

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

"Ensayo de Termofluencia del Acero AISI-SAE 1018 y
Construcción del Modelo Predictivo de Vida"

PROYECTO DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIEROS MECÁNICOS

Presentada por:

Jaime Alberto Loor Riascos
Fernando Javier Morales Luna

GUAYAQUIL - ECUADOR

AÑO: 2012

AGRADECIMIENTO

A nuestra familia, amigos y compañeros que colaboraron de forma directa o indirecta en el desarrollo de esta tesis.

Al Ing. Julián Peña, por su valiosa colaboración, paciencia, y confianza depositada para realizar este trabajo.

DEDICATORIA

A DIOS

A NUESTROS PADRES

A NUESTROS HERMANOS

A NUESTROS PROFESORES

A NUESTROS AMIGOS

A PAU, LA MEJOR.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Ing. Gustavo Guerrero M.
DECANO DE LA FIMCP
PRESIDENTE



Ing. Julián Peña E.
DIRECTOR

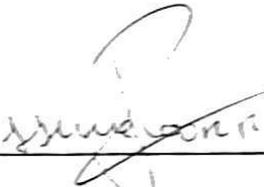


Ing. Rodrigo Perugachi B.
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Grado, nos corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Jaime Alberto Looor Riascos



Fernando Javier Morales Luna

RESUMEN

Este trabajo incursiona en uno de los retos al que se enfrenta la Ingeniería de Materiales, el cual es el estudio de las fallas de los componentes que se encuentran trabajando bajo condiciones adversas, teniendo como objetivo la construcción de un banco de pruebas experimentales para el estudio del comportamiento de aceros comunes frente al fenómeno de termofluencia.

De manera particular, se estudió el comportamiento del acero de transmisión AISI-SAE 1018, material muy común en el medio local, y en el cual se evidenció la gran afectación que causa la condición de alta temperatura.

Siguiendo de manera estricta la metodología indicada en la norma ASTM E139, se logró una herramienta de predicción de vida útil para el material ensayado, la cual se basa en el método de Larson-Miller, método que hasta el día de hoy es el más conocido y confiable en el estudio de vida residual. Para lo cual, se realizaron ensayos en el banco experimental variando el esfuerzo axial de tensión y la temperatura del horno de encapsulamiento de probeta.

Previo a los ensayos en el banco experimental, se realizó la caracterización de las probetas para corroborar los valores que proporciona el proveedor del

acero y de esta manera asegurar la veracidad de los resultados, la caracterización consistió en determinar y comparar los respectivos valores de resistencia máxima de tracción, dureza, y composición química.

El banco experimental que se construyó a partir del diseño básico de un sistema de brazo palanca, el análisis y dimensionamiento mediante computadora de sus partes, y del diseño del sistema de control y supervisión, servirá para que los estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica mediante prácticas de laboratorio puedan ampliar su conocimiento en el área de la mecánica de falla.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XI
ÍNDICE DE PLANOS.....	XII
CAPÍTULO 1	
1 FENÓMENO DE TERMOFLUENCIA.....	3
1.1. Importancia del análisis de falla por termofluencia.....	3
1.2. Mecanismos Fundamentales de termofluencia.....	4
1.2.1. Fluencia plástica.....	7
1.2.2. Fluencia por difusión.....	9
1.2.3. Modelo matemático.....	11
1.3. Fases del creep en aceros.....	12
1.3.1. Curvas de deformación por termofluencia.....	12
1.3.2. Cambios microestructurales.....	14
1.4. Predicción del tiempo de vida.....	20
1.4.1. Método paramétrico: Larson-Miller.....	23

1.4.2. Método de clasificación.....	29
1.5. Ensayo de termofluencia.....	31
1.5.1. Dispositivos de ensayo de termofluencia.....	32
1.5.2. Consideraciones sobre las probetas.....	36
CAPÍTULO 2	
2 IMPLEMENTACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS.....	39
2.1. Consideraciones de diseño.....	39
2.2. Diseño mecánico.....	40
2.2.1. Simulación del mecanismo.....	42
2.2.2. Dimensionamiento de elementos.....	43
2.3. Diseño del sistema de control y supervisión.....	47
2.3.1. Control de temperatura.....	48
2.3.2. Medición de la deformación.....	52
2.3.3. Registro y supervisión remota.....	55
2.4. Construcción del dispositivo experimental.....	59
2.4.1. Tecnología empleada en la construcción.....	59
2.4.2. Proceso de construcción.....	61
2.5. Montaje del sistema de control, registro y supervisión.....	71
CAPÍTULO 3	
3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	77
3.1. Materiales a ensayar.....	77
3.1.1. Justificación del acero a ensayar.....	77

3.1.2. Acero AISI-SAE 1018.....	78
3.1.3. Caracterización del acero AISI-SAE 1018.....	79
3.2. Preparación de las probetas.....	82
3.2.1. Procedimiento para el maquinado de las probetas.....	83
3.3. Metodología de ensayo.....	84
3.4. Procedimiento de ensayo.....	87
3.5. Resultados experimentales.....	91
CAPÍTULO 4	
4 ANALISIS DE RESULTADOS.....	93
4.1. Curva de deformación por termofluencia.....	95
4.2. Construcción de la curva Larson-Miller.....	97
4.3. Construcción del modelo predictivo.....	99
CAPÍTULO 5	
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	104
APÉNDICES	
BIBLIOGRAFÍA	

ABREVIATURAS

AISI	American Iron and Steel Institute
ASTM	American Society of Testing Materials
AWG	Calibre de Alambre Americano
BS	British Standards
DAQ	Tarjeta de Adquisición de Datos
HB	Dureza Brinell
Kg	Kilogramos
Log	Logaritmo
m	Metros
mm	Milímetros
MPa	Mega Pascales
N	Newton
PCB	Circuito Impreso
PLM	Parámetro de Larson-Miller
SAE	Society of Automotive Engineers
V	Voltios
Vs	Versus
W	Vatio

SIMBOLOGÍA

A	Constante de Arrhenius
A	Parámetro a partir de la microestructura
C	Logaritmo en base 10 de G
C	Símbolo químico del Carbono
Cr	Símbolo químico del Cromo
°C	Grados Celsius
D_p	Diámetro de la probeta
e	Número de Euler
E_a	Energía de activación
Fe	Símbolo químico del Hierro
°F	Grados Fahrenheit
G	Constante de Arrhenius-Creep
k	Constante de Boltzmann
M	Logaritmo en base 10 de e
m	Pendiente
Mn	Símbolo químico del Manganeseo
n	Constante de mecanismo de fluencia
P	Símbolo químico del Fosforo
S	Símbolo químico del Azufre
Si	Símbolo químico del Silicio
t	Tiempo
T	Temperatura
T_m	Temperatura absoluta de fusión
π	Pi
\varnothing	Diámetro
σ	Esfuerzo
ϵ	Deformación
$\dot{\epsilon}$	Velocidad de fluencia
∂e	Derivada parcial de deformación
∂t	Derivada parcial del tiempo
%	Porcentaje
δ	Deformación de la probeta
®	Marca registrada
Δy	Variación de la distancia sensada

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Deformación en metales cristalinos.....	5
Figura 1.2	Trepado de una dislocación aprovechando vacantes en la red.....	8
Figura 1.3	Secuencia deslizamiento-trepado.....	9
Figura 1.4	Creep de Nabarro-Herring.....	10
Figura 1.5	Creep de Coble.	11
Figura 1.6	Curva de deformación creep.....	13
Figura 1.7	Degradación microestructural inicial del acero bajo creep.	15
Figura 1.8	Estado de degradación microestructural a.....	16
Figura 1.9	Estado de degradación microestructural b.....	16
Figura 1.10	Estado de degradación microestructural c.....	17
Figura 1.11	Estado de degradación microestructural d.....	18
Figura 1.12	Estado de degradación microestructural e.....	18
Figura 1.13	Estado de degradación microestructural f.....	19
Figura 1.14	Transformaciones microestructurales que ocurren en el creep.....	20
Figura 1.15	Curva esfuerzo vs tiempo de falla.....	21
Figura 1.16	Curva logarítmica esfuerzo vs tiempo.....	22
Figura 1.17	Curvas $\log t$ vs $1/t$	24
Figura 1.18	Curvas $\log t$ vs $1/t$	25
Figura 1.19	Curva Larson-Miller.....	27
Figura 1.20	Curva máster Larson-Miller.....	28
Figura 1.21	Esquema para determinar parámetro a.....	30
Figura 1.22	Curva de la vida remanente.....	31
Figura 1.23	Esquema dispositivo de ensayo.....	33
Figura 1.24	Esquema dispositivo de ensayo.....	34
Figura 1.25	Dispositivo de ensayo creep Instron.....	36
Figura 2.1	Diseño de forma banco de pruebas.....	41
Figura 2.2	Mecanismo de pruebas en dos posiciones.....	43
Figura 2.3	Diagrama de fuerza cortante en el brazo palanca.....	45
Figura 2.4	Sujeciones y fuerzas en el brazo palanca.....	45
Figura 2.5	Esfuerzo de Von Mises en el brazo palanca.....	46
Figura 2.6	Deformación en el brazo palanca.....	46
Figura 2.7	Factor de seguridad en el brazo palanca.....	47

Figura 2.8	Diagrama de bloques de un control de temperatura con histéresis todo/nada.....	49
Figura 2.9	Grafica de operación control todo/nada.....	50
Figura 2.10	Transmisor universal PrElectronics 4116.....	50
Figura 2.11	Termocupla tipo k.....	51
Figura 2.12	Medición de distancia por ultrasonido.....	53
Figura 2.13	Sensor ultrasónico Hydepark sc9561-4c0.....	53
Figura 2.14	Tarjeta de adquisición de datos daq-6008.....	56
Figura 2.15	Interfaz inicial del programa Teamviewer.....	57
Figura 2.16	Interfaz código g ensayo creep.....	58
Figura 2.17	Construcción del brazo palanca.....	63
Figura 2.18	Proceso de mecanizado.....	65
Figura 2.19	Construcción de placas y cartelas.....	66
Figura 2.20	Construcción de la columna principal.....	68
Figura 2.21	Fabricación de las pesas.....	70
Figura 2.22	Elaboración de horno.....	71
Figura 2.23	Fabricación del panel frontal.....	73
Figura 2.24	Montaje de los elementos de la caja de control.....	75
Figura 2.25	Montaje de los elementos de la caja de control.....	76
Figura 2.26	Equipo experimental funcionando.....	76
Figura 3.1	Microestructura (500x) Nital 3%.....	82
Figura 3.2	Esquema de la probeta a ensayar (mm).....	83
Figura 3.3	Seteado de temperatura.....	87
Figura 3.4	Colocación de la probeta.....	88
Figura 3.5	Colocación del horno.....	88
Figura 3.6	Sujeción de las barras a la bancada y encendido del horno.....	89
Figura 3.7	Seteado del programa.....	90
Figura 3.8	Colocación de las pesas.....	90
Figura 4.1	Probeta fracturada en el ensayo.....	94
Figura 4.2	Grupo de probetas fracturadas.....	94
Figura 4.3	Curva de deformación en el ensayo.....	95
Figura 4.4	Curva de Larson-Miller del acero AISI-SAE 1018.....	99
Figura 4.5	Calculadora Creep Para El Acero AISI-SAE 1018.....	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Características principales del sensor de distancia.....	54
Tabla 2	Equipos y herramientas utilizadas en la construcción..	60
Tabla 3	Aceros comúnmente usados para maquinaria.....	77
Tabla 4	Resultado ensayo de tracción.....	80
Tabla 5	Resultado del ensayo de dureza.....	81
Tabla 6	Resultado del análisis químico.....	81
Tabla 7	Pesas y esfuerzo correspondientes.....	86
Tabla 8	Resultados experimentales ensayo creep.....	92
Tabla 9	Datos procesados del ensayo creep.....	98

ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1	Maquina de ensayo creep, y sus elementos
Plano 2	Columna principal y brazo palanca
Plano 3	Barra superior e inferior de sujeción de probeta
Plano 4	Detalle de portapesas, porta-sensor y horno

INTRODUCCIÓN

En múltiples aplicaciones ingenieriles los materiales metálicos puede estar expuestos a condiciones de servicio caracterizados por una elevada temperatura. Para evaluar la resistencia de los materiales a soportar estas condiciones, las pruebas de laboratorio resultan insustituibles hasta el día de hoy.

Este trabajo se compone de cinco capítulos. En el primer capítulo se describe el fenómeno de la termofluencia, la importancia del análisis y sus mecanismos atómicos. Se presenta el modelo matemático con el que se describe el fenómeno, se detalla las fases del creep y los cambios microestructurales que sufre el material. Y se exponen las bases fundamentales de los métodos de predicción de vida útil conocidos para el fenómeno de termofluencia.

En el segundo capítulo se detalle la implementación del banco de pruebas, para cual se describe el diseño que se basó en la norma ASTM E139, en las necesidades y equipos comerciales. Se presenta el dimensionamiento de los elementos mediante la simulación en computadora, y el diseño y montaje del sistema de control y supervisión. Se describe también, la construcción del dispositivo experimental y la tecnología empleada.

En el tercer capítulo se expone la metodología de ensayo, incluyendo el procedimiento previo de caracterización del material con ensayos de metalografía, análisis químico, medición de dureza, y ensayo de tracción. Se justifica el material escogido, y se presenta los resultados de la experimentación realizada.

En el cuarto capítulo, se analiza la curva de deformación obtenida, y se presenta el procesamiento de los datos conseguidos en la experimentación, a partir de lo cual se logra la curva Larson-Miller, la cual se presenta como el principal resultado de este trabajo, y finalmente se explica la construcción y aplicación del modelo predictivo de vida.

El quinto capítulo recoge las conclusiones ligadas al trabajo experimental realizado y las recomendaciones surgidas en desarrollo del presente trabajo, con el fin de que se obtenga resultados confiables, con la seguridad necesaria para quien realiza el ensayo y para el laboratorio.

CAPÍTULO 1

1. FENÓMENO DE TERMOFLUENCIA

El fenómeno de termofluencia o creep es un proceso dinámico de deformación plástica de un material bajo una carga constante menor al esfuerzo de cedencia, debido a movimientos de nivel atómico, clásicamente asociados con temperaturas elevadas.

Siendo práctica común, obtenida de la experiencia con materiales metálicos, que se hable de altas temperaturas de trabajo a temperaturas mayores a $0.4T_m$ donde T_m es la temperatura absoluta de fusión del material.

1.1 Importancia del análisis de falla por termofluencia

La fractura de los materiales de ingeniería es siempre un hecho indeseable por varias razones tales como la seguridad de vidas

humanas, pérdidas económicas y la interferencia con la disponibilidad de productos y servicios.

Aun cuando la causa de la fractura y el comportamiento de materiales pueden ser conocidos, la prevención de fracturas puede ser difícil de garantizar. Las causas usuales de ello son la selección deficiente de materiales, procesado y diseños inadecuados de los componentes o su mal manejo. Es responsabilidad del ingeniero anticipar y planificar las posibles fracturas y, en caso de que ocurran, determinar sus causas y tomar medidas preventivas apropiadas para futuros incidentes.

Por lo tanto, el objetivo principal del análisis del creep es comprender por qué ocurre la falla, reconocer los mecanismos de degradación y relacionar todas las variables del fenómeno con el fin de predecir el tiempo de vida de un material. Permitiendo así, un diseño más seguro y una planificación eficiente de los trabajos de inspección y mantenimiento

1.2 Mecanismos Fundamentales de termofluencia

En los materiales cristalinos, como los metales, la tensión requerida para producir deformación plástica es la tensión necesaria para

mover las dislocaciones del cristal. A su movimiento se oponen: la resistencia intrínseca de la red cristalina y el efecto obstructor de los obstáculos (precipitados formados por átomos de solutos no disueltos). En la Figura 1.1 se muestra cómo los átomos de un material cristalino se recolocan mientras la dislocación se mueve a través del cristal, logrando así un desplazamiento de la parte superior respecto a la inferior.

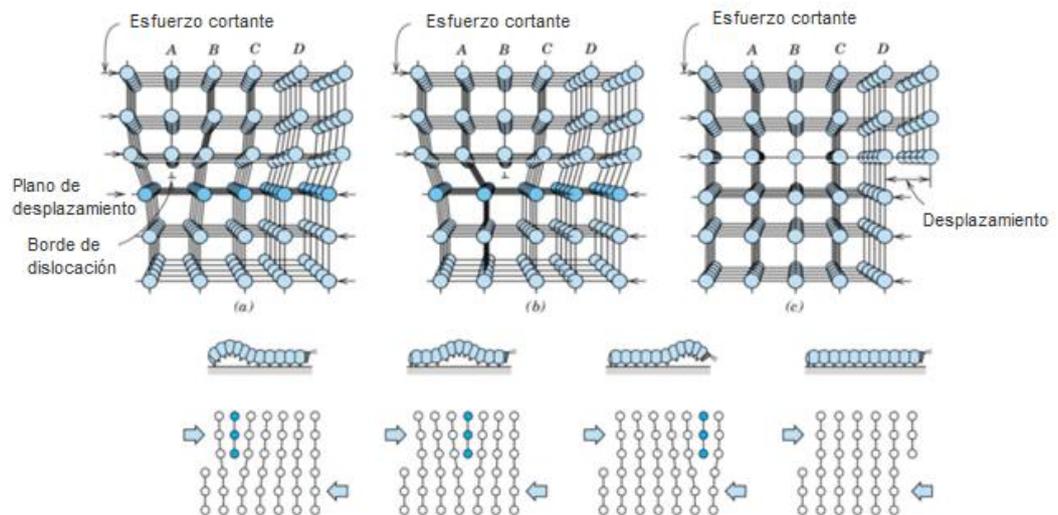


FIGURA 1.1. DEFORMACIÓN EN METALES CRISTALINOS. [8]

Por lo tanto, a temperatura ambiente, la deformación de la mayoría de los metales depende únicamente de la tensión:

$$\varepsilon = f(\sigma) \quad (1)$$

A medida que aumenta la temperatura, las cargas que no provocan deformación permanente a temperatura ambiente sí pueden producir fluencia en los materiales.

Entonces, la deformación, en lugar de depender solo de la tensión, pasa a depender ahora del tiempo y de la temperatura.

$$\varepsilon = f(\sigma, t, T) \quad (2)$$

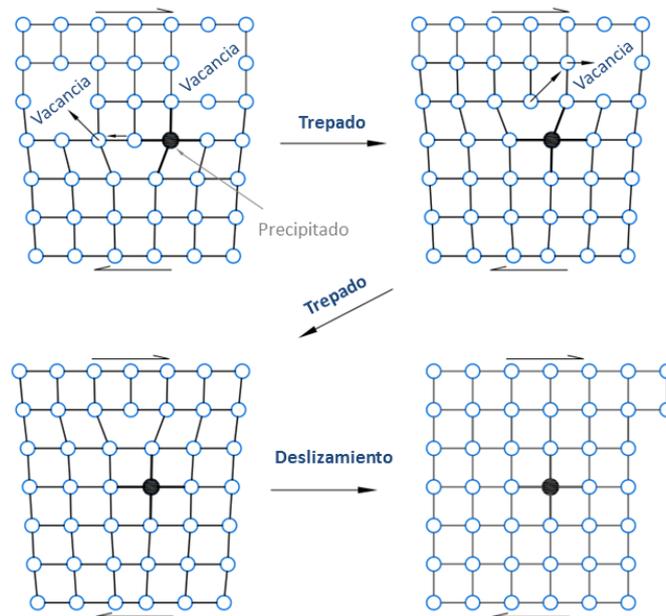
Este fenómeno descrito, conocido como Creep, es originado por dos mecanismos de fluencia; fluencia plástica (originada por el movimiento de dislocaciones, cuyo comportamiento se gobierna por una ley de potencias) y fluencias por difusión (cuyo comportamiento se describe por la viscosidad lineal).

La velocidad de ambos mecanismos suele estar limitada por la difusión, por lo que los ambos están regidos por la ley de Arrhenius.

1.2.1 Fluencia plástica

El mecanismo de fluencia plástica, logra deformación en un material cristalino mediante un proceso de difusión atómica, activado térmicamente, el cual desbloquea las dislocaciones de sus obstáculos.

La Figura 1.2 muestra una dislocación que no puede deslizarse debido a un precipitado que bloquea su trayectoria, ésta no puede deslizarse hacia arriba cizallando los planos atómicos, pero puede “moverse” hacia arriba si los átomos de la parte inferior del semiplano son capaces de difundir hacia afuera.



**FIGURA 1.2. TREPADO DE UNA DISLOCACION
APROVECHANDO VACANTES EN LA RED. [10]**

Mediante un proceso de difusión el átomo de la parte inferior ocupa el lugar de la vacancia, provocando que el borde de la dislocación “ascienda”, este proceso se conoce como “trepado”. Si una nueva vacancia intercambia posición con el átomo inferior el proceso se repite y la dislocación puede moverse de esta forma de manera indefinida fuera de su plano de deslizamiento.

La dislocación se escapa entonces de las imperfecciones de red, continuando su deslizamiento y causando una deformación adicional de la pieza, incluso ante bajos esfuerzos aplicados [3].

Después de un pequeño deslizamiento, las dislocaciones quedan bloqueadas al tropezar con nuevos obstáculos y el ciclo se repite, como se muestra en la Figura 1.3.

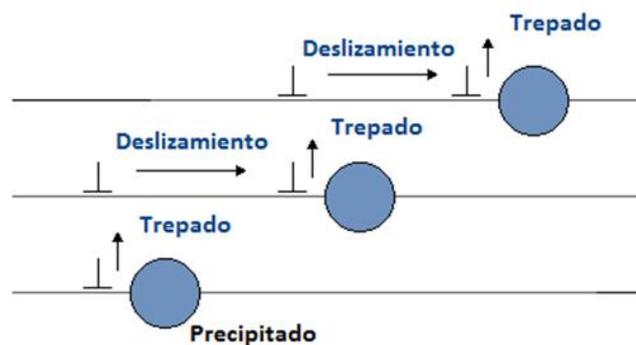


FIGURA 1.3. SECUENCIA DESLIZAMIENTO-TREPADO. [2]

1.2.2 Fluencia por difusión.

El mecanismo de fluencia por difusión logra deformación en un material cristalino mediante el cambio de posición de numerosos átomos que se mueven por el interior del cristal o por los límites de grano.

Existen diversas teorías para intentar explicar la relación entre los mecanismos de fluencia por difusión y las ecuaciones que lo gobiernan. Los más básicos y aceptados son los mecanismos de Coble y Nabarro-Herring.

En el mecanismo de Nabarro-Herring se asume que la difusión de las vacantes se produce por el interior del grano, es decir, en todo el volumen como se muestra esquemáticamente en la Figura 1.4, en la cual los átomos emigran, por difusión, desde las zonas sometidas a los esfuerzos mayores (caras superior e inferior) hacia las caras sometidas a los esfuerzos menores (caras derecha e izquierda). Esta migración va acompañada por la migración de vacantes en sentido contrario, ambos movimientos provocan la deformación.

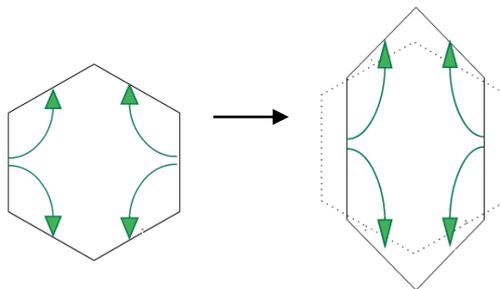


FIGURA 1.4. CREEP DE NABARRO-HERRING. [10]

En el mecanismo de Coble, Figura 1.5, se asume que la difusión de las vacantes se produce a través de los límites de grano, y no por el interior de estos.

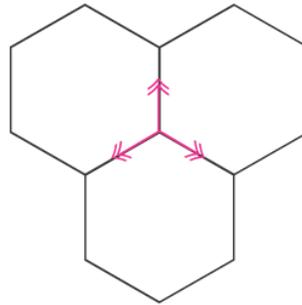


FIGURA 1.5. CREEP DE COBLE. [6]

1.2.3 Modelo matemático

Como en otros procesos térmicos, el modelo matemático para describir el fenómeno creep se construye mediante una modificación de la ecuación de Arrhenius.

$$\dot{\epsilon} = A \left(\frac{\sigma}{G} \right)^n e^{-\frac{E_a}{k.T}} \quad (3)$$

La ecuación de Arrhenius es una expresión matemática que se utiliza para comprobar la dependencia de la constante de velocidad o cinética con respecto a la temperatura. [6].

La ecuación (3) describe la dependencia de la velocidad de fluencia en las dos variables claves, la temperatura y el estrés.

Los valores específicos de n y E_a se asocian con mecanismos específicos de fluencia.

1.3 Fases del creep en aceros

En el fenómeno de la termofluencia o Creep, se definen tres etapas distintas de deformación, las cuales están marcadas por el comportamiento de la velocidad de deformación. Estas fases del fenómeno pueden ser estudiadas mediante curvas que representan fluencia contra el tiempo, y pueden evidenciarse y diferenciarse mediante los cambios microestructurales del material.

1.3.1 Curvas de deformación por termofluencia

Para el estudio del fenómeno Creep se suele utilizar un gráfico de la fluencia contra el tiempo, obteniéndolo mediante experimentación con esfuerzo y temperatura constantes.

En la Figura 1.6 se observa una curva típica de termofluencia de un acero donde se denota las diferentes etapas en el comportamiento de la velocidad de deformación del metal versus el tiempo.

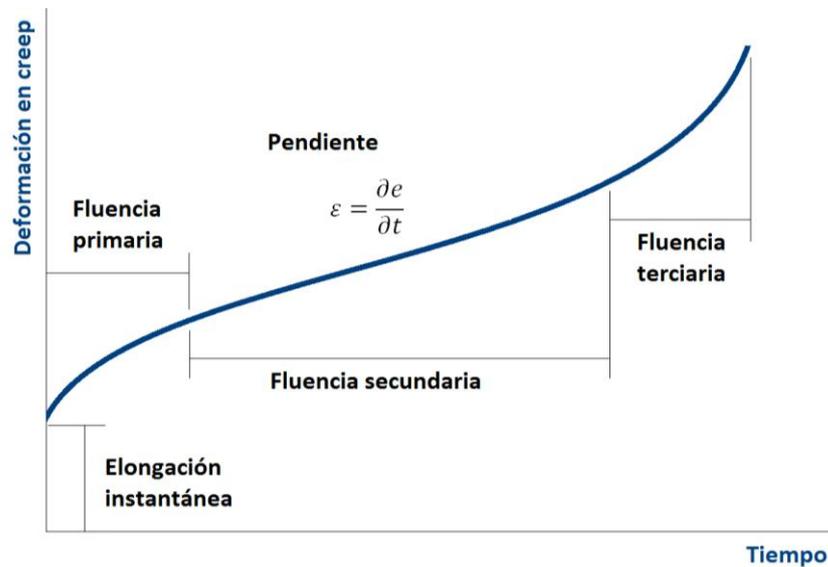


FIGURA 1.6.CURVA DE DEFORMACION CREEP.

Inicialmente se evidencia una deformación elástica instantánea. Posteriormente el metal sufre una primera fluencia en la cual la velocidad de fluencia disminuye con el tiempo, ésta se conoce como primera etapa o fluencia primaria. La pendiente de la curva se designa como velocidad de termofluencia.

$$\varepsilon = \frac{\partial e}{\partial t} \quad (4)$$

Después ocurre un segundo estado, etapa en la cual la velocidad se hace esencialmente constante y por tanto, se define como termofluencia de estado estacionario. Este es el parámetro de diseño que muchas veces se considera para

aplicaciones de larga vida y es conocido como la tasa mínima de deformación Creep.

Finalmente ocurre un tercer estado o fluencia terciaria, en el cual la velocidad de termofluencia aumenta rápidamente con el tiempo hasta que se fractura.

1.3.2 Cambios microestructurales

En los aceros sometidos a condiciones de Creep es de suma importancia conocer la secuencia en la cual ocurren las transformaciones microestructurales para tratar de establecer una relación entre estas y el estado o fase de Creep en el que se encuentra el material.

El efecto inicial más común en la microestructura de aceros que trabajan bajo Creep, es la esferoidización de los carburos laminares de la perlita que se produce como consecuencia de la disminución de la energía libre del sistema.

El esquema de la Figura 1.7, muestra las transformaciones iniciales que sufre el acero ferrítico bajo Creep.



FIGURA 1.7. DEGRADACION MICROESTRUCTURAL INICIAL DEL ACERO BAJO CREEP. [13]

A continuación se verán ejemplos de los 6 Estados de degradación Inicial, los mismos se los identifica desde la letra A hasta la F.

En un acero al carbono sobre una matriz ferrítica, las colonias de perlita se presentan en forma laminar, como se muestra en la Figura 1.8.



FIGURA 1.8.ESTADO DE DEGRADACION MICROESTRUCTURAL

A. [13]

Comienza parcialmente la globulización de la perlita, Figura 1.9.

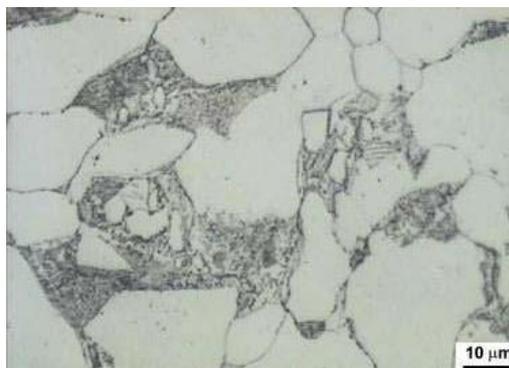
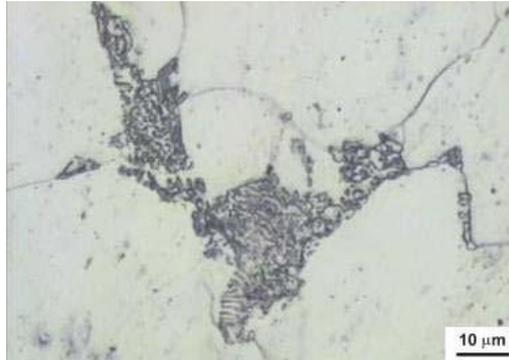


FIGURA 1.9.ESTADO DE DEGRADACION MICROESTRUCTURAL

B. [13]

En un acero al carbono sobre una matriz ferrítica, las colonias de perlita poseen las láminas totalmente globulizadas, Figura 1.10.



**FIGURA 1.10. ESTADO DE DEGRADACION
MICROESTRUCTURAL C. [13]**

La perlita se encuentra casi totalmente globulizada conservando la morfología de colonia.

En un acero al carbono sobre una matriz ferrítica, las colonias de perlita poseen las láminas totalmente globulizadas. Comienza la precipitación en límite de grano, como se muestra en la Figura 1.11.



FIGURA 1.11. ESTADO DE DEGRADACION

MICROESTRUCTURAL D. [13]

Carburos homogéneamente dispersos (No existen trazas de la micro estructura ferrítico-perlítica anterior), Figura 1.12.

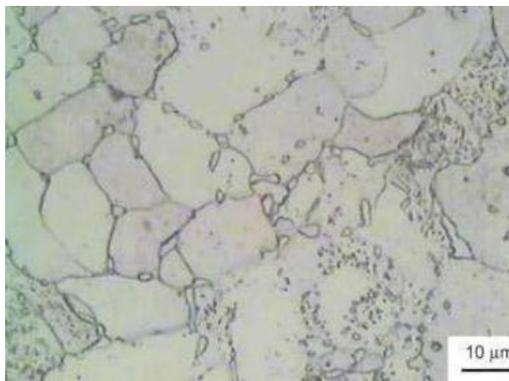


FIGURA 1.12. ESTADO DE DEGRADACION

MICROESTRUCTURAL E. [13]

Carburos igualmente dispersos, Figura 1.13, pero una gran cantidad de los mismos son gruesos, algunos coalescen en forma continua con otros.

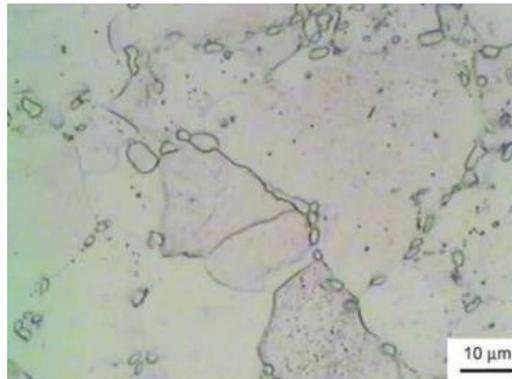


FIGURA 1.13. ESTADO DE DEGRADACION

MICROESTRUCTURAL F. [13]

En este caso nos encontramos en la etapa de creep primaria. Obsérvese que los carburos en límite de grano comienzan a formar cadenas continuas y fragilizan notablemente esta zona.

Posterior a esto, sobre la fase final de la etapa secundaria empieza la formación y evolución de microcavidades, como se observa en la Figura 1.14. En el punto A, se aprecia la nucleación de las microcavidades en los bordes de grano y puntos triples.

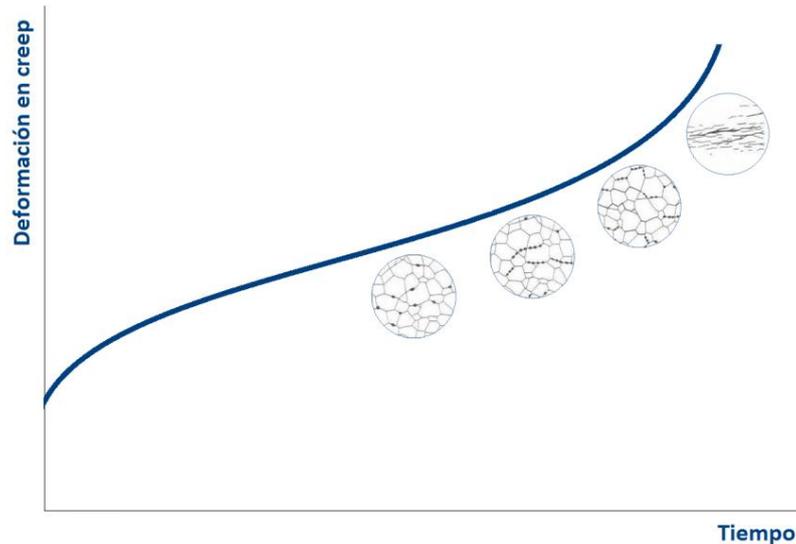


FIGURA 1.14. TRANSFORMACIONES MICROESTRUCTURALES QUE OCURREN EN EL CREEP.

La transición de la etapa secundaria a la terciaria, punto B, está relacionada con una mayor nucleación y orientación de las microcavidades. Finalmente en el punto C, las microcavidades comienzan a coalescer para formar microfisuras, en tanto que el punto D aparecen macrofisuras, la cuales preceden a la fractura del material. [12]

1.4 Predicción del tiempo de vida.

El tiempo de vida de un material puede estar definido alrededor de una deformación permisible o a la rotura. Esto depende del tipo de

aplicación que tenga. Por ejemplo, la tolerancia de deformación de un álabe de turbina de vapor puede ser de 0,20% en cambio en un recipiente para aerosol puede ser de hasta 4%. En otro caso, la tolerancia de deformación podría ser hasta llegar la ruptura del material.

Uno de los métodos más primitivos para la predicción del tiempo de vida de un material bajo creep, consiste en ensayar simultáneamente varias probetas a una temperatura de servicio específica, pero cada una bajo una tensión diferente. Se mide el tiempo requerido para producir la deformación permisible o la rotura en la probeta, y se traza una curva de Esfuerzo vs. Tiempo, tal como la mostrada en la Figura 1.15.

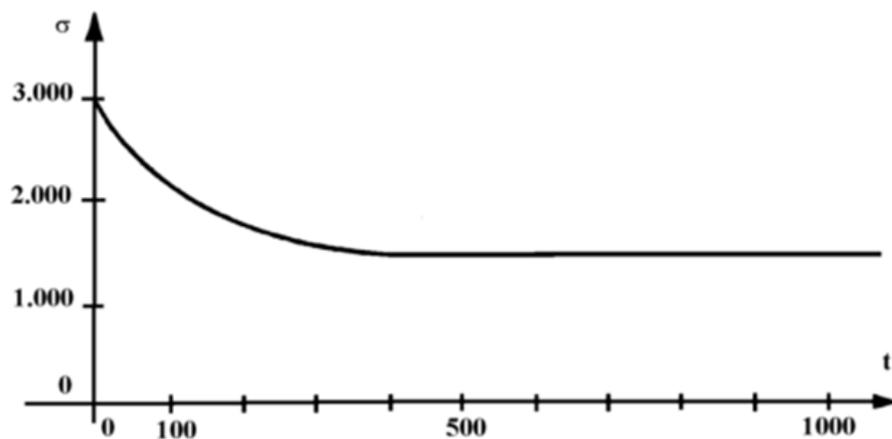


FIGURA 1.15. CURVA ESFUERZO VS TIEMPO DE FALLA

Un diagrama aproximadamente lineal puede ser obtenido dibujando el esfuerzo y el tiempo, ambos en escala logarítmica, sin embargo, datos a prolongados tiempos de ensayo comúnmente muestran una curvatura como se muestra en la Figura 1.16.

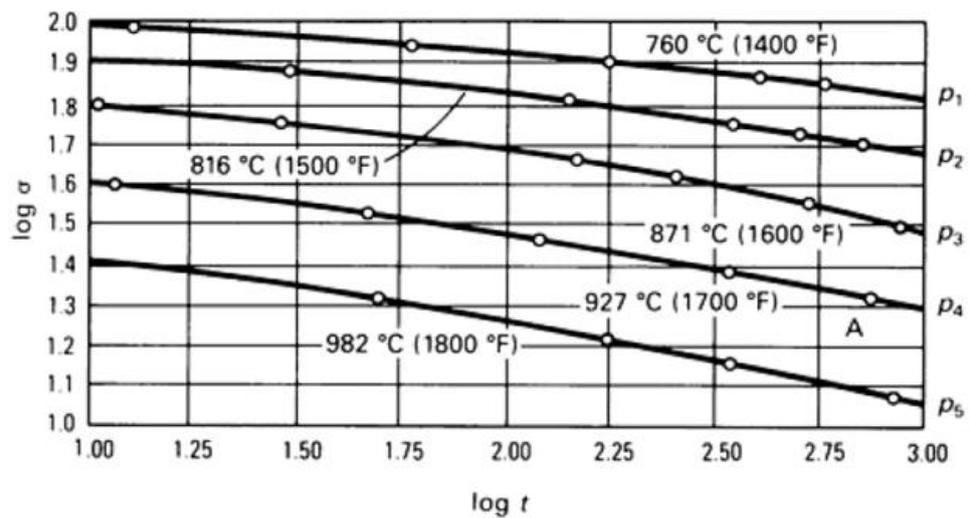


FIGURA 1.16. CURVA LOGARITMICA ESFUERZO VS TIEMPO. [3]

El tiempo de vida bajo creep puede ser determinado en este gráfico por interpolación. Pero si se necesitan datos fuera de la curva, la extrapolación no es recomendable debido a la curvatura descendente de la gráfica. Esto resulta en extremadamente largos periodos de ensayo para la construcción de las gráficas útiles. Por lo cual, este método de determinación de tiempo de vida no representa un método eficaz de predicción.

Los métodos más empleados en la actualidad están dirigidos a relacionar el fenómeno con parámetros de fácil manejo ingenieril, que brindan información suficiente sobre el tiempo de vida del material hasta la fractura.

1.4.1 Método paramétrico: Larson-Miller

El método paramétrico aprovecha la ventaja de que el fenómeno puede ser acelerado con el incremento de la temperatura de trabajo y/o de la carga aplicada. Estos incrementos permiten que en un ensayo de corto tiempo se pueda aproximar los efectos que ocurrirían durante la vida en servicio. Esto se logra mediante el artificio de parametrización.

La parte analítica del método se basa en la modificación de la ecuación de Arrhenius (3), en la cual el tiempo requerido para producir una deformación determinada o rotura puede ser expresado como:

$$t = G \cdot e^{-\frac{Ea}{kT}} \quad (5)$$

Tomando logaritmo en base 10 a ambos lados de la ecuación (4) tenemos:

$$\log t = \log G + M \cdot \frac{Ea}{kT} \quad (6)$$

Donde M es igual al logaritmo en base 10 de e: 0,4343. Si asumimos que Ea y G son solo función de la tensión, esta ecuación es lineal en log t y 1/T para cualquier tensión dada.

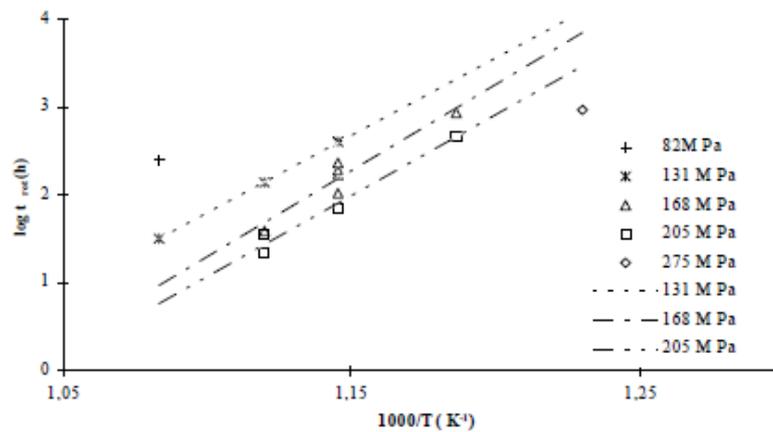


FIGURA 1.17. CURVAS LOG t VS 1/T. [11]

Las curvas obtenidas al graficar log t vs 1/T a diferentes tensiones, son aproximadamente lineales. Por lo tanto, la ecuación (6) es del tipo

$$y = b + m \cdot x \quad (7)$$

Donde b es log G, y la pendiente $m = M \cdot Ea/k$.

Consecuentemente G está relacionada con la intersección con el eje de abscisas y E_a por la pendiente de la recta. Las características de esta familia de rectas son determinadas por la manera en la cual G y E_a varían con la tensión:

- Si G es constante y sólo varía E_a con la tensión, las líneas interceptan al eje $\log t$ en un solo punto, como se muestra en la Figura 1.18 (a).
- Si E_a es constante mientras G varía con la tensión, resulta una familia de rectas paralelas, con una pendiente igual a $M.E_a/k$, como se muestra en la Figura 1.18 (b).

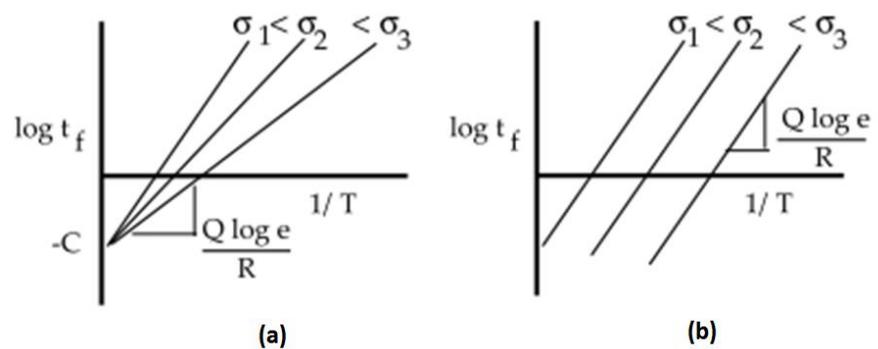


FIGURA 1.18. CURVAS LOG t VS $1/T$.

Larson-Miller

El método paramétrico de Larson-Miller está basado en primera opción de comportamiento de los parámetros G y E_a . Larson y Miller luego de estudiar datos experimentales concluyeron que las líneas convergen a un punto común sobre el eje $\log t$. Esta evidencia indica que E_a varía con la tensión, pero G no. Consecuentemente (6) resulta en:

$$\log t + C = m \cdot \frac{1}{T} \quad (8)$$

Donde $\log G = -C$ y la pendiente $m = \frac{M \cdot E_a}{k}$.

El valor de C puede ser determinado para un material dado de un gráfico como el de la Figura 1.18. (a). Para varias aleaciones ferrosas se han encontrado que C oscila alrededor de 20. Despejando, resulta en:

$$T(\log t + C) = m \quad (9)$$

El lado izquierdo de la ecuación es conocido como el parámetro de Larson-Miller

$$PLM = T(\log t + C) \quad (10)$$

De este modo si PLM es evaluado para una variedad de pares de valores de t y T y se grafica versus la correspondiente tensión, lo cual resulta una curva única para un material dado. Tal como se muestra en la Figura 1.19.

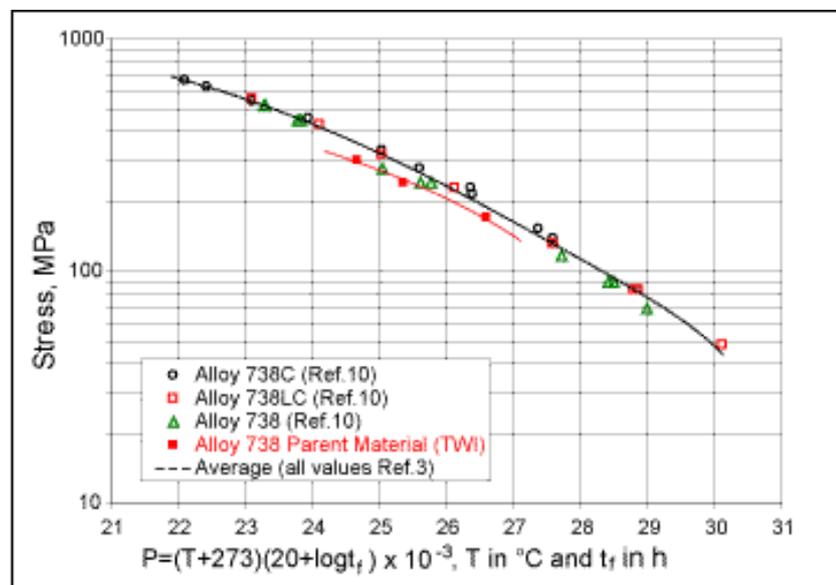


FIGURA 1.19. CURVA LARSON-MILLER. [9]

Esta figura es conocido como "Curva Master", donde el parámetro PLM tiene igual valor para una infinita combinación de t y T , recorriendo desde el corto tiempo y altas temperaturas, que representan las condiciones de ensayo, hasta los largos tiempos y bajas temperaturas que representan las condiciones

de servicio. Esta puede ser útil para obtener la tensión de diseño para largos tiempos de servicio, o para predecir el tiempo de vida remanente de un material.

Frecuentemente se utiliza un único valor de C para diferentes aleaciones. Este procedimiento hace posible el uso de una misma escala para PLM, de este modo pueden ser dibujadas en un mismo gráfico, tal como se muestra en la Figura 1.20. en donde el valor usa es C=20.

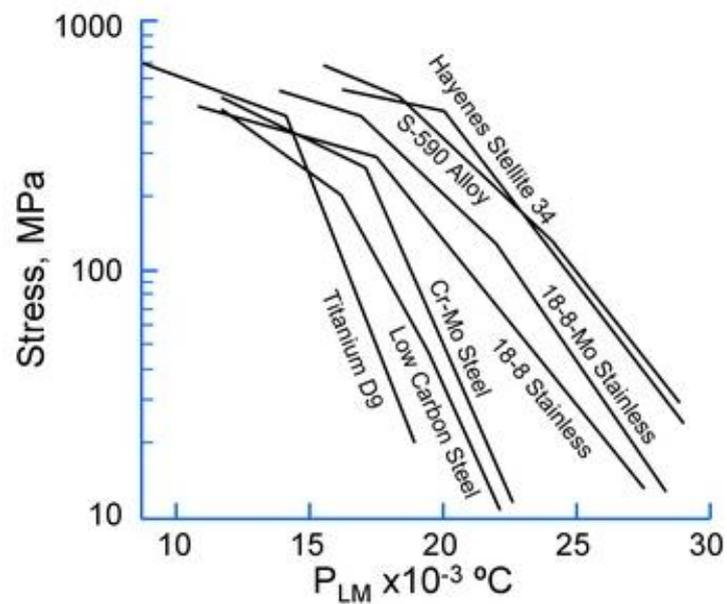


FIGURA 1.20. CURVA MASTER LARSON-MILLER. [15]

Sin embargo, se ha demostrado que resultados apreciablemente más precisos se obtienen cuando se utiliza el valor correcto de C para cada material.

1.4.2 Método de clasificación

El método de clasificación correlaciona cualitativamente y cuantitativamente el grado de esferoidización y estado de las cavidades en la microestructura con las diferentes etapas del proceso de deformación por creep.

La parte cualitativa del método consiste en obtener metalografías del material bajo creep, para así poder compararlas con los diagramas de la Figura. 1.7 y Figura 1.14.

De modo cuantitativo, el método consiste en determinar el denominado “Parámetro a” a partir de la microestructura, el cual relaciona el grado de daño con la fracción de vida remanente del componente. El parámetro A esta definido por la ecuación 11.

$$A = \frac{\text{Bordes de grano concavidades}}{\text{Bordes total de grano}} \quad (11)$$

En la Figura 1.21 se muestra la forma en que se realiza las mediciones a partir de la microestructura.

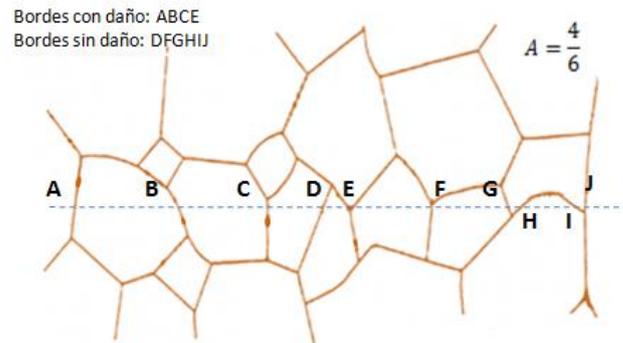


FIGURA 1.21. ESQUEMA PARA DETERMINAR PARAMETRO A.

[7]

El conteo de bordes se realiza sobre distintas líneas paralelas a la dirección de tensión principal y contando un mínimo de 400 granos para que el valor sea confiable y preciso.

Una vez obtenido el valor del “parámetro A” se determina la vida remanente del componente, ingresando este valor en la curva de creep específica del material analizado. Como se muestra en la Figura 1.22.

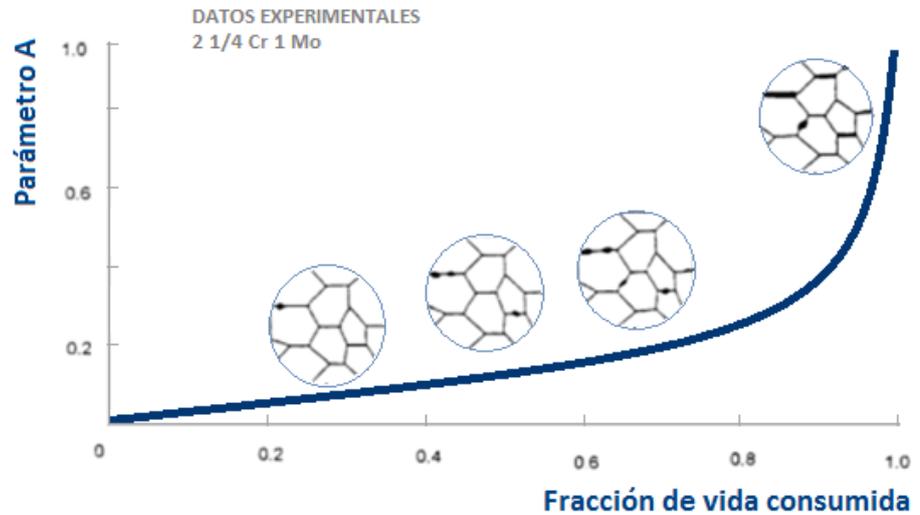


FIGURA 1.22. CURVA DE LA VIDA REMANENTE. [12]

1.5 Ensayo de termofluencia

El ensayo de Creep o termofluencia proporciona información insustituible sobre la correlación entre las tensiones actuantes sobre el material, la temperatura y el tiempo de falla.

Normalmente se estudia mediante la aplicación de una carga constante, equivalente a un esfuerzo constante ingenieril, en un cierto material a una temperatura suficientemente alta, que produzca una cantidad medible de deformación en un tiempo razonable.

Las pruebas de carga constante se emplean normalmente para propósitos de ingeniería, ya que esta situación representa con mayor precisión las condiciones reales de servicio. Por el contrario, la prueba de esfuerzo constante real se utiliza para estudiar los mecanismos de deformación. Sin embargo, en pequeñas deformaciones, los dos métodos dan esencialmente los mismos resultados. [3]

Los diagramas obtenidos resultan costosos en especial cuando se necesita información sobre tiempos prolongados de exposición al Creep. Aunque para ciertos materiales esta información puede ser obtenida mediante bancos de datos que se comercializan. [16]

1.5.1 Dispositivos de ensayo de termofluencia

La determinación de las características del creep en un metal requiere el uso de: un dispositivo de carga, un horno eléctrico con control de temperatura y un mecanismo para medición de la deformación.

La Figura 1.23 muestra esquemáticamente un dispositivo para la realización del ensayo.

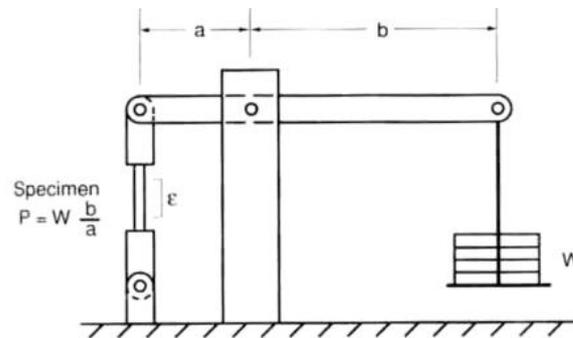


FIGURA 1.23. ESQUEMA DISPOSITIVO DE ENSAYO. [5]

El banco de pruebas se diseña para aplicar tensión estática a la probeta de ensayo, durante un período prolongado de tiempo a una temperatura elevada constante. Debido a esto, es muy común el uso del concepto brazo palanca, para así multiplicar la fuerza aplicada en la bandeja de pesas que se transmite a la probeta en proporciones desde 3 a 1, hasta 20 a 1.

La bandeja de peso, el brazo de la bandeja de peso y cierta proporción del brazo palanca, forman parte de los pesos totales aplicados.

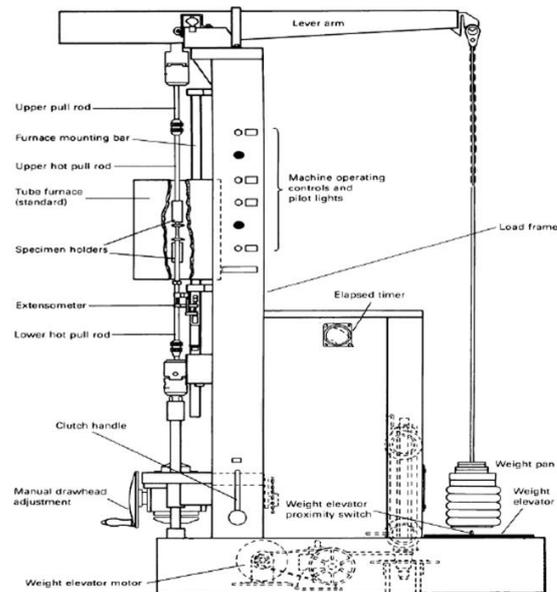


FIGURA 1.24. ESQUEMA DISPOSITIVO DE ENSAYO. [3]

En la Figura 1.24 se presenta un esquema mucho más detallado, en el cual se puede destacar: los sujetadores de probeta, el horno estándar, un mecanismo de ajuste y un elevador para las pesas, los dos últimos para facilitar el montaje y desmontaje de la probeta. Además, se identifica un tablero de control y un extensómetro.

Detalles acerca de los requisitos esenciales para el dispositivo de ensayo se pueden encontrar en la norma ASTM-E139. (ver Apéndice 1)

A continuación se presenta un resumen de los requerimientos de la norma:

Se debe procurar que el dispositivo de ensayo logre aplicar carga exclusivamente axial. Los dispositivos de sujeción y varillas de tracción deben ser periódicamente reexaminados para comprobar la axialidad, y deben ser reemplazados cuando sea necesario.

El aparato de calentamiento debe ser de resistencias eléctricas y debe estar equipado con un control de temperatura capaz de satisfacer los requisitos siguientes.

- Hasta e incluido 1000°C $\pm 2^{\circ}\text{C}$
- Por encima de 1000°C $\pm 3^{\circ}\text{C}$

Sin ajustes manuales más frecuentes que una vez cada 24 horas después de la aplicación de la carga. Y el método de medición de temperatura debe ser lo suficientemente sensible y fiable para garantizar que la temperatura esté dentro de los límites especificados, la misma que deberá ser medida mediante termopares, en conjunto con potenciómetros o milivoltímetros.

La sensibilidad y precisión del equipo de medición de la deformación debe ser adecuado para definir las características

de creep con la precisión requerida para la aplicación de los datos.

En la Figura 1.25 se muestra el dispositivo de ensayo creep Modelo C de la empresa Instron, fabricada bajo los parámetros de la norma ASTM E139.



FIGURA 1.25. DISPOSITIVO DE ENSAYO CREEP INSTRON.

[14]

1.5.2 Consideraciones sobre las probetas.

La norma ASTM E139 indica que el tamaño y la forma de las probetas deben basarse principalmente en los requisitos

necesarios para obtener muestras representativas del material que está siendo investigado.

A menos que se especifique lo contrario, las muestras de ensayo deben estar orientados de tal manera que el eje de la probeta sea paralela a la dirección de fabricación.

El tamaño y forma de las probetas descritas en los Métodos de Ensayo ASTM E8 son generalmente adecuados para los ensayos a temperatura elevada con las modificaciones siguientes: (1) la tolerancia dimensionales en la sección reducida deberá ser de $\pm 0,5\%$ del diámetro, (2) mayores proporciones de longitud-diámetro de la sección reducida puede ser deseable para aumentar la exactitud de la medición de deformación.

Para el ensayo en planchas de metal se utilizan probetas de sección rectangular, caso contrario, la probeta debe de ser de sección circular, con un diámetro no mayor a 12,5 mm. (ver Apéndice 2)

La norma E8 indica que el uso de probetas de diámetro menores a 6mm, debe ser restricto a situaciones en que las

dimensiones del espécimen de prueba sean insuficientes para generar probetas de mayor tamaño.

CAPÍTULO 2

2. IMPLEMENTACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

La implementación del banco de pruebas consistió en un trabajo de diseño y construcción del mecanismo de ensayo, diseño y montaje del sistema de control, registro y supervisión; y de la puesta a punto del sistema en general.

Para lo cual se hizo uso de múltiples conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera y de varias herramientas de ingeniería que nos permitieron abordar la necesidad de una manera efectiva.

2.1 Consideraciones de diseño

Las consideraciones de diseño del mecanismo están basadas en los requerimientos que estipula la norma ASTM E139, mencionada en el capítulo anterior.

Debido a los valores de esfuerzos de los aceros comúnmente usados en el medio industrial, se diseñó un mecanismo capaz de producir esfuerzos de hasta 560 Mpa y 250 Mpa en probetas de 6 mm y 9mm respectivamente. Considerando que para evitar ensayos excesivamente largos, es necesario provocar en las probetas esfuerzos alrededor de la mitad del esfuerzo de cedencia del material.

Pese a esto, el ensayo de creep suele demorar muchas más horas que otros ensayos comunes en ingeniería, por lo cual se necesita un sistema de control, registro y supervisión que facilite y reduzca las tareas del operador, que permita inspección remota del ensayo y sobretodo que registre todas las variables del ensayo de manera continua y automática.

2.2 Diseño mecánico

Tomando en cuenta las consideraciones de diseño, y tratando de establecer la solución más simple que satisfaga nuestras necesidades, se utilizó el concepto de brazo palanca como mecanismo básico del banco de prueba.

Este diseño multiplica el valor de la fuerza provocado por los pesos con que se carga, tal como se muestra en el siguiente diseño de forma, Figura 2.1.

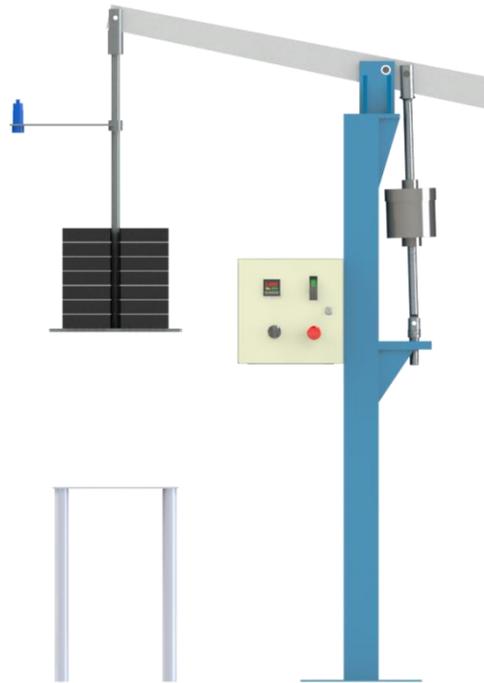


FIGURA 2.1. DISEÑO DE FORMA BANCO DE PRUEBAS.

Las dimensiones iniciales están basadas en medidas geométricas coherentes con su función. Siempre teniendo en cuenta que las dimensiones propuestas son sujetas a modificación en la etapa de análisis rigurosos de los esfuerzos a los que se somete cada pieza.

2.2.1 Simulación del mecanismo

Con ayuda del software SolidWorks® se comprobó el funcionamiento del mecanismo. Se ensamblaron las diferentes piezas, previamente dibujadas, y se les dio restricciones geométricas entre ellas.

La Figura 2.2 muestra el mecanismo en dos posiciones, capturadas mediante el uso de una de las herramientas del programa. La primera posición mostrada representa el inicio del ensayo, la siguiente posición muestra el mecanismo en el punto de máxima deformación de la probeta. Realizando las mediciones se determina que la máxima deformación posible de las probetas en nuestro mecanismo es 35mm, valor, que a priori, consideremos suficiente para satisfacer nuestras necesidades de ensayo.

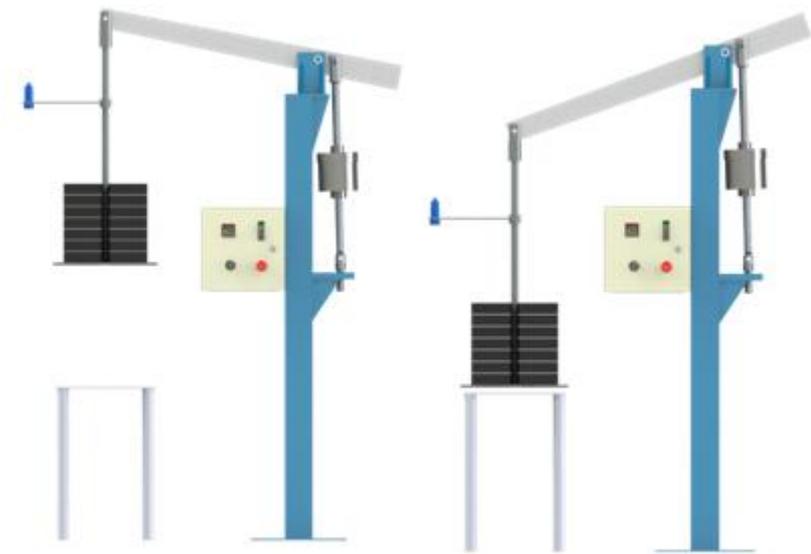


FIGURA 2.2. MECANISMO DE PRUEBAS EN DOS POSICIONES.

2.2.2 Dimensionamiento de elementos.

Luego de definir una concepción general de la forma de las piezas y elementos, es necesario comprobar si las dimensiones iniciales proporcionan la suficiente resistencia al mecanismo para lograr el ensayo sin contratiempos, caso contrario, es necesario corregir las dimensiones hasta lograr un factor de seguridad aceptable. La metodología consiste en establecer las fuerzas, en base a las consideraciones definidas previamente, a partir de esto obtener los esfuerzos y factores de seguridad correspondiente a cada componente, mediante simulación computacional, complemento de SolidWorks®.

El elemento de diseño más crítico de nuestro mecanismo es el brazo palanca, la relación de distancia que tengan sus agujeros o puntos de conexiones representa directamente la relación entre la fuerza aplicada y el esfuerzo provocado en la probeta.

El brazo palanca corresponde a la parte número 2 del Banco de pruebas que se puede apreciar en el Plano 1. La longitud de este es de 1100mm; con los agujeros ubicados a 240mm, 300mm y 1080mm, estos corresponden a las conexiones con la barra sujetadora de la probeta, con la columna central y con la barra del portapesas, respectivamente. De esta información se obtiene que la relación de distancia del brazo palanca es de 13.

Y por lo tanto, basado en el máximo esfuerzo que se necesita provocar en la probeta, se determinó que la fuerza máxima con que se cargaría el mecanismo mediante la ubicación de pesas es de 1224 N.

Estos valores están representados en el siguiente diagrama de fuerza cortante, Figura 2.3, obtenido mediante el programa MDSolid®.

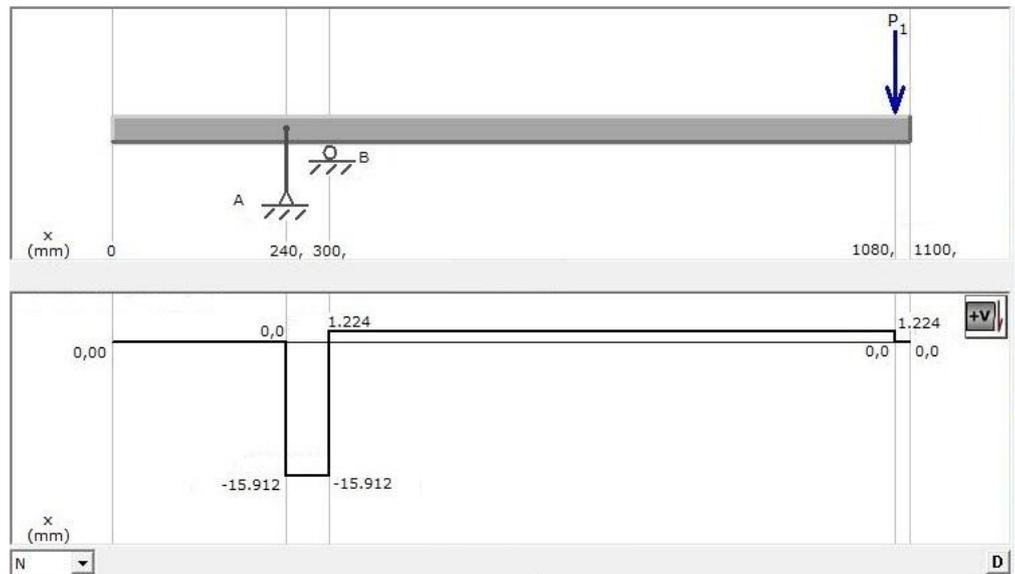


FIGURA 2.3. DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE EN EL BRAZO PALANCA.

Esta combinación de fuerza y sujeciones son ubicadas en la simulación de la pieza, a la cual se le asigna las propiedades del Acero A36, para evaluar el esfuerzo, deformación y factor de seguridad. Tal como se muestra en la Figura 2.4, Figura 2.5, Figura 2.6 y Figura 2.7 respectivamente.

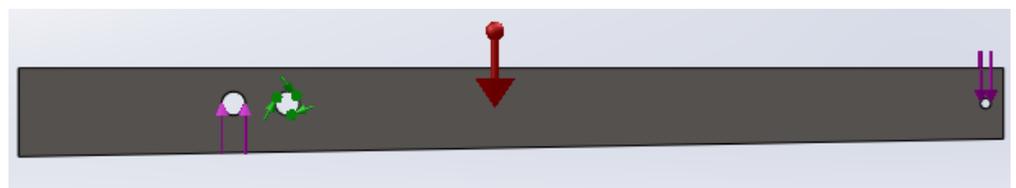


FIGURA 2.4. SUJECIONES Y FUERZAS EN EL BRAZO PALANCA.

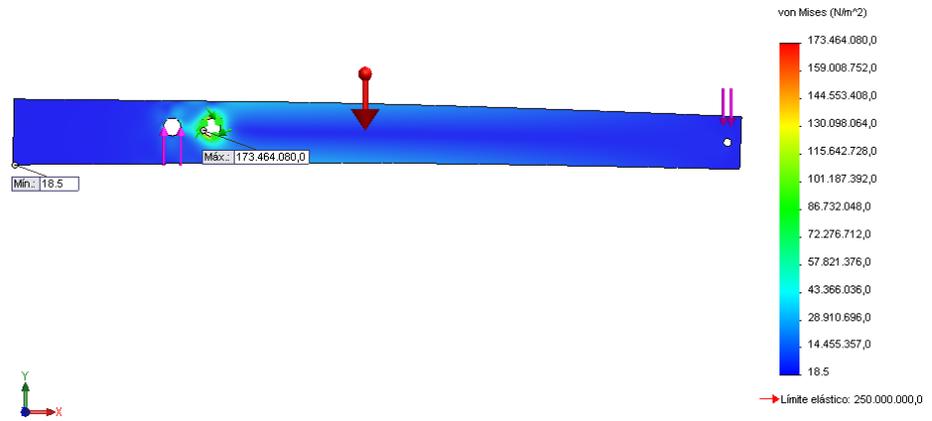


FIGURA 2.5. ESUERZO DE VON MISSES EN EL BRAZO PALANCA.

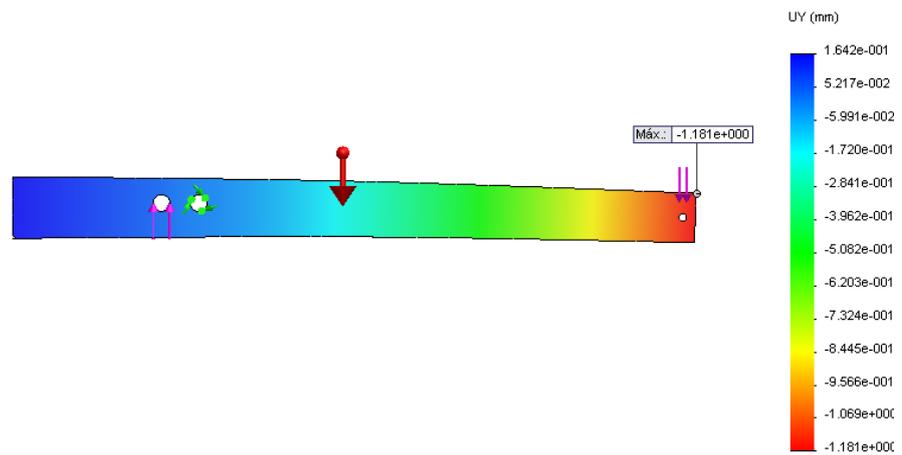


FIGURA 2.6. DEFORMACIÓN EN EL BRAZO PALANCA.

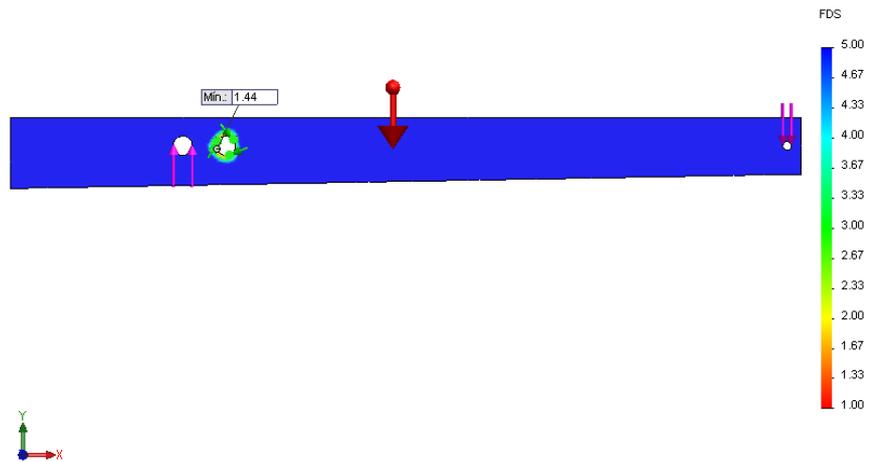


FIGURA 2.7. FACTOR DE SEGURIDAD EN EL BRAZO PALANCA.

Tal como se observa en la Figura 2.7, el factor de seguridad en la zona más crítica de la pieza es 1.44, y por lo tanto el diseño del brazo palanca es aceptado.

La metodología usada para el dimensionamiento del brazo palanca, se repite con cada una de las partes del mecanismo.

Las dimensiones finales obtenidas de cada una de las partes, se las puede apreciar en Plano 2, Plano 3, Plano 4.

2.3 Diseño del sistema de control y supervisión

Para el diseño del sistema de control y supervisión es importante tener en cuenta las variables que intervienen en un ensayo creep; tensión, temperatura, deformación y tiempo. La tensión es constante

a lo largo del ensayo, y depende únicamente de la carga aplicada y la relación de distancias del brazo palanca.

La variable a controlar es la temperatura, de esto dependerá en gran parte el éxito del ensayo. Esta variable, a más de ser controlada, deberá ser registrada y podrá ser regulada cada vez que se inicie una nueva prueba.

La medición de la deformación deberá ser registrada a lo largo del ensayo, al igual que la temperatura. Y todas estas variables son medidas y registradas conjuntamente con el tiempo.

2.3.1 Control de temperatura

Para el diseño del control de temperatura se tomo en consideración la variación permisible que indica la norma, ($\pm 3^{\circ}\text{C}$). Por lo tanto, se seleccionó un control de lazo cerrado, de tipo On -Off, también llamada de histéresis Todo/Nada.

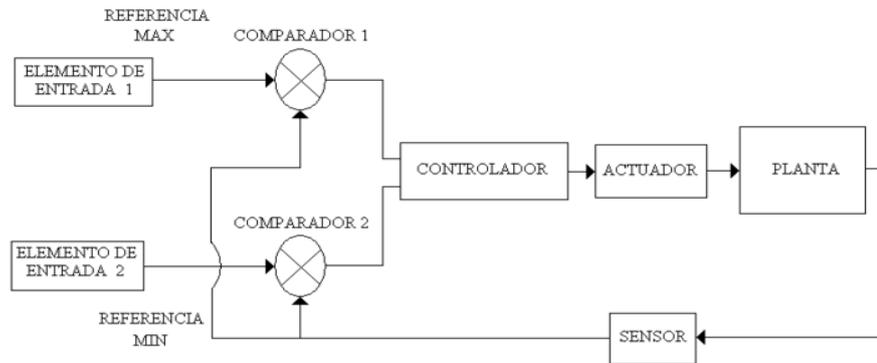
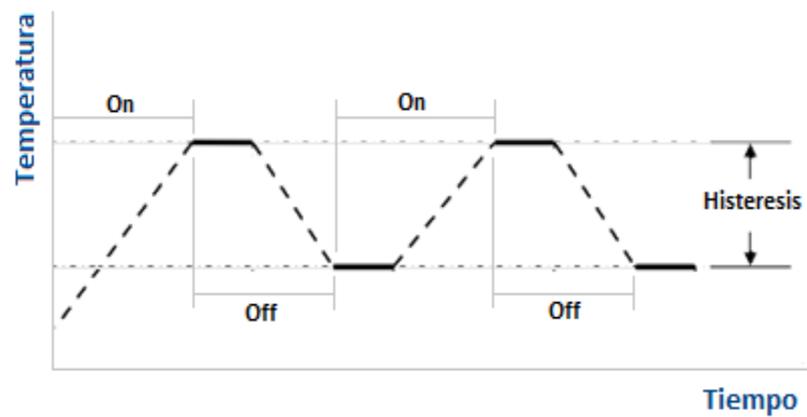


FIGURA 2.8. DIAGRAMA DE BLOQUES DE UN CONTROL DE TEMPERATURA CON HISTERESI TODO/NADA.

En un control Todo/Nada la salida toma únicamente dos valores: Encendido o Apagado. Cuando la temperatura es mayor a la deseada, la salida se apaga, cuando es menor la salida se enciende.

Los controles de este tipo cuentan con histéresis o banda muerta para evitar que la salida sea inestable cuando la temperatura se acerque al valor deseado, su comportamiento se observa en la Figura 2.9.



**FIGURA 2.9. GRAFICA DE OPERACION CONTROL
TODO/NADA.**

El equipo utilizado para realizar este tipo de control es el transmisor universal marca PR electronics modelo PR easy 4116 programable, mostrado en la Figura 2.10.



**FIGURA 2.10. TRANSMISOR UNIVERSAL PR electronics
4116.**

El dispositivo PR easy 4116 censa la temperatura mediante una termocupla tipo K, mostrada en la Figura 2.11. Y se programa mediante el display frontal extraíble, con el cual se graba en la memoria interna del dispositivo los parámetros de operación del mismo.



FIGURA 2.11. TERMOCUPLA TIPO K.

El dispositivo PR easy 4116 puede alimentarse mediante corriente alterna o continua, y es capaz de generar una señal de rango ajustable y lineal de los valores de temperatura en términos de voltaje.

La hoja técnica del dispositivo PR easy 4116 está documentado en el Apéndice 3.

Finalmente, al control de temperatura se adicionó un termostato digital que abra el circuito si la temperatura exterior de la

máquina supera cierto límite permitido, procurando así evitar cualquier tipo de accidente por quemaduras del operador.

2.3.2 Medición de la deformación

Para seleccionar el mecanismo de medición de la deformación se tomo en consideración la necesidad de lograr un dispositivo de ensayo de fácil uso, con la posibilidad de realizar mediciones en tiempo real, de manera autónoma y a lo largo de toda la experimentación.

Basado en estas necesidades se seleccionó un sensor ultrasónico, de tipo barril y salida de señal análoga.

El sensor ultrasónico se basa en la emisión de un pulso de ultrasonido cuyo lóbulo, o campo de acción, es de forma cónica. Midiendo el tiempo que transcurre entre la emisión del sonido y la percepción del eco se puede establecer la distancia a la que se encuentra el obstáculo que ha producido la reflexión de la onda sonora. Como se muestra en la Figura 2.12.

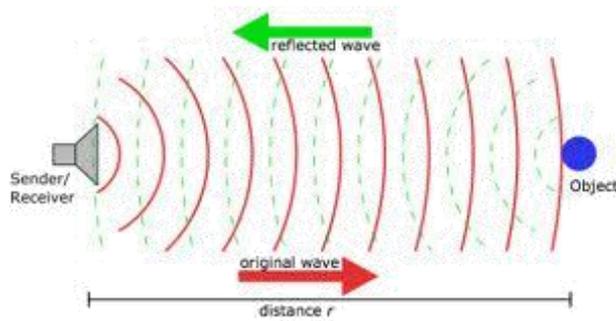


FIGURA 2.12. MEDICIÓN DE DISTANCIA POR ULTRASONIDO.

El sensor adquirido es de la marca HydePark-Superprox® con la serie SC956A-4C0, mostrado en la Figura 2.13, el cual es un dispositivo de medición ultrasónico, con salida análoga y configurable.



FIGURA 2.13. SENSOR ULTRASÓNICO HYDEPARK SC9561-4C0.

Las características principales se detallan a continuación en la Tabla 1. El esquema de conexiones sensor está documentado en el Apéndice 4.

TABLA 1
CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DEL SENSOR DE
DISTANCIA

RANGO	119.4 - 2,006.6 mm (Ajustable)
RESOLUCIÓN	0.08 mm
SALIDA ANALÓGICA	0 mA – 20 mA
TEMPERATURA DE OPERACIÓN	0°C – 50°C @ 100% humedad relativa
MATERIAL DE CARCAZA	PEI (polieterimida)

Debido a que la temperatura máxima que soporta este y cualquier otro sensor al alcance de la posibilidad económica de esta tesis, la medición de la deformación no se puede realizar de manera directa.

Aprovechando que la deformación de la probeta provoca un movimiento en el mecanismo, se realizará una medición indirecta ubicando el sensor en la parte “fría” de la máquina,

tomando así una medida referencial y evitando las altas temperaturas en la cercanía de la probeta.

Dicha medida referencial, será llevada a valores de deformación mediante la relación encontrada entre estas dos variables, ecuación 12, la cual fue determinada mediante la simulación del mecanismo en Solidworks® y corroborada en el mecanismo real.

$$\delta = -((\Delta y * 0.08) - 0.04) \quad (12)$$

Donde, δ es deformación de la probeta y Δy variación de la distancia sensada.

2.3.3 Registro y supervisión remota

Considerando la necesidad de registrar los datos evaluados en el ensayos y poderlos supervisar en cualquier instante del mismo, se diseño un sistema de adquisición de datos haciendo uso del programa Labview®, y del módulo de digitalización conocido como tarjeta de Adquisición de Datos (DAQ).

La adquisición de datos o adquisición de señales, consiste en la toma de muestras del mundo real (sistema analógico) para generar datos que puedan ser manipulados por un ordenador u otros dispositivos electrónicos (sistema digital).

En nuestro sistema, tanto el sensor de distancia como el transmisor universal (temperatura) poseen entre sus funciones, la capacidad de generar una señal análoga proporcional a la variable sensada.

Ambas señales serán transmitidas hasta la Tarjeta de Adquisición, DAQ 6008, adquirida para la realización de este proyecto. Mostrada en la Figura. 2.14.



FIGURA 2.14. TARJETA DE ADQUISICIÓN DE DATOS DAQ-6008.

Esta tarjeta admite las señales, las digitaliza y transfiere al computador la información que se convertirá en datos útiles mediante un código de programación gráfica o “Instrumento Virtual” elaborado en Labview®. Este código está documentado en el Apéndice 5.

Una necesidad adicional del sistema es la supervisión remota del ensayo, la cual se satisfizo mediante el uso de la versión gratuita del programa TeamViewer®, el cual permite controlar y monitorear un computador de manera remota, segura y eficaz. La interfaz inicial a esta herramienta se muestra a continuación en la Figura 2.15.



FIGURA 2.15. INTERFAZ INICIAL DEL PROGRAMA TEAMVIEWER.

Para hacer efectiva esta solución y lograr una supervisión total del sistema implementamos una cámara que transmite los movimientos en el dispositivo de ensayo. Y debido a que la

cámara requiere luz para poder adquirir imagen, se implemento un control de luz remoto controlado también mediante el mismo Código de Programación Gráfica. (Ver Apéndice 5)

La interfaz del Código Programado se muestra a continuación en la Figura 2.16.

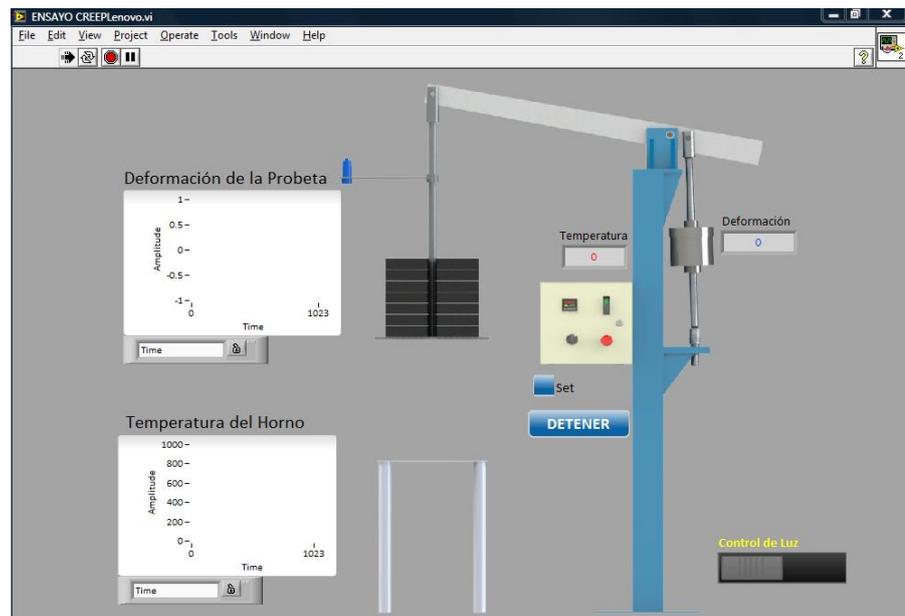


FIGURA 2.16. INTERFAZ CÓDIGO G ENSAYO CREEP

Esta interfaz o panel frontal consta de:

- Dos indicadores gráficos de la temperatura del horno y de la deformación de la probeta.
- Dos indicadores numéricos de la temperatura del horno y de la deformación de la probeta.

- Un botón de set, para indicar al programa que esta lista la probeta en el equipo para empezar el ensayo.
- Un botón de encendido de la luz que ilumina el dispositivo.

2.4 Construcción del dispositivo experimental

En esta parte se detalla el proceso de elaboración de cada uno de los elementos que constituyen el dispositivo de ensayo, describiendo paso a paso el procedimiento realizado para su obtención, los elementos que no se describen en esta sección fueron adquiridos en el mercado.

2.4.1 Tecnología empleada en la construcción

A continuación en la Tabla 2 se enlistan las diferentes máquinas y herramientas utilizadas en la construcción de los elementos que constituyen la maquina.

TABLA 2
EQUIPOS Y HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN LA
CONSTRUCCIÓN

PROCESO DE MECANIZACIÓN
Nombre del equipo
Torno
Fresadora
Cizalla
Plegadora
Taladro
Cortadora de disco
PROCESO DE SOLDADURA Y CORTE
Nombre del equipo
Soldadora proceso TIG y electrodo revestido
Plasma
INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN Y CALIBRACIÓN
Nombre del equipo
Flexómetro
Calibrador Vernier
Medidor de nivel

Micrómetro
INSTRUMENTOS VARIOS
Nombre del Instrumento
Escuadra
Sierra Manual
Punto
Machuelos
Brocas
Lija
Disco de corte
Disco de zirconio

2.4.2 Proceso de construcción

A continuación se detalla el proceso de construcción de los elementos que constituyen la máquina de ensayo.

Brazo de palanca

El brazo palanca fue elaborado de acero A36, cuyas especificaciones se encuentran en el Apéndice 6, de espesor 20mm que fue adquirido a sobre medida y luego maquinado a

las medidas seleccionadas luego del análisis en las simulaciones.

El proceso de mecanizado realizado para la obtención del brazo palanca terminado es el siguiente,

1. Cortado con oxicorte a las dimensiones requeridas.
2. Refrentado de las caras
3. Taladrado de los agujeros
4. Colocación de los bocines en los agujeros de acero AISI - SAE 4340.

En la Figura 2.17 se muestra el brazo palanca cuando se le realizaron los agujeros, y el brazo terminado.



FIGURA 2.17. CONSTRUCCIÓN DEL BRAZO PALANCA

Barras

Las barras fueron elaboradas de acero AISI-SAE 4340 cuyas especificaciones se encuentran en el Apéndice 7. Las dimensiones en bruto de los ejes de los cuales mecanizamos las barras son $\varnothing 40 \times 900$.

Y el proceso de mecanizado realizado para la obtención de las barras fue el siguiente:

1. Cortado a dimensiones preliminares sobre medida

2. Refrentado de las caras en el torno
3. Cilindrado al diámetro requerido
4. Taladrado del agujero de centro
5. Roscado de agujero para probeta
6. Taladrado de agujero para pasador
7. Fresado de canal que va al brazo palanca
8. Limado de asperezas

En la Figura 2.18 se muestra el proceso de mecanizado descrito.



FIGURA 2.18. PROCESO DE MECANIZADO

Placas y Cartelas

Para las distintas placas utilizadas en la maquina se utilizo un retazo de plancha de acero A36 de 10 mm de donde se obtuvo las placas de soporte para el brazo palanca y las cartelas.

El proceso de construcción de las placas se describe a continuación:

1. Trazado de líneas donde se efectuaran los cortes
2. Corte con cizalla
3. Pulido de las rebabas
4. Marcación de punto donde se harán las perforaciones los pasadores

En la Figura 2.19 se muestra el proceso.



FIGURA 2.19. CONSTRUCCIÓN DE PLACAS Y CARTELAS.

Columna principal

En la construcción del cuerpo del banco de pruebas se utilizaron dos vigas tipo UPN100 y el proceso de construcción es el siguiente:

1. Trazado preliminar
2. Corte con plasma
3. Corte de bisel a 45° en la parte del ala donde serán soldados

4. Soldado de las 2 vigas en forma de cajón
5. Soldado de la base cuadrada con agujeros para pernos
6. Soldadura de las placas soportes del brazo palanca
7. Biselado de cartelas a 45°
8. Soldadura de cartelas a las placas soportes
9. Soldadura de placa de sujeción de las barras
10. Soldado de cartelas para la placa de sujeción
11. Pintado con pintura anticorrosiva

En la Figura 2.20 se muestra el proceso de construcción descrito anteriormente.



**FIGURA 2.20. CONSTRUCCIÓN DE LA COLUMNA
PRINCIPAL**

Pesas

Las pesas fueron elaboradas a través del proceso de fundición de hierro en las instalaciones de Intramet, se realizó un modelo de madera con las dimensiones necesarias para obtener pesas de 20 kg.

El proceso es el siguiente:

1. Modelo en madera
2. Se hizo el molde en arena para la fundición
3. Triturado de hierro fundido y preparación para fundir
4. Fundición en el molde
5. Limpieza de las pesas, pulido de caras
6. Recubrimiento con masilla y pintura
7. Comprobación del peso

En la Figura 2.21 se muestra el proceso de construcción descrito anteriormente.



FIGURA 2.21. FABRICACION DE LAS PESAS

Horno

Para la elaboración del horno se utilizó una resistencia de 1000W de potencia la cual fue encapsulada en un cilindro y aislado con material cerámico, a continuación se detalla el proceso:

1. Adquisición de la resistencia de 1000W y 100mm de diámetro
2. Cortado y rolado de retazo de acero inoxidable 304 a 150 mm de diámetro.
3. Soldado de la tapa inferior
4. Elaboración de tala superior removible
5. Colocación de resistencia concéntrica al cilindro

6. Colocación de material refractario entre ellos

La Figura 2.22 muestra el proceso descrito anteriormente.



FIGURA 2.22. ELABORACION DE HORNO

2.5 Montaje del sistema de control, registro y supervisión.

En esta parte se detalla el montaje del sistema de control diseñado, listando todos los elementos y herramientas utilizadas.

Panel frontal de control

Para la elaboración del panel frontal de la caja de control se perforó la tapa metálica de la misma, mediante un sacabocado hidráulico

para los elementos de contorno circular, y una caladora para los elementos con bordes rectos.

Los elementos colocados en el panel frontal de control son los siguientes:

- Transmisor Universal PR easy 4116 con display
- Termostato digital
- Botón de emergencia
- Selector de encendido

En la Figura 2.23 se muestra el proceso de elaboración del panel frontal.



FIGURA 2.23. FABRICACION DEL PANEL FRONTAL

Caja de control

El montaje de los elementos en el interior de la caja se realizó procurando lograr un menor recorrido de los cables y flujo correcto del calor generado por dichos elementos.

Los elementos colocados en el interior de la caja de control son los siguientes:

- Interruptor termomagnético
- Contactor de 3 líneas
- Fuente de Voltaje 5v, 12v, 18v.
- Bornera de 20ª

- Tarjeta electrónica para control de luz
- Cables 12awg, 14awg.

La fuente de voltaje y la tarjeta electrónica para control de luz, debieron ser probadas antes de montarlas en la caja.

La tarjeta electrónica debió ser probada en protoboard, basada en un diseño electrónico encontrado en la web, el circuito se elaboró en Proteus, software para elaboración de PCBs, el cual nos generó un archivo que se entregó al taller de elaboración de PCB.

En la Figura 2.24 se muestra el proceso de montaje de la caja de control.

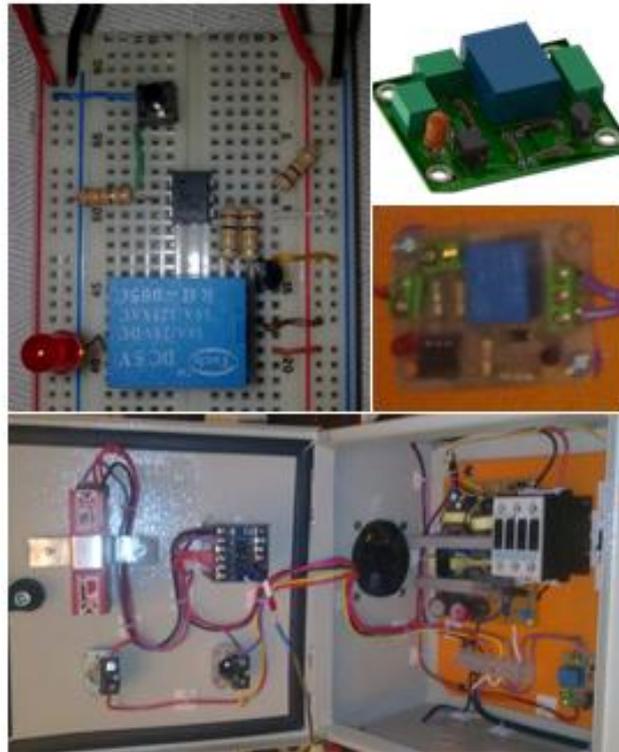


FIGURA 2.24. MONTAJE DE LOS ELEMENTOS DE LA CAJA DE CONTROL.

Tarjeta de adquisición

El montaje de la tarjeta de adquisición consistió en el cableado de los elementos mediante par trenzado como recomienda el manual con el fin de evitar ruido en la señal por campos magnéticos o electromagnéticos.

El par trenzado, y las conexiones en la tarjeta de adquisición se muestran en la Figura 2.25.

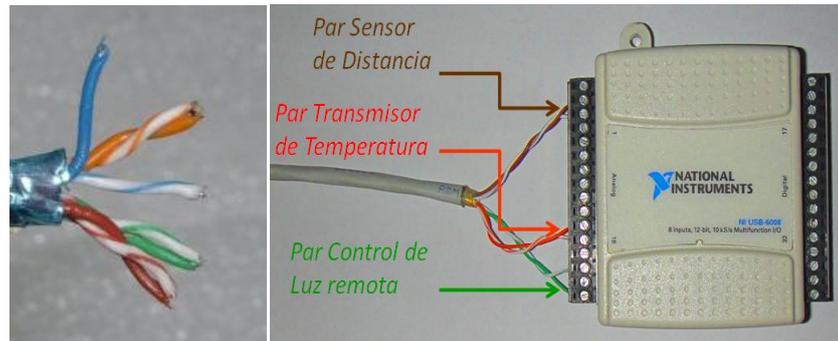


FIGURA 2.25. MONTAJE DE LOS ELEMENTOS DE LA CAJA DE CONTROL.

A continuación, Figura 2.26, el equipo experimental funcionando.



FIGURA 2.26. EQUIPO EXPERIMENTAL FUNCIONANDO.

CAPÍTULO 3

3. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

3.1 Material a ensayar

3.1.1 Justificación del acero a ensayar

En la construcción o reparación de maquinarias, los aceros mayormente usados en el país son los siguientes:

TABLA 3

ACEROS COMÚNMENTE USADOS PARA MAQUINARIA

DENOMINACIÓN AISI-SAE
1018
1045
8620
4340
4140

Estos aceros, conocidos como aceros de grado maquinaria, son generalmente de baja aleación y se los utiliza en infinidad de aplicaciones tales como; pernos, pines, sellos, tornillos, bujes, engranes, ejes, guías, rodos, etc.

Los aceros de grado maquinaria son muy satisfactorios donde la resistencia y otros requisitos no son muy severos. Sin embargo, en muchas ocasiones no se prevé que dichos elementos pueden estar expuestos a elevadas temperaturas, lo cual merma considerablemente sus propiedades por el fenómeno creep.

Finalmente, se decide usar el acero AISE-SAE 1018 debido a su popular uso en el medio para las aplicaciones antes mencionadas.

3.1.2 Acero AISI-SAE 1018

El acero AISI-SAE 1018 es uno de los más versátiles entre los aceros de bajo contenido de carbón, es comúnmente usado en partes de maquinarias, área automotriz, equipo de proceso etc., que no estén sujetas a grandes esfuerzos. Sus características y precio lo han convertido en popular en los diseños o reparaciones.

En la literatura técnica consultada, no existe documentación de ensayos de creep del acero AISI-SAE 1018. La información más cercana que obtuvimos de la experimentación creep de este material fue en KEY to METALS, una reconocida y costosa base de datos de aleaciones ferríticas, a la que tuvimos acceso temporal mediante una solicitud. Aquí pudimos encontrar las curvas de creep y de Larson-Miller del acero BS-360 y de otros aceros. Con las cuales contrastaremos nuestros resultados, sabiendo a priori que las propiedades del acero 1018 son menores que la de los aceros consultados.

3.1.3 Caracterización del acero AISI-SAE 1018

La caracterización del material a ensayar se realiza con el fin de determinar las propiedades reales del material adquirido, y poder compararlas así con las especificaciones descritas por el proveedor y los estándares.

Ensayo de tracción

El ensayo de tracción del acero AISI-SAE 1018 fue realizado en la Máquina de Ensayos Universal Shimadzu AG-IS10, la

probeta utilizada fue elaborada según la norma ASTM E8, los resultados obtenidos se muestran a continuación:

TABLA 4
RESULTADO ENSAYO DE TRACCIÓN

Esfuerzo de fluencia [MPa]	Esfuerzo máximo [MPa]	Elongación	Reducción de área
706,6	729,04	13,5%	60%

La gráfica obtenida se puede observar en el Apéndice 8.

Ensayo de dureza

El ensayo de dureza fue realizado con un medidor de dureza Wilson 3YR. El resultado del ensayo se presenta a continuación:

TABLA 5
RESULTADO DEL ENSAYO DE DUREZA

DUREZA	213,79
[HB]	

Análisis Químico

El análisis químico fue realizado en un analizador químico LECO GDS 500A. El resultado del análisis se presenta a continuación:

TABLA 6
RESULTADO DEL ANÁLISIS QUÍMICO

C %	Mn %	P %	S %	Si %	Cr%	Fe %
0,153	0,603	0,045	0,030	0,309	0,117	98,5

Metalografía

La metalografía se la realizó para corroborar si el metal presenta una microestructura acorde a su designación. Además, para conocer si el material presenta excesivas

incrustaciones, granos deformados o alguna otra irregularidad que sesguen el resultado del ensayo.

A continuación, en la Figura 3.1, se la microestructura observada en el microscopio a 500x.

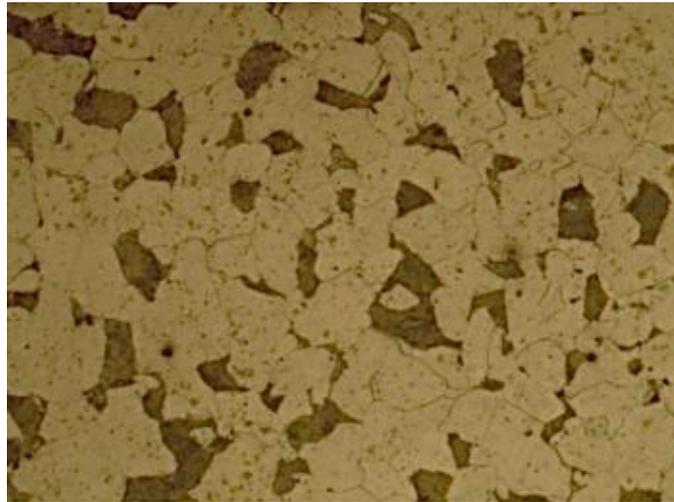


FIGURA 3.1.MICROESTRUCTURA (500X) NITAL 3%.

En la microestructura se observa un acero de bajo contenido de carbono, con presencia de perlita en matriz ferrítica, acorde con el acero hipoeutectoide 1018.

3.2 Preparación de las probetas

Las probetas de ensayo creep utilizadas están estandarizadas bajo la norma ASTM E8, Apéndice 2, la dimensión seleccionada se muestra en la Figura 3.2. La misma cuenta con un diámetro de 9mm en su

parte central. Esta probeta es simétrica tanto en sentido transversal como longitudinal; debe ser elaborada por medio del proceso de torneado.

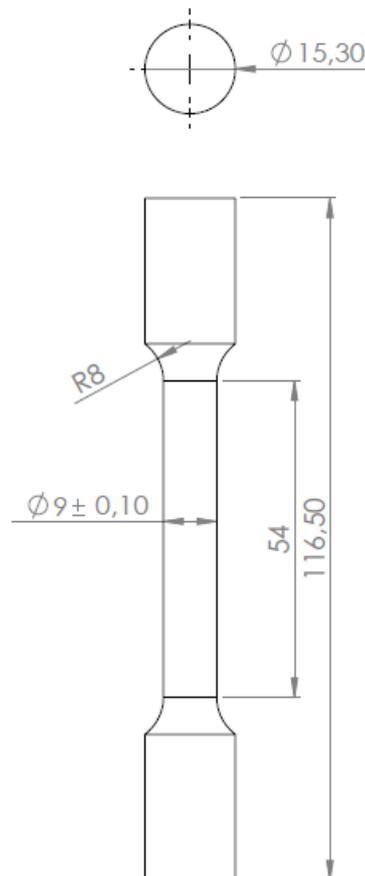


FIGURA 3.2. ESQUEMA DE LA PROBETA A ENSAYAR (mm).

3.2.1 Procedimiento para el maquinado de las probetas

Se mecaniza la misma hasta llegar a 0.025 mm del diámetro final de los extremos para luego proceder a hacer la rosca, que

en nuestro caso es de 11 dientes por pulgada, luego se mecaniza el centro de la probeta con los radios al final de la parte central (zona vulnerable a la ruptura), tal como lo indicamos en la Figura 3.2, la parte central no deberá tener un mal acabado superficial, ni un diámetro superior al indicado.

3.3 Metodología de ensayo

El ensayo estuvo enfocado al trazado de la curva de Larson-Miller para el material en análisis, debido a que esta curva es una de las herramientas más útiles que se tiene para la predicción de vida útil o tiempo de vida residual que se posee.

Para lo cual fue necesaria la variación de dos parámetros del ensayo; temperatura y carga. La variable dependiente de esta variación es el tiempo de ruptura de la probeta ensayada. El cual es medido para la construcción de la curva.

Así también se mide la deformación de la probeta, pese a que esta variable no es preponderante en la construcción de la curva de Larson-Miller, se registra con el fin de analizar el comportamiento y compararlas con las curvas típicas de deformación por creep.

Esfuerzo en la probeta

El esfuerzo de la probeta esta provocado por las pesas con que se cargue al mecanismo, y por el peso desbalanceado del brazo palanca y portapesas, al que llamaremos precarga.

Esta precarga representa una fuerza igual a la que provocaría una pesa de 15.4 kg. El cálculo de este peso se encuentra en el Apéndice 9.

Por lo tanto, el esfuerzo en la probeta ensayada estará provocado por trece veces la fuerza de las pesas más la precarga. A continuación la formula que relaciona el esfuerzo en la probeta y el peso colocado en el portapesas del equipo;

$$\sigma = \frac{4.(Pesas[kg]+15,4).9,8}{\pi.D_{probeta}^2} \quad (13)$$

Donde D es el diámetro de la probeta, y Pesas es la masa de las pesas colocadas.

A continuación, en la tabla 7, se presenta combinaciones de pesas con los respectivos esfuerzos planeados para los ensayos a realizar, calculados con la ecuación 13.

TABLA 7
PESAS Y ESFUERZO CORRESPONDIENTES

PESAS Kg	ESFUERZO MPa
15.1 – 17.8 – 20.8 – 21.2 – 21.3 – 21.6 – 22.1	311
17.8 – 20.8 – 21.2 – 21.3 – 21.6 – 22.1	281
15.1– 21.2 – 21.3 – 21.6 22.1	239
15.1– 20.8 – 21.2 – 21.3 21.6	231
20.8 – 21.2 – 21.3 – 21.6	201
15.1 – 17.8 – 20.8 – 21.6	181
17.8 – 20.8 – 21.6	151
15.1 – 20.8 – 21.6	146
15.1 – 17.8 – 20.8	138
21.6 – 22.1	118
15.1 – 22.1	105
15.1 – 17.8	97
20.8	72
15.1	61
0	31

3.4 Procedimiento de ensayo

Una vez definidos los parámetros a ensayar, se procede a seleccionar las pesas que se utilizará para lograr el esfuerzo deseado en la probeta. Y establecemos en control de temperatura, Universal Transmitter 4116, la temperatura de ensayo. En este momento el horno aún no producirá calor, debido a que el botón de emergencia no ha sido desactivado. Adicionalmente se da inicio al programa en la computadora. Como se muestra en la Figura 3.3.



FIGURA 3.3. SETEADO DE TEMPERATURA.

Se procede a colocar la probeta en las barras roscadas, Figura 3.4, y posteriormente se coloca el horno en la posición marcada en las barras, Figura 3.5.



FIGURA 3.4. COLOCACION DE LA PROBETA.



FIGURA 3.5. COLOCACION DEL HORNO.

Una vez puesta la probeta se fija las barras de sujeción a la bancada, Figura 3.6, y se levanta el botón de emergencia, y el control automático llevará el horno a la temperatura desea.



FIGURA 3.6. SUJECION DE LAS BARRAS A LA BANCADA Y ENCENDIDO DEL HORNO.

Cuando se haya estabilizado la temperatura del horno, se da clic en el botón de SET en el programa, Figura 3.7, y se procede a colocar las pesas. Figura 3.8.

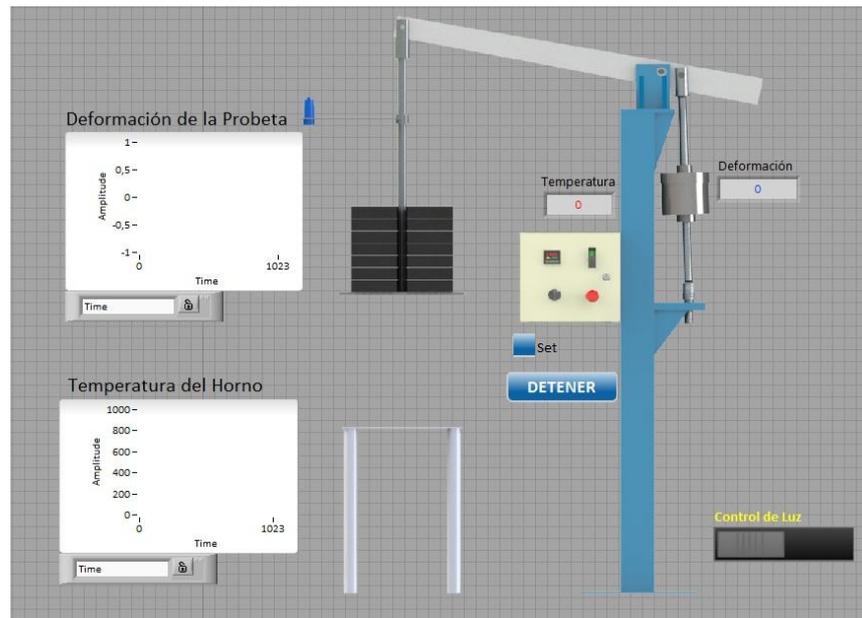


FIGURA 3.7. SETADO DEL PROGRAMA.

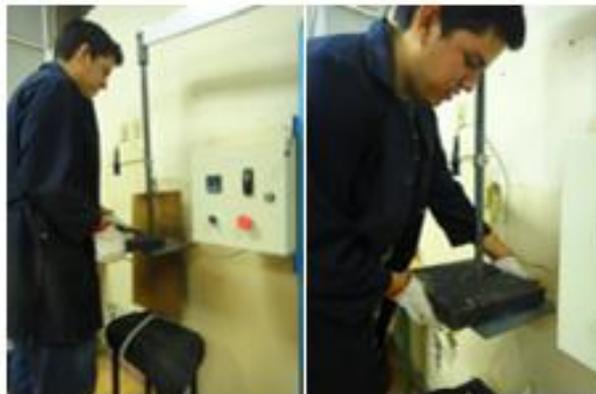


FIGURA 3.8. COLOCACION DE LAS PESAS.

El ensayo finaliza con la ruptura de la probeta, y el tiempo queda registrado en un archivo Excel generado por el código G de Labview, así como también en el video del ensayo.

En otro archivo Excel quedarán registrados los valores de deformación obtenidos a lo largo del ensayo.

3.5 Resultados experimentales

Para la obtención de los resultados experimentales se necesitó 17 probetas, de las cuales 2 se utilizaron para las pruebas preliminares y calibración del equipo, con un número total de 69 horas de ensayo, que se llevo a cabo en un lapso de 3 meses.

A continuación, tabla 8, se presentan los resultados obtenidos de la experimentación en la máquina de ensayo creep.

TABLA 8
RESULTADOS EXPERIMENTALES ENSAYO CREEP

TEMPERATURA °C	ESFUERZO MPa	TIEMPO Horas
575	281	0.99
	138	7.10
	72	63.90
600	311	0.06
	239	0.15
	201	0.29
	181	0.82
625	231	0.02
	151	0.11
	118	0.27
	97	0.32
650	138	0.06
	105	0.08
	61	0.18
	31	0.52

CAPÍTULO 4

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez realizados los ensayos y obtenidos los datos necesarios para la construcción de la curva de Larson-Miller, se puede decir que fue acertada la decisión de escoger esta metodología de ensayo y predicción, ya que nos permitió acortar los tiempos de experimentación aprovechando la correlación entre los tres variables preponderantes; temperatura, tiempo, y esfuerzo.

A continuación, en la Figura 4.1, se puede observar una fotografía de una probeta fractura como resultado de ensayo creep en nuestro dispositivo de ensayo.



FIGURA 4.1. PROBETA FRACTURADA EN EL ENSAYO.

Un grupo de probetas fracturas se las observa en la Figura 4.2. En estas probetas se observa que las fracturas son del tipo dúctil, en todas se evidencia la formación de cuello debido a la pronunciada deformación, tal como se observa en la Figura 4.3.



FIGURA 4.2. GRUPO DE PROBETAS FRACTURADAS.

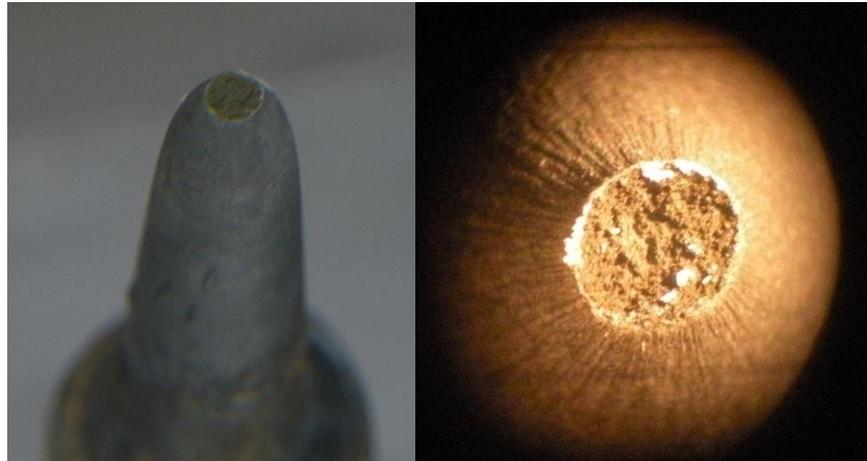


FIGURA 4.3. FRACTURA DUCTIL DE LA PROBETA ENSAYADA.

4.1 Curva de deformación por termofluencia

La deformación es obtenida mediante el programa de Labview®, el cual exporta una base de datos en formato compatible a Excel.

A continuación, Figura 4.4, se muestra la curva deformación obtenida para la experimentación creep, realizada en nuestro banco de pruebas a una temperatura de 600°C, y un esfuerzo inicial de 181MPa aplicado en la probeta. Resultando un tiempo de vida, hasta la ruptura, de 49,2 min, con una deformación total de 24,3mm.

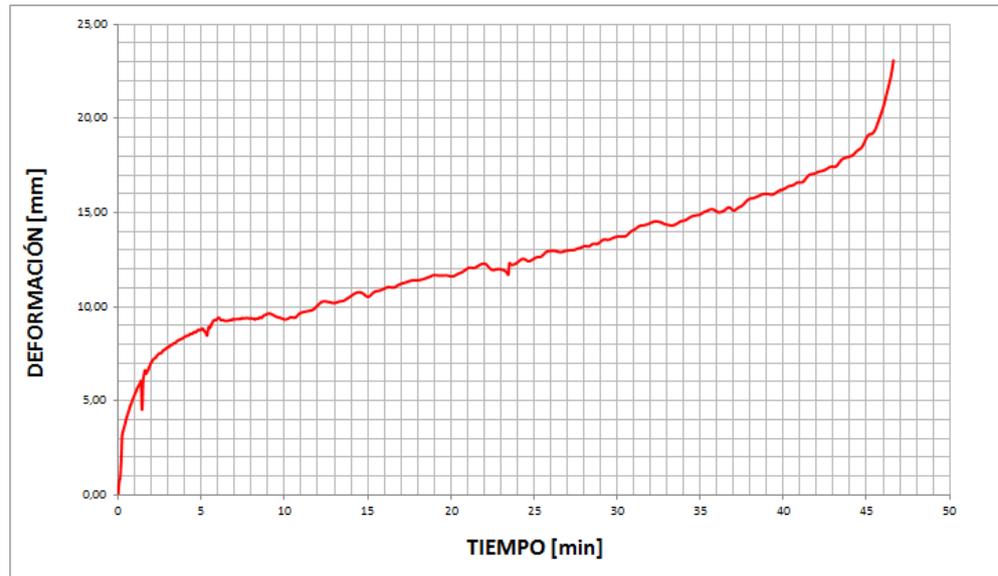


FIGURA 4.4. CURVA DE DEFORMACION EN EL ENSAYO.

La base de datos de la curva presentada se la puede revisar en el Apéndice 10.

En la curva es posible identificar, características importantes de la misma, las cuales ya se detallaron en el capítulo 1, haciendo uso de una curva teoría.

En la curva mostrada en la Figura 4.4, se evidencia una deformación inicial e instantánea provocada por la aplicación de la carga, fenómeno ajeno a la deformación por creep.

Posterior al instante inicial, la deformación continúa pero empieza a desacelerar hasta llegar a una tasa de deformación constante, la cual

acaba al llegar a la última zona de la curva, en donde la deformación acelera hasta llegar a la ruptura.

4.2 Construcción de la curva Larson-Miller

Para la construcción de la curva de Larson-Miller es necesario determinar el parámetro del mismo nombre (PLM) para cada combinación de los resultados obtenidos y tabulados en el capítulo anterior. La determinación de dicho parámetro se la realiza mediante la ecuación 10, siguiendo la normativa ASTM E139.

A continuación se presenta la tabla de resultados, con su correspondiente parámetro PLM.

TABLA 9

DATOS PROCESADOS DEL ENSAYO CREEP

TEMPERATURA °C	ESFUERZO MPa	TIEMPO Horas	PLM
575	281	0.99	11.50
	138	7.10	11.99
	72	63.90	12.54
600	311	0.06	11.27
	239	0.15	11.50
	201	0.29	11.67
	181	0.82	11.95
625	231	0.02	11.44
	151	0.11	11.90
	118	0.27	12.14
	97	0.32	12.19
650	138	0.06	12.22
	105	0.08	12.27
	61	0.18	12.52
	31	0.52	12.82

Graficando el parámetro PLM versus el esfuerzo inicial de la probeta se obtiene la Curva Larson-Miller. La cual se presenta a continuación, Figura 4.4.

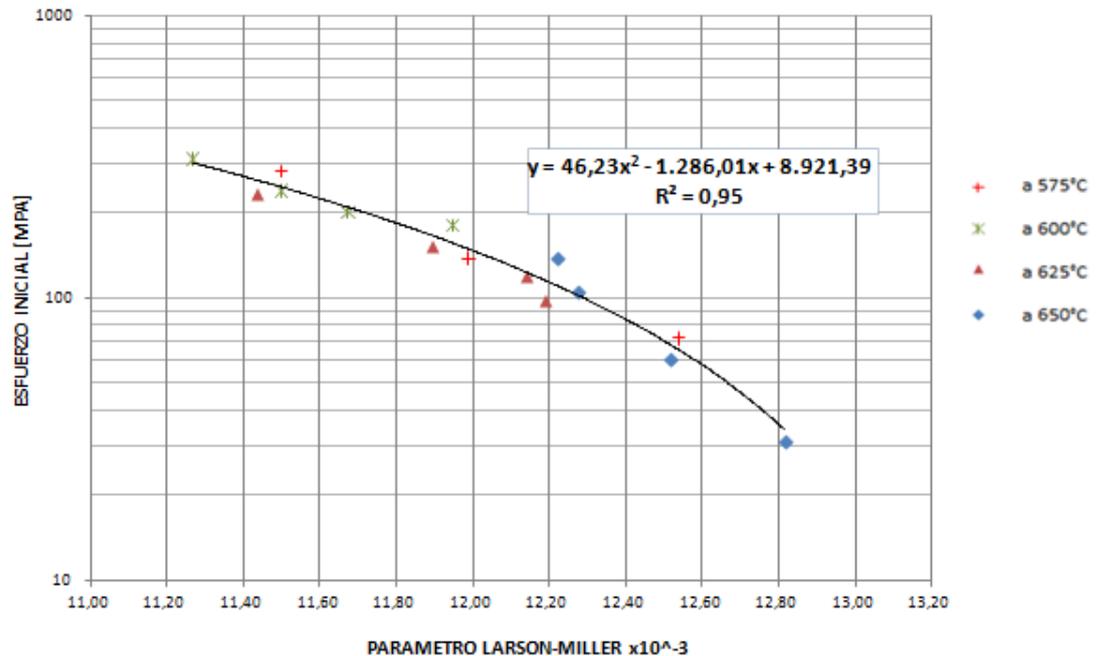


FIGURA 4.4. CURVA DE LARSON-MILLER DEL ACERO AISI-SAE 1018.

4.3 Construcción del modelo predictivo

Para la construcción del modelo predictivo es necesario únicamente determinar una ecuación que describa la curva Larson-Miller presentada en la Figura 4.5. Para lo cual se hizo uso de la herramienta de Excel de Análisis de tendencia.

La tendencia escogida para la construcción del modelo fue una curva polinomial de segundo orden.

A continuación se presenta la ecuación obtenida en Excel mediante el algoritmo de Regresión Polinomial.

$$\sigma = 46.23(PLM)^2 - 1286.01(PLM) + 8921.39 \quad (14)$$

La correlación obtenida con esta línea de tendencia es de 95%, lo cual resulta bastante satisfactorio. Y por tanto, mediante las ecuaciones (10) y (14) es posible determinar cualquiera de las tres variables de estudio; temperatura, tiempo o esfuerzo, conociendo dos de ellas.

A continuación se presenta tres diferentes escenarios en los que se puede usar el modelo predictivo desarrollado en esta tesis.

Estimación de tiempo de vida

Ya sea en la predicción del tiempo de vida útil de un elemento que estará expuesto a creep, o en la evaluación de un elemento expuesto a creep del cual se requiera conocer el tiempo de vida residual se utilizará la siguiente ecuación, para ambos casos se requerirá conocer el esfuerzo y la temperatura de trabajo.

$$t = 10^{\left(\frac{(PLM*1000)}{T} - C\right)} \quad (15)$$

Donde PLM es igual a:

$$PLM = \frac{(1286.01) - \sqrt{1653821,72 - 184,92(8921.39 - \sigma)}}{92,46} \quad (16)$$

Estimación de Temperatura Permisible

Para determinar la temperatura máxima permisible en un elemento con un esfuerzo determinado y un tiempo de vida requerido, se utiliza la siguiente ecuación.

$$T = \frac{(PLM*1000)}{\log(t*8760)+20} \quad (17)$$

Donde PLM se calcula con la ecuación (16), y t corresponde al tiempo en años.

Estimación de Esfuerzo Permisible

Para determinar el esfuerzo máximo permisible en un elemento con una temperatura de trabajo determinado y un tiempo de vida necesario se utiliza la siguiente ecuación.

$$\sigma = 46,23(PLM)^2 - 1286,01(PLM) + 8921,39 \quad (18)$$

En donde PLM es igual a:

$$PLM = T(\log t + C) \quad (10)$$

Estas ecuaciones fueron implementadas en una hoja de cálculo, con el fin de lograr una “calculadora creep” de fácil distribución a la industria metalmecánica local.

A continuación se muestra capturas de pantalla de la hoja programada con el modelo predictivo del comportamiento de un acero AISI-SAE 1018

CALCULADORA CREEP
ASI-SAE 1018

- Estimación de Vida Residual
 Estimación de Temperatura Permisible
 Estimación de Esfuerzo Permisible

Estimación de Vida Residual (Ruptura)			
Ingrese valor de Esfuerzo	<input type="text"/>	Mpa	Ingrese la Temperatura de trabajo
			<input type="text"/>
Parámetro Larson Miller =	K*log*(horas)	tiempo de ruptura =	h
		=	años

- Estimación de Vida Residual
 Estimación de Temperatura Permisible
 Estimación de Esfuerzo Permisible

Temperatura Permisible			
Ingrese valor de Esfuerzo	<input type="text"/>	Mpa	Tiempo de trabajo requerido
			<input type="text"/>
Parámetro Larson Miller =	K*log*(horas)	Temperatura estimada =	°C

- Estimación de Vida Residual
 Estimación de Temperatura Permisible
 Estimación de Esfuerzo Permisible

Esfuerzo Permisible			
Temperatura de Trabajo	<input type="text"/>	°C	Tiempo de trabajo requerido
			<input type="text"/>
Parámetro Larson Miller =	K*log*(horas)	Esfuerzo estimado =	Mpa

**FIGURA 4.5. CALCULADORA CREEP PARA EL ACERO
 AISI-SAE 1018.**

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Se concluye lo siguiente:

1. En conformidad con uno de los objetivos, se construyó un banco de pruebas bajo la norma ASTM E139 para experimentación del fenómeno de termofluencia en probetas de acero estandarizadas, incursionado de esta manera en el ámbito de la mecánica de falla, y logrando evaluar el comportamiento mecánico de un acero AISI-SAE 1018 frente a este fenómeno.
2. Con un factor de seguridad de 1.44 en el elemento más crítico del mecanismo se aseguró la integridad del banco experimental, en el cual se puede realizar ensayos con cargas de hasta 560Mpa y 250Mpa en probetas de 6mm y 9mm respectivamente.

3. Se logró monitorear de manera efectiva los ensayos mediante el sistema de supervisión y registro instalado, el cual muestreó cada 1,1 segundo las señales de temperatura, y deformación, registró el tiempo ruptura en cada probeta, y permitió llevar seguimiento de cada una de estas variables en tiempo real.
4. Mediante la metodología de ensayo y evaluación de resultados propuesta, es posible lograr estudios que caractericen a un acero en particular y permita obtener una herramienta de predicción de vida útil frente a la termofluencia con fines académicos e industriales.
5. Se comprobó que la vida de un material metálico disminuye sustancialmente cuando existe un aumento de la temperatura de trabajo; esto fue evidenciado cuando dos probetas idénticas cargadas con 138 MPa, ensayadas a temperaturas de 575°C y 650°C fallaron a 7,1 horas y a 3,8 minutos respectivamente.
6. El método de Larson-Miller, para la construcción del modelo predictivo, es el más adecuado ya que permite acortar los tiempos de ensayo aprovechando la relación de las variables: tiempo, temperatura y esfuerzo; además de ser simple y confiable.

7. La curva de Larson-Miller obtenida fue aproximada con una ecuación polinomial de 2° orden, en conformidad con la literatura de termofluencia estudiada, resultando una bondad de ajuste de 0.95, lo cual representa un buen indicador del correcto uso del método y un adecuado funcionamiento del dispositivo.

Recomendaciones

Se recomienda lo siguiente:

1. Utilizar el equipo de seguridad personal apropiado (gafas, guantes, mandil, etc.) cuando se manipule el banco experimental, con el fin de salvaguardar la integridad del operador, debido a la alta temperatura de ciertos componentes del banco, y los pesos que si se manipulan sin precaución podrían causar accidentes.
2. En caso de estudiar materiales de alta resistencia a la tensión, las probetas de ensayo deberán poseer el menor diámetro que permite la norma (6mm), con el fin de no sobrecargar la máquina y evitar daños en el equipo.
3. Para asegurar la fiabilidad de los resultados es recomendable comprobar la calibración del sensor de distancia, lo cual se debe realizar siguiendo el procedimiento descrito en el apéndice 4.

4. Para incursionar más a fondo en el estudio de la termofluencia se propone:

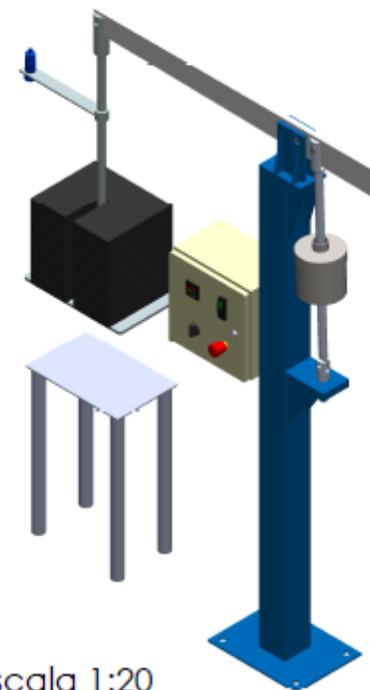
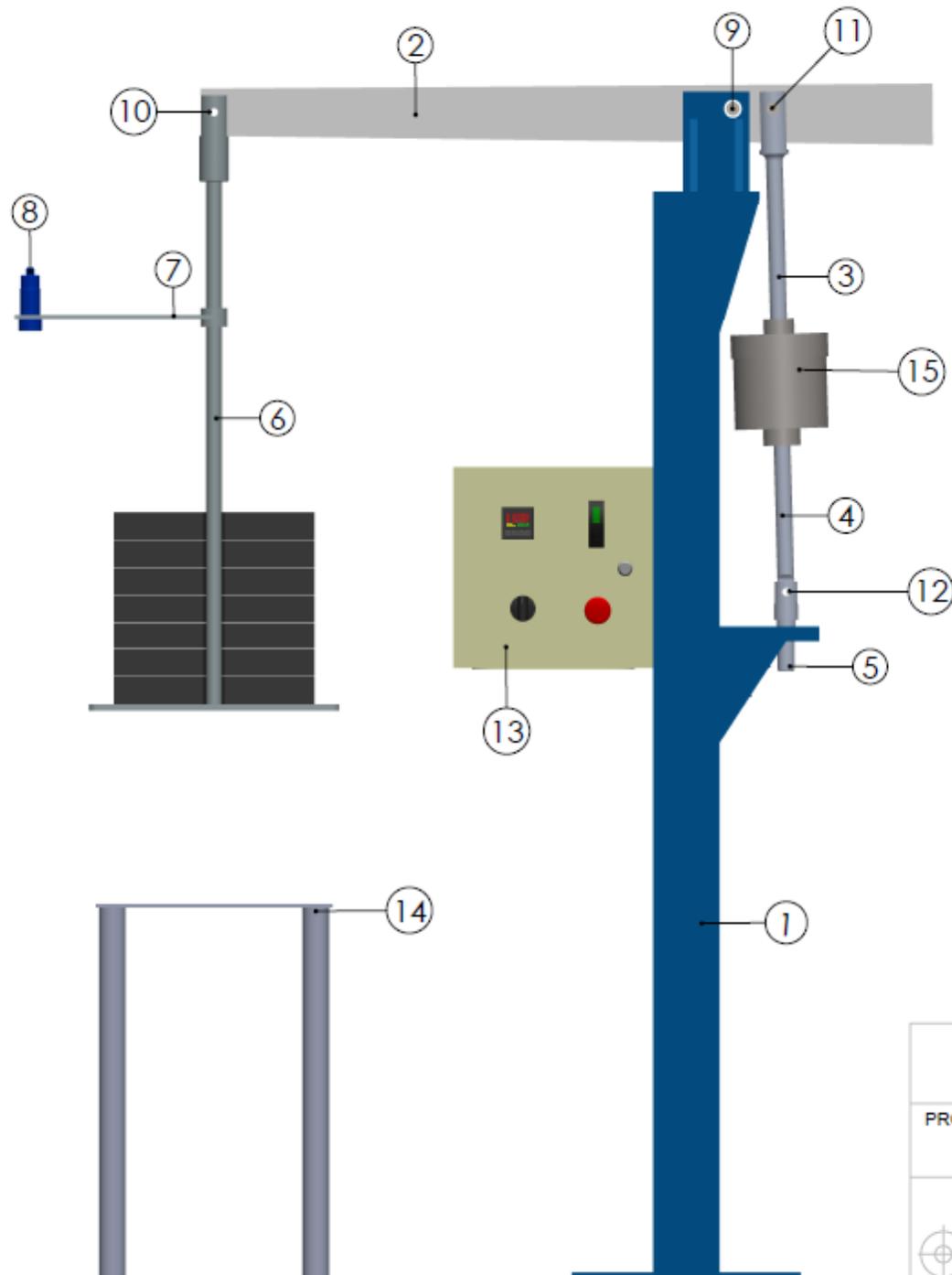
- i. Experimentar con materiales diseñados para resistir a la termofluencia.
- ii. Experimentar con materiales en los que la falla esté definida por una deformación permisible, y no por la ruptura; para lo cual se necesitaría mejorar el sistema de medición de la deformación.
- iii. Profundizar en el estudio y predicción de vida útil basado técnicas metalográficas, ya sea mediante microscopía óptica o microscopía electrónica de barrido.

5. De manera general, para realizar un estudio de termofluencia se debe:

- i. Realizar ensayos de caracterización del material: tensión, microestructura, dureza y análisis químico.
- ii. Definir las combinaciones de esfuerzo y temperatura a las que se someterá a la probeta.
- iii. Posicionar la probeta en el horno y las pesas con cuidado, evitando realizar esfuerzos excesivos, o movimientos bruscos que puedan ocasionar una lesión.

- iv. Supervisar valores de temperatura y deformación a lo largo del ensayo.

PLANO 1
MAQUINA DE ENSAYO CREEP
Y SUS ELEMENTOS



Escala 1:20

- (1) Columna central
- (2) Brazo Palanca
- (3) Barra superior de sujeción de probeta
- (4) Barra inferior de sujeción de probeta
- (5) Fijador de barra a bancada
- (6) Portapesas
- (7) Portasensor
- (8) Sensor
- (9) Pasador 20mm
- (10) Pasador 12mm
- (11) Pasador 20mm
- (12) Pasador 12mm
- (13) Caja de control
- (14) Banco de pesas
- (15) Homo

FIMCP - ESPOL

	FECHA	NOMBRE
Dibujó:	21/04/12	J. Loor F. Morales
Revisó:	21/04/12	Ing. J. Peña

PROYECTO:

MAQUINA DE ENSAYO CREEP

PLANO No:

1

ESCALA:

1:10

CONTIENE:

MAQUINA DE ENSAYO CREEP

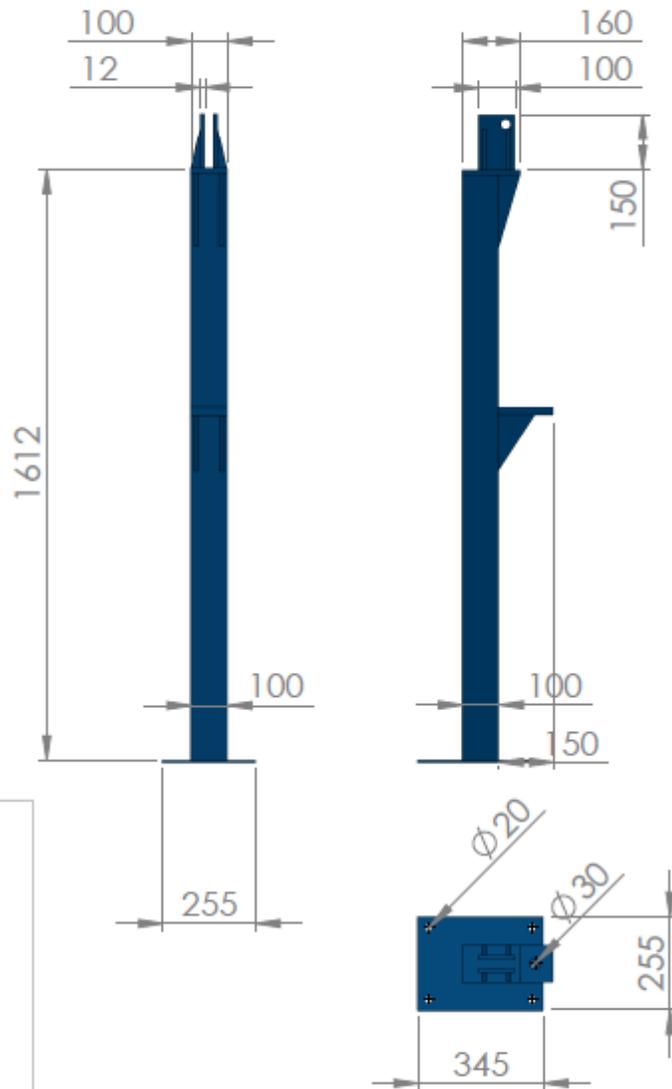
MATERIALES: (1) Acero bonificado 4340
(2) Acero A-36
(3) Componentes eléctricos

MASA (Kg):

254 Kg

PLANO 2

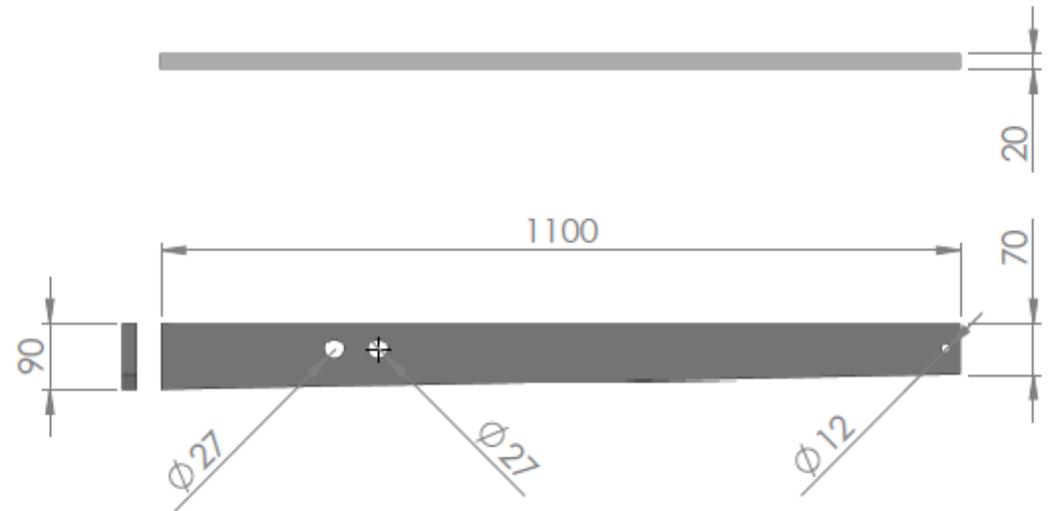
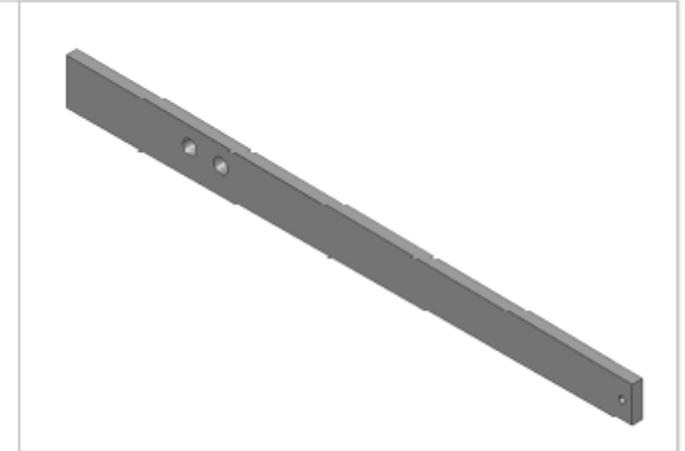
COLUMNA PRINCIPAL Y BRAZO PALANCA



Pieza 1

Pieza 2

ESCALA 1:10



FIMCP - ESPOL

PROYECTO:

MAQUINA DE ENSAYO CREEP

ESCALA:

1:20

CONTIENE:

PARTES MAQUINA DE ENSAYO CREEP

MATERIALES: (1) Viga C 100x50mm
(2) Acero A-36

FECHA NOMBRE

Dibujó: 21/04/12 J. Loor

Revisó: 21/04/12 F. Morales

Ing. J. Peña

PLANO No:

2

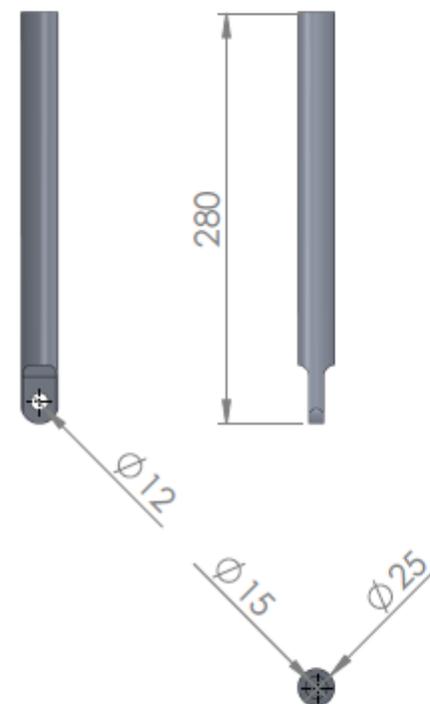
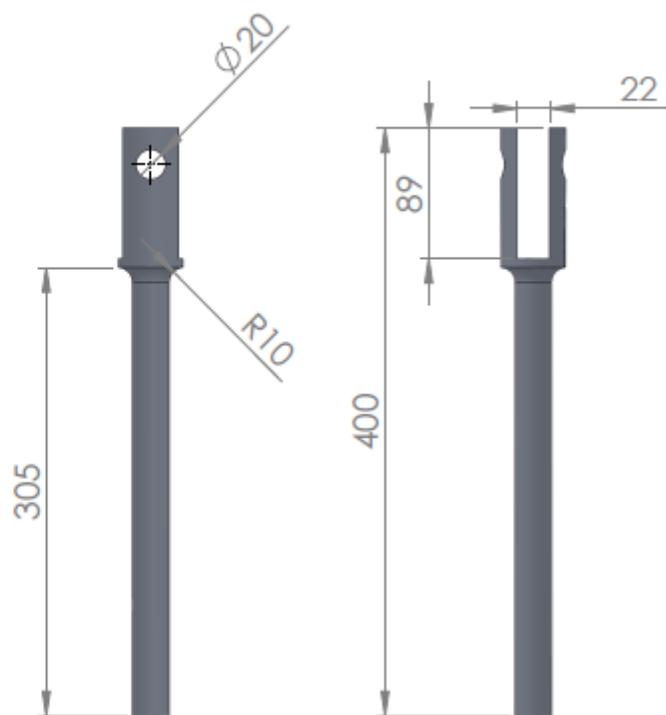
MASA (Kg): (1) 53.5 Kg
(2) 13.6 Kg

PLANO 3

BARRA SUPERIOR E INFERIOR DE SUJECIÓN

DE PROBETAS

Pieza 4



Pieza 3

FIMCP - ESPOL

	FECHA	NOMBRE
Dibujó:	21/04/12	J. Looz F. Morales
Revisó:	21/04/12	Ing. J. Peña

PROYECTO:
MAQUINA DE ENSAYO CREEP

PLANO No:

3



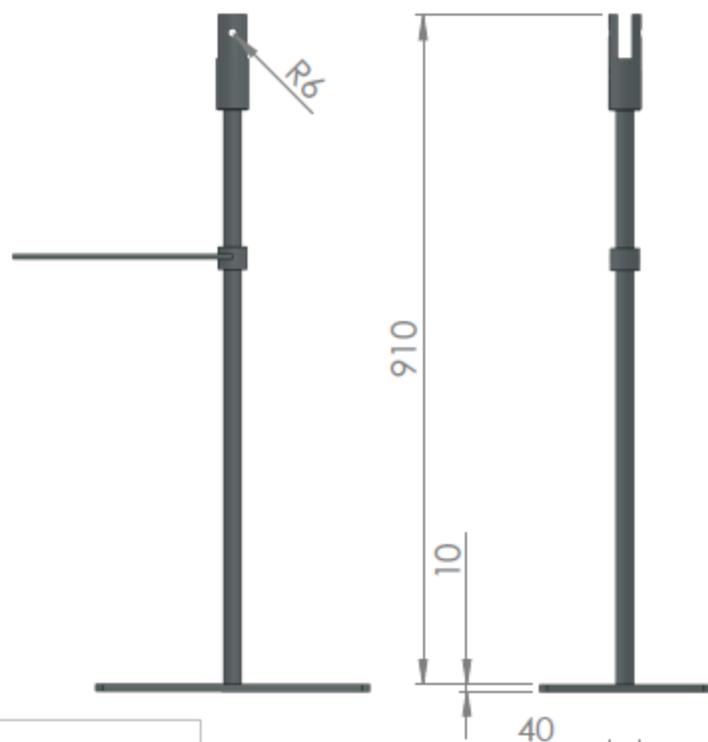
ESCALA:
1:5

CONTIENE:
PARTES MAQUINA DE ENSAYO CREEP

MATERIALES: (1) Acero bonificado 4340

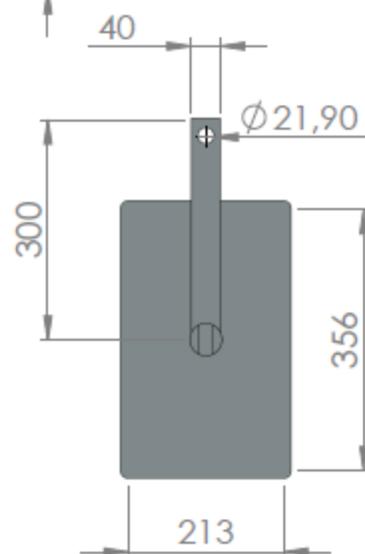
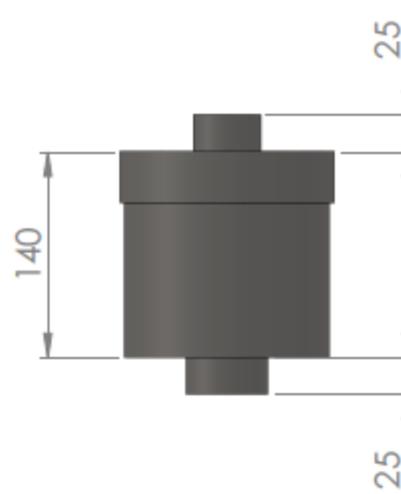
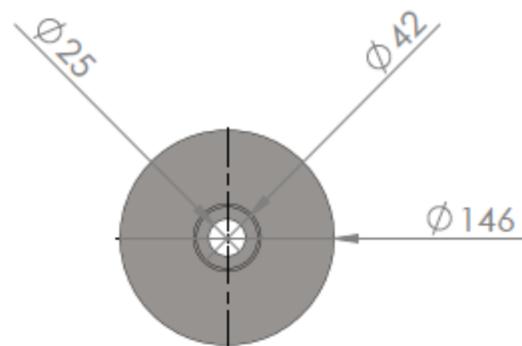
MASA (Kg): (1) 1.6 Kg
(2) 1.0 Kg

PLANO 4
DETALLE DE PORTAPESAS, PORTASENSOR Y
HORNO



Pieza 15

ESCALA 1:5



Pieza 6-7

FIMCP - ESPOL

	FECHA	NOMBRE
Dibujó:	21/04/12	J. Loor F. Morales
Revisó:	21/04/12	Ing. J. Peña

PROYECTO:

MAQUINA DE ENSAYO CREEP

PLANO No:

4

ESCALA:

1:10

CONTIENE:

PARTES MAQUINA DE ENSAYO CREEP

MATERIALES: (1) Acero bonificado 4340
(2) Acero A-38
(3) Acero SS-304

MASA (Kg): (1) 11,6 Kg
(2) 1,6 Kg

APÉNDICE 1

EXTRACTO DE LA NORMA ASTM E139



Standard Test Methods for Conducting Creep, Creep-Rupture, and Stress-Rupture Tests of Metallic Materials¹

This standard is issued under the fixed designation E 139; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope

1.1 These test methods cover the determination of the amount of deformation as a function of time (creep test) and the measurement of the time for fracture to occur when sufficient force is present (rupture test) for materials when under constant tensile forces at constant temperature. It also includes the essential requirements for testing equipment. For information of assistance in determining the desirable number and duration of tests, reference should be made to Section 9.

1.2 These test methods list the information which should be included in reports of tests. The intention is to ensure that all useful and readily available information is transmitted to interested parties. Reports receive special attention for the following reasons: (1) results from different, recognized procedures vary significantly; therefore, identification of methods used is important; (2) later studies to establish important variables are often hampered by the lack of detailed information in published reports; (3) the nature of prolonged tests often makes retest impractical, and at the same time makes it difficult to remain within the recommended variations of some controlled variables. A detailed report permits transmittal of test results without implying a degree of control which was not achieved.

1.3 Tests on notched specimens are not included. These tests are addressed in Practice E 292.

1.4 Tests under conditions of short times are not included. These test methods are addressed in Test Methods E 21.

1.5 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard.

1.6 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

¹ This practice is under the jurisdiction of the ASTM Committee E-28 on Mechanical Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E28.10 on Effect of Elevated Temperature on Properties.

Current edition approved May 10, 2000. Published August 2000. Originally published as E 139 – 58. Last previous edition E 139 – 96.

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines²

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing²

E 8 Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials²

E 21 Test Methods for Elevated Temperature Tension Tests of Metallic Materials²

E 29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications³

E 74 Practice for Calibration of Force-Measuring Instruments for Verifying the Force Indication of Testing Machines²

E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers²

E 177 Practice for Use of the Terms Precision and Bias in ASTM Test Methods³

E 220 Method for Calibration of Thermocouples by Comparison Techniques⁴

E 292 Practice for Conducting Time-for-Rupture Notch Tension Tests of Materials²

E 633 Guide for Use of Thermocouples in Creep and Stress Rupture Testing to 1800°F (1000°C) in Air²

E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading²

2.2 *Military Standard:*

MIL-STD-120 Gage Inspection⁵

2.3 ASTM Adjuncts:⁶

Standard unmachined specimens for calibrating creep testing machines (4 by 1⁵/₁₆ in. square bar)

3. Terminology

3.1 *Definitions*—The definitions of terms relating to creep testing, which appear in Section E of Terminology E 6 shall apply to the terms used in this practice. For the purpose of this practice only, some of the more general terms are used with the restricted meanings given below.

3.2 *Definitions of Terms Specific to This Standard:*

3.2.1 *axial strain*—the average of the strain measured on

² *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.02.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 14.03.

⁵ Available from Standardization Documents Order Desk, Bldg. 4 Section D, 700 Robbins Ave., Philadelphia, PA 19111-5094, Attn: NPODS.

⁶ Available from ASTM Headquarters. Order Adjunct: ADJE0139.

5.1.5 For high-temperature testing of materials which are readily attacked by their environment (such as oxidation of metal in air), the specimen may be enclosed in a capsule so that it can be tested in a vacuum or inert-gas atmosphere. When such equipment is used, the necessary corrections to obtain true specimen loads must be made. For instance, compensation must be made for differences in pressures inside and outside of the capsule and for any load variation due to sealing-ring friction, bellows or other features.

5.2 Heating Apparatus:

5.2.1 The apparatus for and method of heating the specimens should provide the temperature control necessary to satisfy the requirements specified in 9.4.4 without manual adjustments more frequent than once in each 24-h period after load application.

5.2.2 Heating shall be by an electric resistance or radiation furnace with the specimen in air at atmospheric pressure unless other media are specifically agreed upon in advance.

NOTE 2—The media in which the specimens are tested may have a considerable effect on the results of tests. This is particularly true when the properties are influenced by oxidation or corrosion during the test, although other effects can also influence test results.

5.3 Temperature-Measuring Apparatus (3):

5.3.1 The method of temperature measurement must be sufficiently sensitive and reliable to ensure that the temperature of the specimen is within the limits specified in 9.4.4.

5.3.2 Temperature should be measured with thermocouples in conjunction with potentiometers or millivoltmeters.

NOTE 3—Such measurements are subject to two types of error. Thermocouple calibration and instrument measuring errors initially introduce uncertainty as to the exact temperature. Secondly both thermocouples and measuring instruments may be subject to variation with time. Common errors encountered in the use of thermocouples to measure temperatures include: calibration error, drift in calibration due to contamination or deterioration with use, lead-wire error, error arising from method of attachment to the specimen, direct radiation of heat to the bead, heat-conduction along thermocouple wires, etc.

5.3.3 Temperature measurements should be made with calibrated thermocouples. Representative thermocouples should be calibrated from each lot of wires used for making base-metal thermocouples. Except for relatively low temperatures of exposure, base-metal thermocouples are subject to error upon reuse unless the depth of immersion and temperature gradients of the initial exposure are reproduced. Consequently base-metal thermocouples should be calibrated by the use of representative thermocouples and actual thermocouples used to measure specimen temperatures should not be calibrated. Base-metal thermocouples also should not be re-used without clipping back to remove wire exposed to the hot zone and rewelding. Any reuse of base-metal thermocouples after relatively low-temperature use without this precaution should be accompanied by recalibration data demonstrating that calibration was not unduly affected by the conditions of exposure.

5.3.3.1 Noble-metal thermocouples are also subject to errors due to contamination, etc., and should be annealed periodically and checked for calibration. Care should be exercised to keep the thermocouples clean prior to exposure and during use at elevated temperatures.

5.3.3.2 Measurement of the drift in calibration of thermo-

couples during use is difficult. When drift is a problem during tests, a method should be devised to check the readings of the thermocouples on the specimens during the test. For reliable calibration of thermocouples after use, the temperature gradient of the testing furnace must be reproduced during the recalibration.

5.3.4 Temperature-measuring, controlling and recording instruments should be calibrated periodically against a secondary standard, such as a precision potentiometer. Lead-wire error should be checked with the lead wires in place as they normally are used.

5.4 Extensometer System:

5.4.1 The sensitivity and accuracy of the strain-measuring equipment should be suitable to define the creep characteristics with the precision required for the application of the data. The sensitivity and accuracy of the extensometer should be made part of the report of test results.

5.4.2 Nonaxiality of loading is usually sufficient to cause significant errors at small strains when strain is measured on only one side of the specimen (4). Therefore, the extensometer should be attached to and indicate strain on opposite sides of the specimen. The reported strain should be the average of the strains on the two sides, either a mechanical or electrical average internal to the instrument or a numerical average of two separate readings.

5.4.3 Whenever possible the extensometer should be attached to the specimen, not to any load carrying parts joined to the specimen, because the intervening joints and parts introduce significant extensions which are not accurately separable from the extension in the specimen alone.

5.4.4 To avoid the inaccuracy introduced by strain in the fillets and shoulders, the extensometer should be attached to the reduced portion of the specimen, whenever this is feasible.

5.4.4.1 However, it is sometimes necessary to attach the extensometer to the specimen shoulders. For example, when materials with low ductility are tested, failure tends to occur at the extensometer attachments unless these are located on the specimen shoulders.

5.4.4.2 When making a creep-rupture test of a ductile material an extensometer attached to the reduced section of a specimen tends to loosen as the cross-sectional area decreases during the test. In this case the extensometer may be attached to the specimen shoulders or to small ribs machined at the ends of the reduced section of the specimen for that purpose (5).

5.4.5 When it is necessary to use miniature specimens, the extensometer may be attached to the specimen holders. The observed values of extension should be adjusted as described in 9.6.3 and 10.2.4. Even with this adjustment the strain values are of inferior accuracy and the reported values should be labeled "approximate." The method of measurement should be described in the report.

5.5 Room Temperature Control:

5.5.1 The temperature in the room should be sufficiently constant so the specimen temperature variations do not exceed the limits stated in 9.4.4.

5.5.2 Extensometer readings should be taken only when the room temperature is within $\pm 5^\circ\text{F}$ (3°C) of the room temperature at the time of loading, unless a correction is applied to the

The magnitude of the deviations should be reported.

8. Calibration and Standardization

8.1 The following devices should be calibrated against standards traced to the National Institute of Standards and Technology. Applicable ASTM standards are listed beside the device.⁸

Load-measuring system	Practices E 4 and E 74
Extensometer	Practice E 83
Thermocouples ^A	Method E 220
Potentiometers	Method E 220 and STP 470A ⁸
Micrometers	ML-STD-120

^A Method E 220 melting point methods are also recommended for thermocouple calibration.

8.1.1 Axiality of the loading apparatus should be measured as described in 5.1.2.

8.2 Calibrations and verifications shall be as frequent as is necessary to ensure that the errors for each test are less than the permissible indicated variations listed in these test methods. The maximum period between calibrations and verifications shall be:

Load-measuring system	1 year
Extensometers	1 year ^A
Thermocouples	each lot run
Precision Potentiometers (dry cell type)	1 month
Micrometers and calipers	6 months
Recording systems	6 months
Temperature measuring equipment/system	3 months
Weights	every five years (see 8.4)
Dial Indicators (used to measure creep)	1 month

^A Extensometers shall be verified for freedom of movement prior to each test. Exceptions to this list shall be instruments in use when the test exceeds calibration period.

8.3 For verification of creep-rupture testing machines, un-machined blanks of material with predetermined rupture properties are available from ASTM Headquarters at a nominal cost.⁶

8.4 The metal weights used to apply the test force shall be certified every five years (if not painted/plated, or calibrated prior to each test) to be within a limit of error of 0.5%. Painted/plated weights shall be verified when paint/plating shows wear or damage.

9. Procedure

9.1 *Measurement of Cross-Sectional Area*—Determine the minimum cross-sectional area of the reduced section of the specimen as specified in Measurement of Dimensions of Test Specimens in Test Methods E 8. In addition, measure the largest diameter (or width) in the reduced section and compare with the minimum value to determine whether the requirements of 7.6 are satisfied.

9.2 Measurement of Original Length:

9.2.1 Unless otherwise specified, base all values for elongation on a gage length equal to four diameters in the case of round specimens and four times the width in the case of rectangular specimens, the gage length being punched or scribed on the reduced section of the specimen.

NOTE 6—Elongation values of specimens with rectangular cross sec-

tions cannot be compared unless all dimensions including the thickness are equal. Therefore, an elongation specification should include the specimen cross-sectional dimensions as well as the gage length. Using a gage length equal to 4.5 times the square root of the cross-sectional area compensates somewhat for variations in specimen thickness but even this does not result in the same value of elongation when specimens of the same material are machined to different thicknesses and tested (6).

9.2.2 When the length-to-diameter ratio of the reduced section is greater than standard, the gage length should be approximately one diameter less than the length of the reduced section.

NOTE 7—Recognition must be given to the wide use of total elongation of fractured rupture specimens in judging materials. Percentage elongation is very dependent on the gage length over which it is measured. Adherence to the customary gage length of four times the specimen diameter is, therefore, very desirable. Recognition must be given, however, to the approved use of longer gage length to specimen diameter ratios in rupture testing and the possible objection to gage marks to define the uniform gage length for elongation measurement. Therefore, reporting of elongation for longer gage lengths should be acceptable, provided the gage length is clearly indicated. For most ductile metals a standard four-diameter gage length centered on a fracture occurring in a longer than standard reduced section will give a higher elongation than the standard test. For this reason the use of several, congruent, standard gage lengths to cover a long reduced section is not recommended.

9.2.3 When testing metals of limited ductility gage marks punched or scribed on the reduced section may be undesirable because fracture may occur at the stress concentrations so caused. Then, place gage marks on the shoulders or measure the over-all length of the specimen. Also measure the adjusted length of the reduced section to the nearest 0.01 in. (0.2 mm) as described in 9.2.3. If a gage length, other than that specified in 9.2.1 is employed to measure elongation, describe the gage length in the report. In the case of acceptance tests, any deviation from 9.2.1 must be agreed upon before testing.

9.2.4 When the extensometer is to be attached to the specimen shoulders, measure the adjusted length of the reduced section between points on the two fillets where the diameter (or width) is 1.05 times the diameter (or width) of the reduced section. This dimension is used as the divisor for converting the observed extension to strain in the reduced section (see 10.2.3 and 10.3.1).

9.3 *Cleaning Specimen*—Wash carefully the reduced section and those parts of the specimen which contact the grips in clean alcohol, acetone, or other suitable solvent that will not affect the metal being tested.

9.4 Temperature Control:

9.4.1 Form the thermocouple bead in accordance with Guide E 633.

9.4.2 In attaching thermocouples to a specimen, the junction must be kept in intimate contact with the specimen and shielded from radiation. Shielding may be omitted if, for a particular furnace and test temperature, the difference in indicated temperature from an unshielded bead and a bead inserted in a hole in the specimen has been shown to be less than one half the variation listed in 9.4.4. The bead should be as small as possible and there should be no shorting of the circuit (such as could occur from twisting the thermocouple wires behind the bead or from a bare attachment wire touching both bare thermocouple wires). Ceramic insulators should be

⁸ Manual on the Use of Thermocouples in Temperature Measurement, ASTM STP 470A, ASTM, 1971.

used on the thermocouples in the hot zone. The remaining portions of the wires shall be thermally shielded and electrically insulated by a suitable covering. If some other electrical insulation material is used in the hot zone, it should be carefully checked to determine whether the electrical insulating properties are maintained with higher temperatures.

9.4.3 When the length of the reduced section is less than 2 in. (50 mm) attach at least two thermocouples to the specimen, one near each end of the reduced section. For reduced sections 2 in. or greater, add a third thermocouple near the center.

9.4.4 Before the load is applied and for the duration of the test do not permit the difference between the indicated temperature and the nominal test temperature to exceed the following limits:

Up to and including 1800°F (1000°C)	±3°F (2°C)
Above 1800°F (1000°C)	±5°F (3°C)

9.4.5 The term "indicated temperature" means the temperature that is indicated by the temperature measuring device using good quality pyrometric practice.

NOTE 8—It is recognized that true temperature may vary more than the indicated temperature. The permissible indicated temperature variations in 9.4.4 are not to be construed as minimizing the importance of good pyrometric practice and precise temperature control. All laboratories should keep both indicated and true temperature variations as small as practicable. However, should temperatures vary outside the given limits, time and temperature of the variation shall be recorded and good engineering judgement taken to assure the variations did not affect testing of the material and that the results of the test are valid. It is well recognized, in view of the extreme dependency of strength of materials on temperature, that close temperature control is necessary. The limits prescribed represent ranges that are common practice.

9.4.6 Temperature overshoots during heating should not exceed the limits above. The heating characteristics of the furnace and the temperature control system should be studied to determine the power input, temperature set point, proportioning control adjustment, and control-thermocouple placement necessary to limit transient temperature overshoots. It may be desirable to stabilize the furnace at a temperature from 10 to 50°F below the nominal test temperature before making the final adjustments. Report any temperature overshoot with details of magnitude and duration.

9.4.7 The time of holding at temperature prior to the start of the test should be governed by the time necessary to ensure that the specimen has reached equilibrium and that the temperature can be maintained within the limits specified in 9.4.4. Unless otherwise specified, this time should not be less than 1 h. Record the time to attain test temperature and the time at temperature before loading.

9.4.8 Any disturbance causing the temperature of the specimen to rise above the limits specified in 9.4.4 should be cause for rejection of the test and require retesting. Disturbances causing the temperature of the specimen to fall below the limits specified in 9.4.4 may be cause for rejection of the test and require retesting. Allowing the temperature to fall below the nominal temperature reduces creep rate and prolongs rupture time, both characteristics being very sensitive to test temperature. Low temperatures usually do not damage the material as can over temperature, which may considerably accelerate creep. Consequently under temperature should be cause for

retesting only when the time at under temperature significantly alters the test result.

NOTE 9—Cooling and reheating of the specimen under stress can have a significant effect on subsequent creep properties and rupture times. Temperature drops of about 100°F or cooling times of 1 h or greater can reduce rupture times by one-half. Creep properties may be similarly effected. If the stress (force) is removed before the above time or temperature decrease is exceeded, the test can be restarted after the cause for disturbance has been corrected. It has not been determined if a creep test can be restarted. The report shall indicate that the test was interrupted by cooling, length of interruption or decrease, or both in temperature prior to removal of stress, and from what temperature the test was restarted.

9.5 *Connecting Specimen to the Machine*—Take care not to introduce nonaxial forces while installing the specimen. For example, threaded connections should not be turned to the end of the threads or bottomed. If threads are loosely fitted, lightly load the specimen string and manually move it in the transverse direction and leave in the center of its range of motion. If packing is used to seal the furnace, it must not be so tight that the extensometer arms or pull rods are displaced or their movement restricted.

9.6 *Strain Measurement During Test:*

9.6.1 By definition, a creep or a creep-rupture test requires measurements of strain at and following the instant of application of full force. The strain change from zero force to the instant of full force application shall also be recorded (see 9.7.1).

NOTE 10—Incremental strain readings during loading are also of value for the following two reasons: (1) the elastic portion of the stress-strain curve during loading may be used to evaluate the operation of the apparatus before the specimen is finally committed; and (2) in many applications knowledge of total plastic strain rather than of creep alone is required, therefore the loading curve is necessary. On the other hand, obtaining the loading curve usually requires slower loading than would be used if creep only was measured. This slower loading sometimes results in greater strain at the instant of full-load application than if the load had been applied without the delays caused by incremental loading.

9.6.2 Make strain measurements at sufficiently frequent intervals during a test to adequately define the time-strain (creep) curve. This usually requires more frequent readings during the usual rapid first-stage creep than during second-stage creep. The interval for strain readings should not be more than 24 h or 1% of the estimated duration of the test, whichever is longer. Omission of readings over weekends or holidays are allowed when the absence of daily readings does not influence the test results.

9.6.3 When the stock size makes it necessary to use a specimen with the reduced section less than 0.25 (6.25 mm) in diameter, the extensometer may be attached to the specimen holders. Then, in order to adjust for the extension which occurs outside the reduced section, it is necessary to test two specimens for each creep curve. One specimen should have the standard proportions, the other specimen should be made shorter by omitting either the reduced section or the reduced section and the fillets. The grip ends and shoulders of both specimens should be similar. Both should be tested with an extensometer attached to the specimen holders (see 10.2.4).

9.6.4 For strain measurement during unloading see 9.7.3.

9.7 *Loading and Unloading Procedure:*

9.7.1 A small fraction of the test force (not more than 10%)

APÉNDICE 2

EXTRACTO DE LA NORMA ASTM E8



Designation: E 8 – 01^{e1}

American Association of State
Highway and Transportation Officials Standard
AAASHTO No.: T68
An American National Standard

Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials¹

This standard is issued under the fixed designation E 8; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

^{e1} Note—Sections 3.1.5, 7.2.2, 7.9.2, 7.9.3.2 and the caption of Fig. 27 were editorially revised in April 2002.

1. Scope *

1.1 These test methods cover the tension testing of metallic materials in any form at room temperature, specifically, the methods of determination of yield strength, yield point elongation, tensile strength, elongation, and reduction of area.

NOTE 1—A complete metric companion to Test Methods E 8 has been developed, therefore, no metric equivalents are shown in these test methods. Committee E28 was granted an exception in 1997 by the Committee on Standards to maintain E8 and E8M as separate companion standards rather than combining standards as recommended by the Form and Style Manual.

NOTE 2—Gage lengths in these test methods are required to be 4D for most round specimens. Test specimens made from powder metallurgy (P/M) materials are exempt from this requirement by industry-wide agreement to keep the pressing of the material to a specific projected area and density.

NOTE 3—Exceptions to the provisions of these test methods may need to be made in individual specifications or test methods for a particular material. For examples, see Test Methods and Definitions A 370 and Test Methods B 557.

NOTE 4—Room temperature shall be considered to be 50 to 100°F unless otherwise specified.

1.2 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

A 356/A 356M Specification for Steel Castings, Carbon, Low Alloy, and Stainless Steel, Heavy-Walled for Steam Turbines²

A 370 Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products³

B 557 Test Methods of Tension Testing Wrought and Cast

¹ These test methods are under the jurisdiction of ASTM Committee E28 on Mechanical Testing and are the direct responsibility of Subcommittee E28.04 on Uniaxial Testing.

Current edition approved Oct. 10, 2001. Published December 2001. Originally published as E 8 – 24 T. Last previous edition E 8 – 00b.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.02.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 01.03.

Aluminum- and Magnesium-Alloy Products⁴

E 4 Practices for Force Verification of Testing Machines⁵

E 6 Terminology Relating to Methods of Mechanical Testing⁵

E 8M Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials [Metric]⁵

E 29 Practice for Using Significant Digits in Test Data to Determine Conformance with Specifications⁶

E 83 Practice for Verification and Classification of Extensometers⁵

E 345 Test Methods of Tension Testing of Metallic Foil⁵

E 691 Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method⁶

E 1012 Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading⁵

3. Terminology

3.1 *Definitions*—The definitions of terms relating to tension testing appearing in Terminology E 6 shall be considered as applying to the terms used in these test methods of tension testing. Additional terms being defined are as follows:

3.1.1 *discontinuous yielding*—a hesitation or fluctuation of force observed at the onset of plastic deformation, due to localized yielding. (The stress-strain curve need not appear to be discontinuous.)

3.1.2 *lower yield strength, LYS* [FL^{-2}]—the minimum stress recorded during discontinuous yielding, ignoring transient effects.

3.1.3 *upper yield strength, UYS* [FL^{-2}]—the first stress maximum (stress at first zero slope) associated with discontinuous yielding.

3.1.4 *yield point elongation, YPE*—the strain (expressed in percent) separating the stress-strain curve's first point of zero slope from the point of transition from discontinuous yielding to uniform strain hardening. If the transition occurs over a range of strain, the YPE end point is the intersection between (a) a horizontal line drawn tangent to the curve at the last zero slope and (b) a line drawn tangent to the strain hardening

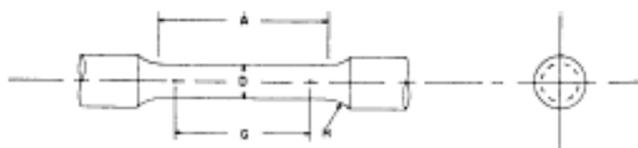
⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 02.02.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01.

⁶ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

E 8



	Dimensions				
	Standard Specimen		Small-Size Specimens Proportional to Standard		
	in.	in.	in.	in.	in.
Nominal Diameter	0.500	0.380	0.250	0.160	0.113
G—Gage length	2.000 ± 0.006	1.400 ± 0.006	1.000 ± 0.006	0.640 ± 0.006	0.490 ± 0.006
D—Diameter (Note 1)	0.500 ± 0.010	0.380 ± 0.007	0.250 ± 0.006	0.160 ± 0.003	0.113 ± 0.002
R—Radius of fillet, min	$\frac{5}{16}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{5}{32}$	$\frac{3}{16}$
A—Length of reduced section, min (Note 2)	$2\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{5}{8}$

Note 1—The reduced section may have a gradual taper from the ends toward the center, with the ends not more than 1 % larger in diameter than the center (controlling dimension).

Note 2—If desired, the length of the reduced section may be increased to accommodate an extensometer of any convenient gage length. Reference marks for the measurement of elongation should, nevertheless, be spaced at the indicated gage length.

Note 3—The gage length and fillets may be as shown, but the ends may be of any form to fit the holders of the testing machine in such a way that the load shall be axial (see Fig. 9). If the ends are to be held in wedge grips it is desirable, if possible, to make the length of the grip section great enough to allow the specimen to extend into the grips a distance equal to two thirds or more of the length of the grips.

Note 4—On the round specimens in Figs. 8 and 9, the gage lengths are equal to four times the nominal diameter. In some product specifications other specimens may be provided for, but unless the 4-to-1 ratio is maintained within dimensional tolerances, the elongation values may not be comparable with those obtained from the standard test specimens.

Note 5—The use of specimens smaller than 0.250-in. diameter shall be restricted to cases when the material to be tested is of insufficient size to obtain larger specimens or when all parties agree to their use for acceptance testing. Smaller specimens require suitable equipment and greater skill in both machining and testing.

Note 6—Five sizes of specimens often used have diameters of approximately 0.505, 0.357, 0.252, 0.160, and 0.113 in., the reason being to permit easy calculations of stress from loads, since the corresponding cross-sectional areas are equal or close to 0.200, 0.100, 0.0500, 0.0200, and 0.0100 in.², respectively. Thus, when the actual diameters agree with these values, the stresses (or strengths) may be computed using the simple multiplying factors 5, 10, 20, 50, and 100, respectively. (The metric equivalents of these five diameters do not result in correspondingly convenient cross-sectional areas and multiplying factors.)

FIG. 8 Standard 0.500-in. Round Tension Test Specimen with 2-in. Gage Length and Examples of Small-Size Specimens Proportional to the Standard Specimen

event of disagreement, referee specimens shall be the round specimens.

6.6 Specimens for Wire, Rod, and Bar:

6.6.1 For round wire, rod, and bar, test specimens having the full cross-sectional area of the wire, rod, or bar shall be used wherever practicable. The gage length for the measurement of elongation of wire less than $\frac{1}{8}$ in. in diameter shall be as prescribed in product specifications. In testing wire, rod, or bar that has a $\frac{1}{8}$ -in. or larger diameter, unless otherwise specified, a gage length equal to four times the diameter shall be used. The total length of the specimens shall be at least equal to the gage length plus the length of material required for the full use of the grips employed.

6.6.2 For wire of octagonal, hexagonal, or square cross section, for rod or bar of round cross section where the specimen required in 6.6.1 is not practicable, and for rod or bar of octagonal, hexagonal, or square cross section, one of the following types of specimens shall be used:

6.6.2.1 Full Cross Section (Note 11)—It is permissible to reduce the test section slightly with abrasive cloth or paper, or machine it sufficiently to ensure fracture within the gage marks. For material not exceeding 0.188 in. in diameter or distance between flats, the cross-sectional area may be reduced to not less than 90 % of the original area without changing the shape of the cross section. For material over 0.188 in. in

diameter or distance between flats, the diameter or distance between flats may be reduced by not more than 0.010 in. without changing the shape of the cross section. Square, hexagonal, or octagonal wire or rod not exceeding 0.188 in. between flats may be turned to a round having a cross-sectional area not smaller than 90 % of the area of the maximum inscribed circle. Fillets, preferably with a radius of $\frac{1}{8}$ in., but not less than $\frac{1}{16}$ in., shall be used at the ends of the reduced sections. Square, hexagonal, or octagonal rod over 0.188 in. between flats may be turned to a round having a diameter no smaller than 0.010 in. less than the original distance between flats.

Note 11—The ends of copper or copper alloy specimens may be flattened 10 to 50 % from the original dimension in a jig similar to that shown in Fig. 10, to facilitate fracture within the gage marks. In flattening the opposite ends of the test specimen, care shall be taken to ensure that the four flattened surfaces are parallel and that the two parallel surfaces on the same side of the axis of the test specimen lie in the same plane.

6.6.2.2 For rod and bar, the largest practical size of round specimen as described in 6.4 may be used in place of a test specimen of full cross section. Unless otherwise specified in the product specification, specimens shall be parallel to the direction of rolling or extrusion.

6.7 Specimens for Rectangular Bar—In testing rectangular bar one of the following types of specimens shall be used:

APÉNDICE 3

HOJA TECNICA DEL DISPOSITIVO PR *easy* 4116

Códigos de pedido:

4116 = Transmisor universal

4501 = Display / programador frontal

PR 4501 Display / programador frontal



Aplicación:

- Interfase de comunicaciones para modificar los parámetros operacionales en 4116.
- Puede ser movido de un módulo 4116 a otro y descargar la configuración del primer transmisor a los siguientes.
- Display fijo para visualizar información de proceso y estados.

Características técnicas:

- Display LCD con 4 líneas; la línea

1 (H=5,57 mm) muestra la señal de entrada, la línea 2 (H=3,33 mm) muestra las unidades, la línea 3 (H=3,33 mm) muestra la salida analógica o el nombre del TAG y la línea 4 muestra el estado de la comunicación y de los relés.

- El acceso a la programación puede ser bloqueado asignando una clave de acceso. La clave de acceso es guardada en el transmisor para asegurar un alto nivel de protección contra modificaciones no autorizadas en la configuración.

Montaje / instalación:

- Enganchar el 4501 en el frontal del 4116.

Especificaciones eléctricas:

Rango de especificaciones:
-20°C a +60°C

Especificaciones comunes:

Tensión de alimentación universal.....	21,6...253 VCA, 50...60 Hz ó 19,2...300 VCC
Consumo máx.	≤ 2,5 W
Fusible	400 mA SB / 250 VCA
Tensión de aislamiento, test/opera. ...	2,3 kVCA / 250 VCA
Interfase de comunicaciones	Programador frontal 4501
Relación señal / ruido.....	Min. 60 dB (0...100 kHz)
Tiempo de respuesta (0...90%, 100...10%):	
Entrada temperatura	≤ 1 s
Entrada mA / V.....	≤ 400 ms
Temperatura de calibración.....	20...28°C
Precisión, la mayor de los valores generales y básicos:	

Valores generales

Tipo de entrada	Precisión absoluta	Coefficiente de temperatura
Todos	≤ ±0,1% d. intervalo	≤ ±0,01% d. intervalo / °C

Valores básicos

Tipo de entrada	Precisión básica	Coefficiente de temperatura
mA	≤ ±4 µA	≤ ±0,4 µA/°C
Volt	≤ ±20 µV	≤ ±2 µV/°C
RTD	≤ ±0,2°C	≤ ±0,01°C/°C
R lin.	≤ ±0,1 Ω	≤ ±0,01 Ω/°C
Potenciometro	≤ ±0,1 Ω	≤ ±0,01 Ω/°C
Tipo TC:		
E, J, K, L, N, T,	≤ ±1°C	≤ ±0,05°C/°C
Tipo TC: B, R, S, W3, W5, LR	≤ ±2°C	≤ ±0,2°C/°C

Influencia sobre la inmunidad EMC..... < ±0,5% d. intervalo
Inmunidad EMC extendida:
NAMUR NE 21, criterio A, explosión..... < ±1% d. intervalo

Tensiones auxiliares:

Alimentación a 2 hilos (tem. 44...43) ..	25...16 VCC / 0...20 mA
Tamaño máx. hilo	1x2,5 mm ² cable trenzado
Torsión del terminal de atornillado	0,5 Nm
Humedad relativa	< 95% HR (no cond.)
Dimens., sin display frontal (HxAxP) ..	109 x 23,5 x 104 mm
Dimens., con display frontal (HxAxP) ..	109 x 23,5 x 116 mm
Hermeticidad (recinto / terminales) ...	IP50 / IP20
Peso	170 g / 185 g con 4501

Entrada RTD, resistencia lineal y potenciometro:

Tipo de entrada	Valor mín.	Valor máx.	Estándar
Pl 100	-200°C	+850°C	IEC60751
Ni 100	-60°C	+250°C	DIN 43760
R lin.	0 Ω	1000 Ω	-
Potenciometro	10 Ω	100 kΩ	-

Res. del cable por hilo (máx.), RTD ... 50 Ω
Corriente del sensor, RTD Norm. 0,2 mA

Efecto de la resistencia del cable del sensor (3 / 4 hilos), RTD..... < 0,002 Ω / Ω
Detección de error en el sensor, RTD. Si
Detección de cortocircuito, RTD < 15 Ω

Entrada tempor:

Tipos de tempor B, E, J, K, L, N, R, S, T, U, W3, W5, LR

Compensación unión fría (CJC) con sensor interno < ±1,0 °C

Detección de error en sensor, todos tipos de tempor..... Sí

Corriente error en sensor:

Cuando detecta..... Nom. 2 µA
Cuando no..... 0 µA

Entrada de corriente:

Rango de medida..... -1...25 mA
Rangos de medida programables..... 0...20 y 4...20 mA
Entrada de resistencia..... Nom. 20 Ω + PTC 50 Ω

Entrada de tensión:

Rangos de medida..... -20 mV...12 VCC
Rangos de medida programables..... 0/0,2...1; 0/1...5; 0/2...10 V
Resistencia de entrada..... Nom. 10 MΩ

Salida de corriente:

Rango de la señal..... 0...20 mA
Rangos de señal programables 0/4...20 y 20...4/0 mA
Carga (máx.)..... 20 mA / 800 Ω / 16 VCC
Estabilidad de carga..... ≤ 0,01% d. interv./100 Ω
Detección de error en sensor 0 / 3,5 / 23 mA / ninguna
NAMUR NE 43 Upscale / Downscale. 23 mA / 3,5 mA
Corriente límite ≤ 28 mA

Salida de tensión:

Rango de la señal..... 0...10 VCC
Rangos de señal programables 0/0,2...1; 0/1...5; 0/2...10; 1...0,2/0; 5...1/0; 10...2/0 V
Carga (mín.)..... 500 kΩ

Salidas de relé:

Funciones de relé..... Consigna, Ventana, Error en el sensor, Power y Off
Histéresis, en %/unidades de contaje . 0,1...25% / 1...2999
Retraso ON / OFF..... 0...3600 s
Tensión máx. 250 VRMS
Corriente máx. 2A / CA ó 1A / CC
Potencia máx. CA..... 500 VA
Detección error sensor Abrir / Cerrar / Mantener

Aprobación Ex / I.S.:

FM, aplicable en Cl. I, Div. 2, Gr. A, B, C, D
Class I, Div. 2, Group IIC
Zone 2
Temperatura amb. máx. para T5..... 60°C

Aprobación marina:

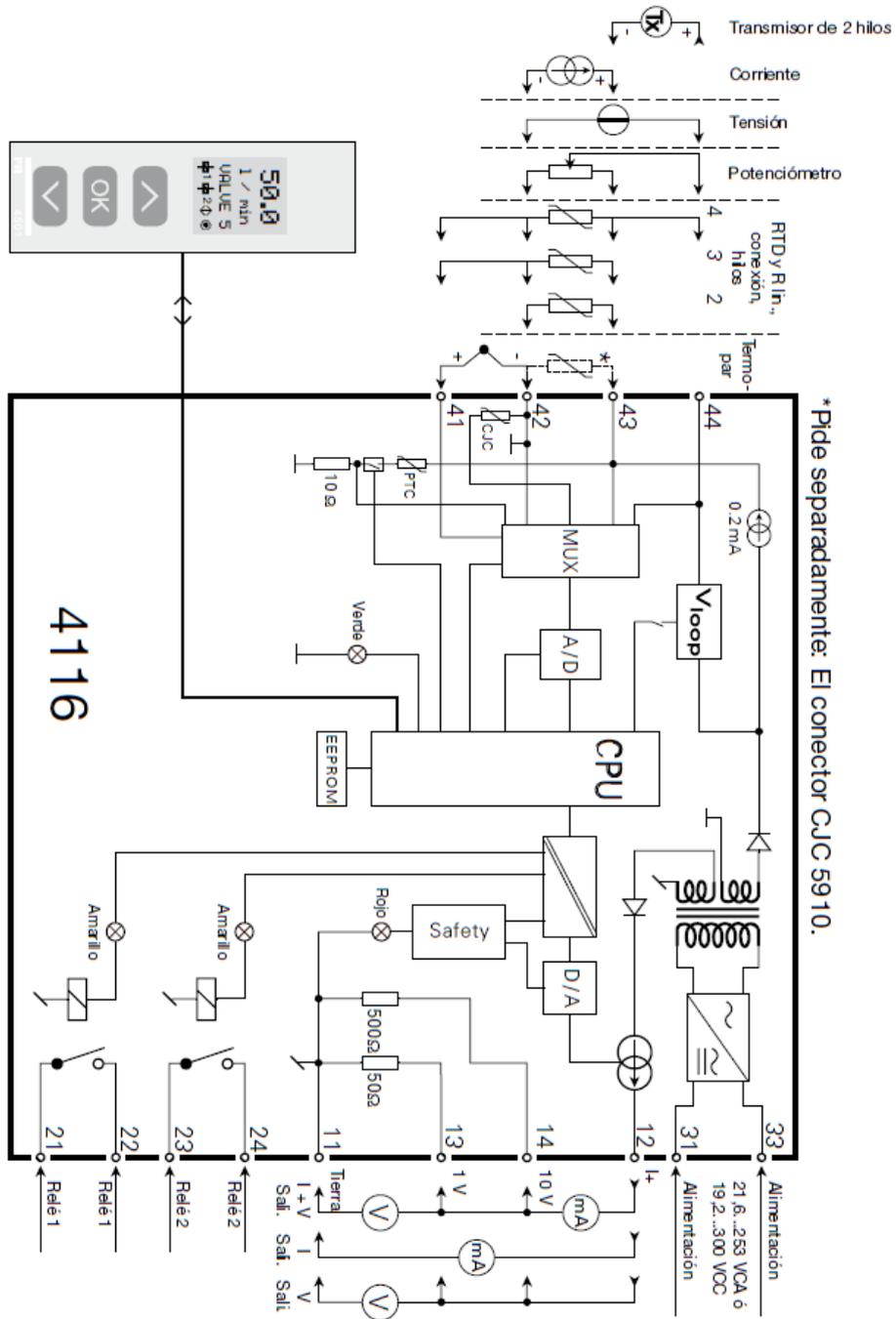
Det Norske Veritas, Ships & Offshore. Stand. f. Certific. No. 2.4

Requerimientos observados:

Requerimiento	Estándar
EMC 2004/108/CE	
Emisión e inmunidad.....	EN 61326
LVD 73/23/CEE.....	EN 61010-1
FM	3600, 3611, 3810 y
	ISA 82.02.01
UL, Standard for Safety.....	UL 508

Del intervalo = Del rango seleccionado presencialmente

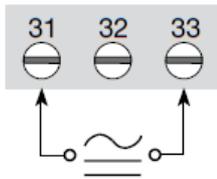
DIAGRAMA DE BLOQUES



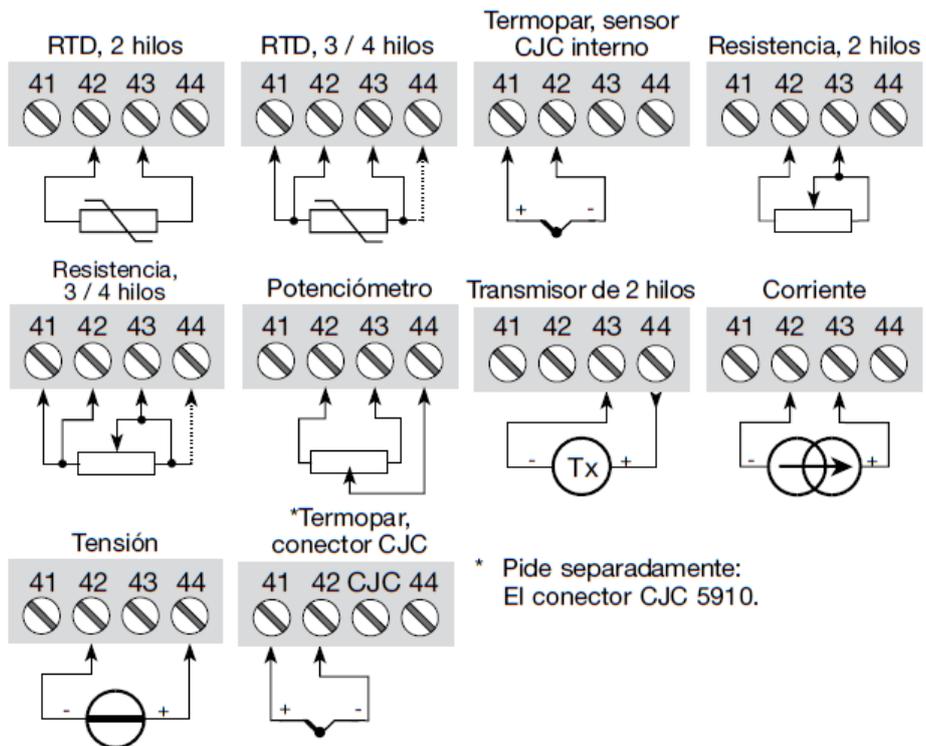
* Pide separadamente: El conector CJC 5910.

CONEXIONES

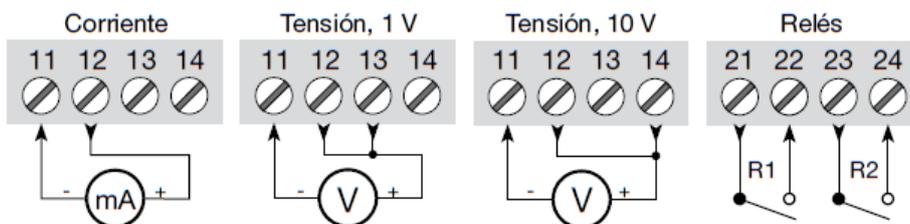
Alimentación



Entradas



Salidas



APÉNDICE 4

ESQUEMA DE CONEXION DEL SENSOR Y

CALIBRACIÓN

SUPERPROX[®]

SC956A-4C0



Ultrasonic Analog Output Sensor
30 mm, Configurable Unit
Analog Current Output

General Specifications

Power Supply: +15 to 24 VDC @ 80 mA, excluding load

Analog Output: min 0 mA - max 20 mA

Load Resistance: 10 to 500 Ω

Operating Temperature:
0°C to 50°C (32°F to 122°F) @ 100% relative humidity

Sensing:
Range: 119.4 to 2,006.6 mm (4.70 to 79.00 inches)

Limit Adjustment Resolution: 0.08 mm (0.003 inch)

Sensor Angle with respect to smooth flat surface: 90° ± 10°

Repeatability: ± 0.86 mm (0.034 inch) from smooth flat surface at constant air temperature

Sensor Housing Material:

Case: PEI

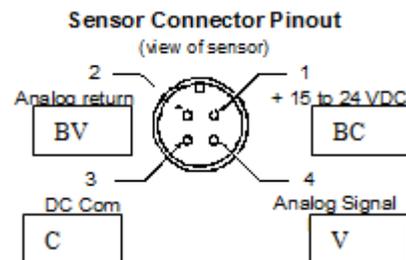
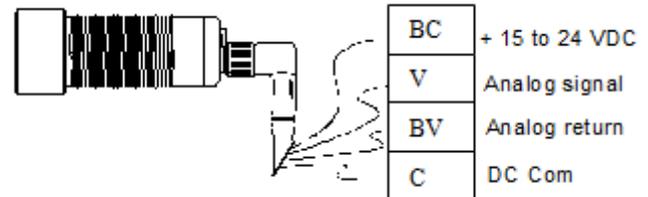
Face: FDA approved silicone rubber

Sensor Ratings and Approvals

NEMA 4X (Indoor Use Only) 5, 12, 12K, 13, and IP67

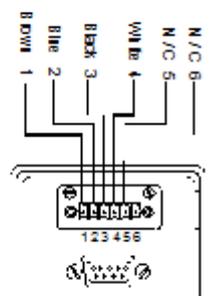
Installation/Overvoltage Category: II

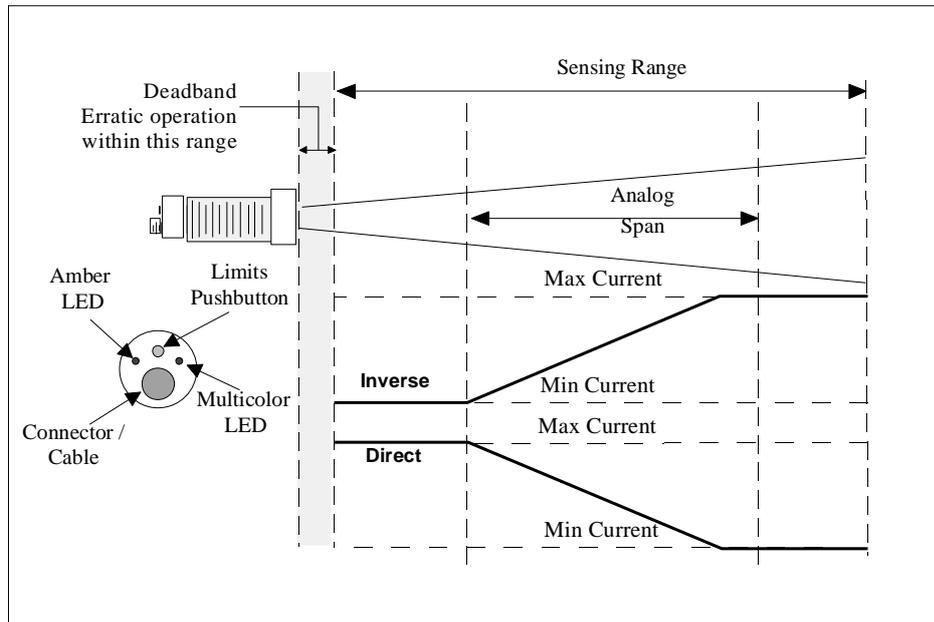
This Product is UL Listed if powered by a Class II Power Supply and protected by a 2.0A Max UL Listed Fuse



The load must be connected between the analog signal and the analog return. Do not connect the analog return to the other grounds or chassis grounds.

Connection to AC441A



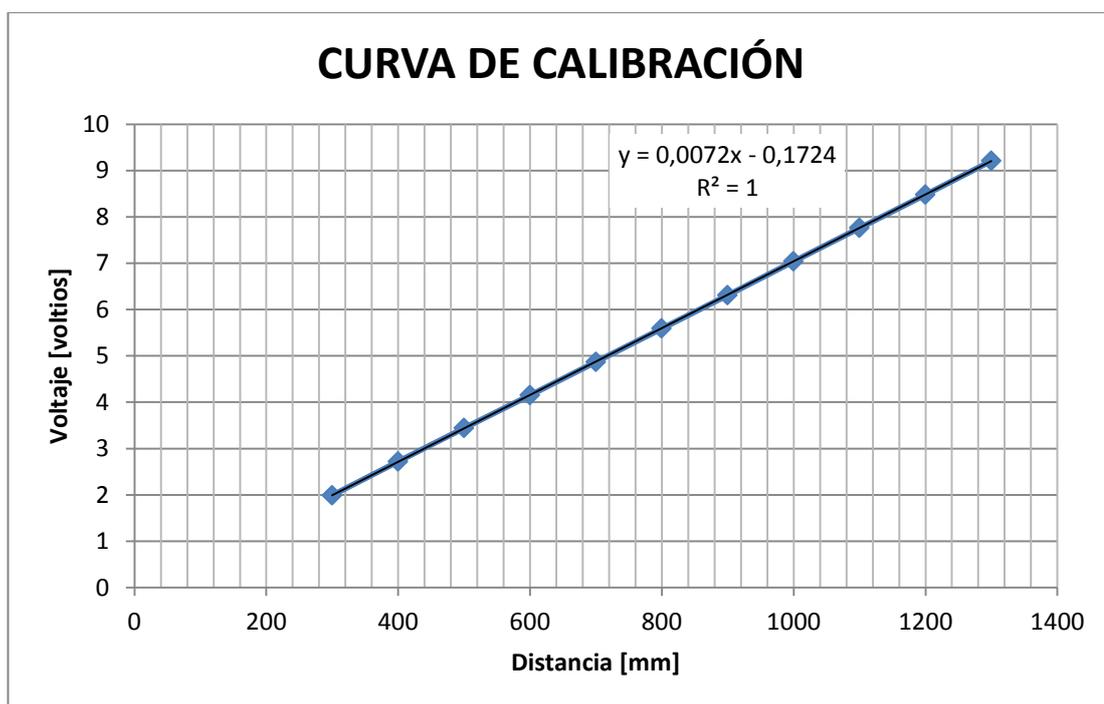


Configuración del Sensor

Para configurar el sensor de distancia se debe mantener presionado el botón de seteador (Limits Pushbutton) del sensor hasta que la luz multicolor parpadee verde, dejamos de presionar el botón de seteador, y ahora el sensor está listo para setear el límite máximo, se coloca en frente de un objeto a una distancia conocida y se presiona el botón de seteador, entonces el led ambar parpadea indicando que se seteó el primer límite, después se coloca en frente al mismo objeto a otra distancia conocida y se presiona el botón de seteador. En este paso el sensor queda configurado para esos límites.

El sensor está seteador bajo los siguientes datos:

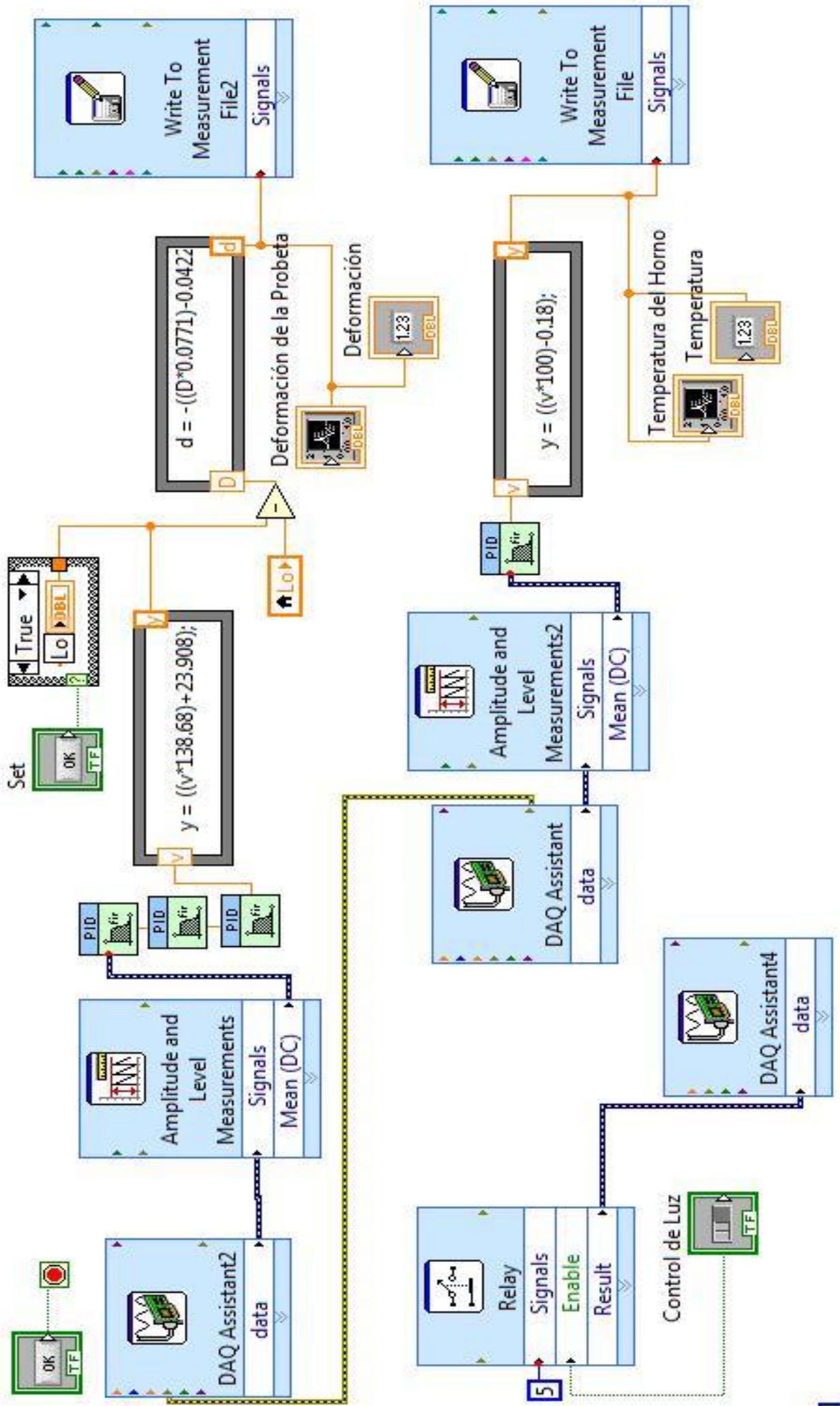
DISTANCIA [mm]	VOLTAJE [V]
300	1,99
400	2,72
500	3,44
600	4,15
700	4,87
800	5,59
900	6,31
1000	7,04
1100	7,76
1200	8,48
1300	9,21



APÉNDICE 5

CODIGO DE PROGRAMACION GRAFICA

ELABORADO EN LabVIEW®



APÉNDICE 6

HOJA TECNICA DEL ACERO A36

PLANCHAS LAMINADAS AL CALIENTE

Especificaciones Generales

Norma	Ver tabla
Espesores	1,20mm a 100,00mm
Rollos	Ancho 1000mm, 1220mm, 1500mm, 1800mm
Planchas	4 x 8 pies y a medida



Calidad Comercial

NORMA	COMPOSICION QUIMICA							PROPIEDADES MECANICAS			NORMA EQUIVALENTE
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%AL	%CU	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°	
JIS G3131 SPHC	0,08 0,13	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,05 max	0,02 max	0,2 max	270 min	29 min	0= Ce	SAE 1010 ASTM A-569
SAE 1008	0,03 0,1	0,25 0,5	0,02 max	0,025 max	0,04 max	0,02 max	0,2 max				JIS G3132 SPHT1
SAE 1012	0,1 0,15	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,03 max	0,02 max	0,2 max				ASTM A-635 ASTM A-570 GRADO 33

Calidad Estructural

NORMA	COMPOSICION QUIMICA							PROPIEDADES MECANICAS					NORMA EQUIVALENTE
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%CU	OTROS	Fluencia (Mpa)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°		
ASTM A-588M GRADO A	0,19 max	0,8 1,25	0,04 max	0,05 max	0,3 0,6	0,25 0,40	Ni 0,15-0,35 Cr 0,40-0,65 V 0,02-0,10	345 min	485 min	18 min			
ASTM A-283 GRADO C	0,12 0,18	0,3 0,6	0,025 max	0,03 max	0,04 max	0,2 max		205 min	380 516 max	25 min	0=1,5e	SAE 1015	
JIS G-3101 SS41 M	0,17 0,23	0,3 0,6	0,025 max	0,025 max	0,04 max	0,25 max		250 min	400 min 550 max	21 min		SAE 1020 ASTM A-36 ASTM A-570 GRADO 38	
A 36	0,25 0,29	0,80 1,2	0,04 max	0,05 max	0,4 max	0,20 max		250 min	400 min 550 max	20 min			
A570-GR50	0,25	1,35 max	0,035 max	0,04 max				340 min	450 min 550 max	17 min	1-1/2e		

APÉNDICE 7

HOJA TÉCNICA DEL ACERO AISI 4340



705-AISI 4340

Acero bonificado para maquinaria

GENERALIDADES: 705 es un acero al molibdeno más cromo y níquel. El molibdeno tiene una solubilidad limitada y es un buen formador de carburos. Ejerce un fuerte efecto sobre la templabilidad y de manera semejante al cromo, aumenta la dureza y resistencia a alta temperatura de los aceros. Menos susceptibles al fragilizado debido al revenido que los demás aceros aleados para maquinaria. Al combinarse con níquel y cromo soporta altas exigencias de resistencia y tenacidad en secciones grandes. Su contenido de níquel le da más templabilidad, lo mismo que la resistencia en caliente.

705 combina alta resistencia mecánica (la mayor del mercado) con buena tenacidad. Este acero en forma standard es suministrado bonificado, por lo que no se requeriría luego un tratamiento térmico, sin embargo, si se desea mejores propiedades, puede ser templado al aceite. Susceptible de temple por inducción y también puedes someterse a tratamiento de nitrurado.

ANÁLISIS TÍPICO %

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
705	0.36	0.25	0.70	--	--	1.40	1.40	0.20
AISI 4340	0.35-0.40	0.20-0.35	0.60-0.80	0.04		1.65-2.00	0.70-0.90	0.20-0.30

EQUALENCIAS

AISIAE	4340
DIN	34CrNiMo6
W.Nr	1.6582
JIS	SNCM1
AFNOR	35NCD6

PROPIEDADES MECÁNICAS EN CONDICIÓN DE SUMINISTRO

Resistencia a la tracción	90-110kg/mm ²
Esfuerzo de cedencia	70kg/mm ²
Resistencia al impacto, kJ	aprox. 20 J
Elongación, A5	min 12%
Reducción de área, Z	min 45%
Dureza	270-330HB

De acuerdo a DIN 17200 resp. SEW 550. Tolerancia
 DIN 1013 resp. DIN 7527 / 6

Nota: Estas propiedades se garantizan hasta $\varnothing 250$ mm. Medidas mayores, favor consultarnos.

APLICACIONES:

1. Partes de gran resistencia para la industria automotriz, como:

- ejes
- cardanes
- cigüeñales
- ejes de leva
- tornillería de alta resistencia

2. Partes para la construcción de maquinaria de trabajo pesado como:

- árboles para trituradoras
- ejes de transmisión de grandes dimensiones
- engranajes de temple por llama, inducción o nitruración
- barras de torsión
- portaherramientas

3. Aplicaciones donde se requiere resistencia a la fatiga, como:

- En la construcción de equipo pesado para camiones, aviones, equipos militar, etc.

APÉNDICE 8

Ensayo de tracción

LEMAT

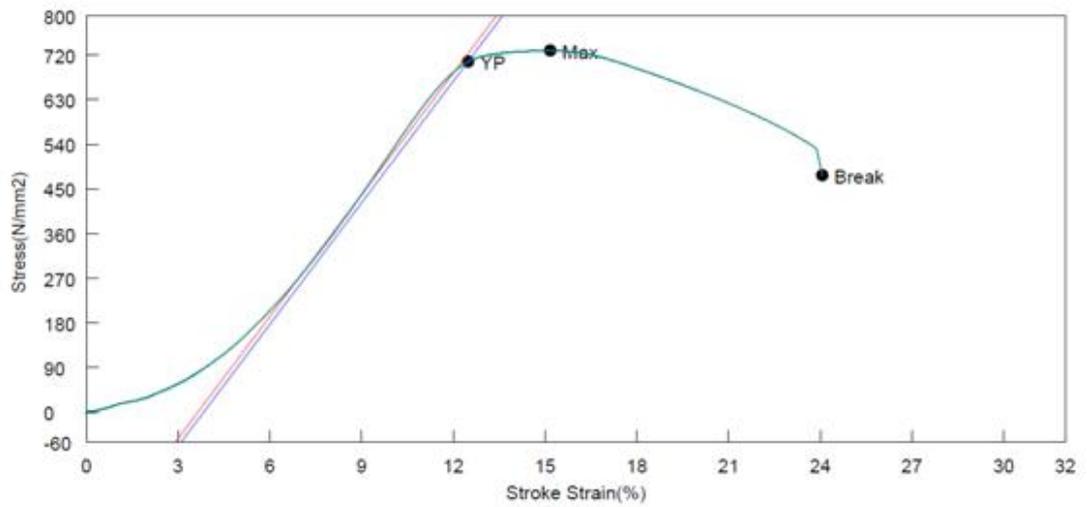
Temperatura : 24,8°C

Shape: Rod

	Diameter	Gauge Length
Units	mm	mm
11-0862	8,8300	36,0000

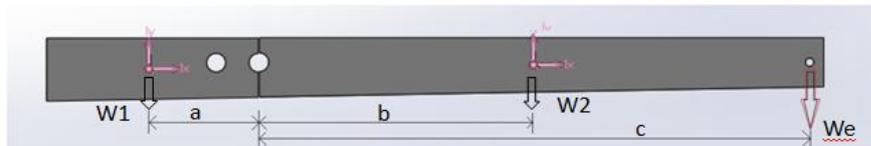
Name	PSF_Carga	PSF_Esfuerzo	LE1_Esfuerzo	Max_Carga	Max_Esfuerzo
Parameter	0,2 %/FS	0,2 %/FS	0,2 %		
Units	kN	N/mm2	N/mm2	kN	N/mm2
11-0862	43,2675	706,563	706,563	44,6437	729,037

Name	Rotura_Carga	Rotura_Despl	Rotura_Esfuerzo	Alargamiento	Elastic
Parameter					6,4, 9,572 %
Units	kN	mm	N/mm2	%	N/mm2
11-0862	29,2350	8,66200	477,410	13,5000	8178,93



APÉNDICE 9

Calculo de peso de las barras



$$\cup \Sigma M_o = W_1 * (a) - W_2 * (b) - W_e * (c)$$

$$W_e = \frac{W_1 * (a) - W_2 * (b)}{c}$$

$$W_e = \frac{4,4 * 9,8 * (0,15472) - 10,9 * 9,8 * (0,38983)}{0,780}$$

$$W_e = \frac{4,4 * 9,8 * (0,15472) - 10,9 * 9,8 * (0,38983)}{0,780}$$

$$W_e = 44,83 \text{ N}$$

$$W_e = m * 9,8$$

$$m = \frac{44,83}{9,8} = 4,57 \text{ kg}$$

Entonces la precarga es m + masa de portapesos

$$p = 4,57 + 10,82 = 15,39 \text{ kg}$$

APÉNDICE 10

Base de Datos Ensayo Creep 181Mpa

Ensayo Creep	
Temperatura de Ensayo	600°C
Esfuerzo inicial	181 Mpa

Time (Untitled)		Time [min]	Def [mm]
14/12/2011	8:56 AM	0	-0,01
14/12/2011	8:56 AM	0,06	0,68
14/12/2011	8:56 AM	0,12	0,94
14/12/2011	8:56 AM	0,18	1,80
14/12/2011	8:56 AM	0,24	3,16
14/12/2011	8:56 AM	0,3	3,39
14/12/2011	8:56 AM	0,36	3,58
14/12/2011	8:56 AM	0,42	3,78
14/12/2011	8:56 AM	0,48	4,03
14/12/2011	8:56 AM	0,54	4,18
14/12/2011	8:56 AM	0,6	4,37
14/12/2011	8:56 AM	0,66	4,52
14/12/2011	8:56 AM	0,72	4,71
14/12/2011	8:57 AM	0,78	4,82
14/12/2011	8:57 AM	0,84	4,99
14/12/2011	8:57 AM	0,9	5,12
14/12/2011	8:57 AM	0,96	5,25
14/12/2011	8:57 AM	1,02	5,39
14/12/2011	8:57 AM	1,08	5,50
14/12/2011	8:57 AM	1,14	5,65
14/12/2011	8:57 AM	1,2	5,76
14/12/2011	8:57 AM	1,26	5,85
14/12/2011	8:57 AM	1,32	5,94
14/12/2011	8:57 AM	1,38	6,05
14/12/2011	8:57 AM	1,44	4,52
14/12/2011	8:57 AM	1,5	6,08
14/12/2011	8:57 AM	1,56	6,42
14/12/2011	8:57 AM	1,62	6,63
14/12/2011	8:57 AM	1,68	6,42
14/12/2011	8:57 AM	1,74	6,56
14/12/2011	8:58 AM	1,8	6,63
14/12/2011	8:58 AM	1,86	6,76
14/12/2011	8:58 AM	1,92	6,90
14/12/2011	8:58 AM	1,98	7,03
14/12/2011	8:58 AM	2,04	7,09
14/12/2011	8:58 AM	2,1	7,19
14/12/2011	8:58 AM	2,16	7,25
14/12/2011	8:58 AM	2,22	7,27
14/12/2011	8:58 AM	2,28	7,31
14/12/2011	8:58 AM	2,34	7,41
14/12/2011	8:58 AM	2,4	7,45
14/12/2011	8:58 AM	2,46	7,51
14/12/2011	8:58 AM	2,52	7,51
14/12/2011	8:58 AM	2,58	7,54
14/12/2011	8:58 AM	2,64	7,58

14/12/2011	8:58 AM	2,7	7,68
14/12/2011	8:58 AM	2,76	7,68
14/12/2011	8:59 AM	2,82	7,74
14/12/2011	8:59 AM	2,88	7,77
14/12/2011	8:59 AM	2,94	7,83
14/12/2011	8:59 AM	3	7,86
14/12/2011	8:59 AM	3,06	7,85
14/12/2011	8:59 AM	3,12	7,94
14/12/2011	8:59 AM	3,18	7,95
14/12/2011	8:59 AM	3,24	7,97
14/12/2011	8:59 AM	3,3	8,03
14/12/2011	8:59 AM	3,36	8,05
14/12/2011	8:59 AM	3,42	8,06
14/12/2011	8:59 AM	3,48	8,11
14/12/2011	8:59 AM	3,54	8,18
14/12/2011	8:59 AM	3,6	8,21
14/12/2011	8:59 AM	3,66	8,22
14/12/2011	8:59 AM	3,72	8,27
14/12/2011	9:00 AM	3,78	8,28
14/12/2011	9:00 AM	3,84	8,30
14/12/2011	9:00 AM	3,9	8,34
14/12/2011	9:00 AM	3,96	8,38
14/12/2011	9:00 AM	4,02	8,39
14/12/2011	9:00 AM	4,08	8,45
14/12/2011	9:00 AM	4,14	8,44
14/12/2011	9:00 AM	4,2	8,46
14/12/2011	9:00 AM	4,26	8,48
14/12/2011	9:00 AM	4,32	8,55
14/12/2011	9:00 AM	4,38	8,55
14/12/2011	9:00 AM	4,44	8,55
14/12/2011	9:00 AM	4,5	8,59
14/12/2011	9:00 AM	4,56	8,65
14/12/2011	9:00 AM	4,62	8,63
14/12/2011	9:00 AM	4,68	8,65
14/12/2011	9:00 AM	4,74	8,71
14/12/2011	9:01 AM	4,8	8,76
14/12/2011	9:01 AM	4,86	8,78
14/12/2011	9:01 AM	4,92	8,74
14/12/2011	9:01 AM	4,98	8,77
14/12/2011	9:01 AM	5,04	8,84
14/12/2011	9:01 AM	5,1	8,82
14/12/2011	9:01 AM	5,16	8,74
14/12/2011	9:01 AM	5,22	8,67
14/12/2011	9:01 AM	5,28	8,61
14/12/2011	9:01 AM	5,34	8,46
14/12/2011	9:01 AM	5,4	8,74
14/12/2011	9:01 AM	5,46	8,94
14/12/2011	9:01 AM	5,52	8,87
14/12/2011	9:01 AM	5,58	9,01
14/12/2011	9:01 AM	5,64	9,12
14/12/2011	9:01 AM	5,7	9,21
14/12/2011	9:01 AM	5,76	9,28
14/12/2011	9:02 AM	5,82	9,28
14/12/2011	9:02 AM	5,88	9,28
14/12/2011	9:02 AM	5,94	9,35

14/12/2011	9:02 AM	6	9,40
14/12/2011	9:02 AM	6,06	9,42
14/12/2011	9:02 AM	6,12	9,35
14/12/2011	9:02 AM	6,18	9,28
14/12/2011	9:02 AM	6,24	9,28
14/12/2011	9:02 AM	6,3	9,28
14/12/2011	9:02 AM	6,36	9,28
14/12/2011	9:02 AM	6,42	9,25
14/12/2011	9:02 AM	6,48	9,24
14/12/2011	9:02 AM	6,54	9,25
14/12/2011	9:02 AM	6,6	9,25
14/12/2011	9:02 AM	6,66	9,26
14/12/2011	9:02 AM	6,72	9,29
14/12/2011	9:03 AM	6,78	9,30
14/12/2011	9:03 AM	6,84	9,29
14/12/2011	9:03 AM	6,9	9,34
14/12/2011	9:03 AM	6,96	9,34
14/12/2011	9:03 AM	7,02	9,32
14/12/2011	9:03 AM	7,08	9,33
14/12/2011	9:03 AM	7,14	9,35
14/12/2011	9:03 AM	7,2	9,34
14/12/2011	9:03 AM	7,26	9,33
14/12/2011	9:03 AM	7,32	9,36
14/12/2011	9:03 AM	7,38	9,34
14/12/2011	9:03 AM	7,44	9,40
14/12/2011	9:03 AM	7,5	9,38
14/12/2011	9:03 AM	7,56	9,36
14/12/2011	9:03 AM	7,62	9,39
14/12/2011	9:03 AM	7,68	9,39
14/12/2011	9:03 AM	7,74	9,38
14/12/2011	9:04 AM	7,8	9,40
14/12/2011	9:04 AM	7,86	9,38
14/12/2011	9:04 AM	7,92	9,36
14/12/2011	9:04 AM	7,98	9,39
14/12/2011	9:04 AM	8,04	9,38
14/12/2011	9:04 AM	8,1	9,34
14/12/2011	9:04 AM	8,16	9,37
14/12/2011	9:04 AM	8,22	9,31
14/12/2011	9:04 AM	8,28	9,36
14/12/2011	9:04 AM	8,34	9,36
14/12/2011	9:04 AM	8,4	9,35
14/12/2011	9:04 AM	8,46	9,41
14/12/2011	9:04 AM	8,52	9,43
14/12/2011	9:04 AM	8,58	9,41
14/12/2011	9:04 AM	8,64	9,41
14/12/2011	9:04 AM	8,7	9,49
14/12/2011	9:04 AM	8,76	9,55
14/12/2011	9:05 AM	8,82	9,54
14/12/2011	9:05 AM	8,88	9,58
14/12/2011	9:05 AM	8,94	9,61
14/12/2011	9:05 AM	9	9,63
14/12/2011	9:05 AM	9,06	9,64
14/12/2011	9:05 AM	9,12	9,63
14/12/2011	9:05 AM	9,18	9,62
14/12/2011	9:05 AM	9,24	9,60

14/12/2011	9:05 AM	9,3	9,57
14/12/2011	9:05 AM	9,36	9,54
14/12/2011	9:05 AM	9,42	9,51
14/12/2011	9:05 AM	9,48	9,48
14/12/2011	9:05 AM	9,54	9,46
14/12/2011	9:05 AM	9,6	9,44
14/12/2011	9:05 AM	9,66	9,43
14/12/2011	9:05 AM	9,72	9,41
14/12/2011	9:06 AM	9,78	9,40
14/12/2011	9:06 AM	9,84	9,38
14/12/2011	9:06 AM	9,9	9,35
14/12/2011	9:06 AM	9,96	9,33
14/12/2011	9:06 AM	10,02	9,32
14/12/2011	9:06 AM	10,08	9,32
14/12/2011	9:06 AM	10,14	9,33
14/12/2011	9:06 AM	10,2	9,36
14/12/2011	9:06 AM	10,26	9,39
14/12/2011	9:06 AM	10,32	9,42
14/12/2011	9:06 AM	10,38	9,43
14/12/2011	9:06 AM	10,44	9,43
14/12/2011	9:06 AM	10,5	9,42
14/12/2011	9:06 AM	10,56	9,41
14/12/2011	9:06 AM	10,62	9,41
14/12/2011	9:06 AM	10,68	9,44
14/12/2011	9:06 AM	10,74	9,49
14/12/2011	9:07 AM	10,8	9,55
14/12/2011	9:07 AM	10,86	9,60
14/12/2011	9:07 AM	10,92	9,64
14/12/2011	9:07 AM	10,98	9,67
14/12/2011	9:07 AM	11,04	9,69
14/12/2011	9:07 AM	11,1	9,70
14/12/2011	9:07 AM	11,16	9,72
14/12/2011	9:07 AM	11,22	9,73
14/12/2011	9:07 AM	11,28	9,74
14/12/2011	9:07 AM	11,34	9,75
14/12/2011	9:07 AM	11,4	9,76
14/12/2011	9:07 AM	11,46	9,77
14/12/2011	9:07 AM	11,52	9,78
14/12/2011	9:07 AM	11,58	9,79
14/12/2011	9:07 AM	11,64	9,81
14/12/2011	9:07 AM	11,7	9,83
14/12/2011	9:07 AM	11,76	9,87
14/12/2011	9:08 AM	11,82	9,91
14/12/2011	9:08 AM	11,88	9,96
14/12/2011	9:08 AM	11,94	10,02
14/12/2011	9:08 AM	12	10,07
14/12/2011	9:08 AM	12,06	10,13
14/12/2011	9:08 AM	12,12	10,17
14/12/2011	9:08 AM	12,18	10,22
14/12/2011	9:08 AM	12,24	10,25
14/12/2011	9:08 AM	12,3	10,27
14/12/2011	9:08 AM	12,36	10,28
14/12/2011	9:08 AM	12,42	10,29
14/12/2011	9:08 AM	12,48	10,28
14/12/2011	9:08 AM	12,54	10,27

14/12/2011	9:08 AM	12,6	10,26
14/12/2011	9:08 AM	12,66	10,25
14/12/2011	9:08 AM	12,72	10,24
14/12/2011	9:09 AM	12,78	10,23
14/12/2011	9:09 AM	12,84	10,21
14/12/2011	9:09 AM	12,9	10,20
14/12/2011	9:09 AM	12,96	10,19
14/12/2011	9:09 AM	13,02	10,19
14/12/2011	9:09 AM	13,08	10,21
14/12/2011	9:09 AM	13,14	10,23
14/12/2011	9:09 AM	13,2	10,25
14/12/2011	9:09 AM	13,26	10,26
14/12/2011	9:09 AM	13,32	10,28
14/12/2011	9:09 AM	13,38	10,29
14/12/2011	9:09 AM	13,44	10,29
14/12/2011	9:09 AM	13,5	10,30
14/12/2011	9:09 AM	13,56	10,32
14/12/2011	9:09 AM	13,62	10,34
14/12/2011	9:09 AM	13,68	10,37
14/12/2011	9:09 AM	13,74	10,41
14/12/2011	9:10 AM	13,8	10,45
14/12/2011	9:10 AM	13,86	10,48
14/12/2011	9:10 AM	13,92	10,51
14/12/2011	9:10 AM	13,98	10,55
14/12/2011	9:10 AM	14,04	10,59
14/12/2011	9:10 AM	14,1	10,63
14/12/2011	9:10 AM	14,16	10,66
14/12/2011	9:10 AM	14,22	10,70
14/12/2011	9:10 AM	14,28	10,72
14/12/2011	9:10 AM	14,34	10,74
14/12/2011	9:10 AM	14,4	10,75
14/12/2011	9:10 AM	14,46	10,76
14/12/2011	9:10 AM	14,52	10,76
14/12/2011	9:10 AM	14,58	10,76
14/12/2011	9:10 AM	14,64	10,74
14/12/2011	9:10 AM	14,7	10,71
14/12/2011	9:10 AM	14,76	10,67
14/12/2011	9:11 AM	14,82	10,63
14/12/2011	9:11 AM	14,88	10,58
14/12/2011	9:11 AM	14,94	10,54
14/12/2011	9:11 AM	15	10,52
14/12/2011	9:11 AM	15,06	10,53
14/12/2011	9:11 AM	15,12	10,55
14/12/2011	9:11 AM	15,18	10,60
14/12/2011	9:11 AM	15,24	10,66
14/12/2011	9:11 AM	15,3	10,71
14/12/2011	9:11 AM	15,36	10,76
14/12/2011	9:11 AM	15,42	10,79
14/12/2011	9:11 AM	15,48	10,81
14/12/2011	9:11 AM	15,54	10,82
14/12/2011	9:11 AM	15,6	10,83
14/12/2011	9:11 AM	15,66	10,84
14/12/2011	9:11 AM	15,72	10,86
14/12/2011	9:12 AM	15,78	10,87
14/12/2011	9:12 AM	15,84	10,89

14/12/2011	9:12 AM	15,9	10,91
14/12/2011	9:12 AM	15,96	10,94
14/12/2011	9:12 AM	16,02	10,97
14/12/2011	9:12 AM	16,08	10,99
14/12/2011	9:12 AM	16,14	11,02
14/12/2011	9:12 AM	16,2	11,03
14/12/2011	9:12 AM	16,26	11,04
14/12/2011	9:12 AM	16,32	11,04
14/12/2011	9:12 AM	16,38	11,03
14/12/2011	9:12 AM	16,44	11,02
14/12/2011	9:12 AM	16,5	11,02
14/12/2011	9:12 AM	16,56	11,02
14/12/2011	9:12 AM	16,62	11,03
14/12/2011	9:12 AM	16,68	11,06
14/12/2011	9:12 AM	16,74	11,09
14/12/2011	9:13 AM	16,8	11,12
14/12/2011	9:13 AM	16,86	11,16
14/12/2011	9:13 AM	16,92	11,18
14/12/2011	9:13 AM	16,98	11,21
14/12/2011	9:13 AM	17,04	11,22
14/12/2011	9:13 AM	17,1	11,24
14/12/2011	9:13 AM	17,16	11,26
14/12/2011	9:13 AM	17,22	11,27
14/12/2011	9:13 AM	17,28	11,29
14/12/2011	9:13 AM	17,34	11,30
14/12/2011	9:13 AM	17,4	11,32
14/12/2011	9:13 AM	17,46	11,34
14/12/2011	9:13 AM	17,52	11,36
14/12/2011	9:13 AM	17,58	11,38
14/12/2011	9:13 AM	17,64	11,39
14/12/2011	9:13 AM	17,7	11,40
14/12/2011	9:13 AM	17,76	11,40
14/12/2011	9:14 AM	17,82	11,40
14/12/2011	9:14 AM	17,88	11,40
14/12/2011	9:14 AM	17,94	11,40
14/12/2011	9:14 AM	18	11,40
14/12/2011	9:14 AM	18,06	11,41
14/12/2011	9:14 AM	18,12	11,42
14/12/2011	9:14 AM	18,18	11,43
14/12/2011	9:14 AM	18,24	11,44
14/12/2011	9:14 AM	18,3	11,45
14/12/2011	9:14 AM	18,36	11,47
14/12/2011	9:14 AM	18,42	11,48
14/12/2011	9:14 AM	18,48	11,50
14/12/2011	9:14 AM	18,54	11,52
14/12/2011	9:14 AM	18,6	11,54
14/12/2011	9:14 AM	18,66	11,56
14/12/2011	9:14 AM	18,72	11,59
14/12/2011	9:15 AM	18,78	11,61
14/12/2011	9:15 AM	18,84	11,63
14/12/2011	9:15 AM	18,9	11,66
14/12/2011	9:15 AM	18,96	11,67
14/12/2011	9:15 AM	19,02	11,68
14/12/2011	9:15 AM	19,08	11,68
14/12/2011	9:15 AM	19,14	11,67

14/12/2011	9:15 AM	19,2	11,66
14/12/2011	9:15 AM	19,26	11,65
14/12/2011	9:15 AM	19,32	11,65
14/12/2011	9:15 AM	19,38	11,65
14/12/2011	9:15 AM	19,44	11,65
14/12/2011	9:15 AM	19,5	11,65
14/12/2011	9:15 AM	19,56	11,66
14/12/2011	9:15 AM	19,62	11,66
14/12/2011	9:15 AM	19,68	11,67
14/12/2011	9:15 AM	19,74	11,66
14/12/2011	9:16 AM	19,8	11,66
14/12/2011	9:16 AM	19,86	11,64
14/12/2011	9:16 AM	19,92	11,63
14/12/2011	9:16 AM	19,98	11,62
14/12/2011	9:16 AM	20,04	11,61
14/12/2011	9:16 AM	20,1	11,61
14/12/2011	9:16 AM	20,16	11,62
14/12/2011	9:16 AM	20,22	11,64
14/12/2011	9:16 AM	20,28	11,67
14/12/2011	9:16 AM	20,34	11,70
14/12/2011	9:16 AM	20,4	11,73
14/12/2011	9:16 AM	20,46	11,76
14/12/2011	9:16 AM	20,52	11,78
14/12/2011	9:16 AM	20,58	11,80
14/12/2011	9:16 AM	20,64	11,82
14/12/2011	9:16 AM	20,7	11,84
14/12/2011	9:16 AM	20,76	11,87
14/12/2011	9:17 AM	20,82	11,91
14/12/2011	9:17 AM	20,88	11,95
14/12/2011	9:17 AM	20,94	11,99
14/12/2011	9:17 AM	21	12,03
14/12/2011	9:17 AM	21,06	12,06
14/12/2011	9:17 AM	21,12	12,08
14/12/2011	9:17 AM	21,18	12,08
14/12/2011	9:17 AM	21,24	12,07
14/12/2011	9:17 AM	21,3	12,06
14/12/2011	9:17 AM	21,36	12,06
14/12/2011	9:17 AM	21,42	12,06
14/12/2011	9:17 AM	21,48	12,08
14/12/2011	9:17 AM	21,54	12,11
14/12/2011	9:17 AM	21,6	12,14
14/12/2011	9:17 AM	21,66	12,18
14/12/2011	9:17 AM	21,72	12,21
14/12/2011	9:18 AM	21,78	12,24
14/12/2011	9:18 AM	21,84	12,26
14/12/2011	9:18 AM	21,9	12,28
14/12/2011	9:18 AM	21,96	12,29
14/12/2011	9:18 AM	22,02	12,29
14/12/2011	9:18 AM	22,08	12,27
14/12/2011	9:18 AM	22,14	12,24
14/12/2011	9:18 AM	22,2	12,19
14/12/2011	9:18 AM	22,26	12,13
14/12/2011	9:18 AM	22,32	12,07
14/12/2011	9:18 AM	22,38	12,02
14/12/2011	9:18 AM	22,44	11,98

14/12/2011	9:18 AM	22,5	11,95
14/12/2011	9:18 AM	22,56	11,95
14/12/2011	9:18 AM	22,62	11,95
14/12/2011	9:18 AM	22,68	11,96
14/12/2011	9:18 AM	22,74	11,98
14/12/2011	9:19 AM	22,8	12,00
14/12/2011	9:19 AM	22,86	12,01
14/12/2011	9:19 AM	22,92	12,00
14/12/2011	9:19 AM	22,98	11,99
14/12/2011	9:19 AM	23,04	11,97
14/12/2011	9:19 AM	23,1	11,96
14/12/2011	9:19 AM	23,16	11,94
14/12/2011	9:19 AM	23,22	11,92
14/12/2011	9:19 AM	23,28	11,89
14/12/2011	9:19 AM	23,34	11,84
14/12/2011	9:19 AM	23,4	11,77
14/12/2011	9:19 AM	23,46	11,70
14/12/2011	9:19 AM	23,52	12,31
14/12/2011	9:19 AM	23,58	12,26
14/12/2011	9:19 AM	23,64	12,23
14/12/2011	9:19 AM	23,7	12,22
14/12/2011	9:19 AM	23,76	12,23
14/12/2011	9:20 AM	23,82	12,25
14/12/2011	9:20 AM	23,88	12,27
14/12/2011	9:20 AM	23,94	12,31
14/12/2011	9:20 AM	24	12,34
14/12/2011	9:20 AM	24,06	12,39
14/12/2011	9:20 AM	24,12	12,43
14/12/2011	9:20 AM	24,18	12,48
14/12/2011	9:20 AM	24,24	12,52
14/12/2011	9:20 AM	24,3	12,54
14/12/2011	9:20 AM	24,36	12,54
14/12/2011	9:20 AM	24,42	12,53
14/12/2011	9:20 AM	24,48	12,50
14/12/2011	9:20 AM	24,54	12,47
14/12/2011	9:20 AM	24,6	12,44
14/12/2011	9:20 AM	24,66	12,42
14/12/2011	9:20 AM	24,72	12,42
14/12/2011	9:21 AM	24,78	12,43
14/12/2011	9:21 AM	24,84	12,46
14/12/2011	9:21 AM	24,9	12,49
14/12/2011	9:21 AM	24,96	12,53
14/12/2011	9:21 AM	25,02	12,56
14/12/2011	9:21 AM	25,08	12,60
14/12/2011	9:21 AM	25,14	12,62
14/12/2011	9:21 AM	25,2	12,63
14/12/2011	9:21 AM	25,26	12,64
14/12/2011	9:21 AM	25,32	12,64
14/12/2011	9:21 AM	25,38	12,64
14/12/2011	9:21 AM	25,44	12,66
14/12/2011	9:21 AM	25,5	12,70
14/12/2011	9:21 AM	25,56	12,75
14/12/2011	9:21 AM	25,62	12,81
14/12/2011	9:21 AM	25,68	12,87
14/12/2011	9:21 AM	25,74	12,91

14/12/2011	9:22 AM	25,8	12,93
14/12/2011	9:22 AM	25,86	12,95
14/12/2011	9:22 AM	25,92	12,96
14/12/2011	9:22 AM	25,98	12,96
14/12/2011	9:22 AM	26,04	12,97
14/12/2011	9:22 AM	26,1	12,97
14/12/2011	9:22 AM	26,16	12,97
14/12/2011	9:22 AM	26,22	12,97
14/12/2011	9:22 AM	26,28	12,96
14/12/2011	9:22 AM	26,34	12,95
14/12/2011	9:22 AM	26,4	12,94
14/12/2011	9:22 AM	26,46	12,92
14/12/2011	9:22 AM	26,52	12,91
14/12/2011	9:22 AM	26,58	12,90
14/12/2011	9:22 AM	26,64	12,90
14/12/2011	9:22 AM	26,7	12,91
14/12/2011	9:22 AM	26,76	12,93
14/12/2011	9:23 AM	26,82	12,94
14/12/2011	9:23 AM	26,88	12,96
14/12/2011	9:23 AM	26,94	12,98
14/12/2011	9:23 AM	27	12,98
14/12/2011	9:23 AM	27,06	12,99
14/12/2011	9:23 AM	27,12	12,99
14/12/2011	9:23 AM	27,18	12,99
14/12/2011	9:23 AM	27,24	12,99
14/12/2011	9:23 AM	27,3	13,00
14/12/2011	9:23 AM	27,36	13,00
14/12/2011	9:23 AM	27,42	13,02
14/12/2011	9:23 AM	27,48	13,04
14/12/2011	9:23 AM	27,54	13,06
14/12/2011	9:23 AM	27,6	13,08
14/12/2011	9:23 AM	27,66	13,10
14/12/2011	9:23 AM	27,72	13,11
14/12/2011	9:24 AM	27,78	13,13
14/12/2011	9:24 AM	27,84	13,14
14/12/2011	9:24 AM	27,9	13,17
14/12/2011	9:24 AM	27,96	13,19
14/12/2011	9:24 AM	28,02	13,21
14/12/2011	9:24 AM	28,08	13,22
14/12/2011	9:24 AM	28,14	13,22
14/12/2011	9:24 AM	28,2	13,20
14/12/2011	9:24 AM	28,26	13,20
14/12/2011	9:24 AM	28,32	13,21
14/12/2011	9:24 AM	28,38	13,24
14/12/2011	9:24 AM	28,44	13,28
14/12/2011	9:24 AM	28,5	13,32
14/12/2011	9:24 AM	28,56	13,34
14/12/2011	9:24 AM	28,62	13,34
14/12/2011	9:24 AM	28,68	13,34
14/12/2011	9:24 AM	28,74	13,33
14/12/2011	9:25 AM	28,8	13,33
14/12/2011	9:25 AM	28,86	13,35
14/12/2011	9:25 AM	28,92	13,39
14/12/2011	9:25 AM	28,98	13,43
14/12/2011	9:25 AM	29,04	13,48

14/12/2011	9:25 AM	29,1	13,52
14/12/2011	9:25 AM	29,16	13,56
14/12/2011	9:25 AM	29,22	13,57
14/12/2011	9:25 AM	29,28	13,57
14/12/2011	9:25 AM	29,34	13,56
14/12/2011	9:25 AM	29,4	13,55
14/12/2011	9:25 AM	29,46	13,55
14/12/2011	9:25 AM	29,52	13,56
14/12/2011	9:25 AM	29,58	13,58
14/12/2011	9:25 AM	29,64	13,61
14/12/2011	9:25 AM	29,7	13,63
14/12/2011	9:25 AM	29,76	13,65
14/12/2011	9:26 AM	29,82	13,67
14/12/2011	9:26 AM	29,88	13,69
14/12/2011	9:26 AM	29,94	13,71
14/12/2011	9:26 AM	30	13,72
14/12/2011	9:26 AM	30,06	13,73
14/12/2011	9:26 AM	30,12	13,73
14/12/2011	9:26 AM	30,18	13,73
14/12/2011	9:26 AM	30,24	13,73
14/12/2011	9:26 AM	30,3	13,73
14/12/2011	9:26 AM	30,36	13,73
14/12/2011	9:26 AM	30,42	13,73
14/12/2011	9:26 AM	30,48	13,74
14/12/2011	9:26 AM	30,54	13,76
14/12/2011	9:26 AM	30,6	13,80
14/12/2011	9:26 AM	30,66	13,85
14/12/2011	9:26 AM	30,72	13,90
14/12/2011	9:27 AM	30,78	13,96
14/12/2011	9:27 AM	30,84	14,00
14/12/2011	9:27 AM	30,9	14,04
14/12/2011	9:27 AM	30,96	14,06
14/12/2011	9:27 AM	31,02	14,09
14/12/2011	9:27 AM	31,08	14,12
14/12/2011	9:27 AM	31,14	14,15
14/12/2011	9:27 AM	31,2	14,20
14/12/2011	9:27 AM	31,26	14,24
14/12/2011	9:27 AM	31,32	14,27
14/12/2011	9:27 AM	31,38	14,30
14/12/2011	9:27 AM	31,44	14,31
14/12/2011	9:27 AM	31,5	14,32
14/12/2011	9:27 AM	31,56	14,32
14/12/2011	9:27 AM	31,62	14,33
14/12/2011	9:27 AM	31,68	14,34
14/12/2011	9:27 AM	31,74	14,35
14/12/2011	9:28 AM	31,8	14,37
14/12/2011	9:28 AM	31,86	14,39
14/12/2011	9:28 AM	31,92	14,41
14/12/2011	9:28 AM	31,98	14,44
14/12/2011	9:28 AM	32,04	14,46
14/12/2011	9:28 AM	32,1	14,48
14/12/2011	9:28 AM	32,16	14,50
14/12/2011	9:28 AM	32,22	14,52
14/12/2011	9:28 AM	32,28	14,53
14/12/2011	9:28 AM	32,34	14,53

14/12/2011	9:28 AM	32,4	14,53
14/12/2011	9:28 AM	32,46	14,52
14/12/2011	9:28 AM	32,52	14,51
14/12/2011	9:28 AM	32,58	14,50
14/12/2011	9:28 AM	32,64	14,48
14/12/2011	9:28 AM	32,7	14,46
14/12/2011	9:28 AM	32,76	14,43
14/12/2011	9:29 AM	32,82	14,40
14/12/2011	9:29 AM	32,88	14,38
14/12/2011	9:29 AM	32,94	14,37
14/12/2011	9:29 AM	33	14,36
14/12/2011	9:29 AM	33,06	14,35
14/12/2011	9:29 AM	33,12	14,34
14/12/2011	9:29 AM	33,18	14,33
14/12/2011	9:29 AM	33,24	14,32
14/12/2011	9:29 AM	33,3	14,32
14/12/2011	9:29 AM	33,36	14,32
14/12/2011	9:29 AM	33,42	14,34
14/12/2011	9:29 AM	33,48	14,36
14/12/2011	9:29 AM	33,54	14,38
14/12/2011	9:29 AM	33,6	14,41
14/12/2011	9:29 AM	33,66	14,45
14/12/2011	9:29 AM	33,72	14,48
14/12/2011	9:30 AM	33,78	14,51
14/12/2011	9:30 AM	33,84	14,54
14/12/2011	9:30 AM	33,9	14,56
14/12/2011	9:30 AM	33,96	14,56
14/12/2011	9:30 AM	34,02	14,57
14/12/2011	9:30 AM	34,08	14,58
14/12/2011	9:30 AM	34,14	14,60
14/12/2011	9:30 AM	34,2	14,64
14/12/2011	9:30 AM	34,26	14,68
14/12/2011	9:30 AM	34,32	14,72
14/12/2011	9:30 AM	34,38	14,75
14/12/2011	9:30 AM	34,44	14,78
14/12/2011	9:30 AM	34,5	14,80
14/12/2011	9:30 AM	34,56	14,82
14/12/2011	9:30 AM	34,62	14,83
14/12/2011	9:30 AM	34,68	14,84
14/12/2011	9:30 AM	34,74	14,85
14/12/2011	9:31 AM	34,8	14,86
14/12/2011	9:31 AM	34,86	14,86
14/12/2011	9:31 AM	34,92	14,88
14/12/2011	9:31 AM	34,98	14,90
14/12/2011	9:31 AM	35,04	14,93
14/12/2011	9:31 AM	35,1	14,96
14/12/2011	9:31 AM	35,16	15,00
14/12/2011	9:31 AM	35,22	15,02
14/12/2011	9:31 AM	35,28	15,05
14/12/2011	9:31 AM	35,34	15,07
14/12/2011	9:31 AM	35,4	15,09
14/12/2011	9:31 AM	35,46	15,11
14/12/2011	9:31 AM	35,52	15,14
14/12/2011	9:31 AM	35,58	15,16
14/12/2011	9:31 AM	35,64	15,18

14/12/2011	9:31 AM	35,7	15,18
14/12/2011	9:31 AM	35,76	15,17
14/12/2011	9:32 AM	35,82	15,15
14/12/2011	9:32 AM	35,88	15,12
14/12/2011	9:32 AM	35,94	15,09
14/12/2011	9:32 AM	36	15,06
14/12/2011	9:32 AM	36,06	15,03
14/12/2011	9:32 AM	36,12	15,01
14/12/2011	9:32 AM	36,18	15,01
14/12/2011	9:32 AM	36,24	15,02
14/12/2011	9:32 AM	36,3	15,04
14/12/2011	9:32 AM	36,36	15,07
14/12/2011	9:32 AM	36,42	15,10
14/12/2011	9:32 AM	36,48	15,13
14/12/2011	9:32 AM	36,54	15,17
14/12/2011	9:32 AM	36,6	15,22
14/12/2011	9:32 AM	36,66	15,26
14/12/2011	9:32 AM	36,72	15,28
14/12/2011	9:33 AM	36,78	15,26
14/12/2011	9:33 AM	36,84	15,23
14/12/2011	9:33 AM	36,9	15,17
14/12/2011	9:33 AM	36,96	15,13
14/12/2011	9:33 AM	37,02	15,11
14/12/2011	9:33 AM	37,08	15,12
14/12/2011	9:33 AM	37,14	15,16
14/12/2011	9:33 AM	37,2	15,20
14/12/2011	9:33 AM	37,26	15,25
14/12/2011	9:33 AM	37,32	15,28
14/12/2011	9:33 AM	37,38	15,30
14/12/2011	9:33 AM	37,44	15,33
14/12/2011	9:33 AM	37,5	15,36
14/12/2011	9:33 AM	37,56	15,41
14/12/2011	9:33 AM	37,62	15,46
14/12/2011	9:33 AM	37,68	15,51
14/12/2011	9:33 AM	37,74	15,57
14/12/2011	9:34 AM	37,8	15,63
14/12/2011	9:34 AM	37,86	15,68
14/12/2011	9:34 AM	37,92	15,71
14/12/2011	9:34 AM	37,98	15,74
14/12/2011	9:34 AM	38,04	15,75
14/12/2011	9:34 AM	38,1	15,75
14/12/2011	9:34 AM	38,16	15,76
14/12/2011	9:34 AM	38,22	15,78
14/12/2011	9:34 AM	38,28	15,80
14/12/2011	9:34 AM	38,34	15,82
14/12/2011	9:34 AM	38,4	15,84
14/12/2011	9:34 AM	38,46	15,86
14/12/2011	9:34 AM	38,52	15,89
14/12/2011	9:34 AM	38,58	15,92
14/12/2011	9:34 AM	38,64	15,94
14/12/2011	9:34 AM	38,7	15,96
14/12/2011	9:34 AM	38,76	15,97
14/12/2011	9:35 AM	38,82	15,98
14/12/2011	9:35 AM	38,88	15,98
14/12/2011	9:35 AM	38,94	15,99

14/12/2011	9:35 AM	39	15,99
14/12/2011	9:35 AM	39,06	15,99
14/12/2011	9:35 AM	39,12	15,98
14/12/2011	9:35 AM	39,18	15,97
14/12/2011	9:35 AM	39,24	15,96
14/12/2011	9:35 AM	39,3	15,95
14/12/2011	9:35 AM	39,36	15,96
14/12/2011	9:35 AM	39,42	15,98
14/12/2011	9:35 AM	39,48	16,01
14/12/2011	9:35 AM	39,54	16,05
14/12/2011	9:35 AM	39,6	16,08
14/12/2011	9:35 AM	39,66	16,12
14/12/2011	9:35 AM	39,72	16,15
14/12/2011	9:36 AM	39,78	16,18
14/12/2011	9:36 AM	39,84	16,19
14/12/2011	9:36 AM	39,9	16,21
14/12/2011	9:36 AM	39,96	16,22
14/12/2011	9:36 AM	40,02	16,24
14/12/2011	9:36 AM	40,08	16,27
14/12/2011	9:36 AM	40,14	16,31
14/12/2011	9:36 AM	40,2	16,34
14/12/2011	9:36 AM	40,26	16,37
14/12/2011	9:36 AM	40,32	16,40
14/12/2011	9:36 AM	40,38	16,41
14/12/2011	9:36 AM	40,44	16,42
14/12/2011	9:36 AM	40,5	16,43
14/12/2011	9:36 AM	40,56	16,45
14/12/2011	9:36 AM	40,62	16,47
14/12/2011	9:36 AM	40,68	16,51
14/12/2011	9:36 AM	40,74	16,55
14/12/2011	9:37 AM	40,8	16,58
14/12/2011	9:37 AM	40,86	16,60
14/12/2011	9:37 AM	40,92	16,61
14/12/2011	9:37 AM	40,98	16,61
14/12/2011	9:37 AM	41,04	16,60
14/12/2011	9:37 AM	41,1	16,61
14/12/2011	9:37 AM	41,16	16,63
14/12/2011	9:37 AM	41,22	16,67
14/12/2011	9:37 AM	41,28	16,72
14/12/2011	9:37 AM	41,34	16,79
14/12/2011	9:37 AM	41,4	16,86
14/12/2011	9:37 AM	41,46	16,92
14/12/2011	9:37 AM	41,52	16,97
14/12/2011	9:37 AM	41,58	17,01
14/12/2011	9:37 AM	41,64	17,03
14/12/2011	9:37 AM	41,7	17,04
14/12/2011	9:37 AM	41,76	17,05
14/12/2011	9:38 AM	41,82	17,06
14/12/2011	9:38 AM	41,88	17,08
14/12/2011	9:38 AM	41,94	17,10
14/12/2011	9:38 AM	42	17,13
14/12/2011	9:38 AM	42,06	17,15
14/12/2011	9:38 AM	42,12	17,17
14/12/2011	9:38 AM	42,18	17,18
14/12/2011	9:38 AM	42,24	17,20

14/12/2011	9:38 AM	42,3	17,21
14/12/2011	9:38 AM	42,36	17,22
14/12/2011	9:38 AM	42,42	17,24
14/12/2011	9:38 AM	42,48	17,26
14/12/2011	9:38 AM	42,54	17,28
14/12/2011	9:38 AM	42,6	17,31
14/12/2011	9:38 AM	42,66	17,35
14/12/2011	9:38 AM	42,72	17,38
14/12/2011	9:39 AM	42,78	17,41
14/12/2011	9:39 AM	42,84	17,43
14/12/2011	9:39 AM	42,9	17,44
14/12/2011	9:39 AM	42,96	17,44
14/12/2011	9:39 AM	43,02	17,44
14/12/2011	9:39 AM	43,08	17,43
14/12/2011	9:39 AM	43,14	17,45
14/12/2011	9:39 AM	43,2	17,48
14/12/2011	9:39 AM	43,26	17,54
14/12/2011	9:39 AM	43,32	17,61
14/12/2011	9:39 AM	43,38	17,68
14/12/2011	9:39 AM	43,44	17,75
14/12/2011	9:39 AM	43,5	17,81
14/12/2011	9:39 AM	43,56	17,85
14/12/2011	9:39 AM	43,62	17,88
14/12/2011	9:39 AM	43,68	17,90
14/12/2011	9:39 AM	43,74	17,92
14/12/2011	9:40 AM	43,8	17,93
14/12/2011	9:40 AM	43,86	17,94
14/12/2011	9:40 AM	43,92	17,96
14/12/2011	9:40 AM	43,98	17,98
14/12/2011	9:40 AM	44,04	17,99
14/12/2011	9:40 AM	44,1	18,01
14/12/2011	9:40 AM	44,16	18,04
14/12/2011	9:40 AM	44,22	18,09
14/12/2011	9:40 AM	44,28	18,14
14/12/2011	9:40 AM	44,34	18,20
14/12/2011	9:40 AM	44,4	18,26
14/12/2011	9:40 AM	44,46	18,30
14/12/2011	9:40 AM	44,52	18,34
14/12/2011	9:40 AM	44,58	18,37
14/12/2011	9:40 AM	44,64	18,40
14/12/2011	9:40 AM	44,7	18,46
14/12/2011	9:40 AM	44,76	18,54
14/12/2011	9:41 AM	44,82	18,64
14/12/2011	9:41 AM	44,88	18,75
14/12/2011	9:41 AM	44,94	18,87
14/12/2011	9:41 AM	45	18,98
14/12/2011	9:41 AM	45,06	19,07
14/12/2011	9:41 AM	45,12	19,13
14/12/2011	9:41 AM	45,18	19,16
14/12/2011	9:41 AM	45,24	19,17
14/12/2011	9:41 AM	45,3	19,18
14/12/2011	9:41 AM	45,36	19,21
14/12/2011	9:41 AM	45,42	19,26
14/12/2011	9:41 AM	45,48	19,34
14/12/2011	9:41 AM	45,54	19,45

14/12/2011	9:41 AM	45,6	19,57
14/12/2011	9:41 AM	45,66	19,71
14/12/2011	9:41 AM	45,72	19,86
14/12/2011	9:42 AM	45,78	20,01
14/12/2011	9:42 AM	45,84	20,16
14/12/2011	9:42 AM	45,9	20,32
14/12/2011	9:42 AM	45,96	20,48
14/12/2011	9:42 AM	46,02	20,65
14/12/2011	9:42 AM	46,08	20,84
14/12/2011	9:42 AM	46,14	21,05
14/12/2011	9:42 AM	46,2	21,26
14/12/2011	9:42 AM	46,26	21,48
14/12/2011	9:42 AM	46,32	21,69
14/12/2011	9:42 AM	46,38	21,90
14/12/2011	9:42 AM	46,44	22,14
14/12/2011	9:42 AM	46,5	22,41
14/12/2011	9:42 AM	46,56	22,72
14/12/2011	9:42 AM	46,62	23,09
14/12/2011	9:42 AM	46,68	23,50
14/12/2011	9:42 AM	46,74	23,95
14/12/2011	9:43 AM	46,8	24,43
14/12/2011	9:43 AM	46,86	24,95
14/12/2011	9:43 AM	46,92	17,96
14/12/2011	9:43 AM	46,98	17,98
14/12/2011	9:43 AM	47,04	17,99
14/12/2011	9:43 AM	47,1	18,01
14/12/2011	9:43 AM	47,16	18,04
14/12/2011	9:43 AM	47,22	18,09
14/12/2011	9:43 AM	47,28	18,14
14/12/2011	9:43 AM	47,34	18,20
14/12/2011	9:43 AM	47,4	18,26
14/12/2011	9:43 AM	47,46	18,30
14/12/2011	9:43 AM	47,52	18,34
14/12/2011	9:43 AM	47,58	18,37
14/12/2011	9:43 AM	47,64	18,40
14/12/2011	9:43 AM	47,7	18,46
14/12/2011	9:43 AM	47,76	18,54

14/12/2011	9:44 AM	47,82	18,64
14/12/2011	9:44 AM	47,88	18,75
14/12/2011	9:44 AM	47,94	18,87
14/12/2011	9:44 AM	48	18,98
14/12/2011	9:44 AM	48,06	19,07
14/12/2011	9:44 AM	48,12	19,13
14/12/2011	9:44 AM	48,18	19,16
14/12/2011	9:44 AM	48,24	19,17
14/12/2011	9:44 AM	48,3	19,18
14/12/2011	9:44 AM	48,36	19,21
14/12/2011	9:44 AM	48,42	19,26
14/12/2011	9:44 AM	48,48	19,34
14/12/2011	9:44 AM	48,54	19,45
14/12/2011	9:44 AM	48,6	19,57
14/12/2011	9:44 AM	48,66	19,71
14/12/2011	9:44 AM	48,72	19,86
14/12/2011	9:45 AM	48,78	20,01
14/12/2011	9:45 AM	48,84	20,16
14/12/2011	9:45 AM	48,9	20,32
14/12/2011	9:45 AM	48,96	20,48
14/12/2011	9:45 AM	49,02	20,65
14/12/2011	9:45 AM	49,08	20,84
14/12/2011	9:45 AM	49,14	21,05
14/12/2011	9:45 AM	49,2	21,26
14/12/2011	9:45 AM	49,26	21,48
14/12/2011	9:45 AM	49,32	21,69
14/12/2011	9:45 AM	49,38	21,90
14/12/2011	9:45 AM	49,44	22,14
14/12/2011	9:45 AM	49,5	22,41
14/12/2011	9:45 AM	49,56	22,72
14/12/2011	9:45 AM	49,62	23,09
14/12/2011	9:45 AM	49,68	23,50
14/12/2011	9:45 AM	49,74	23,95
14/12/2011	9:46 AM	49,8	24,43
14/12/2011	9:46 AM	49,86	24,95

APÉNDICE 11

Guía de laboratorio

TEMA: Ensayo de Creep

OBJETIVO GENERAL:

Obtener la curva de Larson-Miller para el material a analizar, para la predicción de la vida útil.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

Que los alumnos logren:

- Identificar los diferentes parámetros involucrados en el ensayo creep
- Entender la importancia de conocer las fallas por creep
- Aplicar modelo de predicción de vida (curva de Larson-Miller).

NORMAS APLICABLES:

ASTM E139

“Standard Test Methods for Conducting Creep-Rupture, and Stress-Rupture Test of Metallic Materials”

ASTM E8

“Standard Test Methods for Tension testing of Metallic Materials”

MARCO TEÓRICO:

- Definición de Creep
- Curva Larson-Miller
- Esquema y principio de funcionamiento del banco de pruebas de ensayo Creep

CONFIGURACIÓN DEL ENSAYO DE CREEP:

Con objeto de determinar la curva de Larson-Miller de un material que tiene un esfuerzo de fluencia previamente conocido, es suficiente utilizar dos parámetros de ensayo creep para obtenerlo, temperatura y carga.

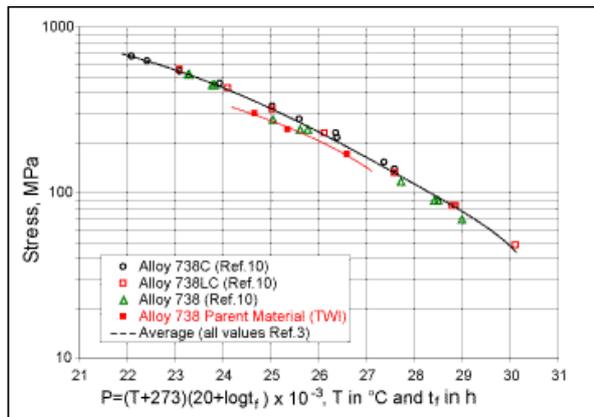


Fig. 1 Forma conocida de la curva Larson-Miller.

Las dimensiones de la probeta de creep se muestran en la Figura 2 a continuación:

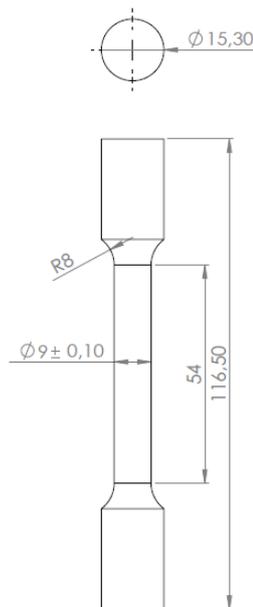


Fig. 2. Dimensiones de la probeta estandarizada

MATERIALES Y EQUIPOS UTILIZADOS:

- Banco de pruebas de ensayos de creep (ver Figura3)
- Calibrador Vernier
- Pinzas, martillo, llaves Allen



Fig 3. Banco de pruebas

FÓRMULAS UTILIZADAS:

PLM es evaluado para una variedad de pares de valores de t y T y se grafica versus la correspondiente tensión, lo cual resulta una curva única para un material dado.

$$PLM = T(\log t + C)$$

El esfuerzo en la probeta ensayada estará provocado por trece veces la fuerza de las pesas más la precarga. A continuación la fórmula que relaciona el esfuerzo en la probeta y el peso colocado en el portapesas del equipo, donde D es el diámetro de la probeta, y $Pesas$ es la masa de las pesas colocadas.

$$\sigma = \frac{4 \cdot (Pesas[kg] + 15,4) \cdot 9,8}{\pi \cdot D_{probeta}^2}$$

PROCEDIMIENTO:

Una vez definidos los parámetros a ensayar, se procede a seleccionar las pesas que se utilizará para lograr el esfuerzo deseado en la probeta. Y establecemos en control de temperatura, Universal Transmitter 4116, la temperatura de ensayo. En este momento el horno aún no producirá calor, debido a que el botón de emergencia no ha sido desactivado. Adicionalmente se da inicio al programa en la computadora.

Se procede a colocar la probeta en las barras roscadas.

Una vez puesta la probeta se fija las barras de sujeción a la bancada y se levanta el botón de emergencia, y el control automático llevará el horno a la temperatura deseada.

Cuando se haya estabilizado la temperatura del horno, se da clic en el botón de SET en el programa, y se procede a colocar las pesas.

El ensayo finaliza con la ruptura de la probeta, y el tiempo queda registrado en un archivo Excel generado por el código G de Labview, así como también en el video del ensayo.

En otro archivo Excel quedarán registrados los valores de deformación obtenidos a lo largo del ensayo.

TABLA DE DATOS Y RESULTADOS:

TEMPERATURA °C	ESFUERZO MPa	TIEMPO Horas

GRÁFICAS:

PLM vs Esfuerzo

ANÁLISIS DE RESULTADOS:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES:

BIBLIOGRAFÍA

1. Askeland, D.R; The Science and Engineering of Materials, 6ed, Missouri-Rolla, p. 276.
2. Ashby, M.F; Materiales para ingeniería: Introducción a las propiedades, las aplicaciones y el diseño, 2008, p.302
3. ASM Handbook; Mechanical Testing And Evaluation, Volume 8, 200, pg. 788-790, 811-814
4. Canales, M; Fisicoquímica, Volumen I, Iztacala. 1999, p.230.
5. Chaudhuri, S., Some Aspects Of Metallurgical Assessment Of Boiler Tubes. Basic Principles And Case Studies. Materials Science and Engineering A 432, 2006.
6. DoITPoMs; Creep Deformation of Metals, University of Cambridge, 2006, Flash disponible en:

http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/creep/flash/creep_deformation.swf

7. Gonzales E., Raffo P., Pascuali E., Sbuttoni H.; Control Of Microstructural Degradation By Means Of The Non Destructive Techique Of Metalografic Replica, 16th IAS Rolling Conference, San Nicolas, 2006, p. 518-519.
8. Guy, A.G.; Essentials Of Materials Science, McGraw-Hill, New York, 1976, p. 153.
9. Lugan, A.A, Hilton, P.A, Melton, G.B, Rinaldi, C.; Qualification Of Nd: YAG Laser Direct Metal Deposition Techniques For Repair Of Nickel Superalloy Components, Scottsdale, 2006.
10. Martínez, J.R; Deformación A Escala Cristalina, Universidad De Salamanca, 2003, p. 95.
11. Moro. L., Saggio M.C., Juan A., Blanco J.M.; Estudio Comparativo De Parámetros Que Permiten Predecir

Propiedades Al Creep De Un Acero, Universidad Nacional del Sur, 1999.

12. Mussini, R., Gonzales, M.: Nuevas Tendencias En La Evaluación Del Daño Por Creep A Través De Técnicas No Destructivas, Rio de Janeiro, 2003, pg. 2-4,6.
13. Rodríguez, W.V; Estudio De Factibilidad En Técnicas No Destructivas Para Realizar Metalografía En Campo De Componentes Estructurales: Réplicas Metalográficas Y Microscopio Portátil, 2010, p.24-30.
14. Testing Solutions; Ensayos de Creep, Creep a rotura y tracción a rotura de metales en hornos de altas temperaturas (ASTM E139), disponible en: <http://www.instron.com.es/wa/solutions/Creep-Stress-Rupture-Tensile-Testing-High-Temperature-Specimens.aspx>.

15. Thermal Mechanical Technical Background,
Disponibile en: [https://www.efatigue.com/hightemp/
background/tmf.html](https://www.efatigue.com/hightemp/background/tmf.html)
16. Viswanathan, R.; “Residual Life Techniques for Plant
Life Extension”, Materials Sciences Engineering, 1998,
p. 131-139.