



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

**ANÁLISIS DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS EN PROBETAS DE HIERRO COLADO Y CON  
ALEACIONES DE COBRE, ZINC Y ESTAÑO, POR MEDIO DE MECÁNICA DE FRACTURAS  
EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE  
GUATEMALA**

**Erick Rodrigo Pérez Chan**

Asesorado por el Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Guatemala, abril de 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS EN PROBETAS DE HIERRO COLADO Y CON  
ALEACIONES DE COBRE, ZINC Y ESTAÑO, POR MEDIO DE MECÁNICA DE FRACTURAS  
EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE  
GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ERICK RODRIGO PÉREZ CHAN**

ASESORADO POR EL ING. CARLOS HUMBERTO PÉREZ RODRÍGUEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL**

GUATEMALA, ABRIL DE 2017

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Jurgen Andoni Ramírez Ramírez
VOCAL V	Br. Oscar Humberto Galicia Núñez
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Juan José Peralta Dardón
EXAMINADOR	Ing. José Francisco Gómez Rivera
EXAMINADOR	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez
SECRETARIO	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**ANÁLISIS DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS EN PROBETAS DE HIERRO COLADO Y CON ALEACIONES DE COBRE, ZINC Y ESTAÑO, POR MEDIO DE MECÁNICA DE FRACTURAS EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, con fecha 11 de febrero de 2015.

**Erick Rodrigo Pérez Chan**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Guatemala 08 de febrero de 2017

Ing. José Francisco Gómez Rivera  
Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Gómez

Atentamente me dirijo a usted con el propósito de presentarle el trabajo de graduación titulado **“ANÁLISIS DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS EN PROBETAS DE HIERRO COLADO Y CON ALEACIONES DE COBRE, ZINC Y ESTAÑO, POR MEDIO DE MECÁNICA DE FRACTURAS EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA”**, elaborado por el estudiante Erick Rodrigo Pérez Chan con carné 200831540.

En mi calidad de asesor, considero que el trabajo presentado por el estudiante Erick Pérez es un aporte importante para el curso de Metalurgia y Metalografía que actualmente se imparte en esta facultad.

Con base a lo anterior, ruego a usted se sirva dar visto bueno para que este trabajo sea presentado ante las máximas autoridades de la Facultad, a fin de que emitan el dictamen correspondiente y si lo consideran, extiendan el título correspondiente al estudiante mencionado.

Sin otro particular, me suscribo a usted como su seguro y atento servidor,

*Carlos Humberto Pérez Rodríguez*  
INGENIERO MECÁNICO INDUSTRIAL  
Colegiado 3071

Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez

Colegiado No. 3071

Asesor de Graduación



Como Catedrático Revisor del Trabajo de Graduación titulado **ANÁLISIS DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS EN PROBETAS DE HIERRO COLADO Y CON ALEACIONES DE COBRE, ZINC Y ESTAÑO, POR MEDIO DE MECÁNICA DE FRACTURAS EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Erick Rodrigo Pérez Chan**, apruebo el presente trabajo y recomiendo la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

Ing. Víctor Hugo García Roque  
Catedrático Revisor de Trabajos de Graduación  
Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial

Guatemala, marzo de 2017.

/mgp

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

REF.DIR.EMI.047.017

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor, el Visto Bueno del Revisor y la aprobación del Área de Lingüística del trabajo de graduación titulado **ANÁLISIS DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS EN PROBETAS DE HIERRO COLADO Y CON ALEACIONES DE COBRE, ZINC Y ESTAÑO, POR MEDIO DE MECÁNICA DE FRACTURAS EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Erick Rodrigo Pérez Chan**, aprueba el presente trabajo y solicita la autorización del mismo.

“ID Y ENSEÑAR A TODOS”

Ing. José Francisco Gómez Rivera  
DIRECTOR a.i.

Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial



Guatemala, abril de 2017.

/mgp

Universidad de San Carlos  
de Guatemala

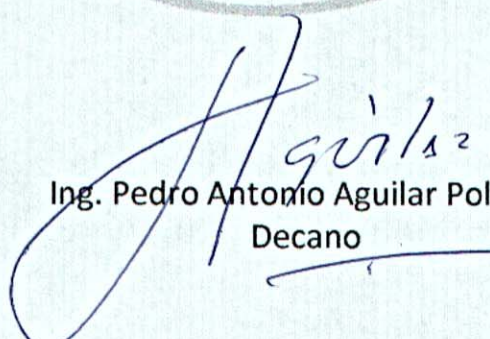


Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 184.2017

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS EN PROBETAS DE HIERRO COLADO Y CON ALEACIONES DE COBRE, ZINC Y ESTAÑO, POR MEDIO DE MECÁNICA DE FRACTURAS EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA, UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA,** presentado por el estudiante universitario: **Erick Rodrigo Pérez Chan,** y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, abril de 2017

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por darme la sabiduría y fuerza para culminar mi carrera.
<b>Mis padres</b>	Por todo el amor y apoyo que me han dado en la vida.
<b>Mis amigos</b>	Por brindarme su amistad, apoyo y haber compartido conocimientos durante largas horas de estudio.
<b>Mis tíos y primos</b>	Por apoyarme y darme ánimo cuando lo necesitaba.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por todos los conocimientos adquiridos.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Dios</b>	Por darme la sabiduría y fuerza para culminar mi carrera.
<b>Mis padres</b>	Por todo el amor y apoyo que me han dado en la vida.
<b>Mis amigos</b>	Por brindarme su amistad, apoyo y haber compartido conocimientos durante largas horas de estudio.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por todos los conocimientos adquiridos.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN.....	XVII
1. ANTECEDENTES GENERALES .....	1
1.1. Universidad de San Carlos de Guatemala.....	1
1.1.1. Ubicación.....	1
1.1.2. Historia .....	1
1.1.3. Misión .....	3
1.1.4. Visión.....	4
1.1.5. Facultades y escuelas .....	4
1.2. Facultad de Ingeniería.....	5
1.2.1. Historia .....	5
1.2.2. Ubicación.....	7
1.2.3. Misión .....	7
1.2.4. Visión.....	7
1.2.5. Escuelas .....	7
1.3. Escuela de Ingeniería Mecánica.....	8
1.3.1. Ubicación.....	8
1.3.2. Historia .....	9
1.3.3. Misión .....	10
1.3.4. Visión.....	10

1.3.5.	Organización .....	10
1.4.	Centro de Investigaciones.....	11
1.4.1.	Ubicación.....	11
1.4.2.	Historia .....	12
1.4.3.	Misión .....	12
1.4.4.	Visión.....	12
1.4.5.	Organización .....	13
2.	DIAGNÓSTICO SITUACIONAL .....	15
2.1.	Mecánica de Fracturas.....	15
2.1.1.	Estudio de Mecánica de Fracturas .....	15
2.1.2.	Balance energético de Griffith .....	17
2.1.2.1.	Análisis gráfico de las energías involucradas .....	19
2.1.3.	Factor de intensidad de tensiones.....	19
2.1.4.	Ensayo de Mecánica de Fracturas .....	21
2.2.	Análisis del estudio actual de Mecánica de Fracturas en Guatemala.....	22
2.2.1.	Estudio actual de Mecánica de Fracturas en la Usac .....	23
2.2.2.	Estudio actual de la Mecánica de Fracturas en las principales universidades privadas del país.....	23
2.2.2.1.	Universidad Rafael Landivar .....	23
2.2.2.2.	Universidad Del Valle .....	23
2.2.2.3.	Universidad Galileo .....	24
2.2.2.4.	Universidad Mariano Gálvez .....	24
2.2.3.	Importancia de la implementación del estudio de Mecánica de Fracturas en la Facultad .....	24

2.3.	Maquinaria de ensayos existente en la Facultad de Ingeniería de la Usac.....	25
2.3.1.	Máquina universal de Ensayo de tensión y compresión .....	25
2.3.1.1.	Especificaciones técnicas.....	26
2.3.2.	Características de la máquina universal de ensayo .....	26
2.3.3.	Utilidades de la máquina universal de ensayos .....	27
3.	PROPUESTA PARA EL ANÁLISIS DE ENSAYOS.....	29
3.1.	Manufactura de las probetas con maquinaria de la Facultad de Ingeniería de la Usac.....	29
3.1.1.	Fundición del hierro .....	30
3.1.1.1.	Horno cubilote.....	35
3.1.2.	Aleaciones .....	39
3.1.3.	Torneado de piezas .....	39
3.1.3.1.	Torno de la Facultad de Ingeniería de la Usac.....	40
3.1.4.	Análisis de microscopía .....	41
3.2.	Análisis del acoplamiento de los Ensayos de Mecánica de Fracturas .....	42
3.2.1.	Análisis de rediseño de probetas normalizadas.....	42
3.2.1.1.	Variable en el análisis de cálculos .....	46
3.2.2.	Proceso del Ensayo de Mecánica de Fracturas.....	47
3.2.3.	Limitantes en el Ensayo de Mecánica de Fracturas.....	48
4.	IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA.....	49
4.1.	Manufactura de las probetas .....	49

4.1.1.	Fundición de hierro.....	51
4.1.1.1.	Proceso .....	52
4.1.2.	Aleaciones de hierro colado con cobre, zinc y estaño.....	53
4.1.2.1.	Proceso .....	54
4.1.2.2.	Resultados .....	57
4.1.3.	Manufactura de las probetas.....	58
4.1.3.1.	Torneado de las piezas .....	58
4.1.3.2.	Pulido de las piezas para el análisis químico porcentual .....	59
4.1.3.3.	Resultados .....	59
4.2.	Análisis de microscopía.....	61
4.2.1.	Proceso .....	62
4.2.2.	Resultados .....	64
4.3.	Ensayo de Mecánica de Fracturas.....	66
4.3.1.	Selección de la máquina universal de ensayos.....	66
4.3.2.	Procedimiento .....	68
4.3.3.	Resultados .....	69
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	73
5.1.	Tabla de resultados.....	73
5.2.	Análisis de resultados obtenidos de los Ensayos de Mecánica de Fracturas.....	73
5.2.1.	Cálculos.....	74
5.2.2.	Análisis de resultados de los cálculos .....	81
5.3.	Diseño definitivo de probetas para Ensayos de Mecánica de Fracturas .....	82
5.3.1.	Diseño y medidas.....	82
5.4.	Alcance y mejora.....	83

5.4.1.	Sugerencias de mejora .....	84
CONCLUSIONES .....		85
RECOMENDACIONES .....		87
BIBLIOGRAFÍA .....		89





## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Organigrama .....	11
2.	Organización del Centro de Investigaciones de Ingeniería .....	13
3.	Superficie de fractura .....	16
4.	Fisura de Griffith.....	18
5.	Fisura de Irwin.....	20
6.	Zonas de control de K, plástica y de proceso.....	21
7.	Ensayo de mecánica de fractura .....	22
8.	Máquina universal del ensayos Baldwin.....	27
9.	Microestructura de la fundición nodular ferrítico perlita .....	32
10.	Horno de fusión .....	38
11.	Probeta para tensión de barras de acero .....	43
12.	Probeta propuesta para el Ensayo de Mecánica de Fracturas .....	43
13.	Perlas de estaño puro. Cantidad: 80 gramos .....	50
14.	Ánodo de zinc puro .....	50
15.	Cobre y hierro colados .....	51
16.	Hierro fundido del horno cubilote .....	53
17.	Proceso de fundición.....	55
18.	Planchas obtenidas .....	57
19.	Probetas ya maquinadas.....	60
20.	Análisis de microscopio.....	62
21.	Cámara especial tipo ocular para microscopio.....	63
22.	Hierro colado.....	64
23.	Hierro colado aleado con estaño.....	65

24.	Hierro colado aleado con zinc.....	65
25.	Hierro colado aleado con cobre .....	66
26.	Selección de maquinaria universal de Ensayo .....	67
27.	Procedimiento de Ensayos de fracturas .....	69
28.	Resultados de Ensayos de fracturas .....	70
29.	Cálculo para la primera probeta de hierro colado .....	75
30.	Cálculo para la segunda probeta de hierro colado .....	76
31.	Cálculo para la primera probeta de hierro colado con aleación de estaño .....	77
32.	Cálculo para la segunda probeta de hierro colado con aleación de estaño .....	78
33.	Cálculo para la primera probeta de hierro colado con aleación de zinc .....	79
34.	Cálculo para la segunda probeta de hierro colado con aleación de zinc .....	80
35.	Diseño y medidas .....	83

## TABLAS

I.	Especificaciones técnicas .....	26
II.	Fundición gris .....	31
III.	Clasificación de la fundición nodular y sus características mecánicas.....	33
IV.	Densidades de los materiales a utilizar.....	45
V.	Total de gramos de materiales a comprar .....	46
VI.	Análisis de resultados .....	73
VII.	Análisis de resultados de los cálculos.....	81
VIII.	Sugerencias de mejora .....	84

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>d</b>	Alargamiento medio
<b>H</b>	Altura
<b>A</b>	Área
<b>Cm</b>	Centímetros
<b>Cu</b>	Cobre
<b><math>\sigma</math></b>	Deformación
<b>S</b>	Esfuerzo
<b>Sn</b>	Estaño
<b>K</b>	Factor de intensidad de tensiones
<b>P</b>	Fuerza
<b>g</b>	Gramos
<b>Fe</b>	Hierro
<b>Kg</b>	Kilogramos
<b>Lb</b>	Libras
<b>L</b>	Longitud
<b>MPa</b>	Mega pascales
<b>m</b>	Metros
<b>mm</b>	Milímetros
<b>E</b>	Módulo de elasticidad
<b>%</b>	Porcentaje
<b>Zn</b>	Zinc



## GLOSARIO

<b>ASTM</b>	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales ( <i>American Society for Testing and Materials</i> ).
<b>Corrosión</b>	Deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno.
<b>Crisol</b>	Cavidad en los hornos que recibe el metal fundido. El crisol es un aparato que normalmente está hecho de grafito con cierto contenido de arcilla y que puede soportar elementos a altas temperaturas. Algunos crisoles aguantan temperaturas que superan los 1 500 °C. También se le denomina así a un recipiente de laboratorio resistente al fuego y utilizado para fundir sustancias. Es utilizado en los análisis gravimétricos.
<b>CII</b>	Centro de Investigaciones de Ingeniería
<b>DIN</b>	Instituto Alemán de Normalización ( <i>Deutsches Institut für Normung</i> ).
<b>FI-USAC</b>	Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

**Microscopía**

Técnica de producir imágenes visibles de estructuras o detalles demasiado pequeños para ser percibidos a simple vista.

## RESUMEN

Con el fin de analizar los resultados obtenidos de los ensayos destructivos de probetas de hierro colado, y con aleaciones de cobre, zinc y estaño, por medio de Mecánica de Fracturas, utilizando el primer modelo del Balance Energético de Griffith, se procedió a diseñar y elaborar dichas probetas, para lo cual, primero se compraron los materiales existentes en Guatemala, los cuales eran hierro colado y cobre; y se importaron los materiales inexistentes en Guatemala, es decir, el zinc se importó de Estados Unidos, y el estaño se importó de Alemania.

A continuación se realizó la fundición de los materiales para realizar las respectivas aleaciones, lo cual se hizo en el horno cubilote de la Fundidora Ramírez, ubicada en la Colonia La Brigada de la zona 7 de Mixco; una vez obtenidas las placas fundidas y aleadas, se tornearon hasta conseguir la forma precisa de probeta que conseguía ser ajustada en la Máquina Universal de Ensayos, del Centro de Investigaciones de la Universidad de San Carlos de Guatemala, lugar donde se realizarían las pruebas. Al tener las probetas torneadas, se hicieron los Ensayos anteriormente mencionados, para analizar los resultados y poder obtener conclusiones.





## **OBJETIVOS**

### **General**

Analizar los Ensayos destructivos de probetas de hierro colado, y con aleaciones de cobre, zinc y estaño, por medio de Mecánica de Fracturas en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la USAC.

### **Específicos**

1. Realizar un estudio de condiciones de funcionamiento del equipo de Ensayos del Centro de Investigaciones de Ingeniería.
2. Realizar estudios de microscopía a las probetas maquinadas.
3. Rediseñar probetas normalizadas para el estudio de la Mecánica de Fracturas, con el fin de poder realizar dichos análisis con la maquinaria existente en el Centro de Investigaciones de Ingeniería.
4. Realizar Ensayos destructivos de Mecánica de Fracturas, a probetas de hierro colado, y hierro colado, con aleaciones de cobre, zinc y estaño; con el equipo del Centro de Investigaciones de Ingeniería.
5. Analizar el comportamiento de los materiales sometidos a los Ensayos destructivos de Mecánica de Fracturas.



## INTRODUCCIÓN

La Mecánica de Fractura busca cuantificar las combinaciones críticas de tensión y tamaño de fisura que produzcan la extensión de la misma, es una rama relativamente nueva de la Ciencia de los Materiales. Hoy en día, casi todas las estructuras ingenieriles contienen grietas o fisuras, con lo cual es necesario el estudio más a fondo por medios de Ensayos, para determinar maneras más eficientes para que dichas grietas o fisuras, produzcan fracturas. La Mecánica de Fracturas provee una base racional para la relación entre tensiones, tamaño de fisura y resistencia al crecimiento de la misma.

Actualmente, el Centro de Investigaciones de Ingeniería (CII), no cuenta con la maquinaria específica para el correcto estudio de la Mecánica de Fractura, por lo cual, es necesaria una propuesta para el cambio de diseño de las probetas normalizadas, para que sea posible el análisis de dichos Ensayos.

Por la razón anterior, la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, carece del estudio de Mecánica de Fracturas, el cual es de importancia para el análisis del comportamiento que presentan distintos tipos de metales y aleaciones, hacia fuerzas de fractura a las que puedan ser sometidos.

En el presente trabajo de investigación se analizan las propiedades físicas y mecánicas de probetas de hierro colado, y con aleaciones de cobre, zinc y estaño, mediante Ensayos destructivos de Mecánica de Fracturas; este Ensayo, presenta un modo de apertura en una grieta de la probeta, produciendo un esfuerzo tensional perpendicular en la misma; permitiendo así cuantificar los

daños percibidos. Estos daños, serán relacionados al tiempo de ruptura, fuerza aplicada, y a la estructura química de las probetas, las cuales serán obtenidas a través de Ensayos metalográficos.

Se tratarán temas de suma importancia para la comprensión de la Mecánica de Fracturas, principiando por conceptos básicos del estudio de los metales, la maquinaria a utilizar y los Ensayos realizados; y el análisis de los efectos que tienen los factores que intervienen en los términos energéticos de los materiales a utilizar. Cada Ensayo está explicado con su respectiva teoría, imágenes ilustrativas, tablas de resultados y análisis de los mismos.

Estos Ensayos fueron basados en el estudio del balance energético de Griffith, de Mecánica de Fracturas, y realizados en el Centro de Investigaciones de Ingeniería; por su parte, el análisis químico fue realizado en el Laboratorio de Química Orgánica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Las probetas utilizadas en los Ensayos, obedecen a las normalizaciones ASTM E1820 y ASTM E399.

# **1. ANTECEDENTES GENERALES**

## **1.1. Universidad de San Carlos de Guatemala**

A continuación, se dará a conocer una breve reseña histórica sobre la Universidad de San Carlos de Guatemala, lugar donde se realizará la siguiente investigación.

### **1.1.1. Ubicación**

La Universidad de San Carlos de Guatemala, se encuentra ubicada a día de hoy, en 20 departamentos de la República de Guatemala; para efecto de la investigación que se realizará, nos enfocaremos en el campus central, ubicado en la Ciudad Universitaria, zona 12, de la Ciudad de Guatemala, C.A.

### **1.1.2. Historia**

“El territorio de la actual Guatemala fue conquistado entre 1524 y 1530. El verdadero éxito militar se obtuvo a partir de 1527, cuando se estableció como base de las operaciones de conquista la ciudad de Santiago de Guatemala, en el valle de Almolonga, el actual San Miguel Escobar, junto a Ciudad Vieja Sacatepéquez. Como cura de la ciudad se nombró al licenciado Francisco Marroquín. En 1534, la parroquia fue convertida en sede de diócesis y Marroquín se convirtió en el primero obispo.

Marroquín estaba consciente de la importancia de un centro de estudios superiores para la naciente ciudad. Aunque era una pequeña urbe, contaba con una alta concentración de españoles, pues era un paso para los conquistadores que, procedentes de México, buscaban las riquezas de Perú. La ciudad también atrajo a los comerciantes españoles que se dedicaron a las exportaciones de cacao hacia México. En 1548 el obispo Marroquín solicitó a la Corona el establecimiento de una universidad, cuando la ciudad ya estaba en el valle de Panchoy.

La solicitud no fue atendida por lo que, cuando falleció Marroquín, en 1563, dejó un patrimonio de dos mil pesos para la fundación de un Colegio Mayor donde se

servieran las cátedras de gramática, aritmética, geometría, astronomía y música, así como teología y derecho eclesiástico.

En 1620, con el legado de Marroquín se logró el establecimiento, del Colegio Mayor de Santo Tomás, dependiente de los dominicos. Durante el final de la Edad Media los dominicos eran los clérigos con mejor formación académica, dentro de sus exponentes estaba el mayor representante de la filosofía escolástica, Santo Tomás de Aquino. Sin embargo, en el siglo XVII otra orden religiosa contaba con importantes metodologías de enseñanza, eran la Compañía de Jesús. En la ciudad de Santiago de Guatemala la Compañía estableció dos colegios, el de San Lucas y el de San Francisco de Borja, con un plan universitario, mientras otros religiosos tenían sus propios colegios.

Los franciscanos contaban el de San Buenaventura y los mercedarios tenían el de San Jerónimo. Como es lógico, cada orden intentaba formar a sus religiosos, con lo que los laicos quedaban con limitadas posibilidades de formación superior, por ello, jesuitas y dominicos abrieron espacios para laicos de familias de élite en sus respectivos colegios. Sin embargo, las posibilidades de ascenso social y político de las élites eran limitados, puesto que no había lugar para la formación de médicos ni abogados y, los abogados eran indispensables para el funcionamiento de la máxima autoridad de la Corona en el reino, la Audiencia de Guatemala. Por ello, las élites locales deseaban participar activamente en las decisiones de la Audiencia. Así en 1660, con los aportes económicos dejados por Sancho de Barahona, Isabel de Loaiza y Pedro Crespo Suárez, el obispo Payo Enríquez, quien introdujo la imprenta en Guatemala, solicitó nuevamente la creación de una universidad en la ciudad de Santiago de Guatemala. Esta nueva solicitud tuvo éxito y, en 1676 la Corona autorizó la fundación de la universidad guatemalteca.

Para la sociedad española de la ciudad de Guatemala, la instauración de la Universidad fue un acontecimiento memorable. Sin embargo, para su organización se requirió una serie de actividades que hicieron que entrara en uniones hasta 1681.

El juez superintendente y primer rector provisional fue el fiscal de la Real Audiencia, Juan Bautista Urquiola y Elorriaga, graduado en Salamanca. A los dominicos les fue expropiado el edificio del colegio Santo Tomás, se remodeló y se instaló un escudo real en la fachada.

Se abrieron siete cátedras: teología, escolástica, teología moral, cánones, leyes, medicina y dos idiomas indígenas. A éstas, Urquiola añadió las cátedras de instituta, que consistía en fundamentos legales, y artes, que incluía gramática, dialéctica, retórica, aritmética, geometría, astronomía y música.

Entre 1677 y 1678 se agrió la oposición para cátedras en México, Puebla y Guatemala. Las oposiciones se realizaron en la Universidad de México, donde uno de los examinadores, el oidor, es decir juez de la Real Audiencia, Francisco Gárate y Francia había sido oidor en Guatemala. Hubo un total de 33 candidatos. Fueron electos siete residentes en Guatemala y uno de México, el de medicina. El catedrático de Kaqchikel fue el fraile dominico José Ángel Cenollo.

Sin embargo, por problemas en la convocatoria, el rey suprimió la elección y se nombró catedráticos interinos en 1680, por lo que las clases empezaron hasta

1681. En la mañana, se leían las cátedras de teología y cánones, de 7 a 8 horas; leyes, de 8 a 9; medicina y artes de 9 a 10, y de kaqchikel, de 10 a 11. La lectura consistía en que el catedrático dictaba un tema que los alumnos debían memorizar. Por la tarde, se leía teología e instituta, de 15 a 16; y artes de 16 a 17.

Cada cierto tiempo se realizaba una disputa, es decir un debate entre los estudiantes, utilizando los argumentos que aparecían en los libros de los autores de la biblioteca. Todas las clases se daban en latín y, en caso de los idiomas indígenas, era la enseñanza de que correspondiera.

Hubo un total de 60 estudiantes inscritos en las primeras clases, 7 de teología, 36 de artes y 17 kaqchikel.

En 1686 se ordenó que se hicieran oposiciones para catedráticos en España, en las Universidades de Salamanca, Valladolid y Alcalá de Henares. Ese mismo año, asumió el cargo de primer rector, el doctor José de Baños y Sotomayor, nombrado por el rey y uno de los principales promotores de la Universidad. Para entonces se habían graduado dos generaciones de bachilleres.

El abogado Francisco de Sarassa y Arce fue el encargado de elaborar las Constituciones y Estatutos de la Universidad, para lo que tomó de modelo las constituciones de la Universidad de Salamanca y la de México.

Por último, en 1687, el Papa Inocencio Undécimo otorgó a la Universidad el título de Pontificia, con lo que sus egresados estaban al mismo nivel que los de los centros educativos de Europa. El primer graduado como doctor fue Lorenzo Pérez Dardón en 1688. Así inicio la vida universitaria en Guatemala”<sup>1</sup>.

### **1.1.3. Misión**

“En su carácter de única universidad estatal le corresponde con exclusividad dirigir, organizar y desarrollar la educación superior del estado y la educación estatal, así como la difusión de la cultura en todas sus manifestaciones. Promoverá por todos los medios a su alcance la investigación en todas las esferas del saber humano y cooperará al estudio y solución de los problemas nacionales”<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> *Periódico Universidad número 234*. 338 años de fundación. p. 58.

<sup>2</sup> *Usac, tricenteraria*. <http://www.usac.edu.gt/>. Consulta: 14 de noviembre de 2014.

#### **1.1.4. Visión**

“La Universidad de San Carlos de Guatemala es la institución de educación superior estatal, autónoma, con cultura democrática, con enfoque multi e intercultural, vinculada y comprometida con el desarrollo científico, social, humanista y ambiental, con una gestión actualizada, dinámica, efectiva y con recursos óptimamente utilizados, para alcanzar sus fines y objetivos, formadora de profesionales con principios éticos y excelencia académica”<sup>3</sup>.

#### **1.1.5. Facultades y escuelas**

- “Facultad de Agronomía
- Facultad de Arquitectura
- Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales
- Facultad de Ciencias Económicas
- Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia
- Facultad de Ciencias Médicas
- Facultad de Humanidades
- Facultad de Ingeniería
- Facultad de Medicina, Veterinaria y Zootecnia
- Facultad de Ciencia Política
- Facultad de Odontología
- Escuela de Formación de Profesores de Enseñanza Media
- Escuela de Ciencias de la Comunicación
- Escuela de Ciencias Lingüísticas
- Escuela de ciencias Psicológicas
- Escuela de Historia

---

<sup>3</sup> Ibíd.



- Escuela Superior de Arte
- Escuela de Trabajo Social”<sup>4</sup>

## **1.2. Facultad de Ingeniería**

El laboratorio donde se llevarán a cabo los Ensayos de Mecánica de Fracturas, se encuentra ubicado en la Facultad de Ingeniería de la USAC, con lo cual, a continuación se dará a conocer la historia de dicha facultad, así como otros aspectos importantes.

### **1.2.1. Historia**

“Desde 1676, en sus primeras épocas, la Universidad de San Carlos graduaba teólogos y abogados; posteriormente, a médicos. En 1769 se crearon cursos de física y geometría, lo que marcó el inicio de la enseñanza de las ciencias exactas en Guatemala.

En 1834, cuando el jefe de Estado de Guatemala era Mariano Gálvez, se creó la Academia de Ciencias, sucesora de la Universidad de San Carlos y se implantó la enseñanza de álgebra, geometría, trigonometría y física, además, de otorgaron títulos de agrimensores. Francisco Colmenares, Felipe Molina, Patricio de León y José Batres Montúfar fueron los primeros graduados.

La Academia de Ciencias funcionó hasta 1840, hasta que, en el gobierno de Rafael Carrera volvió a transformarse en universidad. La Asamblea publicó los estatutos de la nueva organización, mediante los cuales exigían que para obtener el título de agrimensor era necesario poseer el título de bachiller en filosofía, tener un año de práctica y aprobar el examen correspondiente.

En 1873 se fundó la Escuela Politécnica para formar ingenieros militares, topógrafos y de telégrafos, además de oficiales militares.

Decretos gubernativos específicos de 1875 son el punto de partida para considerar la creación formal de las carreras de ingeniería en la recién fundada Escuela Politécnica; carreras que más tarde se incorporaron a la Universidad.

En 1879 se estableció la Escuela de Ingeniería en la Universidad de San Carlos de Guatemala; por decreto del Gobierno, pero en 1882, se tituló como Facultad dentro de esa institución y se separó de la Escuela Politécnica. El ingeniero Cayetano Batres del Castillo fue el primer decano de la Facultad de Ingeniería;

---

<sup>4</sup> Ibíd.

dos años más tarde fue el ingeniero José E. Irungaray. Durante su gestión se reformó el programa de estudios; como consecuencia, la duración de la carrera de ingeniería se redujo en dos años; de ocho, pasó a durar seis años.

En 1894, por razones de economía, la Facultad de Ingeniería fue adscrita nuevamente a la Escuela Politécnica; entonces se inició un período de inestabilidad para esta Facultad, que pasó varias veces de la Politécnica a la Universidad y viceversa; ocupó diversos locales, entre ellos, el edificio de la Escuela de Derecho y Notariado.

Dentro de esas vicisitudes, en 1895 se iniciaron nuevamente los estudios de ingeniería en la Escuela Politécnica; ahí ofrecían las carreras de ingeniero topógrafo, ingeniero civil e ingeniero militar. Se graduaron once ingenieros civiles y militares.

La inestabilidad terminó con la supresión de la Escuela Politécnica en 1908, a raíz de los acontecimientos políticos acaecidos en ese año. El archivo de la Facultad permaneció en el mismo lugar hasta 1912, año en que fue depositado temporalmente en la Facultad de Derecho.

De 1908 a 1918 la Facultad tuvo una existencia ficticia. El gobernante Manuel Estrada Cabrera reabrió la Universidad y a la Facultad de Ingeniería se le denominó Facultad de Matemáticas.

Entre 1908 y 1920, a pesar de los esfuerzos de los ingenieros guatemaltecos y por causa de la desorganización imperante, únicamente se incorporaron tres ingenieros que obtuvieron el título en el extranjero.

En 1920 la Facultad reinició sus labores en el edificio que ocupó durante muchos años, frente al parque Morazán; hasta 1930 únicamente ofrecía la carrera de ingeniero topógrafo.

En 1930 se reestructuraron los estudios y se reestableció la carrera de ingeniería civil. Este hecho marcó el inicio de la época "moderna" de esta Facultad.

Gracias al interés de profesores y alumnos, en 1935 se impulsaron otras reformas que elevaron el nivel académico y la categoría del currículo. El nuevo plan incluía conocimientos de física, termodinámica, química, mecánica y electricidad; que en resumen, constituían los conocimientos fundamentales para afrontar las necesidades de desarrollo de Guatemala en el momento en que se daba el primer impulso a la construcción moderna y a la industria.

En año 1944 sobresale por el reconocimiento de la autonomía universitaria y la asignación de recursos financieros del presupuesto nacional, fijados por la Constitución de la República. A partir de entonces, la Facultad de Ingeniería se independizó de las instituciones gubernamentales y se integró al régimen autónomo estrictamente universitario<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Usac. *Facultad de Ingeniería*. <https://www.ingenieria.usac.edu.gt/nosotros.php>. Consulta: 15 de noviembre de 2014.

### **1.2.2. Ubicación**

La facultad de ingeniería, encuentra ubicadas sus oficinas centrales en el edificio T4 del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, zona 12; asimismo, cuenta con los edificios T1, T3, T5, T7, S11 y S12 para realizar sus actividades académicas.

### **1.2.3. Misión**

“Formar profesionales en las distintas áreas de la Ingeniería que, a través de la aplicación de la ciencia y la tecnología, conscientes de la realidad nacional y regional, y comprometidos con nuestras sociedades, sean capaces de generar soluciones que se adapten a los desafíos del desarrollo sostenible y los retos del contexto global”<sup>6</sup>.

### **1.2.4. Visión**

“Ser una institución académica con incidencia en la solución de la problemática nacional; formamos profesionales en las distintas áreas de la ingeniería, con sólidos conceptos científicos, tecnológicos, éticos y sociales, fundamentados en la investigación y promoción de procesos innovadores orientados hacia la excelencia profesional”<sup>7</sup>.

### **1.2.5. Escuelas**

- “Escuela Técnica
- Escuela de Estudios de Postgrado

---

<sup>6</sup> Ibíd.

<sup>7</sup> Ibíd.

- Licenciatura en Física Aplicada
- Licenciatura en Matemáticas
- Escuela de Ciencias
- Escuela de Ingeniería Civil
- Escuela de Ingeniería Química
- Escuela de Ingeniería Mecánica
- Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
- Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial
- Escuela de Ingeniería en Industrias Agropecuarias y Forestales
- Escuela de Ingeniería en Ciencias y Sistemas
- Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos”<sup>8</sup>

### **1.3. Escuela de Ingeniería Mecánica**

La Mecánica de Fracturas es, en algunas universidades latinoamericanas, parte del contenido académico en algunos cursos del área de ingeniería mecánica, es por ello, y debido a que el apoyo recibido en el presente trabajo de graduación viene de dicha escuela, que se dará a conocer una breve descripción acerca de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

#### **1.3.1. Ubicación**

“La escuela de Ingeniería Mecánica tiene ubicadas sus instalaciones centrales en el edificio T7 del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, zona 12”<sup>9</sup>.

---

<sup>8</sup> Usac. *Escuela de Ingeniería Mecánica*. <http://emecanica.ingenieria.usac.edu.gt/sitio/>. Consulta: 16 de noviembre de 2014.

<sup>9</sup> *Ibíd.*

### **1.3.2. Historia**

“La Ingeniería Mecánica, es una de las carreras que ha ofrecido la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, desde el siglo pasado en el año 1968, como oportunidad de estudios superiores en la República de Guatemala. La Escuela de Ingeniería Mecánica tiene una historia relativamente reciente como tal, debido a que en los inicios, la carrera era administrada por la Escuela de Ingeniería Mecánica Industrial. Nació como independiente en el mes de octubre de 1986 al separarse de la Escuela mencionada, por resolución de Junta Directiva a petición de estudiantes y catedráticos de aquella época, siendo el principal visionario el Coordinador de la Carrera de aquel entonces, el Ing. Jorge Raúl Soto Obediente (QEPD) y los estudiantes de aquel entonces Rigoberto Fong, Leonel Ramírez y Sergio Castro entre otros.

Esta separación fue necesaria dada la necesidad de desarrollar una rama de la ingeniería en forma separada, siendo la primera carrera en contar con un área exclusiva para que los catedráticos desarrollaran sus actividades y atendieran a los estudiantes, ya que esto no era posible en buena forma siendo un área de la Escuela en mención.

Se diseñó un modelo de organización que permitiera desarrollar las funciones administrativo-docentes con las limitaciones presupuestarias del momento y se solicitó la infraestructura mínima de oficinas para dar cabida al personal de la carrera. De esta manera en el año 1987, teniendo como Coordinador de la Carrera al Ing. Jorge Raúl Soto Obediente, entro a funcionar con personal administrativo y docente en forma efectiva la Carrera de Ingeniería Mecánica, considerando poner en marcha proyectos para alcanzar la excelencia académica, localizando su sede en el edificio T-7 del complejo de la Facultad de Ingeniería, que en aquel entonces era área de bodegas que utilizaba la facultad, existiendo ya los laboratorios de procesos de manufactura I y II, metalurgia y metalografía y motores de combustión interna, los cuales se desarrollaban en un ambiente inadecuado.

La carrera estaba administrada por La Coordinación de la Carrera, quien conformaba el pensum de estudios y presupuesto con aprobación de junta directiva de aquella época. Se instauro el “Juramento del Ingeniero Mecánico” que formaba parte de las ceremonias de graduación de esa época. Un primer intento de organización se hizo en el año 1990, siendo el Coordinador el Ing. Carlos Leonel Hurtarte Castro, al dividir la carrera en Área Térmica, Área no Térmica y Laboratorios. Se introduce al pensum de estudios los cursos de mantenimiento de hospitales y se inicia el programa de prácticas en la industria.

Fue hasta el año 1991, siendo el Coordinador el Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma, que la Carrera de Ingeniería Mecánica se divide en las áreas de: Térmica, Diseño, Materiales de Ingeniería, Complementaria, Laboratorios, y las Coordinaciones de Exámenes Generales, públicos y privados. Se convierte en la primer carrera en contar con un reglamento de exámenes privados y la única en contar con una línea de teléfono directo, compartido en ese entonces con el departamento de mantenimiento de la Facultad. En aquel entonces la Carrera realizaba todas las funciones administrativo-docentes de una Escuela no facultativa como las otras de la Facultad de Ingeniería.

En el año 2004, en la época del Director de la carrera el Ing. Arturo Estrada Martínez la Junta Directiva le concede a la carrera la categoría de escuela de Ingeniería Mecánica con presupuesto separado”<sup>10</sup>.

### **1.3.3. Misión**

“Formamos profesionales de la Ingeniería Mecánica, con valores éticos y morales, capaces de generar y adaptarse a los cambios del entorno, conscientes de la realidad nacional y el avance tecnológico, comprometidos con su sociedad, para que a través de la aplicación de la ciencia y la tecnología apropiada contribuyan al bien común y desarrollo económico y sostenible del país y la región”<sup>11</sup>.

### **1.3.4. Visión**

“Ser una de las mejores Escuelas de Ingeniería Mecánica en Educación Superior, de reconocimiento nacional e internacional por la calidad de profesionales que forma, por sus resultados dentro de la competitividad del mercado laboral cambiante tomando en cuenta el impacto de las nuevas tecnologías, de las necesidades y expectativas de sus estudiantes”<sup>12</sup>.

### **1.3.5. Organización**

A continuación, se dará a conocer la manera en que está estructurada la Escuela de Ingeniería Mecánica, a través de su organigrama.

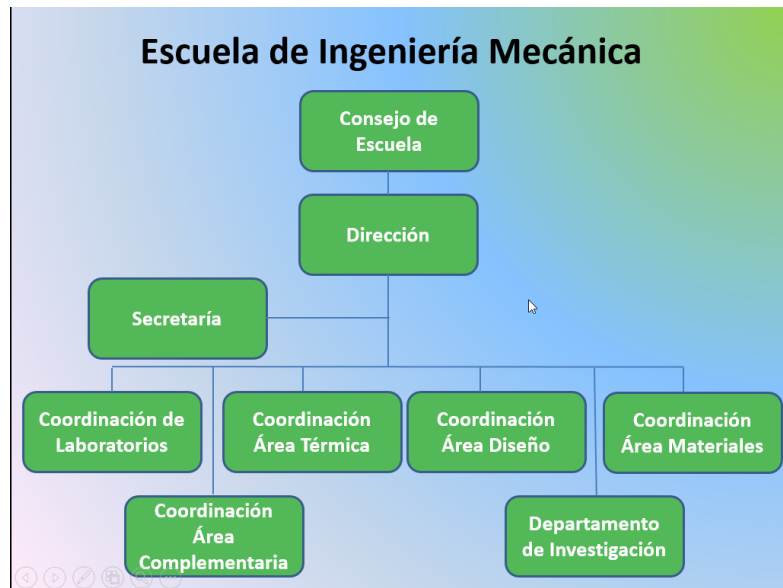
---

<sup>10</sup> Ibíd.

<sup>11</sup> Ibíd.

<sup>12</sup> Ibíd.

Figura 1. Organigrama



Fuente: Usac. *Escuela de Ingeniería Mecánica*. <http://emecanica.ingenieria.usac.edu.gt/sitio/>.  
Consulta: 16 de noviembre de 2014.

#### 1.4. Centro de Investigaciones

El Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la USAC, es el lugar donde se realizarán los Ensayos de Mecánica de Fracturas, a continuación se dará a conocer información acerca de dicho lugar.

##### 1.4.1. Ubicación

El Centro de Investigaciones de Ingeniería, tiene ubicadas sus instalaciones en el primer nivel del edificio T5 del campus central de la Universidad de San Carlos de Guatemala, zona 12.

### **1.4.2. Historia**

“El Centro de Investigaciones de Ingeniería fue creado por Acuerdo del Consejo Superior Universitario de fecha 27 de julio de 1,963 y está integrado por todos los laboratorios de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. A La base para constituir el Centro, fue la unificación de los laboratorios de Materiales de Construcción de la Facultad de Ingeniería y de la Dirección General de Obras Públicas en el año 1,959 y la subsiguiente adición a los mismos del laboratorio de Química y Microbiología Sanitaria en 1,962 en unión de otros laboratorios docentes de la Facultad de Ingeniería. En 1,965 se agregó al CII, el Laboratorio de Análisis de Aguas de la Municipalidad de Guatemala.

En 1,977 se establecieron las unidades de Investigación en Fuentes no Convencionales de Energía y Tecnología de Construcción de la Vivienda. En 1,978 fue creado el Centro de Información para la Construcción (CICON), el cual se encuentra adscrito al CII. En 1,980, aunaron esfuerzos, la Facultad de Arquitectura y la Unidad de Tecnología de la Construcción de Vivienda para organizar el Programa de Tecnología para los Asentamientos Humanos, del cual se generaron múltiples relaciones nacionales e internacionales. En 1,997 se adhirió al CII la Planta Piloto de Extracción Destilación, cuyo funcionamiento se inició en la década de los 90s.”<sup>13</sup>.

### **1.4.3. Misión**

“Desarrollar investigación científica como el instrumento para la resolución de problemas de diferentes campos de la ingeniería, orientada a la optimización de los recursos del país y a dar respuesta a los problemas nacionales; contribuir al desarrollo de la prestación de servicios de ingeniería de alta calidad científico-tecnológica para todos los sectores de la sociedad guatemalteca.”<sup>14</sup>.

### **1.4.4. Visión**

“Investigar alternativas de solución científica y tecnológica para la resolución de la problemática científico-tecnológica del país en las áreas de ingeniería, que estén orientadas a dar respuesta a los problemas nacionales;

---

<sup>13</sup> Usac. *Centro de Investigaciones de Ingeniería*. <http://cii.ingenieria.usac.edu.gt/>. Consulta: 17 de noviembre de 2014.

<sup>14</sup> *Ibíd.*

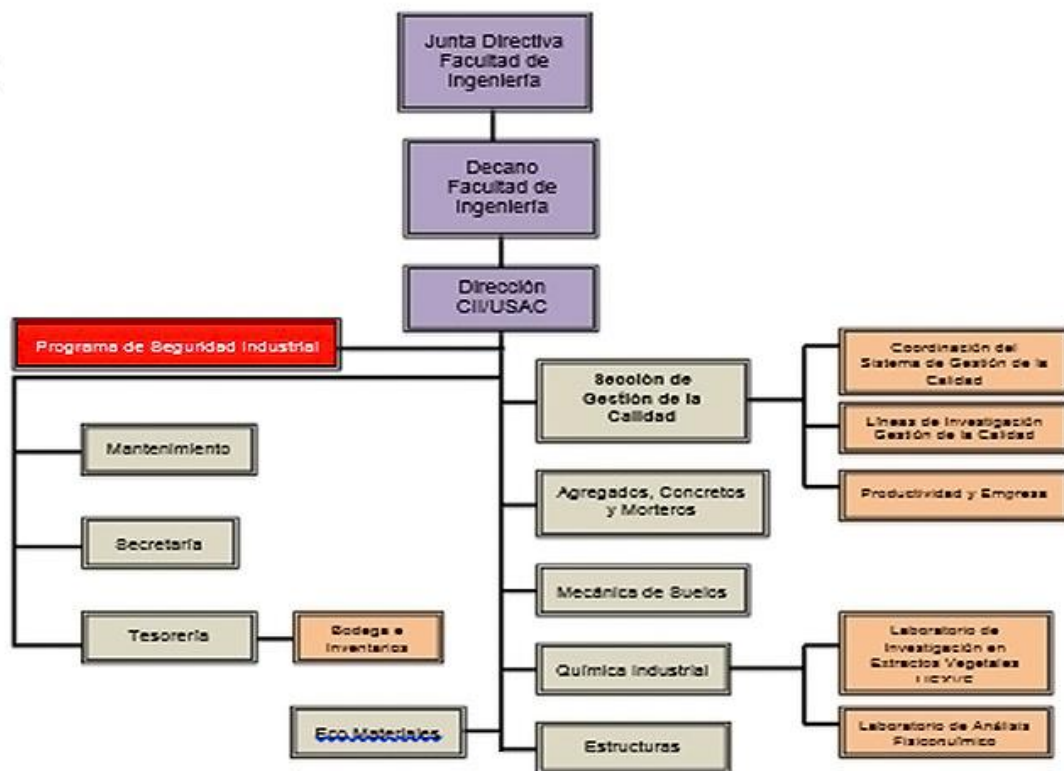


realizar análisis y Ensayos de caracterización y control de calidad de materiales, estructuras y productos terminados de diversa índole”<sup>15</sup>.

### 1.4.5. Organización

La siguiente figura muestra el organigrama del Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la USAC.

Figura 2. Organización del Centro de Investigaciones de Ingeniería



Fuente: Usac. *Centro de Investigaciones de Ingeniería*. <http://cii.ingenieria.usac.edu.gt/>.

Consulta: 17 de noviembre de 2014.

<sup>15</sup> Ibíd.



## 2. DIAGNÓSTICO SITUACIONAL

### 2.1. Mecánica de Fracturas

A continuación se darán a conocer la información más importante acerca de la Mecánica de Fracturas, información que nos ayudará a comprender la teoría, proceso de Ensayos y resultados del Factor de Intensidad de Tensiones.

#### 2.1.1. Estudio de Mecánica de Fracturas

“Se puede definir a la Fractura como la culminación del proceso de deformación plástica. En general, se manifiesta como la separación o fragmentación de un cuerpo sólido en dos o más partes bajo la acción de un dado estado de carga.

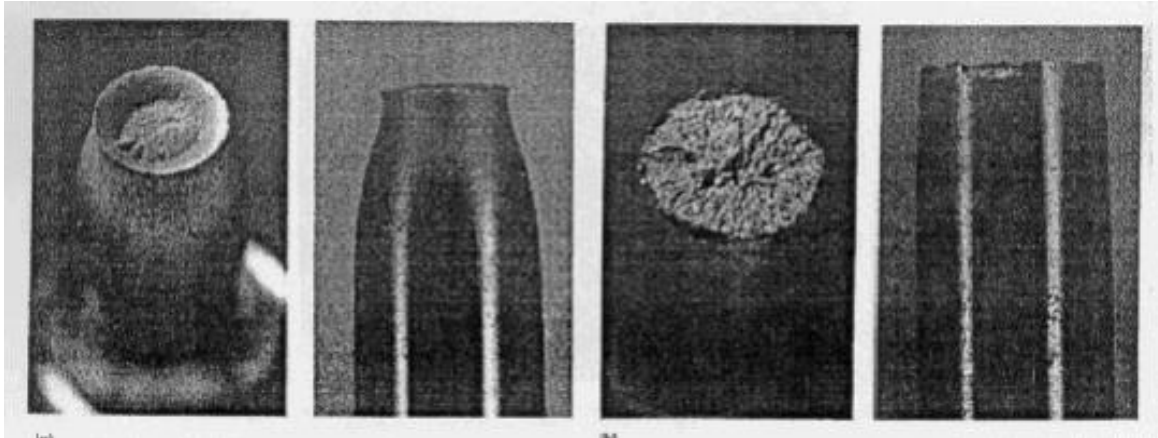
Algunos metales sometidos a un Ensayo de tracción presentarán una estricción en la zona central de la probeta para romper finalmente con valores de reducción de área que pueden llegar en algunos casos al 100 %. Este tipo de fractura se denomina dúctil.

Por el contrario, muchos sólidos presentan fracturas precedidas por cantidades muy pequeñas de deformación plástica, con una fisura propagándose rápidamente a lo largo de planos cristalográficos bien definidos que poseen baja energía superficial. Este tipo de fractura se denomina frágil<sup>16</sup>.

---

<sup>16</sup> *Mecánica de la fractura*. <http://www.ing.unlp.edu.ar/aeron/catedras/archivos/Mecanica%20de%20Fractura%202010rev01.pdf>. Consulta: 25 de noviembre de 2014.

Figura 3. **Superficie de fractura**



Fuente: *Mecánica de la Fractura*.

<http://www.ing.unlp.edu.ar/aeron/catedras/archivos/Mecanica%20de%20Fractura%202010rev01.pdf>. Consulta: 25 de noviembre de 2014.

Existe sin embargo considerable confusión respecto de la manera de diferenciar entre ambos tipos de fractura. Esto obedece fundamentalmente a que en general se tiende a considerar el proceso global de deformación que conduce al fenómeno de fractura. Ahora bien, un metal puede fallar por clivaje, que es un proceso de fractura frágil, luego de una deformación macroscópica importante. Del mismo modo, es posible tener en un metal una deformación plástica global despreciable, que finalmente falla de manera dúctil.

La confusión se reduce si en lugar de considerar el proceso global de deformación que precede a la fractura, se tiene en cuenta la deformación localizada en el material que rodea al vértice de la fisura durante la propagación de la misma. De este modo, la fractura frágil es aquella en la cual la fisura se propaga con muy poca deformación plástica en su vértice, mientras que la fractura dúctil es aquella que progresa como consecuencia de una intensa deformación plástica asociada al extremo de la fisura.

Si bien la diferenciación anterior es de gran importancia conceptual, desde el punto de vista ingenieril es también importante caracterizar el proceso de fractura según que el mismo se produzca de manera rápida o lenta. De este modo, la fractura rápida se caracteriza por la propagación inestable de una fisura en una estructura. En otras palabras, una vez que la fisura comienza a crecer, el sistema de cargas es tal que produce una propagación acelerada de aquella.

Este tipo de fractura rápida puede o no ser precedida por una extensión lenta de la fisura. La característica de este tipo de fractura lenta es una propagación

estable que requiere para su mantenimiento un incremento continuo de las cargas aplicadas.

En la práctica, todas las estructuras ingenieriles contienen fisuras, o defectos tipo fisuras a alguna escala, en la mayoría de los casos detectables por medio de Ensayos no destructivos. Muchas veces, un END revela algún defecto; como en general la estructura o pieza se ha estado comportando satisfactoriamente, se produce la discusión si el defecto deberá ser reparado o no.

El conocimiento de la mecánica de fractura mejora las condiciones de diseño donde los efectos de los defectos y las condiciones de operación son explícitamente tomados en cuenta para reducir las consecuencias de una posible fractura.

La mecánica de fractura considera el efecto de los defectos semejantes a fisuras (tanto en micro como en macro escala) sobre la integridad estructural. Se basa en la suposición de que fisuras o defectos semejantes a fisuras están inicialmente presentes, o podrían desarrollarse durante el servicio<sup>17</sup>.

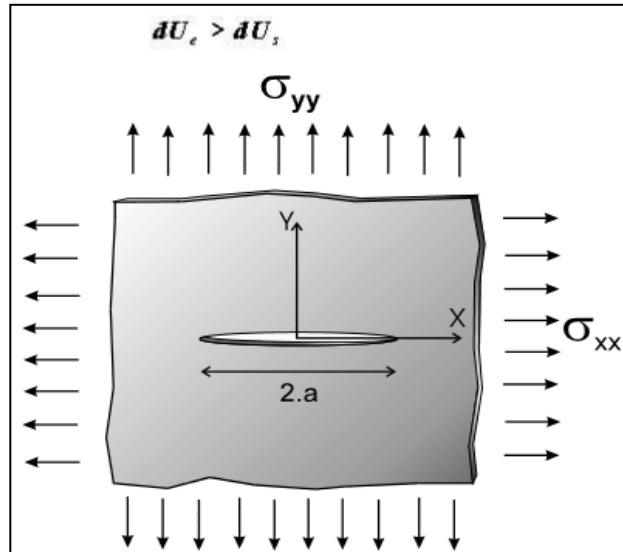
### **2.1.2. Balance energético de Griffith**

“A comienzos de la década del 20, A. A. Griffith<sup>1.01</sup> propuso un balance energético para el estudio del fenómeno de la fractura de cuerpos elásticos que poseían fisuras. Su premisa básica fue que la propagación inestable de una fisura se produce si, al crecer la misma, se libera más energía almacenada de la que es absorbida por la creación de nuevas superficies de grieta. Esta interpretación es válida si se restringe su aplicación a materiales que se comportan de una manera estrictamente elástica antes de la propagación de la fisura, y donde toda la energía absorbida está asociada con la consumida en la creación de nuevas superficies. La energía disponible para ser liberada proviene de la almacenada como energía elástica de deformación. Entonces, de acuerdo con la premisa básica de Griffith, el crecimiento de grieta será inestable si:

---

<sup>17</sup> Ibíd.

Figura 4. Fisura de Griffith



Fuente: PÉREZ IPIÑA J. E. *Mecánica de Fracturas* . p. 125.

Como caso específico Griffith trató con una grieta de longitud  $2a$  contenida en una chapa plana de dimensiones infinitas y sujeta a tensiones uniformes de tracción paralelas y perpendiculares a la fisura, actuando remotas a la misma (Figura 4). Se demuestra que, bajo las restricciones consideradas, la tensión  $\sigma_{xx}(\infty)$  no tiene influencia en la inestabilidad de la grieta. Además la energía elástica es:

$$Ue = \frac{K+1}{8\mu} + \pi a^2 t \sigma_{yy}^2(\infty)$$

Donde

- t: espesor de la chapa,
- K:  $3-4\nu$  para deformación plana,
- $\nu$ : Relación de Poison,
- $\mu$ : módulo de corte.

La variación de energía elástica por unidad de espesor, está determinada por:

$$G = \frac{1}{t} \frac{dUe}{da} = 2 \gamma_p$$

$\gamma$ : energía superficial específica o tensión superficial.

Su valor al momento de la fractura es el denominado crítico,  $G$ , y es considerado una propiedad de los materiales, siendo función de la temperatura y del estado termomecánico. Irwin propuso una interpretación alternativa del parámetro  $G$  cuando sugirió que esta cantidad podría ser considerada como una fuerza

generalizada (driving force), y que definió como la pérdida de energía irreversible por unidad de área de nueva superficie creada. Esta fuerza tendría un valor crítico,  $G$ , que sería el necesario para hacer propagar la fisura<sup>18</sup>.

### **2.1.2.1. Análisis gráfico de las energías involucradas**

“Si se representan las componentes de energía en función de la longitud de fisura, se puede hacer un interesante análisis cualitativo de los términos involucrados y cómo sus variaciones influyen en el tamaño crítico de fisura.

La energía resultante será entonces una curva que parte del origen con pendiente igual a la de la recta de energía consumida, pasa por un máximo para una longitud  $a_c$ , y luego se hace negativa. Para valores de  $a$  superiores a  $a_c$ , habrá disminución de la energía resultante para incrementos de la longitud de la fisura, lo que implicará que el proceso se dé espontáneamente. En cambio, para longitudes de fisuras menores a  $a_c$ , un crecimiento de fisura implica un aumento de energía, lo que no es posible sin un aporte externo. Por lo tanto el valor crítico de longitud de fisura,  $a_c$ , corresponde al máximo de la curva.

Se analiza ahora el efecto que tienen los factores intervinientes en los términos energéticos. Por ejemplo, para un material con mayor resistencia al crecimiento de fisura, es decir con un  $g_s$  mayor, la pendiente de la recta de energía consumida aumenta, y el máximo de la curva resultante se corre hacia la derecha, dando una longitud crítica de fisura mayor. En cambio si incrementamos la tensión remota a la fisura, la parábola decrece más rápidamente dando un máximo de la curva resultante para un  $a_c$  menor, Figura 1.2c<sup>19</sup>.

### **2.1.3. Factor de intensidad de tensiones**

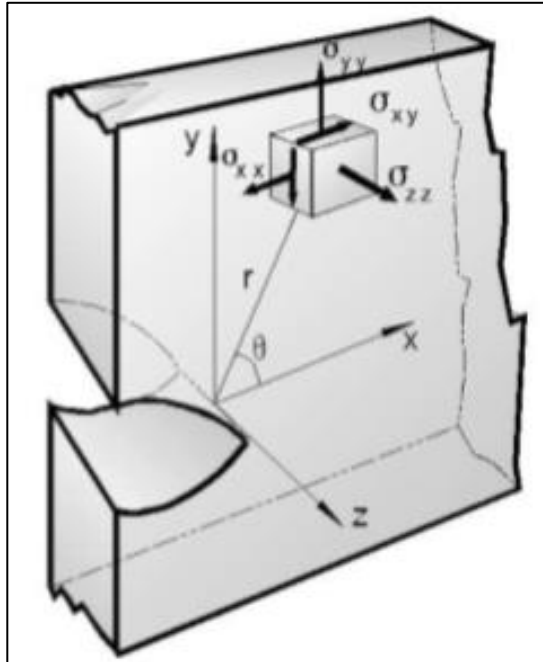
Utilizando un análisis plano de tensiones realizado por Westergaard, Irwin encontró que en la vecindad de la punta de una fisura las tensiones podrían ser expresadas de la siguiente manera:

---

<sup>18</sup> PÉREZ IPIÑA J. E. *Mecánica de Fracturas*. p. 125.

<sup>19</sup> Op. cit. 129.

Figura 5. Fisura de Irwin



Fuente: PÉREZ IPIÑA J. E. *Mecánica de Fracturas* . p. 132.

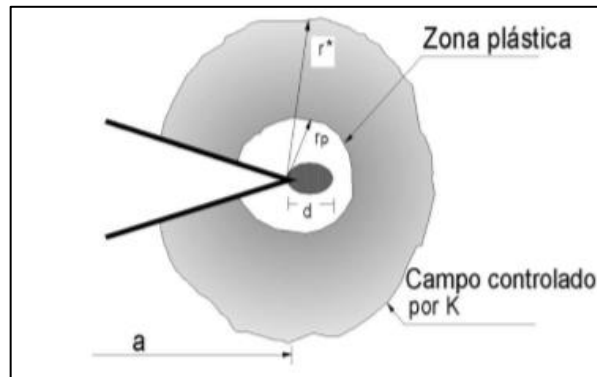
Donde  $r$ ,  $\theta$  son coordenadas polares de un punto cualquiera respecto de la punta de fisura. Las ecuaciones (1.16) transcritas son el primer término de un desarrollo en serie realizado bajo hipótesis de comportamiento lineal elástico del material. En el origen de coordenadas ( $r=0$ ), o sea la punta de la fisura, las tensiones se hacen infinitas. Esta singularidad puede llevar a dificultades conceptuales, pero hay que tener en cuenta que se producirá deformación plástica en la región de tensiones muy altas y que, debajo de cierta escala, la Mecánica del Continuo es inadecuada para describir los fenómenos que ocurren.

Entonces, en la vecindad de la punta de la fisura la atmósfera de tensiones está controlada por un único parámetro,  $K$ , denominado factor de intensidad de tensiones que solamente es función de las cargas y geometría, siempre y cuando la zona donde se desarrolló deformación plástica tenga dimensiones muy pequeñas frente a las de validez de  $K$  (figura 6). Es decir, deben prevalecer las condiciones de linealidad, considerándose a la deformación plástica sólo como una perturbación. Además, a medida que nos alejamos de la punta de la fisura,  $K$  deja de controlar el estado de tensiones ya que solamente es el primer término de un desarrollo en serie a partir de la punta de la fisura<sup>20</sup>.

<sup>20</sup> Op. cit. p.131.



Figura 6. Zonas de control de K, plástica y de proceso



Fuente: PÉREZ IPIÑA J. E. *Mecánica de Fracturas*. p. 137.

La ecuación utilizada para el estudio del Factor de Intensidad de Tensiones es la siguiente:

$$K = \frac{P}{B\sqrt{W}} * \frac{2 + \frac{a}{W}}{\left(1 - \frac{a}{W}\right)^{\frac{3}{2}}} * \left(0,866 + 4,64 \frac{a}{W} - 13,31 \frac{a^2}{W^2} + 14,72 \frac{a^3}{W^3} - 5,60 \frac{a^4}{W^4}\right)$$

Donde

P = Carga de tracción necesaria para la ruptura de la pieza

B = Ancho de la probeta

a = Profundidad de grieta

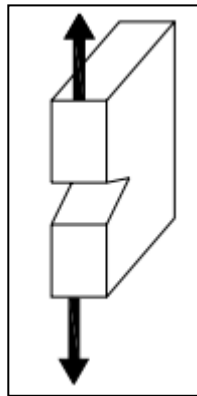
W = Espesor de la probeta

#### 2.1.4. Ensayo de Mecánica de Fracturas

El Ensayo de Mecánica de Fracturas consiste en la aplicación de fuerzas tensionales perpendiculares a la grieta, realizada en una probeta normada para

la determinación del comportamiento del material, tal como lo muestra la siguiente figura.

Figura 7. **Ensayo de mecánica de fractura**



Fuente: PÉREZ IPIÑA J. E. *Mecánica de Fracturas*. p. 141.

Para llevar a cabo este proceso, se utilizará la Máquina Universal de Ensayos, ubicada en el Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

## **2.2. Análisis del estudio actual de Mecánica de Fracturas en Guatemala**

Con el fin de realizar un diagnóstico situacional del estudio de Mecánica de Fracturas en Guatemala, se realizó una investigación para determinar si se impartía dicho contenido en algún curso de las principales universidades del país, iniciando con la Universidad de San Carlos de Guatemala.

### **2.2.1. Estudio actual de Mecánica de Fracturas en la Usac**

El pensum de estudio de la Facultad de Ingeniería de la USAC, no contiene el estudio de Mecánica de Fracturas en ninguna de sus carreras, por lo cual, se desea realizar análisis para la incursión de dicha materia en la red de estudios de la facultad.

### **2.2.2. Estudio actual de la Mecánica de Fracturas en las principales universidades privadas del país**

Habiendo verificado que en la USAC no se imparte dicha materia en su red de cursos, se procedió a investigar en las principales universidades privadas del país.

#### **2.2.2.1. Universidad Rafael Landivar**

“La Universidad Rafael Landivar cuenta con las carreras de ingeniería mecánica e ingeniería industrial, ambas relacionadas directa o indirectamente al estudio de los comportamientos de materiales; pero ninguna de las carreras de la Facultad de Ingeniería de la URL cuenta con un estudio de Mecánica de Fracturas”<sup>21</sup>.

#### **2.2.2.2. Universidad Del Valle**

“De las universidades privadas, la Universidad Del Valle es la que tiene un número mayor de carreras ligadas a la Mecánica de Fracturas; la misma cuenta con ingeniería mecánica, ingeniería mecánica industrial, ingeniería industrial e

---

<sup>21</sup> Universidad Rafael Landiver. *Pensum de carreras*. <http://www.url.edu.gt/WebPensum/Carrera/Default.aspx?id=28&sm=c7>. Consulta: 26 de noviembre de 2014.

ingeniería mecatrónica. Pero al revisar el pensum de estudios de cada una de esas carreras, se confirma que la Universidad Del Valle tampoco cuenta con un estudio de Mecánica de Fracturas”<sup>22</sup>.

#### **2.2.2.3. Universidad Galileo**

“La universidad Galileo no cuenta con ninguna carrera ligada al estudio de Mecánica de Fracturas, la más cercana es la ingeniería industrial, pero no cuenta con dicho estudio”<sup>23</sup>.

#### **2.2.2.4. Universidad Mariano Gálvez**

“Finalmente, la Universidad Mariano Gálvez ofrece las carreras de ingeniería mecánica e ingeniería industrial, pero al igual que el resto de universidades en Guatemala, aún no posee un estudio específico en la Mecánica de Fracturas”<sup>24</sup>.

### **2.2.3. Importancia de la implementación del estudio de Mecánica de Fracturas en la Facultad**

La Facultad de Ingeniería de la Usac, tiene como misión formar profesionales que sean capaces de generar soluciones que se adopten a los desafíos del desarrollo sostenible y los retos de contexto global; por lo cual, la facultad debe proporcionar al egresado todas las herramientas para que pueda desempeñarse de la mejor manera en la industria.

---

<sup>22</sup> Universidad Del Valle. *Ingeniería Mecánica*. [http://www.uvg.edu.gt/ingenieria/mecanica/doc/ING\\_Ingenieria\\_Mecanica.pdf](http://www.uvg.edu.gt/ingenieria/mecanica/doc/ING_Ingenieria_Mecanica.pdf). Consulta: 26 de noviembre de 2014.

<sup>23</sup> Universidad Galileo. *Ingeniería Industrial*. <http://www.galileo.edu/facti/carrera/iu/>. Consulta: 26 de noviembre de 2014.

<sup>24</sup> Universidad Mariano Gálvez. <http://www.umg.edu.gt/>. Consultada: 26 de noviembre de 2014.

Como ya se ha hecho ver, la Mecánica de Fracturas es de suma importancia en el área de la ingeniería, debido a la necesidad del estudio del comportamiento de los materiales al aplicárseles fuerzas de ruptura en sus fisuras o grietas.

Por lo anteriormente mencionado, es importante para la Facultad de Ingeniería la implementación del estudio de la Mecánica de Fracturas para poder dar al egresado de la facultad, más herramientas, para que pueda desempeñarse de una mejor manera en el ámbito laboral de la industria.

### **2.3. Maquinaria de ensayos existente en la Facultad de Ingeniería de la Usac**

A continuación se detalla la maquinaria existente en el CII de la Facultad de Ingeniería, para ver la posibilidad de realizar los ensayos.

#### **2.3.1. Máquina universal de Ensayo de tensión y compresión**

“La máquina consiste de dos partes esenciales: Una estructura superior y una inferior. En la estructura superior se realizan las diferentes pruebas y se encuentra el reloj para observar la carga aplicada mientras que la estructura inferior se encarga de soportar el peso de la maquina (peso muerto) y servir de alojamiento para los distintos aditamentos que se utilizan en las pruebas, las cuales se realizan gracias a la fuerza generada por un gato hidráulico de operación manual con la capacidad suficiente para desarrollar las pruebas.

- Estructura

Se compone de dos vigas (superior e inferior) y dos placas entre ellas que unidas por barras laterales proporcionan 3 espacios, uno de los cuales (el inferior) aloja el gato hidráulico y los otros dos son las zonas de compresión (intermedio) y de tensión (superior)”<sup>25</sup>.

---

<sup>25</sup> CAMPOS, O. *Descripción de una máquina universal para pruebas de resistencia de materiales*. <https://materialesingenieria.wordpress.com/maquina-universal-para-pruebas-de-resistencia-de-materiales/>. Consulta: 26 de noviembre de 2014.

### 2.3.1.1. Especificaciones técnicas

A continuación, se mostrará la tabla de especificaciones técnicas de la máquina que se utilizará para el Ensayo de Mecánica de Fracturas, la Baldwin Lima-Hamilton.

Tabla I. Especificaciones técnicas

Baldwin Lima-Hamilton	
Característica	DESCRIPCIÓN
Modelo	MAI8 No. 811
Sistema	Análogo
Funcionamiento	Hidráulico, eléctrico y neumático
Diámetro máximo	Depende de platos de compresión adquiridos.
Capacidad máxima	50 000 kgf

Fuente: elaboración propia.

### 2.3.2. Características de la máquina universal de ensayo

Las máquinas Baldwin Lima-Hamilton existen en capacidades que van desde los 30 000 kgf, hasta las 50 000 kgf, sin embargo, estas pueden ser fabricadas en capacidades aún mayores, bajo pedido previo.

Estas máquinas son fabricadas con un marco de carga robusto, compuesto de cuatro columnas que proveen una muy buena rigidez y estabilidad. Para su operación, todas las capacidades Baldwin son fabricadas con el control 496, el cual provee una operación de la aplicación de carga de la máquina, ya sea manual o automática. Cada una de estas máquinas posee la versatilidad de funcionar para Ensayos de tensión, compresión, flexión y otros Ensayos en materiales y ensamblajes.

### 2.3.3. Utilidades de la máquina universal de ensayos

La máquina universal de ensayos Baldwin Lima-Hamilton del Centro de Investigaciones de Ingeniería cumple con funciones básicas de medición de fuerzas, más que todo en el área de la ingeniería civil; la misma tiene como propósito la medición en tres tipos de Ensayos, los cuales son el Ensayo de tensión, compresión y flexión.

Figura 8. Máquina universal del ensayos Baldwin



Fuente: Centro de Investigación de Ingeniería, Usac.





### **3. PROPUESTA PARA EL ANÁLISIS DE ENSAYOS**

#### **3.1. Manufactura de las probetas con maquinaria de la Facultad de Ingeniería de la Usac**

Como se mencionó en los antecedentes, la Escuela de Ingeniería Mecánica no cuenta actualmente con un estudio de Mecánica de Fracturas, en parte gracias a no contar con la maquinaria específica para sus Ensayos. En esta parte del trabajo de graduación se realizarán las investigaciones necesarias para la elaboración de un proceso de Ensayo y el diseño de una probeta que pueda ser estudiada con la máquina universal de Ensayos del Centro de Investigaciones de Ingeniería, Usac; y se realizarán comparaciones con los datos esperados en función de los cálculos matemáticos del Modelo I, del estudio del Balance Energético de Griffith, de Mecánica de Fracturas.

Para el análisis del redimensionamiento de las probetas, se acoplarán las normalizaciones ASTM E1820 y ASTM E399, a unas medidas propicias con las que puedan realizarse los Ensayos en la Máquina Universal de Ensayos del CII, con lo cual se realizarán comparaciones con las “probetas para tensión de barras de acero” que son las más utilizadas en dicha máquina, y se ajustarán las medidas de las normalizaciones anteriormente mencionadas.

Una vez obtenidas las medidas que se utilizarán en las probetas para los Ensayos de Mecánica de Fracturas, se procederá al cálculo de gramaje necesario de cada uno de los materiales a utilizar en las probetas, en función de las densidades volumétricas de cada uno de los materiales, las medidas de probetas y los porcentajes de material contenidos en cada una de ellas.

La manufactura de las probetas tendrá los procedimientos básicos con los que puede trabajar actualmente la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Usac, como lo son, la fundición de piezas a través de los procesos básicos con los que se cuentan dicha escuela, y el maquinado de las piezas a través del torno ubicado en el laboratorio de Procesos de Manufactura. En el caso de la fundición, se realizará en el Taller de Fundición J. A. Ramírez, ubicado en la 2da calle b 7-14 colonia La Brigada de la zona 7 de Mixco, debido a remodelaciones en el laboratorio de metalurgia y metalografía. De cualquier forma, se utilizan los mismos procesos en ambos lugares y es la misma persona a cargo, el ingeniero Hugo Leonel Ramírez Ortiz.

### **3.1.1. Fundición del hierro**

Según el Manual de Fundiciones del Departamento de Ingeniería Mecánica de F.I.U.B.A., las fundiciones de hierro son aleaciones de hierro carbono del 2 % al 5 %, éstas se caracterizan porque se pueden vaciar del horno cubilote para obtener piezas de muy diferente tamaño y complejidad, pero no pueden ser sometidas a deformación plástica, no son dúctiles ni maleables y poco soldables pero sí maquinables, relativamente duras y resistentes a la corrosión y al desgaste.

Sus usos más importantes son:

- Fabricación de piezas de diversos tamaños y complejidades
- Pueden absorber vibraciones mecánicas
- Son más maquinables que los aceros
- Tienen buena resistencia al choque térmico, corrosión y al desgaste

Entre sus propiedades, se encuentra la fragilidad, pues tiene una dureza baja de unos 80 a 100 HB; su aspecto exterior es de color gris oscuro, su fractura también es gris oscuro, pero un poco más clara que el color exterior. La fundición gris posee una carga de rotura a la tracción que, en puntos cercanos de 30-45 Km/mm<sup>2</sup>, la resistencia a la compresión es mayor, aproximadamente tres veces la de tracción; generalmente por ello, este material es más utilizado en elementos que son sometidos a compresión; estas cargas de rotura, tendrán mucha importancia a la hora de realizar los Ensayos de Mecánica de Fracturas.

- Fundición gris

En esta fundición, la mayor parte del contenido de carbono en el hierro gris, se ve en forma de láminas de grafito o escamas. El hierro gris es fácil de maquinar, posee una buena fluidez en el proceso de colado, tiene capacidad alta de templado, pero tiene baja resistencia a la tracción y es quebradizo. Este hierro gris, es utilizado frecuentemente en aplicaciones como bases, chasises o pedestales, para máquinas y herramientas.

Tabla II. **Fundición gris**

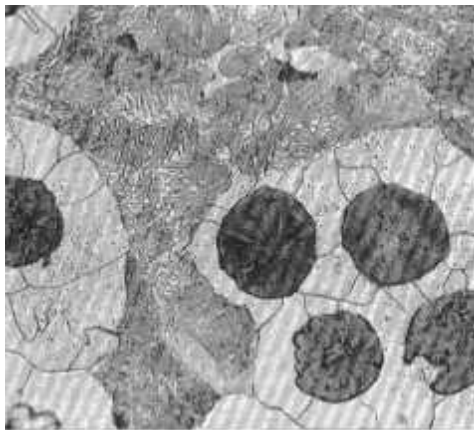
Clase	Resistencia a la tracción (psi)	Dureza Brinell	Estructura
20	24 000	130-180	Ferrita y perlita
30	34 000	170-210	Ferrita, perlita y grafito
40	44 000	210-260	Perlita y grafito
50	54 000	240-280	Perlita y grafito
60	64 000	260-300	Bainita y grafito

Fuente: CASTRO, Guillermo. *Manual de Fundiciones*. Departamento de Ingeniería F.I.U.B.A.  
p. 5.

- Fundición nodular

Esta fundición, dúctil o esferoidal se produce en hornos cubilotes, con la fusión de arrabio y chatarra mezclados con coque y piedra caliza; ésta será el tipo de fundición que se utilizará en el presente trabajo de graduación. En este tipo de fundición, la mayor parte del contenido de carbono tiene forma de esferoides. Este tipo de fundición es caracterizado porque en el grafito aparece una forma de esferas muy pequeñas, esto ayuda, en cierto modo, en la resistencia a la tracción y tenacidad; ambas son mayores que en la fundición gris ordinaria. El contenido total de carbono que existe en la fundición nodular es igual al de la fundición gris.

Figura 9. **Microestructura de la fundición nodular ferrítico perlita**



Fuente: CASTRO, Guillermo. *Manual de Fundiciones*. Departamento de Ingeniería F.I.U.B.A.  
p. 7.

Las fundiciones nodulares perlíticas presentan una mayor resistencia, pero menor ductilidad y maquinabilidad que las fundiciones nodulares ferríticas.

Tabla III. **Clasificación de la fundición nodular y sus características mecánicas**

Clase	Resistencia (psi 1000)	Límite de fluencia	Dureza Brinell	Alargamiento (%)
60-40-18	42000	28000	149-187	18
65-45-12	45000	32000	170-207	22
80-55-06	56000	38000	187-255	6
100-70-03	70000	47000	217-267	3
120-70-02	84000	63000	240-300	2

Fuente: CASTRO, Guillermo. *Manual de Fundiciones*. Departamento de Ingeniería F.I.U.B.A. p. 7.

Clasificación de la fundición nodular teniendo en cuenta sus características mecánicas de acuerdo con la norma ASTM A-536.

Se calienta primero el metal a una temperatura lo suficientemente alta para transformarlo completamente al estado líquido, después se vierte directamente en la cavidad del molde. En un molde abierto el metal líquido se vacía simplemente hasta llenar la cavidad abierta. En un molde cerrado existe una vía de paso llamada sistema de vaciado que permite el flujo del metal fundido desde afuera del molde hasta la cavidad, este es el más importante en operaciones de fundición.

Cuando el material fundido en el molde empieza a enfriarse hasta la temperatura suficiente para el punto de congelación de un metal puro, empieza la solidificación que involucra un cambio de fase del metal. Se requiere tiempo para completar este cambio de fase porque es necesario disipar una considerable cantidad de calor. El metal adopta la forma de cavidad del molde y se establecen muchas de las propiedades y características de la fundición. Al enfriarse la fundición se remueve del molde; para ello pueden necesitarse

procesamientos posteriores, dependiendo del método de fundición y del metal que se usa. Entre ellos tenemos:

- El desbaste del metal excedente de la fundición.
  - La limpieza de la superficie.
  - Tratamiento térmico para mejorar sus propiedades.
  - Pueden requerir maquinado para lograr tolerancias estrechas en ciertas partes de la pieza y para remover la superficie fundida y la microestructura metalúrgica asociada.
- Ventajas:
    - Amplia variedad de tamaños.
    - Geometrías de complejidad media.
    - Válido para cualquier aleación media.
    - Piezas sin tensiones residuales.
    - Económico: inversión en equipos reducida para series cortas o prototipos.
    - Rápido y flexible para series cortas o prototipos.
  - Desventajas:
    - Tolerancias dimensionales amplias
    - Aspecto y calidad superficial pobre
    - Piezas con resistencia mecánica reducida
    - Mano de obra cualificada y especializada
    - Cadencias de producción bajas
    - Almacenaje de moldes limitado

### 3.1.1.1. Horno cubilote

- Descripción

Está compuesto por un cilindro metálico vertical, recubierto por refractarios. El fondo se cierra con una tapa sobre la que se apisona una capa de tierra inclinada hacia el orificio de salida, sangrado o piquera.

Encima de la zona donde se acumula el metal, llamada crisol, se encuentra una cámara de aire o viento, donde converge el aire soplado por un ventilador, que iguala su presión y lo conduce al interior del horno a través de las toberas.

En la parte superior, tiene una abertura lateral por donde se carga el horno. Más arriba, se encuentra la chimenea que conduce los gases. Termina con un supresor de chispas y separador de polvillo que acarrearán estos gases. Ver detalle en figuras 1, 2, 3 y 4.

- Funcionamiento

Se inicia la marcha colocando por la boca de carga coque para formar la cama, que va desde el piso hasta algo encima de las toberas. Antes de iniciar la colada, debe ser perfectamente encendida y llevada a la altura correcta. Posteriormente, se introducen alternativamente cargas metálicas y no metálicas (coque y caliza) en un número de 4-5 pares hasta alcanzar el nivel de la boca de carga.

Al insuflar aire por las toberas hace subir la temperatura por la combustión del coque, provocando la fusión del metal. Este cae en gotas a través del

coque, que lo carbura y calienta aún más, llegando al piso del horno. El coque consumido por la combustión y carburación, es sustituido por el cargado entre cada carga metálica, manteniendo la altura ideal de la cama. La arena arrastrada por los materiales de carga, el refractario que se funde y oxidación del metal, producen una escoria ácida y viscosa. Para neutralizarla y hacerla más fluida, se agrega caliza junto con el coque. En la medida que va fundiendo el metal, baja la carga y se va restituyendo con nuevas cargas metálicas y de coque. La conducción del horno cubilote, exige una experiencia muy grande, y se debe controlar constantemente su marcha. Esta debe ser continua; si se para, al reiniciar sucede descontrol de composición química y caída de temperatura, proporcional al tiempo de parada.

- Ventajas
  - Muy baja inversión si no es imprescindible el equipo depurador de gases, exigido en las zonas urbanas.
  - Alta eficiencia térmica, por trabajar a contracorriente la carga y los gases que la atraviesan. Si de algún modo económico se precalientan el aire con el calor latente de los gases, se mejora dicha eficiencia.
  - Elevada producción horaria; un horno de 600 mm. de diámetro interno, produce 2-2,5 ton/hora. Uno de 1200, 11-12 ton/hora.
  - Particularmente en Argentina con coque de residual de petróleo, se obtiene excelente calidad y costo relativamente bajo.
  - El costo operativo es relativo a los valores del coque y al de la energía eléctrica. Siempre fue favorable al coque; pero en los

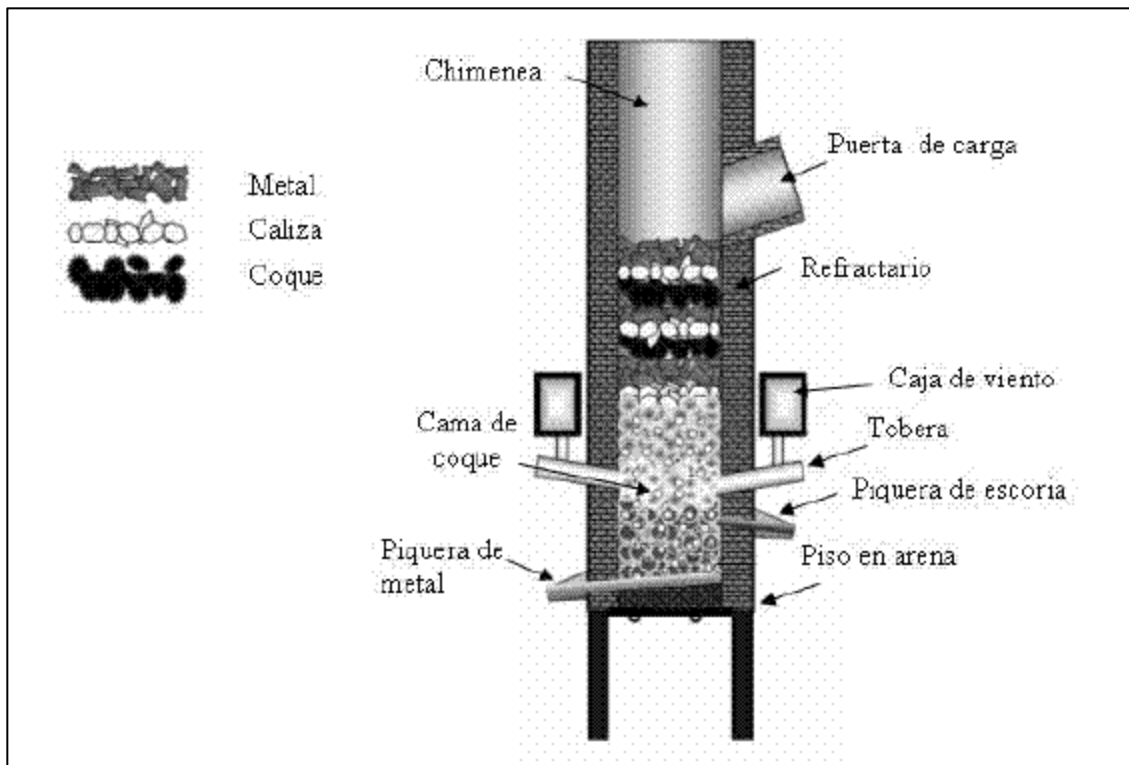


años 2002-2004 se invirtió la relación, y llevó a una fuerte tendencia a instalar la inducción.

- Con materiales seleccionados y una correcta marcha, se obtiene muy buena calidad de fundición gris y nodular comunes y levemente aleadas. Estos representan en volumen, el 80 % de los metales obtenidos por moldeo.
- Desventajas
  - La contaminación atmosférica es la principal, por la producción de humos y gases tóxicos. En zonas urbanas se hace imposible pensar en su utilización, y como dijimos los depuradores son prohibitivos económicamente.
  - Exige una complicada y correcta programación de los moldes, para evitar por todos los medios interrumpir la marcha del horno. Toda parada, provoca desequilibrios en la composición química y caída de la temperatura difíciles de corregir.
  - No permite corregir sensiblemente la composición química, ni elevar la temperatura. Al agregar aleantes, esta cae aún más. Si del horno sale material defectuoso para lo programado, queda como única alternativa disponer de moldes con otras características donde se pueda colar de inmediato.
  - Cuando se pone en marcha el horno, produce continuamente y sin interrupción un volumen grande de metal por varias horas; simultáneamente, deben producirse varias tareas como colado de las piezas, producción de nuevos moldes, cambiar los

contrapesos en ellos para contrarrestar la presión ferrostática, cargar de material al horno, desmolde de lo ya colado, y otras tareas y movimientos paralelos. Cuando no se produce gran volumen todos los días, demandan mucho personal simultáneamente, y se debe recurrir a personal de otros sectores como rebaba, que deben interrumpir sus actividades. Con horno inducción, el metal sale en forma intermitente, y permite desarrollar las tareas con el personal específico a cada tarea sin interrumpir otras.

Figura 10. Horno de fusión



Fuente: Hornos de fusión. *Materiales ferrosos y sus aplicaciones*.

<https://ferrosos.files.wordpress.com/2010/10/hornos.pdf>. Consulta: 29 de noviembre de 2014.

### **3.1.2. Aleaciones**

Una aleación es una mezcla de un metal principal con algún otro elemento que mejora sus propiedades físicas y mecánicas, dependiendo de la composición de las aleaciones se logra conseguir un rango de distintas propiedades en función de las aplicaciones que se necesiten.

Las aleaciones más utilizadas en la industria, son las aleaciones férreas, debido a que poseen una gran variedad de propiedades y con ello de aplicaciones; asimismo son fáciles de producir y representan un bajo costo de fabricación. Los problemas o puntos negativos de estas aleaciones, son que poseen una densidad alta, son propensos a la corrosión y tienen una baja conductividad eléctrica.

### **3.1.3. Torneado de piezas**

Para la manufactura de las probetas que serán utilizadas en los Ensayos del presente trabajo de graduación, se realizará un proceso de torneado de piezas mediante un torno paralelo que está ubicado en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Usac, a continuación se dará una breve descripción del proceso que se utilizará y del torno que nos permitirá el maquinado de las planchas obtenidas de la fundición y aleación del hierro colado con aleaciones de cobre, zinc y estaño.

El torneado de piezas es el proceso mediante el cual se pueden mecanizar piezas en forma geométrica, a través de herramientas sistematizadas para este fin. Dichos dispositivos se encargan de girar la pieza mientras otras herramientas de corte son empujadas contra su superficie, lo que permite cortar la pieza según las condiciones requeridas.

Existen muchos tipos o variantes de tornos en la industria, por ejemplo el torno vertical, el torno copiador, el torno revolver, el torno CNC, entre otros. Pero en este caso estudiaremos el torno paralelo debido que es en el que se realizarán las probetas para los Ensayos; la mayoría de tornos se rigen bajo el mismo principio, una herramienta de corte se desplaza sobre rieles paralelos al eje de giro de la pieza, mientras que, sobre estos rieles, hay otro carro que se mueve en dirección radial a la pieza torneada.

### **3.1.3.1. Torno de la Facultad de Ingeniería de la Usac**

La Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Usac posee el Laboratorio de Procesos de Manufactura, esto para complementar los laboratorios ya existentes en dicha escuela con la finalidad de que el estudiante conozca el funcionamiento de las máquinas, herramientas y los principios de corte y maquinado de metales.

El torno utilizado en el Laboratorio de Procesos de Manufactura de la Escuela de Ingeniería Mecánica, es un torno paralelo; este tipo es el más fácil de utilizar, ya que sus herramientas se preparan en un tiempo muy breve y de manera simple, teniendo siempre el estudiante, el control del mismo. Este torno es utilizado principalmente para el refrenado, torneado cilíndrico, torneado cónico, troceado, corte de filetes de rosca, corte de formas y cortes de metales.

El torno Paralelo es una máquina de labrado de metales que funciona en el plano horizontal (X,Y), debido a que únicamente tiene movimiento en esos ejes, esto debido a un carro longitudinal que se desplaza en forma perpendicular al eje simétrico de la pieza, en la cual realiza una operación de refrentado. También es posible mecanizar conos con este tipo de tornos, esto

debido a un tercer carro que tiene montado sobre el carro transversal, este funciona inclinado a los grados necesarios según el trabajo.

#### **3.1.4. Análisis de microscopía**

Dentro del mundo de la ingeniería mecánica, solo existe una manera exacta de corroborar la exactitud de los Ensayos que se realizan, y este es la medición. Para saber que obtendremos resultados cercanos o iguales a los que deseamos, es necesario cerciorar que estamos utilizando las probetas que se adecúan a las necesitadas en los Ensayos de mecánica de fractura.

Debemos iniciar con explicaciones básicas, primero, se analizarán cuatro materiales distintos, esto debido a que se realizarán Ensayos con hierro colado, y con aleaciones de cobre, zinc y estaño. Ahora bien, ¿por qué se han realizado aleaciones con el hierro colado?, las cargas generan un momento, lo cual deriva en una ruptura del material al ser vencido; el hierro colado por sí solo es un material frágil. Al ser mezclado con cobre, zinc y estaño, se busca aumentar su ductilidad y tenacidad, para disminuir su fragilidad.

Lo deseado en el análisis de microscopía es ver que el proceso de fundición fue realizado correctamente, y diferenciar las distintas de una manera física a gran escala, por medio de las imágenes de alta calidad arrojadas por el microscopio de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería. Este análisis de microscopía será realizado con unos aumentos de entre 20x y 100x, dependiendo cuál nos dé un mejor resultado.

### **3.2. Análisis del acoplamiento de los Ensayos de Mecánica de Fracturas**

Básicamente, se utilizarán dos criterios en el análisis del diseño de probetas que se acoplen a la Máquina Universal de Ensayos, para poder realizar el estudio de Mecánica de Fracturas. El primer criterio será el matemático en función de las probetas que ya se trabajan en la máquina anteriormente mencionada, estos estudios serán para calcular materiales, como dimensiones de la probeta y de las planchas de las cuales serán maquinadas.

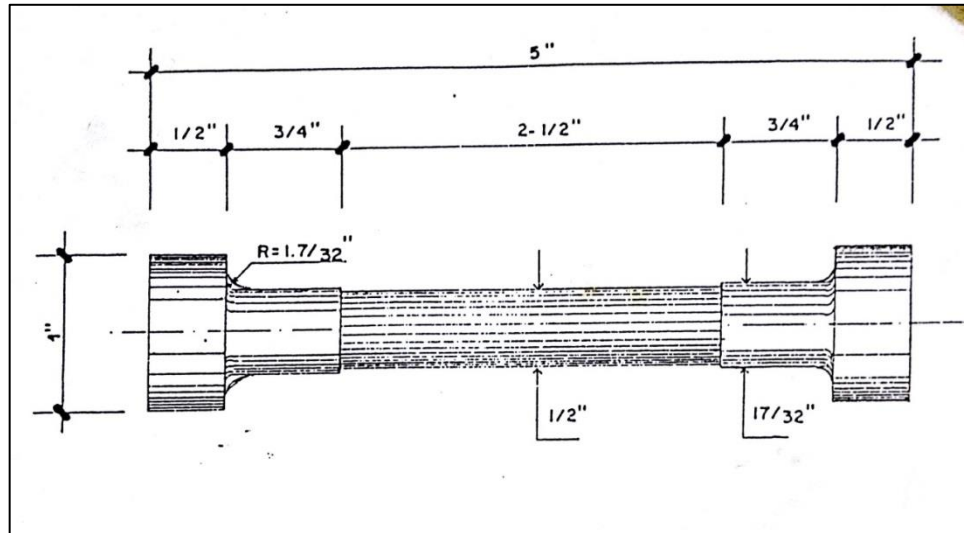
Posteriormente, al inicio de los Ensayos y en función a los resultados preliminares obtenidos, se harán ajustes en las probetas que nos arrojarán resultados más idóneos para encontrar las dimensiones de probetas más propicias para utilizar en los Ensayos de Mecánica de Fracturas en el Centro de Investigaciones de Ingeniería.

#### **3.2.1. Análisis de rediseño de probetas normalizadas**

Las medidas de las probetas para los Ensayos de Mecánica de Fracturas, se obtendrán en base a las medidas de las probetas que pueden ser estudiadas en la maquina universal de Ensayos del Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Usac, acopladas a las probetas de las normalizaciones ASTM E1820 y ASTM E399. Estas medidas son de 5" x 1" x 1", debido a que las medidas que poseen las probetas para tensión en barras de acero son de 5" de alto por 1" de diámetro.

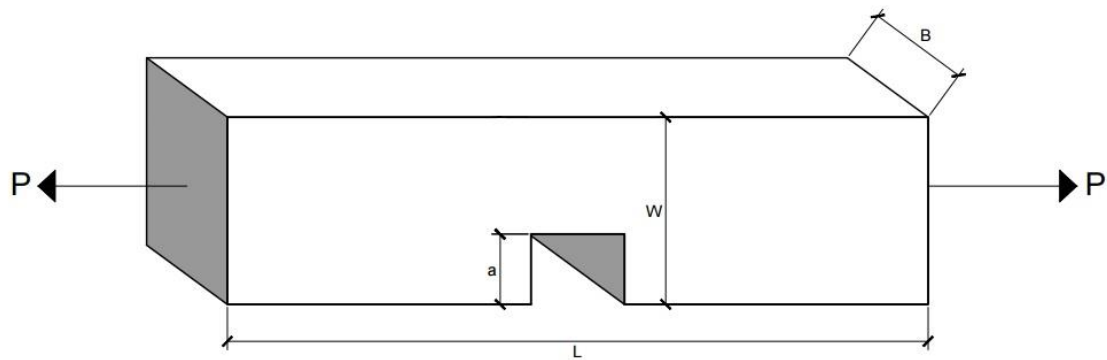
Las medidas de la probeta para tensión en barras de acero fueron proporcionadas por la secretaría de la oficina del CII. A continuación, se da a conocer el diseño de dicha probeta.

Figura 11. **Probeta para tensión de barras de acero**



Fuente: CASTRO, Guillermo. *Manual de Fundiciones*. Departamento de Ingeniería F.I.U.B.A. p. 15.

Figura 12. **Probeta propuesta para el Ensayo de Mecánica de Fracturas**



Partes	Medida en pulgadas	Medida en centímetros
L	5	12,7
B	1	2,54
W	1	2,54
a	0.24	0,6

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2010.

Para los Ensayos de Mecánica de Fracturas, se utilizarán ocho probetas, las cuales estarán distribuidas de la siguiente forma:

- 2 probetas de hierro colado
- 2 probetas de hierro colado con aleación de cobre
- 2 probetas de hierro colado con aleación de zinc
- 2 probetas de hierro colado con aleación de estaño

Para lo cual, se realizará la fundición de cuatro planchas metálicas, de donde posteriormente se dividirán a la mitad para obtener la cantidad de probetas exactas. En seguida se mostrarán los cálculos para la compra exacta de material para la fundición de dichas planchas metálicas.

Volumen de una probeta

$$5" * 1" * 1" = 5 \text{ pulgadas}^2$$

Volumen de cada plancha

$$5" * 1" * 2" = 10 \text{ pulgadas}^3$$

Adición del 20 % de incerteza

$$10 \text{ plg}^3 + 20\% = 12 \text{ pulgadas}^3$$

Conversión de las 12 pulgadas cúbicas a metros cuadrados, y separación del 5 % y 95 %, que será la relación que tendrán las aleaciones.

$$12 \text{ plg}^3 = 0,0001966\text{m}^3$$

$$5 \% \text{ de } 0,0001966\text{m}^3 = 0,000009832\text{m}^3$$



$$95 \% \text{ de } 0,0001966\text{m}^3 = 0,0001868\text{m}^3$$

Tabla IV. **Densidades de los materiales a utilizar**

<b>MATERIAL</b>	<b>DENSIDAD</b>
Hierro colado	$7870 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$
Cobre	$8940 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$
Zinc	$7140 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$
Estaño	$7310 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$

Fuente: CASTRO, Guillermo. *Manual de Fundiciones*. Departamento de Ingeniería F.I.U.B.A.  
p. 16.

Cantidades de material a utilizar

Plancha de hierro colado:

$$7870 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,0001966\text{m}^3 = 1,5473\text{kg de hierro colado}$$

Plancha de hierro colado con aleación de cobre:

$$7870 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,0001868\text{m}^3 = 1,47012\text{kg de hierro colado}$$

$$8940 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,000009832\text{m}^3 = 0,08789\text{kg de cobre}$$

Plancha de hierro colado con aleación de zinc:

$$7870 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,0001868\text{m}^3 = 1,47012\text{kg de hierro colado}$$

$$7140 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,000009832\text{m}^3 = 0,07020\text{kg de zinc}$$

Plancha de hierro colado con aleación de estaño:

$$7870 \frac{Kg}{m^3} * 0,0001868m^3 = 1,47012kg \text{ de hierro colado}$$

$$7310 \frac{Kg}{m^3} * 0,000009832m^3 = 0,07187kg \text{ de estaño}$$

Tabla V. **Total de gramos de materiales a comprar**

<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>
Hierro colado	5957,66 gramos
Cobre	87,89 gramos
Zinc	70,20 gramos
Estaño	71,87 gramos

Fuente: CASTRO, Guillermo. *Manual de Fundiciones*. Departamento de Ingeniería F.I.U.B.A.  
p. 18.

### **3.2.1.1. Variable en el análisis de cálculos**

Con amplia seguridad, el resultado de los cálculos obtenidos, tanto para la compra de materiales, como para dimensiones de las probetas, tendrán un resultado un tanto inexacto, debido a que existen muchos factores que por la falta de experiencia en este tipo de Ensayos, utilizando la maquinaria del Centro de Investigaciones, no serán tomados en cuenta.

Estas inexactitudes quedarán plasmadas al momento de realizar los Ensayos, los porcentajes de concentración de materiales en las probetas deberán generarnos resultados distintos y acordes a los cálculos del balance energético de Griffith, las variaciones nos dirán los puntos de mejora; asimismo, las inexactitudes físicas probables que presenten las probetas en función del agarre de las mordazas de la Máquina Universal de Ensayos, nos determinarán variaciones en las medidas físicas de las probetas; las medidas más exactas

obtenidas al final del presente trabajo, quedarán plasmadas en el mismo para su utilización.

### **3.2.2. Proceso del Ensayo de Mecánica de Fracturas**

El proceso del Ensayo de Mecánica de Fracturas lo podríamos dividir en dos partes, en primer lugar tenemos la modificación de las probetas que se han de conseguir según lo determinado en los cálculos anteriormente mencionados, ya que es necesario realizar una fisura ancha que nos determinará en cualquiera de sus esquinas internas, los puntos de fisura real donde iniciará el área de fractura que derivará en la ruptura en dos de la probeta. Para las medidas internas de esta fisura, se hará en base a las posibilidades del torno a utilizarse, el cual será uno de los tornos del Laboratorio de Procesos de Manufactura 1, de la Escuela de Mecánica de la USAC.

Una vez teniendo elaboradas las probetas para el estudio de Mecánica de Fracturas, los Ensayos son bastante sencillos, son similares a los Ensayos de tensión mecánica para barras de acero. Con lo cual, los pasos son los siguientes:

- Se procede a preparar la máquina universal de Ensayos, ajustándola a los valores y escala requeridos.
- Se acercan los dispositivos de sujeción y agarre mediante el control de desplazamiento de altura.
- Una vez tienen una cercanía un poco mayor al de la altura de la probeta, se colocan las mordazas que sujetarán la probeta y se procede a apretar fuertemente los dispositivos de sujeción y agarre.
- Se someterá la probeta a un esfuerzo axial de tracción creciente hasta que se produzca la rotura de la misma.

### **3.2.3. Limitantes en el Ensayo de Mecánica de Fracturas**

Existen diversos factores que pueden ser limitantes en el estudio de Mecánica de Fracturas, las primeras limitantes podrían ser las económicas; un correcto estudio de Mecánica de Fracturas implica el análisis de Ensayos en probetas de distintos materiales aleados al hierro colado, buscando con ello la aplicación más real en la industria, esto debido a que el hierro colado es el material más usado en la industria, y se busca con sus aleaciones darle propiedades físicas y mecánicas que mejoren su uso en diversas aplicaciones.

El problema en materia económica, es que en Guatemala es muy complicado conseguir metales con una pureza mayor al 95 %, y para mejores resultados en Ensayos esta condición es necesaria, por lo cual sería inconveniente en el tema de rentabilidad la importación de materiales para su estudio; para el caso de este trabajo de graduación sí se realizaron las respectivas importaciones, pero para el caso de un estudio de materia de pensum, sería más accesible la utilización de materiales adquiridos en Guatemala, que se acerquen lo más posible a un valor aceptable de pureza.

Otra limitante es el hecho que la maquinaria no es al cien por ciento la adecuada para los Ensayos de Mecánica de Fracturas, con lo cual habrá que realizar modificaciones a las probetas, una vez iniciados los procesos del trabajo, y es posible que algunas no se consigan ensayar a plenitud.

## **4. IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA**

### **4.1. Manufactura de las probetas**

Una vez conocidas las medidas necesarias para la fabricación de las probetas a ensayar, se procedió a la importación de dos de los materiales necesarios; esto, debido a que en Guatemala no se lograron conseguir los materiales con un mínimo de 97 % de pureza, lo cual era necesario para el correcto estudio de los Ensayos de Mecánica de Fracturas, estos materiales importados fueron el estaño y el zinc.

En el caso del estaño, fue importado de Waalre, Países Bajos. El zinc fue adquirido en North Hollywood, California, Estados Unidos; el precio total de la compra fue de \$31,58. En el caso del cobre fue adquirido en los enlaces donde se realizó la compra de ambos materiales.

A continuación, se muestran fotografías de los materiales adquiridos en el extranjero:

Figura 13. **Perlas de estaño puro. Cantidad: 80 gramos**



Fuente: elaboración propia.

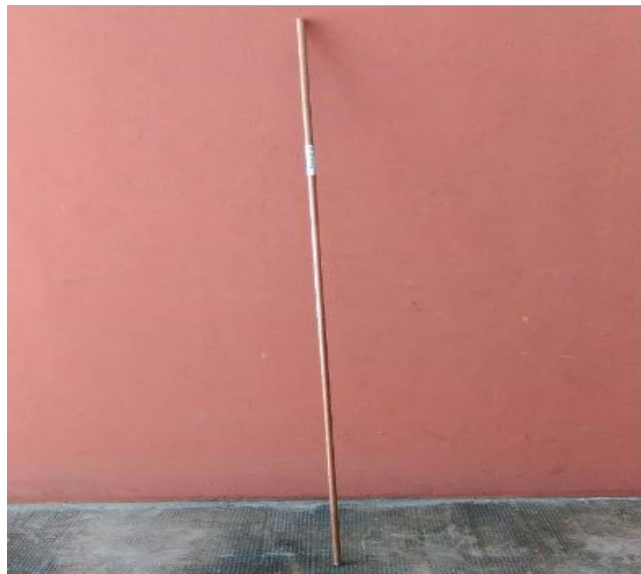
Figura 14. **Ánodo de zinc puro**



Fuente: elaboración propia.

El cobre y el hierro colado se adquirieron en Tecniaceros Guatemala, a un precio total de Q 171,25; en el caso de la varilla de cobre, poseía un 97% de pureza, y la barra redonda de hierro colado V2 un 98 %. A continuación, se muestra una fotografía del material.

Figura 15. **Cobre y hierro colados**



Fuente: elaboración propia.

Una vez obtenidos todos los materiales, se procedió a la búsqueda de una fundidora que pudiera realizar las fundiciones que necesitaba, luego de analizar la mejor opción, se optó por el Taller de Fundición J. A. Ramírez, ubicada en la zona 7 de la Ciudad de Guatemala.

#### **4.1.1. Fundición de hierro**

Como apertura del proceso de la fundición y aleación de los materiales para la fabricación de las planchas metálicas de donde se obtuvieron las

probetas, primero se procedió a fundir el hierro colado; estas fundiciones son aleaciones hierro-carbono, donde el contenido de carbono varía entre 2,14 % y 6,67 %. Las mismas se realizaron en el horno cubilote del Taller de Fundición J. A. Ramírez, este horno es un horno tipo cuba vertical de sección cilíndrica.

#### **4.1.1.1. Proceso**

El proceso de fundición del hierro colado para la fabricación de las planchas metálicas aleadas, se realizó de la misma manera en que se trabajan las demás funciones de distintos pedidos que posee dicho taller, por lo cual, el hierro colado obtenido en dicha fundición fue mucho más necesario para el presente trabajo de graduación, ya que el resto fue utilizado para la venta a otros clientes de la fundidora; con ello, la cantidad de hierro colado adquirido de inicio, fue prácticamente despreciable.

A continuación, se detallará paso a paso el proceso realizado para la fundición del hierro.

- En este caso, se omite el proceso de encendido y calentamiento del horno debido a que ya estaba encendido y puesto en marcha cuando se inició el proceso de fundición del hierro para el presente estudio, lo que cabe mencionar, que se mantenía esa combustión, gracias a la inyección de aire a presión, por toberas que se encuentran en la parte superior del crisol, utilizando para ello un soplador industrial.
- La carga del hierro que habrá de fundirse se realiza por una puerta que se encuentra en la parte superior, aproximadamente a tres cuartos de la altura total del horno cubilote, los gases de combustión que suben sirven para precalentar la carga.



- En el crisol existen dos aberturas, una superior que sirve para la extracción de escoria, y una inferior que se utiliza para la salida del metal fundido que ha de utilizarse para la aleación de los materiales. Este horno cubilote, tenía en la parte inferior una compuerta con bisagras para la fácil extracción del hierro fundido.

Figura 16. **Hierro fundido del horno Cubilote**



Fuente: Taller de fundición J.A. Ramírez.

#### **4.1.2. Aleaciones de hierro colado con cobre, zinc y estaño**

La razón por la cual se agrega cobre, estaño y zinc, por separado, al hierro colado para la fabricación de las probetas, es para la mejora de las propiedades físicas y mecánicas del hierro colado, lo cual se verá reflejado en los resultados de los Ensayos de Mecánica de Fracturas que se realizarán.

Los estudios serán realizados a dos probetas de hierro colado, y a dos probetas de aleación de hierro colado, aleados con cada uno de los materiales anteriormente mencionados; en total serán ocho probetas, para lo cual, se fundirán planchas de 5" x 2" x 1", y a partir de ahí se obtendrán las probetas con diámetro de 1" y altura de 5".

#### **4.1.2.1. Proceso**

A continuación serán explicados todos los procedimientos para la realización de las probetas de las planchas de hierro colado y con aleaciones de cobre, zinc y estaño, de donde se obtendrán las probetas para la realización de los Ensayos de Mecánica de Fracturas.

- Primero, se procedió a diseñar los moldes de forma paralelepípeda, que contendrían las planchas de 5" x 2" x 1". En total se diseñaron cuatro moldes.
- Luego se formó una caja metálica que contendría los cuatro moldes, anteriormente diseñados. Para realizar dichas cajas metálicas, se utilizó la forma tradicional que consiste en la fundición en arena, por ser esta un material altamente refractario, tener mucha abundancia en la naturaleza y que, mezclado con arcilla, adquiere cohesión y maleabilidad sin perder la permeabilidad que posibilita evacuar los gases del molde a tiempo que se vierte el material fundido.
- El tercer paso, es tomar la muestra de hierro colado, esta muestra se toma del horno cubilote, donde dicho material ya venía de forma fundida, para luego pasarla rápidamente al crisol que ya contendrá los moldes previamente diseñados. En el caso de las aleaciones de cobre, zinc y

estaño, se agregaba primero el hierro colado en forma fundida y luego se agregaba cada uno de los materiales para su fundición. Como quedó de manifiesto en el Capítulo tres de este trabajo de graduación, se realizaron dichas aleaciones con un porcentaje de 95 % de hierro colado y 5 % de cada uno de los otros materiales.

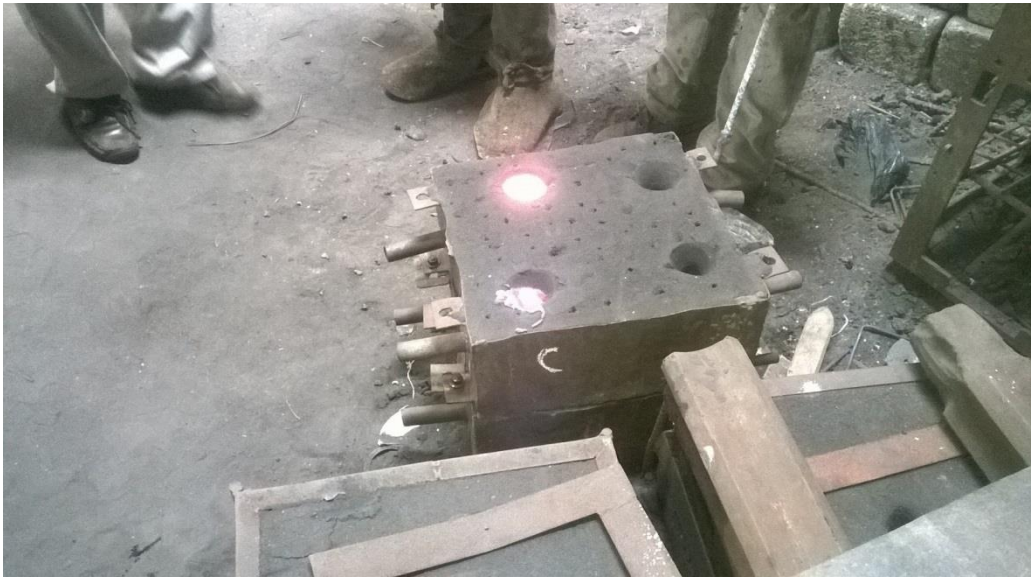
- Como siguiente paso, se esperaba el enfriamiento de los moldes, para lo cual se esperó un total de veinticuatro horas para la extracción de las planchas ya fundidas y aleadas.
- Por último, se procedió a la limpieza de cada una de las planchas fundidas con el fin de recuperar los materiales del molde.

A continuación se muestran unas fotografías del proceso.

Figura 17. **Proceso de fundición**



Continuación de la figura 17.



Fuente: Taller de fundición J. A. Ramírez.

#### 4.1.2.2. Resultados

En el caso de las planchas de hierro colado puro, y hierro colado con aleaciones de zinc y estaño, los resultados obtenidos fueron los deseados, unas planchas con las medidas requeridas. Ahora, en el caso de la plancha de hierro colado con aleación de cobre, los resultados no fueron en su totalidad los deseados, debido al proceso que se lleva en dicha fundidora y al material.

Figura 18. Planchas obtenidas



Fuente: Taller de fundición J. A. Ramírez.

### **4.1.3. Manufactura de las probetas**

Una vez obtenidas las planchas de hierro colado y hierro colado con aleaciones de cobre, zinc y estaño, se inició con la elaboración de las probetas que se utilizarían en los Ensayos. Dichas probetas se tornearon en el Laboratorio de Torno de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

#### **4.1.3.1. Torneado de las piezas**

Estas probetas fueron diseñadas según las normalizaciones ASTM E1820 y ASTM E399, y con las medidas obtenidas en el Capítulo tres de la presente tesis, esto debido a que se adaptaran correctamente a la Máquina Universal de Ensayos del Centro de Investigaciones de Ingeniería.

El maquinado de las piezas se dividió en dos partes, la primera fue en el pulido de las mismas y en el acoplamiento, hasta conseguir las medidas necesarias para su ensayo; la segunda parte consistió en el maquinado de la abertura central que supondrá la ruptura a partir de las grietas creadas, al ser aplicadas las fuerzas de tensión del ensayo.

- En principio, se cortaron las planchas por la mitad, de manera que se obtuvieran dos probetas iniciales de medidas 5" x 1" x 1", para este trabajo se utilizó una segueta con sierra especial para materiales resistentes. La primera parte del maquinado fue un poco complicada, de inicio, debido a la dureza de las planchas, que era por momentos más duro que el material de corte. Con el torno se alisaron las probetas de todas las caras, y se ajustaron a las medidas adecuadas para los ensayos.

- La segunda parte, que consistía en el maquinado de la abertura central, se realizó según las posibilidades del torno, esto debido a que, si se lograra implementar el estudio de Mecánica de Fracturas en la Facultad de Ingeniería de la USAC, sería este el torno el que sería utilizado para la elaboración de probetas que próximamente se utilizarían en los Ensayos. De cualquier forma, la abertura central puede variar en función a las necesidades, debido a que en según el área de abertura, así variarán los cálculos matemáticos que nos darán los resultados.

#### **4.1.3.2. Pulido de las piezas para el análisis químico porcentual**

Con el fin de determinar de una mejor manera el resultado de las fundiciones, a una escala microscópica de las probetas que serán sometidas a Ensayos. Fue necesario realizar un análisis de microscopía, con lo cual, se limpiaron las aleaciones obtenidas, de elementos extraños o impurezas, en el área donde se realizaron dichos estudios químicos.

Para ello, cada una de las probetas maquinadas fue pulida en pequeñas zonas de su superficie por medio del mismo torno utilizado para su corte, para ello se disminuyó la dureza del material de corte, y luego se utilizó una lija número 1 200 para mejorar el pulido.

#### **4.1.3.3. Resultados**

De la misma forma que con las fundiciones, y debido a ellas, el resultado en las probetas de hierro colado con aleación de cobre no fue el esperado, ya que la plancha fundida previamente no contaba con las medidas

preestablecidas para que con el maquinado de las probetas se lograra obtener las medidas óptimas para los Ensayos.

En el caso de las probetas de hierro colado, y hierro colado con aleaciones de zinc y estaño, los resultados fueron los esperados. A continuación se muestran fotografías de las probetas ya maquinadas.

Figura 19. **Probetas ya maquinadas**





Continuación de la figura 19.



Fuente: taller de tornos, Escuela de Ingeniería Mecánica, Usac.

#### **4.2. Análisis de microscopía**

Una vez pulidas las probetas, se procedió a realizar un análisis de microscopía, utilizando el microscopio metalográfico de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería.

Figura 20. **Análisis de microscopio**



Fuente: Escuela de Ingeniería Mecánica, USAC.

#### **4.2.1. Proceso**

El microscopio que se ocupa en la Escuela de Ingeniería Mecánica, no es el más adecuado para este tipo de análisis, debido a que es un microscopio que va enfocado a análisis microbiológicos. Debido a ello, es que se acompaña el estudio de un iluminador led, que va enfocado hacia el segmento que se observa a través del ocular. También es importante mencionar que para la toma de imágenes, fue utilizada una cámara especial tipo ocular para microscopio marca Flex, de 1,3 megapíxeles. A continuación, se mencionarán los pasos seguidos para la obtención de dichas imágenes.

- Con el fin de observar un panorama más amplio de los metales, se inició girando los objetivos hasta que la ampliación más grande se encontrara sobre la plataforma.
- Luego, se colocaron los metales a estudiar sobre los portaobjetos y se aseguraron con las pinzas de la platina; posterior a ello se encendió el microscopio y se apagó la luz del condensador cerrando el diafragma, debido a que utilizaríamos la luz externa.
- Con la perilla principal, se inició el proceso de enfoque. Se utilizó finalmente el aumento 10x, y luego se ajustó precisamente el enfoque con los ajustes del ocular, mientras se movía el portaobjetos con la ayuda de las perillas de ajuste de la platina.
- Finalmente, se procedió a tomar las fotografías de los metales mediante la cámara especial, que puede estar conectada a cualquier laptop o computadora.

Figura 21. **Cámara especial tipo ocular para microscopio**

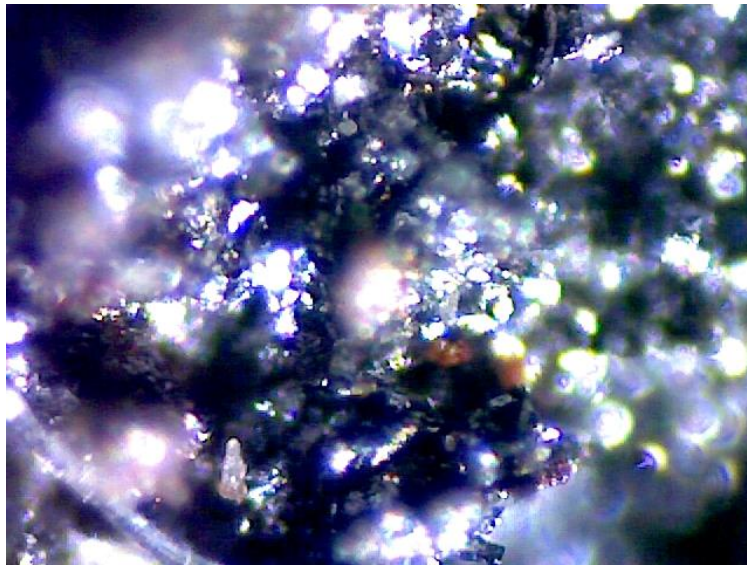


Fuente: Escuela de Ingeniería Mecánica, USAC.

#### 4.2.2. Resultados

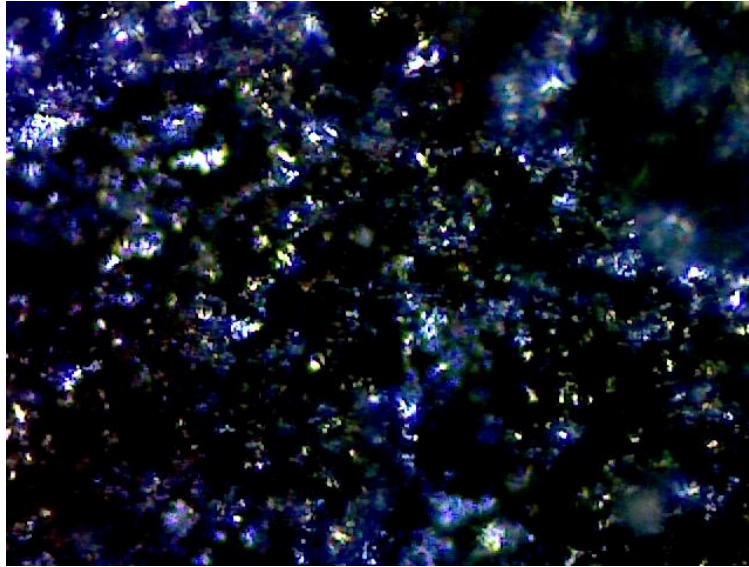
Los resultados sí mostraron las diferencias esperadas en las estructuras de los materiales, mostrando que los materiales aleados tienen una estructura más compacta y mejor ordenada, con lo cual poseen más ductilidad y tenacidad, y menos fragilidad.

Figura 22. **Hierro colado**



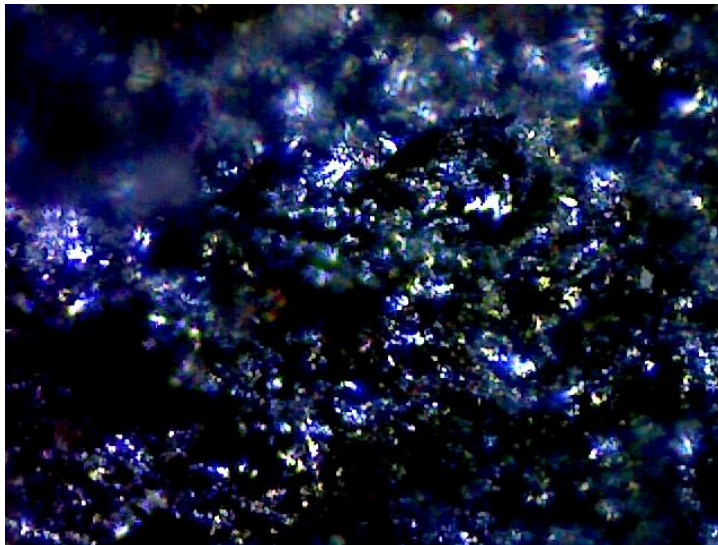
Fuente: Escuela de Ingeniería Mecánica, USAC.

Figura 23. **Hierro colado aleado con estaño**



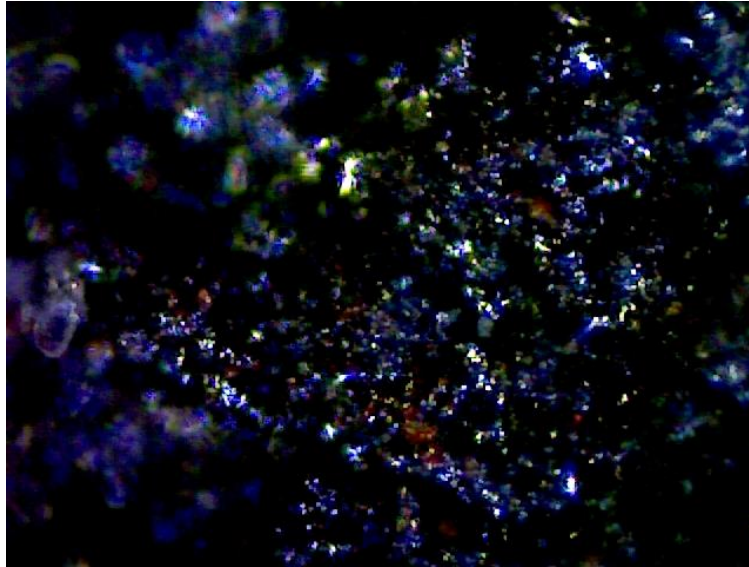
Fuente: Escuela de Ingeniería Mecánica, USAC.

Figura 24. **Hierro colado aleado con zinc**



Fuente: Escuela de Ingeniería Mecánica, USAC.

Figura 25. **Hierro colado aleado con cobre**



Fuente: Escuela de Ingeniería Mecánica, USAC.

### **4.3. Ensayo de Mecánica de Fracturas**

Una vez maquinadas todas las probetas, se inició con los Ensayos de Mecánica de Fracturas, los cuales no fueron realizados todos el mismo día debido a problemas con el acople de las probetas con la Máquina Universal de Ensayos, como era de esperar.

#### **4.3.1. Selección de la máquina universal de ensayos**

Antes de iniciar el proceso de Ensayos de Mecánica de Fracturas, se ubicaron las probetas a analizar en las dos Máquinas Universal de Ensayos existentes en el Centro de Investigaciones de Ingeniería; esto para saber en qué máquina quedaban mejor ajustadas las probetas, y que esto nos

contribuyera con arrojarlos mejores resultados. A continuación, se muestran fotografías del acople de las piezas en ambas máquinas.

Figura 26. **Selección de maquinaria universal de Ensayo**



Fuente: Centro de Investigaciones de Ingeniería, USAC.

Luego de examinar el acoplamiento de las probetas en ambas máquinas, la Baldwin (primera imagen), y la Vilassar De Dalt (segunda imagen), se optó por la primera para la realización de Ensayos, debido a que, por la forma del ajuste que existía entre las probetas y las mordazas, se conseguía un mejor agarre.

#### **4.3.2. Procedimiento**

Después de elegir la máquina universal de Ensayos que habría de utilizarse, se procedió a realizar los Ensayos de Mecánica de Fracturas en las probetas que fueron bien maquinadas, es decir, el estudio no se logró realizar en las probetas aleadas con cobre. En seguida se detallará la manera en que se realizaron los Ensayos.

- Se colocaron unas mordazas anchas debido a que las probetas no tenían un espesor muy grande; para esto, se abrieron los sujetadores a través de la manivela de control y se colocaron las mordazas, alineándolas correctamente.
- Después se midieron las probetas que se habrían de ensayar, eso para poder realizar los cálculos precisos de Mecánica de Fracturas, y poder tener una mejor percepción de las elongaciones y su punto de ruptura.
- Luego se colocaron las probetas y se cerraron los sujetadores hasta que las probetas quedaran bien compactas.
- Posterior a ello, el encargado de laboratorio procedió a calibrar la Máquina Universal de Ensayos para poder trabajar con los parámetros establecidos, estos datos serán entregados en el reporte de resultados del CII.
- Luego, se arrancó la máquina que realizó esfuerzos de tracción sobre las probetas acopladas a los sujetadores de la máquina, hasta que ellos fueron vencidos.
- Por último se hicieron las últimas mediciones a las probetas para determinar los datos de esfuerzo y elongación que fueron entregados posteriormente.



Figura 27. **Procedimiento de Ensayos de fracturas**

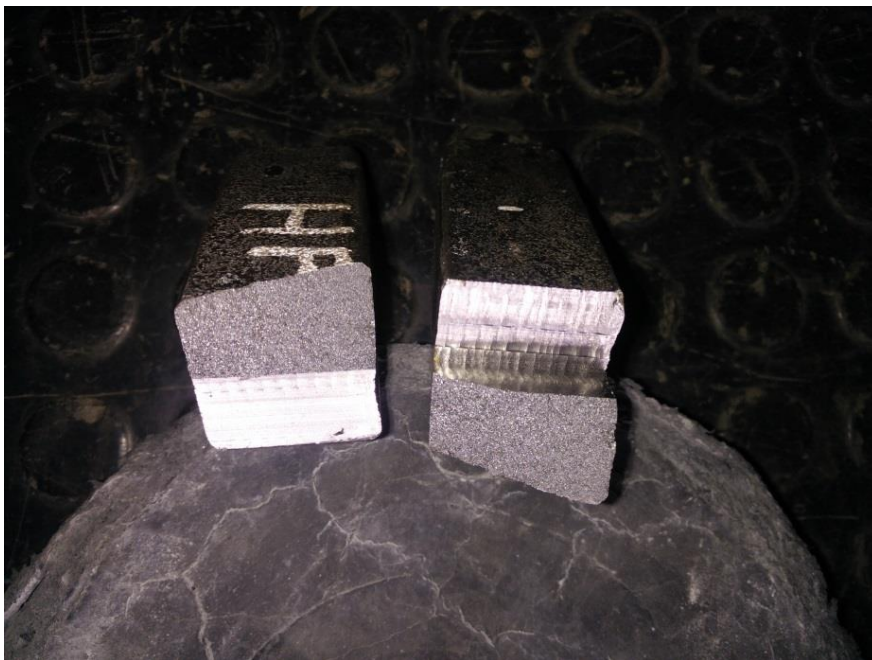


Fuente: Centro de Investigación de Ingeniería, USAC.

### **4.3.3. Resultados**

Los resultados no fueron del todo los deseados, por lo cual se harán recomendaciones en cuanto a una nueva redimensión de probetas, debido a que dos de ellas, las de zinc, no pudieron ser analizadas por ruptura en los puntos no deseados, como se muestra en las imágenes. En el siguiente capítulo se mostrará la tabla de resultados obtenidos. A continuación, se enseñan imágenes de los resultados físicos obtenidos.

Figura 28. Resultados de Ensayos de fracturas



Continuación de la figura 28.



Fuente: Centro de Investigación de Ingeniería, USAC.



## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A continuación se realizará un estudio y análisis detallado de los resultados obtenidos de los Ensayos de Mecánica de Fracturas.

### 5.1. Tabla de resultados

Una vez realizados los Ensayos de Mecánica de Fracturas, la Máquina Universal de Ensayos arroja una hoja con una tabla de resultados que contienen las medidas de las probetas y los esfuerzos y elongaciones derivadas de su ruptura.

Tabla VI. **Análisis de resultados**

Probeta	Identificación	Ancho	Espesor	Área	Carga	Esfuerzo			Elongación
		cm	cm	cm <sup>2</sup>	kg	kg/cm <sup>2</sup>	Mpa	PSI	cm
1	HFP 1	2,523	1,937	2,957	4600	1555,72	152,56	22127,32	7,00
2	HFP 2	1,53	1,329	3,352	1800	536,93	52,65	7636,84	2,00
3	ESTANO 1	1,513	1,957	2,959	2500	844,82	82,85	12016,06	4,00
4	ESTANO 2	1,510	1,932	2,917	2000	685,56	67,23	9750,87	3,00
5	ZINC	1,508	1,868	2,816	3900	1384,85	135,81	19696,99	6,00
6	ZINC	1,5245	1,777	2,708	2200	812,33	79,66	11553,87	4,00

Fuente: elaboración propia.

### 5.2. Análisis de resultados obtenidos de los Ensayos de Mecánica de Fracturas

Los resultados obtenidos en la tabla de datos otorgados por el Centro de Investigaciones de Ingeniería sobre el Ensayo de Mecánica de Fracturas, son muy cercanos a los esperados. Debido a que, en primera instancia, nos

muestran una mayor elongación y esfuerzo en las probetas aleadas, que en las probetas que únicamente están hechas de hierro colado, lo cual nos indica una respuesta positiva y satisfactoria de los Ensayos, debido a que lo esperado era mayores elongaciones y esfuerzos en los materiales aleados. Esto, debido a que el hierro colado por sí solo, posee muchos huecos o vacíos en su estructura, lo cual lo convierte en un material frágil, en comparación a sí mismo cuando es aleado a cobre, hierro o estaño; ya que dicha aleación provee al hierro colado de mayor ductilidad y tenacidad, que aminora los esfuerzos y elongaciones para su ruptura.

### 5.2.1. Cálculos

A continuación se muestran los resultados para la obtención del Módulo de Young (E), la Tenacidad (T) y la Intensidad de Tensiones (K). En el caso del cálculo de la tenacidad, se utilizará la ecuación para la obtención del área de un triángulo rectángulo, debido a que la tenacidad se obtiene con el área bajo la ecuación de línea recta resultante entre la carga aplicada a un material que buscar romperse y la deformación de la misma. Para el caso del Módulo de Young se utilizará la clásica ecuación  $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$ , donde “ $\sigma$ ” es la carga aplicada al objeto y “ $\epsilon$ ” es la deformación sufrida por el mismo.

En el caso de la Intensidad de Tensiones se utilizará la siguiente ecuación:

$$K = \frac{P}{B\sqrt{W}} * \frac{2 + \frac{a}{W}}{\left(1 - \frac{a}{W}\right)^{\frac{3}{2}}} * \left(0,866 + 4,64 \frac{a}{W} - 13,31 \frac{a^2}{W^2} + 14,72 \frac{a^3}{W^3} - 5,60 \frac{a^4}{W^4}\right)$$

Donde

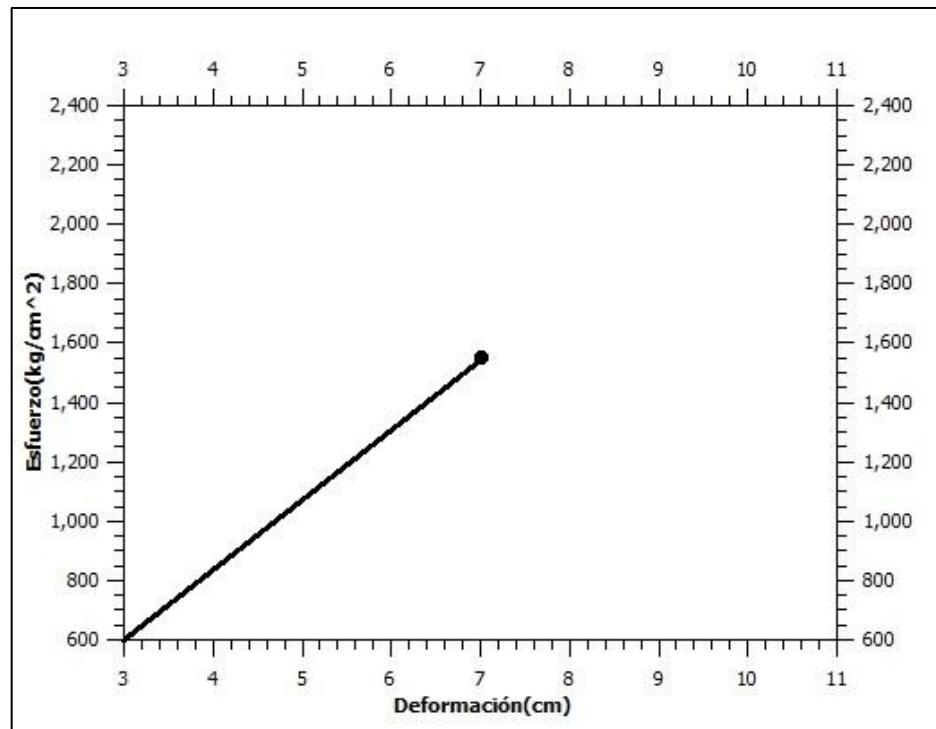
P = Carga de tracción necesaria para la ruptura de la pieza

B = Ancho de la probeta

a = Profundidad de grieta

W = Espesor de la probeta

Figura 29. Cálculo para la primera probeta de hierro colado



Fuente: elaboración propia.

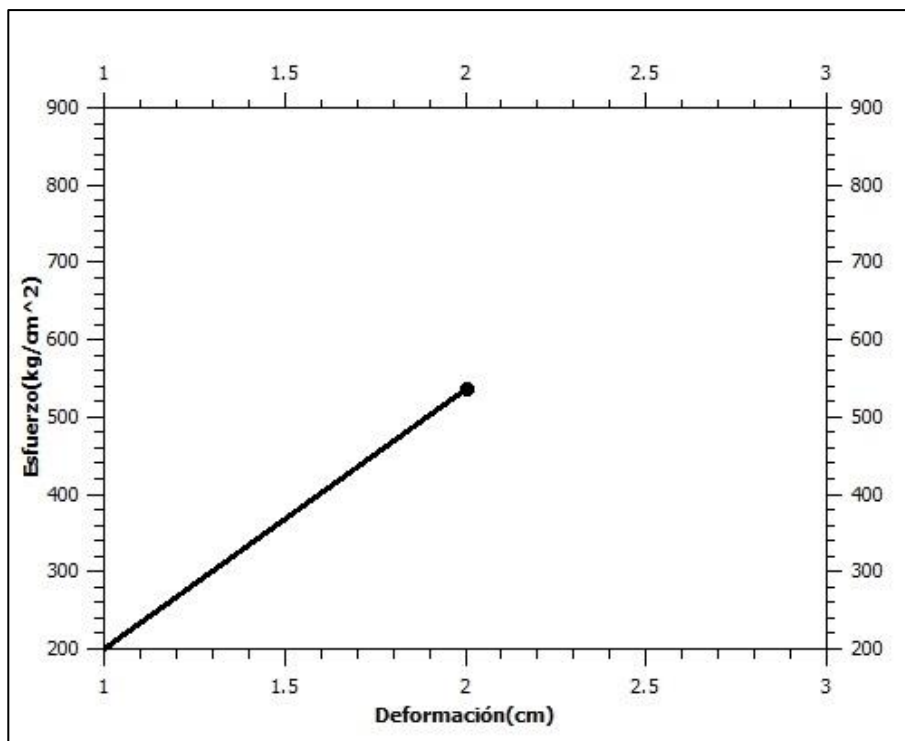
$$E_{Fe_1} = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{1555,72 \text{ kg/cm}^2}{7 \text{ cm}} = 222,25 \text{ Kg/cm}$$

$$T_{Fe_1} = \frac{L * A}{2} = \frac{1555,72 * 7}{2} = 5445,02 \text{ Kg}$$

$$K_{Fe_1} = \frac{1555,72 \text{ kg/cm}^2}{2,52 \text{ cm} \sqrt{1,34 \text{ cm}}} * \frac{2 + \frac{0,61 \text{ cm}}{1,34 \text{ cm}}}{\left(1 - \frac{0,61 \text{ cm}}{1,34 \text{ cm}}\right)^{\frac{3}{2}}} * \left(0,866 + 4,64 \frac{0,61 \text{ cm}}{1,34 \text{ cm}} - 13,31 \frac{(0,61 \text{ cm})^2}{(1,34 \text{ cm})^2} + 14,72 \frac{(0,61 \text{ cm})^3}{(1,34 \text{ cm})^3} - 5,60 \frac{(0,61 \text{ cm})^4}{(1,34 \text{ cm})^4}\right)$$

$$K_{Fe_1} = 3042,64 \text{ kg/cm}^2$$

Figura 30. Cálculo para la segunda probeta de hierro colado



Fuente: elaboración propia.

$$E_{Fe_2} = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{536,93 \text{ kg/cm}^2}{2 \text{ cm}} = 268,47 \text{ Kg/cm}$$

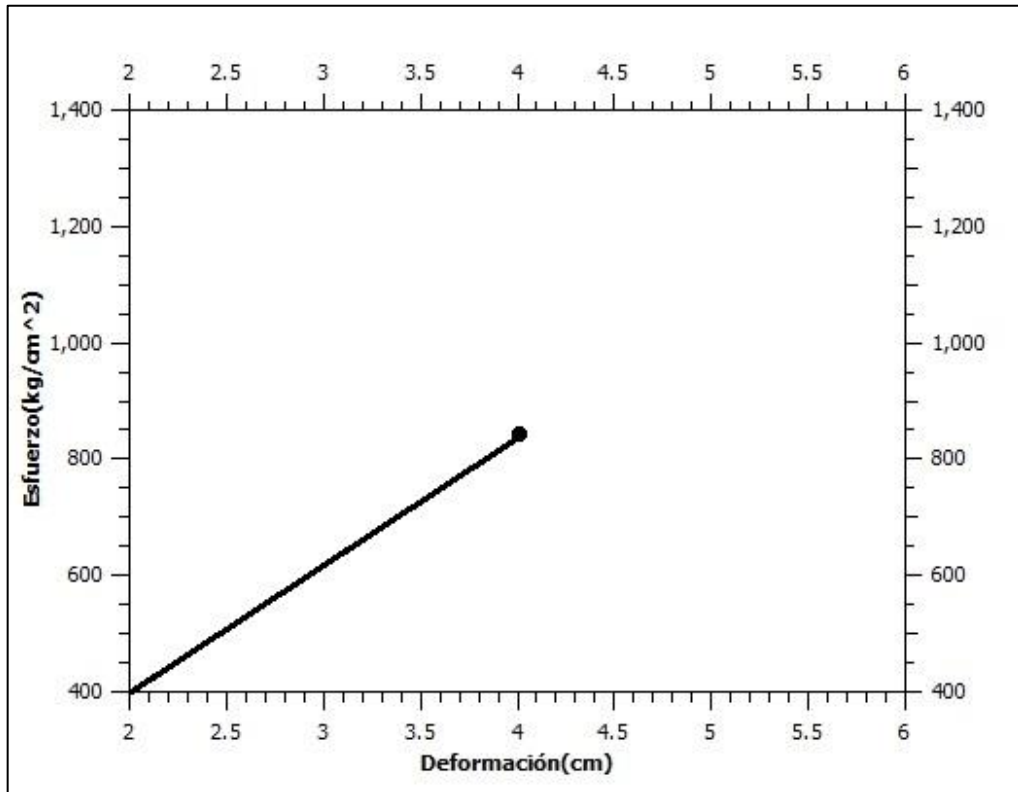
$$T_{Fe_2} = \frac{L * A}{2} = \frac{536,96 * 2}{2} = 536,93 \text{ Kg}$$



$$K_{Fe_2} = \frac{536,93 \text{ kg/cm}^2}{1,53 \text{ cm} \sqrt{1,94 \text{ cm}}} * \frac{2 + \frac{0,58 \text{ cm}}{1,94 \text{ cm}}}{\left(1 - \frac{0,58 \text{ cm}}{1,94 \text{ cm}}\right)^{\frac{3}{2}}} * \left(0,866 + 4,64 \frac{0,58 \text{ cm}}{1,94 \text{ cm}} - 13,31 \frac{(0,58 \text{ cm})^2}{(1,94 \text{ cm})^2} + 14,72 \frac{(0,58 \text{ cm})^3}{(1,94 \text{ cm})^3} - 5,60 \frac{(0,58 \text{ cm})^4}{(1,94 \text{ cm})^4}\right)$$

$$K_{Fe_2} = 1073,27 \text{ kg/cm}^2$$

Figura 31. Cálculo para la primera probeta de hierro colado con aleación de estaño



Fuente: elaboración propia.

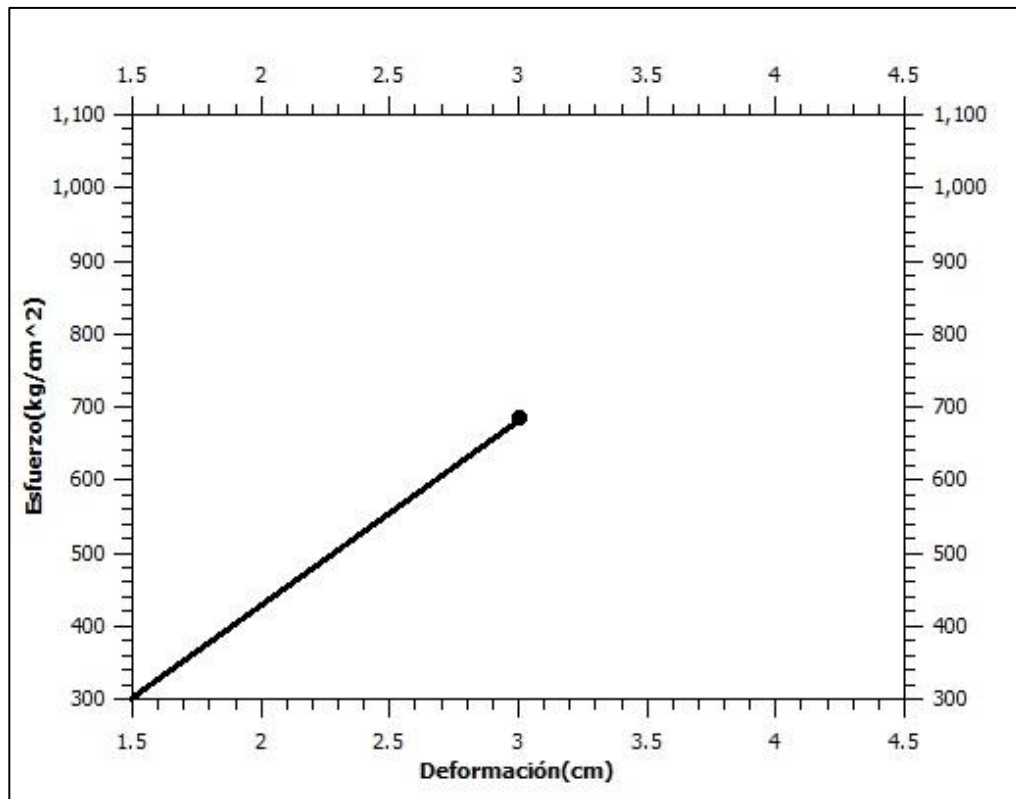
$$E_{Sn_1} = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{844,82 \text{ kg/cm}^2}{4 \text{ cm}} = 211,21 \text{ kg/cm}$$

$$T_{Sn_1} = \frac{L * A}{2} = \frac{844,82 * 4}{2} = 1689,64 \text{ Kg}$$

$$K_{Sn_1} = \frac{844,82 \text{ kg/cm}^2}{1,51 \text{ cm} \sqrt{1,96 \text{ cm}}} * \frac{2 + \frac{0,63 \text{ cm}}{1,96 \text{ cm}}}{\left(1 - \frac{0,63 \text{ cm}}{1,96 \text{ cm}}\right)^{\frac{3}{2}}} * \left(0,866 + 4,64 \frac{0,63 \text{ cm}}{1,96 \text{ cm}} - 13,31 \frac{(0,63 \text{ cm})^2}{(1,96 \text{ cm})^2} + 14,72 \frac{(0,63 \text{ cm})^3}{(1,96 \text{ cm})^3} - 5,60 \frac{(0,63 \text{ cm})^4}{(1,96 \text{ cm})^4}\right)$$

$$K_{Sn_1} = 1758,39 \text{ kg/cm}^2$$

Figura 32. **Cálculo para la segunda probeta de hierro colado con aleación de estaño**



Fuente: elaboración propia.

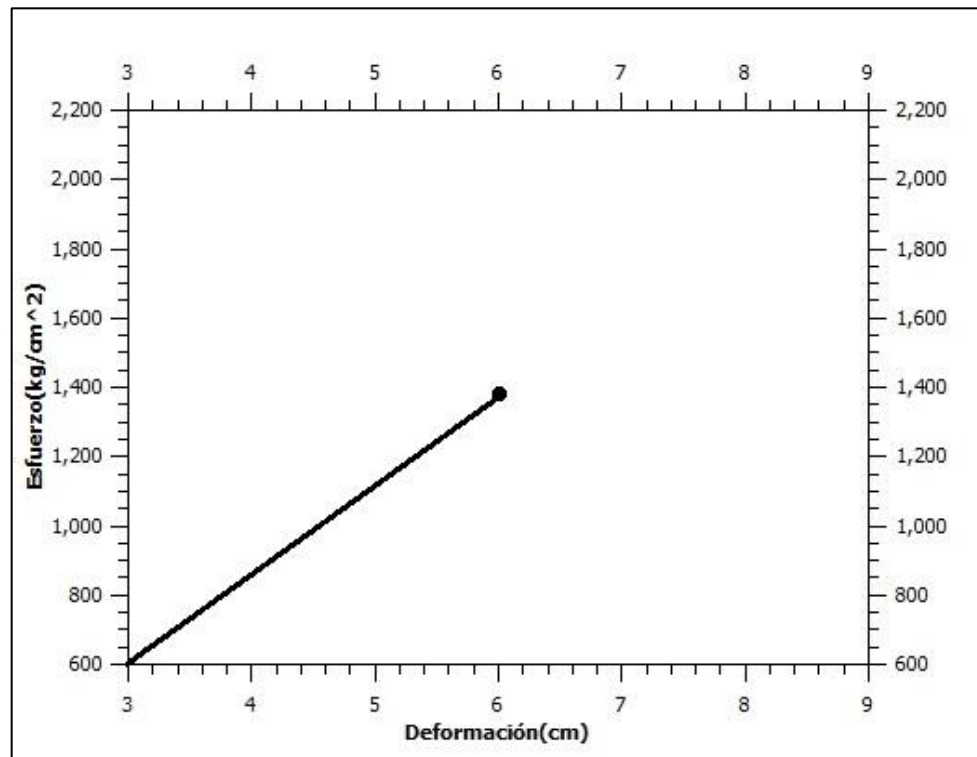
$$E_{Sn_2} = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{685,56 \text{ kg/cm}^2}{3 \text{ cm}} = 228,52 \text{ kg/cm}$$

$$T_{Sn_2} = \frac{L * A}{2} = \frac{685,56 * 3}{2} = 1028,34 \text{ Kg}$$

$$K_{Sn_2} = \frac{685,56 \text{ kg/cm}^2}{1,51 \text{ cm} \sqrt{1,93 \text{ cm}}} * \frac{2 + \frac{0,59 \text{ cm}}{1,93 \text{ cm}}}{\left(1 - \frac{0,59 \text{ cm}}{1,93 \text{ cm}}\right)^{\frac{3}{2}}} * \left(0,866 + 4,64 \frac{0,59 \text{ cm}}{1,93 \text{ cm}} - 13,31 \frac{(0,59 \text{ cm})^2}{(1,93 \text{ cm})^2} + 14,72 \frac{(0,59 \text{ cm})^3}{(1,93 \text{ cm})^3} - 5,60 \frac{(0,59 \text{ cm})^4}{(1,93 \text{ cm})^4}\right)$$

$$K_{Sn_2} = 1405,51 \text{ kg/cm}^2$$

Figura 33. **Cálculo para la primera probeta de hierro colado con aleación de zinc**



Fuente: elaboración propia.

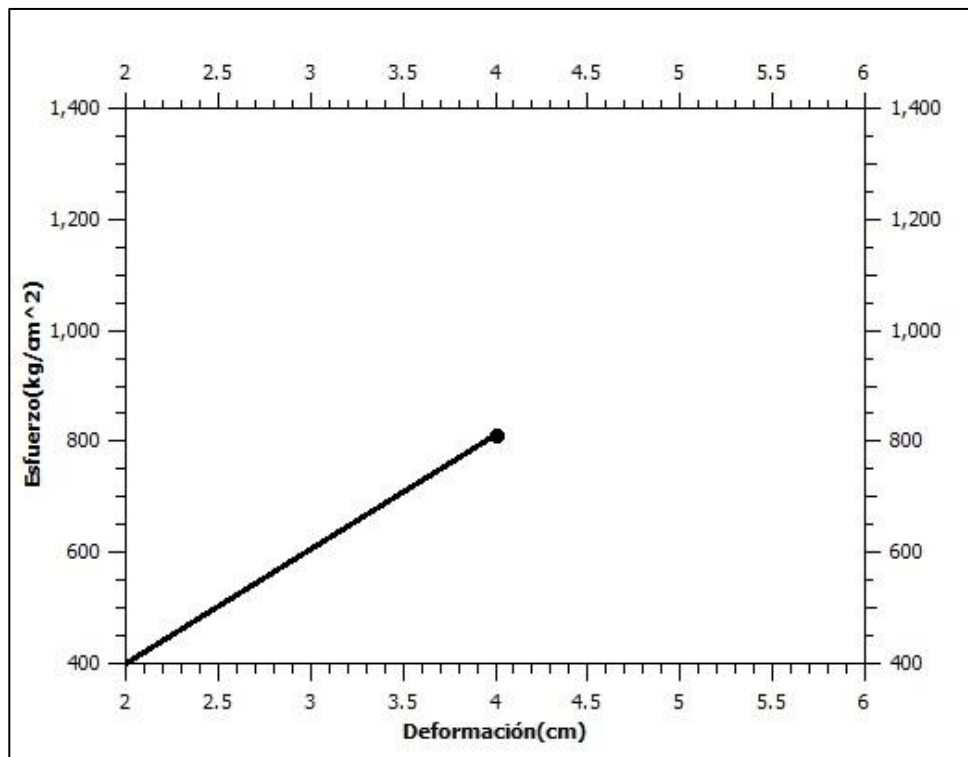
$$E_{Zn_1} = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{1384,85 \text{ kg/cm}^2}{6 \text{ cm}} = 230,8 \text{ kg/cm}$$

$$T_{Zn_1} = \frac{L * A}{2} = \frac{1384,85 * 6}{2} = 4154,55 \text{ kg}$$

$$K_{Zn_1} = \frac{1384,85 \text{ kg/cm}^2}{1,54 \text{ cm} \sqrt{1,97 \text{ cm}}} * \frac{2 + \frac{0,58 \text{ cm}}{1,97 \text{ cm}}}{\left(1 - \frac{0,58 \text{ cm}}{1,97 \text{ cm}}\right)^{\frac{3}{2}}} * \left(0,866 + 4,64 \frac{0,58 \text{ cm}}{1,97 \text{ cm}} - 13,31 \frac{(0,58 \text{ cm})^2}{(1,97 \text{ cm})^2} + 14,72 \frac{(0,58 \text{ cm})^3}{(1,97 \text{ cm})^3} - 5,60 \frac{(0,58 \text{ cm})^4}{(1,97 \text{ cm})^4}\right)$$

$$K_{Zn_1} = 2729,20 \text{ kg/cm}^2$$

Figura 34. **Cálculo para la segunda probeta de hierro colado con aleación de zinc**



Fuente: elaboración propia.

$$E_{Zn_2} = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{812,33 \text{ kg/cm}^2}{4 \text{ cm}} = 203,08 \text{ kg/cm}$$

$$T_{Zn_2} = \frac{L * A}{2} = \frac{812,33 * 4}{2} = 1624,66 \text{ kg}$$

$$K_{Zn_2} = \frac{812,33 \text{ kg/cm}^2}{1,52 \text{ cm} \sqrt{1,78 \text{ cm}}} * \frac{2 + \frac{0,63 \text{ cm}}{1,78 \text{ cm}}}{\left(1 - \frac{0,63 \text{ cm}}{1,78 \text{ cm}}\right)^{\frac{3}{2}}} * \left(0,866 + 4,64 \frac{0,63 \text{ cm}}{1,78 \text{ cm}} - 13,31 \frac{(0,63 \text{ cm})^2}{(1,78 \text{ cm})^2} + 14,72 \frac{(0,63 \text{ cm})^3}{(1,78 \text{ cm})^3} - 5,60 \frac{(0,63 \text{ cm})^4}{(1,78 \text{ cm})^4}\right)$$

$$K_{Zn_2} = 1887,17 \text{ kg/cm}^2$$

### 5.2.2. Análisis de resultados de los cálculos

Para el análisis de resultados obtenidos de los cálculos, es necesario compararlos con los valores de Módulo de Young (E), la Tenacidad (T) y el Factor de Intensidad de Tensiones (K); del hierro colado con los resultados obtenidos con las diferentes aleaciones. Con lo cual se realiza la siguiente tabla de comparación.

Tabla VII. Análisis de resultados de los cálculos

	Hierro Colado		Hierro Colado + Estaño		Hierro Colado + Zinc	
	1ra Probeta	2da Probeta	1ra Probeta	2da Probeta	1ra Probeta	2da Probeta
E ( $\text{kg/cm}$ )	222,25	268,47	211,21	228,52	230,8	203,08
T (kg)	5445,02	536,93	1689,64	1028,34	4154,55	1624,66
K ( $\text{kg/cm}^2$ )	3042,64	1073,27	1758,39	1405,51	2729,20	1887,17

Fuente: elaboración propia.

Antes de iniciar los análisis de los resultados, es importante mencionar que la primera probeta de hierro colado arrojó un resultado muy inexacto debido a que las dimensiones eran de acuerdo al primer modelo propuesto, el cual presenta una anchura de probeta de 2,52 centímetros, motivo por el cual la probeta no quedaba bien sujeta de las mordazas de la Máquina Universal de Ensayos, y se quebró de la parte superior antes que del lugar deseado.

A partir de ahí se decidió reducir la anchura de todas las probetas, y con ello mejorar el proceso del Ensayo; debido a lo anterior, tomaremos la segunda probeta de hierro colado puro, para realizar las comparaciones con las probetas aleadas y poder determinar a partir de esta, los análisis necesarios.

Se pudo constatar en los resultados obtenidos, que las probetas aleadas con estaño y zinc, presentaron un aumento en la Tenacidad (T) y Factor de Intensidad de Tensiones (K); lo cual indica una clara mejora en las propiedades de dichas probetas.

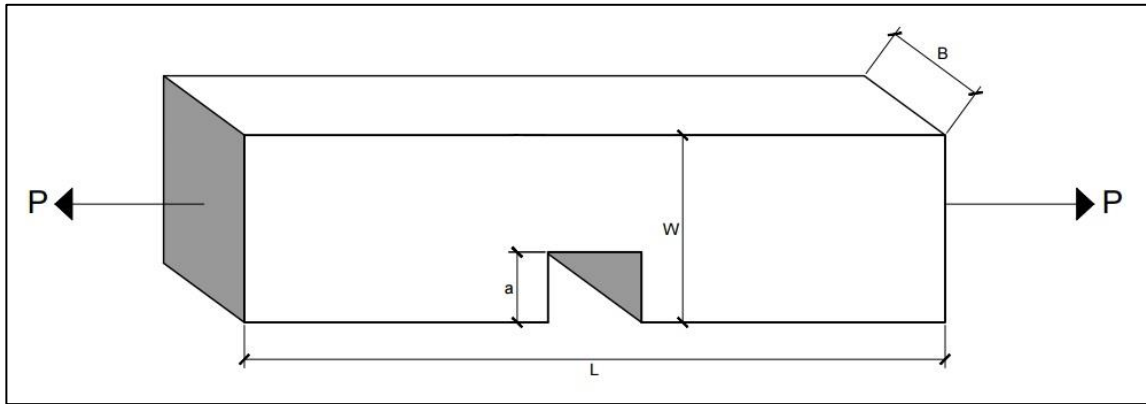
### **5.3. Diseño definitivo de probetas para Ensayos de Mecánica de Fracturas**

A continuación se presentan las nuevas medidas propuestas para las probetas que podrán ser utilizadas en los Ensayos de Mecánica de Fracturas, utilizando la Máquina Universal de Ensayos ubicada en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

#### **5.3.1. Diseño y medidas**

A continuación se dará a conocer el diseño y medidas definitivo que queda bien acoplado a la Máquina Universal de Ensayos.

Figura 35. **Diseño y medidas**



Partes	Medida en pulgadas	Medida en centímetros
L	5	12,7
B	0,61	1,55
W	0,787	2
a	0,24	0,6

Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD 2010.

#### 5.4. Alcance y mejora

Al ser la primera vez que se intentan este tipo de Ensayos en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, hubo muchos factores no tomados en cuenta y puntos de mejora para el Ensayo de Mecánica de Fracturas, tanto en los Ensayos en sí, como en la redimensión de las medidas de las probetas a analizar. A continuación, se realizará una tabla de sugerencias de mejora en algunos procesos del presente trabajo de graduación; para esta tabla, se desestimaré el proceso metalúrgico debido a que fue realizado en su mayoría por empleados del Taller de Fundición J.A. Ramírez.

Posterior a la tabla, se mostrará un diseño de las nuevas medidas de la probeta de Mecánica de Fracturas, con las cuales se asegura un mejor Ensayo y la eliminación de problemas del mismo.

#### 5.4.1. Sugerencias de mejora

En la tabla VIII se presentan las sugerencias de mejora para los Ensayos de Mecánica de Fracturas .

Tabla VIII. Sugerencias de mejora

Proceso con margen de mejora	Proceso actual	Mejora propuesta	Objetivos
Cálculo de materiales	Medidas de la probeta realizadas en base a la probeta para tensión de barras de acero, utilizada en los Ensayos a tracción del CII.	Se recomienda el aumento del largo de la probeta	Las mordazas podrán sujetar la probeta en la totalidad de su área.
		La disminución del espesor de la probeta (B)	Evitar la ruptura de la probeta en las áreas de agarre.
		Aumento del área de la grieta	Asegurar que la ruptura de la probeta sea en el lugar indicado.
Proceso de manufactura de probetas	Probeta manufacturada en función a medidas descritas anteriormente	Manufacturación de la probeta en función a las nuevas medidas propuestas	Mejores resultados del Ensayo
	Alisado de las caras externas de la probeta	Agrietado de la probeta, en forma lineal y perpendicular al largo de la misma, en las áreas de agarre de las mordazas	Mejor agarre de las mordazas a la probeta, con lo cual evita el deslizamiento de la misma.
Ensayos	Posición indiferente de la probeta, en las mordazas	Asegurar las mordazas del lado de las grietas previamente maquinadas	

Fuente: elaboración propia.



## CONCLUSIONES

1. Las pruebas realizadas previamente a la maquinaria de Ensayos destructivos del Centro de Investigaciones de Ingeniería, determinaron el buen funcionamiento de los mismos para diversos tipos de Ensayos.
2. Se observó en los Ensayos destructivos de Mecánica de Fracturas que las probetas aleadas sí se comportaron de manera distinta a las probetas de hierro colado puro; según los resultados, las probetas aleadas obtuvieron un aumento en el Factor de Intensidad de Tensiones (K) y Tenacidad (T), con lo cual se mejoró sus propiedades.
3. La Máquina Universal de Ensayos Baldwin que se encuentra en el CII de la USAC, puede adecuarse perfectamente a los Ensayos de Mecánica de Fracturas, utilizando las medidas de probetas propuestas en el Capítulo cinco del presente trabajo.
4. Se demostró la importancia del Ensayo de Mecánica de Fracturas, debido a que arrojó los posibles puntos de ruptura de materiales agrietados y con aberturas centrales con esquinas a  $45^\circ$ , y a conocer los esfuerzos necesarios para que suceda; asimismo, para tener una mejor idea de qué materiales utilizar en función de la labor a desempeñar.
5. Se constató, mediante el estudio de microscopía, que las probetas aleadas habían sufrido un cambio microestructural interno, debido a que las mismas se notaron más compactas y mejor ordenadas que las de hierro colado puro.



## RECOMENDACIONES

1. Se deben realizar inspecciones previas a los Ensayos, a la maquinaria que ha de utilizarse; revisar ajustes mecánicos, programación de la máquina y que la misma esté calibrada adecuadamente.
2. Es importante la utilización del equipo de seguridad industrial necesario durante los Ensayos de Mecánica de Fracturas, con el fin de prevenir accidentes durante el mismo. El equipo de seguridad industrial imprescindible para este Ensayo es: casco, lentes industriales y en el caso de las personas que sujetarán con fuerza las mordazas durante el Ensayo, guantes industriales.
3. Utilizar las dimensiones de probetas propuestas en el Capítulo cinco del presente trabajo para que la máquina pueda sujetar correctamente la probeta y se obtengan los resultados esperados.
4. Realizar el agrietamiento lateral al momento de realizar las manufacturas de las probetas a ensayar, del tamaño sugerido; también asegurarse que las mordazas sujeten a la probeta en dichos laterales agrietados.
5. En el caso que se utilice un microscopio microbiológico para el estudio de microscopía, en vez de un microscopio metalográfico, se recomienda la utilización de una luz LED con enfoque único, para conseguir una misma calidad de visión en toda la zona observable del área enfocada.



## BIBLIOGRAFÍA

1. CAMPOS, O. *Descripción de una máquina universal para pruebas de resistencia de materiales*. [en línea]. <[https://materialesingenieria.wordpress.com / maquina - universalpara - pruebas - de-resistencia-de materiales/](https://materialesingenieria.wordpress.com/maquina-universalpara-pruebas-de-resistencia-de-materiales/)>. [Consulta: 26 de noviembre de 2014].
2. CASTRO, Guillermo. *Manual de Fundiciones*. Guatemala: Usac, Departamento de Ingeniería F.I.U.B.A. 2009. 25 p.
3. Hornos de fusión. *Materiales ferrosos y sus aplicaciones*. [en línea]. <[https:// ferrosos.files.wordpress.com / 2010 / 10 / hornos.pdf](https://ferrosos.files.wordpress.com/2010/10/hornos.pdf)>. [Consulta: 29 de noviembre de 2014].
4. *Mecánica de la fractura*. [en línea]. <<http://www.ing.unlp.edu.ar/aeron/catedras/archivos/Mecanica%20de%20Fractura%202010rev01.pdf>>. [Consulta: 25 de noviembre de 2014].
5. PÉREZ IPIÑA J. E. *Mecánica de Fracturas*. Argentina: Alsina, 2004. 166 p.
6. Universidad Del Valle. *Ingeniería Mecánica*. [en línea]. <[http://www.uvg.edu.gt / ingenieria / mecanica / doc/ING \\_IngenieriaMecanica.pdf](http://www.uvg.edu.gt/ingenieria/mecanica/doc/ING_IngenieriaMecanica.pdf)>. [Consulta: 26 de noviembre de 2014].

7. Universidad Galileo. *Ingeniería Industrial*. [en línea]. <<http://www.galileo.edu/facti/carrera/iu/>>. [Consulta: 26 de noviembre de 2014].
8. Universidad Mariano Gálvez. [en línea]. <<http://www.umg.edu.gt/>>. [Consultada: 26 de noviembre de 2014].
9. Usac. *Centro de Investigaciones de Ingeniería*. [en línea]. <<http://ccie.ingenieria.usac.edu.gt/>>. [Consulta: 17 de noviembre de 2014].
10. \_\_\_\_\_. *Escuela de Ingeniería Mecánica*. [en línea]. <<http://emecanica.ingenieria.usac.edu.gt/sitio/>>. [Consulta: 16 de noviembre de 2014].
11. \_\_\_\_\_. *Facultad de Ingeniería*. [en línea]. <<https://www.ingenieria.usac.edu.gt/nosotros.php>>. [Consulta: 15 de noviembre de 2014].
12. \_\_\_\_\_. *Tricentenario*. [en línea]. <<http://www.usac.edu.gt/>>. [Consulta: 14 de noviembre de 2014].