento logró su objetivo.

Cabe mencionar, que en la investigación de estos aceros al silicio doble fase ferrítico-martensíticos se aportaron estas constantes elásticas como un complemento al desarrollo tecnológico que viene realizándose desde 1993, por Gareth Thomas de la Universidad de California, USA, por el Dr. Rafael Colás Ortiz, Dra. Patricia Rodríguez, Dr. Alberto Pérez Unsuetu y MC. Carlos Lizcano Zulaica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, desde 1997 a la fecha.

BIBLIOGRAFIA

1.- Gareth Thomas , Paulo Monteiro, David Trejo.

Mechanical properties and corrosion
suseptibility of dual phase steel in concrete

Abstract,1993

2.- Gareth Thomas

Investigation of low carbon, strong,dual phase
ferritic- martensitic steel for reinforcement in concrete an
cold forming applications.

Propuesta, 1994

3.- Gareth Thomas, University of California U.S.A.

Dual phase steels, reinforcementfor concrete

agosto,1995

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

4.- E. A., Phillips, A. J. Durelli, C. H. Tsao

Analysis of stress and strain

De. Mc. Graw Hill. 1990

5.- Luis Ortiz Berrocal

Elasticidad

De. Mc. Graw Hill, 1998

6.- Standards A.S.T.M.

Metals test mechanical testing and

Analytical procedures

Volumen 03.01, 1994

7.- Standards A.S.T.M.

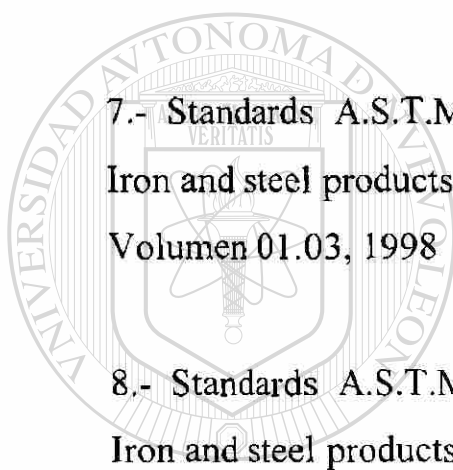
Iron and steel products

Volumen 01.03, 1998

8.- Standards A.S.T.M.

Iron and steel products

Volumen 01.02, 1998



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ref. 1 Mechanical properties and corrosión
suseptibility of dual phase steel in concrete

Gareth Thomas , Paulo Monteiro, David Trejo.

Abstract,1993

Ref. 2 Investigation of low carbon, strong, dual phase
ferritic- martensitic steel for reinforcement in concrete an
cold forming applications.

Gareth Thomas , Propuesta, 1994

Ref. 3 Dual phase steels, reinforcementfor concrete

Gareth Thomas , University of California U.S.A.

agosto,1995

Ref. 4 A. J. Durelli

E. A., Phillips

C.H. Tsao

Analysis of stress and strain

De. Mc. Graw Hill. 1990

Ref. 5 Luis Ortiz Berrocal

Elasticidad

De. Mc. Graw Hill, 1998

Ref. 6 A.S.T.M. Standards

Metals Test Mechanical Testing And

Analytical Procedures

Volumen 03.01, 1994

Ref. 7 A.S.T.M. Standards

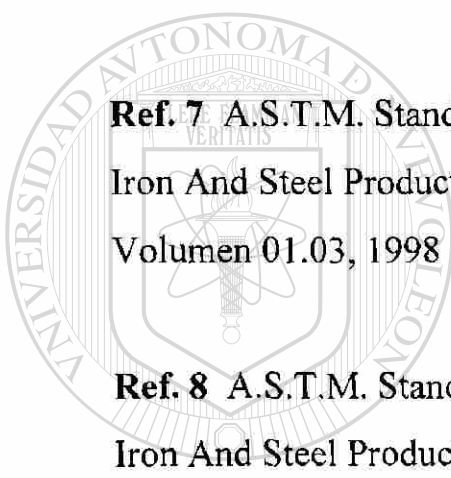
Iron And Steel Products

Volumen 01.03, 1998

Ref. 8 A.S.T.M. Standards

Iron And Steel Products

Volumen 01.02, 1998



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN



DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

LISTADO DE TABLAS Y GRÁFICAS

CAPITULO 2 Página

Tabla 2.1 Aceros de bajo carbono y baja aleación 18

CAPITULO 3

Tabla 3.1 Valores de módulo elástico axial (E), a corte (G) y razón de poisson (V) promedios. 32

CAPITULO 5

Tabla 5.1 Selección de temperaturas para el tratamiento térmico. 42

CAPITULO 6

Tabla 6.1 Composición química de las barras de acero al silicio. 50 [®]

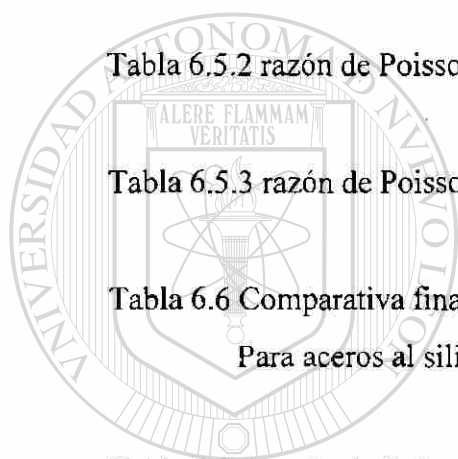
Tabla 6.2 Constantes de elasticidad para aceros al silicio básicos 51

Tabla 6.3 Comparativa final. Valores de f estadística de módulo elástico para aceros básicos 53

Tabla 6.3.1 Módulo elástico para aceros al silicio básicos 54

Tabla 6.3.2 Módulo elástico para aceros al silicio básicos 55

Tabla 6.4 Comparativa final. Valores de f estadística de módulo elástico para aceros al silicio tratados térmicamente	56
Tabla 6.4.1 Módulo elástico para aceros al silicio tratados térmicamente	57
Tabla 6.4.2 Módulo elástico para aceros al silicio tratados térmicamente	58
Tabla 6.5 Comparativa final. Valores de f estadística de razón de Poisson	59
Tabla 6.5.1 razón de Poisson para aceros al silicio básicos	60
Tabla 6.5.2 razón de Poisson para aceros al silicio básicos	61
Tabla 6.5.3 razón de Poisson para aceros al silicio básicos	62
Tabla 6.6 Comparativa final. Valores de f estadística de razón de Poisson Para aceros al silicio tratados térmicamente	63
Tabla 6.6.1 razón de Poisson para aceros al silicio tratados térmicamente	64
Tabla 6.6.2 razón de Poisson para aceros al silicio básicos tratados térmicamente	65
Tabla 6.7A Prueba estadística T para módulo elástico en aceros al silicio básicos	66
Tabla 6.7B Prueba estadística T para módulo elástico en aceros al silicio básicos	67
Tabla 6.8A Prueba estadística T para módulo elástico en aceros al silicio tratados térmicamente.	68
Tabla 6.8B Prueba estadística T para módulo elástico en aceros al silicio tratados térmicamente.	69



UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS



Tabla 6.9A Prueba estadística T para razón de poisson en aceros
al silicio básicos. 70

Tabla 6.9B Prueba estadística T para razón de poisson en aceros
al silicio básicos. 71

Tabla 6.10A Prueba estadística T para razón de poisson en accros al silicio
tratados térmicamente. 72

Tabla 6.8B Prueba estadística T para razón de poisson en aceros al silicio
tratados térmicamente. 73

Tabla 6.11 Resultados de los ensayos de dureza Rockwell 74

Gráfica 6.1 Módulo elástico para aceros 1045 76

Gráfica 6.2 Módulo elástico -% de silicio para aceros al silicio básicos 77

Gráfica 6.3 Módulo elástico -% de silicio para aceros al silicio
tratados térmicamente. 78 [®]

Gráfica 6.4 Razón de Poisson para aceros 1045 79

Gráfica 6.5 Razón de Poisson -% de silicio para aceros al silicio básicos 80

Gráfica 6.6 Razón de Poisson -% de silicio – temperatura para aceros al silicio
tratados térmicamente. 81

LISTADO DE FIGURAS

CAPITULO 2

Página

Fig. 2.1 Proceso de calentamiento, diagrama de fase 7

Fig. 2.2 a).- Micrografía óptica mostrando una matriz de ferrita e islas de martensita dispersa, en sección longitudinal con tratamiento intercrítico. 9

b).- SEM mostrando islas de martensita en matriz ferrítica de un templado intercrítico.

c).- SEM micrografía mostrando la microestructura ferrita perlita de una barra de acero reforzado.

Fig. 2.3 El TEM microscopio electrónico de transferencia que muestra dislocaciones de alta densidad en granos de ferrita 10

adyacentes a islas de martensita de un espécimen con tratamiento intercrítico.

Fig. 2.4 Muestra la curva de esfuerzo deformación para los DFM y tochos de acero. 11

Fig. 2.5 Gráficos de esfuerzo –deformación para aceros duales ferríticos-martensíticos. Con aproximadamente 30% de martensita comparado dos barras de acero tempcore I, II. 13

Fig. 2.6 SEM mostrando microestructura de espécimen tratado intercríticamente, 19% deformado, la ferrita se ve deformada y la martensita no aparenta estarlo. 14

Fig. 2.7 Curva esfuerzo-deformación para acero dual ferrítico-martensítico con cantidades variables de fracción de martensita (4A =100%M, 4S3 = 60%M, 4S2 = 40%M, 4S1 = 20%M) 15

Fig. 2.8.- Tratamiento térmico para obtener la estructura DFM para aceros de bajo carbón. 16

Fig. 2.9 Diagramas de fase mostrando la expansión del rango de ($\alpha + \gamma$) cuando se agrega silicio al sistema Fe- C. 17

CAPITULO 3

Fig. 3.1 La barra delgada bajo tensión uniaxial 20

Fig. 3.2 Curva esfuerzo-deformación para un acero 21

Fig. 3.3 Nuevo sistema de coordenadas $O_{x'y'z'}$ 22

Fig. 3.4 Nuevo sistema de coordenadas $O_{x'y'z'}$ obtenidas por rotación con respecto a O_x 24

Fig. 3.4 Nuevo sistema de coordenadas $O_{x'y'z'}$ obtenido al rotar 90° con respecto a O_z 25

CAPITULO 4

Fig. 4.1 Puntos limites para la obtención del módulo de elasticidad según estandar ASTM 111- E82 34

Fig. 4.2 Diagramas esfuerzo-deformación mostrando líneas (a) módulo tangente (b) módulo cuerda [ref6] . 35

GLOSARIO

DIGRAMA DE EQUILIBRIO.- Representación gráfica de los límites de temperatura y composición de campos de fase en un sistema de aleación como realmente existen bajo las condiciones específicas de calentamiento o enfriamiento (sinónimo de diagrama de fase).

ESFUERZO INGENIERIL.- Carga o fuerza aplicada dividida entre el área transversal original de la probeta.

MATRIZ.- Tipicamente el primer material sólido que se forma durante el enfriamiento de una aleación.

ACEROS DUALES.- Aceros de doble fase debido a que se calientan en la región ferrita-austenita y son templados para obtener la bifásica ferrítica-martensítica.

MARTENSITA-DISLOCADA.- Fase metaestable del acero formada por una transformación de austenita inferior a alta temperatura ms. Es una solución sólida intersticial sobresaturada de carbono en hierro con una red tetragonal centrada en el cuerpo y su microestructura se caracteriza por una forma acicular o tipo aguja.

FERRITA.- Solución sólida de uno o mas elementos de hierro cubico centrado en la cara.

DISTORSION.- Deformación experimentada en el acero después de un tratamiento térmico.

SEM.- Microscopio electrónico de barrido.

PERLITA.- Agregado laminar de ferrita y cementita.

DFM.- Aceros duales ferríticos-martensíticos.

ISOTROPIA.- Calidad de tener propiedades idénticas en todas las direcciones.

HOMOGENIZAR.- Conservar a alta temperatura para eliminar o disminuir la segregación química por difusión.

RECOCIDO.- Calentar y mantener a una temperatura adecuada y luego enfriar a una rapidez apropiada.

TEMPERATURA Ms.- Temperatura a la que la martensita se empieza a formar en un sistema de aleación al enfriar. En el acero la austenita empieza a cambiar a martensita al enfriar.

TEMPLADO.- Endurecer una aleación ferrosa austenizada y luego enfriando rápidamente para llevarla de austenita a martensita.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

RESUMEN AUTOBIOGRAFICO

M.C. Daniel Ramírez Villarreal

Candidato al grado de
Maestro en Ciencias con Especialidad en Materiales

Tesis

“Obtención del Módulo de Elasticidad y Razón de Poisson en diferentes grados de acero al silicio.”

Campo de Estudio: Ciencias Exactas

Biografía: Nacido en Monterrey N. L. el 07 de septiembre de 1953, hijo del Sr. Jesús Ramírez Puente y la Sra. María Villarreal Sánchez.

Educación: Egresado de la facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica de la Universidad Autónoma de Nuevo León, grado obtenido Ingeniero Mecánico y Electricista en 1977, grado de Maestro en ciencias de la ingeniería mecánica con especialidad en diseño mecánico en 1993.

Experiencia Profesional: Catedrático de la F I M E- U A N L en licenciatura a partir de 1974 a la fecha y en la escuela de posgrado a partir de 1998 a la fecha.

Asesor y consultor en ingeniería mecánica a través del departamento de mecánica de los materiales de la FIME. Desde 1974 a la fecha.

Sub-jefe de 1991 a 1996 y jefe de 1997 a 1999 del Departamento de Mecánica de los Materiales de la FIME.

Asesor académico en exámenes profesionales en licenciatura a partir de 1981 a la fecha, asesor de exámenes de grado en el programa de ingeniería mecánica de posgrado a partir de 1997 a la fecha.

Autor de manuales, instructivos y material didáctico de apoyo para alumnos y profesores en asignaturas y laboratorios de licenciatura en la FIME desde 1981 a la fecha.

Expositor en diferentes cursos, talleres y seminarios dirigidos a profesores de licenciatura desde 1991 a la fecha, capacitador de alumnos becarios y de servicio social de 1993 a 1997.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

